



---

---

---

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

“PROYECTO DE REACONDICIONAMIENTO DE LUBRICANTES  
USADOS EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA DEL  
CICLO OTTO, UTILIZANDO EL MÉTODO ÁCIDO-ARCILLA”

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERA QUÍMICA**

PRESENTA:

**ELIZABETH SCARLETTE GONZÁLEZ OCHOA**

ASESOR:

IME MARCOS BELISARIO GONZÁLEZ LORIA

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO

2017



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN  
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN  
PRESENTE

ATN: LA. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA  
Jefa del Departamento de Exámenes Profesionales  
de la FES Cuautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: Trabajo de Tesis

Proyecto de reacondicionamiento de lubricantes usados en motores de combustión interna del ciclo Otto, por el método Ácido-Arcilla.

Que presenta la pasante: Elizabeth Scarlett González Ochoa  
Con número de cuenta: 404012324 para obtener el Título de la carrera: Ingeniería Química

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 16 de Octubre de 2017.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
<b>PRESIDENTE</b>	Dr. Ricardo Paramont Hernández García	
<b>VOCAL</b>	M. C. Gilberto Atilano Amaya Ventura	
<b>SECRETARIO</b>	I.M.E. Marcos Belisario González Loria	
<b>1er. SUPLENTE</b>	Dra. Celina Elena Urrutia Vargas	
<b>2do. SUPLENTE</b>	M. E. María Teresa Ylízaliturri Gómez Palacio	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

LMCF/cga\*

## AGRADECIMIENTOS

A Dios, por haberme dado la fortaleza para llegar hasta donde estoy.

A la máxima casa de estudios, Universidad Nacional Autónoma de México, por brindarme la oportunidad de desarrollarme académicamente.

A mi facultad FES – Cuautitlán, la que me brindo todo, donde pase momentos increíbles y otros muy duros, donde mis maestros me enseñaron la importancia y el valor de la Ingeniería Química.

A mis padres:

Ely, Marcos, ustedes fueron mis primeros maestros y han sido mi guía a lo largo de todos estos años, les agradezco el apoyo incondicional que siempre me han brindado, sus tantos sacrificios, paciencia, consejos, por creer en mí y sobre todo por su gran amor, gracias a ustedes estoy concluyendo mi más grande logro, los amo.

A mis hijas:

Amaya y Ángela, princesas ustedes son mi motor, gracias.

A mi esposo:

Pepe, gracias mi vida por creer en mí, apoyarme e impulsarme a seguir adelante.

A mis hermanos:

Mitzu y Ana, gracias por todo su apoyo, consejos e increíbles momentos juntos durante este largo camino.

A mis profesores:

Tere, Celina, Gil, Richard, gracias por ser parte de mi formación académica, por todo su apoyo a lo largo de mi carrera y por compartir momentos especiales conmigo.

A mi asesor:

Gracias por ser mi guía en este largo camino, por tu paciencia, conocimientos, tiempo y apoyo.

A mis suegros:

Gracias por todo el apoyo y cariño que me han brindado.

A mis cuñados:

Jaz, Jessi, Jony, Chochil, gracias por su cariño y por estar cada uno a su manera.

## DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado con mucho cariño y amor para mis papás Ely y Marcos, por su paciencia, amor y cariño durante toda mi vida.

A mi familia, Pepe, Amaya y Ángela, éste logro va para ustedes, los amo.

A mis hermanos Mitzu y Ana, que han sido mis mejores amigos y cómplices.

A mis abuelitas Ana y Lupe, por ser tan lindas conmigo.

A mi abuelito Homero.

A mi abue Beli † que estaría muy orgulloso de compartir este momento conmigo.

## ÍNDICE

	Página.
Introducción.	1
Problemática.	2
Objetivo.	3
Justificación.	4
Capítulo 1. Breve historia de los lubricantes, aceites lubricantes, propiedades y elaboración.	6
1.1 Breve historia de los Lubricantes.	6
1.2 Definición de lubricante.	8
1.3 Clasificación de los lubricantes.	8
1.3.1 De acuerdo a sus propiedades físicas.	9
1.3.2 De acuerdo a su base.	11
1.4 Aditivos de los aceites lubricantes.	14
1.4.1 Aditivos que actúan sobre las propiedades físicas.	14
1.4.1.1 Mejoradores del índice de viscosidad.	14
1.4.1.2 Depresores del punto de congelación.	15
1.4.2 Aditivos que actúan sobre propiedades químicas.	16
1.4.2.1 Anti – oxidantes.	16
1.4.2.2 Anticorrosivos.	17
1.4.3 Aditivos que actúan sobre propiedades fisicoquímicas.	17
1.4.3.1 Detergentes.	17
1.4.3.2 Dispersantes.	18
1.4.3.3 Antiespumantes.	19
1.5 Procesos de elaboración de aceites lubricantes.	19
1.5.1 Procesos de extracción de una base lubricante.	22
1.5.1.1 Destilación.	23
1.5.1.2 Desasfaltado.	24
1.5.1.3 Extracción con solventes.	24
1.5.1.4 Desparafinado.	25
1.5.1.5 Hidrofinalizado.	25
1.5.2 Procesos de conversión.	25

1.5.2.1	Destilación.	26
1.5.2.2	Hidrofraccionado.	26
1.5.2.3	Hidroisodesparafinación catalítica.	26
1.5.2.4	Hidrotratamiento.	27
1.6	Algunas características principales de los aceites lubricantes.	28
1.6.1	Viscosidad.	28
1.6.2	Índice de viscosidad.	29
1.6.3	Temperatura de inflamación.	30
1.6.4	Temperatura de escurrimiento.	30
1.6.5	Color.	31
1.6.6	Densidad.	31
Capítulo 2. Importancia de los aceites lubricantes en el motor de combustión interna del ciclo Otto.		34
2.1	Características del aceite lubricante.	35
2.2	Sistemas de lubricación.	36
2.2.1	Funcionamiento del sistema de lubricación.	38
2.2.2	Misión del sistema de lubricación.	38
2.3	Partes del motor a lubricar.	39
2.3.1	Órganos en rotación.	39
2.3.2	Órganos deslizantes.	41
2.3.3	Órganos oscilantes.	42
2.4	Sistemas de lubricación específicos.	43
2.4.1	Lubricación por mezcla	43
2.4.2	Lubricación a presión.	44
2.4.2.1	Elementos lubricados bajo presión.	45
2.4.3	Elementos lubricados por proyección.	46
2.4.4	Lubricación a presión total o integral.	46
2.4.5	Lubricación por cárter seco.	46
2.5	Otros elementos del sistema de lubricación.	47
2.5.1	Bombas de lubricación.	48
2.5.1.1	Bomba de engranaje	48
2.5.1.2	Bomba de rotor.	49

2.5.1.3	Bomba de paletas.	50
2.5.2	Manómetro.	51
2.5.3	Válvula limitadora de presión.	52
2.5.4	Filtro de aceite.	53
Capítulo 3 Procesos de reacondicionamiento de aceites lubricantes usados.		57
3.1	Aceite lubricante usado.	57
3.2	Composición de los aceites usados.	57
3.3	Posibles reúsos del aceite usado.	59
3.4	Impacto ambiental.	60
3.5	¿Por qué reciclar los Aceites Usados?	63
3.6	Procesos de reacondicionamiento de aceite lubricante usado.	64
3.6.1	Proceso ácido–arcilla.	66
3.6.1.1	Manejo de lodos ácidos.	70
3.6.2	Proceso de filtración.	71
3.6.3	Proceso de destilación.	73
3.6.4	Proceso de extracción por disolventes y destilación.	73
3.6.5	Proceso de hidrot ratamiento.	75
3.6.6	Proceso de clarificación con propano.	75
3.6.7	Proceso de emulsificantes.	77
3.6.7.1	Sedimentación.	77
3.6.7.2	Emulsión.	77
3.6.7.3	Demulsificación.	77
3.6.7.4	Tratamiento con tierra diatomácea.	78
3.6.7.5	Filtración.	78
3.6.8	Proceso de tratamiento cáustico.	78
3.6.9	Proceso de tratamiento cáustico–peróxido–cloruro de aluminio.	79
3.6.10	Proceso de tratamiento alcohol alifático–ácido.	79
3.6.11	Proceso BERK.	79
Capítulo 4 Características fisicoquímicas de un aceite lubricante usado, reacondicionado mediante el proceso ácido–arcilla y un aceite básico medio.		81

4.1	Pruebas fisicoquímicas.	81
4.1.1	Viscosidad Cinemática por el método ASTM – D 445 – 12.	81
4.1.2	Punto de inflamación por el método ASTM – D 92.	86
4.1.3	Densidad relativa por el método ASTM – D 1298 – 12.	89
4.1.4	Humedad por el método Karl Fischer.	93
4.2	Resultados.	94
	Resumen.	98
	Conclusiones.	100
	Glosario de términos.	101
	Referencias	103
	Bibliografía.	109
	Cibergrafía.	111

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
1.1 Lubricante líquido.	9
1.2 Lubricante semisólido.	11
1.3 Tratamiento por refinación del petróleo.	22
1.4 Diagrama a bloques de la extracción de bases lubricantes.	22
1.5 Torre de destilación.	23
1.6 Separación de productos petrolíferos.	25
1.7 Estructuras químicas obtenidas en el proceso.	26
1.8 Etapas para la obtención de productos derivados del petróleo.	27
2.1 Lubricación en un motor de combustión interna del ciclo Otto.	34
2.2 Gripado pistón–camisa.	35
2.3 Sistema de lubricación de un Motor de combustión interna.	37
2.4 Cigüeñal.	39
2.5 Árbol de levas.	40
2.6 Sistema de encendido.	40
2.7 Cadena de distribución.	41
2.8 Ciclo de cuatro tiempos del motor de combustión interna.	42
2.9 Componentes de la biela.	42
2.10 Lubricación por mezcla en motores de dos tiempos.	43
2.11 Esquema típico de un sistema de lubricación a presión.	45
2.12 Esquema de lubricación por cárter seco.	47
2.13 Bomba de engranajes.	48
2.14 Bomba de rotor.	49
2.15 Bomba de paletas.	50
2.16 Manómetro.	52
2.17 Válvula de descarga.	52
2.18 Filtro de aceite.	54
2.19 Tipos de filtrado.	55
3.1 Aceite lubricante usado.	57
3.2 Aceite usado extraído de un motor automotriz.	59

3.3	Aceite derramado.	61
3.4	De esta manera afecta la contaminación por aceites a los peces.	61
3.5	Símbolo de reciclaje de aceites.	64
3.6	Proceso ácido–arcilla.	69
3.7	Filtro de aceite.	72
3.8	Esquema del proceso de extracción con solventes y destilación.	74
4.1	Viscosímetro capilar de flujo inverso.	82
4.2	Baño de temperatura controlada.	83
4.3	Control de temperatura digital.	84
4.4	Termómetro rojo de inmersión, escala de –20°C a 110°C.	84
4.5	Prueba de viscosidad cinemática en aceite usado.	85
4.6	Aparato Cleveland de Copa abierta.	86
4.7	Prueba de punto de Inflamación en aceite tratado.	88
4.8	Hidrómetros de vidrio.	90
4.9	Termómetro de barra con escala de –10 a 110°C.	90
4.10	Probeta de cristal con capacidad de 250 ml +/- 2 mm.	91
4.11	Prueba de Densidad en aceite tratado.	92
4.12	Equipo Karl Fischer.	93
4.13	Aceite básico mediano SN – 150.	94
4.14	Comparativo de aceites.	95

## ÍNDICE DE TABLAS

		página
1	Propiedades límites de un aceite básico medio	94
2	Comparativo de densidades.	95
3	Comparativo de viscosidad cinemática.	96
4	Comparativo de Temperatura de Inflamación.	97
5	Comparativo de Humedad.	97

## **Introducción.**

El principal uso de los aceites lubricantes consiste en reducir el desgaste y fricción entre las superficies de las partes móviles de diversos mecanismos, máquinas y motores, previniendo el desgaste de dichas partes.

Durante el proceso de lubricación en el motor de un automóvil, los lubricantes se van contaminando con:

- partículas metálicas producidas por el desgaste del motor.
- burbujas de vapor de agua.
- residuos de combustión incompleta.
- aditivos se pueden oxidar durante la combustión.
- etcétera

Debido a ésta situación se debe renovar el lubricante periódicamente, lo cual genera mundialmente grandes cantidades de aceites lubricantes usados, que si no se manejan adecuadamente pueden provocar un deterioro ambiental.

El aceite usado está dentro de la lista de desechos peligrosos, debido a que al hacer una mala disposición de éstos, se contaminan aguas, suelos y demás fuentes naturales de vida; por lo tanto la recuperación de los aceites usados, previo al tratamiento de limpieza se convierte en un alivio al medio ambiente.

El tratamiento realizado a aceites usados permite, mediante la limpieza aumentar el porcentaje de la base lubricante presente en el aceite original, de manera que resulte adecuado y económico para la formulación; de este modo, la materia prima se reutilizará reduciendo la cantidad de residuos vertida al medio ambiente en forma líquida.

El tratamiento por el método ácido–arcilla es importante porque con éste se evita desecharlo y los fabricantes tendrán la opción de obtener aceites base a bajo costo.

## **Problemática.**

El crecimiento industrial ha provocado una gran demanda de recursos naturales y sus derivados, entre ellos los aceites lubricantes.

Se estima que para el 2025 la demanda de petróleo y sus derivados habrán incrementado un 65% de acuerdo a la tasa de consumo actual, por lo tanto, nos vemos en la necesidad de optimizar el consumo de recursos.

Por otra parte, cada año incrementa la contaminación del suelo debido al mal manejo de los aceites usados.

Biológicamente se acaba con la vegetación y la fertilidad de los suelos, puesto que los aceites automotrices usados contienen plomo (Pb), cadmio (Cd) y compuestos de cloro.

La contaminación del suelo ha existido desde hace mucho tiempo, pero no se le ha dado la debida importancia, generando una degradación química que provoca la pérdida total o parcial de la productividad del suelo.

Por lo tanto, reciclar se convierte en una alternativa altamente rentable y amigable con el medio ambiente.

## **Objetivo.**

El objetivo principal de éste trabajo de tesis es demostrar que los aceites lubricantes usados se pueden reacondicionar por medio de un tratamiento ácido – arcilla.

Obtener un aceite base, con propiedades fisicoquímicas similares a un aceite base nuevo utilizado para preparar lubricantes automotrices.

Comparar las características fisicoquímicas de un aceite lubricante usado, uno básico y el reacondicionado.

Disminuir el impacto ambiental, debido al mal manejo de los aceites lubricantes usados.

## **Justificación.**

Este proyecto aportará una solución para la recuperación de recursos no renovables por medio del proceso ácido–arcilla para obtener un aceite básico en la elaboración de nuevos aceites lubricantes automotrices.

El reacondicionamiento de los aceites lubricantes usados, pretende promover la disminución de consumo de recursos naturales y garantizar un mayor grado de protección al medio ambiente.

# Capítulo 1

**Breve historia de los lubricantes, aceites lubricantes, propiedades y elaboración.**

**1.3 Breve historia de los Lubricantes.**

**1.4 Definición de lubricante.**

**1.5 Clasificación de los lubricantes.**

**1.6 Aditivos de los aceites lubricantes.**

**1.7 Procesos de elaboración de aceites lubricantes.**

**1.8 Algunas características principales de los aceites lubricantes.**

## **Capítulo 1. Breve historia de los lubricantes, aceites lubricantes, propiedades y elaboración.**

### **1.1 Breve historia de los Lubricantes.**

El uso de lubricantes viene casi desde el comienzo de la civilización. Los primeros desarrollos históricos se centraban en grasas y aceites de animales o de origen vegetal para las primeras maquinarias y medios de transporte. Inscripciones antiguas de 1400 AC, muestran ejemplos de lubricación sistemática con grasa animal (sebo), usada para reducir la fricción de los ejes en las ruedas de los carros. Desde estos comienzos, los esfuerzos en reducir fricción dependían del uso relativamente abundante de grasa animal o aceites vegetales.

Durante la edad media (450 DC – 1450) hubo un desarrollo constante en cuanto al uso de lubricantes, pero no fue sino hasta 1600 – 1850, siendo particularmente en la revolución industrial (1750 – 1850) que se reconoció la gran importancia de los lubricantes en cuanto a la reducción de fricción y desgaste.

El Coronel William Drake, el 27 de Agosto de 1859 hizo funcionar la primera torre de extracción de petróleo en Titusville, Pensilvania Estados Unidos.

A Drake se le atribuye popularmente ser quien "descubrió" el petróleo aunque esto no es cierto, ya que en la antigüedad el petróleo era usado para fines medicinales, para impermeabilizar construcciones y embarcaciones. Los egipcios, por ejemplo, lo usaban como maquillaje y se dice que en China lo usaban como combustible para iluminarse, así como para calentarse. Lo que es cierto, es que ese "disparate de Drake" le llamaron a las construcciones de las torres de extracción, tenía sus orígenes en la tecnología usada para la perforación de la sal, convirtiéndose en el primer pozo petrolífero que a 23 metros de profundidad encontró y extrajo la nada despreciable cantidad de 25 barriles de petróleo en el primer día. Este pozo se convirtió en una nueva manera de ofrecer un producto de aceite superior, lo cual aceleró el uso de aceite mineral y aceleró el nacimiento de la era de petróleo.

Al principio, los aceites de petróleo no fueron aceptados por la mayoría, porque no eran tan buenos como muchos de los productos basados en grasa animal. El aceite crudo no cumplía las funciones de un buen lubricante. Pero, al crecer la demanda de automóviles, también creció la demanda de mejores lubricantes. Los fabricantes de lubricantes enseguida empezaron a identificar qué aceite crudo resultaba mejor para lubricantes. En la década de 1920, los fabricantes de lubricantes empezaron a procesar sus aceites base para mejorar su rendimiento. En 1923, la Sociedad de Ingenieros de Automotor clasificaron los aceites de motor por su viscosidad: ligero, medio y pesado. En aquel entonces los aceites de motor no contenían aditivos y tenían que ser repuestos cada 1300 – 1600 km.

Aproximadamente en 1930, el procesamiento de disolventes emergió como una tecnología viable para mejorar el rendimiento de los aceites base, con el uso de un disolvente bastante seguro y reciclable.

Los aditivos se empezaron a usar excesivamente en 1947, cuando la API (*American Petroleum Institute*) empezó a categorizar los aceites de motor de acuerdo con la severidad de servicio: regular, premium y uso excesivo. Los aditivos se usaban sólo para alargar la vida de los aceites premium o de uso excesivo.

En 1950 se introdujeron los aceites multigrados, que mejoraron el rendimiento de los aceites ante frío y calor. Durante varias décadas, la industria de lubricantes continuó dependiendo mucho en la tecnología de aditivos para mejorar el rendimiento de sus aceites acabados. La calidad de lubricantes sólo mejoró significativamente cuando la industria elaboró mejores aditivos.

Los lubricantes modernos están formulados de una gama de fluidos de base premium y aditivos de química avanzada. Los fluidos base tienen varias funciones, pero principalmente, el lubricante es el que proporciona una capa fluida que separa las superficies que se mueven y reduce el calor, manteniendo la fricción a un mínimo. Muchas de las propiedades de un lubricante están mejoradas o creadas por la suma de aditivos químicos.

Hoy en día los lubricantes juegan un papel vital en la industria automotriz e industria de bienes de equipo y maquinaria.

## **1.2 Definición de lubricante.**

La palabra **lubricante** procede del latín *lubricus*, que significa escurridizo, resbaladizo, se aplica a las sustancias que sirven para disminuir e incluso evitar el rozamiento entre dos superficies, de las cuales por lo menos una de ellas está en movimiento.

Aceite lubricante: Es un líquido viscoso producto del petróleo o de la refinación primaria de éste.

## **1.9 Clasificación de los lubricantes.**

La clasificación de los lubricante es importante, porque en función al tipo de trabajo al que será sometido el motor se seleccionará el lubricante y a las especificaciones de los lubricantes.

### 1.9.1 De acuerdo a sus propiedades físicas.

Estos lubricantes son clasificados de acuerdo a su estado físico y los requerimientos de trabajo al que son sometidos para evitar la fricción entre piezas metálicas que están en contacto para realizar un trabajo mecánico.

- **Lubricantes líquidos.**

Se les llama aceites y son todos los que permanecen en estado líquido mientras están en funcionamiento. Son los más utilizados debido a que son de fácil manejo y aplicación, tienen un extenso campo de uso y se producen de acuerdo a los requerimientos de funcionamiento; por ejemplo, disminuir el calor generado por el rozamiento. Estos lubricantes se dividen en: lubricantes minerales o petrolíferos y lubricantes sintéticos.

A continuación se muestra la figura de un lubricante líquido:



Fig. 1.1 Lubricante líquido. (Referencia 1)

- **Lubricantes minerales o petrolíferos.**

Se obtienen mediante técnicas modernas de refinación de una gran variedad de crudos que dan como resultado una división de lubricantes de acuerdo a su base química, por ejemplo, parafínicos, nafténicos y mixtos. Sus propiedades físicas dependen de la distribución relativa de sus componentes parafínicos, aromáticos y alicíclicos (generalmente nafténicos).

- **Lubricantes sintéticos.**

Son aquellos que se obtienen a partir de carbono por medio del gas de síntesis, es decir, usando hidrocarburos obtenidos a partir del proceso Fisher – Tropsch.

Un lubricante sintético debe poseer algunas de las siguientes características:

- Buena estabilidad química.
- Resistencia a la oxidación.
- Ser químicamente inerte.
- Índice de viscosidad grande  $I.V. = \frac{I}{M} \frac{dM}{dT}$ ; es decir que su viscosidad no varíe significativamente con los cambios de temperatura.
- Poseer baja temperatura de escurrimiento.
- Ser estable y no volátil en aplicaciones a temperaturas elevadas.
- No ser corrosivo.
- Resistencia a la degradación ocasionada por los esfuerzos mecánicos cortantes.
- Bajo punto de congelación.

Los hidrocarburos más usados como lubricantes sintéticos son los polímeros de etileno, propileno y butileno.

- **Lubricantes semisólidos.**

Se denominan grasas y son aceites con agentes espesantes, que le dan consistencia.

Los lubricantes semisólidos se ven como se muestra en la figura a continuación.



Fig. 1.2 Lubricante semisólido. (Referencia 2)

- **Lubricantes sólidos.**

Son grasas o aceites espesados con un agente solidificante, se les denomina secos y pueden estar formados con polvos, por ejemplo jabón. Éstos disminuyen los requerimientos de sellado, debido a que al ser sólidos, permanecen en el lugar de aplicación por periodos más prolongados al ser aplicados en la superficie de contacto no fluyen a través de líneas de lubricación.

### **1.9.2 De acuerdo a su base.**

Las bases con la que se pueden elaborar los lubricantes son hidrocarburos parafínicos, nafténicos y aromáticos. Dependiendo la base utilizada, el lubricante obtendrá características para su perfecto desempeño.

- **Aceites lubricantes de base parafínica.**

Son aquellos elaborados a base de crudos parafínicos, constituidos en su mayoría por hidrocarburos de cadena abierta y saturada, poseen índices de viscosidad altos, temperaturas de ignición e inflamación altas. Estos lubricantes son apropiados para trabajar en motores de combustión interna, además no se espesan tanto como los nafténicos a bajas temperaturas, son aceptables para motores que tienen que efectuar arranques en frío.

Los hidrocarburos parafínicos con cuatro o menos átomos de carbono tienen características gaseosas a temperatura ambiente. Los hidrocarburos que tienen entre cinco y quince átomos de carbono se presentan en estado líquido y aquellos que están formados por dieciséis átomos de carbono son sólidos con la apariencia de cera, siendo el componente principal de las parafinas sólidas de petróleo.

Los hidrocarburos parafínicos lineales poseen excelentes propiedades de combustión y elevado índice de cetano, por lo que se les prefiere en la elaboración de gasóleo, keroseno y combustóleo.

Las isoparafinas presentan altos índices de octano siendo preferidas en la elaboración de gasolinas particularmente las de aviación.

Los hidrocarburos parafínicos presentes en los aceites lubricantes, se encuentran principalmente formando parte de moléculas complejas que incluyen otras estructuras (aditivos). La presencia de cadenas largas laterales en estas estructuras complejas da lugar a lubricantes estables a la oxidación.

- **Aceites lubricantes de base nafténica.**

Su origen es a base de crudos nafténicos, poseen alto porcentaje de moléculas de hidrocarburos de cadena cerrada, tienen índices de viscosidad bajos, sus temperaturas de inflamación e ignición son bajas.

Estos lubricantes de base nafténica se evaporan de una manera muy limpia de las superficies y después de la lubricación dejan solamente una pequeña cantidad de carbón, evitando de esta forma el atascamiento de los anillos en el caso de los motores de combustión interna.

Los naftenos son compuestos cíclicos o en anillos y están saturados, por lo que sólo pueden reaccionar por reemplazo de hidrógeno con otro elemento.

Los naftenos están divididos de la siguiente forma: ciclobutano  $[(CH_2)_4]$ , ciclopentano ( $C_5H_{10}$ ) y ciclohexano ( $C_6H_{12}$ ).

- **Aceites lubricantes de base aromática.**

Proceden de crudos asfálticos y poseen un bajo índice de viscosidad, normalmente no se emplean en aceites para motores, si no, para transmisión, caja de velocidades, etc.

Los hidrocarburos aromáticos son muy susceptibles a la oxidación con formación de ácidos orgánicos. Esta serie aromática es químicamente activa y suelen denominarse como la serie del benceno.

Los compuestos de bajo punto de ebullición como el benceno ( $C_6H_6$ ) y el tolueno ( $C_6H_5CH_3$ ) se encuentran en pequeñas cantidades en la mayoría de los crudos, aunque existen ciertos crudos en California, Sumatra y Borneo, ricos en productos aromáticos, teniendo mucho valor como materia prima para la elaboración de gasolinas.

## **1.10 Aditivos de los aceites lubricantes.**

Se consideran aditivos a aquellas sustancias que añadidas al lubricante en pequeñas proporciones contribuyen a mejorar sus características básicas.

Los aditivos se clasifican considerando las propiedades que aportan, es decir, si brindan mejorar las propiedades físicas, químicas o fisicoquímicas.

### **1.4.1 Aditivos que actúan sobre las propiedades físicas.**

Los aditivos mejoran las propiedades físicas de los lubricantes, siendo algunas de ellas el índice de viscosidad y el punto de congelación.

#### **1.4.1.1 Mejoradores del índice de viscosidad.**

El índice de viscosidad es un método comúnmente utilizado para medir el cambio de viscosidad de un fluido en relación a la temperatura. Mientras mayor es el IV, menor es el cambio relativo en la viscosidad con la temperatura.

Los aditivos mejoradores de IV, también conocidos como modificadores de viscosidad, son moléculas poliméricas sensibles a la temperatura pues incrementan la viscosidad de un fluido a través de su rango de temperatura útil.

A bajas temperaturas las cadenas se contraen y no impactan a la viscosidad del fluido. A altas temperaturas, las cadenas se relajan y se presenta un incremento en la viscosidad.

Conforme incrementa la temperatura, la viscosidad disminuye. La adición de modificadores sólo reducirá la tasa a la cual desciende la viscosidad.

#### **1.4.1.2 Depresores del punto de congelación.**

El punto de congelación de un aceite es la temperatura más baja, expresada en múltiplos de 3°C [ASTM D-97], a la cual se observa la falta de fluidez de un aceite cuando éste es enfriado y examinado bajo condiciones prescritas.

La acción de los aditivos depresores del punto de congelación consigue actuar sobre la cristalización de las parafinas, impidiendo el crecimiento de estos cristales que forman una malla que impide el flujo del aceite.

Estos aditivos consiguen importantes reducciones de la temperatura de congelación del aceite, ayudando a que el aceite pueda fluir a temperaturas bajas. Actualmente se emplean derivados de poliésteres como aditivos depresores del punto de congelación.

Algunos ejemplos de depresores del punto de congelación son:

- Polímeros y copolímeros de alquil metacrilato.
- Poliacrilamidas.
- Copolímeros de vinil carboxilato – dialquil fumaratos.
- Poliestireno alquilatado.
- Polímeros y copolímeros de alfa – olefinas.

#### **1.4.2 Aditivos que actúan sobre propiedades químicas.**

Las propiedades químicas de los lubricantes que se pueden mejorar con aditivos son la oxidación y la corrosión.

##### **1.4.2.1 Anti – oxidantes.**

En presencia de aire y altas temperaturas el aceite se oxida, su color oscurece y se vuelve más ácido, con la posibilidad de producir lodo. Los aceites base poco

refinados poseen inhibidores naturales o antioxidantes y conforme se refina el aceite va perdiéndolos. Actualmente los aceites base son altamente refinados para poder obtener aceites de alta calidad, por lo tanto, son altamente oxidables.

El desarrollo de aditivos para otras especificaciones ha dado como resultado que alguno de ellos le confiera características anti-oxidantes. Los primeros aceites de calidad "premium" contenían pequeñas cantidades de dialquilditiofosfato de zinc para promover características anti-desgaste y anti-oxidante. Los aceites para motor comenzaron a utilizar mayor cantidad de aditivos detergentes, los cuales contienen componentes sulfurosos que pueden proveer al aceite suficientes características anti-oxidantes.

Algunos aditivos que brindan la acción anti-oxidante son:

- Sulfonatos: actúan por secuestro y solubilidad.
- Dispersantes: actúan por secuestro y solubilidad.
- Fenatos neutros / sales de ácidos débiles: actúan por intercambio de ácidos fuertes por débiles.
- Jabones metálicos: actúan suspendiendo ácidos y residuos del combustible.

#### **1.4.2.2 Anticorrosivos.**

Los aditivos inhibidores de la corrosión son productos que protegen los metales no ferrosos, susceptibles a la corrosión presente en un motor o mecanismo susceptible a los ataques de contaminantes ácidos presentes en el aceite.

Los primeros aditivos inhibidores de la corrosión que se utilizaron en aceites fueron los fosfitos orgánicos. En 1945 la mayoría de los inhibidores a base de fosfitos se sustituyeron por compuestos de azufre y fósforo, los cuales se siguen utilizando en la actualidad.

Los principales inhibidores de la corrosión son:

- Ditiolfosfatos de zinc.
- Ditiocarbonatos metálicos, principalmente de zinc.
- Terpenos sulfurizados.
- Terpenos fosfosulfurizados.

Los de mayor uso comercial son los ditiolfosfatos de zinc.

### **1.4.3 Aditivos que actúan sobre propiedades fisicoquímicas.**

Este tipo de aditivos nos ayudan a prolongar la vida útil del lubricante, ayudándonos a reducir o suprimir algunas formaciones negativas en el aceite debidas al uso.

#### **1.4.3.1 Detergentes.**

Generalmente los aceites de motor se ven expuestos a operar a temperaturas elevadas, que tienden a generar cambios en la naturaleza química del aceite, dando lugar a productos de oxidación.

Los aditivos detergentes son productos capaces de evitar o reducir la formación de depósitos carbonosos en las ranuras de los motores de combustión interna, así como la acumulación de depósitos en faldas del pistón, guías y vástagos de válvulas.

Los aditivos detergentes más importantes son:

- Jabones de ácidos grasos superiores (palmiados y estearatos). Ya no son muy usados ya que actúan promoviendo la oxidación de los aceites.
- Sulfonatos (naturales o sintéticos).
- Fosfatos y tiosulfatos.
- Fenatos (sulfonatos de calcio y bario del octil-fenol).

### **1.4.3.2 Dispersantes.**

Estos aditivos son capaces de dispersar los lodos húmedos originados en el funcionamiento frío del motor.

Estos lodos están constituidos por una mezcla de productos no quemados durante la combustión, carbón, óxidos de plomo y agua.

La función de estos aditivos es recubrir las partículas por medio de fuerzas polares para evitar su aglomeración y formar dichos lodos.

Principales Dispersantes:

- Poliisobutilenos.
- Amidas.
- Poliamidas.
- Dibenzonato de polietilen glicol.
- Poliestearato de polivinilo.
- Boratos de polisacáridos.
- Ácidos organofosfóricos.
- Ácido sulfónico de petróleo.

### **1.4.3.3 Antiespumantes.**

La formación de espuma se da por un incremento de agitación, temperaturas muy bajas, viscosidad alta, presencia de agua, una tensión superficial alta o por una agitación en presencia de aire.

Los agentes antiespumantes son muy útiles debido a que ayudan a romper las burbujas de aceite que se generan, causadas por éstas cuestiones, ayudan a disminuir la tensión superficial del aceite.

El agente antiespumante más efectivo es un tipo de aceite de silicona, constituido por polímeros de silicona que se adiciona al aceite en proporciones inferiores al 0.001%.

### **1.11 Procesos de elaboración de aceites lubricantes.**

La mayoría de los lubricantes provienen del petróleo o crudo.

Para obtener un aceite lubricante del petróleo, el crudo debe ser enviado a una refinería. La refinería saca del petróleo una serie de moléculas de varios tamaños y estructuras que pueden ser utilizadas para elaborar muchos productos. Por ejemplo, gasolina, diesel y queroseno, siendo todos derivados del petróleo.

Las bases lubricantes están relacionadas con las moléculas de hidrocarburos de un tamaño en particular (en el rango de 26 a 40 átomos de carbono). Se necesitan moléculas grandes y pesadas para trabajar como lubricantes.

Las moléculas que componen las gasolinas y el queroseno son muy pequeñas y tienen pocos átomos de carbono en su estructura molecular. La refinería coloca estas moléculas en silos pequeños dependiendo de su peso y tamaño, elimina las impurezas, lo que permite que los productos provenientes del petróleo puedan ser utilizados.

Después de que el crudo es desalado y pasado a través de un horno donde es calentado y parcialmente vaporizado, es enviado a una columna de fraccionamiento. Esta columna opera ligeramente por encima de la presión atmosférica y separa los hidrocarburos con base a la diferencia de sus puntos de ebullición, que depende directamente de su tamaño molecular.

En la columna de fraccionamiento, se aplica calor y se concentra en el fondo de la columna. Los hidrocarburos que ingresan en la columna son evaporados. A medida que los vapores se mueven hacia la parte superior de la columna, se van enfriando hasta que se condensan nuevamente en forma de líquidos. El punto en

el cual ocurre esta condensación varía nuevamente dependiendo en parte en el tamaño molecular.

Extrayendo los líquidos condensados de la columna a diferentes alturas, esencialmente se pueden separar los componentes del crudo basados en su tamaño molecular. Mientras más pequeño sea el hidrocarburo (de 5 a 10 átomos de carbono) más alto llegará en la columna de fraccionamiento. Estos compuestos livianos serán procesados en productos como la gasolina. Los que condensan justo antes de alcanzar la parte superior de la columna, contienen entre 11 y 13 átomos de carbono, serán procesados como queroseno y jet-fuel. Y las más grandes, entre 14 y 25 átomos de carbono, serán procesados como diesel y gas-oil.

Los compuestos con contenido de carbono entre 26 y 40 átomos son los que más preocupan a los tribólogos. Esta es la materia prima utilizada para la creación de los aceites lubricantes. En el fondo de la columna se encuentran los hidrocarburos más grandes y pesados (40 o más átomos de carbono) los cuales son usados como productos para obtener asfaltos.

Después del proceso de destilación, los compuestos deben ser refinados para los fines previstos. Esta etapa del proceso se hace para reducir la tendencia de la base lubricante a envejecerse (oxidarse) en servicio y también para mejorar sus características de viscosidad/temperatura. Esto se puede hacer de dos formas. La primera involucra procesos de separación, donde se obtienen dos productos: uno deseado, como son las bases lubricantes, y otro indeseado, como son los subproductos. La segunda, que se está convirtiendo en la favorita, es un proceso de conversión. Este proceso se desarrolla convirtiendo las estructuras moleculares indeseables en estructuras deseables con el uso de hidrógeno, calor y presión.

La siguiente figura muestra el tratamiento por refinación del petróleo.

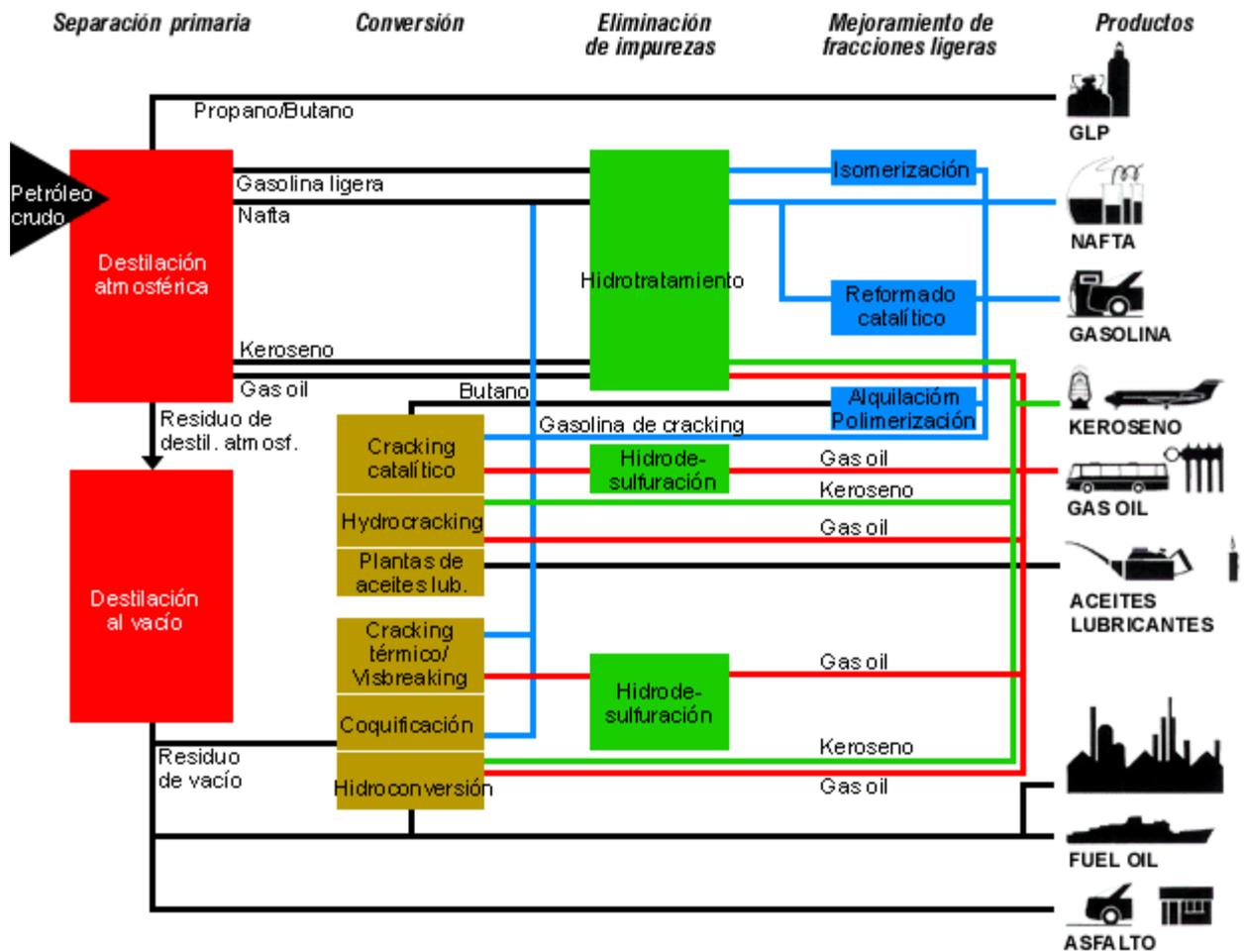


Fig. 1.3 Tratamiento por refinación del petróleo. (Referencia 3).

### 1.5.1 Procesos de extracción de una base lubricante.

En la siguiente figura muestro un diagrama a bloques de la extracción de bases lubricantes, este proceso es fundamental para obtenerlo, después de éste describo cada una de sus etapas.



Fig. 1.4 Diagrama a bloques de la extracción de bases lubricantes. (Referencia 4).

#### 1.5.1.1 Destilación.

La destilación es la primera etapa en el refinado de petróleo; se lleva a cabo en una torre de destilación donde la cabeza tiene una presión ligeramente superior a la atmosférica.

La siguiente figura muestra una torre de destilación usada en el refinamiento de petróleo.



Fig. 1.5 Torre de destilación. (Referencia 5).

En ésta etapa del proceso por lo general se realizan cuatro extracciones, donde se obtiene lo siguiente:

4<sup>a</sup> extracción: Gasóleos muy pesados.

3ª extracción: Gasóleos comunes.

2ª extracción: Querosenos.

1ª extracción: Naftas pesadas y Naftas ligeras.

Los gases que salen por la cabeza de la torre son butano, propano y otros gases más ligeros.

Esta etapa se aplica de la misma forma para el proceso de conversión.

#### **1.5.1.2 Desasfaltado.**

El desasfaltado con propano toma el residuo del fondo de la columna (el más pesado, el de las moléculas más grandes) y lo separa en dos productos: alquitrán y compuestos que son similares a las bases lubricantes destiladas, pero que tienen un mayor punto de ebullición. Este producto es llamado aceite desasfaltado y puede ser refinado de la misma manera que las bases lubricantes destiladas.

#### **1.5.1.3 Extracción con solventes.**

La extracción con solventes es el término usado para eliminar la mayoría de los compuestos aromáticos y constituyentes indeseables del aceite por medio de extracción líquida. Los solventes comúnmente usados contienen fenol, furfural y dióxido de azufre. Las bases lubricantes obtenidas son los refinados (referido a aceites neutros) y un extracto rico en contenido de aromáticos, el cual es muy buscado como aceite de proceso o fuel-oil.

#### **1.5.1.4 Desparafinado.**

Después de la extracción con solventes, los refinados son desparafinados para mejorar su fluidez a bajas temperaturas, su resistencia a la oxidación y adecuar su índice de viscosidad. Este proceso genera dos productos: un subproducto tipo cera que es casi completamente parafínico y un aceite desparafinado, que contiene parafinas, naftenos y algunos aromáticos. Este aceite desparafinado es

la materia prima para muchos de los lubricantes, sin embargo, existen otros procesos que deben llevarse a cabo para obtener un producto de calidad Premium.

#### 1.5.1.5 Hidrofinalizado.

El hidrofinalizado modifica los compuestos polares en la base lubricante por medio de una reacción química donde se utiliza hidrógeno. Después de este proceso, un observador podría ver un color más claro y una mejora en su estabilidad química. La calidad final de esta base lubricante es determinada por la severidad del proceso de hidrofinalización en cuanto a la temperatura y presión utilizada durante el mismo.

#### 1.5.2 Procesos de conversión.

El petróleo crudo es una mezcla de diversas sustancias, las cuales tienen diferentes puntos de ebullición. Este proceso, como el anterior tiene la función de separar los productos petrolíferos mediante los procesos que se muestran en la figura siguiente.

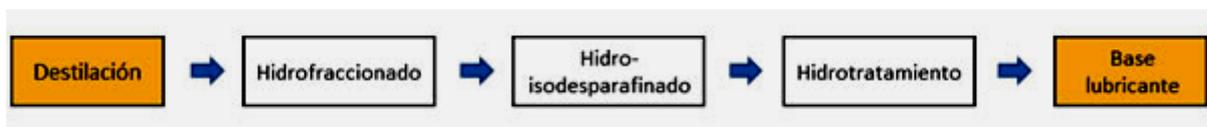


Fig. 1.6 Separación de productos petrolíferos. (Referencia 6).

### 1.5.2.1 Destilación.

Se lleva a cabo del mismo modo como se mencionó en el proceso anterior.

### 1.5.2.2 Hidrofraccionado.

En este proceso de refinación, los destilados están sujetos a una reacción química con hidrógeno en presencia de un catalizador a alta temperatura y presión (420°C y 3000 psi). Los anillos aromáticos y nafténicos son rotos, abiertos y unidos en una estructura isoparafínica utilizando hidrógeno. La reacción con el hidrógeno también ayuda a la eliminación de agua, amoníaco y sulfuro de hidrógeno.

### 1.5.2.3 Hidroisodesparafinación catalítica.

Durante la hidroisodesparafinación catalítica, al igual que en el hidrofraccionado, se utiliza una unidad de hidrogenación con un catalizador específico para convertir las parafinas lineales o normales, en estructuras de parafinas ramificadas (isoparafinas), las cuales tienen mejores **características** que las lineales (isoparafinas: mismo peso molecular, diferente estructura química).

En la figura a continuación se muestran las estructuras obtenidas en esta etapa del proceso.

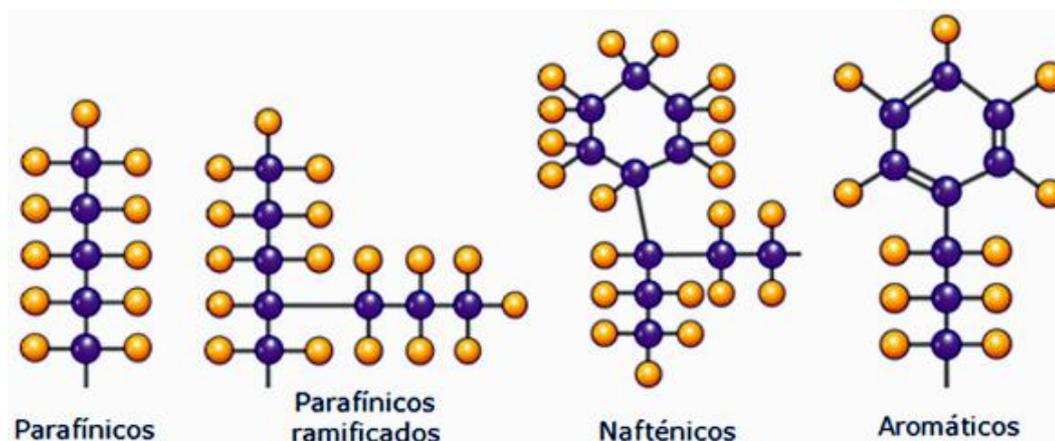


Fig. 1.7 Estructuras químicas obtenidas en el proceso. (Referencia 7).

### 1.5.2.4 Hidrotratamiento.

Debido a que en los dos procesos previos está involucrado el rompimiento de los enlaces químicos entre dos átomos de carbono, es necesario convertir a saturada cualquier molécula insaturada. Esto se logra fácilmente introduciendo más hidrógeno en el proceso. Las moléculas saturadas son más estables y capaces de resistir mejor los procesos de oxidación que las moléculas insaturadas.

En la siguiente figura se muestran las etapas para la obtención de productos derivados del petróleo.

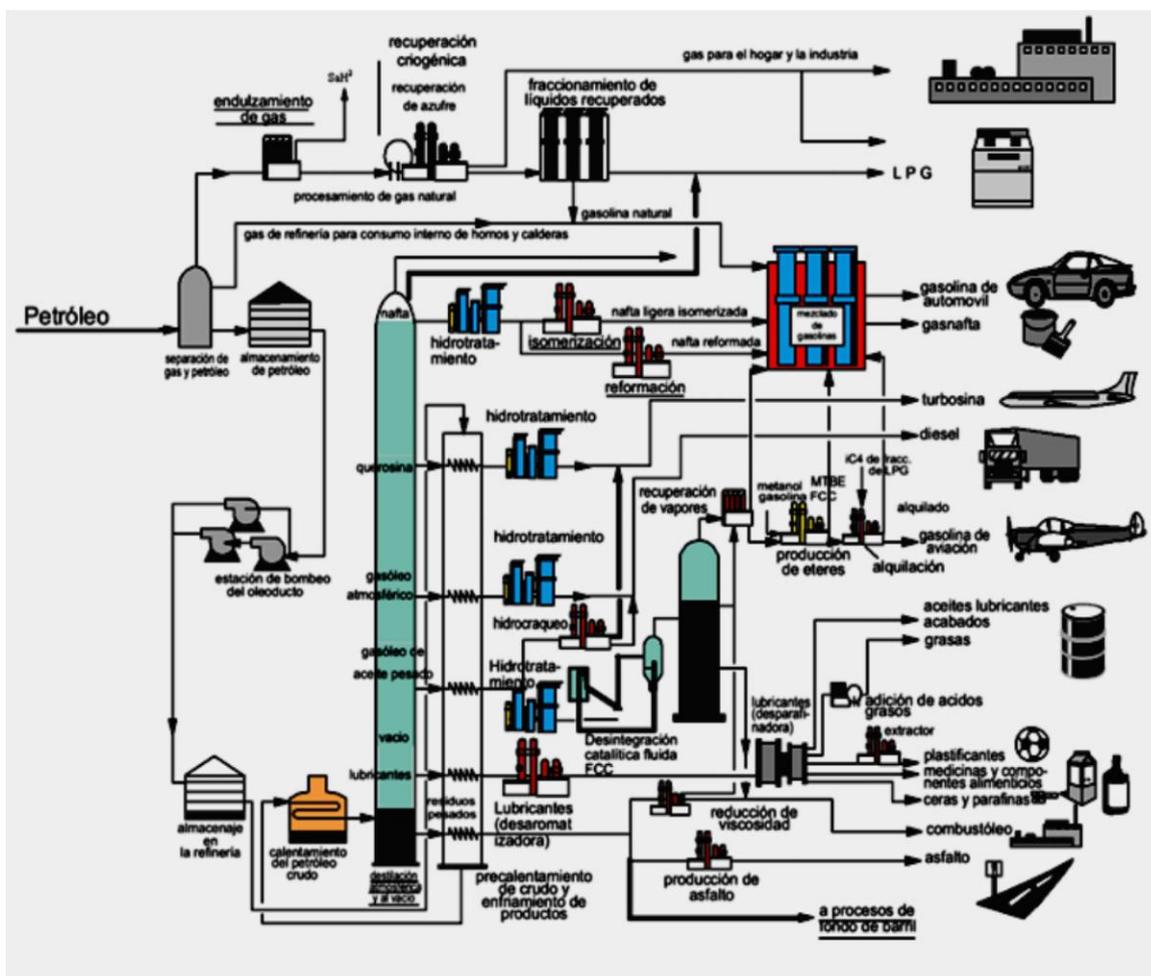


Fig. 1.8 Etapas para la obtención de productos derivados del petróleo. (Referencia 8).

## 1.6 Algunas características principales de los aceites lubricantes.

El aceite lubricante debe poseer las siguientes características para brindar una protección óptima a la superficie que lubricará:

- Viscosidad
- Índice de viscosidad
- Temperatura de inflamación
- Temperatura de escurrimiento
- Color
- Densidad

### **1.6.1 Viscosidad.**

La viscosidad es la propiedad más importante de los aceites lubricantes.

La viscosidad de un líquido puede definirse como la resistencia que tiene a fluir y también como una medida de rozamiento entre las moléculas de éste. Esto depende de las fuerzas intermoleculares que se desarrollan en el interior del líquido.

La viscosidad de un fluido tan complejo como es un aceite mineral, puede verse modificada por las variaciones internas en su composición, determinadas por el origen, refinación del petróleo y por otro lado las condiciones externas, como son la presión y temperatura influyen sobre las fuerzas moleculares.

La viscosidad de un aceite depende fundamentalmente de su naturaleza o base (nafténico, parafínico y mixto).

Los crudos que menos varían su viscosidad con la temperatura son los parafínicos., en cambio los crudos nafténicos varían su viscosidad con la temperatura, pero si se refinan con disolventes se asemejan más a los parafínicos, pero no llegan a igualarlos.

A un aceite lubricante automotriz se le determina la viscosidad de acuerdo a la metodología de la norma ASTM D 445–97.

La viscosidad es la propiedad más importante a tener en cuenta para la elección de un aceite lubricante, ya que si posee la viscosidad adecuada de acuerdo a las condiciones bajo las cuales trabajará, éste garantiza la correcta lubricación de las partes móviles del motor.

### **1.6.2 Índice de viscosidad.**

Es el valor que indica la variación de viscosidad de un aceite con la temperatura. Para expresar ésta propiedad del aceite se ha ideado un sistema denominado “índice de viscosidad” que fue desarrollado en 1929 por Dean y Davis.

En este método los aceites parafínicos de Pensilvania caracterizados por variar muy poco su viscosidad con la temperatura, se les asignó un índice de viscosidad de 100, mientras que a los nafténicos del Golfo de México, cuya viscosidad varía mucho con la temperatura se les dio el índice 0. El método consiste en comparar la viscosidad a 38°C (100°F) del aceite que se analiza con las que tienen los aceites de referencia de índice de viscosidad 100 y 0, que presentan su misma viscosidad a 99°C (210°F).

Para determinar el índice de viscosidad ASTM D-2270-98, se compara la variación de viscosidad que ha sufrido un aceite a dos temperaturas distintas y fijas, 40°C (104°F) y 100°C (212°F), estas temperaturas fueron establecidas por la norma ISO (International Standards Organization) a partir de 1972.

Los índices de viscosidad elevados, es decir, superiores a 85, tienen gran influencia en la lubricación de motores de combustión interna, permitiendo un arranque más fácil, en especial a bajas temperaturas ambientales.

### **1.6.3 Temperatura de inflamación.**

La temperatura de inflamación de un aceite determina la temperatura mínima a la cual los vapores desprendidos se inflaman en presencia de una llama o chispa

que va saltando de un modo continuo. Se puede operar en copa abierta para el caso de puntos de inflamación elevados de acuerdo al procedimiento de la norma ASTM D 93–01, O en copa cerrada para aceites más ligeros o de más baja inflamabilidad de acuerdo al procedimiento de la norma ASTM D 92–01.

La inflamabilidad de un aceite da una orientación sobre la volatilidad del mismo, posibles contaminaciones, diluciones o riesgos de incendio y procedimientos raros en la elaboración de los aceites.

La determinación de la temperatura de inflamación de un aceite sirve para su identificación y clasificación, éste punto nos sirve como indicativo si el aceite es una mezcla de aceite pesado y ligero, un destilado simple o un simple residuo.

#### **1.6.4 Temperatura de escurrimiento.**

Es aquella que indica cuál es la mínima temperatura a la que fluye el aceite por los circuitos de lubricación, para su determinación se emplea el método establecido en la norma ASTM D 97–96.

La temperatura de escurrimiento más baja la presentan los aceites nafténicos, siguiendo los mixtos (parafínicos–nafténicos), los aromáticos y parafínicos. Cuanto más fluidos sean, su temperatura de escurrimiento será mayor, es decir, la temperatura más baja a la cual un aceite puede tener fluidez.

#### **1.6.5 Color.**

El análisis de color en aceites ha sido determinado por diferentes especialistas en lubricación para realizar una valoración cualitativa de los aceites estudiados.

El procedimiento más usual para determinar el color es el de la norma ASTM D 1500–98 con el que se comparan vidrios patrón de distintos colores con el aceite a medir y se establece una numeración del 0 al 8 en sentido creciente. En

productos muy claros como son los aceites aislantes, aceites blancos técnicos, etc.; la escala ASTM es incapaz de matizar diferencias por lo que se emplea el colorímetro Saybolt, con una escala que comprende desde -16 o blanco amarillento hasta +30 o blanco no diferenciable del agua.

#### **1.6.6 Densidad.**

La densidad de los aceites lubricantes está relacionada con la naturaleza del crudo y el punto de destilación de la fracción, para fracciones equivalentes los aceites parafínicos son de menor densidad y los aromáticos de mayor densidad, los nafténicos tienen densidades intermedias.

La densidad en los aceites es inferior al siguiente rango 0.855 – 0.934, lo cual indica que son menos densos que el agua.

La determinación de la densidad es de gran utilidad por que todos los productos líquidos del petróleo son manejados y vendidos en base volumétrica, por galón, barril, pipa, etc.

La densidad se determina mediante el procedimiento indicado en la norma ASTM D 4052-96, ésta propiedad tiene importancia en el campo comercial, debido a que permite convertir el volumen en masa e indica el tipo de crudo del que procede el aceite.

# Capítulo 2

**Importancia de los aceites lubricantes en el motor de combustión interna del ciclo Otto.**

**2.1 Características del aceite lubricante.**

**2.2 Sistemas de lubricación.**

**2.2 Partes del motor a lubricar.**

**2.3 Sistemas de lubricación específicos.**

**2.4 Otros elementos del sistema de lubricación.**

## Capítulo 2. Importancia de los aceites lubricantes en el motor de combustión interna del ciclo Otto.

La importancia del aceite lubricante en el motor se debe a que forma una película protectora en cada una de las superficies de las piezas que están en movimiento entre sí para evitar el desgaste excesivo, prematuro y preservar la vida útil del motor de combustión interna.

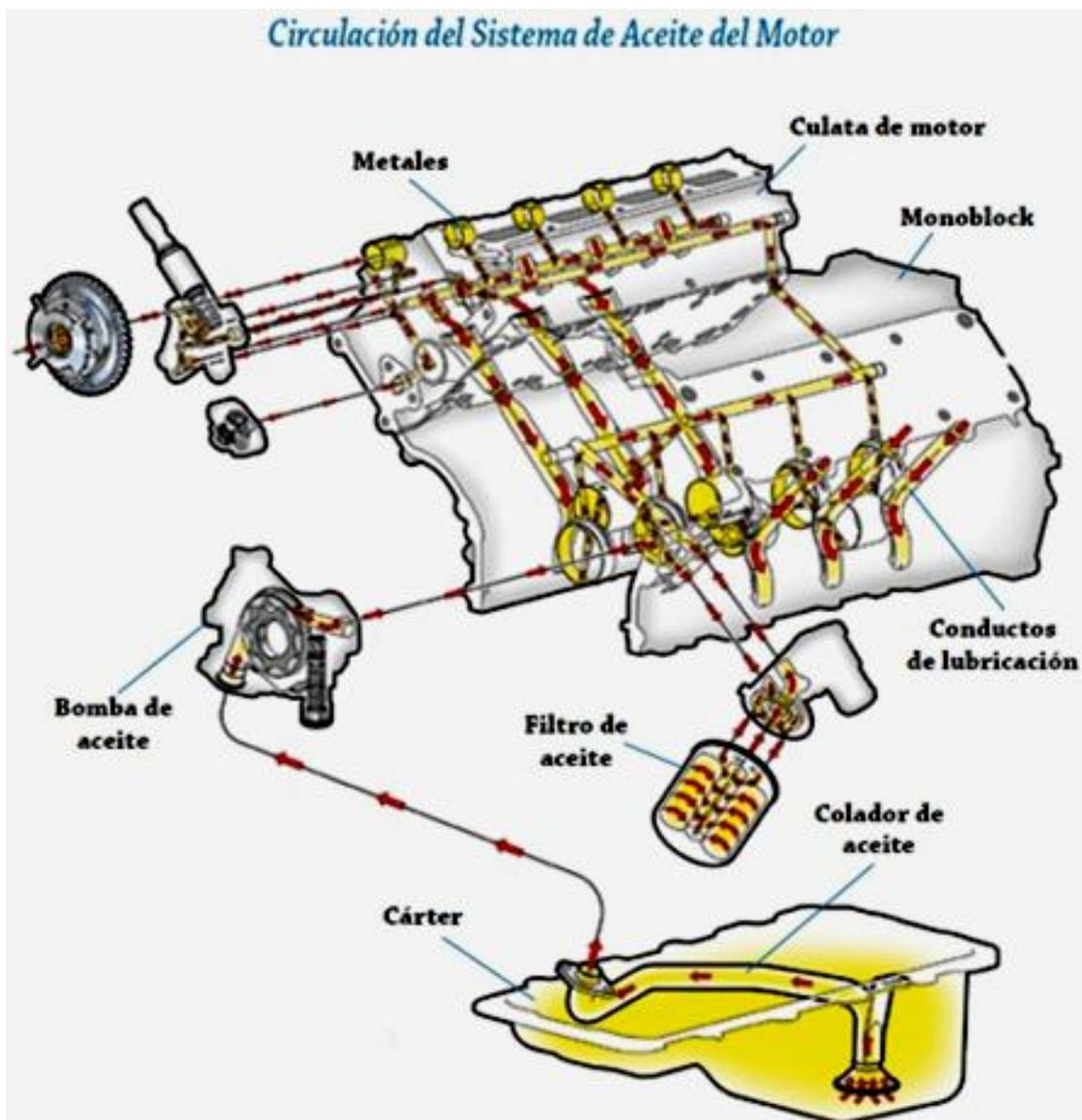


Fig. 2.1 Lubricación en un motor de combustión interna del ciclo Otto. (Referencia 9).

### 2.1 Características del aceite lubricante.

Una de las características básicas que debe cumplir el lubricante es reducir la fricción sólida.

El rozamiento metal sobre metal (frotamiento en seco) conduce rápidamente al gripaje (soldadura – fundición a una sola pieza debida a un calentón), para evitarlo se debe establecer una película de aceite entre las dos superficies para que se desplacen una sobre la otra, a esto se le llama lubricación hidrodinámica.

La película de aceite debe ser lo suficientemente fluida en frio para no producir un aumento de resistencias, pero lo suficientemente viscosa a altas temperaturas para conservar el espesor requerido para funcionar en caliente. Esta función está determinada por el grado de viscosidad.



Fig. 2.2 Gripado pistón–camisa. (Referencia 10).

(El gripado se suele producir en la parte alta del cilindro, donde las temperaturas son mucho más extremas).

La característica detergente del aceite ayuda a controlar los depósitos sobre las partes calientes en el motor producidas por la combustión y la descomposición de éste.

Para evitar el taponamiento de los conductos, debido a las características dispersantes del aceite, éste mantiene en dispersión coloidal las partículas sólidas provenientes de la combustión, desgastes, partículas introducidas en el aire de admisión, etc.

El aceite proporciona alcalinidad al motor, es decir, neutraliza los productos ácidos provenientes de la combustión u oxidación.

Para reducir los desgastes corrosivos en el motor, el aceite proporciona la característica de inhibidor de la corrosión, evitando la creación de pares galvánicos que son los responsables de estos desgastes.

## **2.2 Sistemas de lubricación.**

El sistema de lubricación es quien se encarga de mantener lubricadas todas las partes móviles del motor.

La función de éste es permitir que se forme una capa protectora de aceite en todas las partes móviles, para evitar el contacto metal con metal, además proporcionar refrigeración en las partes donde hay alta temperatura al intercambiar calor con el medio ambiente cuando circula por zonas de temperatura baja y funciona como agente de limpieza al acarrear las impurezas debida a la fricción, siendo retenidas por un imán en la cubeta de aceite del motor llamada cárter y un cedazo en la bomba de aceite.

El sistema de lubricación de un motor de combustión interna consta básicamente de lo siguiente:

- Bomba de circulación.
- Regulador de presión.
- Filtro de aceite.
- Radiador de aceite.
- Conductos internos y externos (por donde circula el aceite).

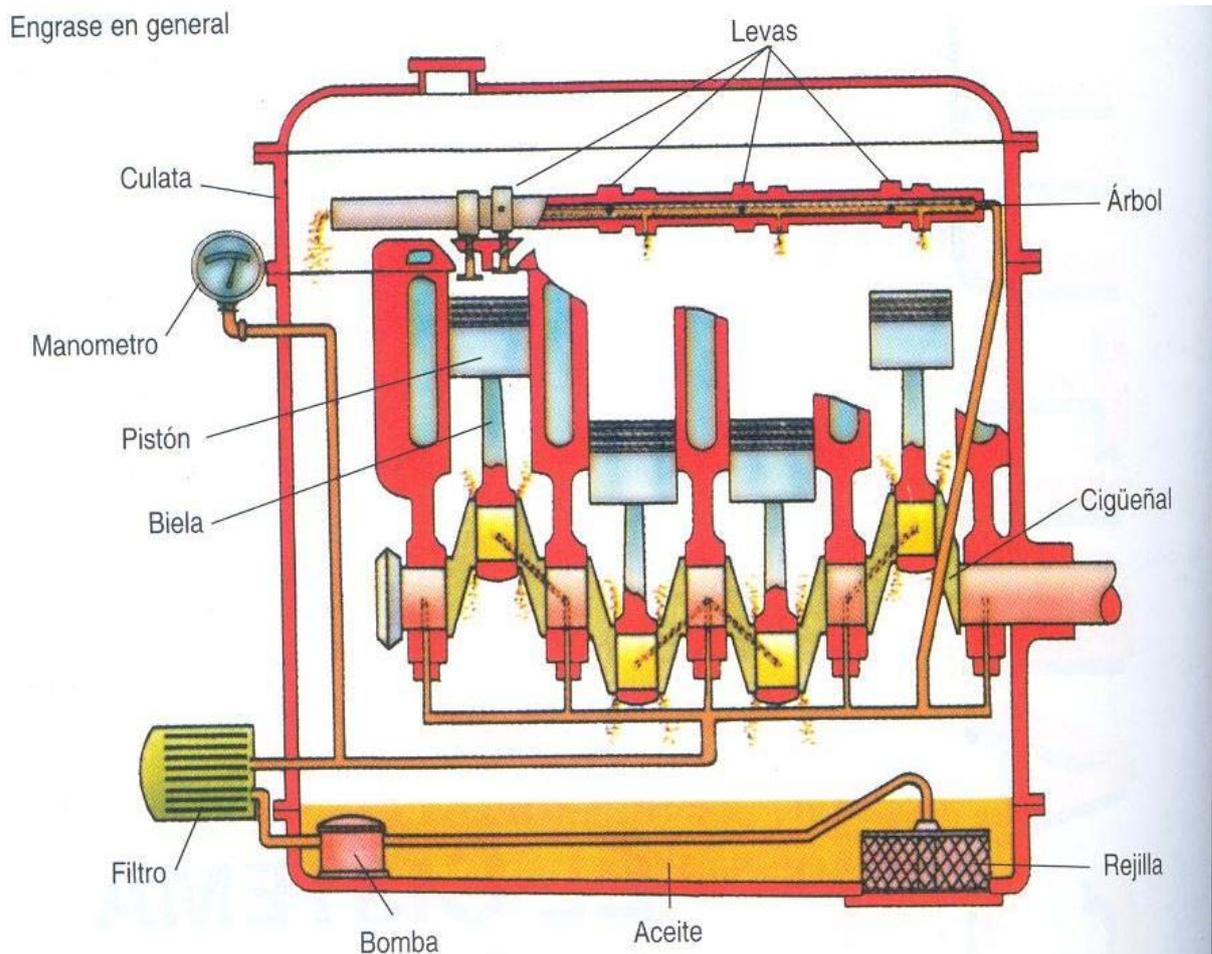


Fig. 2.3 Sistema de lubricación de un Motor de combustión interna. (Referencia 11).

### **2.4.1 Funcionamiento del sistema de lubricación.**

La bomba toma el aceite del depósito del motor llamado cárter normalmente y lo envía al filtro a una presión regulada, se distribuye a través de conductos internos y externos a todas las partes móviles del motor que se deben lubricar o enfriar, posteriormente el aceite llega al radiador donde extrae parte del calor y de ahí regresa al cárter para comenzar nuevamente su ciclo.

Para tener un correcto funcionamiento de este sistema, se debe inspeccionar que no haya fugas, que tenga la temperatura anormal (temperatura de trabajo) o pérdidas de presión por fugas.

Las fallas que ocurren en el sistema de lubricación, generalmente son debidas a la falta de aceite (genera baja presión), consumos elevados de aceite, altas temperaturas en el aceite debidas a fallas en el sistema de refrigeración, mal funcionamiento del motor, degradación del aceite, fallas en la bomba de circulación de aceite, entre otras.

### **2.4.2 Misión del sistema de lubricación.**

El funcionamiento del [motor](#) requiere el acoplamiento de distintas piezas que llevan diferentes movimientos entre sí.

Todo movimiento de dos piezas en contacto y sometida a presiones, producen un rozamiento que depende tanto del estado (calidad de acabado superficiales), como de la naturaleza de las superficies en contacto (materiales empleados).

Las superficies, por muy lisas y acabadas que parezcan, siempre presentarán, una serie de rugosidades que al estar en contacto con otras, generan tal cantidad de calor, que ocasiona desgaste y aumento de temperatura que podrá provocar la fusión (gripaje) de los metales en sus respectivas zonas superficiales de acoplamiento.

Para reducir el rozamiento en los acoplamientos metálicos móviles se interpone entre ambas superficies, una fina película de aceite, de tal manera que forme una cuña de aceite que mantenga separada e impida el contacto entre sí.

## 2.5 Partes del motor a lubricar.

Los elementos que se deben lubricar son los órganos en rotación, deslizantes y oscilantes del motor.

### 2.5.1 Órganos en rotación.

– Apoyos y las muñequillas del cigüeñal.

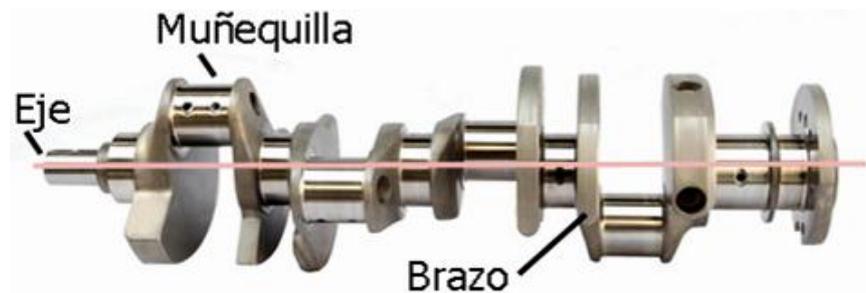
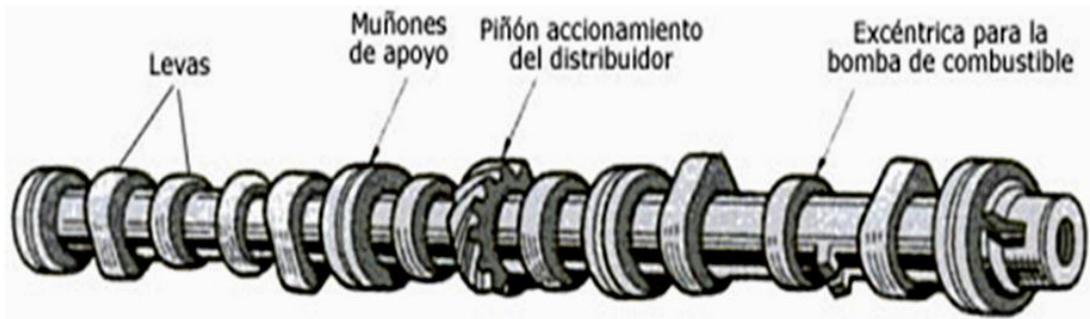


Fig. 2.4 Cigüeñal. (Referencia 12).

– Muñones de apoyos del árbol de levas y las levas.

Fig  
2.5  
Árbol  
de



levas. (Referencia 13).

– Engranajes de mando del mecanismo del encendido.

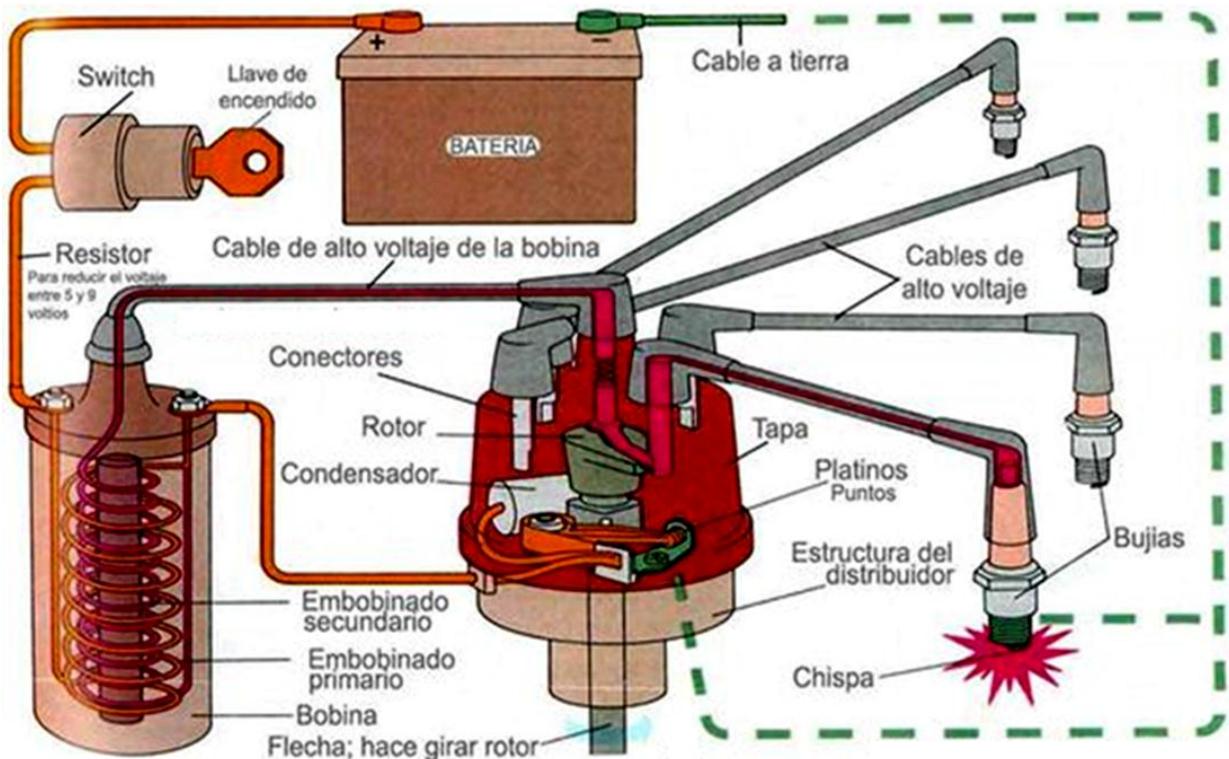


Fig. 2.6 Sistema de encendido. (Referencia 14).

– Engranajes o la cadena de la distribución.

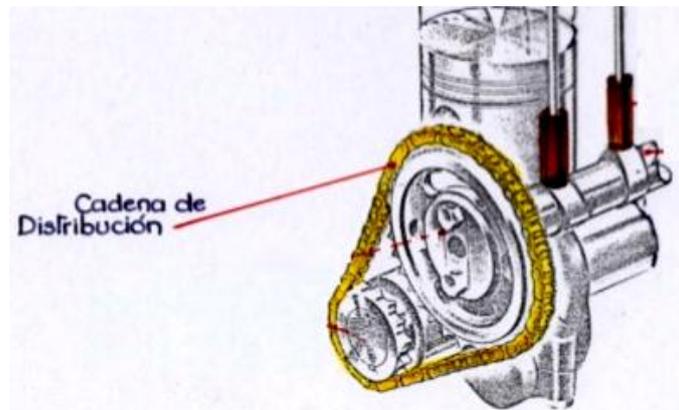
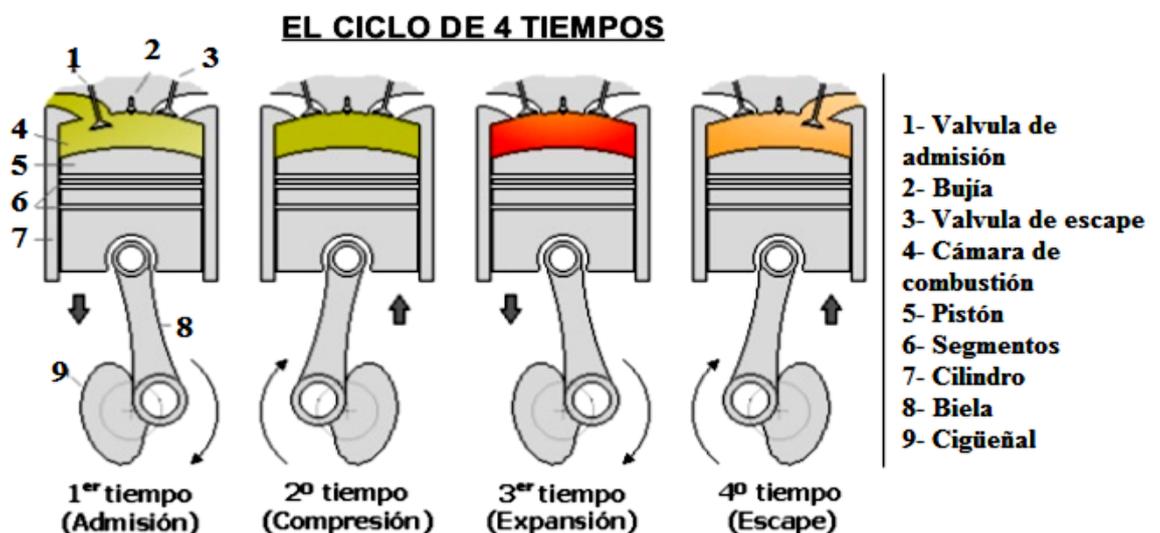


Fig. 2.7 Cadena de distribución. (Referencia 15).

### 2.5.2 Órganos deslizantes.

- Los pistones en los cilindros.
- Los tanques y las válvulas en sus guías.



**1º) Admisión:** entra la mezcla de gasolina y aire. Baja el pistón

**2º) Compresión-ignición:** se comprime la mezcla al subir el pistón. Explota por la chispa de una bujía (los de gasolina) o por comprimirlo mucho (diesel)

**3º) Expansión:** la explosión hace bajar fuertemente el pistón, produciendo trabajo.

**4º) Escape:** al subir el pistón por inercia manda los gases de la explosión al exterior (por el tubo de escape)

Fig. 2.8 Ciclo de cuatro tiempos del motor de combustión interna. (Referencia 16).

### 2.5.3 Órganos oscilantes.

- Los pies de bielas y balancines alrededor de sus ejes.

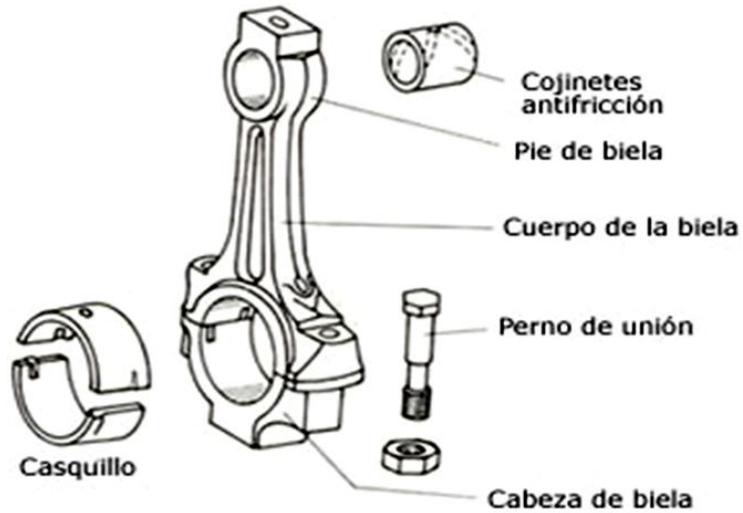


Fig. 2.9 Componentes de la biela. (Referencia 17).

## 2.6 Sistemas de lubricación específicos.

La lubricación se da por mezcla, bajo presión, por proyección, a presión total o integral y por cárter seco.

### 2.6.1 Lubricación por mezcla

Este sistema de lubricación es empleado en motores de dos tiempos. Consiste en mezclar con la gasolina una cierta cantidad de aceite (del 2 al 5%).

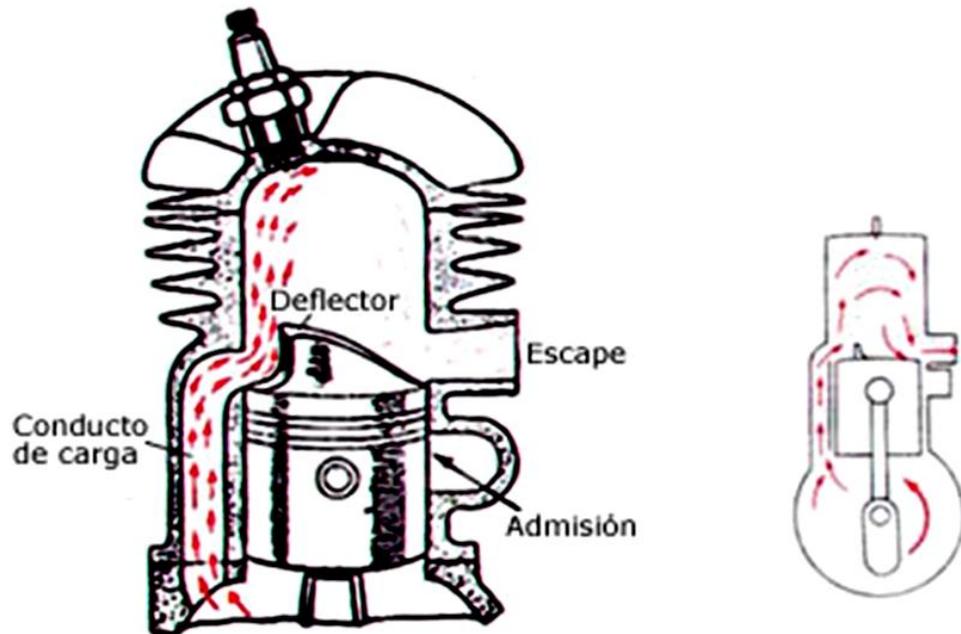


Fig. 2.10 Lubricación por mezcla en motores de dos tiempos. (Referencia 18).

Este sistema de engrase tiene el inconveniente de formar carbón en la cámara de compresión y en la cabeza del pistón, al quemarse el aceite.

La ventaja de este sistema es que el aceite no necesita ser refrigerado. Aún así el engrase es imperfecto y los motores tienen tendencia a griparse, sobre todo cuando el motor está en marcha y el vehículo inmovilizado.

Con el fin de evitar algunos de estos inconvenientes, determinados motores de dos tiempos llevan el aceite en un depósito separado, donde un dosificador envía el aceite al carburador, según las necesidades de cada momento.

### 2.6.2 Lubricación a presión.

El sistema de lubricación a presión permite dosificar la circulación de aceite y la evacuación del calor.

El aceite se encuentra alojado en el cárter inferior. Una bomba sumergida en dicho aceite, lo aspira después de haber pasado por un colador y lo manda a presión hacia el filtro de aceite. Después del filtrado, se conduce a través de una rampa principal hasta los puntos que requieren lubricación. El aceite que rebosa de las piezas, regresa al cárter por gravedad.

El movimiento giratorio de ciertos elementos hace que el aceite salga despedido, lo que ocasiona salpicaduras que favorecen el engrase de diversos puntos donde las canalizaciones de engrase no llegan (engrase por proyección).

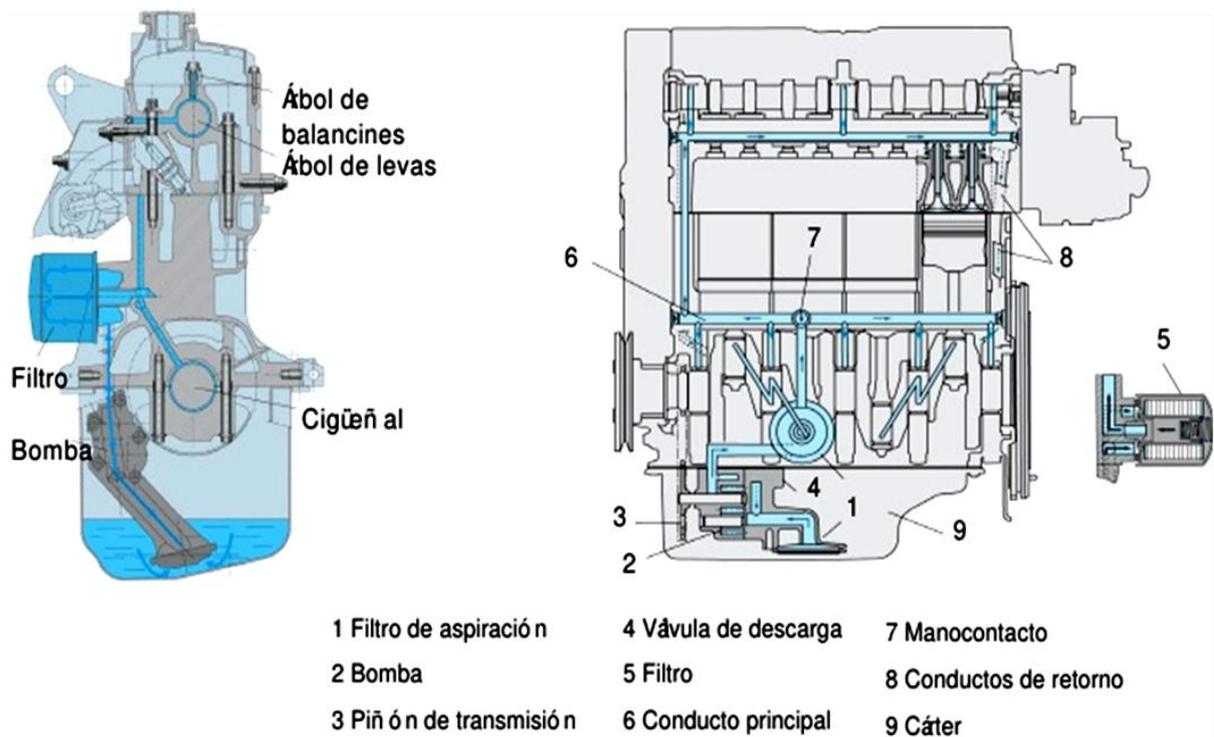


Fig. 2.11 Esquema típico de un sistema de lubricación a presión. (Referencia 19).

### 2.6.2.1 Elementos lubricados bajo presión.

- El cigüeñal – cabeza de biela.
- El árbol de levas (apoyos).
- El eje de balancines.

El cigüeñal está taladrado en toda su longitud, penetrando el aceite por su interior, para realizar el engrase en los codos y apoyos.

El árbol de balancines está taladrado en toda su longitud, con puntos de salida en los apoyos y en la zona de giro de los balancines.

### **2.6.3 Elementos lubricados por proyección.**

- Las camisas.
- Los pistones y sus ejes.
- Las levas y el árbol de levas.
- La distribución (mando).
- Las colas de válvulas.
- Las varillas de los balancines.
- Los taqués.

### **2.6.4 Lubricación a presión total o integral.**

Existe un sistema de lubricación denominado a presión total, siendo una mejora del sistema de lubricación a presión.

Es equivalente al engrase a presión, incrementando el engrase bajo presión del bulón del pistón, gracias a un taladro practicado en el cuerpo de la biela.

### **2.6.5 Lubricación por cárter seco.**

En los motores revolucionados el aceite está sometido a altas presiones y temperatura, no refrigerándose éste de una forma rápida y eficaz.

La función y partes a lubricar, es similar al sistema anterior; la diferencia consiste en que el cárter no hace las funciones de depósito de aceite. El aceite se almacena generalmente aparte, pasando por un depósito refrigerador, para ello, una bomba recoge el aceite que cae al cárter a través del colador y lo envía al depósito, otra bomba, desde el depósito lo envía al sistema de lubricación.

Al poseer un depósito de mayor capacidad que el cárter, el aceite tiene más tiempo para evacuar el calor y su temperatura media de [trabajo](#), es menor.

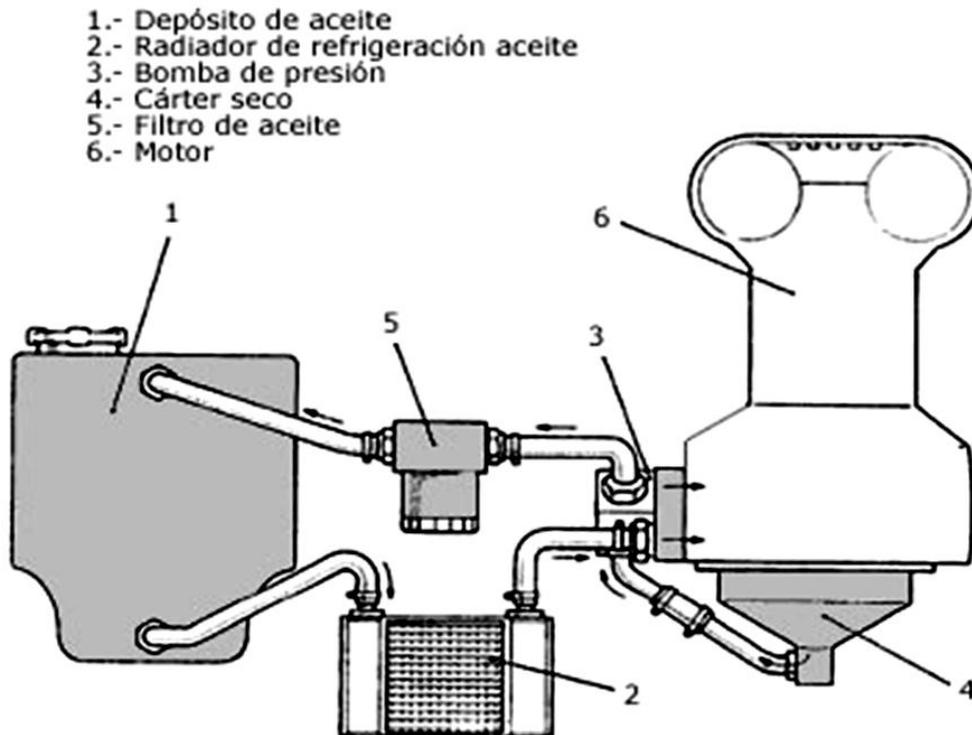


Fig. 2.12 Esquema de lubricación por cárter seco. (Referencia 20).

## 2.5 Otros elementos del sistema de lubricación.

Entre otros elementos que pertenecen al sistema de lubricación se encuentran las bombas de lubricación (de engranaje, rotor y paletas), el manómetro, la válvula limitadora de presión y el filtro de aceite.

## 2.5.1 Bombas de lubricación.

Estas son las encargadas de recoger el aceite del cárter del motor y enviarlo a presión a todo el sistema de lubricación. Esta presión se mide en Kg/cm<sup>2</sup> (bares). Generalmente reciben el movimiento del árbol de levas, mediante un engranaje, dependiendo la presión que envía del número de revoluciones por minuto del motor.

Los tipos de bomba más utilizados son:

- Bomba de engranaje.
- Bomba de rotor.
- Bomba de paletas.

### 2.5.1.1 Bomba de engranaje.

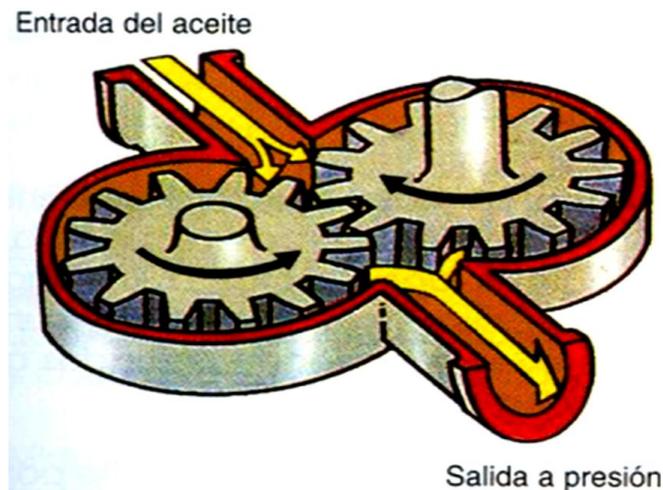


Fig. 2.13 Bomba de engranajes. (Referencia 21).

Es la más utilizada en la [actualidad](#). Está formada por dos ruedas dentadas, engranadas entre sí (piñones) con un mínimo de holgura, uno de los cuales recibe el movimiento del árbol de levas, transmitiéndolo al otro, que gira.

Ambos están alojados en una carcasa sobre la que los piñones giran ajustados. Los piñones, al girar, arrastran el aceite entre sus dientes y la carcasa sobre la

que ajustan y al llegar a la otra parte, el aceite sale por la tubería de la parte superior.

### 2.5.1.2 Bomba de rotor.

Es un sistema de engranajes internos.

Como uno de los engranajes (rotor interior), tiene un diente menos que el otro, queda un hueco siempre entre ambos, que se llena de aceite debido al vacío creado cuando disminuye este hueco. El aceite se manda a presión por la salida.

El eje del rotor interior recibe el movimiento del árbol de levas, a través de un piñón.

Se utiliza menos que las de engranajes exteriores por enviar menos presión.

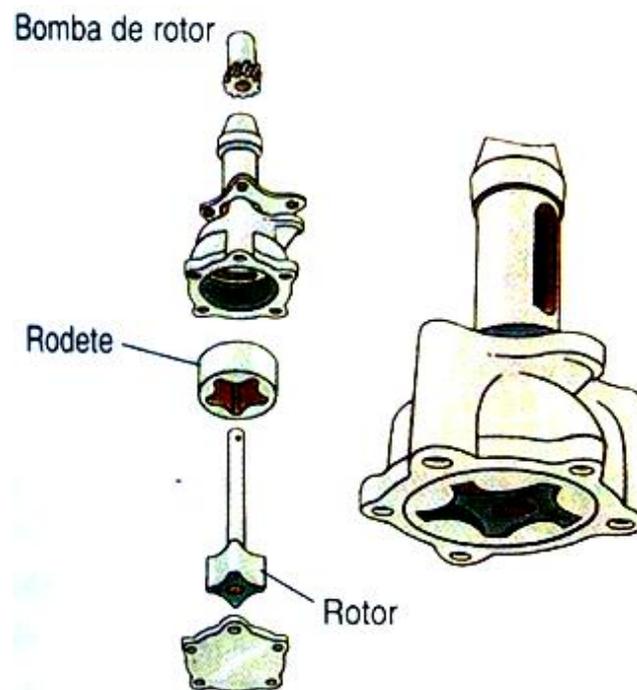


Fig. 2.14 Bomba de rotor. (Referencia 22).

### 2.5.1.3 Bomba de paletas.

El cuerpo de la bomba de paletas tiene interiormente forma cilíndrica.

Dos orificios desembocan en el cuerpo: el de entrada de aceite y el de salida.

Un rotor excéntrico se aloja en la parte cilíndrica. Este rotor está diametralmente ranurado y la ranura recibe dos paletas que giran libremente. Un resorte intermedio mantiene, a poca presión, las paletas contra el cuerpo cilíndrico. La misión del muelle es mantener la estanqueidad a pesar del desgaste de las paletas debido al roce con las paredes del cuerpo de la bomba.

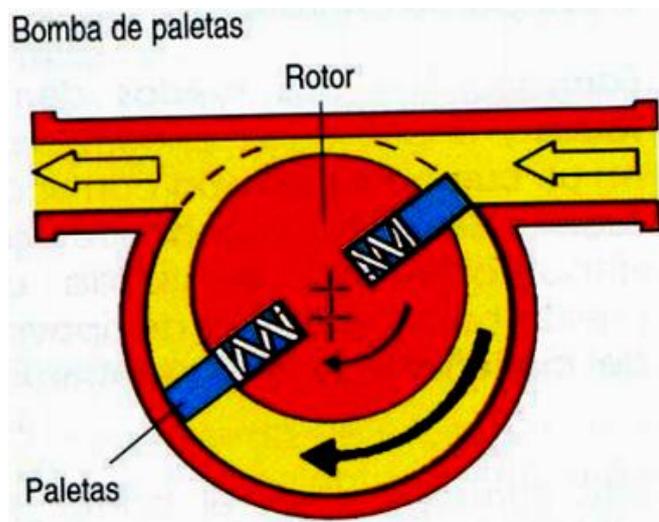


Fig. 2.15 Bomba de paletas. (Referencia 23).

Al girar el motor, el rotor lo hace en el sentido de la flecha.

El volumen aumenta, ocasionando una depresión o vacío. El aceite se encuentra entonces aspirado en este volumen.

Cuando el volumen tiende al máximo, la paleta 2 tapa el orificio de entrada del aceite. La rotación continúa y esta paleta 2 hace simultáneamente lo siguiente:

- Impulsar el volumen hacia adelante, al orificio de salida.
- Crear detrás, un nuevo volumen (A').

El ciclo se realiza así mientras el motor está en funcionamiento y el aceite se encuentra impulsado en las canalizaciones del sistema de lubricación.

### 2.5.2 Manómetro.

El manómetro es un aparato encargado de medir en cada momento la presión del aceite en el interior del circuito de engrase y se conecta a la canalización principal.

Por presión de lubricación se entiende como la presión a la que circula el aceite por la tubería general de engrase.

Normalmente esta presión alcanza un valor próximo a 1 Kg/cm<sup>2</sup> en ralentí y de 4 a 5 kg/cm<sup>2</sup> con el motor acelerado, variando poco de un motor a otro. El valor máximo de la presión está limitado por la válvula de descarga o válvula reguladora.

Hay que tener en cuenta que el aceite frío marca más presión que el aceite caliente.

El manómetro se monta en los vehículos como elemento de control, es un indicador de presión de aceite eléctrico que actúa cuando la presión del aceite es muy baja (0.3 a 0.6 atmósferas), indicando mediante un testigo luminoso, el manómetro de presión no lo llevan todos los vehículos.

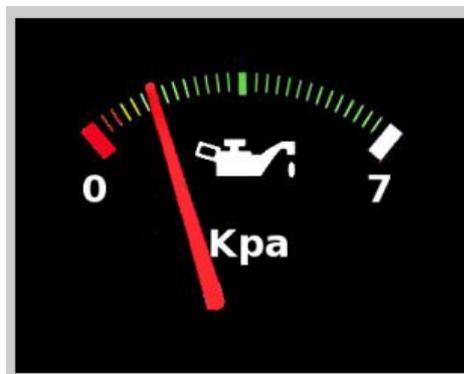


Fig. 2.16 Manómetro. (Referencia 24).

Actualmente se tiende a colocar un indicador de nivel de aceite, pero sólo actúa cuando el motor está parado y el contacto dado.

### 2.5.3 Válvula limitadora de presión.

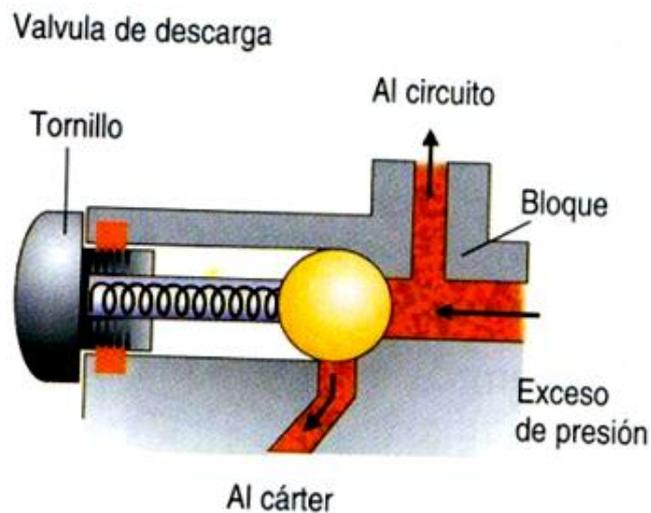


Fig. 2.17 Válvula de descarga. (Referencia 25).

Debido a que la presión del aceite enviado por la bomba varía en función del régimen de rotación del motor y de la viscosidad del aceite, puede llegar un momento en que la presión del aceite sea excesiva e innecesaria, pudiendo deteriorar la instalación de engrase.

La bomba recibe el movimiento del árbol de levas, por lo tanto, su velocidad de funcionamiento está de acuerdo con la velocidad de giro del motor. Si el motor gira rápido, también lo hará la bomba, por lo tanto, enviará más aceite a las conducciones de lubricación. Si el aceite está frío, ofrecerá dificultad a pasar por las canalizaciones, produciendo en ambos casos un aumento de presión en las tuberías, superior a la normal, que traerá consigo mayor trabajo para la bomba y un aumento de deterioro de aceite.

Para mantener la presión adecuada existe la válvula limitadora o válvula de descarga, que tiene por misión descargar las tuberías de lubricación del aceite sobrante cuando hay un exceso de presión, limitando esta presión máxima de funcionamiento.

La válvula va montada a la salida de la bomba en la tubería general. Si la presión es excesiva, abre la válvula venciendo la acción del muelle calibrado y permitiendo que una parte del aceite vuelva al cárter, limitando de esta manera la presión. Si baja la presión, el muelle cierra la válvula y todo el aceite que va a lubricar, no dejándolo pasar al cárter.

#### 2.5.4 Filtro de aceite.

El aceite para el engrase debe estar lo más limpio posible de impurezas. El aceite al volver al cárter, después de haber lubricado todas las partes del motor, arrastra carbón y polvillo metálico, que indudablemente se produce en el frotamiento de piezas entre sí y otras suciedades. Todas estas impurezas deben ser eliminadas del aceite y para ello, se recurre a su filtrado.

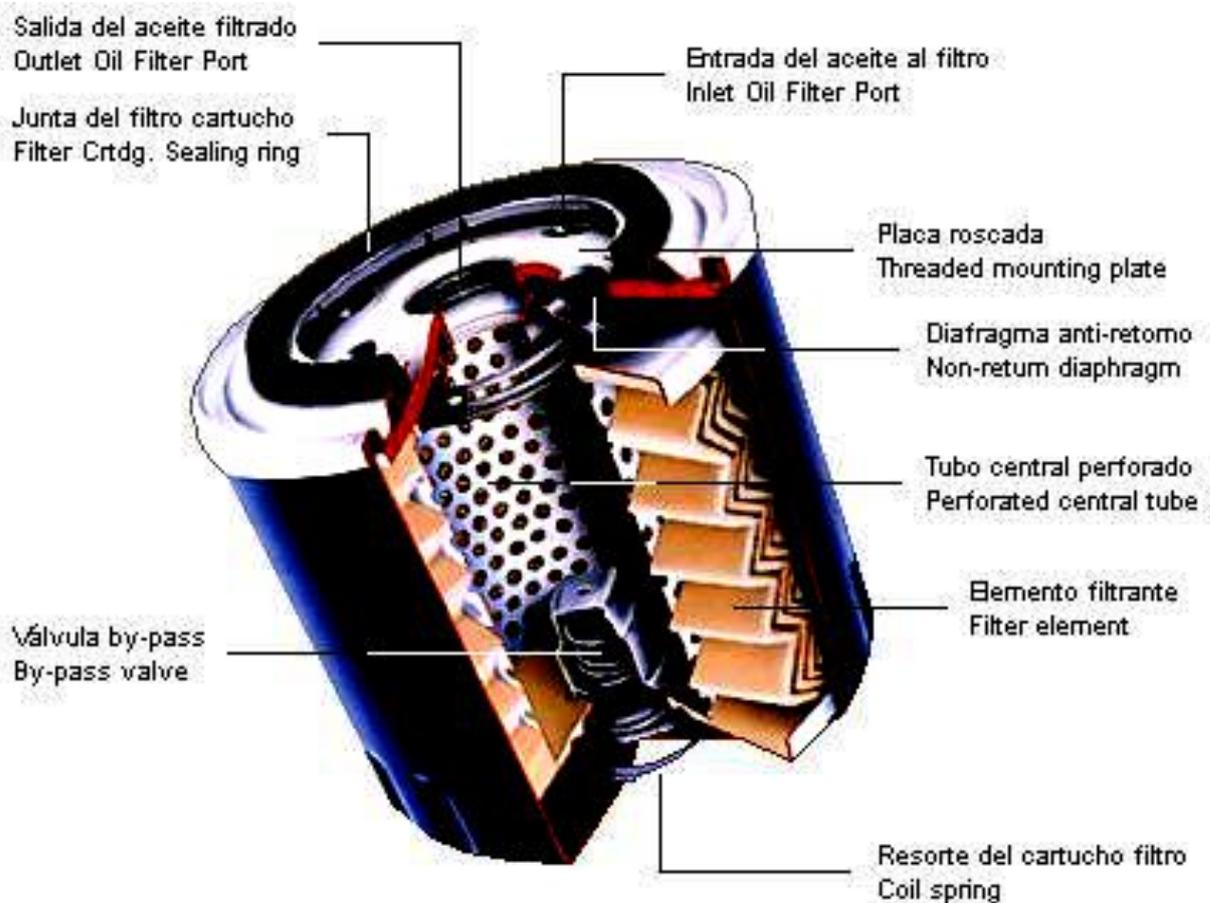


Fig. 2.18 Filtro de aceite. (Referencia 26).

La bomba de engrase, lleva en su toma de aceite del cárter un colador que produce un primer filtrado. Después de la bomba y antes de llegar a los puntos a engrasar, se le hace pasar por un filtro, en el que, por su constitución, quedan retenidas las impurezas que pueda llevar el aceite en suspensión.

Este filtro está constituido por un material textil poroso que no ofrezca mucha resistencia al paso del aceite. El filtro debe cambiarse pues va obstruyéndose y puede llegar a impedir el paso del aceite a través de él. Si ello ocurriera la diferencia de presiones abriría la válvula y pasaría el aceite, pero sin filtrar. El cambio del cartucho filtrante, se hará con la periodicidad indicada por el fabricante.

En algunos motores también va un filtro centrífugo, en la polea del cigüeñal, ayudando al filtro principal.

Dependiendo de la disposición del filtro de aceite en el circuito de lubricación, el filtrado puede ser: en serie o en derivación.

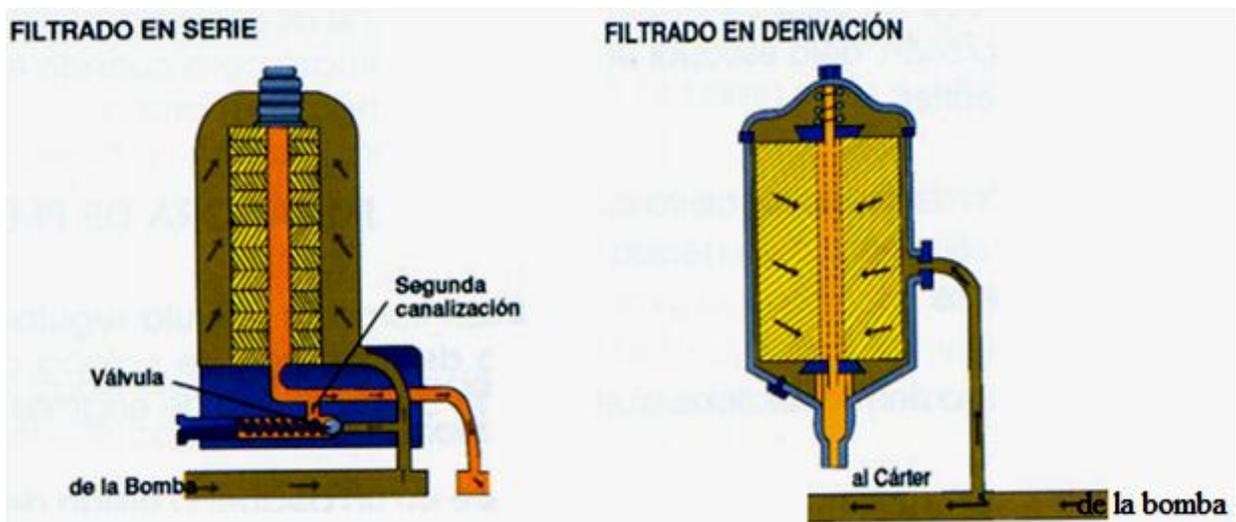


Fig. 2.19 Tipos de filtrado. (Referencia 27).

# Capítulo 3

**Procesos de reacondicionamiento de aceites lubricantes usados.**

**3.1 Aceite lubricante usado.**

**3.2 Composición de los aceites usados.**

**3.3 Posibles reúsos del aceite usado.**

**3.4. Impacto ambiental.**

**3.5. ¿Por qué reciclar los Aceites Usados?**

**3.6. Procesos de reacondicionamiento de aceite lubricante usado.**

## Capítulo 3 Procesos de reacondicionamiento de aceites lubricantes usados.

### 3.1 Aceite lubricante usado.

Aceites usados son todos los aceites industriales con base mineral o sintética, lubricantes que se hayan vuelto inadecuados para el uso que se les asignó inicialmente, en particular, los aceites usados de los motores de combustión y sistemas de transmisión, así como los aceites minerales lubricantes, aceites para turbinas y sistemas hidráulicos.



Fig. 3.1 Aceite lubricante usado. (Referencia 28).

Las fuentes más grandes de generación de aceite usado son: los vehículos motorizados (aceites lubricantes), los motores de combustión y cajas de velocidades, los sistemas hidráulicos, transformadores y otras aplicaciones industriales. Además de ser utilizados como lubricantes, los aceites minerales obtenidos a partir del petróleo crudo, suelen también ser usados como refrigerante, aislante, dispersantes, etc.; siendo el de mayor consumo el aceite automotriz.

Los aceites usados son considerados residuos peligrosos y ambientalmente los de motor tienen un potencial de alta peligrosidad. Una pequeña cantidad de

aceite puro puede contaminar grandes cantidades de agua y aquellos usados en motores además contienen aditivos, impurezas y residuos generados en la combustión.

Los aceites usados contienen elementos venenosos y cancerígenos como el plomo o hidrocarburos poli-aromáticos.

### **3.2 Composición de los aceites usados.**

Los aceites lubricantes están compuestos por una mezcla de base mineral o sintética con aditivos (1–20%). Durante su uso se contaminan con diversas sustancias como:

- Partículas metálicas ocasionadas por el desgaste de las piezas en movimiento y fricción.
- Compuestos con plomo procedente de las naftas.
- Ácidos orgánicos o inorgánicos originados por oxidación o de azufre de los combustibles.
- Compuestos de azufre.
- Restos de aditivos: fenoles, compuestos de zinc, cloro y fósforo.
- Compuestos clorados: disolventes, PCBs y PCTs.
- Hidrocarburos poli nucleares aromáticos (PNA).
- Pesticidas.
- Residuos tóxicos de cualquier tipo.



Fig. 3.2 Aceite usado extraído de un motor automotriz.

La cantidad de plomo presente en el aceite usado oscila del 1 al 1,5 % en peso y proviene de las gasolinas y aditivos.

### **3.3 Posibles reúsos del aceite usado.**

- La primera y mejor opción es devolver el aceite usado al productor. El aceite usado puede volverse a refinar en refinerías similares a aquellas utilizadas para el aceite crudo.
- En caso de que no sea posible un tratamiento se deberá recurrir a la combustión, destrucción, almacenamiento o depósito.
- Una opción ambientalmente aceptable de uso del aceite desechado es como combustible en hornos de cemento, cal, ladrillo o metalúrgicos. Debido a la alta temperatura de combustión y las propiedades de absorción del cemento, cal y arcilla, los hidrocarburos peligrosos se destruyen y los metales pesados, azufre y cloruros son absorbidos.

Los posibles efectos de contaminación del aire se ven minimizados con sofisticados sistemas de limpieza de gas, como con las que cuentan las plantas modernas.

- Los aceites usados provenientes de motores, también pueden ser utilizados como combustible para diferentes aplicaciones. En estos casos,

el aceite usado se mezcla con aceite negro (aceite de alquitrán, aceite de carbonera) (por ej. panaderías), carbón de leña/polvo de carbón mineral (hornos de cal) o pedazos de hule de llantas usadas (vehículos que producen asfalto).

- El aceite usado de refinería se puede usar como combustible para la calefacción y generación de energía.
- Otro método sencillo para aprovechar el aceite usado de motores es la producción de grasa para la fabricación de jabón. El aceite refinado se puede procesar adicionalmente para obtener grasa, para ello el aceite se mezcla con estearato de sodio o calcio en recipientes de agitación caliente. El aceite usado se agrega al jabón terminado mientras que éste está aún caliente y suave, en una proporción de 20% de jabón a 80% de aceite usado.
- El aceite usado de motores también se utiliza como agente protector de madera. Los postes de cercas, por ejemplo, se remojan con aceite usado para tornarlos resistentes contra el ataque de las termitas.
- En cuanto a la incineración, esta vía destructiva se utiliza sobre todo cuando se comprueba la imposibilidad de reutilización debido a la presencia de ciertos tipos y niveles de contaminantes nocivos. Es el caso, por ejemplo de la presencia de PCB, que sólo se destruyen satisfactoriamente mediante este proceso.

### **3.4 Impacto ambiental.**

Cada año se tiran al medio ambiente aproximadamente 528 millones de galones de aceites usados.



Fig. 3.3 Aceite derramado. (Referencia 29).

El aceite lubricante usado actúa en el medio ambiente de forma similar a los productos pesados del petróleo. En el agua y el suelo se forman películas delgadas que interfieren en la oxigenación adecuada de los lagos, ríos y mares.



Fig. 3.4 De esta manera afecta la contaminación por aceites a los peces. (Referencia 30).

Debido a los aditivos que contienen los aceites lubricantes, el contenido de metales en forma de sales orgánicas es alto en los aceites usados, creando problemas de irritación en ojos y piel en los seres humanos.

Por otra parte el aceite lubricante usado cuando se emplea como combustible tiende a agravar la contaminación atmosférica debido al humo que se genera en la combustión y por la liberación de los metales contenidos en solución.

Cuando se quema el aceite lubricante usado, se producen emisiones de gases tóxicos, tales como dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno y cloruro de hidrógeno (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y HCl).

En aguas residuales el aceite usado causa problemas a las plantas de tratamiento, debido a que tiende a desactivar las resinas y catalizadores usados para la purificación del agua.

Con relación a la importancia de la recuperación de aceites lubricantes usados el API (American Petroleum Institute) en 1991 creó el programa de aceites usados de motor, mediante el cual se recolectaron 100 millones de galones de aceites usados de motor. Debido a la importancia de éste programa los centros de servicio dedicados a la recolección de aceite usado se incrementaron.

En 1996, en México se publicó la “Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), en esta ley se establecen disposiciones en materia de residuos peligrosos y con ello se emite el reglamento de la ley en materia de residuos peligrosos.

Pruebas realizadas en animales han evidenciado que el desprendimiento de aceites lubricantes usados es cancerígeno, más que el combustible diesel.

### 3.5 ¿Por qué reciclar los Aceites Usados?

Si no se recogen adecuadamente los aceites lubricantes usados, se producen graves problemas al ambiente:

- El aceite usado de motor contiene hidrocarburos que no son biodegradables biológicamente.
- Si son vertidos a la tierra destruyen el humus vegetal convirtiendo infértil al suelo.
- Todo esto no solo penetra en el suelo, sino que puede contaminar aguas subterráneas.
- Los aceites usados forman una película impermeable en la superficie de las aguas, impidiendo su oxigenación y provocando muerte de vida aeróbica.
- Si son eliminados a través de los alcantarillados, produce la destrucción de bacterias de los sistemas de tratamiento.
- Muchas veces también contiene aditivos que generan una cantidad considerable de cenizas.

También producen severos problemas a la salud:

- Contienen componentes cancerígenos.
- Producen severos daños en la piel.

Se debe tener un tratamiento adecuado, si se quema o mezcla con fuel-oil para calefacción o producción de energía, produce emisiones gaseosas altamente tóxicas debido a que contienen compuestos de plomo, cloro, fósforo, azufre, cadmio, etc.

Al aprovechar el aceite usado como materia prima, se está reduciendo la cantidad de residuos a disponer y mejorando la situación ambiental. A su vez se está disminuyendo el uso de recursos naturales no renovables.



Fig. 3.5 Símbolo de reciclaje de aceites. (Referencia 31).

Los procesos de reciclaje a pequeña escala pueden ser incapaces de lograr un producto de gran calidad, pero para países en vías de desarrollo, existen numerosas aplicaciones para aceites lubricantes de menor calidad en las industrias de pequeña escala.

Además el reciclaje de aceite a pequeña escala ofrece la oportunidad de crear fuentes de trabajo y mayores ingresos. Se crean no sólo pequeños centros de reciclaje, sino también empresas que se encargan de realizar la recolección.

### **3.6 Procesos de reacondicionamiento de aceite lubricante usado.**

La implementación de procesos de reacondicionamiento de aceite usado, no solo ayudan a cuidar y prolongar la vida de los recursos energéticos derivados del petróleo, sino también minimizan la contaminación ambiental y se reducen costos para la fabricación de aceites lubricantes, a partir de aceites básicos que antes sólo eran desperdicio.

El reciclaje de aceite usado, está basado en el hecho de que el aceite es prácticamente indestructible, por eso el reacondicionado consiste básicamente en la extracción de sus contaminantes.

Hay un gran número de procesos fisicoquímicos que han sido desarrollados para la recuperación y reacondicionamiento de aceites lubricantes automotrices usados.

Algunos de estos procesos son para mejorar ligeramente las propiedades del aceite y van desde una simple sedimentación, filtración, deshidratación, hasta complejos procesos.

Algunos procesos de reacondicionamiento de aceite lubricante usado se enlistan a continuación:

- Acido–arcilla.
- Filtración.
- Destilación.
- Extracción por disolventes y destilación.
- Hidrotratamiento.
- Clarificación con propano.
- Emulsificantes.
- Tratamiento cáustico.
- Tratamiento cáustico–peróxido–cloruro de aluminio.
- Tratamiento alcohol alifático–ácido.
- BERK.

### **3.6.1 Proceso ácido–arcilla.**

Este proceso ha representado durante mucho tiempo uno de los medios más adecuados para la recuperación de aceite lubricante básico a partir de aceite lubricante usado. Es el proceso más utilizado en las plantas de regeneración.

En un principio el tratamiento comprendía un lavado cáustico del aceite, seguido de la adición de arcillas adsorbentes a una temperatura elevada, además de una destilación, pero la presencia en mayor cantidad de aditivos, hicieron necesario el incluir ácido sulfúrico para producir un aceite regenerado de mayor calidad.

Es por ello que el principal proceso de regeneración, es el que emplea arcillas adsorbentes y ácido sulfúrico. Tales arcillas consisten de materiales naturales procesados, tales como tierra Fuller, bentonitas y attapulgitas. Algunas de estas arcillas se procesan por activación ácida y por otros métodos distintos a fin de mejorar sus propiedades de adsorción.

El tratamiento ácido–arcilla involucra el contacto del aceite con ácido sulfúrico del 93 al 98 % de concentración volumétrica.

El ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) actúa como un medio de extracción que permite la remoción de asfáltenos, compuestos insaturados, suciedad, aditivos y otros materiales indeseables presentes en el aceite de desecho. En el pasado se utilizó para producir especialidades como aceites para transformadores y turbinas. En éste tratamiento se elimina la mayor parte de impurezas, llevando a límites aceptables el contenido de carbón, cenizas, y material saponificable.

Una vez que se ha llevado a cabo el contacto, el ácido gastado da lugar a la formación de ácidos sulfúricos orgánicos de varios tipos, tales como sulfonatos y un remanente del ácido mineral que no reaccionó, lo que se considera como material de desecho.

En este tratamiento es importante considerar la temperatura óptima de contacto, con el fin de obtener mejores resultados, evitando que el aceite se oscurezca.

El proceso de arcilla elimina completamente la etapa de destilación, éste requiere de gran cantidad de arcilla activada (2.2 – 6.6 kg por caga 3.78 lts) y elevar la temperatura de 310.8 – 338.5 °K para lograr la eliminación del agua y los hidrocarburos ligeros.

Para la aplicación de éste proceso se toman pequeñas cantidades de aceite lubricante usado, aproximadamente 150 – 200 gr, se colocan en un vaso de precipitado de 500 ml, con una pipeta graduada de 25 ml, se adiciona lentamente el ácido sulfúrico, procurando que la temperatura no suba de los 323 °K establecidos, la temperatura es controlada por medio del baño maría y dos

termómetros, uno sumergido en el baño maría y otro en el aceite. La reacción del ácido se lleva a cabo con agitación vigorosa, para lo cual se usa una parrilla de calentamiento provista de agitación magnética. Transcurrido el tiempo para que el ácido haya reaccionado completamente, el vaso que contiene el producto de la reacción es llevado a una estufa que se encuentra a la temperatura de reacción y se deja reposar la mezcla para la sedimentación de los lodos ácidos.

Cuando los lodos ácidos han sido separados del aceite, ambos son pesados y se toma una alícuota de cada uno de ellos, para determinar el número de ácido total.

El aceite libre de lodos es tratado con arcilla neutralizante y decolorante a una temperatura de 333 – 363 °K, la reacción se lleva a cabo con agitación vigorosa, cuando termina la reacción la temperatura, se lleva a 383 – 393 °K para facilitar la filtración.

El aceite regenerado se recibe en un matraz previamente pesado, una vez que la filtración ha terminado, el conjunto aceite y matraz es pesado para saber la cantidad de aceite regenerado.

El producto obtenido pudiera ser un aceite SAE 20 con un amplio intervalo en el punto de ebullición.

En este caso los aceites tratados con ácido deben ser previamente neutralizados. El grado de pureza que se obtiene mediante estos tratamientos se controla principalmente por el tipo de arcilla y la cantidad empleada.

La cantidad de ácido a utilizar varía dependiendo de la calidad del aceite, es decir, varía de acuerdo a la cantidad de aditivos.

Los lubricantes obtenidos por este proceso cumplen los requisitos y pasan las pruebas características para los mismos, pero su calidad no es uniforme por la variación de la calidad de la carga debida a los diferentes aditivos que se agregan a los lubricantes vírgenes.

Este tratamiento presenta el problema de los lodos ácidos residuales.

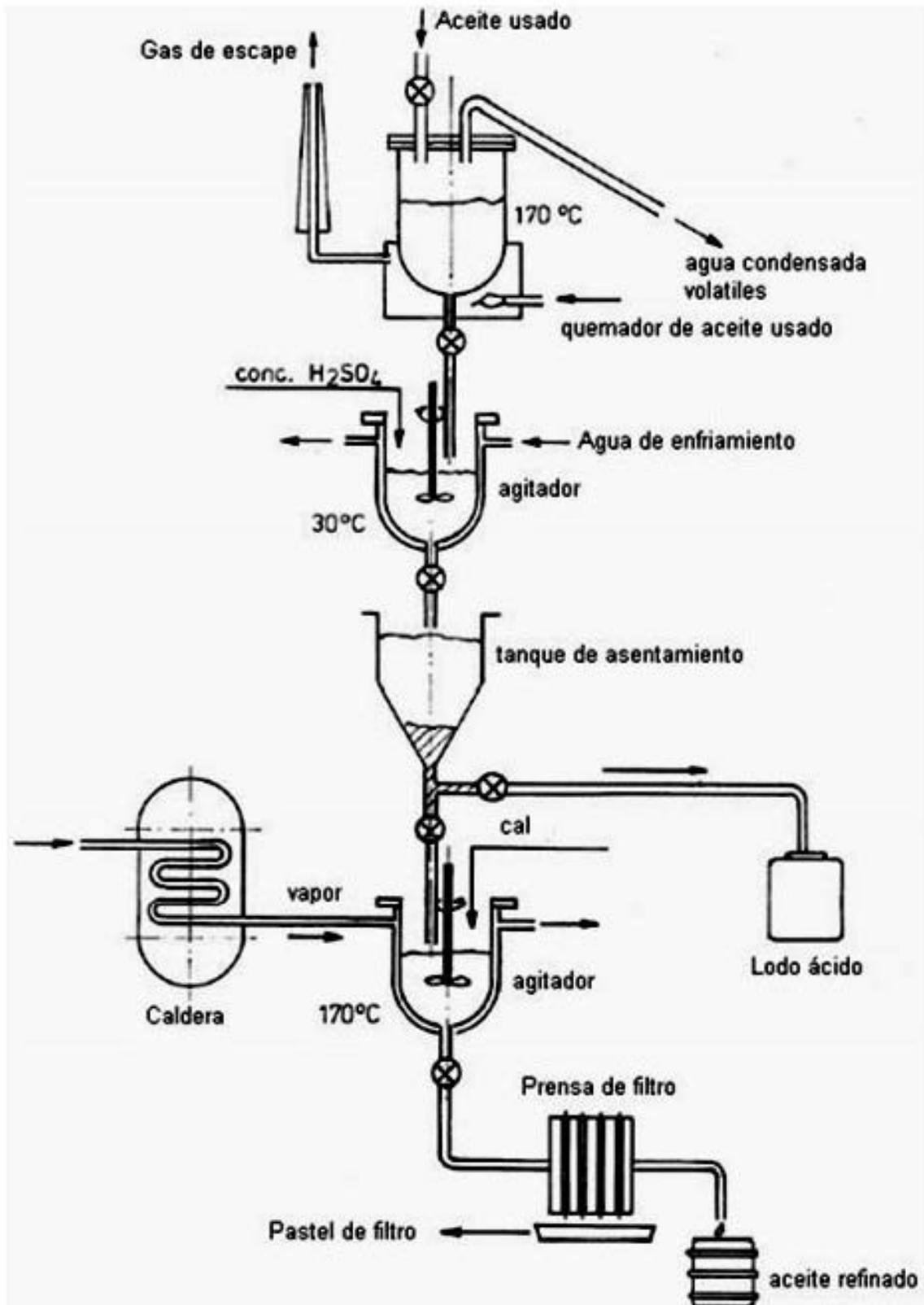


Fig. 3.6 Proceso ácido-arcilla.

### **3.6.1.1 Manejo de lodos ácidos.**

Los lodos ácidos producto del reacondicionamiento de aceite por el método ácido–arcilla, representan un problema ambiental.

Son un desecho industrial, hace algunos años eran descargadas directamente al mar; actualmente se disponen en rellenos industriales junto con otros residuos generados en procesos de refinación.

Para solucionar el problema ambiental que representan y como método alternativo de disposición para éstos, se puede realizar un método de tratamiento por extracción del ácido, siendo muy alentador pues da solución al problema ambiental de los lodos ácidos.

La manera más económica y sencilla de remover el ácido sulfúrico presente en el lodo ácido, es aplicando principios de transferencia de masa, específicamente de extracción. Para eso es imprescindible conocer en que solvente el ácido presenta mayor solubilidad.

El agua y soluciones cáusticas resultaron ser los solventes más adecuados.

El método de Extracción del ácido, tiene como objetivo extraer el ácido residual presente en el lodo.

Un peso conocido de lodo ácido previamente secado, molido y tamizado para obtener un tamaño de partícula uniforme, se somete a extracción con un volumen conocido de solvente.

Para efectuar la extracción las dos fases se agitan en condiciones conocidas durante un tiempo también conocido. Luego de la extracción, se separan las fases y se determina la cantidad de ácido extraído mediante el aumento de la acidez en el solvente.

El procedimiento puede repetirse, en cuyo caso, se calcula la cantidad de ácido extraído total sumando las cantidades extraídas en cada etapa.

Los parámetros de control por el método de extracción del ácido son los siguientes:

- Tamaño de partícula del lodo ácido.
- Tiempo de contacto lodo ácido–solvente.
- Temperatura de extracción.
- Relación Solvente de extracción/lodo ácido.
- Solvente de extracción.

Finalmente si se quiere separar el ácido del agua, la solución debe calentarse a una temperatura controlada para evaporar el agua, tomando en cuenta que la temperatura de ebullición del ácido sulfúrico es de 337°C.

### **3.6.2 Proceso de filtración.**

La filtración se define como la separación de sólidos de un líquido y se efectúa haciendo pasar el líquido a través de un medio poroso. Los sólidos quedan retenidos en la superficie del medio filtrante.

La elección del medio filtrante es muy importante para garantizar el buen filtrado, es decir, que tenga un buen rendimiento y sea eficiente. El medio filtrante debe seleccionarse en primera instancia por su capacidad para retener los sólidos sin obstrucción ni derrame de partículas al iniciarse el proceso de filtración.

A continuación muestro un filtro de aceite.

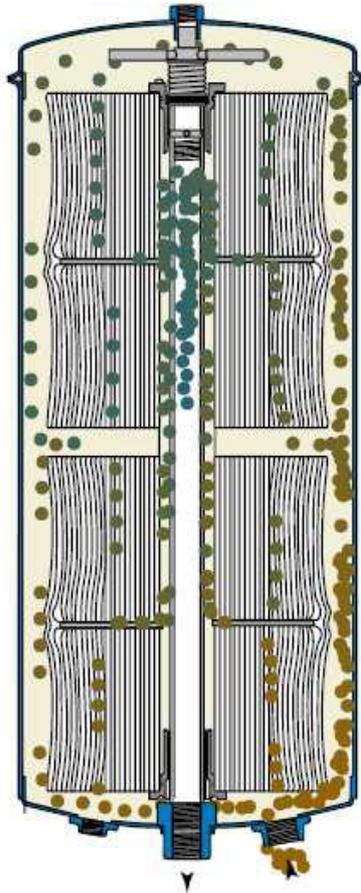


Fig. 3.7 Filtro de aceite. (Referencia 32).

El proceso de filtración se ve afectado de manera positiva por el incremento de temperatura, debido a que disminuye la viscosidad del líquido a filtrar, esto facilita la circulación del mismo, provocando una mayor capacidad de filtración y un menor gasto energético.

### **3.6.3 Proceso de destilación.**

Proceso NORCO (por sus siglas en inglés). Éste proceso consiste en una sedimentación y una destilación. El aceite usado se deja sedimentar a fin de eliminar los sólidos pesados y el agua, una vez removidos, el aceite se lleva a la torre de destilación, donde el agua residual y las naftas de bajo punto de ebullición se eliminan. Lo que queda al fondo de la torre de destilación, se envía a un horno, donde se calienta hasta 644 °K y se someten a una destilación fraccionada, con un vacío relativamente bajo de 675 mmHg. En la destilación al vacío, la alimentación es separada en tres partes, un producto de fondos, un destilado y un producto pesado de corte medio. El corte ligero se pasa a un tanque de decantación y el producto obtenido puede ser usado como un aceite básico para la formulación de aceites lubricantes.

### **3.6.4 Proceso de extracción por disolventes y destilación.**

Los problemas de coquizado y ensuciamiento que se presentan en la destilación de los aceites lubricantes usados, indican la necesidad de una etapa previa de precalentamiento.

El sistema óptimo es la mezcla de 2-propanol, 1-butanol y metil etil cetona en relación 1:2:1 en volumen. La relación mínima de disolvente y aceite usado es de 3:1.

El precalentamiento con disolventes, una deshidratación, destilación y un proceso de acabado dan como resultado un aceite lubricante base de buena calidad.

La destilación a vacío se lleva a cabo a una presión de 5 mmHg con el fin de evitar craqueo. La fracción lubricante es el producto principal de la destilación al vacío.

El acabado consiste en un tratamiento con arcilla o por hidrogenación.

Finalmente el lubricante se somete a destilación en un destilador Flash (flasheo) en dos etapas, se condensa, se filtra y queda listo para almacenarse o empezar la formulación del nuevo aceite lubricante.

Este proceso tiene la desventaja de no eliminar los metales presentes en el aceite lubricante usado.

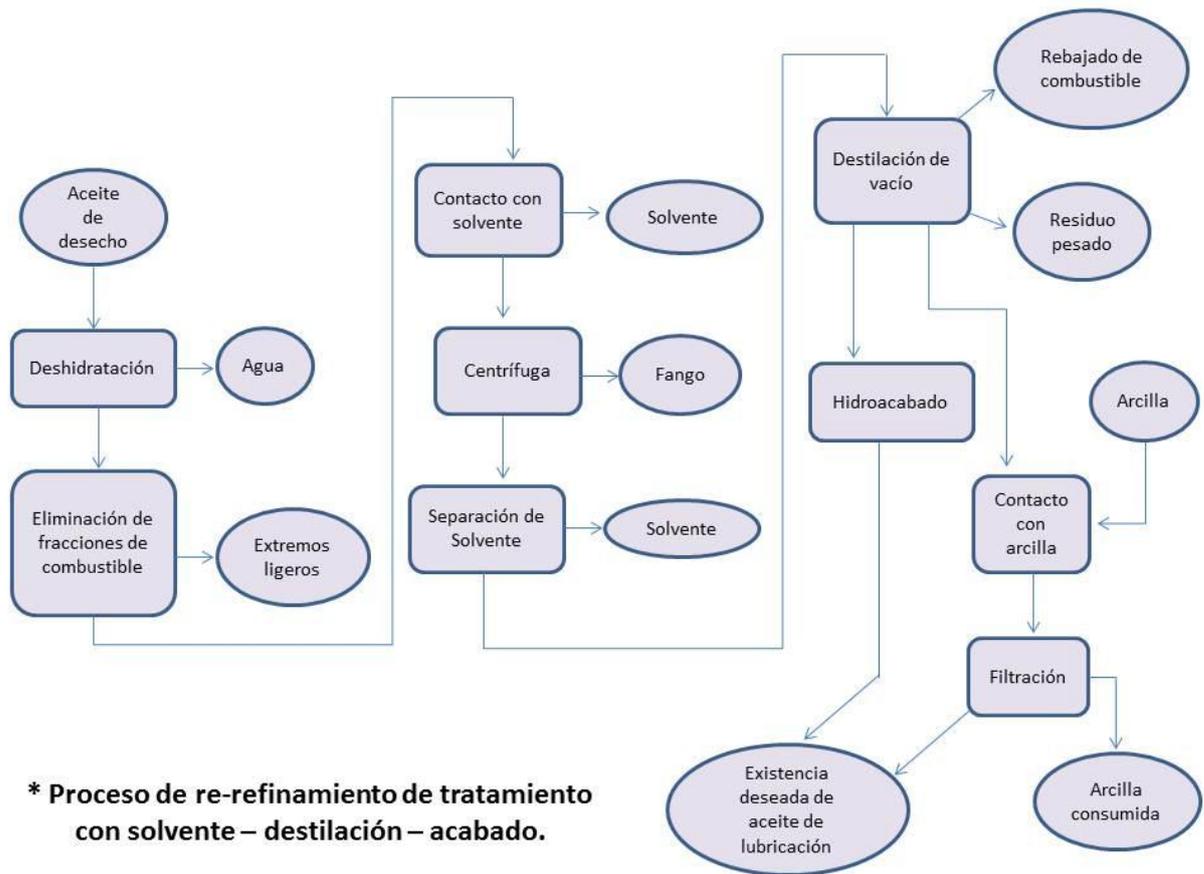


Fig. 3.8 Esquema del proceso de extracción con solventes y destilación.

### **3.6.5 Proceso de hidrotratamiento.**

La destilación de hidrotratamiento se realiza en dos reactores de lecho fluidizado en serie. El primer reactor posee un lecho de protección (alúmina con una superficie alta de contacto) y el segundo contiene catalizador de hidrotratamiento, reduciendo el nivel de los compuestos contaminantes como son: halogenuros, óxidos y compuestos nitrogenados.

La superficie de contacto de alúmina remueve los contaminantes metálicos tales como plomo y zinc, el fósforo permanece en el aceite durante la destilación.

Llevando la operación a temperaturas elevadas se logra mejorar el color del producto y reducir el azufre, nitrógeno y halogenuros.

La desventaja de este proceso es que pueden llegar a formarse depósitos sólidos en las líneas de salida de los reactores, causando taponamientos y corrosión en éstos, además, no se elimina el hierro, cromo y cobre del aceite lubricante usado.

### **3.6.6 Proceso de clarificación con propano.**

El instituto francés del petróleo (IFP) desarrolló éste proceso, tratándose de una mejora en el proceso ácido–arcilla.

El propano es un disolvente selectivo por precipitación, aunado al aceite mineral permite la precipitación de metales sólidos disueltos en la mezcla.

Este proceso consta de las siguientes operaciones:

- Deshidratación térmica.
- Precipitación y extracción con disolvente.
- Recuperación de propano.
- Tratamiento con ácido.
- Tratamiento con arcilla.
- Filtración.

El aceite usado es bombeado al proceso a través de un intercambiador de calor de vapor al deshidratador flash que opera a presión atmosférica y a 423 °K. Los vapores del domo se condensan y drena a un separador, el aceite se bombea a la torre de precipitación (extractor de disolvente). La solución propano–aceite se dirige a la parte superior, mientras que los precipitados fluyen hacia el fondo del extractor debido a la diferencia de densidad.

El flujo a contracorriente es importante para obtener una extracción eficiente.

El aceite lubricante obtenido se envía a tratamiento ácido–arcilla, el cual emplea 2% de ácido sulfúrico en base al volumen de aceite y aproximadamente 18 gr de arcilla por litro de aceite.

Las desventajas de este proceso es que se realiza a elevadas temperaturas y no se logran eliminar los metales del aceite usado.

### **3.6.7 Proceso de emulsificantes.**

Este proceso consta de cinco etapas:

- Sedimentación.
- Emulsión.
- Demulsificación.
- Tratamiento por contacto con tierra diatomácea.
- Filtración.

#### **3.6.7.1 Sedimentación.**

En esta etapa el aceite se deja reposar con la finalidad de separar los contaminantes como el exceso de agua y lodos que pudiera llegar a tener el aceite.

#### **3.6.7.2 Emulsión.**

En esta etapa se formará una solución hidro–oleosa, donde el agua que es la fase dispersa removerá los componentes que sean afines a ella. Esto se lleva a cabo con ayuda de un agente emulsivo seleccionado para operar bajo las condiciones establecidas.

#### **3.6.7.3 Demulsificación.**

Una vez conociendo las propiedades de la emulsión, se lleva a cabo la demulsificación mediante la sedimentación y centrifugación. Con este proceso se logra la eliminación de materia contaminante precipitada y agua.

#### **3.6.7.4 Tratamiento con tierra diatomácea.**

Este tratamiento se lleva a cabo agregando tierra diatomácea al aceite y calentando a 473 °K. Con éste tratamiento se logra mejorar la estabilidad del aceite, mejorando el color, olor, viscosidad, y removiendo la mayoría de sólidos aún presentes.

#### **3.6.7.5 Filtración.**

En esta etapa el aceite se trabaja a 323 °K para hacerlo más fluido y se separa la tierra diatomácea por medio de una filtración al vacío.

#### **3.6.8 Proceso de tratamiento cáustico.**

Este tratamiento es de los menos utilizados aún cuando su rendimiento es muy eficiente.

En este método se utiliza hidróxido de sodio ( $NaOH$ ) para la regeneración del aceite lubricante usado, disminuyendo la producción de subproductos contaminantes.

El tratamiento caustico presenta serios problemas de operación debido a que no se eliminan completamente los aditivos y tienden a polimerizarse, pero los aceites lubricantes obtenidos tienden a ser los más semejantes a los aceites vírgenes.

La solución cáustica ocasiona que precipite el carbón en suspensión, se mejora el contenido de cenizas, el número ácido y la materia saponificable.

La estabilidad a la oxidación de los aceites obtenidos por éste tratamiento se debe reformular agregando antioxidantes.

### **3.6.9 Proceso de tratamiento cáustico–peróxido–cloruro de aluminio.**

Este tratamiento es una variante del tratamiento cáustico con mejor separación de lodos, en éste proceso se sustituye la destilación final por un tratamiento que disminuye los costos de operación.

El tratamiento con cloruro de aluminio no es tan efectivo como el tratamiento en destilador flash y los aceites obtenidos son de baja viscosidad, por lo tanto son de baja calidad.

### **3.6.10 Proceso de tratamiento alcohol alifático–ácido.**

Este tratamiento es una variación del tratamiento ácido–arcilla.

Este tratamiento se lleva a cabo con butanol y disminuye la producción de lodos, pero afecta la lubricidad del aceite debido a que elimina gran cantidad de hidrocarburos aromáticos.

### **3.6.11 Proceso BERK.**

Este proceso se lleva a cabo en tres etapas, siendo estas sedimentación, centrifugación y destilación.

Este proceso produce menos productos de desecho que el tratamiento clásico ácido–arcilla, con este proceso se obtienen varios subproductos como gasolina, lodos oscuros de carbón, productos pesados y cuatro cortes de destilación.

# Capítulo 4

**Características fisicoquímicas de un aceite lubricante usado, reacondicionado mediante el proceso ácido – arcilla y un aceite básico medio.**

**4.1 Pruebas fisicoquímicas.**

**4.2 Resultados.**

**4.3 Conclusiones y Recomendaciones**

## **Capítulo 4 Características fisicoquímicas de un aceite lubricante usado, reacondicionado mediante el proceso ácido–arcilla y un aceite básico medio.**

### **4.1 Pruebas fisicoquímicas.**

Las pruebas fisicoquímicas son rigurosas para saber las propiedades básicas de los aceites analizados y así poder realizar el comparativo.

Las pruebas son las siguientes:

- Viscosidad Cinemática por el método ASTM – D 445 – 12.
- Punto de inflamación por el método ASTM – D 92.
- Densidad relativa por el método ASTM – D 1298 – 12.
- Humedad por el método Karl Fischer.

#### **4.1.1 Viscosidad Cinemática por el método ASTM – D 445 – 12.**

Método de prueba estándar para la determinación de viscosidad cinemática.

Este procedimiento se utiliza para la determinación de la viscosidad cinemática de productos líquidos petrolíferos, midiendo el tiempo en el que un volumen de líquido fluye por gravedad a través de un viscosímetro capilar de vidrio calibrado.

## Equipo y materiales.

- Viscosímetro capilar.

Se utilizan viscosímetros capilares calibrados, capaces de ser utilizados para determinar la viscosidad cinemática dentro de los límites de precisión estipulados en las normas ASTM al realizar la prueba.



Fig. 4.1 Viscosímetro capilar de flujo inverso.

- Baño de temperatura controlado.

Se utiliza un baño lo suficientemente profundo, para que todo el tiempo de flujo, el líquido de prueba que se encuentra en el tubo de viscosidad esté al menos 20 mm debajo de la superficie y 20 mm arriba del fondo del baño.



Figura 4.2 Baño de temperatura controlada.

- Control de temperatura.

Por cada medición de tiempo de flujo, el control de temperatura en el líquido del baño, deberá estar dentro del intervalo de 15 a 100°C y no variar más que  $\pm 0.02^{\circ}\text{C}$ .



Fig. 4.3 Control de temperatura digital.

- Depósito de medición de temperatura de 0 a 100°C.

Es un termómetro de líquido en vidrio calibrado con precisión  $\pm 0.02^{\circ}\text{C}$  y escala de 0 a 100°C.



Fig. 4.4 Termómetro rojo de inmersión, escala de  $-20^{\circ}\text{C}$  a  $110^{\circ}\text{C}$ .

## Desarrollo de la prueba de viscosidad cinemática.



Fig. 4.5 Prueba de viscosidad cinemática en aceite usado.

Para poder medir la viscosidad, primero se verifica que la temperatura del baño sea la correcta, en este caso se realiza a 40°C medido con un termómetro de inmersión y con control de temperatura del baño.

Se selecciona un tubo de viscosidad para líquidos opacos del tipo flujo inverso.

Posteriormente se ajusta el nivel de la muestra hasta la marca del viscosímetro.

Una vez cargado con la muestra, esperamos que ésta alcance la temperatura de prueba, comenzando la medición del tiempo de flujo al momento en que la muestra pasa por la primera marca y terminando cuando pasa por la segunda marca.

#### 4.1.2 Punto de inflamación por el método ASTM – D 92.

Método de prueba estándar para la determinación de punto de inflamación por copa abierta.

Este procedimiento tiene por objetivo determinar los puntos de ignición y de llama mediante la copa abierta Cleveland de productos de petróleo.

#### Equipo y materiales.

- Aparato de copa abierta Cleveland.

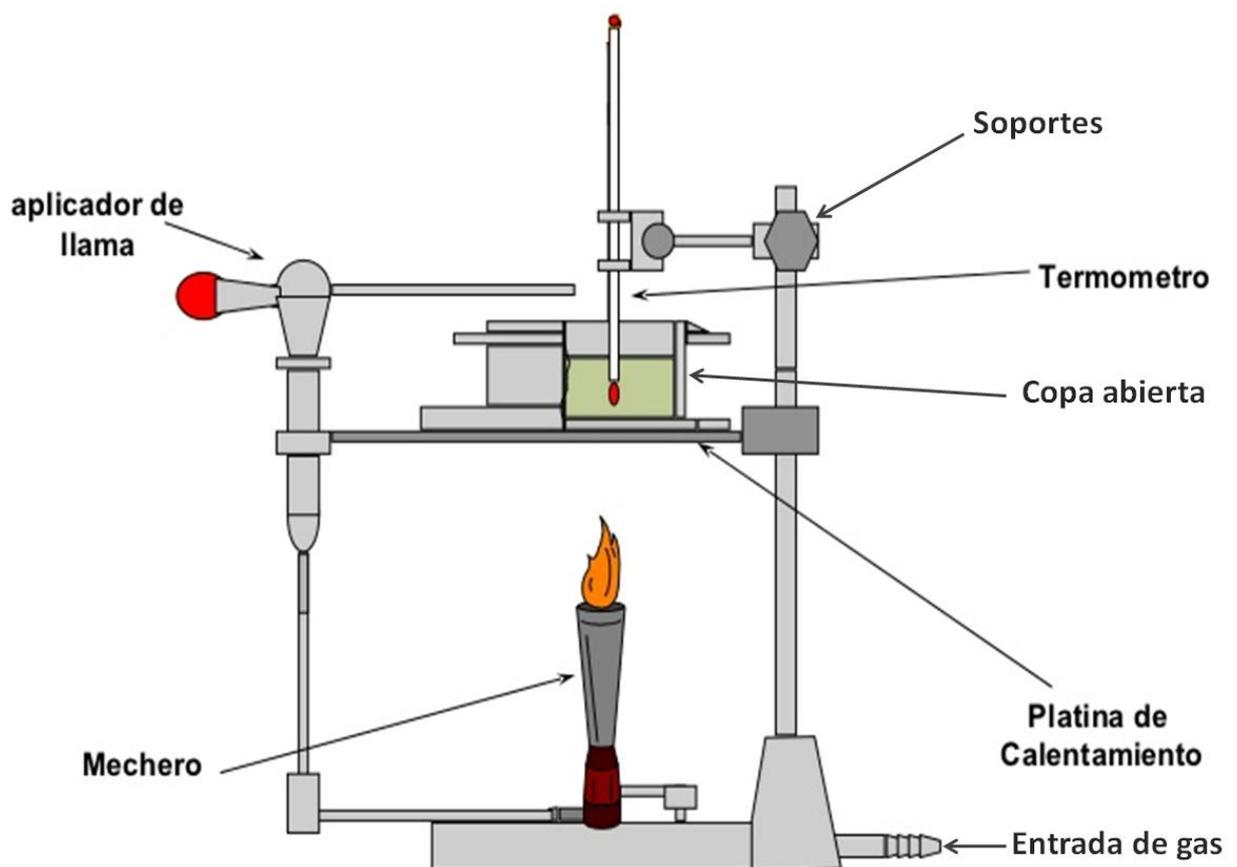


Fig. 4.6 Aparato Cleveland de Copa abierta. (Referencia 33).

Este aparato es un instrumento de punto de ignición manual y consta de una copa de ensayo, placa de calentamiento, aplicador de la llama, calentador y soportes.

- Placa de calentamiento.

Se compone de dos platinas, una metálica de bronce, hierro dulce o de acero y la otra de asbesto duro.

La platina metálica debe tener un orificio en el centro y un área de depresión plana alrededor del orificio, a manera de escalón, para que soporte la copa.

La platina de asbesto también tiene un orificio en el centro, pero de diámetro mayor, de tal forma que al colocarla sobre la platina metálica, no cubra el escalón de ésta.

- Aplicador de llama.

Éste es de cualquier diseño, pero la boquilla debe ser de 1.6 mm de diámetro en el extremo y el orificio debe tener un diámetro aproximado de 0.8 mm.

Debe estar montado de tal forma que permita la repetición del barrido de la llama de ensayo sobre la muestra.

- Mechero.

Puede ser sustituido por cualquier fuente conveniente de calor. Éste debe ser protegido de corrientes excesivas de aire con algún protector adecuado.

- Protector.

Se recomienda utilizar un protector, caja protectora con base cuadrada y que tenga un frente abierto.

- Termómetro.

Se debe utilizar un termómetro que tenga un rango de temperatura de  $-6^{\circ}\text{C}$  a  $400^{\circ}\text{C}$ .

#### **Desarrollo de la prueba de punto de inflamación.**

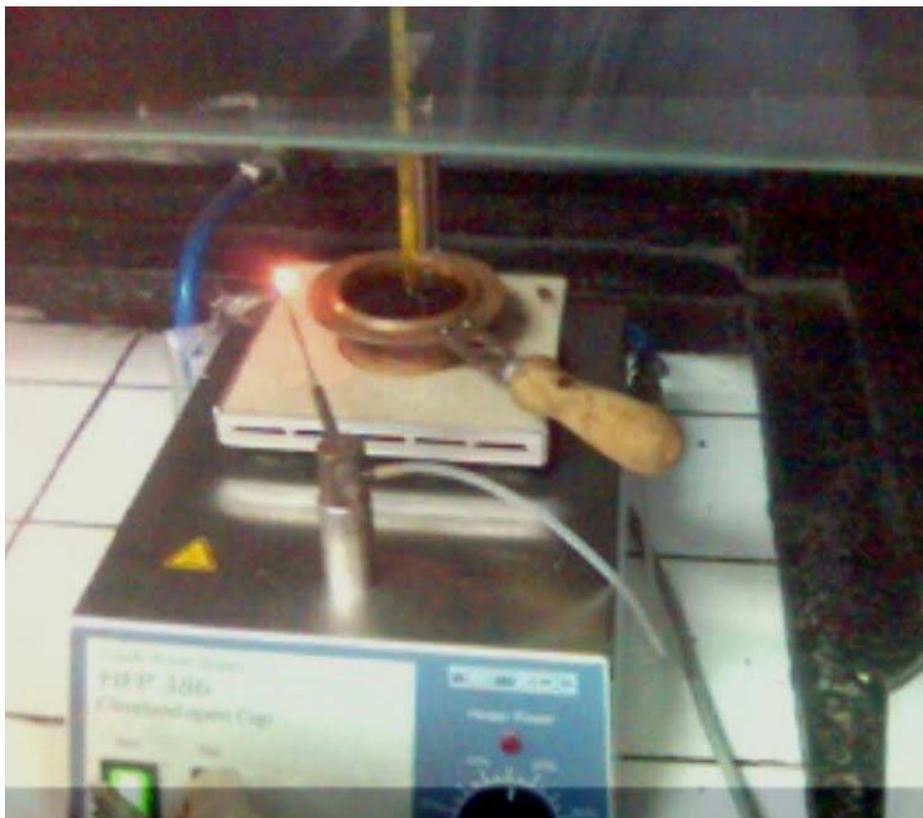


Fig. 4.7 Prueba de punto de Inflamación en aceite tratado.

La copa de ensayo se llena con la muestra hasta el nivel especificado.

Se aumenta rápidamente la temperatura inicial de la muestra y luego se sigue aumentando a una velocidad más lenta, pero constante hasta estar próximos al punto de ignición teórico. A intervalos de tiempo se pasa una llama de ensayo a través de la copa.

La temperatura más baja a la cual la llama hace que se incendien los vapores que se encuentran por encima de la superficie del líquido, se toma como el punto de inflamación.

#### **4.1.3 Densidad relativa por el método ASTM – D 1298 – 12.**

Método de prueba estándar para la determinación de densidad relativa.

Este procedimiento se usa para determinar la densidad relativa, utilizando un hidrómetro de vidrio.

##### **Equipo y materiales.**

- Hidrómetro de vidrio.

Se utilizan hidrómetros de vidrio graduados en unidades de densidad relativa, mismos que deben estar calibrados.



Fig. 4.8 Hidrómetros de vidrio.

- Termómetro.

Termómetro de líquido en vidrio calibrado con precisión  $\pm 0.02^{\circ}\text{C}$ .



Fig. 4.9 Termómetro de barra con escala de  $-10$  a  $110^{\circ}\text{C}$ .

- Probeta.

La probeta de vidrio utilizada debe ser de un diámetro interno de por lo menos 25 mm, es decir, mas grande que el diámetro externo del hidrómetro y la altura tal que, cuando esté inmerso el hidrómetro tenga una distancia de 25 mm entre el fondo del hidrómetro y el fondo de la probeta.



Fig. 4.10 Probeta de cristal con capacidad de 250 ml  $\pm$  2 mm.

**Desarrollo de la prueba de densidad relativa.**

Se verifica que la probeta esté totalmente limpia y seca para verter la muestra, asegurándonos que no haya burbujas, ni que esté en algún área con corrientes de aire, posteriormente se coloca el termómetro dentro y se corrobora la temperatura de prueba, en este caso 20°C y retiramos el termómetro.

Para medir la densidad se introduce el hidrómetro de tal modo que flotará libremente en la muestra y una vez estabilizado se toma la lectura.



Fig. 4.11 Prueba de Densidad en aceite tratado.

#### **4.1.4 Humedad por el método Karl Fischer.**

El método Karl Fischer se utiliza como método de referencia para determinar el % de humedad a numerosas sustancias. Se trata de un procedimiento de análisis

químico basado en la oxidación de dióxido de azufre con yodo en una solución de hidróxido metílico.

El equipo que se utiliza para ésta valoración es un Coulómetro Karl Fisher C20, el cual permite medir desde 1 ppm hasta 5% de agua.



Fig. 4.12 Equipo Karl Fischer.

## 4.2 Resultados.

Las pruebas fisicoquímicas se corren tres veces cada una, para poder sacar una media y así comparar la eficiencia del método Ácido – Arcilla aplicado en el aceite sucio contra el aceite básico mediano.



Fig. 4.13 Aceite básico mediano SN – 150.

En la tabla 1 muestro las propiedades y límites determinados para un aceite básico mediano.

Propiedades límites de un Aceite Básico Medio.		
Características.	Método de prueba.	Límites.
Densidad Relativa a 20 °C	ASTM D 1298 – 12	0.840 – 0.910 gr/ml
Viscosidad Cinemática a 40 °C	ASTM D 445 – 12	4.1 – 32 mm <sup>2</sup> /s
Temperatura de Inflamación	ASTM D – 92	120°C mínimo

Tabla 1. Propiedades límites de un Aceite Básico Medio.



Fig. 4.14 Comparativo de aceites.

A la izquierda aceite usado, en medio aceite tratado por el método Ácido – Arcilla y a la derecha aceite básico mediano SN– 150.

En la tabla 2 muestro la precisión de las mediciones, observando que en el aceite usado, la densidad es superior debido al alto contenido de agua, esto es debido a que se encontraban suspendidas en solución resinas residuales y suciedad provocada por el uso.

<b>Densidad Relativa a 20 °C</b>		
<b>Sucio (gr/ml)</b>	<b>Tratado (gr/ml)</b>	<b>Básico Mediano (gr/ml)</b>
0.8626	0.8513	0.8541
0.8601	0.8526	0.8529
0.8676	0.8539	0.8521

Tabla 2. Comparativo de densidades.

Con el tratamiento Ácido – Arcilla, se puede observar que la densidad disminuye debido a que el ácido sulfúrico elimina eficazmente las impurezas y la arcilla absorbe el agua.

Comparando el aceite tratado con el aceite básico mediano, encontramos que las densidades son muy próximas.

En la tabla 3 se observa que la viscosidad del aceite lubricante usado es baja, debido a que posee agua y sufre deterioro por oxidación.

Al ser tratado por el método Ácido – Arcilla, al inicio de la reacción cuando se agrega el ácido la viscosidad baja aún más, esto sucede porque se elimina lodo ácido y resinas, pero al terminar el tratamiento con arcilla, incrementa la viscosidad por que se disminuye la disolución del aceite en agua.

Se puede observar que la viscosidad mejora significativamente al realizar el tratamiento, estando dentro del rango que posee el aceite básico mediano.

<b>Viscosidad Cinemática a 40 °C</b>		
<b>Sucio (mm<sup>2</sup>/s)</b>	<b>Tratado (mm<sup>2</sup>/s)</b>	<b>Básico Mediano (mm<sup>2</sup>/s)</b>
7.25	11.25	12.19
7.5	11.5	12.11
7.55	11.48	12.35

Tabla 3. Comparativo de viscosidad cinemática.

En la tabla 4, muestro que el aceite usado tiene una temperatura de inflamación menor, debida al agua que posee, sin embargo al ser tratado por el método Ácido – Arcilla, la temperatura de inflamación aumenta, debido a que el tratamiento ayuda a eliminar el agua en solución, aproximándose a la temperatura de inflamación del aceite básico mediano analizado.

<b>Temperatura de Inflamación</b>		
<b>Sucio (°C)</b>	<b>Tratado (°C)</b>	<b>Básico Mediano (°C)</b>
152	194	206
159.5	196	208
156.3	193.5	210

Tabla 4. Comparativo de Temperatura de Inflamación.

Al realizar la prueba de % de humedad se obtienen los resultados mostrados en la tabla 5, se puede observar que el contenido de agua presente en el lubricante usado es debida a la combustión en el motor, la cual se reduce al realizar el tratamiento Ácido – Arcilla, ya que la arcilla es un buen absorbente polar.

<b>Humedad</b>		
<b>Sucio (%)</b>	<b>Tratado (%)</b>	<b>Básico Mediano (%)</b>
2.49	0.1	0.01
2.54	0.09	0.01
2.51	0.13	0.01

Tabla 5. Comparativo de Humedad.

## Resumen.

El inapropiado manejo y disposición final de los aceites lubricantes usados han generado un gran impacto en el medio ambiente, convirtiendo el reciclaje en una alternativa altamente rentable.

Este trabajo tiene por objetivo reacondicionar aceite usado en motores de combustión interna del ciclo Otto, utilizando el método ácido-arcilla, para ello se llevó a cabo una investigación de las principales características y propiedades de los lubricantes, aceites usados, procesos de reacondicionamiento y pruebas fisicoquímicas.

Se evaluaron las propiedades fisicoquímicas de un aceite lubricante básico mediano SN 150 contra las de un aceite lubricante automotriz usado y el mismo aceite reacondicionado por el método ácido-arcilla.

El proyecto se llevó a cabo mediante el empleo de métodos contenidos en las normas ASTM.

Entre las propiedades evaluadas se destacan:

- Viscosidad Cinemática por el método ASTM – D 445 – 12.
- Punto de inflamación por el método ASTM – D 92.
- Densidad relativa por el método ASTM – D 1298 – 12.
- Humedad por el método Karl Fischer.

Como resultado del reacondicionamiento por el método ácido–arcilla del aceite usado, se eliminaron los contaminantes que poseían, tales como agua, aditivos, productos insolubles (metal producto del desgaste del motor), entre otros.

Se obtuvo un aceite lubricante base con propiedades fisicoquímicas similares a los aceites básicos medianos para preparar nuevos lubricantes, presentando las siguientes características:

- Menor densidad.
- Mayor viscosidad.
- Mejor temperatura de inflamación.
- Poco contenido de agua.

Se concluyó que el aceite obtenido del tratamiento Ácido – Arcilla mejora sus propiedades, dando un buen rendimiento, pues, los reactivos utilizados son de bajo costo y de fácil obtención, resultando ser económicamente rentable.

## **Conclusiones.**

El presente trabajo de tesis cumplió con las expectativas, la información plasmada se obtuvo a partir de datos y pruebas reales logrando la comparación que se esperaba.

Como resultado de la regeneración de aceite automotriz usado, se disminuyó el contenido de metales como el cromo y el hierro, evitando ser vertidos al medio ambiente.

El aceite lubricante tratado presenta las siguientes características:

- Menor densidad.
- Mayor viscosidad.
- Mejor temperatura de inflamación.
- Poco contenido de agua.

De acuerdo a las pruebas fisicoquímicas, se puede afirmar que el aceite obtenido del tratamiento Ácido – Arcilla mejora sus propiedades, presentando un buen rendimiento, pues, los reactivos utilizados son de bajo costo y de fácil obtención, resultando ser económicamente rentable.

Con éste proyecto se concluye que los aceites lubricantes usados se pueden reacondicionar por medio de un tratamiento Ácido – Arcilla, para obtener un aceite lubricante base con propiedades fisicoquímicas similares a los aceites básicos medianos para preparar nuevos lubricantes automotrices.

Los resultados obtenidos en el reacondicionamiento de aceites automotrices por el método ácido – arcilla demuestran la factibilidad del método, pudiendo ser utilizados como guía para el reacondicionamiento de otro tipo de aceites lubricantes.

## **Glosario de términos.**

**Absorbente polar.** Es un absorbente de agua.

**Alícuota.** Es una parte que se toma de un volumen, para ser utilizada en una prueba de laboratorio.

**ASTM.** Son las siglas en inglés para la American Society of Testing Materials, que significa Asociación Americana de Ensayo de Materiales. La ASTM International es una organización de normas internacionales que desarrolla y publica acuerdos voluntarios de normas técnicas para una amplia gama de materiales, productos, sistemas y servicios.

**Attapulguita.** Es un mineral de la clase de los filosilicatos, compuesta principalmente por silicato de magnesio y aluminio. Es utilizada especialmente como absorbente.

**Bentonitas.** Son arcillas compuestas principalmente por montmorillonita y contiene un alto nivel de iones sodio, se incha al entrar en contacto con el agua. Su principal uso es en el tratamiento de aceite y en lodos de perforación.

**Colorímetro Saybolt.** Equipo utilizado para medir el color en productos líquidos refinados con valores de color ASTM de 0.5 o menos.

**Demulsificación – Desemulsificación.** Es la separación agua – aceite que ocurre en dos etapas: floculación y coalescencia. La reacción puede llevarse a cabo por intercambio de calor, reposo temporal e intercambio eléctrico.

**Emulsión.** Es una mezcla de dos líquidos inmiscibles de manera más o menos homogénea. Un líquido es dispersado en otro, es decir, la fase dispersa en la fase dispersante.

**Gripado.** Es la fusión que se da entre dos piezas metálicas debida al rozamiento durante una temperatura excesiva y una nula lubricación.

**Saponificable.** Que puede pasar por el proceso de saponificación. La saponificación es el proceso químico por el cual un cuerpo graso, unido a agua y un álcali, da como resultado jabón y glicerina.

**Sedimentación.** Consiste en la separación de partículas suspendidas cuyo peso específico es mayor que el del agua y no pueden retenerse por su finura o densidad, se lleva a cabo por la acción de la gravedad.

**Tierra diatomácea.** Es una mezcla formada por esqueletos carbonatados de algas, corales y pequeños crustáceos, que forman una cerámica muy porosa y de gran superficie. Su principal uso es la filtración de impurezas.

**Tierra Fuller.** Es un material mineral inorgánico similar al barro, contiene principalmente silicato de aluminio, se utiliza para deodorizar, filtrar y purificar. Es especialmente efectivo para absorber suciedad en grasas.

**Tribólogos.** Son las personas encargadas de estudiar la fricción, el desgaste y la lubricación que se da durante el contacto entre dos superficies sólidas en movimiento.

## Referencias.

- 1 Lubricante líquido.  
Recuperado el día 25 de Noviembre del 2015 en:  
[https://www.google.com.mx/search?q=lubricante+liquido&source=Inms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwigmZTim-zWAhUB6iYKHRQUCHwQ\\_AUICigB#imgrc=ybGAI9\\_8uVIIM:](https://www.google.com.mx/search?q=lubricante+liquido&source=Inms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwigmZTim-zWAhUB6iYKHRQUCHwQ_AUICigB#imgrc=ybGAI9_8uVIIM:)
- 2 Lubricante semisólido.  
Recuperado el día 25 de Noviembre del 2015 en:  
[https://www.google.com.mx/search?q=lubricante+semisolido&source=Inms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiFy\\_b0nezWAhUCwiYKHcTyDBYQ\\_AUICigB&biw=1024&bih=470#imgrc=NfOATGSRw9oT9M:](https://www.google.com.mx/search?q=lubricante+semisolido&source=Inms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiFy_b0nezWAhUCwiYKHcTyDBYQ_AUICigB&biw=1024&bih=470#imgrc=NfOATGSRw9oT9M:)
- 3 Tratamiento por refinación del petróleo.  
Recuperado el día 29 de Noviembre del 2015 en:  
[https://www.google.com.mx/search?q=Tratamiento+por+refinaci%C3%B3n+del+petr%C3%B3leo&source=Inms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwic0b3DnuzWAhWCeSYKHeuoA-AQ\\_AUICigB&biw=1024&bih=470#imgrc=QjQa5478v1FofM:](https://www.google.com.mx/search?q=Tratamiento+por+refinaci%C3%B3n+del+petr%C3%B3leo&source=Inms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwic0b3DnuzWAhWCeSYKHeuoA-AQ_AUICigB&biw=1024&bih=470#imgrc=QjQa5478v1FofM:)
- 4 Diagrama a bloques de la extracción de bases lubricantes.  
Recuperado el día 29 de Noviembre del 2015 en:  
<http://noria/lub/fundamentos-de-refinacion-de-bases-lubricantes>
- 5 Torre de destilación.  
Recuperado el día 29 de Noviembre del 2015 en:  
[https://www.google.com.mx/search?q=torre+de+destilaci%C3%B3n&source=Inms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjw-8njoezWAhVH64MKHVArBxwQ\\_AUICigB&biw=1024&bih=470#imgrc=R6d\\_QdW8LybDfM:](https://www.google.com.mx/search?q=torre+de+destilaci%C3%B3n&source=Inms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjw-8njoezWAhVH64MKHVArBxwQ_AUICigB&biw=1024&bih=470#imgrc=R6d_QdW8LybDfM:)

- 6 Separación de productos petrolíferos.  
Recuperado el día 29 de Noviembre del 2015 en:  
<http://noria/lub/fundamentos-de-refinacion-de-bases-lubricantes>
- 7 Estructuras químicas obtenidas en el proceso.  
Recuperado el día 29 de Noviembre del 2015 en:  
<http://noria/lub/fundamentos-de-refinacion-de-bases-lubricantes>
- 8 Etapas para la obtención de productos derivados del petróleo.  
Recuperado el día 10 de Enero del 2016 en:  
<http://www.venelogia.com/archivos/9670/>
- 9 Lubricación en un motor de combustión interna del ciclo Otto.  
Recuperado el día 10 de Enero del 2016 en:  
<http://xtdeadmotor.blogspot.mx/2011/06/averias-en-el-sistema-de-lubricacion.html>
- 10 Gripado pistón–camisa.  
Recuperado el día 10 de Enero del 2016 en:  
<https://noticias.coches.com/consejos/motor-gripado-por-que-como-se-evita/174516>
- 11 Sistema de lubricación de un Motor de combustión interna.  
Recuperado el día 10 de Enero del 2016 en:  
<http://migueljerezycaballero.blogspot.mx/2015/05/de-lubricacion-y-aceites-de-la.html>
- 12 Cigüeñal.  
Recuperado el día 10 de Enero del 2016 en:  
[https://www.google.com.mx/search?tbm=isch&q=cig%C3%BCe%C3%B1al+partes&sa=X&ved=0ahUKEwiviJ\\_pq-zWAhXk34MKHYsIDTkQhyYIJQ&biw=1024&bih=470&dpr=1#imgrc=nxd015DkB4p9rM:](https://www.google.com.mx/search?tbm=isch&q=cig%C3%BCe%C3%B1al+partes&sa=X&ved=0ahUKEwiviJ_pq-zWAhXk34MKHYsIDTkQhyYIJQ&biw=1024&bih=470&dpr=1#imgrc=nxd015DkB4p9rM:)
- 13 Árbol de levas.  
Recuperado el día 10 de Enero del 2016 en:  
<http://www.aficionadosalamecanica.net/motor-distribucion.htm>
- 14 Sistema de encendido.  
Recuperado el día 10 de Enero del 2016 en:

<https://www.taringa.net/posts/autos-motos/19300193/Sistema-de-encendido-automotriz.html>

15 Cadena de distribución.

Recuperado el día 10 de Enero del 2016 en:

<http://www.aficionadosalamecanica.net/motor-distribucion.htm>

16 Ciclo de cuatro tiempos del motor de combustión interna.

Recuperado el día 10 de Enero del 2016 en:

[https://es.wikipedia.org/wiki/Ciclo\\_de\\_cuatro\\_tiempos](https://es.wikipedia.org/wiki/Ciclo_de_cuatro_tiempos)

17 Componentes de la biela.

Recuperado el día 10 de Enero del 2016 en:

[https://www.google.com.mx/search?q=componentes+de+la+biela&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwj7q722rO7WAhXIWSYKHeKjBEQQ\\_AUICigB&biw=1024&bih=470#imgrc=NGspLXL9fwkRsM](https://www.google.com.mx/search?q=componentes+de+la+biela&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwj7q722rO7WAhXIWSYKHeKjBEQQ_AUICigB&biw=1024&bih=470#imgrc=NGspLXL9fwkRsM)

18 Lubricación por mezcla en motores de dos tiempos.

Recuperado el día 10 de Enero del 2016 en:

<http://www.aficionadosalamecanica.net/engrase-motor.htm>

19 Esquema típico de un sistema de lubricación a presión.

Recuperado el día 10 de Enero del 2016 en:

<https://es.slideshare.net/shoyas/lubricacion>

20 Esquema de lubricación por cárter seco.

Recuperado el día 10 de Enero del 2016 en:

<http://www.aficionadosalamecanica.net/engrase-motor.htm>

- 21 Bomba de engranajes.  
Recuperado el día 10 de Enero del 2016 en:  
<http://zonaingenieria.com/sistema-de-lubricacion-en-motores-de-combustion-interna/>
- 22 Bomba de rotor.  
Recuperado el día 10 de Enero del 2016 en:  
<http://zonaingenieria.com/sistema-de-lubricacion-en-motores-de-combustion-interna/>
- 23 Bomba de paletas.  
Recuperado el día 10 de Enero del 2016 en:  
<http://zonaingenieria.com/sistema-de-lubricacion-en-motores-de-combustion-interna/>
- 24 Manómetro.  
Recuperado el día 10 de Enero del 2016 en:  
<http://www.sabelotodo.org/automovil/presionaceite.html>
- 25 Válvula de descarga.  
Recuperado el día 10 de Enero del 2016 en:  
<http://www.monografias.com/trabajos104/motor-diesel/motor-diesel4.shtml>
- 26 Filtro de aceite.  
Recuperado el día 10 de Enero del 2016 en:  
<http://www.aficionadosalamecanica.net/engrase-motor.htm>
- 27 Tipos de filtrado.  
Recuperado el día 10 de Enero del 2016 en:  
<https://sites.google.com/site/sistema-lubricacion-melendez21020/>
- 28 Aceite lubricante usado.  
Recuperado el día 27 de Abril del 2016 en:  
[https://www.google.com.mx/search?q=aceite+lubricante+usado&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjZ3\\_nqs-7WAhVJ7SYKHUtrCJcQ\\_AUICigB&biw=1024&bih=470#imgrc=YaWraZlvtmviM:](https://www.google.com.mx/search?q=aceite+lubricante+usado&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjZ3_nqs-7WAhVJ7SYKHUtrCJcQ_AUICigB&biw=1024&bih=470#imgrc=YaWraZlvtmviM:)
- 29 Aceite derramado.  
Recuperado el día 27 de Abril del 2016 en:

[https://www.google.com.mx/search?q=aceite+lubricante+usado&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjZ3\\_nqs-7WAhVJ7SYKHUtrCJcQ\\_AUICigB&biw=1024&bih=470#imgrc=OwB0mykT9xiQkM:](https://www.google.com.mx/search?q=aceite+lubricante+usado&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjZ3_nqs-7WAhVJ7SYKHUtrCJcQ_AUICigB&biw=1024&bih=470#imgrc=OwB0mykT9xiQkM:)

30 De esta manera afecta la contaminación por aceites a los peces.

Recuperado el día 27 de Abril del 2016 en:

[https://www.google.com.mx/search?q=contaminacion+por+aceite+en+peces&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwj0mMnXtO7WAhUJWCYKHdXMCo0Q\\_AUICigB&biw=1024&bih=470#imgrc=DY7supjR9GGMhM:](https://www.google.com.mx/search?q=contaminacion+por+aceite+en+peces&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwj0mMnXtO7WAhUJWCYKHdXMCo0Q_AUICigB&biw=1024&bih=470#imgrc=DY7supjR9GGMhM:)

31 Símbolo de reciclaje de aceites.

Recuperado el día 27 de Abril del 2016 en:

[https://www.google.com.mx/search?q=s%C3%ADmbolo+de+reciclaje+de+aceites&tbm=isch&source=iu&pf=m&ictx=1&fir=2nf3rvtFjXBa7M%253A%252CPa0e9hVEjy-4MM%252C\\_&usq=NsrRfUr93zp4ctul9P9amZzDroY%3D&sa=X&ved=0ahUKEwig\\_J3-tO7WAhUBLSYKHWFc4MQ9QEILzAC#imgrc=2nf3rvtFjXBa7M:](https://www.google.com.mx/search?q=s%C3%ADmbolo+de+reciclaje+de+aceites&tbm=isch&source=iu&pf=m&ictx=1&fir=2nf3rvtFjXBa7M%253A%252CPa0e9hVEjy-4MM%252C_&usq=NsrRfUr93zp4ctul9P9amZzDroY%3D&sa=X&ved=0ahUKEwig_J3-tO7WAhUBLSYKHWFc4MQ9QEILzAC#imgrc=2nf3rvtFjXBa7M:)

32 Filtro de aceite.

Recuperado el día 27 de Abril del 2016 en:

[https://www.google.com.mx/search?q=filtro+de+aceite+industrial&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjKpsTute7WAhUH5YMKHXx4BVwQ\\_AUICigB&biw=1024&bih=470#imgrc=emv1m8uNawMufM:](https://www.google.com.mx/search?q=filtro+de+aceite+industrial&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjKpsTute7WAhUH5YMKHXx4BVwQ_AUICigB&biw=1024&bih=470#imgrc=emv1m8uNawMufM:)

33 Aparato Cleveland de Copa abierta.

Recuperado el día 29 de Abril del 2016 en:

[https://www.google.com.mx/search?q=componentes+aparato+de+copa+abierto+cleveland&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiN6cbet-7WAhVJ4CYKHdbqBX0Q\\_AUICigB&biw=1024&bih=470#imgrc=OBwatkt0xguu1M:](https://www.google.com.mx/search?q=componentes+aparato+de+copa+abierto+cleveland&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiN6cbet-7WAhVJ4CYKHdbqBX0Q_AUICigB&biw=1024&bih=470#imgrc=OBwatkt0xguu1M:)

## Bibliografía.

- ASTM-D 1298: *Standard Practice for Density, Relative Density (Specific Gravity), or API Gravity of Crude Petroleum and Liquid Petroleum Products*, (1999), American Society for Testing and Materials.
- ASTM-D 445: *Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids (and Calculation of Dynamic Viscosity)*, (1965), American Society for Testing and Materials.
- Bailey Alton Edward, (1984), *Aceites y grasas industriales*, Barcelona, Editorial Reverte.
- Castellan Gilbert W. (1998), *Fisicoquímica*, segunda edición, Editorial Pearson Educación.
- Drew Troyer y Jim Fitch, (2010) *Oil Analysis Basics en español*, segunda edición, editorial Noria.
- Elizagárate Carlos, (2010), *Los lubricantes para automoción*, Revisión 7ª, Edición Alter Evo Ingenieros.
- Gooding, Garavito Néstor, (1998), *Lubricación industrial*, Ed. Universidad Nacional Facultad de ingeniería.
- Grouse W.A. y Stevens D.R., (1964), *Tecnología Química del Petróleo*, Barcelona, Ediciones Omega.
- Howell Jhon R. y Buckius Richard O., (1990), *Principios de Termodinámica para Ingenieros*, Ed. Mc Graw Hill.
- Müller Erich A., (2002), *Termodinámica Básica*, segunda edición, Universidad Simón Bolívar.
- Nash Frederick C., (2004), *Fundamentos de mecánica automotriz*, Editorial Planeta Mexicana.

- Shell, *Tutor de Lubricación, Modulo 1*. Introducción a los Lubricantes y a la Lubricación.
- Tormos Martínez Bernardo, (2005), *Diagnóstico de motores diesel mediante el análisis de aceite usado*, España, Editorial Reverte.
- Benaverte R. Gonzalo, (1999), *Aceite lubricante usado*, Chile, Bravo Energy.
- Carrasco Marco, (2000), *Tratamiento de borras ácidas*, Venezuela, Universidad de Carabobo.

## Cibergrafía

Lubricante líquido. Recuperado el día 25 de Noviembre del 2015 en:

[https://www.google.com.mx/search?q=lubricante+liquido&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiqmZTim-zWAhUB6iYKHRQUChwQ\\_AUICigB#imgrc=ybGai9\\_8uVIIM:](https://www.google.com.mx/search?q=lubricante+liquido&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiqmZTim-zWAhUB6iYKHRQUChwQ_AUICigB#imgrc=ybGai9_8uVIIM:)

Lubricante semisólido. Recuperado el día 25 de Noviembre del 2015 en:

[https://www.google.com.mx/search?q=lubricante+semisolido&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiFy\\_b0nezWAhUCwiYKHcTyDBYQ\\_AUICigB&biw=1024&bih=470#imgrc=NfOATGSRw9oT9M:](https://www.google.com.mx/search?q=lubricante+semisolido&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiFy_b0nezWAhUCwiYKHcTyDBYQ_AUICigB&biw=1024&bih=470#imgrc=NfOATGSRw9oT9M:)

Tratamiento por refinación del petróleo. Recuperado el día 29 de Noviembre del 2015 en:

[https://www.google.com.mx/search?q=Tratamiento+por+refinaci%C3%B3n+del+petr%C3%B3leo&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwic0b3DnuzWAhWCeSYKHeuoA-AQ\\_AUICigB&biw=1024&bih=470#imgrc=QjQa5478v1FofM:](https://www.google.com.mx/search?q=Tratamiento+por+refinaci%C3%B3n+del+petr%C3%B3leo&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwic0b3DnuzWAhWCeSYKHeuoA-AQ_AUICigB&biw=1024&bih=470#imgrc=QjQa5478v1FofM:)

Diagrama a bloques de la extracción de bases lubricantes. Recuperado el día 29 de Noviembre del 2015 en:

<http://noria/lub/fundamentos-de-refinacion-de-bases-lubricantes>

Torre de destilación. Recuperado el día 29 de Noviembre del 2015 en:

[https://www.google.com.mx/search?q=torre+de+destilaci%C3%B3n&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjwt8njoezWAhVH64MKHVArBxwQ\\_AUICigB&biw=1024&bih=470#imgrc=R6d\\_QdW8LybDfM:](https://www.google.com.mx/search?q=torre+de+destilaci%C3%B3n&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjwt8njoezWAhVH64MKHVArBxwQ_AUICigB&biw=1024&bih=470#imgrc=R6d_QdW8LybDfM:)

Separación de productos petrolíferos. Recuperado el día 29 de Noviembre del 2015 en:

<http://noria/lub/fundamentos-de-refinacion-de-bases-lubricantes>

Estructuras químicas obtenidas en el proceso. Recuperado el día 29 de Noviembre del 2015 en:

<http://noria/lub/fundamentos-de-refinacion-de-bases-lubricantesD>

Etapas para la obtención de productos derivados del petróleo. Recuperado el día 10 de Enero del 2016 en:

<http://www.venelogia.com/archivos/9670/>

Lubricación en un motor de combustión interna del ciclo Otto. Recuperado el día 10 de Enero del 2016 en:

<http://xtdeadmotor.blogspot.mx/2011/06/averias-en-el-sistema-de-lubricacion.html>

Gripado pistón–camisa. Recuperado el día 10 de Enero del 2016 en:

<https://noticias.coches.com/consejos/motor-gripado-por-que-como-se-evita/174516>

Sistema de lubricación de un Motor de combustión interna. Recuperado el día 10 de Enero del 2016 en:

<http://migueljerezycaballero.blogspot.mx/2015/05/de-lubricacion-y-aceites-de-la.html>

Cigüeñal. Recuperado el día 10 de Enero del 2016 en:

[https://www.google.com.mx/search?tbm=isch&q=cig%C3%BCe%C3%B1al+partes&sa=X&ved=0ahUKEwiviJ\\_pq-zWAhXk34MKHYsIDTkQhyYIJQ&biw=1024&bih=470&dpr=1#imgrc=nxd015DkB4p9rM:](https://www.google.com.mx/search?tbm=isch&q=cig%C3%BCe%C3%B1al+partes&sa=X&ved=0ahUKEwiviJ_pq-zWAhXk34MKHYsIDTkQhyYIJQ&biw=1024&bih=470&dpr=1#imgrc=nxd015DkB4p9rM:)

Árbol de levas. Recuperado el día 10 de Enero del 2016 en:

<http://www.aficionadosalamecanica.net/motor-distribucion.html>

Sistema de encendido. Recuperado el día 10 de Enero del 2016 en:

<https://www.taringa.net/posts/autos-motos/19300193/Sistema-de-encendido-automotriz.html>

Cadena de distribución. Recuperado el día 10 de Enero del 2016 en:

<http://www.aficionadosalamecanica.net/motor-distribucion.html>

Ciclo de cuatro tiempos del motor de combustión interna. Recuperado el día 10 de Enero del 2016 en:

<https://es.wikipedia.org/wiki/Ciclodecuatrotiempos>

Componentes de la biela. Recuperado el día 10 de Enero del 2016 en:

[https://www.google.com.mx/search?q=componentes+de+la+biela&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwj7q722rO7WAhXIWSYKHeKjBEQQ\\_AUICigB&biw=1024&bih=470#imgrc=NGspLXL9fwkRsM](https://www.google.com.mx/search?q=componentes+de+la+biela&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwj7q722rO7WAhXIWSYKHeKjBEQQ_AUICigB&biw=1024&bih=470#imgrc=NGspLXL9fwkRsM)

Lubricación por mezcla en motores de dos tiempos. Recuperado el día 10 de Enero del 2016 en:

<http://www.aficionadosalamecanica.net/engrase-motor.html>

Esquema típico de un sistema de lubricación a presión. Recuperado el día 10 de Enero del 2016 en:

<https://es.slideshare.net/shoyas/lubricacion>

Esquema de lubricación por cárter seco. Recuperado el día 10 de Enero del 2016 en:

<http://www.aficionadosalamecanica.net/engrase-motor.html>

Bomba de engranajes. Recuperado el día 10 de Enero del 2016 en:

<http://zonaingenieria.com/sistema-de-lubricacion-en-motores-de-combustion-interna/>

Bomba de rotor. Recuperado el día 10 de Enero del 2016 en:

<http://zonaingenieria.com/sistema-de-lubricacion-en-motores-de->

[combustion-interna/ciclo otto/](#)

Bomba de paletas. Recuperado el día 10 de Enero del 2016 en:

<http://zonaingenieria.com/sistema-de-lubricacion-en-motores-de-combustion-interna/>

Manómetro. Recuperado el día 10 de Enero del 2016 en:

<http://www.sabelotodo.org/automovil/presionaceite.html>

Válvula de descarga. Recuperado el día 10 de Enero del 2016 en:

<http://www.monografias.com/trabajos104/motor-diesel/motor-diesel4.shtml>

Filtro de aceite. Recuperado el día 10 de Enero del 2016 en:

<http://www.aficionadosalamecanica.net/engrase-motor.html>

Tipos de filtrado. Recuperado el día 10 de Enero del 2016 en:

<https://sites.google.com/site/sistema-lubricacion-melendez21020/>

Aceite lubricante usado. Recuperado el día 27 de Abril del 2016 en:

[https://www.google.com.mx/search?q=aceite+lubricante+usado&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjZ3\\_nqs-7WAhVJ7SYKHUtrCJcQ\\_AUICigB&biw=1024&bih=470#imgrc=YaWraZlvtmvviM:](https://www.google.com.mx/search?q=aceite+lubricante+usado&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjZ3_nqs-7WAhVJ7SYKHUtrCJcQ_AUICigB&biw=1024&bih=470#imgrc=YaWraZlvtmvviM:)

Aceite derramado. Recuperado el día 27 de Abril del 2016 en:

[https://www.google.com.mx/search?q=aceite+lubricante+usado&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjZ3\\_nqs-7WAhVJ7SYKHUtrCJcQ\\_AUICigB&biw=1024&bih=470#imgrc=OwB0mykT9xiQkM:](https://www.google.com.mx/search?q=aceite+lubricante+usado&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjZ3_nqs-7WAhVJ7SYKHUtrCJcQ_AUICigB&biw=1024&bih=470#imgrc=OwB0mykT9xiQkM:)

De esta manera afecta la contaminación por aceites a los peces.

Recuperado el día 27 de Abril del 2016 en:

[https://www.google.com.mx/search?q=contaminacion+por+aceite+en+peces&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwj0mMnXtO7WAhUJWCYKHdXMC0Q\\_AUICigB&biw=1024&bih=470#imgrc=DY7supjR9GGMhM:](https://www.google.com.mx/search?q=contaminacion+por+aceite+en+peces&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwj0mMnXtO7WAhUJWCYKHdXMC0Q_AUICigB&biw=1024&bih=470#imgrc=DY7supjR9GGMhM:)

Símbolo de reciclaje de aceites. Recuperado el día 27 de Abril del 2016 en:

[https://www.google.com.mx/search?q=s%C3%ADmbolo+de+reciclaje+de+aceites&tbm=isch&source=iu&pf=m&ictx=1&fir=2nf3rvtFjXBa7M%253A%252CPa0e9hVEjy4MM%252C\\_&usq=\\_NsrRfUr93zp4ctul9P9amZzDroY%3D&sa=X&ved=0ahUKEwiq\\_J3-tO7WAhUBLSYKHWFc4MQ9QEILzAC#imgrc=2nf3rvtFjXBa7M:](https://www.google.com.mx/search?q=s%C3%ADmbolo+de+reciclaje+de+aceites&tbm=isch&source=iu&pf=m&ictx=1&fir=2nf3rvtFjXBa7M%253A%252CPa0e9hVEjy4MM%252C_&usq=_NsrRfUr93zp4ctul9P9amZzDroY%3D&sa=X&ved=0ahUKEwiq_J3-tO7WAhUBLSYKHWFc4MQ9QEILzAC#imgrc=2nf3rvtFjXBa7M:)

Filtro de aceite. Recuperado el día 27 de Abril del 2016 en:

[https://www.google.com.mx/search?q=filtro+de+aceite+industrial&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjksTute7WAhUH5YMKHXx4BVwQ\\_AUICigB&biw=1024&bih=470#imgrc=emv1m8uNawMufM:](https://www.google.com.mx/search?q=filtro+de+aceite+industrial&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjksTute7WAhUH5YMKHXx4BVwQ_AUICigB&biw=1024&bih=470#imgrc=emv1m8uNawMufM:)

Aparato Cleveland de Copa abierta. Recuperado el día 29 de Abril del 2016 en:

[https://www.google.com.mx/search?q=componentes+aparato+de+copa+abierta+cleveland&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiN6cbet-7WAhVJ4CYKHdbqBX0Q\\_AUICigB&biw=1024&bih=470#imgrc=OBwatkt0xquu1M:](https://www.google.com.mx/search?q=componentes+aparato+de+copa+abierta+cleveland&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiN6cbet-7WAhVJ4CYKHdbqBX0Q_AUICigB&biw=1024&bih=470#imgrc=OBwatkt0xquu1M:)