

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA.**



**ÁREA DE ENERGÍA, INDUSTRIAS Y RECURSOS NATURALES  
NO RENOVABLES**

**INGENIERÍA ELECTRO MECÁNICA**

**Tema:**

**“DISEÑO DE UN ESQUEMA DE REPROCESADO DE  
ACEITE USADO PARA LA OBTENCION DE ACEITE ”**

**Tesis de grado previa a la  
obtención del título en  
ingeniería en electro-mecánica**

**AUTOR:**

**Francisco Xavier Torres Heredia**

**DIRECTOR:**

**Ing. Milton León Tapia.**

**Loja – Ecuador**

**2004**

Ing. Milton León Tapia

Certifica.

Que el señor Francisco Xavier Torres Heredia egresado de la carrera de Ingeniería de Electro-Mecánica desarrollo el trabajo de investigación sobre el tema “diseño de un esquema de reprocesado de aceite usado para la obtención de aceite ” la misma que a sido revisada en forma apropiada cumpliendo con las normas generales para la graduación en la Universidad Nacional de Loja para lo cual autorizo su presentación

Loja 15 de Noviembre del 2004

Ing. Milton León Tapia

## Declaración de autoridad

El integrante de la investigación yo Francisco Xavier Torres Heredia sobre el tema “Diseño de un esquema de reprocesado de aceite usado para la obtención de aceite” se responsabiliza por los contenidos de la presente tesis y asume la autoridad de la misma

Loja 15 de Noviembre del 2004

Francisco X. Torres Heredia

“Lo importante no es cuando se llega a la meta si no el saber llegar y cumplir lo trazado.”

No importa si el objetivo planteado es duro de conseguir, el saber alcanzarlo es lo importante, no importa cuanto se puede uno demorar siempre que se tenga esa idea fija de conseguirlo, a pesar del tiempo y de los diferentes problemas que surjan en el camino para obtener lo deseado.

El presente trabajo de tesis lo dedico a mis padres y hermanos, pero muy especial a Mariana Heredia mi madre quien con su apoyo y su dedicación ha forjado y cultivado en mi valores de dedicación ayuda y generosidad, como el luchar por lo que uno quiere en la vida y seguir adelante atravesando todo obstáculo presente, y que nada es imposible.

Agradezco a Díos por mis padres, hermanos, familia y amigos ya que sin el apoyo incondicional de ellos no hubiera cumplido ningún objetivo y haber alcanzado a la elaboración de este tema de tesis.

A las diferentes personas que directamente o indirectamente han participado a la elaboración de este trabajo, como a los diferentes docentes de la carrera de ingeniería electro-mecánica que compartieron sus conocimientos en el transcurso de los módulos, al Ing. Milton León Tapia que con su ayuda se pudo realizar este trabajo de tesis .

El presente trabajo desarrolla un esquema para el reprocesado de aceite usado de motores de combustión interna, con el objetivo de recuperar algunas de las principales propiedades tales como viscosidad, densidad, punto de inflamación, para su empleo en su forma original o en otras, haciendo pasar a través de un lecho filtrante de zeolita con diferentes granulometrías lo que contribuirá a una mejor gestión y reutilización de un desecho peligrosamente nocivo al medio ambiente.

Teniendo en cuenta y aprovechando la experiencia obtenida en otros trabajos de investigación acerca del filtrado de aceite se propone el diseño de un esquema de filtración del aceite que sirva como método para su reprocesado. Estudiando además los efectos de los aceites usados en el medio ambiente, así como una valorización económica de la factibilidad de emprender la nueva inversión.

The present work develops an outline for the reprocessed of used oil of motors of internal combustion, with the objective of recovering some of the main such properties as viscosity, density, inflammation point, for its employment in its original form or in other, making pass through a channel zeolita filtrate with different grains what will contribute to a better administration and reutilization from a dangerously noxious waste to the environment.

Keeping in mind and taking advantage of the experience obtained in other investigation works about the filtrate of oil intends the design of an outline of filtration of the oil that is good as method for their reprocessed. Also studying the effects of the oils used in the environment, as well as an economic appraisalment of the feasibility of undertaking the new investment.



## ÍNDICE

	Introducción	19
	Situación problemática	22
	Objetivos de la investigación	24
	Hipótesis	26
	Capítulo I. Generalidades	
1	Proceso de obtención de los aceites	28
1.1	Proceso de destilación	30
1.2	Obtención de aceite base	32
1.3	Descripción de las unidades de refino de aceite base	33
1.3.1	Unidad de desasfaltado	33
1.3.2	Unidad de furfural	33
1.3.3	Unidad de desparafinado	34
1.3.4	Unidad de ácido	35
1.3.5	Unidad de tierras	35
1.3.6	Tratamiento por hidrogenación catalítica	36
1.4	Lubricantes. Clasificación	36
1.4.1	Obtención de aceites lubricantes	37
1.4.2	Aditivos lubricantes	38
1.4.2.1	Propiedades generales de los aditivos	38
1.4.2.2	Actuación de un aditivo frente a otro y ante el aceite base	39
1.5	Propiedades de los lubricantes	40
1.5.1	Propiedades físicas	40
1.5.1.1	Color y fluorescencia	40
1.5.1.2	Densidad	41
1.5.1.3	Viscosidad	41
1.5.1.4	Untuosidad	42
1.5.1.5	Peso específico	42
1.5.2	Propiedades térmicas	42
1.5.2.1	Puntos de inflamación y combustión	42
1.5.3	Propiedades químicas	42
1.5.3.1	Residuo de carbón	42
1.6	Características de los aceites para motores	44
1.7	Condiciones a las que está sometido un aceite de motor	44
1.8	Funciones que deben satisfacer los aceites de motor	44
1.9	Especificaciones de un aceite para motor	44
1.9.1	Especificaciones de viscosidad	44
1.9.2	Especificaciones de calidad	46
1.10	Contaminación del aceite	49
1.10.1	Causas de la contaminación	50

1.10.2	Elementos contaminantes que aparecen en los aceites de los motores de combustión interna	50
--------	--	----

## Capítulo II. Métodos y Medios para el Reprocesado

2.1	Alternativas de los aceites usados	53
2.2	Diferentes métodos de gestión de los aceites usados	54
2.3	Recuperación energética	55
2.3.1	Ventajas como combustible alternativo	56
2.4	Procesos fundamentales del reprocesado	56
2.4.1	Tratamiento térmico	56
2.4.2	Sedimentación	56
2.4.3	Centrifugación	56
2.4.3.1	Ventajas de la separación centrífuga	59
2.4.3.2	Campos de aplicación de los sistemas centrífugos	60
2.5	Procesos de limpieza	60
2.5.1	Procesos ácido/tierra	60
2.5.2	Floculación ácido surfactante	61
2.5.3	Proceso destilación/tierra	61
2.5.4	Tratamiento de la arcilla	61
2.5.5	Destilación	62
2.5.6	Destilación/ tratamiento químico o extracción con solvente	62
2.5.7	Proceso interline	63
2.5.8	Evaporador de la película fina (TFE) y diferentes procesos de acabado	64
2.5.9	Tratamiento con hidrogeno	65
2.6	Filtros	66
2.6.1	Medios filtrantes	67
2.6.1.1	Zeolita	67

## Capítulo III Metodología de la Investigación y Análisis de los Resultados

3.1	Desarrollo de la investigación	70
3.2	Selección de las variables de entrada y salida	72
3.2.1	Variables de entrada	72
3.2.2	Variables de salida	72
3.3	Ensayos para la determinación de los parámetros estudiados	74
3.3.1	Densidad	74
3.3.2	Viscosidad	75
3.3.2.1	Viscosidad absoluta o viscosidad dinámica	75
3.3.2.2	Viscosímetros rotacionales	76
3.3.2.3	Índice de viscosidad	77
3.3.2.4	Punto de inflamación y combustión	78
3.4	Resultados y discusión	79

3.5	Resultados del experimento	80
3.5.1	Discusión de los resultados	81
3.5.1.1	Resultados para la muestra antes del filtrado	81
3.5.1.2	Resultados de los ensayos al aceite reprocesado en la primera corrida	81
3.5.1.3	Resultados de los ensayos al aceite reprocesado en la segunda corrida	82
3.5.1.4	Resultados de los ensayos al aceite reprocesado en la tercera corrida	83
3.6	Propuesta de la instalación de reprocesado	84
3.7	Selección y diseño del equipamiento	84
3.7.1	Cálculos del depósito	85
3.7.1.1	Cálculo del colector principal del aceite usado	85
3.7.1.2	Volumen de los filtros	85
3.7.1.3	Cálculo de la cantidad de Zeolita para los filtros	86
3.7.1.4	Cantidad de Zeolita para el filtro propuesto en el sistema de reprocesado	87
3.7.1.5	Volumen de los filtros	87
3.7.1.6	Cálculo del depósito o colector de aceite reprocesado	88
3.7.1.7	Cálculo del caudal	88
3.7.1.8	Selección de la bomba	90
3.7.1.9	Selección de la centrífuga	91
Capítulo IV Valoración Económica e Impacto Ambiental		
4.1	Valoración económica	95
4.1.1	Cálculo de los costos capitales	96
4.1.2	Cálculo de los costos de operación	97
4.1.2.1	Cálculo de los costos de energía.	98
4.1.2.2	Costo totales de la operación mensual	98
4.1.3	Cálculo del valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR)	100
4.2	Impacto ambiental	102
4.3	Impacto ambiental del trabajo	107
	Conclusiones	109
	Recomendaciones	110
	Referencias bibliográficas	112
	Anexos	115

Los hidrocarburos se crearon en nuestro planeta a lo largo de millones de años, al irse transformando químicamente la materia orgánica procedente de animales y vegetales que han existido en las diferentes eras geológicas, tanto lacustre como marinas, cuando las condiciones físicas de presión, temperaturas y enterramiento por capas de sedimentos impermeables han sido favorables a dicha conversión.

La serie de hidrocarburos determina a que tipo de refino hay que someter el crudo y los restantes elementos que constituyen una pequeña parte de las moléculas hidrocarbonadas, determina el tipo de tratamiento químico que debe efectuarse.

Es muy grande el número de hidrocarburos presentes en el petróleo, se han llegado a estimar hasta 3000 compuestos diferentes más otras series que se producen durante las operaciones de refino. De todos ellos solo algunos han sido estudiados siendo los más conocidos entre otros los siguientes: Parafínica; Nafténica; Olefínica; Aromática.

En el Ecuador, como en muchos países del mundo, se tiene el problema de los residuos provenientes de los aceites utilizados para la lubricación de las diferentes máquinas o maquinarias. Los aceites usados constituyen un residuo peligroso del que se pueden derivar graves daños medioambientales, a consecuencia de una gestión inadecuada por parte de diferentes organizaciones, ya sean privadas o públicas para el reciclaje y almacenamiento de los mismos.

La lubricación puede tener un impacto positivo o negativo sobre el medio ambiente dependiendo de su manejo y los productos que se estén utilizando. La conciencia ambientalista que se ha despertado en el mundo entero principalmente a partir de los años 80 propende por la protección de la tierra, el agua y el aire, y cuida de que aquellos compuestos o sustancias que le son añadidos no sean utilizados y sean reemplazados por productos alternativos. Los lubricantes minerales o derivados del petróleo que se utilizan en volúmenes que ascienden a millones de galones diarios, fueron durante muchos años y aún en la actualidad se presenta, arrojados a la tierra, a los ríos o se quemaban como productos de combustión (mezclados con un combustible). Como resultado de los últimos estudios sobre la atmósfera de la tierra y del deterioro que esta

---

viene sufriendo, se ha empezado a tomar conciencia ambientalista en lubricación por parte de la industria mundial y de los productos de lubricantes, surgiendo como consecuencia los “LUBRICANTES CON CONCIENCIA AMBIENTAL” (EAL) los cuales permiten la conservación de los recursos no renovables, reducción de las fuentes de contaminación ambiental, reciclaje y biodegradabilidad.

Por otra parte, estos aceites conservan gran parte de los hidrocarburos que contenían previamente a su uso, lo que les confiere un valor económico que permite el desarrollo de un importante mercado.

El presente trabajo parte de una instalación piloto de reprocesado de aceite, con la utilización de un sistema cerrado de aceite utilizado. Con un filtro de lecho de zeolita con diferentes granulometrías, para determinar si es posible con esta instalación piloto, recuperar tanto las propiedades físicas como químicas de un aceite usado, o asemejarse a las propiedades de un aceite virgen. Con el fin de darle utilidad al aceite ya utilizado, si no es en su utilización original, en otro tipo de aplicación como por ejemplo: en pinturas de baja calidad, en la agricultura, entre otros.

La utilización del lecho de zeolita en el reprocesado de aceite usado se debió a su composición química y física, ya que este presenta un alto grado de absorción de componentes contaminantes, y después de esto no permite su paso al medio ambiente. Y la zeolita se puede aplicar después como material de construcción, o en otros.

Con el conocimiento aplicado de los diferentes parámetros, ya antes indicados se propone una nueva tecnología, el diseño de un esquema de reprocesado de aceite usado.

Actualmente constituye un gran problema para las naciones en desarrollo, la adquisición de tecnologías que permitan reciclar o tratar adecuadamente los desechos de los aceites, debido a que en su gran mayoría están patentadas por compañías transnacionales cuyo afán de lucro las hacen inaccesibles.

En la ciudad de Loja existe la necesidad de encontrar soluciones para gestionar los volúmenes crecientes de aceites usados, debido al aumento vertiginoso del parque automotor, con vistas a aprovechar un material de desecho y apalear la contaminación al medio que provoca el vertimiento de los mismos, por contener compuestos químicos peligrosos, que presentan alta resistencia a la descomposición química, biológica y térmica conocidos como bifenoles policlorados.

Objetivo General.

Reprocesar el aceite usado para su reutilización, disminuyendo la contaminación ambiental.

Objetivos específicos:

- Establecer el estado del arte.
- Proponer un esquema de reprocesado del aceite usado.
- Estudiar la contaminación ambiental por los desechos de los aceites usados.
- Valorar económica la nueva inversión.

### Hipótesis General.

Es posible el mejoramiento de las propiedades del aceite usado mediante un sistema de tratamiento, que permita su reutilización, sin perjudicar al medio ambiente.

### Hipótesis específicas:

- Con un sistema adecuado para el tratamiento de aceite usado, es posible reconvertirlo en un aceite utilizable, obteniendo beneficios económicos y minimizar el impacto ambiental.
- Si se logra una búsqueda detallada, será posible contar con teoría y estudios más detallados para la elaboración de este proyecto, y facilitar otros proyectos más adelante.
- Empleando un esquema de reprocesamiento de aceite usado, es posible minimizar el impacto ambiental provocado por el mismo.
- La utilización del aceite recuperado, constituye una alternativa para disminuir los gastos por el consumo de aceite virgen.



---

## Capítulo I. GENERALIDADES

### 1. PROCESOS PARA LA OBTENCION DE LOS ACEITES

Los restos de las antiguas civilizaciones, nos revelan que el hombre utilizó el petróleo y sus derivados en tiempos prehistóricos. En el año 3800 a.n.e, los sumerios utilizaron el asfalto en el valle del Eufrates, para embalsamar cadáveres, calafatear barcos y construir edificios y carreteras. Basta recordar que el templo de Nabucodonosor, permanece hoy intacto y sus piedras están unidas por asfalto. El petróleo intervino en la construcción de las murallas de Babilonia y Nínive en el año 2000 a.n.e y el procedente de las filtraciones, ha sido extraído y utilizado por los egipcios, pueblos mesopotámicos, indios y chinos durante siglos. Los aceites más ligeros fueron utilizados para cocinar, en el alumbrado y en el tratamiento de enfermedades cutáneas. (José Benlloch María, 1986)

Entre los años 1870 y 1900 comienza la utilización de lubricantes a partir del petróleo, continuando una primacía de los de origen animal y vegetal. Del 1900 al 1930 ocurre una sustitución total de los lubricantes de origen animal y vegetal por lubricantes minerales, manteniéndose esta tendencia hasta los años 50, período a partir del cual comienzan a emplearse los lubricantes minerales con aditivos incluidos. A partir de los años 70 surge una nueva generación de lubricantes conocidos como sintéticos.

La principal cantidad de aceites derivados del petróleo se destina para ser utilizados como materiales lubricantes; su función consiste en disminuir la fricción entre las superficies de los pares tribológicos y en prevenir el desgaste del material de estas partes.

La obtención de aceites lubricantes se realiza mediante varios métodos, los cuales han sido mejorados a través de los años gracias a la experiencia que ha adquirido el hombre, estando en correspondencia con las características de la materia prima (petróleo crudo). En general, el proceso de obtención de aceites en la actualidad se realiza mediante tecnologías muy sofisticadas que comienzan con la extracción del petróleo en los pozos que pasa por diferentes etapas hasta lograr la refinación del mismo. En la Fig. 1.1 se

muestra el proceso de refinación de petróleo desde la extracción hasta la comercialización de sus derivados.

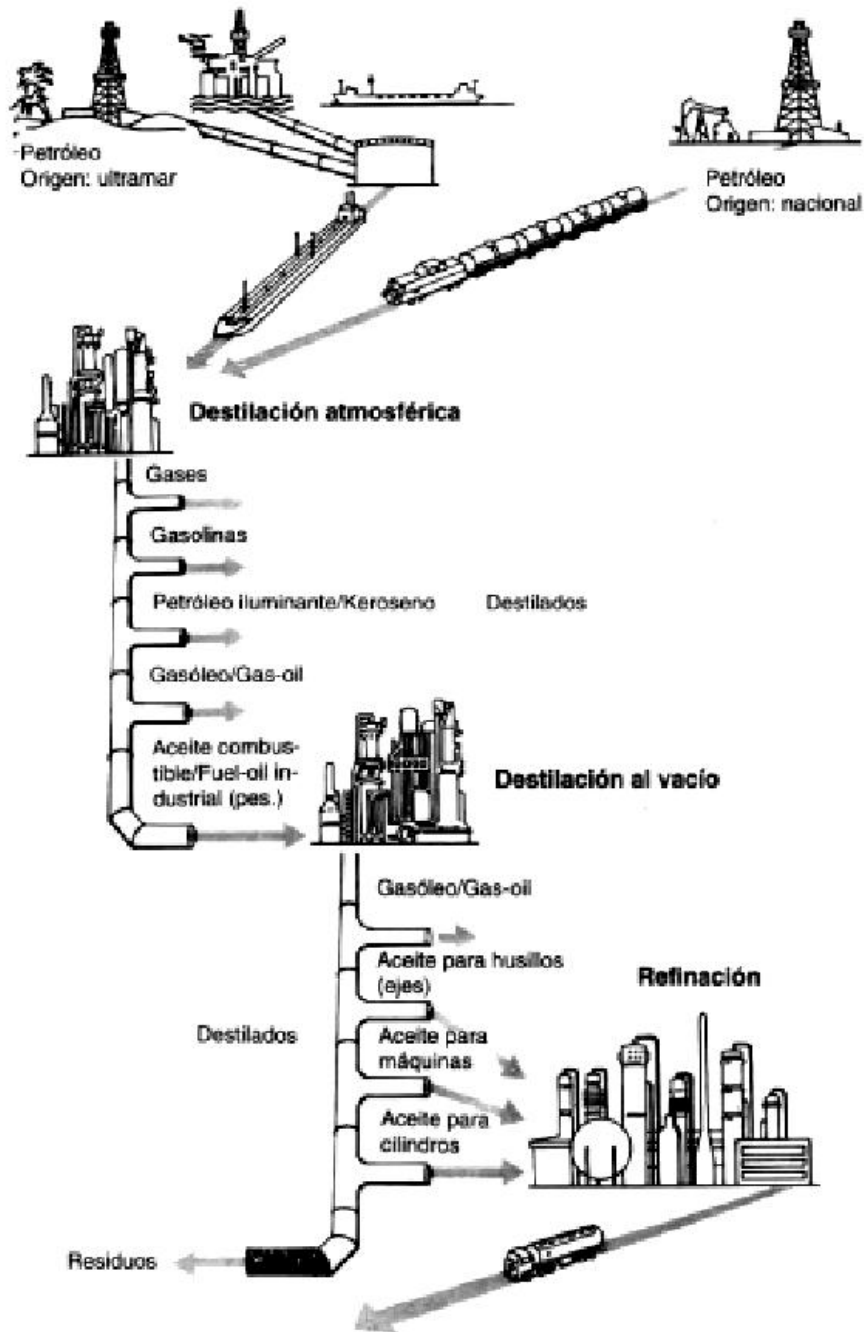


Fig. 1.1 Proceso de refinación del petróleo.  
 “Lubricación de elementos de maquinas”

---

## 1.1 PROCESO DE DESTILACIÓN

El petróleo crudo prácticamente no se utiliza nunca según como se extrae, debe ser procesado en una refinería para transformarlo en la infinidad de productos que se utilizan en la vida cotidiana.

El petróleo crudo, está formado principalmente por moléculas de hidrocarburos de muy variados tamaños y tipos.

Mediante un calentamiento del petróleo crudo en hornos, se lleva éste a temperaturas del orden de los 360 °C haciéndolo circular por medio de bombas centrífugas a una presión de 3 a 4 atmósferas.

En estas condiciones de presión y temperatura se introduce en una columna de destilación fraccionada donde, por la cabeza se extraen, en toma de gastos, hidrocarburos de peso molecular inferior a 90. Con ello se obtienen, en esta extracción, el metano, etano, propano, butano, pentanos y parte de los hexanos u otros compuestos de tipo aromático o nafténico, pero de peso molecular similar.

Por la cabeza de la torre se obtienen los gases ligeros (metano-etano), los gases licuables (propano y butano) y las naftas ligeras (pentanos y más pesados).

Por extracciones laterales de la columna de fraccionamiento se extraen hidrocarburos de mayor peso molecular tales como naftas pesadas, kerosenes que por su peso molecular y presión de vapor servirán para la obtención de combustibles de aviación y gasóleos.

Por el fondo de la torre se obtienen aquellas partes que no ha sido posible vaporizar a la temperatura de 350 °C.

La fracción más viscosa y de mayor peso molecular que no se ha destilado, conocida como residuo atmosférico, es la materia prima para la obtención de los fuel-oil, aceites lubricantes, parafinas y asfaltos.

Una vez obtenidos los diversos productos citados anteriormente es necesario purificarlos, quitándoles principalmente los compuestos de azufre que siempre vienen formando parte del crudo petrolífero. Principalmente se trata de mercaptanos. (Figura 1.2)

Ello se consigue, bien mediante tratamientos con productos químicos (sosa (NaOH, etc.), o por tratamiento con hidrógeno para formar H<sub>2</sub>S que, en forma gaseosa es separado del hidrocarburo. Estos procesos se designan con el nombre de desulfuración.

Para convertir las naftas en gasolinas es necesario tratarlas por procedimientos catalíticos que mejoren su índice de octano, pues los automóviles modernos con motores de alta compresión, requieren gasolinas con índice de octano superior a 90, y en muchos casos del orden de 96/98.

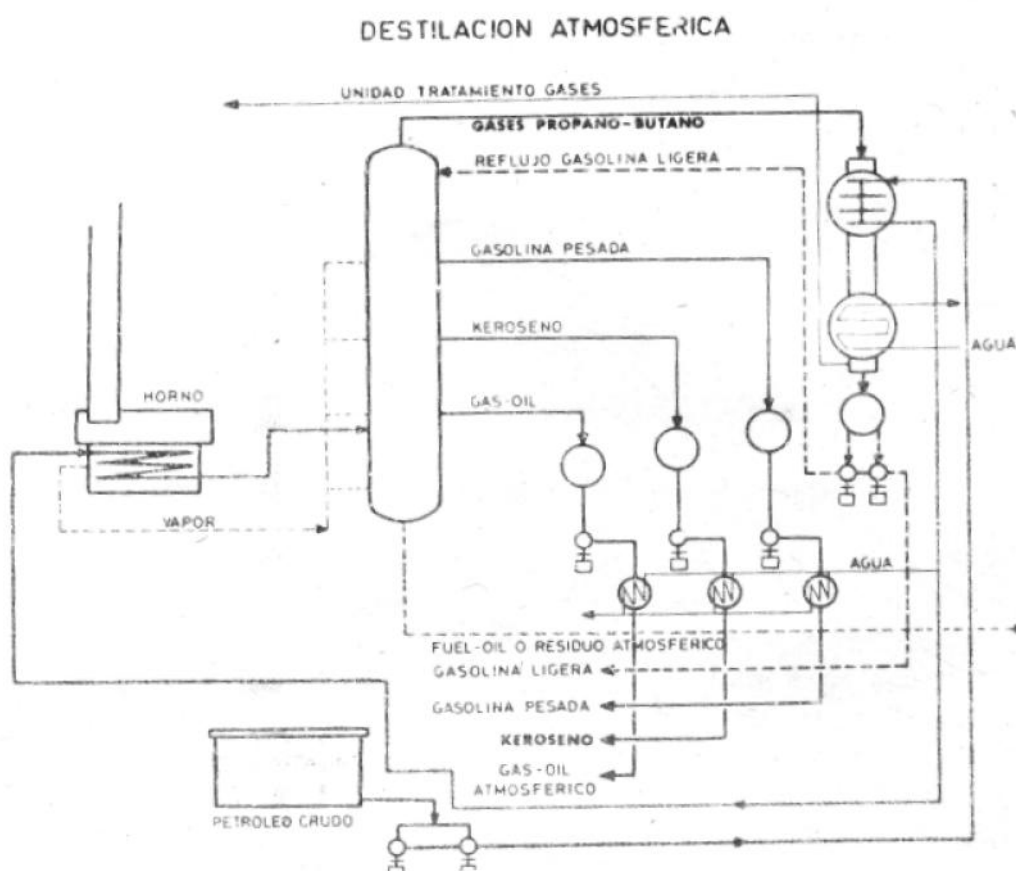


Fig. 1.2 Diagrama de la destilación atmosférica  
 “Lubricantes y Lubricación aplicada primera parte”

Los distintos procesos y tratamientos permiten adecuar los productos que se obtienen en una refinería a las exigencias y demanda del mercado de combustibles.

A continuación serán descritos los procesos para la obtención de los aceites base y los tratamientos a que se les somete.

## 1.2 OBTENCIÓN DE ACEITE BASE

Se parte de otra unidad con torre de destilación fraccionada, pero la diferencia básica con la descrita inicialmente, que fraccionaba el petróleo crudo a presión atmosférica y se obtenían los productos descritos, es que esta nueva torre está sometida a vacío y su carga es el "residuo atmosférico", o sea lo que queda en el fondo de la primera torre de destilación, que vuelve a redestilarse calentando a una mayor temperatura, alrededor de unos 400 °C.

En esta torre de vacío es donde se obtiene la materia prima para la fabricación de los aceites lubricantes, extrayéndose en este nuevo proceso de destilación un gas-oil por la cabeza de la torre y tres cortes laterales que se les puede denominar lube —ligero— medio y pesado, y un residuo de vacío por el fondo (Figura 1.3).

Con estos tres cortes laterales y el residuo de vacío, una vez tratados y refinados, en otras unidades que serán descritas a continuación, es de donde se parte para obtener las bases de los aceites lubricantes.

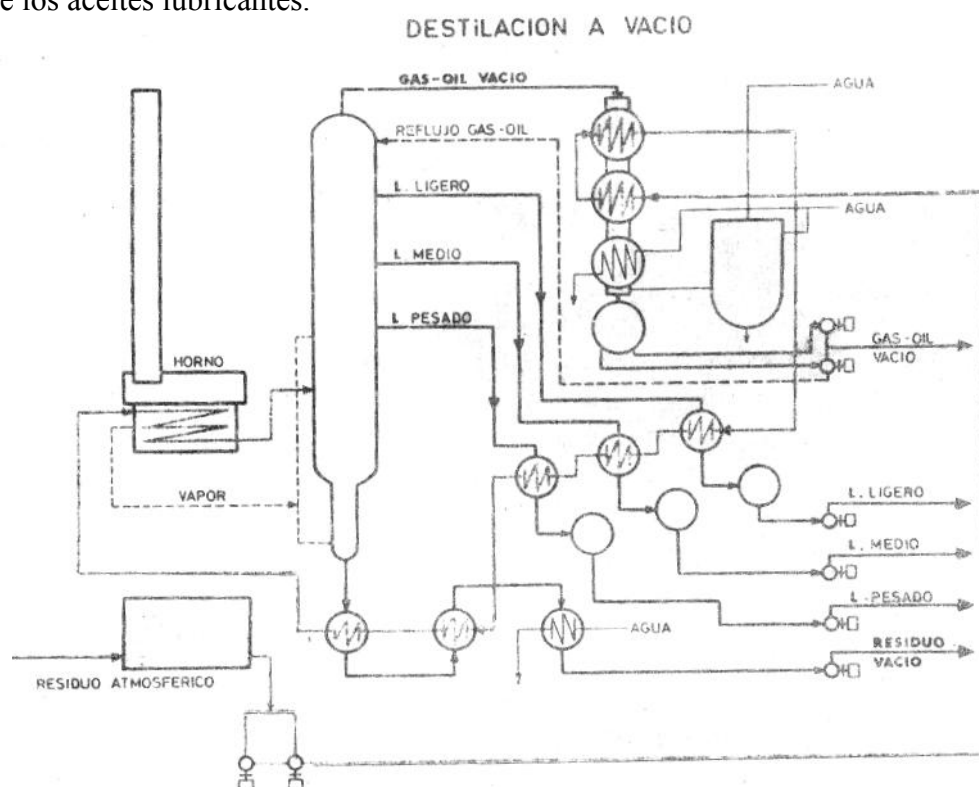


Fig. 1.3 Esquema de destilación a vacío

“Lubricantes y lubricación aplicada primera parte ”

---

## 1.3 DESCRIPCIÓN DE LAS UNIDADES DE REREFINO - ACEITE BASE

### 1.3.1 Unidad de desasfaltado

La carga a esta unidad es el residuo de vacío, o sea, la parte más pesada que es de donde se obtiene las fracciones de lubricantes de mayor viscosidad y de mayor valor. El porcentaje de residuos pesados y asfálticos que contiene la fracción de petróleo bruto es variable y depende fundamentalmente de la procedencia del crudo.

Esta unidad de refino es la encargada de eliminar los componentes asfálticos y metálicos, muy perjudiciales para la preparación de lubricantes líquidos.

La eliminación de estos componentes se hace con propano dentro de una torre a contracorriente y, según la proporción propano-residuo de vacío y temperatura de extracción varía la precipitación o arrastre de las materias asfálticas.

El propano se recupera posteriormente de la fase aceite y de la fase asfalto.

Según el tratamiento y porcentaje de propano, se obtienen, en esta unidad dos productos base, denominados BS (Brigh Stock) y CS (Cylinder Sock).

### 1.3.2 Unidad de furfural

En esta unidad se tratan los cortes Lu-1, Lu-2 y Lu-3, y BS, con el fin de eliminar las materias nocivas y obtener bases con un buen índice de viscosidad y un adecuado grado de refino, eliminando parte de los hidrocarburos aromáticos y nafténicos.

Para eliminar estos compuestos se utilizan actualmente, solventes selectivos que tengan una gran afinidad con ellos, dejando macerados los compuestos parafínicos. Generalmente se suelen utilizar: el furfural, el fenol y duesol y el anhídrido sulfuroso. El más extendido es el furfural aldehído.

El contacto entre el aceite y el solvente se realiza por circulación a contracorriente en una torre; las distintas proporciones de solvente y las temperaturas de operación son variables en función de la intensidad del tratamiento que se requiera, obteniéndose

---

aceites bases con índices de viscosidad entre 75-90 y 100 cSt, según la calidad que se desee y el uso a que se destinen dichas bases. El furfural se recupera posteriormente de la fase refinada y de la fase extracto.

### **1.3.3 Unidad de desparafinado**

Los productos que se alimentan a esta unidad son todos los obtenidos y tratados en las unidades anteriores de desasfaltado y furfural; o sea los Lu-1, Lu-2 y Lu-3 de distintos índices de viscosidad, y los BS y CS de desasfaltado.

Partiendo de crudos parafínicos para la obtención de aceites lubricantes, estas bases poseen elevados puntos de congelación, debido a su contenido en parafinas que se tienen que eliminar para obtener bases con puntos de congelación apropiados en función de sus aplicaciones y servicios a que se destinan y asimismo para que sean manejables y no se solidifiquen incluso a la temperatura ambiente.

Para ello hay que utilizar un solvente que disuelva el aceite y precipite las parafinas de cadena lineal y alto peso molecular.

El disolvente utilizado es una mezcla de MEK (metil-etil-cetona) y de benceno-tolueno en proporciones variables (normalmente 50 % de MEK, 25 % de benceno y 25 % de tolueno, según el grado de desparafinado que se quiera conseguir). Este disolvente tiene la propiedad de seleccionar a los hidrocarburos disolviendo a los de baja congelación y precipitando los de punto de congelación elevada en forma de cristales sólidos o parafinas.

La operación se realiza mezclando una cantidad variable de disolvente con el producto a desparafinar, enfriando la mezcla obtenida a la temperatura de congelación deseada en el producto acabado. Al final del circuito de refrigeración y bajo la acción de la temperatura y del disolvente se separan dos fases mediante unos filtros de tambores rotatorios de velocidad variable y con una superficie filtrante de un tejido especial de algodón. Estas fases son:

1. Una líquida que contiene el aceite base y la mayor parte de disolventes
2. Otra sólida que contiene los cristales de parafina y una pequeña cantidad de disolvente.

Después se recuperan de ambas fases el disolvente, obteniendo por una parte parafina y por otra el aceite base desparafinado a la temperatura deseada.

---

### 1.3.4 Unidad de ácido

En esta unidad solamente se tratan una o dos bases de alto índice de viscosidad, para obtener aceites de elevada exigencia a la hora de su utilización, como son los aceites de alta calidad o súper para turbinas de vapor, donde se exigen largos períodos de vida útil, y requieren siempre ir aditivados. Se utiliza ácido sulfúrico al 98 % en dosis del 2 %, el cual sulfona ciertas sustancias indeseables de tipo aromático, precipitando sulfonatos de petróleo que no han podido ser eliminados totalmente en la unidad de furfural.

Este tratamiento sólo es recomendable para aceites a los que posteriormente deban incorporarse aditivos protectores, pues con este tratamiento junto a las sustancias nocivas que se eliminan, también se eliminan ciertos protectores naturales, que posteriormente se incorporan mediante la adición de ciertos tipos de aditivos, siendo la actuación y comportamiento de los mismos mucho más eficaz con las bases tratadas en ácido que si no se hubiesen tratado.

### 1.3.5 Unidad de tierras

En esta unidad se tratan, entre otras, las bases que han pasado por la unidad de ácido con el fin de neutralizar las trazas de éste que puedan quedar retenidas en el aceite. También algunas bases Lu-1, Lu-2 y Lu-3 de distintos índices de viscosidad y puntos de congelación, para preparar ciertos tipos de aceites donde se requieran eliminar, de acuerdo con su aplicación, las sustancias coloidales en suspensión, la absorción de ácidos orgánicos y atenuar o reducir su color, así como eliminar su grado de humedad.

Pueden utilizarse para ello tierras naturales o activadas. El aceite se mezcla íntimamente con una cantidad dosificada de tierra, se calienta la mezcla en un horno tubular pasando a una torre de vacío.

La separación de la tierra se realiza en filtros de tipo bolsa, y posteriormente en filtros prensa.

No obstante, estos dos últimos procesos "Ácido" y "Tierras" en la actualidad ya no son operativos y han quedado prácticamente obsoletos, habiéndose substituido por los tratamientos de desulfuración ferrofining o hidrogenación catalítica.



### **1.3.6 Tratamiento por hidrogenación catalítica**

También puede utilizarse este método para la obtención de aceites de calidad excepcional, con una gran resistencia a la oxidación y elevados índices de viscosidad naturales. Consiste en hacer pasar el aceite e hidrógeno a través de un lecho catalítico bajo condiciones variables de presión y temperatura. Sus bases suelen utilizarse para aceites de transformadores-turbinas y multigrados naturales.

Las distintas bases obtenidas con estos tratamientos, convenientemente mezcladas y con la adición de aditivos, dan lugar a la obtención de los aceites lubricantes expedidos en el mercado.

## **1.4 LUBRICANTES. CLASIFICACIÓN**

Un lubricante es toda sustancia sólida, semisólida o líquida de origen animal, vegetal, mineral o sintético que pueda utilizarse para reducir el rozamiento entre piezas y mecanismos en movimiento.

Los aceites minerales se clasifican según su naturaleza y su estado físico como se muestra en la tabla 1.1

Tabla 1.1 Clasificación de los aceites lubricantes

Según su estado	Semisólidos	Grafito y sulfuro de molibdeno
	Sólidos	Grasas
	Líquidos	Aceites
Según su naturaleza	Parafínicos	Alto índice de viscosidad. Baja volatilidad. Bajo poder disolvente: sedimentos Alto punto de congelación
	Nafténicos	Bajo índice de viscosidad. Densidad más alta. Mayor volatilidad. Bajo punto de congelación.
	Aromáticos	Índice de viscosidad muy bajo. Alta volatilidad. Fácil oxidación Tendencia a formar resinas. Se emulsionan con agua fácilmente.

“Lubricantes y lubricación aplicada”

#### 1.4.1 OBTENCIÓN DE ACEITES LUBRICANTES

Los aceites lubricantes se obtienen a partir de:

- Mezcla de bases
- Aditivación según gamas: industria y automoción.

Los procesos a seguir para la obtención de las distintas gamas de aceites lubricantes, tanto los tipos destinados a la industria como los de automoción, son los siguientes:

- 1° Las bases con los distintos tratamientos de refinado descritos pasan a la planta de mezclas.
- 2° Se efectúan las mezclas de estas bases (dos máximos) para obtener las viscosidades y calidades requeridas.
- 3° Se complementan sus características incorporando a aquellos que lo requieran, distintos tipos de aditivos de acuerdo con su aplicación y posterior servicio.

## **1.4.2 ADITIVOS LUBRICANTES**

Como aditivos lubricantes se entienden aquellos compuestos químicos destinados a mejorar las propiedades naturales de un lubricante, y, conferirle otras que no poseen y que son necesarias para cumplir su cometido.

Las exigencias de lubricación de los modernos equipos y grandes máquinas en general, así como los motores de combustión interna de muy altas revoluciones y pequeño cárter, obliga a reforzar las propiedades intrínsecas de los lubricantes, mediante la incorporación de aditivos químicos en pequeñas cantidades, y el hecho de que con pequeñas cantidades de estos compuestos químicos se modifiquen profundamente el comportamiento de los aceites, ha hecho que se generalice mucho su empleo.

### **1.4.2.1 Propiedades generales de los aditivos**

Los aditivos se incorporan a los aceites en muy diversas proporciones, desde partes por millón, hasta el 20 % en peso de algunos aceites de motor.

Cada aditivo tiene una o varias misiones que cumplir, clasificándose al respecto, como uni o multifuncionales. Fundamentalmente, los aditivos persiguen los siguientes objetivos:

- Limitar el deterioro del lubricante a causa de fenómenos químicos ocasionados por razón de su entorno o actividad.
- Proteger a la superficie lubricada de la agresión de ciertos contaminantes.
- Mejorar las propiedades fisico-químicas del lubricante o proporcionarle otras nuevas.

---

#### 1.4.2.2 Actuación de un aditivo frente a otro y ante el aceite base

Los aditivos deben ser solubles en el aceite base, y el efecto que le confieren es, en algunos casos, peculiar para el aceite en el que se incorpora, o sea, que un aditivo que es efectivo en un aceite pueda no serlo, al menos en el mismo grado, en otro. A esta propiedad se le puede denominar susceptibilidad del aceite para con el aditivo.

Al formular la composición de un aceite multiaditivado, se tiene muy en cuenta el comportamiento de los distintos aditivos entre sí. Su compatibilidad es una característica muy importante.

En mezcla con el aceite, dos o más aditivos son compatibles si no dan lugar a reacciones que forman compuestos indeseables o que mermen considerablemente, o bien anulen los efectos que se persiguen. Por otra parte, se da el caso, debido a un efecto de sinergismo, de que algunos aditivos vienen a reforzar la acción propia de otros. Por todo lo expuesto, se comprende que cuando sea necesario el reponer nivel en un sistema que contenga aceite aditivado, se utilice siempre el mismo tipo que se está usando. Hoy en día, la mayoría de los lubricantes necesitan de su aditivación para llevar a buen fin la misión que se les encomienda. Conforme los aditivos se van degradando con el uso, el aceite va perdiendo sus propiedades iniciales, y por ello se comprende que sea necesario el respetar los períodos estipulados de sus propiedades para la renovación de aquél aceite y no sobrepasar la estructura y composición.

Los aditivos normalmente utilizados en aceites lubricantes se clasifican en los siguientes grupos según sus propiedades, como se muestra en la Tabla 1.2

Tabla 1.2 Tipos de aditivos más utilizados y propiedades sobre las que actúan

PROPIEDADES SOBRE LAS QUE ACTÚA		TIPOS DE ADITIVOS
a) Propiedades físicas	Viscosidad	Mejorador del I.V
	Punto de congelación	Depresor del punto de congelación
b) Propiedades químicas	Oxidaciones a baja y alta temperatura	Anti-oxidantes
	Corrosiones y herrumbre	Anti –corrosivos Anti- herrumbre
c) Propiedades físico-químicas	Detergentes dispersantes y antioxidantes	Detergente y antioxidantes o multifuncionales (HD)
	Aditivos de extrema presión para engranajes	De untuosidad, anticorrosivos y de E.P
	Antiespumantes	Contra formación de espuma
	Emulgentes	Emulsionantes
d) Aditivos multifuncionales	En una molécula encierran propiedades múltiples	Detergente Antioxidantes Dispersantes Mejoradores de I.V.

“Guía practica de lubricación”

## 1.5 PROPIEDADES DE LOS LUBRICANTES

### 1.5.1 PROPIEDADES FISICAS:

#### 1.5.1.1 Color y Fluorescencia

Actualmente estas características carecen de valor como criterio de evaluación de los aceites terminados, ya que pueden ser modificados o enmascarados por los aditivos. Sin embargo hace unos años los usuarios daban una gran importancia al color de los aceites,

corno indicativo de un mejor o peor grado de refinado, y por otro lado la fluorescencia se tomaba como indicativo del origen del crudo.

Así la fluorescencia azulada caracterizaba a los aceites nafténicos y la fluorescencia verde a los parafínicos.

El procedimiento más usual para determinar el color es el ASTM-D-1500 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. Pero en los productos muy claros tales como los aceites aislantes, aceites blancos técnicos, etc., la escala ASTM es incapaz de matizar diferencias por lo que se emplea el colorímetro Saybelt, con una escala que comprende desde -16 o blanco amarillento hasta +30 o blanco no diferenciable del agua.

En los aceites en servicio, un cambio de color puede alertar sobre una posible alteración en su integridad, deterioro, contaminación, etc.

### **1.5.1.2 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 los de mayor densidad, correspondiendo a los tipos nafténicos las densidades intermedias.

### **1.5.1.3 Viscosidad**

La propiedad física más importante de un lubricante líquido es su viscosidad. En términos sencillos la viscosidad de un líquido puede definirse como su resistencia a fluir y como una medida del rozamiento entre sus moléculas. Como la resistencia a fluir depende de las fuerzas intermoleculares que se desarrollan en el interior del líquido, es de estas de quien dependerá finalmente la resistencia mecánica observada cuando se hace deslizar una capa de líquido sobre una capa adyacente de este mismo líquido.

Por ello se comprende fácilmente que la viscosidad de un fluido tan complejo como un aceite mineral puede verse modificada considerablemente de una parte, por las variaciones internas de una composición y estructura determinadas por el origen, del petróleo crudo y su proceso de refinado, y por otras condiciones externas tales como la temperatura y la presión que pueden influir sobre las fuerzas moleculares.

#### **1.5.1.4 Untuosidad**

La untuosidad es la propiedad que representa mayor o menor adherencia de los aceites a las superficies metálicas a lubricar y se manifiesta cuando el espesor de la película de aceite se reduce al mínimo, sin llegar a la lubricación límite.

#### **1.5.1.5 Peso Específico**

Peso específico ( $\gamma$ ): se define como la relación entre el peso y el volumen de un aceite dado a una temperatura determinada.

$$\gamma = \frac{G}{V}; \quad (\text{kg} / \text{m}^3)$$

### **1.5.2 PROPIEDADES TERMICAS**

#### **1.5.2.1 Puntos de Inflamación y Combustión**

El punto de inflamación de un aceite es la temperatura mínima a la cual el aceite desprende la cantidad suficiente de vapores para inflamarse, momentáneamente, al serle aplicada una llama.

### **1.5.3 PROPIEDADES QUÍMICAS**

#### **1.5.3.1 Residuo de Carbón**

El residuo de carbón se define como el porcentaje de depósitos carbonosos que se obtienen al someter a una muestra de aceite a evaporación y pirólisis en las condiciones normalizadas del ensayo.

Se utilizan dos métodos para determinar esta característica: Conradson y Remsbottom; dando valores diferentes para un mismo aceite.

Esta característica permite obtener, siempre con reservas, algunas conclusiones sobre la tendencia a la carbonización de los aceites. Por ello, es de interés en el caso de la

lubricación de motores de combustión interna, compresores de aire y mecanismos sometidos a muy altas temperaturas, así como en el caso de aceites transmisores de calor (termo fluido).

Los aceites lubricantes se distinguen entre sí según sus propiedades o según su comportamiento en las máquinas. Se deben conocer las propiedades de los aceites lubricantes, para poder determinar cuál se utilizará según la misión que deba desempeñar. Un buen aceite lubricante, a lo largo del tiempo de su utilización, no debe formar excesivos depósitos de carbón, ni tener tendencia a la formación de lodos ni ácidos; tampoco debe congelarse a bajas temperaturas.

En la Tabla 1.3 se realiza una comparación entre los aceites minerales y sintéticos en cuanto a los valores promedios en cuanto a sus propiedades más importantes, las cuales dependen de las fuentes de obtención de los mismos.

Tabla 1.3 Propiedades de algunos aceites lubricantes. Valores promedios

Propiedades	ACEITES					
	Minerales	ésteres	Poliglicoles	Polifenil ésteres	Siliconas	Perfluoroaquil éter.
Densidad a 20° °C (g/cm <sup>3</sup> )	0.9	0.9	0.9 – 1.1	1.2	0.9 – 1.05	1.9
I.V.	80 – 100	140 – 175	150 – 270	20 – 74	190 – 500	50 – 140
Pto de Solidificación(°C)	-40 a -10	-70 a -20	-50 a -20	-12 a 21	-80 a -30	-70 a -30
Estabilidad Oxidación	Poca	Buena	Buena	Excelente	Excelente	Excelente
Estabilidad Térmica.	Poca	Buena	Buena	Excelente	Excelente	Excelente
Poder Lubricante	Bueno	Bueno	Excelente	Bueno	Deficiente hasta Satisfactorio	Bueno
Compatibilidad con elastómeros pinturas, etc	Buena	Deficiente hasta Buena	Deficiente hasta Buena	Deficiente	Buena	Buena
Relación de Precios	1	5 – 10	6 – 10	200 – 500	40 – 800	400 –1080
Punto de Inflamación.(°C)	< 250	200 – 280	220 – 260	150 – 340	150 – 350	No inflamable

“Tribología lubricación de elementos y maquinas”



---

## 1.6 CARACTERÍSTICAS DE LOS ACEITES PARA MOTORES

Los aceites para automoción deben poseer las características siguientes:

- Viscosidad adecuada
- Alto índice de viscosidad
- Propiedades antidesgaste.
- Propiedades inhibidoras de la corrosión.
- Propiedades dispersantes y detergentes.

## 1.7 CONDICIONES A LAS QUE ESTÁ SOMETIDO UN ACEITE DE MOTOR

Durante su explotación, el aceite de motor está sometido a condiciones de temperatura, velocidades y ambientes desfavorables que provocan la pérdida de sus principales propiedades. Entre estas condiciones se encuentran:

- Temperaturas extremas y variables.
- Grandes velocidades de fricción (0-500 m/min.).
- Tolerancias mínimas.
- Ambientes nocivos.
- Poca capacidad del cárter.

## 1.8 FUNCIONES QUE DEBEN SATISFACER LOS ACEITES DE MOTOR

El aceite empleado en la lubricación de los motores de combustión interna, tanto en las transmisiones automáticas como en los engranajes hipoides y en los cilindros deben cumplir las siguientes funciones.

- Reducir el desgaste.
- Reducir fricción.
- Evitar corrosión y herrumbre.
- Mantener limpio el motor (reducir depósitos y suspensión de contaminantes)
- Refrigerante.
- Sellaje.
- Evacuar todas las impurezas (polvos y partículas del desgaste) que se forman en él.

## 1.9 ESPECIFICACIONES DE UN ACEITE PARA MOTOR

Para facilitar la identificación y aplicación de estos lubricantes se definen dos especificaciones que resumen las características del aceite, estas son:

- Especificaciones de viscosidad.
- Especificaciones de calidad

### 1.9.1 Especificaciones de Viscosidad

Desde el año 1911, la Sociedad de Ingenieros Automotrices de los Estados Unidos de Norte América (SAE) ha establecido distintas clasificaciones de viscosidad de los aceites para motor, destinadas a ser utilizadas por los fabricantes de vehículos en el momento de determinar los grados de viscosidad a ser recomendados en sus motores y por los fabricantes de lubricantes en la formulación e identificación de sus productos.

La última versión de esta clasificación de viscosidad SAE de aceites para motores está vigente desde marzo de 1982 y está identificada como SAEJ 300 jun. 89 y son resumidos en la Tabla 1.4

Tabla 1.4 Clasificación del aceite de motor según su viscosidad SAE J300 (junio de 1989)

Viscosidad Grado SAE	Límites de viscosidad cinemática, cSt a 40 °C		Límites de viscosidad cinemática, cSt a 100 °C		Temperatura límite de bombeo, °C
	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	
0W	19.0		3.8	-	-35
5W	21.0		3.8	-	-30
10W	26.0		4.1	-	-25
15W	42.0		5.6	-	-20
20W	50.0		5.6	-	-15
25W	110.0		9.3	-	-10
10	46.0	50.0	5.6	6.9	
20	55.0	60.0	5.6	< 9.3	
30	109.0	113.0	9.3	< 12.5	
40	140.6	189.0	12.5	< 16.5	
50	192.4	267.0	16.3	< 21.9	
60			21.9	< 26.1	

---

En la Tabla 1.4 se definen dos grupos de viscosidad: aquellas que están seguidas por la letra “w” (de la palabra winter en Inglés, que significa invierno) y los que no contienen esa letra.

Las unidades de la viscosidad, más comúnmente utilizadas son las siguientes:

cP- centipoise, unidad de la viscosidad absoluta.

$cP = 1 \text{ mPa}\cdot\text{s}$

cSt- centistoke, unidad de la viscosidad cinemática.

$cSt = 1 \text{ mm}^2/\text{s}$

### **1.9.2 Especificaciones de Calidad**

Desde la aparición del automóvil surgieron intentos de clasificación e identificación de los aceites de motor. Pero no es sino, hasta el año de 1970 que el Instituto Americano del Petróleo (API), la Sociedad Americana de Ensayos de Materiales (ASTM) y la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE), cooperaron en el establecimiento de un sistema de clasificación de aceites de motor con la adecuada flexibilidad para satisfacer los cambiantes requerimientos de servicio y de lubricación de la industria automotriz. El sistema API como se le conoce, divide los aceites en dos grandes grupos. Aceites para motores a gasolina y aceites para motores diesel. El desarrollo de ambos grupos puede verse en las Tablas 1.5 y 1.6

Tabla 1.5 Niveles de calidad de los aceites para motores de gasolina.

SA	Aceites minerales puros SIN NINGÚN TIPO DE ADITIVO. Recomendados para motores desgastados que queman gran cantidad de aceite.
SB	Aceites con mínimo control al desgaste para vehículos fabricados antes de 1963.
SC	Aceites que controlan depósitos, desgaste, corrosión y herrumbre, para vehículos fabricados antes de 1967.
SD	Aceites con características SC mejoradas, para vehículos fabricados antes de 1971.
SE	Aceites con características SD mejoradas y particular control de oxidación y depósitos, con capacidad de drenado prolongado. Indicado para vehículos fabricados antes de 1979.
SF	Aceites con características SE mejoradas y particular control de oxidación, desgaste y depósitos, con capacidad de drenado prolongado. Recomendados para vehículos fabricados antes de 1989.
SG	Aceites con características SF mejoradas y particular control de lodos, depósitos y economía de combustible. Recomendado para vehículos fabricados antes de 1994.
SH	Aceites con características SG mejoradas gracias a criterios más estrictos de clasificación. Recomendables para vehículos fabricados a partir de 1994, pudiendo sustituir los niveles precedentes (SG, SF, etc.)
SJ	Presentada en 1996, esta clasificación es para todos los motores de automotores que están actualmente en uso.
SL	Presentada en el 2001 para mantenimiento de los motores de este año

“Lubricantes y lubricación aplicada primera parte”

Tabla 1.6 Especificaciones de calidad para los aceites de motores diesel

CA	Aceites para tipo de servicio liviano con combustible de alta calidad. Fueron ampliamente recomendados en las décadas de los 40 y 50.
CB	Aceites para tipo de servicio liviano/moderado y uso de combustible de baja calidad. Fueron introducidos en el mercado en 1949.
CC	Aceites para tipo de servicio moderado a severo. Introducidos en 1961.
CD	Aceites indicados para controlar desgaste y depósitos, y cuando se use combustible con alto contenido de azufre. Introducidos en 1965.
CD II	Servicio típico para motores diesel de dos tiempos cuando se requiere controlar desgaste y depósitos. También cumplen los requerimientos de un API CD.
CE	Aceites para servicios de baja velocidad-alta carga y alta velocidad-alta carga. Recomendados para ciertos motores diesel turbocargados o sobre alimentados fabricados desde 1983.
CF-4	Servicio típico para motores de cuatro tiempos de alta velocidad. Excede los requerimientos del API CE, particularmente en lo referido a consumo de aceite y formación de depósitos en el pistón. Se recomienda para ciertos motores diesel fabricados a partir de 1990.
CF-2	(Categoría propuesta) Servicio típico para motores de dos tiempos que requieren un efectivo control del desgaste y depósitos.
CG-4	Vigente desde 1995, tuvo su origen en las regulaciones impuestas por la Agencia de Protección Ambiental (EPA en inglés) de los Estados Unidos de Norte América. Su fin es relacionar la calidad del lubricante/combustible con el nivel de emisiones a la atmósfera.
CH-4	Vigente desde el 2001

“Lubricantes y lubricación aplicada primera parte”

El significado de la primera letra: S, en aceites para motores de gasolina viene de la palabra “service” que engloba estaciones de servicio, garajes, vendedores de autos nuevos, etc. y C, en aceites para motores diesel viene de la palabra “comercial” que engloba flotas, contratistas, agricultores, etc.

La segunda letra es la evolución en orden alfabético de los grados de clasificación que se han desarrollado en forma sucesiva, siendo mayores los requerimientos por calidad a medida que progresa la letra del alfabeto. Cualquier aceite de un grado dado puede sustituirse por uno de un grado de calidad superior.

Es responsabilidad del fabricante del aceite garantizar que estos tengan las características que exige cada nivel de especificación.

### 1.10 CONTAMINACIÓN DEL ACEITE

El aceite usado sigue siendo en esencia un conjunto de hidrocarburos con una serie de agentes contaminantes, el cual se podrá volver a refinar y obtener un aceite base de igual o superior calidad que la del aceite virgen procedente del refinado original.

#### Composición y contaminantes de los Aceites Usados

- Hidrocarburos Aromáticos polinucleares:

Benzopireno 360-62.000  $\mu\text{g} / \text{L}$

Benzoantraceno 870-30.000  $\mu\text{g} / \text{L}$

Pireno 1.670-33.000  $\mu\text{g} / \text{L}$

- Hidrocarburos mono-aromáticos

Alquil-benceno 900.000  $\mu\text{g} / \text{L}$

- Hidrocarburos di-aromáticos

Naftaleno 440.000  $\mu\text{g} / \text{L}$

- Hidrocarburos clorados

Tricloroetano 18-1.800  $\mu\text{g} / \text{L}$

Tricloroetileno 18-2.600  $\mu\text{g} / \text{L}$

Percloroetileno 3-1.300  $\mu\text{g} / \text{L}$

- Metales

Bario 60-690  $\mu\text{g} / \text{L}$

Zinc 630-2.500  $\mu\text{g} / \text{L}$

---

Aluminio 4-40  $\mu\text{g} / \text{L}$

Plomo 3.700-14.000  $\mu\text{g} / \text{L}$

- Aditivos

S, N, disolventes clorados, etc

### **1.10.1 Causas de la contaminación**

Se define a la contaminación de los aceites como la presencia de materias extrañas al aceite. La contaminación puede ser provocada por cuatro factores fundamentales.

- Residuos de la etapa de fabricación de los elementos.
- Contaminación externa que puede proceder de los rellenos, ventilación del cárter, etc.
- Origen interno, por desgaste de los componentes mecánicos y degradación del lubricante.
- Por acciones del mantenimiento.

### **1.10.2 Elementos contaminantes que aparecen en los aceites de los motores de combustión interna.**

Entre los principales contaminantes del aceite utilizado en los motores de combustión interna se encuentran:

- Elementos metálicos: Proviene del desgaste de las partes metálicas sometidas a fricción. Con su presencia en el aceite se acelera o favorece el desarrollo del desgaste abrasivo que a su vez incrementa la rugosidad de las superficies facilitando el desgaste adhesivo. También pueden servir de catalizadores de los procesos de degradación del aceite.
- Óxidos metálicos: Proviene del desgaste de elementos metálicos o de la oxidación de partículas metálicas, su efecto es similar a los de los contaminantes metálicos.
- Productos carbonosos: Se producen por el paso de productos de la combustión al aceite.

- Impurezas y polvo atmosférico: Se introducen a través de la admisión, respiraderos, orificios para medición del nivel o al añadir aceite. Estos elementos producen desgaste abrasivo y rugosidad en las superficies que facilitan el desgaste adhesivo.
- Gases de la combustión: Penetran a través de fugas al cárter y producen ácidos que aceleran la degradación del aceite.
- Productos de la degradación: Lacas, barnices, etc., que surgen como resultado del proceso de envejecimiento del aceite.
- Agua: Procede de la combustión o del sistema de refrigeración.
- Combustible: Puede introducirse por la fuga o pérdida de hermeticidad de la cámara de combustión o por fallos en el sellaje y regulación del sistema de alimentación de combustible del motor.
- Ácidos: Proviene de la fuga de gases al cárter y por la degradación propia del aceite.

Estos producen corrosión y catalizan la contaminación del mismo.

- Otros productos que pueden quedar como residuos que aparecen después de la acción del mantenimiento.

La contaminación y la degradación del aceite se vinculan fuertemente porque se afectan entre sí. Por una parte la contaminación altera las propiedades físico-químicas del aceite acelerando el desgaste del motor y la degradación del aceite y por otra parte la degradación produce partículas sólidas no solubles en el aceite facilitando los procesos de desgaste.



---

## CAPITULO II. METODOS Y MEDIOS PARA EL REPROCESADO

### 2.1 ALTERNATIVAS DE LOS ACEITES USADOS.

Todos los aceites, con base mineral o sintética que se hayan vuelto inadecuados para el uso que se les hubiera asignado inicialmente, y en particular los aceites usados de los motores de combustión, y de los sistemas de transmisión, así como los aceites minerales lubricantes, aceites para turbinas, y sistemas hidráulicos, necesitan una gestión, que es el conjunto de actividades encaminadas a dar a los mismos el destino final que garantice la protección de la salud humana, la conservación del medio ambiente y la preservación de los recursos naturales.

La gestión de los aceites usados comprende las operaciones de recogida, tratamiento, recuperación, regeneración y combustión.

La problemática de la gestión de aceites usados se debe a que los mismos están considerados en las normativas vigentes como un residuo especial o residuo tóxico y peligroso, dado su contenido en metales pesados, y su capacidad de contaminación de las aguas. Las normativas ambientales exigen la adecuada gestión de los mismos.

Se pueden distinguir cuatro tipos de alternativas para la gestión de aceites usados:

- Los procesos de regeneración, que mediante distintos tratamientos del residuo, permiten la recuperación material de las bases lubricantes presentes en el aceite original, de manera que resulten aptas para su reformulación y utilización
- Los procedimientos de reciclaje a combustible, utilizable en motores diesel de generación eléctrica
- La valorización energética como fuel-oil industrial, ya sea por combustión directa o con pretratamiento del aceite (separación de agua y sedimentos)
- Los procedimientos de destrucción del residuo por incineración.

Cada una de las alternativas generales de gestión, presenta múltiples alternativas técnicas para llevar a cabo las operaciones de regeneración o reciclaje. Por lo general, no hay imposiciones legales que determinen la aplicación de una u otra alternativa a un

residuo determinado, aunque sí una recomendación normativa sobre el orden de prioridades entre ellas.

La opción de regeneración a bases lubricantes, por ejemplo, es la definida como prioritaria en las disposiciones legales en algunos países. Esto se debe a las ventajas ambientales de los procesos actuales de regeneración, por su mayor ahorro de materias primas, menores emisiones y olores, y menor producción de residuos o efluentes.

No obstante, estas ventajas no invalidan las opciones de valorización energética, que pueden ser adecuadas en determinadas circunstancias (reducida disponibilidad de residuos, que no permiten montar plantas de regeneración, factores energéticos locales, etc.).

## 2.2 DIFERENTES MÉTODOS DE GESTIÓN DE LOS ACEITES USADOS

Entre los diferentes métodos mas comúnmente utilizados para la gestión correcta de los aceites usados se encuentran el reuso y reciclado.

**Reuso:** Es el tratamiento destinado a devolverle el uso del producto original.

**Reciclado:** Tratamientos destinado a mantener lo más alto posible su valor agregado.

Término genérico, que incluye a los aceites usados y procesados bajo la denominación:

**Reprocesado:**

Remover contaminantes insolubles y productos de la oxidación.

TÉCNICAS: Tratamiento térmico, filtrado, sedimentación, decantación, deshidratación, centrifugación, etc.

USO: Mezclas o cortes (blending) con o sin el agregado de aditivos

CARACTERÍSTICAS: Producto de calidad similar o equivalente al original

**Recuperación:**

Separación de sólidos y agua

TÉCNICAS: Calentamiento, filtración, deshidratación y centrifugación

USO: Combustible tipo fuel

CARACTERÍSTICAS: Menor calidad, el proceso en general no elimina metales pesados,

PCBs, aditivos.

**Regenerado:**

Remoción de contaminantes (metales pesados) productos de la oxidación y aditivos.

TÉCNICAS: Re-refinado (predestilación, tratamiento ácido, extracción con solventes, desulfatado, deshidratación)

USO: Aceites bases para nuevos lubricantes

CARACTERÍSTICAS: Alta calidad, el proceso es similar al original.

### 2.3 RECUPERACIÓN ENERGÉTICA

Cuando no resulta viable la regeneración (factores técnico-económicos) los aceites usados pueden ser destinados a la recuperación energética, previa eliminación de metales pesados y otras sustancias con el fin de evitar generar emisiones peligrosas con los gases de la combustión y explosiones por los hidrocarburos ligeros remanentes en el aceite. En la Tabla 2.1 se muestran los valores de poder calorífico de los aceites usados. La recuperación energética prevé el uso del aceite usado como combustible alternativo en instalaciones de alta potencia térmica, alta temperatura y alto consumo de combustible (con alta producción de gases de escape).

Para ello requieren de tratamiento previo y controles analíticos que permiten desclasificarlos como residuos tóxicos y peligrosos.

Además se puede usar como combustible homologado en instalaciones de menor potencia térmica para motores de combustión interna y calderas para producción de energía eléctrica. Requieren de tratamientos físico-químicos más complejos y seguros.

Tabla 2.1 Poder calorífico de los aceites usados

	<b>Aceite Usado</b>	<b>Combustible</b>
<b>% Carbono</b>	<80	>80
<b>% Hidrogeno</b>	>14	10-12
<b>% Azufre</b>	<1	1-2.5
<b>PCI (kcal*kg)</b>	>10	>10
<b>PCS (kcal*kg)</b>	11	10

**PCI:** poder calorífico inferior

**PCS:** poder calorífico superior

“Refinado de aceites usado”

### **2.3.1 Ventajas como combustible alternativo**

- Por su menor contenido en C, S y sedimentos, los aceites usados tratados generan menor contaminación atmosférica que los combustibles sólidos: (ej: carbón)
- Ídem, si se los compara con otros combustibles líquidos.
- Tienen mayor rendimiento calórico que otros combustibles industriales convencionales.

## **2.4 PROCESOS FUNDAMENTALES DEL REPROCESADO.**

Las operaciones fundamentales del reprocesado tienen como principales procesos el filtrado, tratamiento térmico, decantación, deshidratación, centrifugación, etc.

### **2.4.1 Tratamiento térmico**

El método del tratamiento térmico en el reprocesado de los aceites consiste en un aumento de la temperatura hasta alcanzar una transformación de las características físico- químicas de los aceites, en ellos se puede observar transformaciones como, el contenido de agua de los aceites y la variación de viscosidad.

### **2.4.2 Sedimentación**

La sedimentación consiste en dejar el aceite en contenedores para que por medio de la gravedad las partículas de contaminación más pesadas se depositen en el fondo del mismo (formación de lodos) para después seguir con el proceso.

### **2.4.3 Centrifugación**

Las centrífugas de separación, tienen la ventaja fundamental de ser capaces de eliminar simultáneamente los sólidos y el agua. Además, admiten sin ningún problema de funcionamiento las variaciones importantes en el contenido de agua.

La utilización de la fuerza centrífuga para la separación de dos o tres fases (líquido/líquido, líquido/sólido o líquido/líquido/sólido) está basada simplemente en la aceleración del proceso de decantación, sustituyendo la fuerza de la gravedad por la fuerza centrífuga.

En un tanque de decantación se produce por la simple acción de la fuerza de la gravedad la separación entre partículas que tienen distinta densidad. Sin necesidad de filtros, cartuchos, ni ningún otro tipo de elemento, las partículas más pesadas (los sólidos) se depositan en el fondo del tanque. Si además existen dos líquidos no miscibles y de diferentes densidades, el más pesado se sitúa en la parte inferior, mientras que el más ligero tiende hacia la superficie.

El problema radica en el tiempo que esto tarda en producirse, por lo que no resulta operativo para procesos continuos. Es por tanto necesario acelerar la operación. Para ello, hay una solución sencilla: sustituir la fuerza de la gravedad por la fuerza centrífuga que provoca una rotación a alta velocidad (Figura 2.1).

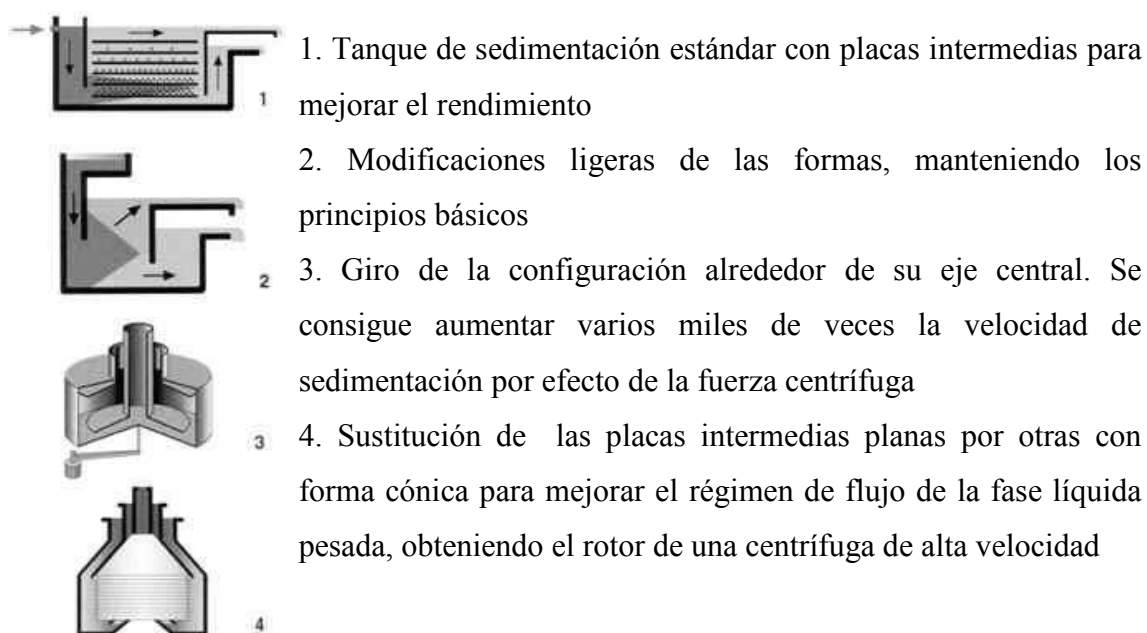


Fig. 2.1 Operación de centrifugado de un aceite usado.

Una separadora centrífuga con paquete de discos es en realidad comparable con un tanque de sedimentación con bandejas intermedias para mejorar el rendimiento, diseñado para girar alrededor de un eje.

Si se compara un tanque de sedimentación, la distancia de separación se reduce desde más de un metro hasta medio milímetro por el paquete de discos, mientras que la fuerza de separación es aumentada miles de veces por el efecto de la rotación.

Este doble factor de incremento del rendimiento hace que el tiempo necesario para la separación de las tres fases se reduzca a segundos. Por ello, una centrífuga puede procesar un elevado caudal de fluido a separar comparada con el propio tamaño de la máquina.

Además, en las separadoras centrífugas autolimpiantes, los sólidos se descargan del interior de la máquina a intervalos regulares, sin tener que interrumpir la alimentación, mejorando por tanto aún más la eficiencia del proceso.

Es decir, una separadora centrífuga aplicada a la limpieza del aceite consigue realizar dicha limpieza de forma más rápida, más eficaz, ocupando menos espacio (Figura 2.2).



Fig.2.2 Sección transversal de una separadora centrífuga.

Hay dos procedimientos alternativos para la limpieza del aceite durante el proceso productivo: el sistema "en línea" y el sistema en "by-pass"

En el primero de ellos, cada gota de aceite es sometida a limpieza antes de ser recirculada a la máquina. Este método sólo se usa en aplicaciones muy especiales, pues normalmente no es necesaria que todas y cada una de las partículas de aceite sean sometidas a centrifugación antes de entrar en el circuito de la máquina.

El segundo sistema implica que sólo se limpia una parte del aceite sucio, pero este grado de limpieza es suficiente para mantener el total del aceite en el sistema por debajo de los límites de contaminación aceptables. El sistema en "by-pass" es el más usado,

pues además de ser eficiente, resulta totalmente independiente del proceso productivo, por lo que la parada del sistema centrífugo (para limpieza, mantenimiento, etc.) no implica una parada del proceso en sí.

La mayoría de las instalaciones, tanto de lubricación como para aceites hidráulicos, tienen algún tipo de tanque colector desde el que se recircula el aceite. Normalmente, estos tanques están concebidos como tanques de sedimentación, y como tales pueden ejecutar la separación de tres fases, y de hecho lo hacen (de forma muy lenta), por lo que al menos realizan parte del trabajo previamente al uso de la separadora centrífuga.

La Figura 2.3 muestra cómo debe instalarse una centrífuga en el sistema para obtener los mejores resultados. En el caso de que se disponga de varias máquinas y una serie de tanques colectores, se ha diseñado también el concepto de unidades modulares, sistemas centrífugos móviles que pueden desplazarse de un tanque colector a otro.

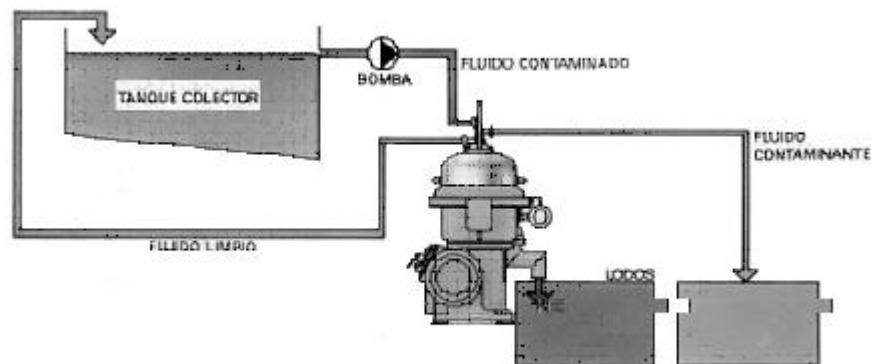


Fig. 2.3 Instalación del by-pass.

#### 2.4.3.1 Ventajas de la separación centrífuga

Entre las ventajas más significativas de las separadoras centrífugas se encuentran:

- Funcionamiento automático
- Eliminación de sólidos, con resultados superiores a 15/12 según norma ISO 4406
- Eliminación de agua libre por debajo del nivel de 500 ppm
- Posibilidad de auto limpieza
- Excelente relación capacidad – tamaño

- Necesidad de espacio muy pequeña
- No utilización de combustibles. Tan solo requiere un adecuado mantenimiento.
- Excelente relación precio/prestaciones, con tiempo de amortización muy corto.

#### **2.4.3.2 Campos de aplicación de los sistemas centrífugos de limpieza de aceite**

Los sistemas centrífugos poseen una gran gama de campos de aplicación, entre los cuales están:

- Aceites hidráulicos
- Aceites de corte
- Aceites de temple
- Trenes de laminación
- Sistemas de compresores
- Fabricación de papel
- Cualquier aplicación donde el aceite se contamine de agua y/o sólidos.

### **2.5 PROCESOS DE LIMPIEZA**

#### **2.5.1 Proceso ácido / tierra**

Es la más antigua y común tecnología de la re-refinación. Implica la reacción del aceite y del ácido sulfúrico usados para disolver o para colocar las sales y las partículas del metal, los compuestos aromáticos, los ácidos orgánicos, los compuestos polares y la suciedad.

Estos contaminantes forman un lodo, que se proyecta hacia fuera para la deposición. La adición de la arcilla seguida por la filtración se utiliza para quitar cualquier color restante. Las operaciones son sencillas.

Se obtiene productos de poca calidad, además produce un impacto adverso al medio ambiente y hay poca producción de base de aceite. Económicamente es barata, es decir poco costo de capital. Esta técnica la emplean muchas plantas de tratamiento, hoy en día es considerada como un método arcaico.



---

### **2.5.2 Floculación ácida surfactante.**

La información de esta técnica es escasa, solamente se sabe que genera más residuos de agua que otros procesos y que posee altos costes de tratamiento subterráneo. Se utiliza en Australia.

### **2.5.3 Proceso destilación / tierra**

Para la recuperación del aceite usado, se pone en ejecución la destilación a vacío. Los grados que varía el aceite se pueden producir con este proceso que da al re-refinador una flexibilidad agregada en mezclar para devolver diversas especificaciones de producto.

### **2.5.4 Tratamiento de la arcilla**

Existen diversos tipos de materiales:

Las arcillas y la tierra activada de Fullers son una clase de "arcilla de la bentonita".

Este tipo de material cuando está pre tratado correctamente atrae a los materiales "polares". Atrae y une químicamente a muchas impurezas, quitándolas del aceite, de esa manera.

Las arcillas son particularmente reactivas a los materiales ácidos. Durante el proceso de oxidación del aceite se forman muchos subproductos ácidos, estos se oxidan luego para dar el lodo y los barnices típicos de aceites altamente oxidados. Es bien sabido en química del aceite, que estos materiales ácidos, formados en el proceso, actúan como catalizadores para la oxidación posterior del aceite.

El retiro de estos materiales está presente en cantidades pequeñas y como norma, realzan la estabilidad de la oxidación del aceite y su extensión de por vida.

El tratamiento de la arcilla es logrado normalmente mezclando una cantidad conocida de arcilla activada seleccionada, con el aceite en un reactor especialmente equipado. La mezcla de aceite / arcilla se calienta a una temperatura predeterminada, por un período muy específico. El aceite se refresca y se filtra para quitar todos los rastros de la arcilla. El contacto con temperatura demasiado alta, o una temperatura demasiado baja no quitará las impurezas eficientemente.

---

El tratamiento de la arcilla es particularmente eficaz para quitar las partículas muy pequeñas de los añadidos degradados del aceite. Estas partículas son semi-plástico y se han probado al paso por un filtro de 0,45  $\mu\text{m}$ .

### **2.5.5 Destilación**

La destilación es un proceso donde un líquido se calienta, sobrepasa el punto de ebullición y pasa a vapor. El vapor pasa a un condensador y nuevamente toma el estado líquido. Sigue existiendo impurezas presentes en el líquido original, permitiendo que el líquido destilado sea purificado. El aceite destilado requerirá generalmente el tratamiento adicional antes de que pueda ser reutilizado como lubricante útil.

Este proceso contamina bastante, debido a la larga cantidad de aceite absorbido por la arcilla, además se obtiene un producto de baja calidad y poca producción.

### **2.5.6 Destilación / tratamiento químico o extracción con solvente**

Esta tecnología permite el paso del aceite inútil a un aceite bajo que se pueda utilizar más a fondo como un aceite de lubricante bajo, un aceite industrial bajo o combustible industrial ardiente limpio. Los contaminantes, tales como suciedad, Plomo, Arsénico y otros metales y productos químicos ambientalmente dañinos, removidos del aceite usado, químicamente, están contenidos en un residuo que se puede utilizar con seguridad como modificante del asfalto.

Las ventajas de la tecnología son:

- Los subproductos pueden ser utilizados con seguridad.
- Aceite base de alta calidad sin Hidrotratamiento
- Costes de Capital Bajos
- Costes bajos del funcionamiento y de la colección
- Ventajas Ambientales

La tecnología se basa en un método propano-básico, único de la extracción con solvente, que remueve el grupo de contaminantes, del agua y del añadido del aceite usado, es la primera fase del proceso.

---

El proceso de la extracción ocurre en las condiciones ambiente, que elimina la fracción de coque y la corrosión que acompaña a procesos destiladores usados tradicionalmente. La mezcla de oil / solvente se bombea al separador solvente, donde se separa el solvente del aceite, y después se condensa y se reutiliza. El aceite entonces se destila a la presión atmosférica para quitar los hidrocarburos ligeros, y el aceite restante se destila en una torre al vacío, dando por resultado, la acción del lubricante del aceite base de alta calidad, diesel, y bajos productos.

La mezcla de residuo/agua se transfiere al recipiente que mezcla el asfalto donde se combina en el fondo de la torre de la columna de destilación de vacío.

El agua entonces se elimina, y la mezcla que resulta se puede vender como fluido para asfaltado de techos o como modificante del asfalto para pavimentación.

### **2.5.7 Proceso interline**

La producción de bases lubricantes a partir de aceites usados (regeneración) requiere separar del residuo original todos aquellos contaminantes (agua, asfaltos, aditivos, metales) que se han ido acumulando en el aceite durante su utilización.

El proceso Interline se basa en la tecnología de extracción con propano líquido patentada por una compañía norteamericana, que permite conseguir rendimientos de regeneración muy altos, con inversiones moderadas, lo que hace viable instalaciones de regeneración de baja capacidad (25 - 30.000 t/a). Ello supone una notable ventaja competitiva, desde el punto de vista de organización de la logística y la gestión de los residuos.

A lo largo de años de trabajo, se ha logrado completar y mejorar la tecnología, llegando a la configuración actual del proceso, que presenta las siguientes innovaciones:

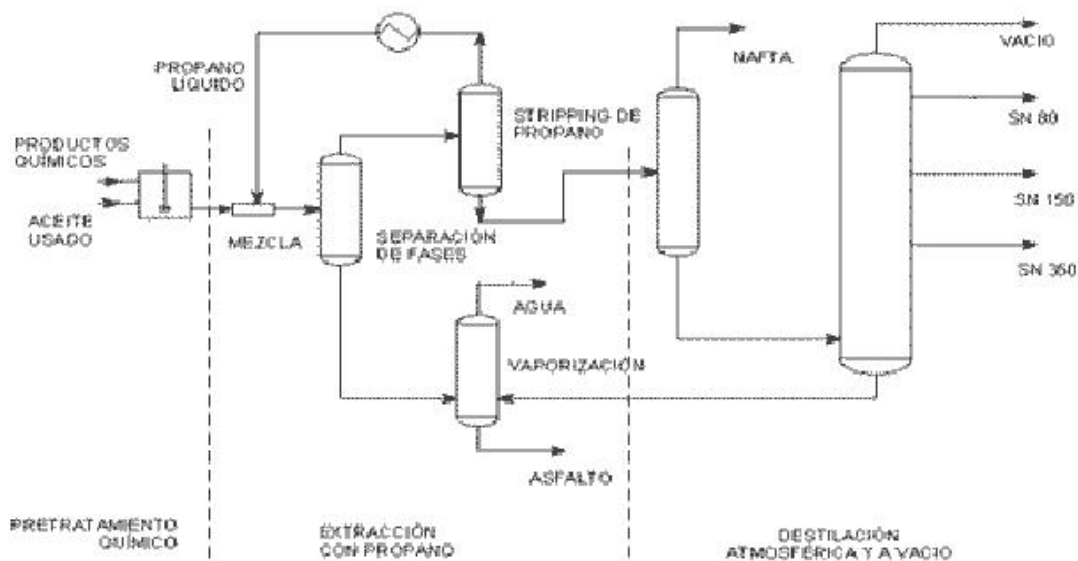


Fig. 2.4 Proceso Interline para el reprocesado del aceite usado

### 2.5.8 Evaporador de la película fina (TFE) y diferentes procesos de acabado

El evaporador de película fina (TFE) es una operación de la unidad usada sobre todo para concentrar un soluto. Hay muchos usos industriales que emplean esta teoría, por ejemplo, cuando se hace el concentrado del jugo anaranjado, se utiliza la técnica de la evaporación para quitar exceso del agua.

Este tratamiento produce un color oscuro al aceite, adecuado para el diesel extendido pero no es adecuado como la base de aceite para 'blending' en lubricantes. Para instalaciones de capacidad pequeña (25-160 kt / año), existen por lo menos seis procesos diferentes en el mundo.

Este tratamiento se suele acompañar con otras técnicas, que son:

- Tratamiento tierra
- Hidrotratamiento: el aceite está tratado con hidrógeno, eliminando la necesidad de la disposición del lodo de la arcilla.
- Extracción con solvente
- Extracción con hidrotratamiento

### 2.5.9 Tratamiento con Hidrogeno

Los productos intermedios que vienen se blanquean a través del contacto con hidrógeno y un catalizador innovador. Este paso reduce o quita los metales y los metaloides restantes, el carbón de Conradson, los ácidos orgánicos, y los compuestos que contienen el cloro, el sulfuro y el nitrógeno. Se restaura la estabilidad del color, termal. Los compuestos aromáticos poli nucleares se reducen a los valores por debajo de los umbrales más normales de la salud, mientras que los restos del índice de la viscosidad igualan o mejoran el alimentado original.

Del almacenaje intermedio, los destilados del aceite de lubricante producidos en la unidad de desasfaltado termal se traen a la unidad mediante bombas de alimentación.

Después de mezclarse con el gas tratado y reciclado los gases de hidrógeno, las alimentaciones del aceite de lubricante al reactor de desmetalización, después de un calentamiento alto, bajo control de la temperatura en el calentador encendido hasta 300°C. El gas tratado se envía a la unidad a través del compresor bajo control de presión de la sección de la reacción. A través del catalizador, los metales se remueven del alimentado. Comienzo de la reacción de refinación.

El efluente se alimenta al reactor donde se produce la refinación bajo temperatura controlada por un poco de gas reciclado (apagado el gas). En la refinación se terminan las reacciones. El efluente se envía al tambor del separador donde se separan las fases.

La fase del vapor se mezcla con un poco de alimentación del agua de la solución y del preparado del amoníaco en la columna de lavado, donde los gases se refrescan.

Los gases son lavados en una torre grande del circuito del agua refrescada del receptor con aire-refrigerado de la bomba a la cama superior de la columna.

La solución de amoníaco se inyecta para neutralizar la clorina y otros compuestos del ácido de los halógenos, también como la parte del sulfuro del hidrógeno, mientras que el preparado del agua se proporciona para disolver las sales correspondientes del amonio.

La recirculación del agua para refrescar se hace para reducir el gas a una baja temperatura (50° C) que permita su circulación a través del compresor del reciclaje. El exceso del agua se envía al límite de la batería.

El gas comprimido se envía en parte para controlar la temperatura de la entrada del reactor, mientras que los constituyentes del resto del gas del reciclaje, mezclado con la alimentación y el gas preparado en contracorriente desde el precalentador. El líquido se mezcla con los hidrocarburos condensados y recuperados en el receptor y alimentados a la columna del separador.

En esta columna se separa:

Un destilado (vapor + líquido) que contiene el H<sub>2</sub>S empobrecido en el tambor de reflujo bajo control llama.

El vapor condensado se separa del hidrocarburo ligero y se envía al límite de la batería bajo control llama. Esta agua ácida se satura con H<sub>2</sub>S. Desde el fondo del separador se envía a un secador equipado con un condensador, un sistema de inyección del receptor. El agua es separada e enviada a la alcantarilla del aceite por la gravedad. Los fondos del secador bombeados se mezclan con el hidrocarburo condensado, se refrescan en el aire-refrigerado del producto y enviado bajo control del nivel del secador al tratamiento con hidrogeno, al almacenaje del producto.

## 2.6 FILTROS

Para la eliminación de partículas sólidas, lo más común es utilizar filtros.

La variedad de filtros es extensa: gruesos o finos, de tela o de cartucho, naturales o sintéticos, en línea o en by-pass, etc. Por ello, la selección del filtro más adecuado es compleja, incluso para un especialista, no olvidando la cantidad de residuos que genera, por no mencionar el coste en consumibles a lo largo del proceso productivo.

La mayor desventaja del filtro radica en que no puede eliminar el agua del aceite, por lo que sólo soluciona una parte del problema. Se puede argumentar que existen los filtros coalescentes, pero para que funcionen adecuadamente, el aceite debe estar casi limpio, tener una viscosidad no muy alta, y aun así contener una cantidad relativamente baja de agua. Claramente, esas no parecen las características que definen, por ejemplo, un aceite lubricante sucio.

La primera etapa del tratamiento es filtrar las partículas sólidas con diámetros en el rango de milímetros, para evitar los atascos y los desgastes.

Se puede colocar un filtro autolimpiante como el que se muestra en la Figura 2.5

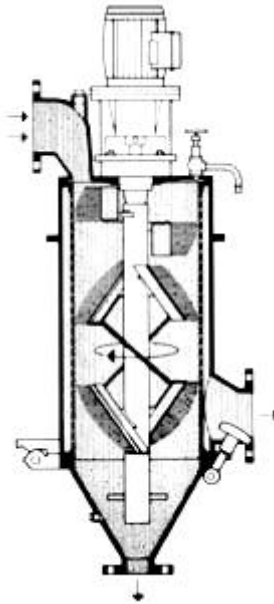


Fig. 2.5 Filtro autolimpiante

## 2.6.1 Medios filtrantes

### 2.6.1.1 Zeolita

El término zeolita fue utilizado inicialmente para designar a una familia de minerales naturales que son aluminosilicatos hidratados altamente cristalinos que al deshidratarse desarrollan, en el cristal ideal, una estructura porosa con diámetros de poro mínimos o sea de 3 a 10 Ångstrom que presentan como propiedad particular, el intercambio de iones.

El origen del nombre zeolita se deriva de dos palabras griegas, zeo: que ebulle, y lithos: piedra.

Es una roca compuesta de Aluminio, Silicio y Oxígeno. Se halla en una variedad de regiones del mundo donde la actividad volcánica prehistórica ocurrió cerca del agua o donde el agua ha estado presente por milenios desde las erupciones.

Son muy pocos los yacimientos en que este mineral se encuentra en estado puro. Chile tiene la suerte de tener este yacimiento en Parral, donde sobre el 80% se encuentra en estado puro.

La estructura de la zeolita se representa en la Figura 2.6

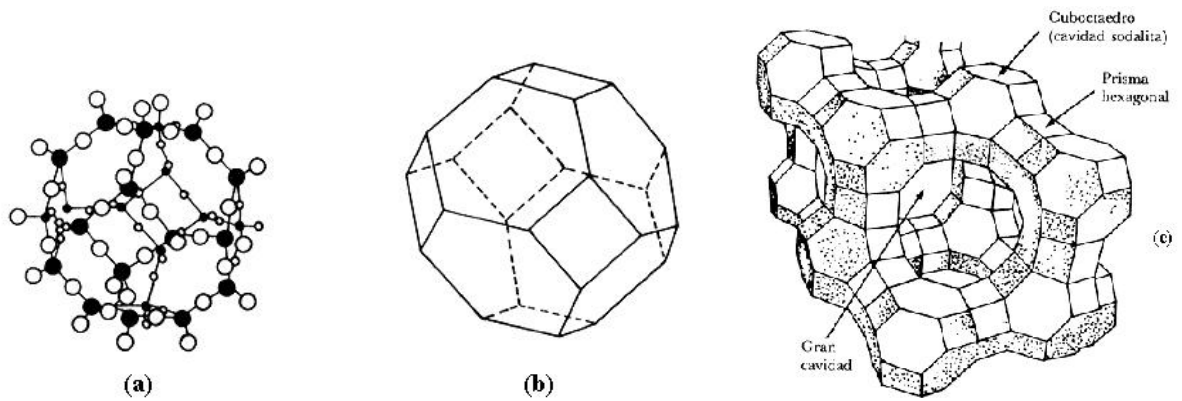


Fig. 2.6 Estructura de una zeolita faujasita

¿Qué es una zeolita?. Universidad nacional de Colombia, facultad de ciencias,  
departamento de química.



## Capítulo III. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

### 3.1 DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

Después de realizar el estudio del estado del arte de la temática, para dar continuidad a la investigación, se propone realizar el filtrado del aceite usado, a través de un lecho de zeolita, cuya efectividad ha sido probada en la limpieza de aceites de transformador usados.

Para llevar a efecto la investigación se decidió desarrollar el proceso de reprocesado mediante tres etapas de filtrado a través de zeolita.

Se construyó una instalación experimental (Figura 3.1), que consta de un recipiente colector o captador de aceite usado, una bomba de paletas, una válvula toma muestras, un manómetro para controlar el comportamiento del filtro con zeolita y las tuberías y accesorios correspondientes.

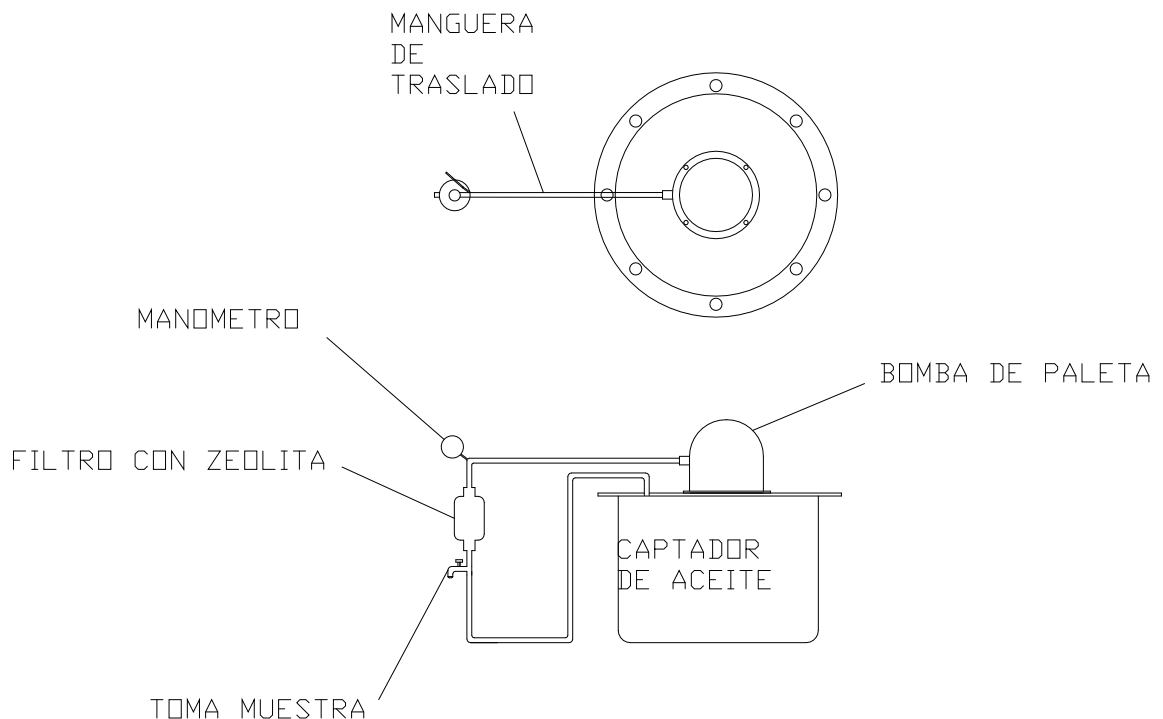


Fig. 3.1 Instalación experimental para el filtrado de aceite usado.

En la Tabla 3.1 se describen y muestran las cantidades de materiales y medios con que se construyó la instalación para la experimentación. El colector recipiente para el aceite usado es de forma cilíndrica, construido con Acero. La bomba de paletas, encargada de la impulsión del aceite a través del filtro y los accesorios necesarios para la circulación del aceite usado a través de la instalación, permitieron lograr un circuito cerrado, de recirculación del aceite. La instalación está provista, además, de un manómetro para la medición de la caída de presión en el filtro, cuyo aumento, fue el parámetro fundamental para culminar cada corrida. La recolección de las muestras se realizó mediante una válvula toma muestras.

Tabla 3.1 Materiales utilizados en la construcción de la instalación experimental

Materiales	Cantidad	Unidad de medida	Descripción
Aceite	10	L	Aceite usado o contaminado
Colector para el aceite usado	1	c/u	Recipiente de 23 cm de alto y 26cm de diámetro
Cubierta metálica del recipiente	1	c/u	Cubierta de 26 cm de diámetro y 3 mm de espesor
Tornillos para sujetar la cubierta	16	c/u	M6 x 10mm
Bomba de paleta	1	c/u	De 200 L/min, 0.18 kW , 220 V, 300 rev/min, PPU de diámetro y altura
Mangueras flexibles	3	c/u	De ¼" de diámetro y de 30 cm, 20 cm, 50 cm de largo.
Abrazaderas	6	c/u	De ¼" de diámetro
Manómetro	1	c/u	De 0 a 1.5 kgf/cm <sup>2</sup>
Filtro metálico	1	c/u	De 75 mm de altura, 52 mm de diámetro, de 160 cm <sup>3</sup> de volumen
Zeolita	200	g	Para cada tamaño ensayado
Toma muestras	5	c/u	Frascos plásticos de 250 mL

“Corrida experimental”

Las diferentes etapas de la filtración se realizaron consecutivamente, es decir, se hizo circular el aceite, primeramente a través del lecho de zeolita de mayor granulometría, luego el aceite producto de la corrida anterior se filtró por el lecho de zeolitas de tamaño de granos medio y por último, el aceite recogido de la corrida anterior se hizo circular por el lecho de zeolita de granulometría mas fina.

### **3.2 SELECCIÓN DE LAS VARIABLES DE ENTRADA Y SALIDA**

Después de la revisión bibliográfica realizada se determinó que las variables más importantes que intervienen en el proceso son:

#### **3.2.1 Variables de entrada**

- Viscosidad
- Punto de inflamación
- Contenido de impurezas metálicas
- Granulometría de la Zeolita
  - Mayor que 1.4 mm y menor que 1.6 mm
  - Mayor que 0.8 mm y menor que 1.4 mm
  - Mayor que 0.125 mm y menor que 0.8 mm

#### **3.2.2 Variables de salida**

- Viscosidad
- Punto de inflamación
- Contenido de impurezas metálicas

Luego de escogidas las variables que debían ser controladas antes y después del proceso, se realizaron tres corridas experimentales. Teniendo en cuenta algunas investigaciones previas (Wasserberg V, University of Hannover, 2003), y conocidas las características excepcionales de la zeolita para absorber agua y algunos metales pesados, se escogió este material como medio filtrante.

Se empleó para cada corrida 200 g de zeolita la cual fue previamente lavada y regenerada calentándola en un horno hasta 200°C de temperatura durante 1 hora. En la Tabla 3.2 se muestra un resumen de las tres corridas experimentales.

Tabla 3.2 Descripción de las corridas experimentales

Corrida experimental	Granulometría de Zeolita (mm)	Peso de zeolita (antes del filtrado, g)	Tiempo del experimento (horas)
1	1.6 – 1.4	200	24
2	1.4 – 0.8	200	25
	1.4 – 0.8	200	44
3	0.8 – 0.125	200	12

“Corridas experimentales”

Como era de esperar la zeolita absorbió agua y retuvo partículas en suspensión, lo que se demuestra por el aumento de peso de la misma después de realizado el filtrado y el aumento de la presión en el filtro durante las corridas. En el Diagrama 3.1 se representa el comportamiento de la zeolita, es decir, el aumento de su peso una vez ocurrida la filtración.

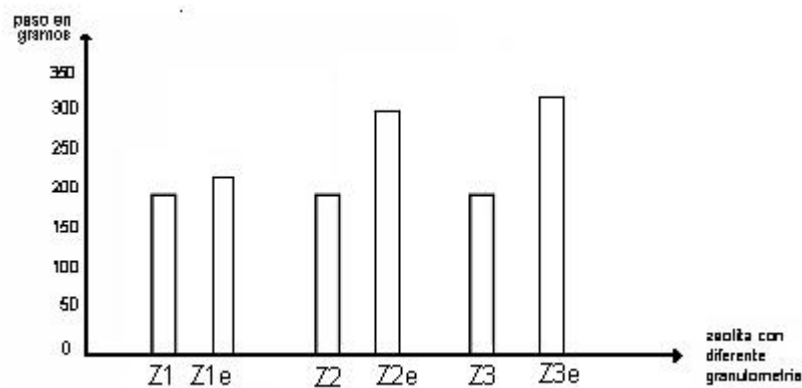


Diagrama 3.1 Comportamiento del peso de la zeolita

En el Diagrama 3.1:

Z1, Z2, Z3 = 200 g; Peso inicial de Zeolita en cada corrida

Z1e= 234.9 g; Peso de la zeolita con granulometría de 1,6 a 1,4mm después de la corrida

Z2e= 310.9 g; Peso de la zeolita con granulometría de 1,4 a 0,8mm después de la corrida

Z3e= 328.0 g; Peso de la zeolita con granulometría de 0,8 a 1,25mm después de la corrida

Al finalizar cada corrida se tomaron muestras del aceite filtrado, que fueron analizadas, procesadas y certificadas en el Laboratorio de análisis de aceites de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara, acreditado por la ISO.

### **3.3 ENSAYOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS ESTUDIADOS.**

#### **3.3.1 Densidad**

Para la determinación de la densidad se empleó el método que se describe a continuación.

La terminología que se emplea al referirse a esta característica puede conducir a ciertas confusiones por lo que vamos a definir los términos que aparecen con más frecuencia.

La densidad es la razón entre el peso de un volumen dado del aceite y el peso de un volumen igual de agua (Figura 3.2).

Density según la bibliografía anglosajona se define como “el peso en el vacío de una unidad de volumen de una sustancia dada”.

Specific gravity o gravedad específica se define como la relación entre el peso de un cierto volumen del producto y el peso del mismo volumen de agua a 60 ° F.

Grados API también suele darse en EE.UU. como característica en vez de la densidad de su API. Gravity (American Petroleum Institute), su fórmula de conversión es:

$$\text{Grados API} = \frac{141,5}{\text{Densidad a } 60^{\circ}\text{C}} - 131,5$$

(Tablas de conversión, José Benlloch María, 1986)

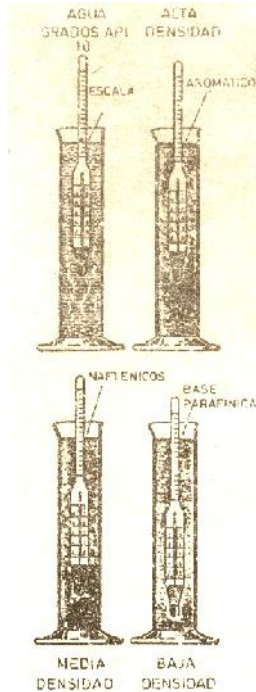


Fig. 3.2 Determinación de la densidad del aceite.

### 3.3.2 Viscosidad

#### 3.3.2.1 Viscosidad absoluta o viscosidad dinámica

La viscosidad absoluta o dinámica, puede definirse a través de dos placas horizontales y paralelas, alejadas entre sí a una distancia  $n$ .

La placa superior es móvil mientras que la inferior es fija. Ambas están separadas por una película de aceite (Figura 3.3).

Para que se produzca el desplazamiento de la placa superior de superficie  $S$  a una velocidad constante  $V$  sobre la superficie del aceite y hacer deslizar las capas adyacentes unas sobre otras, resulta necesario aplicar una fuerza tangencial  $F$ . Como la película de aceite se adhiere a la superficie de las placas, la capa inferior de moléculas queda estacionaria mientras que la capa superior se desplaza a la velocidad  $V$  de la placa superior y cada una de las capas intermedias se desplazará a una velocidad « $v$ », directamente proporcional a su distancia « $y$ » de la placa fija. Newton puso de manifiesto que la fuerza  $F$  constituía una medida del frotamiento interno del fluido o de su resistencia al cizallamiento, y era proporcional a la superficie  $S$  y al gradiente de velocidad  $V/h$  expresado de la siguiente forma;

$$F = \frac{\eta \cdot S \cdot V}{h}$$

En el cual  $\eta$  (eta) es el coeficiente de viscosidad o viscosidad absoluta y  $V/h$  o  $v/y$  el gradiente de velocidad, que viene definido como la relación entre la velocidad “v” de una capa medida a partir de la superficie fija, como se muestra en la Figura 3.3

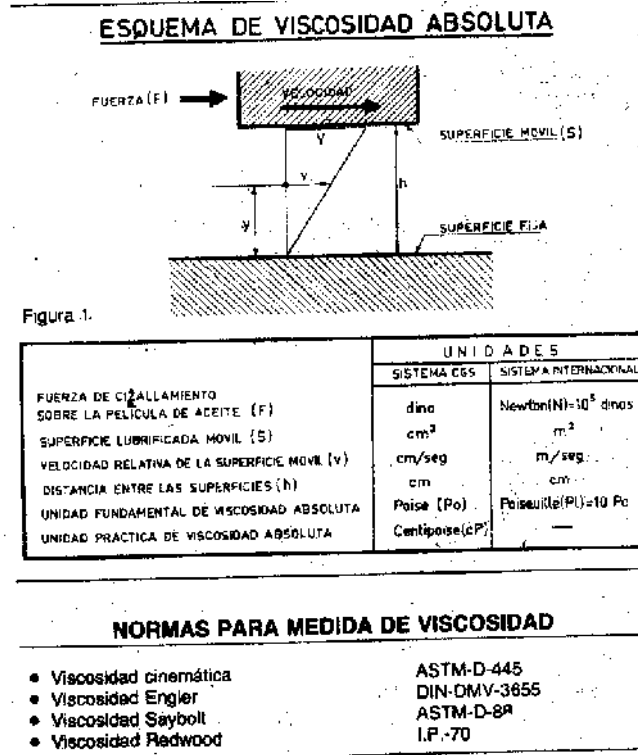


Fig. 3.3 Esquema de viscosidad absoluta.

### 3.3.2.2 Viscosímetros rotacionales

- Brookfield ASTM-D-2983
- Mc Michael
- Stormer
- Ferranti

No obstante en la industria del petróleo se utiliza habitualmente el concepto de viscosidad cinemática cuya relación con la viscosidad absoluta o dinámica es:

$$\delta(\text{delta}) = \frac{\eta}{\rho}; \quad \text{Siendo } \rho \text{ (rho) la densidad}$$

La unidad de viscosidad cinemática es el “Stoke” pero por resultar bastante grande se suele utilizar su centésima parte o “Centistoke”

Para la medida de la viscosidad se utilizan diferentes tipos de viscosímetros que se diferencian entre si por la forma de medir la viscosidad (Fig. 3.4). Los más utilizados son los siguientes:

1. Medición de la velocidad del flujo del aceite a través de un tubo capilar (viscosímetros cinemáticos: Otswal. Ubbelohde) o de un tubo corto u orificio (viscosímetros Saybolt Redwood y Engter).
2. Medición del tiempo de desplazamiento de un objeto sólido a través del aceite (viscosímetro de caída de bolas).
3. Medición del efecto de cizallas que se produce en un aceite entre dos superficies sujetas a un movimiento relativo (viscosímetros rotativos).

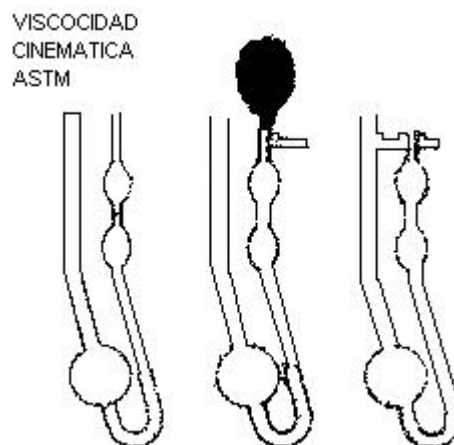


Fig. 3.4 Métodos para determinar la viscosidad del aceite

El equipo utilizado para la determinación de la viscosidad en el presente trabajo fue el Viscosímetro de Saybolt, a partir de la norma ASTM D-445.

### 3.3.2.3 Índice de viscosidad

Se entiende como índice de viscosidad, el valor que indica la variación de viscosidad del aceite con la temperatura. Siempre que se calienta un aceite, éste se vuelve más fluido, su viscosidad disminuye; por el contrario, cuando el aceite se somete a



temperaturas cada vez más bajas, éste se vuelve más espeso o sea su viscosidad aumenta.

### 3.3.2.4 Puntos de inflamación y combustión

La temperatura de inflamación se determina calentando la muestra en aparatos normalizados y aplicando una pequeña llama en la proximidad de su superficie (Fig. 3.5), a partir de la norma ASTM D-93, NC: 54-47:48

Se puede operar en vaso abierto para el caso de puntos de inflamación elevados (Open Cup o Cleveland), o en vaso cerrado para aceites más ligeros o de más baja inflamabilidad (Closed Cup o Pensky-Martens). Para un mismo producto, la inflamabilidad en el primer procedimiento da un valor más alto que en el segundo.

La temperatura a la cual hay que llevar el aceite para que, al aproximar una llama, sus vapores se inflamen y permanezcan en combustión durante cinco segundos, como mínimo, se denomina punto de combustión y se determina en el mismo aparato empleado para hallar el punto de inflamación en vaso abierto. El punto de combustión suele ser entre 30 y 60 °C superior al punto de inflamación.

La inflamabilidad de un aceite da una orientación sobre la volatilidad del mismo, posibles contaminaciones o diluciones, riesgos de incendios y procedimientos no ortodoxos en la elaboración de los aceites.

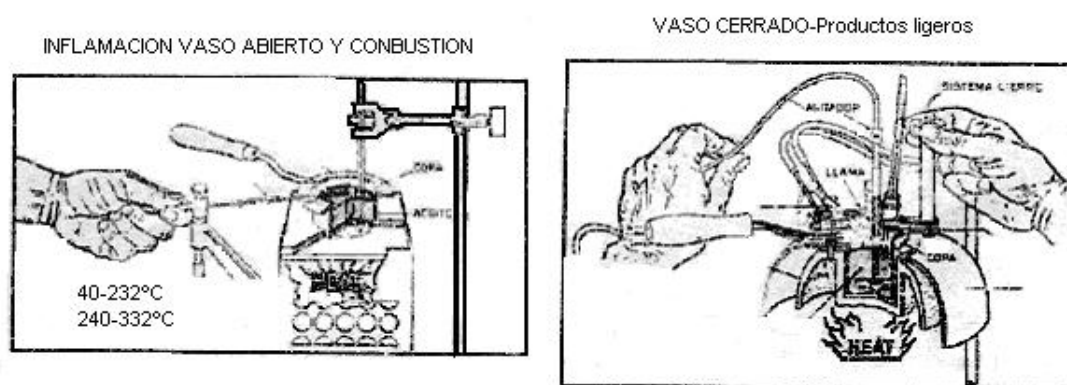


Fig. 3.5 Determinación del punto de inflamación.

### 3.4 RESULTADOS Y DISCUSION

Inicialmente se realizó la caracterización del aceite automotor usado (alrededor de 700 mL), como también una muestra de aceite virgen (Valvoline VR-1, 15-40) traídos desde la ciudad Loja, Ecuador, al cual se le realizó un análisis de su composición física y química en los laboratorios de la fábrica Che Guevara. Este volumen de muestra permitió realizar algunos análisis cuyos resultados se discuten a continuación.

Se determinaron las propiedades siguientes:

- 1- Viscosidad
- 2- Impurezas de metales
- 3- Punto de inflamación
- 4- Contenido de hollín a través de punto de la gota

Viscosidad: Para los aceites de motor Valvoline VR-1 ,15-40, el comportamiento normal de la viscosidad oscila entre 110-130 cSt y su comportamiento es aceptable siempre que la viscosidad varíe en un 14%, que puede aumentar producto a la oxidación del aceite y puede disminuir producto a la dilución de combustible.

Del ensayo realizado la viscosidad que se obtuvo del aceite usado fue de un valor de 149.42 cSt, lo que demuestra que el aceite analizado tiene una contaminación por oxidación del aceite, no obstante el aceite mantiene una viscosidad aceptable.

Impurezas: De acuerdo con las normas las impurezas en los aceite para motor deben encontrarse entre valores de hasta un 2,5%. Para este aceite usado las impurezas resultaron de 0.035%, manteniéndose en niveles aceptables.

Punto de inflamación: Para cualquier tipo de aceite virgen, el punto de inflamación oscila de 200-240 °C y su nivel de aceptación es de 30 %. El límite del punto inflamación, por lo tanto es de 150 °C. El aceite analizado posee un punto de inflamación de 130 °C, por lo que un aceite no debe emplearse como lubricante.

Contenido de hollín: Como se observó en la prueba de la mancha al evaluarse, el aceite se encontraba libre de materiales carbonosos, reflejando un buen nivel de dispersante, no existiendo concentrado de metales.

De los parámetros evaluados la mayor diferencia radica en el punto de inflamación, el cual está por debajo de los valores aceptables (siendo el mínimo), a pesar de que se demuestra que no existe dilución con combustible (gasolina).

Pero debido que la cantidad de muestra de aceite usado, traída de la ciudad de Loja Ecuador era muy escasa se decidió analizar algunos aceites de la ciudad de Moa Cuba para comparar su estado físico y químico con la muestra inicial de aceite usado y de ese modo reemplazarla para proseguir con la experimentación del reprocesado.

### 3.5 RESULTADOS DEL EXPERIMENTO

Debido a que no se pudo traer la suficiente cantidad del aceite contaminado de Loja - Ecuador para darle paso a las diferentes corridas deseadas se optimo la necesidad de encontrar un aceite similar con las mismas propiedades de uso.

El aceite a utilizar en las corridas y que presentaba las condiciones similares al aceite usado de Loja fue el de la Base de transporte de la Ciudad de Moa - Cuba

Esta muestra fue caracterizada y los resultados de los ensayos para la misma y para el resto de las muestras de aceites obtenidos en cada una de las corridas se observan en la Tabla 3.3. El aceite antes de filtrar está codificado como la muestra M-0.

Tabla 3.3 Resumen de los análisis realizados a las muestras en las diferentes corridas

Corrida	Muestra	Viscosidad a 40 °C (cSt)	Punto de inflamación (°C)	Impurezas mecánicas (%)	Duración de la corrida (horas)
1	M-0	107.52	142 °C	0.03	Muestra Inicial
2	M-1	105.72	Se proyecta	0.02	22 horas
3	M-2	103.44	Se proyecta	0.02	25 horas
	M-3	98.62	Se proyecta	0.006	44 horas
4	M-4	92.00	Se proyecta	0.0014	12 horas

“Revisar el Anexo 2”

---

### 3.5.1 DISCUSION DE LOS RESULTADOS

#### 3.5.1.1 Resultados para la muestra antes del filtrado

Viscosidad:

Para la muestra de aceite antes del reprocesado, la viscosidad fue de 107.52 cSt, lo que demuestra que el aceite analizado está contaminado, siendo menor que la viscosidad de un aceite virgen.

Impurezas:

Las impurezas en los aceite para motor se consideran normales hasta un 2,5%. Del ensayo realizado se obtuvo que este aceite usado contiene un 0.03% de impurezas sólidas por lo que se mantiene en niveles aceptables.

Punto de inflamación:

Para un aceite virgen, el punto de inflamación oscila entre 200-240°C y se acepta como lubricante siempre que la variación se encuentre alrededor del 30 %. El límite del punto inflamación debe ser de aproximadamente 150 °C.

El aceite analizado posee un punto de inflamación de 142°C, por lo que es un aceite que no debe emplearse como lubricante.

#### 3.5.1.2 Resultados de los ensayos al aceite reprocesado en la primera corrida.

La primera corrida se realizó utilizando una zeolita de un tamaño de partículas 1.6 a 1.4 mm, y tuvo un tiempo de duración de 24 horas. En la Tabla 2.3 está representado como la muestra M-1.

Viscosidad:

La viscosidad para el aceite producto de la primera filtración tuvo un valor de 105.72 CsT, lo que demuestra que el aceite analizado tiene una viscosidad por debajo de las normas de un aceite virgen y que tiene cierto grado de contaminación.

**Impurezas:**

Las impurezas sólidas estuvieron en 0.02% y se mantienen en niveles aceptables. Se observa una disminución de las impurezas después del primer filtrado, lo que demuestra el efecto de la zeolita en la disminución de las impurezas sólidas.

**Punto de inflamación:**

El aceite analizado posee un punto de inflamación bajo, por lo que al ser quemado en el laboratorio se volatiliza y por lo tanto se proyecta por debajo de 142°C, por lo que no debe utilizarse como lubricante.

**3.5.1.3 Resultados de los ensayos al aceite reprocesado en la segunda corrida.**

La segunda corrida se realizó utilizando una zeolita de un tamaño de partículas 1.4 a 0.8 mm, y tuvo un tiempo de duración de 25 horas. En la Tabla 2.3 se representa por la muestra M-2

**Viscosidad:**

Del ensayo realizado la viscosidad se obtuvo un valor de 103.49 cSt, lo que demuestra que el aceite analizado tiene cierto grado de contaminación, encontrándose la viscosidad por debajo de las normas de un aceite virgen.

**Impurezas:**

Para esta corrida el contenido de impurezas fue de 0.02%, manteniéndose en los mismos niveles de la corrida anterior.

**Punto de inflamación:**

El aceite filtrado de la segunda corrida posee un punto de inflamación bajo, por lo que se proyecta por debajo de 142°C, al igual que en el ensayo anterior, este comportamiento demuestra la contaminación o dilución del aceite.

En esta misma corrida, transcurridas 44 horas, se tomó otra muestra cuyos resultados se encuentran en la Tabla 2.3 como la muestra M-3

**Viscosidad:**

Del ensayo realizado la viscosidad se obtuvo un valor de 98.62 cSt, lo que demuestra que el aceite analizado tiene una contaminación, y este tiene una viscosidad por debajo de las normas de un aceite virgen.

**Impurezas:**

Las impurezas para este aceite filtrado fueron de 0.006%, manteniéndose en niveles aceptables. Se observa una disminución apreciable respecto al aceite recogido a las 25 horas de experimentación.

**Punto de inflamación:**

El aceite analizado en esta corrida posee un punto de inflamación bajo. Al ser quemado en el laboratorio se proyecta por debajo de 142°C, por lo que el aceite se ha vuelto muy volátil, además de que no debe emplearse como lubricante.

**3.5.1.4 Resultados de los ensayos al aceite reprocesado en la tercera corrida.**

La tercera corrida se realizó utilizando una zeolita de un tamaño de partículas 0,8 a 0,125 mm, y tuvo un tiempo de duración de 12 horas. En la Tabla 2.3 está representado como la muestra M-4

**Viscosidad:**

Para el aceite filtrado en la última etapa la viscosidad fue de 92.0 cSt, lo que demuestra que el aceite analizado mantiene ciertos niveles de contaminación debida al uso en el motor. Este valor se mantiene por debajo de las normas de un aceite virgen.

**Impurezas:**

La disminución de las impurezas respecto al ensayo anterior demuestran la efectividad del proceso de filtrado. De los análisis se obtuvo que se encuentran en 0.0014%, por lo que se mantienen en niveles aceptables.

Punto de inflamación:

El aceite de la última corrida analizado posee un punto de inflamación bajo por lo que se determina por debajo de 142°C. Este aceite ya no puede emplearse como lubricante, producto del uso se ha convertido en un líquido completamente volátil.

### **3.6 PROPUESTA DE LA INSTALACION DE REPROCESADO**

Con los resultados obtenidos en el proceso de filtrado del aceite usado experimentalmente, lo cual permitió demostrar su efectividad, se diseñó una instalación para reprocesar el aceite usado en Loja. Se espera que los resultados sean similares.

Se estima que en el Ecuador se consuman anualmente 68 304 280 L de aceite automotor.

El 83 % de este aceite es consumido por las cuatro ciudades más grandes del Ecuador. El resto se distribuye entre las otras ciudades, por lo cual se estima que en la ciudad de Loja consume alrededor de:

5 000 L diarios

120 000 L mensuales

1 440 000 L anuales

Lo que representa 1,5 % del aceite usado en el país.

### **3.7 SELECCIÓN Y DISEÑO DEL EQUIPAMIENTO**

Tomando como base los resultados de la experimentación realizada y los grandes volúmenes de aceite automotor consumidos en la ciudad de Loja, se realizó el diseño, selección y valoración de una instalación para realizar la recuperación del aceite.

La selección de los equipos, recipientes y accesorios se realizó en función de los volúmenes de aceite a reprocesar, a sus propiedades y a los resultados obtenidos en las corridas experimentales.

### 3.7.1 Cálculos de los depósitos

#### 3.7.1.1 Cálculo del colector principal del aceite usado

Teniendo en cuenta que la altura máxima de succión de la bomba (profundidad) es de 3 metros, el volumen de aceite que se desea reprocesar es de 120 000 litros y que se desea un depósito circular. Se calcula el diámetro de la base.

$$V = \frac{\pi * d^2}{4} h \dots\dots\dots(1)$$

volumen del colector  $V = 120\ 000\ L = 120\ m^3$

Altura del colector,  $H = 3\ m$

Diámetro del colector  $d = ?$

Sustituyendo y despejando  $d$  de la ecuación 1:

$$V = \frac{\pi * d^2}{4} h$$

$$d = \frac{\sqrt{V * 4}}{h * \pi} \quad d = 7.13m$$

Por lo tanto las dimensiones del colector serán:

$$d = 7.13m$$

$$H = 3m$$

$$\text{Con un area de } A^2 = 22.38\ m^2$$

#### 3.7.1.2 Volumen de los filtros

Se propone la utilización de dos filtros en serie de iguales dimensiones, utilizando zeolita con granulometrías de 1.6 a 1.4mm y de 1.4 a 0.8 mm respectivamente.



Dimensiones del filtro utilizado en la experimentación:

Diámetro  $d = 52\text{mm}$

Altura  $h = 75\text{mm}$

El filtro tiene forma cilíndrica, por lo que el volumen se calcula por la ecuación 2

$$V = \frac{\pi * d^2}{4} h \dots\dots\dots(2)$$

Sustituyendo:

$$V = \frac{\pi * (52 \text{ mm})^2}{4} 75 \text{ mm}$$
$$V = 160 \text{ mm}^3$$

### 3.7.1.3 Cálculo de la cantidad de zeolita para los filtros.

En la experimentación fueron procesados 11,3 L de aceite usado haciéndolo pasar por un lecho de 200 g de zeolita.

El volumen de Zeolita que se utilizó en el sistema experimental, teniendo en cuenta que la densidad ( $\rho$ ) de la zeolita es de  $2,25 \text{ g/cm}^3 = 2250 \text{ kg/m}^3$

El volumen de la zeolita empleado en el sistema experimental es:

$$V = \frac{m}{\rho} \dots\dots\dots(3)$$

$$V = \frac{200 \text{ g}}{2,25 \text{ g/cm}^3}$$
$$V = 90 \text{ cm}^3$$

### 3.7.1.4 Cantidad de zeolita para el filtro propuesto en el sistema de reprocesado

Como para 11,3 L de aceite usado se emplearon 200 g de Zeolita, para 60 000 L se deben emplear: 1061,9 kg

La cantidad de zeolita es de 1061.9 kg en total para el sistema. Como son dos filtros cada uno debe rellenarse con 530 kg de Zeolita, lo que representa un volumen de:

$$530 \text{ kg} / 2250 \text{ kg/m}^3 = 0.23 \text{ m}^3 \text{ del volumen del filtro}$$

Con el valor del volumen de zeolita que se va a utilizar en el sistema propuesto se determinaron las dimensiones de los filtros, los cuales tendrán forma circular.

Se desea que el diámetro de la base sea de 50 cm. Determinando la altura nos queda que:

Con el volumen de zeolita:  $V = 0.23 \text{ m}^3$

Y el diámetro del filtro, que debe ser:  $d = 50 \text{ cm} = 0.50 \text{ m}$

Se determina la altura que debe tener el filtro despejando de la ecuación 2:

$$0.23 \text{ m}^3 = \frac{\pi * (0.50 \text{ m})^2}{4} h$$
$$h = 1.2 \text{ m}$$

Se aumentará hasta 1.5 m la altura del filtro teniendo en cuenta el espacio que debe quedar entre la entrada al filtro y el lecho de material filtrante.

### 3.7.1.5 Volumen de los filtros

Por la ecuación 2, se determina el volumen que tendrán cada uno de los filtros:

$$V = \frac{\pi * (0.5 \text{ m})^2}{4} 1.5 \text{ m}$$
$$V = 0.30 \text{ m}^3$$

### 3.7.1.6 Cálculo del depósito o colector de aceite reprocesado

El depósito tendrá forma circular, con las siguientes dimensiones. Se almacenarán 60 m<sup>3</sup> de aceite cada 15 días.

$$V = 60\text{m}^3$$

$$H = 3\text{m}$$

$$d = ?$$

Se calcula el diámetro del tanque colector de reprocesado, por la ecuación 1:

$$d = 5.04 \text{ m}$$

### 3.7.1.7 Cálculo del caudal

La teoría de la filtración plantea que existe una relación entre el tiempo y el volumen de filtrado. Para la investigación que se realizó esta dependencia se muestra en el Gráfico 3.1. A partir del mismo se determinó el caudal de la bomba necesario.

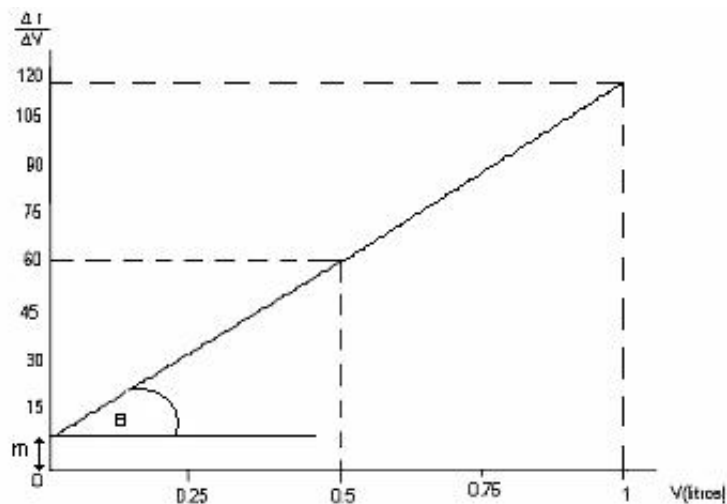


Gráfico 3.1 Comportamiento del volumen con respecto al tiempo (instalación experimental)

$$\text{tag } \beta = \frac{2}{k} \dots\dots\dots(4)$$

Donde: k = constante de filtrado

$$k = \frac{2}{\operatorname{tg} \beta}$$

$$k = \frac{2}{\operatorname{tg} 59^{\circ}}$$

$$k = 1,20 \text{ m}^2 / \text{s}$$

Del Gráfico 3.1 se determina la pendiente que es  $m = 7\text{s}$  y se determina C  
 C = constante de filtrado que caracteriza la resistencia hidráulica de la membrana (zeolita)

$$m = \frac{2C}{k} \dots\dots\dots(5)$$

$$C = \frac{m * k}{2}$$

$$C = 4,216 \text{ m}^2$$

Conocidos los parámetros de filtración se calcula el tiempo de filtrado por la ecuación 6

$$V^2 + 2 * V * C = k\tau \dots\dots\dots(6)$$

Despejando tiempo de la ecuación 6:

$$\tau = \frac{V^2 + 2 * V * C}{k}$$

$$\tau = 4,19 \text{ días}$$

Para conocer el trabajo real del sistema de filtración propuesto o sea en qué tiempo es capaz de evacuar todo el contenido, se realiza la suma de tiempo de filtrado con restricción en caída libre y tiempo bombeado sin restricción como se indica:

$$\Delta\tau = \Delta\tau_1 + \Delta\tau_2 \dots\dots\dots (7)$$

$\Delta\tau_1$  = tiempo de filtrado con restricción en caída libre

$\Delta\tau_2$  = tiempo bombeado sin restricción con bomba seleccionada

$\Delta\tau$  = tiempo necesario para filtrar

$$\Delta\tau_1 = 4.19 \text{ días}$$

$$\Delta\tau_2 = 7 \text{ días}$$

$$\Delta\tau = ?$$

Sustituyendo estos valores en la ecuación 7:

$$\Delta\tau = 4.19 + 7$$

$$\Delta\tau = 11.19 \text{ días}$$

Un caudal total de 5000 litros de aceite usado se filtrará en 11.19 días

(Los 5000 litros de aceite usado es la recolección de un día)

$$Q = \frac{V}{\tau} \dots\dots\dots(8)$$

Q = caudal de salida

V = volumen del líquido

$\tau$  = tiempo de filtrado

$$Q = ?$$

$$V = 5000 \text{ L}$$

$$\tau = 11.19 \text{ días (en 8 horas de trabajo es igual a 89.52 horas)}$$

$$Q = \frac{5000 \text{ L}}{89,52 \text{ h}}$$

$$Q = 55,85 \text{ L/h}$$

### 3.7.1.8 Selección de la bomba

Para la instalación que se propone, se necesita una bomba adecuada para el trasiego de este tipo de fluido. Se seleccionó una bomba de paletas para altas presiones y

caudales hasta 2.200 L/h, de 3 hp Auto aspirantes hasta 3 metros, equipada con motor trifásico estándar de 220/380 V. ó monofásico 220 V, a 1450 rev/min, bajo demanda a 750 ó 950 rev/min ó con motor antideflagrante o antiexplosivo.

Construidas en Acero Inoxidable 303 o bronce, con sello mecánico de grafito-carbón y cerámica con juntas en NBR, EPDM ó Vitón.

Pueden ir equipadas con válvula By-pass sobre demanda. Bocas roscadas NPT hembra.

Esta bomba fue seleccionada del catalogo bombas rotativas de paleta serie PO que se encontró en INTERNET en la pagina [bombastorres.com/MSweb/BM,htm](http://bombastorres.com/MSweb/BM.htm).

Esta bomba fue seleccionada debido a que presenta las condiciones requeridas que se desea para la instalación propuesta como por ejemplo el de poder desfogar una gran cantidad de fluido por poder trabajar hasta una altura de 3 metros por ser factible su uso con líquidos viscosos.

En la tabla 3.4 se muestra un resumen de las características de los medios que se proponen emplear en la instalación industrial. Los cálculos realizados para proponer el sistema partieron de la instalación piloto.

### **3.7.1.9 Selección de la centrífuga**

En la instalación piloto no se utilizó una centrífuga pero después de realizar los estudios acerca del reprocesado de aceite usado se determinó que en la instalación propuesta debe llevar una centrífuga ya que esta facilitara el decantado de las materias sólidas o pesadas (lodos).

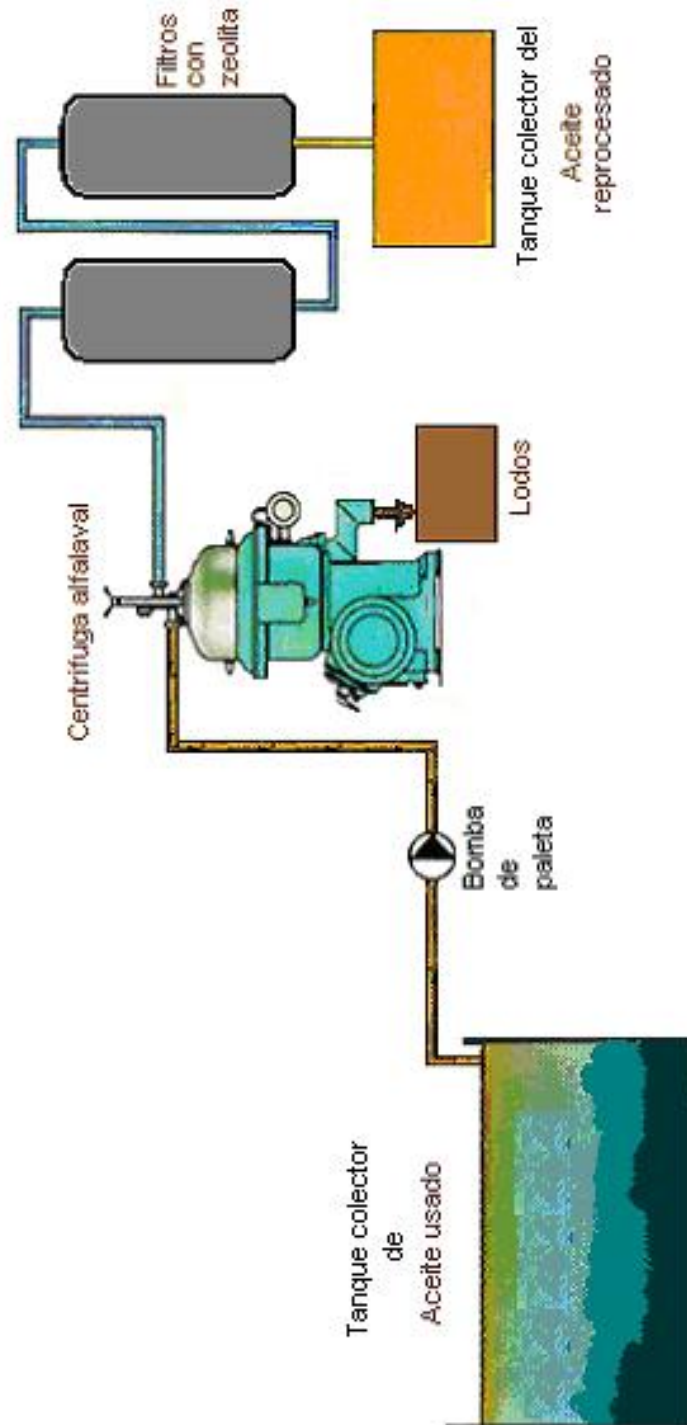
La forma para seleccionar la centrífuga se realizó por medio del catalogo de venta [info@sooplasticos.com](mailto:info@sooplasticos.com) alfa Laval 30000 presentando las condiciones requeridas como son de fácil acoplamiento a la tubería, mantenimiento rápido y fácil y otros.

Tabla 3.4 Resumen de los cálculos

	Instalación experimental	Instalación Propuesta
Deposito (L)	11.3	120 000
Caudal de la Bomba (L/h)	200	2200
Dimensiones Del filtro (m)	D= 0,052 H= 0,075	D=0,50 H=1,30
Diámetro de tubería (mm)	6.35	9.52
Caudal de salida (L/h)	30	55.8
Colector de reprocesado (L)	1	5000
Cantidad de zeolita (kg)	0.200	530.0
Volumen de zeolita	91 cm <sup>3</sup>	0.23m <sup>3</sup>
Volumen de filtro	160 mm <sup>3</sup>	0.30m <sup>3</sup>

La instalación que se propone consta de un recipiente para el aceite usado, una bomba, una centrifuga, dos filtros colocados en serie y un recipiente para coleccionar el aceite reprocesado. En este esquema se propone la utilización de una centrifuga con el objetivo de aumentar la eficiencia de los filtros, ya que ella será la encargada de eliminar las impurezas insolubles del aceite contaminado, mostrado en la Fig. 3.6

Fig. 3.6 Esquema de la instalación propuesta





---

## Capítulo IV. VALORACION ECONOMICA E IMPACTO AMBIENTAL

Los aceites usados constituyen un residuo peligroso del que se pueden derivar graves daños medioambientales, no obstante conservan gran parte de los hidrocarburos que contenían previamente a su uso, lo que les confiere un valor económico que ha permitido el desarrollo de un importante mercado. El equilibrio de este mercado de aceites usados puede no ser óptimo desde el punto de vista medioambiental, bien porque se aleje de la cantidad de aceites usados producida o porque las condiciones de utilización de los aceites no sean las adecuadas. En este sentido, la intervención pública en el mercado, dirigida a promover una buena gestión de los aceites usados puede justificarse siempre que el costo marginal social de la eliminación inadecuada de los aceites exceda del beneficio marginal privado neto de su adecuada gestión.

La recuperación de los aceites usados, se considera una opción de reutilización de los aceites frente a otras alternativas como el vertimiento. Las distintas opciones de gestión dan lugar a distintos mercados, aunque todos ellos compiten por la obtención de los aceites disponibles, de modo que las intervenciones públicas tendrán distintos efectos en cada uno de ellos.

### 4.1 VALORACIÓN ECONÓMICA

El análisis económico de la factibilidad de la nueva inversión se basará en el cálculo de los costos capitales, costos de operación, el cálculo del Valor actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR), y el Tiempo de recuperación de la inversión.

Para el cálculo de los costos capitales (CP) se utilizará la metodología conocida como “Método de la razón de costo de los componentes de la planta” (Mular Andrew y Bhappu Roshan, 1980); la cual se basa en el costo del equipamiento básico (CEB).

Tomando como base los equipos y materiales necesarios para el reprocesado establecidos en el presente trabajo y en los cuales se debe invertir calculamos el CEB, como se muestra en la Tabla 4.1

Tabla 4.1 Costo del Equipamiento Básico

Equipos	Material	Cantidad a utilizar	Precio unitario	Precio total
Depósito 1			15 433,44 \$	15 433,44 \$
Depósito 2			10 000,00 \$	10 000,00 \$
Filtro			5 000,00 \$	5 000,00 \$
Zeolita		1,06 t	150,00 \$/t	159,00 \$
Accesorios				50,00 \$
Bomba		1 u	850,00 \$/u	850,00 \$
Tuberías	PVC	8 m	5,00 \$/m	40,00 \$
Centrifuga	Alfa Laval	1 u	31 000,00 \$/u	31 000,00 \$
TOTAL				\$ 62 532,44

#### 4.1.1 Cálculo de los costos capitales

Tomando como base el costo del equipamiento básico se calculan los demás costos para la nueva inversión, los cuales se estima que representan una fracción del mismo y se muestran en la Tabla 4.2

Tabla 4.2 Cálculo de los costos capitales de la inversión propuesta.

	Fórmula	Resultado
A	CEB	62 532,44 \$
B	(0.17-0.25) CEB	13 131,81
C	(0.13-0.25) CEB	11 881,16
D	(0.07-0.25) CEB	10 005,19
E	(0.03-0.12) CEB	4 689,33
F	(0.33-0.55) CEB	27 514,27
G	(0.07-0.15) CEB	6 878,56
H	(0.07-0.15) CEB	6 878,56
I	(0.03-0.18) CEB	6 565,90
J	(0.30-0.33) CEB	19 697,71
K	Costo capital	169 774,93

“Anuales de los costo de materiales”

Denominaciones:

- A Costo total de los equipos básicos
- B Costo de instalación
- C Costo de electricidad y materiales
- D Costo de materiales, tuberías y montaje
- E Costo de instrumentación
- F Edificaciones, servicios mecánicos y eléctricos
- G Servicios auxiliares a la planta (agua fresca, etc.)
- H Edificaciones auxiliares, incluyendo servicios mecánicos y alumbrado
- I Viales fabriles
- J Administración de proyectos
- K Costos fijos completos

#### 4.1.2 Cálculo de los costos de operación

Para calcular los costos de operación se deben calcular los costos por concepto de salario, la producción anual y los costos por mantenimiento y los costos por el consumo de energía.

Tabla 4.3 Costos por conceptos de salarios anuales

Designación	No de trabajadores	Salario mensual	Salario anual total
Salario Labores de Operación	1 Operador de mantenimiento	200,00 \$	2 400,00 \$
Total			2 400,00 \$

#### 4.1.2.1 Cálculo de los costos de energía

En el proceso se utiliza energía eléctrica para el accionamiento de la bomba y la centrífuga.

Tabla 4.4 Cálculo de los costos de energía eléctrica.

Equipos	Potencia, kW/h	Precio \$/kW	Costo de energia \$/t
Centrífuga	1,3	0,15	0,195
Bomba de paleta	0,18	0,15	0,027
Total			0,22

$$C_e = 0.8 \sum P_i / Q_a, \text{ donde}$$

$C_e$  = Costos de energía

$P_i$  = Potencia instalada

#### 4.1.2.2 Costos totales de la operación mensual

Depreciación de maquinaria al mes

Centrífuga = 31 000,00\$

Bomba de paleta = 850,00\$

Gasto total de maquinaria = 31 850,00\$

Tiempo útil de la maquinaria = 5 años

5% de depreciación

Depreciación de Maquinaria =

((Gasto de Maquinaria / tiempo de vida útil) / 12 meses x porcentaje de depreciación)

$$((31\ 850,00/5)/12) \times 0.05 = 26,54$$

Costo de la materia prima es de 1 ctv por litro de aceite usado

Los costos totales de operación es la suma de todos los costos calculados.

Tabla 4.5 Costos totales de operación

Designación	Resultado
Salario	200\$
Luz	0.22\$
Materia Prima	1200,00\$
Depreciación maquinaria	26,54\$
Costo totales de la operación	1426,76

Gasto de maquinaria al mes =

Gasto total de maquinaria / tiempo de vida útil / 12 meses

$$((31\ 850,00 / 5) / 12) = 530 \$$$

530 – depreciación =

$$530 - 26,54 = 504,29\$$$

504 + gasto inicial = Gasto total al mes de la producción

$$504.29 + 1426,76 = 1931,05 \$$$

Gasto total de producción mensual = 1 931,05\$

Venta de aceite reprocesado es de 5 centavos por litro al mes

$$120\ 000 \text{ litros de aceite usado} \times 5 \text{ ctv} = 6000 \$$$

Ganancia de la producción al mes = Venta – Gasto total al mes

$$= 6000\$ - 1931,05\$$$

Ganancia de la producción al mes = 4068,95\$

### 4.1.3 Cálculo del valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR)

El cálculo del VAN tiene en cuenta el valor del dinero en el tiempo, por lo que se hicieron los análisis por un período de tres años.

Teniendo en cuenta que:

$$VAN = -C_0 + C_1 / (1+K) + C_2 / (1+K)^2 + \dots + C_n / (1+K)^n \dots\dots\dots(4.)$$

$C_0$ : Desembolso inicial de la inversión (\$/año)

$C_n$  Flujo de fondo

$K$  Tasa de interés (%)

Se toma  $K = 12\%$

El tiempo de recuperación de la inversión se calculará por:

$$R = C_0 / C_n \dots\dots\dots(4. )$$

En la Tabla 4.7 se muestran los valores del flujo de fondo para cada año.

Tabla 4.6 Flujo de fondo

$C_0$	$C_1$	$C_2$	$C_3$
$169\,774,93 \cdot (1,3)^3$	$73\,569,14 / (1+0,12)$	$73\,569,14 / (1+0,12)^2$	$73\,569,14 / (1+0,12)^3$
-73 569,14	65 686,73	58 648,86	52 365,06

$$VAN = -73\,569,14 + 65\,686,74 + 58\,648,86 + 52\,365,06$$

Valor actual Neto:  $VAN = 103\,131,51 \$$

Tasa Interna de Retorno:  $TIR = 83 \%$

Tiempo de recuperación de la inversión:  $R = 1,6$  años

Para realizar el cálculo de la Tasa Interna de Retorno se graficaron varios valores del VAN vs. TIR, obteniéndose como resultado el Gráfico 4.1. La TIR de la nueva inversión es el valor para el cual el VAN se hace igual a cero en la ecuación 4.

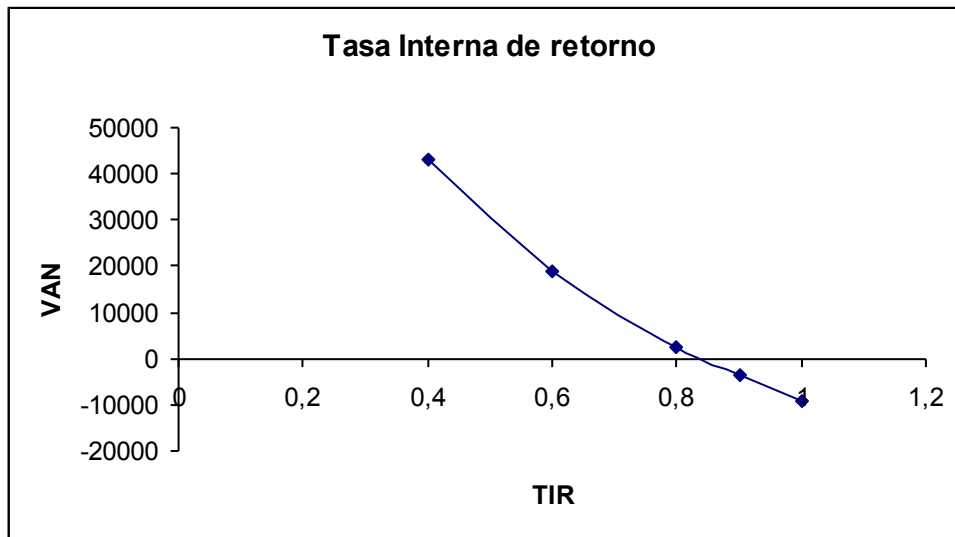


Gráfico 4.1 Determinación de la Tasa Interna de Retorno

---

## 4.2 IMPACTO AMBIENTAL

Todo residuo o desecho que pueda causar daño a la salud o al medio ambiente es considerado como un residuo peligroso; fundamento por el cual los gobiernos tienen la responsabilidad de promover la adopción de medidas para reducir al máximo la generación de estos desechos, así como establecer políticas y estrategias para que su manejo y eliminación se ejecuten sin menoscabo del medio ambiente y se reduzcan sus propiedades nocivas mediante técnicas apropiadas.

Tal es el caso de materiales sintéticos, gomas, neumáticos, residuos de madera, aceites de motor usados, residuos petroquímicos y fangos asfálticos, entre otros, porqué su composición química están generando cada vez mayores peligros para los seres vivos. Al unísono, en el mundo han hecho su aparición en los últimos años, nuevos procesos y tecnologías que permiten la reutilización o reciclaje de residuos o desechos peligrosos, transformándolos en sustancias susceptibles de ser utilizadas o aprovechadas ya sea como materia prima o como energéticos.

Por desconocimiento de procedimientos técnicos para su adaptación, por ausencia de normatividad sobre su reutilización industrial, por la carencia de estándares de consumo en calderas, hornos y secadores y por el mercado negro existente con estos productos, se presume que los manejos dados a los aceites usados y en general a este tipo de energéticos alternativos, son inadecuados, no solo ambiental, sino técnicamente.

Estos procedimientos están generando la degradación del medio ambiente por la gran cantidad de contaminantes, particularmente aquellos asociados con contenidos de metales como arsénico, cadmio, cromo, plomo y antimonio entre otros, que son emitidos a la atmósfera durante el proceso de combustión. Estos compuestos químicos producen un efecto directo sobre la salud humana y varios de ellos son cancerígenos.

En el Ecuador se consumen anualmente 60.5 millones de litros de aceite automotriz (solo el 83% de este es utilizado en las cuatro ciudades más grandes del país). La mayor parte de esa cantidad de aceite, después de su uso, es desechada al medio, contaminando aguas y tierras.

Unido a este fenómeno, en la presente década, en un accidente del Sistema del Oleoducto Transecuatoriano (SOTE), ocurrido el 26 de febrero de 1998 en la cercanía



---

de Esmeraldas, y clasificado como “mayor desastre que se ha vivido en los últimos tiempos”, se derramaron 6.97 millones de litros de petróleo a los ríos y al mar.

El 3 de julio se vertieron al río Esmeraldas, cerca del sitio del anterior accidente, otros 1.9 millones de litros de crudo.

Durante una nueva rotura del oleoducto, el 14 de julio del presente año en el Oriente, se perdieron 1.6 millones de litros del “oro negro”, en la naturaleza.

Las mencionadas catástrofes medioambientales ocurridas, con un total de 10.47 millones de litros de crudo derramados, trajo consigo lamentables tragedias ecológicas y humanas que fueron tratadas en los medios de comunicación con la debida atención por su alarmante impacto, sin embargo la constante contaminación con los lubricantes pasa desapercibida en la conciencia común, cuando en Ecuador podría considerarse la contaminación más grande del siglo.

Si se tiene en cuenta el consumo de aceites de automóviles resulta preocupante a donde va a parar el aceite quemado de los automotores que cada tres o cuatro meses es cambiado.

En el Ecuador existe una ley que contempla las normas de gestión de aceites usados, pero no es aplicada por los consumidores de los mismos. Esto hace necesario emprender un análisis cualitativo y cuantitativo de las diferentes actividades realizadas en la cadena comercial de este residuo (generación, almacenamiento, mezcla, recolección, transporte y disposición final).

Cada una de las mecánicas automotrices tiene su propio estilo para deshacerse del líquido negro. En el patio de estas instalaciones se puede observar un hueco dirigido hacia el alcantarillado, o se usan los sumideros de la calle, ensucian la vereda, botan los filtros usados en cualquier sitio. Existen dueños de carros que realizan el cambio de aceite en el campo, dejando los desechos en la tierra.

Por otro lado, en nuestro país funciona un mercado informal de aceites usados que capta un porcentaje pequeño del total de residuos que genera el parque automotor, que sólo en Quito rebasa los 1 000.000 vehículos. Los comerciantes recolectan los aceites desde las lubricadoras, estaciones de servicios de gasolineras, mecánicas automotrices, etcétera. Luego estos aceites son empleados en la ganadería, para untar las patas de los animales protegiéndolos contra enfermedades; en la agricultura, como plaguicidas; en el

tratamiento de maderas contra la destrucción causada por insectos y hongos; en la producción de bloques de cemento, como antiadhesivo en los moldes de madera; en la fabricación de tintas de menor calidad, como materia prima para imprentas; en las lavadoras para la pulverización de los carros y en las carreteras sin capa de asfalto se riega para evitar el levantamiento del polvo. Todos estos usos son igualmente contaminantes.

En la Amazonía, las carreteras no pavimentadas, regularmente están cubiertas con aceite, una práctica causante de la contaminación del suelo y de las vertientes a través de la lluvia. En la mayoría de los casos, el último destino del producto es el agua, lo que representa una preocupante contaminación medioambiental, cuyo impacto aumenta cada año, a pesar de que instancias del Estado lo hayan evitado desde hace dos, tres o más décadas.

Entidades de gobiernos anteriores hicieron estudios para solucionar el problema. Al parecer, por influencia de grupos poderosos e interesados en no involucrarse en cambios, no se concretizaron los intentos y hasta hoy tenemos el alarmante hecho que los aceites usados terminan en el agua, en el suelo y en el aire que respiramos.

La contaminación de los residuos de aceite usado conlleva a graves daños tanto para el hombre y la naturaleza.

Si se arroja a la tierra el aceite usado destruye el humus vegetal y acaban con la fertilidad del suelo debido a que contiene una serie de hidrocarburos que no son biodegradables biológicamente. El aceite usado contiene asimismo una serie de sustancias tóxicas como el plomo, el cadmio y compuestos de cloro que contaminan gravemente las tierras. Su acción contaminadora se ve además reforzada por la acción de algunos aditivos que se le añaden que favorecen su penetración en el terreno, pudiendo ser contaminadas las aguas subterráneas.

Un litro de aceite de motor vertido puede llegar a formar una mancha de 4.000 m<sup>2</sup> sobre el agua.

Si se vierten a las aguas, bien directamente o por el alcantarillado, el aceite usado tiene una gran capacidad de deterioro ambiental. En el agua produce una película impermeable, que impide la adecuada oxigenación y que puede asfixiar a los seres vivos que allí habitan.

Un litro de aceite usado es capaz de contaminar 1.000.000 de litros de agua,

Asimismo, el aceite usado, por su bajo índice de biodegradables afecta gravemente a los tratamientos biológicos de las depuradoras de agua, llegando incluso a inhabilitarlos.

Los aceites no se disuelven en el agua, forman películas impermeables que impiden el paso del oxígeno y matan la vida en el agua, esparcen productos tóxicos que pueden ser ingeridos por los seres humanos de forma directa o indirecta. Los hidrocarburos saturados que contienen no son biodegradables (el tiempo de eliminación de un hidrocarburo en el mar puede ser de 10 a 15 años).

Como vemos uno de los puntos ambientales donde puede producirse una polución muy importante es en el agua. El lubricante usado que se pierde de los mecanismos, se elimina a través de desagües y alcanza las capas freáticas. El vertido de aceites usados en los cursos de aguas deteriora notablemente la calidad de las mismas.

El aceite usado altera el sabor del agua potable, y por ello debe evitarse la presencia del mismo en las aguas de superficie y en las subterráneas. Según el doctor K. Reimann, del Instituto Biológico Experimental Bavaro de Munich, concentraciones de aceite usado en agua de 0.1 a 1 mg/L convierten aquella en impropia para el consumo humano. El doctor J. Holluta establece un valor límite de 0,44 mg/L para alterar considerablemente el sabor del agua potable, mientras que el doctor Knorr ha referido valores inferiores, todos los sujetos de su experiencia detectaron alteración del sabor para concentraciones de 0,01 mg/L, y tres sujetos de cada cinco perciben todavía una diferencia de sabor para un contenido en aceite usado de 0,001 mg/L.

Los aceites usados vertidos en el agua originan una fina película que produce separación entre las fases aire- agua. Con ello se impide que el oxígeno contenido en el aire se disuelva en el agua, perturbando seriamente el desarrollo de la vida acuática.

A estas dificultades debemos añadir los riesgos que implican las sustancias tóxicas contenidas en los aceites usados, vertidos en el agua que pueden ser ingeridas por el hombre o los animales. Dichas sustancias tóxicas provienen de los aditivos añadidos al aceite y engloban diversos grupos de compuestos tales como: fenoles, aminas aromáticas, terpenos fosfatados y sulfonados di-alquil-ditiofosfato de zinc, detergentes, poli-isobutilenos, poliéster, que durante el uso del aceite a temperaturas elevadas forman peróxidos intermedios que son muy tóxicos.

Si el aceite usado se quema, sólo o mezclado con fuel-oil, sin un tratamiento y un control adecuado, origina importantes problemas de contaminación y emite gases muy tóxicos, debido a la presencia en este aceite de compuestos de Plomo, Cloro, Fósforo, Azufre, etc. Cinco litros de aceite quemados en una estufa contaminan, con Plomo y otras sustancias nocivas, 1 000.000 m<sup>3</sup> de aire, que es la cantidad de aire respirada por una persona durante tres años.

Como se observa la expulsión al aire de los desechos de estos gases del aceite usado también traen graves consecuencias para la vida del hombre.

Los aceites vírgenes contienen o pueden contener cantidades pequeñas controladas de PHA's (compuestos aromáticos policíclicos), que durante el funcionamiento del lubricante, mediante la descomposición de los distintos componentes así como reacciones catalizadas por metales, incrementan su presencia en el aceite usado. Muchos de estos PHA's tienen un efecto marcadamente cancerígeno plenamente demostrado, y de una forma u otra son arrojados a la atmósfera que respiramos.

En estudios efectuados para conocer la capacidad mutagénica del aceite de motor usado, se ha detectado que el 70 % de estos efectos son causados por PHA's con más de tres anillos, fracción que representa sólo el 1 % del volumen de un aceite usado. De esta fracción mutagénica el 18 % del efecto lo produce el benzo-a-pireno según IARC (International Agency on Research for Cancer). Se considera que el benzo-e-pireno, benzo-a-pireno, benzo-a-antraceno y el criseno tienen un elevado potencial carcinogénico. En los crudos de aceite mineral se han encontrado cantidades de benzo-a-pireno que oscilan entre 400 y 1.600 mg / kg.

Por ejemplo, un motor de dos tiempos (motos, fueradebordas, motosierras) expulsan aproximadamente con los gases, el 25 % del aceite lubricante que utilizan.

El 40-70 % de los PHA's que se emiten en los gases, proceden del aceite de motor, otro 30-60 % se origina en el proceso de combustión del combustible. La utilización de ésteres sintéticos ayuda a reducir considerablemente estas emisiones.

Se citan, a continuación, algunos de los efectos de los componentes de aceite usado:

Gases que contienen aldehídos, cetonas, compuestos aromáticos, CO<sub>2</sub>, son irritantes y actúan sobre el tejido respiratorio superior provocando: ahogos, asma, bronquitis, efectos mutantes y Cáncer.

---

Elementos como Cloro, NO<sub>2</sub>, SH<sub>2</sub>, Sb (Antimonio), Cr (Cromo), Ni (Níquel), Cd (Cadmio), Mn (Manganeso), Cu (Cobre); actúan sobre el tejido respiratorio superior y tejido pulmonar.

Metales como Pb (Plomo), Cd (Cadmio), Mn (Manganeso), tienen efectos tóxicos sobre el riñón. El Cadmio, además, efectos cancerígenos sobre la próstata y el Cromo sobre el pulmón.

Compuestos aromáticos como Tolueno, Benceno, que pueden llegar a provocar leucemias y otros hidrocarburos más ligeros se acumulan en la sangre y podrían llegar a producir parálisis.

Algunos efectos que produce el residuo de aceite usado son:

Efectos asfixiantes, impidiendo el transporte de oxígeno y por tanto la respiración de la célula.

Los disolventes halogenados tienen efectos anestésicos y narcóticos que se acumulan en el hígado con posibles efectos cancerígenos

### **4.3 IMPACTO AMBIENTAL DEL TRABAJO**

Con la utilización de un sistema de reprocesado de aceite las variables de contaminación disminuirán en un buen porcentaje, ya que al volver utilizar este peligroso residuo industrial y darle su uso inicial o utilizarlo de otra forma para con esto evitar la contaminación ambiental y aprovecharlo al máximo, ya que este residuo provoca daños y en ocasiones daños irreparables como se indica en el epígrafe 3.2 del impacto ambiental.

Por lo ya conocido el uso de los aceites usados reprocesados provocara un gran impacto ambiental favorable, con estos residuos se puede obtener materia prima para la elaboración de tintas de baja calidad, plásticos y otras.

---

## CONCLUSIONES

Como culminación de este trabajo concluimos:

Del resultado de los análisis realizados para cada una de las corridas se pudo comprobar que:

1. Los aceites reprocesados no pueden seguir siendo utilizados como lubricantes debido a que la viscosidad y el punto de inflamación, fundamentalmente, se encuentran fuera de los parámetros especificados para los mismos, pero conservan gran parte de sus características químicas para ser utilizados de otra forma.
2. Del análisis económico y ecológico se demuestra que es factible y viable reprocesar el aceite de motor usado
3. Disminuyó el contenido de impurezas sólidas de una corrida a otra, lo que demuestra que el filtrado a través del sistema piloto con el material filtrante de zeolita es un método efectivo para la eliminación de los sólidos en suspensión.
4. Los contaminantes fueron disminuidos a niveles que permiten su utilización como combustible, sin causar daños al medio ambiente.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda:

1. Aplicar la solución que se propone en el trabajo.
2. Probar las posibilidades de utilización de la zeolita como medio filtrante en los automóviles, en sustitución del papel.
3. Que se tenga en cuenta la filtración a través de zeolita como uno de los procesos en el caso de realizar la regeneración del aceite usado.
4. Realizar una investigación similar utilizando como medio filtrante la piedra volcánica, mineral muy común y abundante en el país del Ecuador.
5. Realizar análisis de contenido de metales pesados antes y después de la filtración por zeolita.
6. Estudiar las diferentes utilidades que puede presentar el material filtrante “zeolita” como por ejemplo en la construcción.
7. realizar una campaña sobre el reciclado y clasificación de los diferentes tipos de residuos de aceites usados


## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Aracil M. J. Producción de Biodiesel a partir de aceites usados. Laboratorio de procesos químicos y bioquímicos integrados. Universidad Complutense de Madrid.
2. Arner G. A, Barberan O. R. La regeneración de los aceites usados. Análisis del mercado y de las políticas de fomento. V Encuentro de Economía aplicada. Universidad de Zaragoza. Oviedo, 6, 7 y 8 de junio de 2002.
3. Arranz F, Limpieza de aceites: La solución centrifuga. División de separación Industrial. Laval, S.A Numero 134 Mayo, 2000.  
<http://www.puntex.es/mantenimiento/sumario134.htm>.
4. Artículo aceite multigrado. [www.acitemultigrado.mht](http://www.acitemultigrado.mht).
5. Artículo bombas de paleta. [www.onlinereviewguide.com](http://www.onlinereviewguide.com)
6. Artículo bombas hidráulicas. [www.kompasspaint.com](http://www.kompasspaint.com)
7. Artículo capacidad fotoprotectora de la zeolita: estudio preliminar.  
[www.bus.sld.cu/revistas](http://www.bus.sld.cu/revistas)
8. Artículo catalizador funcionales metal zeolita.  
[www.catalice.dek.ufscar.br/ortura.htm](http://www.catalice.dek.ufscar.br/ortura.htm).
9. Articulo la zeolita. [www.omega.ilce.edu.mx](http://www.omega.ilce.edu.mx).
10. Artículo piedras pómez de soba10. [www.maxpoyes.com](http://www.maxpoyes.com)
11. Artículo ¿Qué es una zeolita?. Universidad nacional de Colombia, facultad de ciencias, departamento de química.  
[www.conevyurg.mx/ina/biblioteca/varion.com](http://www.conevyurg.mx/ina/biblioteca/varion.com)
12. Artículo zeolita. materiales especiales [www.fisicaweb.com](http://www.fisicaweb.com)
13. Benlloch Maria, José, Lubricantes y Lubricación aplicada. Primera Parte. Edición Revolucionaria. 1986.
14. Benlloch Maria, José, Lubricantes y Lubricación aplicada. Segunda Parte. Edición Revolucionaria. 1986
15. Bombas de engranaje de automoción.  
[www.iaf.es/enciclopedia/hidraulica\\_fher/index.htm](http://www.iaf.es/enciclopedia/hidraulica_fher/index.htm)



16. Bombas hidráulicas de engranaje.  
[www.iaf.es/enciclopedia/moreno\\_maquinaria/index.htm](http://www.iaf.es/enciclopedia/moreno_maquinaria/index.htm)
17. Catálogo bombas centrífugas. [www.aquapurificación.com](http://www.aquapurificación.com)
18. Catálogo bomba de paleta. [www.bombastorres.com](http://www.bombastorres.com)
19. Catálogo centrífugas. [www.index.php.com](http://www.index.php.com)
20. Catálogo centrifugas. [www.info@soloplasticos.com](http://www.info@soloplasticos.com)
21. Catálogo de precios valvoline. [www.javascript.com](http://www.javascript.com)
22. Carbonell L. O, Pérez T. C. Un modelo alternativo para estimar el costo de capital. D-CAPM en México,
23. Colectivo de autores. Tribología. Lubricación de elementos de máquinas. Capítulo 5
24. Colectivo de autores. Transformación de Los aceites usados para su utilización como energéticos en procesos de combustión. Escenarios y Estrategias. No 8. Diciembre de 2001.
25. Guía práctica de lubricación. Artículo XX. <http://www.surtidores.com.ar>, 2004
26. K.F.Pavlov , P.G.Romankov, A.A.Noskov Problemas y ejemplos para el curso de operaciones básicas y aparatos en tecnología química, 1981.
27. L. Landan, A. Juezes, E. Lifshitz Curso de física general. Tercera edición, 1984.
28. Montes M. C, Re-refinado de aceites usados. Trabajo de tratamiento de residuos. Escuela Universitaria de Ingeniería técnica industrial. Universidad de Vigo, 2003.
29. Ortega, I. Proceso Interline-Sener para la regeneración de aceites usados. SENER Grupo de Ingeniería. Área de Energía y Medio Ambiente, 2004.
30. Tabla de composición y factores del aceite. [www.datablad.vlvoline.mo/bis.htm](http://www.datablad.vlvoline.mo/bis.htm)
31. Wasserberg V. An alternative method for drying insulating liquids using a synthetic mineral. University of Hannover, Germany Institute of Electric Power Systems Division of High Voltage Engineering, Schering-Institute.


Anexo 1  
Resultados realizados en los laboratorios de lubricantes de la fabrica Che Guevara  
Moa-Cuba



EMPRESA COMANDANTE ERNESTO CHE GUEVARA  
REPORTE ANALITICO DEL LABORATORIO CENTRAL  
MUESTRAS ESPECIALES LC-6

Solicitado por: Ricardo  
Fecha Entrada: 21-03-00  
Fecha Salida: 24-03-04

Descripción de la muestra			
Muestra	Imp. Ho.	Pto. Def.	Vici. a 40°C
HL-1	0.035	130.0°C	(149.420502)

Jefe de Grupo 

Jefe de Laboratorio

Publicaciones CS

## Anexo 2

Resultados realizados en los laboratorios de lubricantes de la fabrica Che Guevara Moa-Cuba

EMPRESA COMANDANTE ERNESTO CHE GUEVARA  
 REPORTE ANALITICO DEL LABORATORIO CENTRAL  
 MUESTRAS ESPECIALES LC-6

Solicitado por: Libardo  
 Fecha Entrada: 3/06/09  
 Fecha Salida: 4/06/09

Descripción de la muestra			
Auditor	Uso a 40C	Mo Def	Dip. Havana
H-0	107.52 cSt @	142°C	0.03
H-1	105.72 cSt @	se muestra	0.02
H-2	98.62 cSt @	se muestra	0.006
H-3	103.49 cSt @	se muestra	0.02
H-4	92.00 cSt @	se muestra	0.014
Las muestras (H-1, H-2, H-3, H-4) cuando se calientan se precipitan, por tanto no se les puede determinar el grado de Inflamación.			

Jefes de Grupo: [Signature]      jefe de Laboratorio: Libardo  
 Exp. Lubricantes E.A.S. [Signature]

Publicaciones CIS

## Anexo 3

**BOMBAS DE PALETAS**

Las bombas hidráulicas de paletas (Figura 1), se utilizan a menudo en circuitos hidráulicos de diversas máquinas de movimiento de tierras. Son típicas en los sistemas hidráulicos de dirección de las máquinas.

Constan de varias partes:

Anillo excéntrico.

Rotor.

Paletas.

Tapas o placas de extremo.

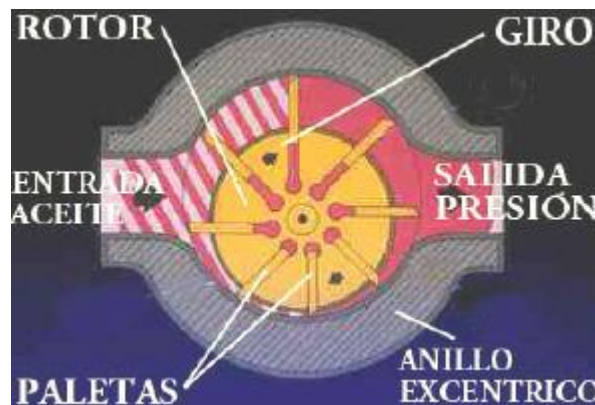


Fig. 1 Partes de una Bomba hidráulica de paletas  
“Bombas centrifugas”

El accionamiento se efectúa por medio de un eje estriado que engrana con el estriado interior del rotor. Hay diversos diseños para conseguir el contacto entre la paleta y el anillo; en unos se utiliza la propia fuerza centrífuga que les imprime el giro del rotor, en estos modelos se requiere una velocidad mínima de giro para garantizar el correcto apoyo de la paleta sobre el anillo; en otros modelos esta fuerza centrífuga se refuerza con unos muelles colocados entre la paleta y su alojamiento en el rotor, esto disminuye

la velocidad mínima necesaria para el apoyo; otros modelos utilizan una reducida presión hidráulica para empujar la paleta.

Las bombas de paletas son relativamente pequeñas en función de las potencias que desarrollan y su tolerancia al contaminante es bastante aceptable.

El aceite entra por el lado izquierdo donde es recogido por las paletas que se abren por la fuerza centrífuga y es impulsado hacia el lado de presión por las mismas hasta incorporarse a la salida de presión. Unas ranuras especiales en el rotor, conectan el lado de presión con la parte inferior de las paletas para ayudar a la fuerza centrífuga a impulsarlas hacia fuera.

En la Figura 2 se observa la conformación típica de una bomba de paletas real con la disposición de todos sus elementos formando un solo cuerpo.

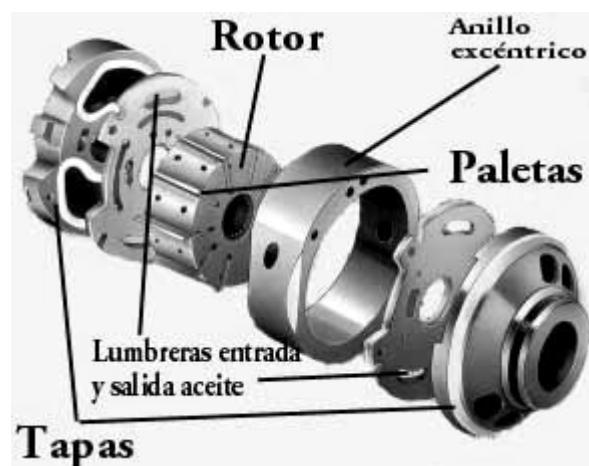


Fig. 2 Partes que componen la bomba de paletas  
“Bombas hidráulicas de automoción”

La aspiración se produce al incrementar el volumen de la cámara durante el giro.

Cuanto menores sean las tolerancias entre el extremo de la paleta y el anillo y entre éstas y las placas de presión, mejor será el rendimiento de la bomba.

Se ha de mantener una cierta tolerancia en las zonas de rozamiento, por ello es importante que la fuerza que la paleta ejerce sobre el anillo no sea excesiva ya que entonces se rompería la película de lubricante y se produciría contacto entre el extremo de la paleta y el anillo.

---

Las lumbreras de entrada y salida del aceite están situadas en los laterales del rotor y a su lado se observan las ranuras que dan presión al fondo de las paletas. Existen varios tipos de bombas de paletas.

## Anexo 4

# BOMBAS ROTATIVAS de PALETAS

## Serie: PO

### CARACTERÍSTICAS

Pequeñas bombas rotativas de paletas de desplazamiento positivo para altas presiones y caudales hasta 2.200 litros/hora. Auto aspirante hasta 3 metros.

Equipadas con motor trifásico estándar de 220/380 V. ó monofásico 220 V. a 1.450 r.p.m. Bajo demanda a 750 ó 950 r.p.m. ó con motor antideflagrante o antiexplosivo.

### EJECUCIÓN

Construidas en Acero Inoxidable 303 o bronce, con sello mecánico de grafito-carbón y cerámica con juntas en NBR, EPDM ó Vitón.

Pueden ir equipadas con válvula By-pass sobre demanda.

Bocas roscadas NPT hembra.

### APLICACIONES

Las bombas PO deben utilizarse en inyección de fuel, equipos médicos y quirúrgicos, ósmosis inversa, lubricación de cierres, sistemas de refrigeración, instrumentación de laboratorio, ultra filtración de agua, toma de muestras, equipos de proceso de la industria alimentaria, maquinaria dispensadora de bebida, trasvase de disolventes, probar tuberías a presión.

### RENDIMIENTOS con agua y motor a 1.450 r.p.m.

Presión en bars // Caudal en litros/hora

TIPO	C.V. trif.	C.V. Mon.	0	4	8	12	16	18	Ø" NPT
PO-211	0,33	0,50	240	230	220	210	195	---	3/8
PO-411	0,33	0,50	450	440	430	420	410	---	3/8"
PO-711	0,75	1	730	720	710	700	690	---	1/2"
PO-911	0,75	1	930	920	910	900	890	---	1/2"

### Disponemos de Equipos para pruebas Hidrostáticas Serie EPH

### CARACTERÍSTICAS

Equipos compuestos por bombas de paletas, membrana o a pistones de alta presión, con unos caudales relativamente pequeños, preparados para probar tuberías y recipientes a presiones elevadas.

### EJECUCIÓN

---

Sobre una carretilla para su cómodo traslado, se monta un grupo con motor monofásico o trifásico, con válvula de seguridad, válvula manual reguladora de presión, válvula de cierre para aislamiento del equipo a probar una vez obtenida la presión deseada, manómetro y un filtro.

Materiales de construcción: Fundición de bronce, aluminio, y pistones cerámicos.

Caudal máximo: 2.170 litros/hora

Presión máxima: 275 Bars

Máxima temperatura líquido: 60 ° C

Viscosidad máxima líquido: 45 cPs

---



“Catalogo de bomba de paletas



---

## Anexo 5

### Instalación Piloto



Partes de ensamblado de la instalación piloto de reprocesado de aceite colector, filtros



Colocación de la bomba de paleta para la instalación de reprocesado de aceite



zeolita de granulometría mayor a 1.6



Zeolita Con granulometría de 1.2



Molino de bola para la automatización de la zeolita de mayor a menor granulometría



Limpieza de la zeolita por medio de tamices y agua



Instalación piloto armada



Instalación piloto de aceite reprocesado con aceite virgen





Instalación piloto de reprocesado de aceite en funcionamiento



Bomba de paleta después de los recorridos del aceite usado



Bomba de paleta después de las corridas de aceite usado

## Anexo 6

Símbolo	Significado
Lu-1	Índice de viscosidad
Lu-2	Índice de viscosidad
Lu-3	Índice de viscosidad
MEK	Metil-etil-cetona
ASTM	Sociedad Americana de Ensayos de Materiales
$\Gamma$	Peso específico
$G$	Peso del aceite
$V$	Volumen del aceite
SAE	Sociedad de Ingenieros Automotrices de los Estados Unidos de Norte América
API	Instituto Americano del Petróleo
$\mu\text{g} / \text{L}$	Micra gramo sobre litro
Kcal*kg	Kilo calorías por kilogramos
PCI	Poder calorífico inferior
PCS	Poder calorífico superior
L	Litro
c/u	Cada uno
g	Gramos
mm	Milímetros
F	Fuerza de cizallamiento sobre la película de aceite
S	Superficie lubricada móvil
v	Velocidad relativa de la superficie móvil
h	Distancia entre las superficies
$\eta$	(eta) coeficiente de viscosidad
$\delta$	Delta
$\rho$	Rho
cSt	Centistoke
M-0	Muestra inicial
M-1	Muestra 1 en la corrida experimental

M-2	Muestra 2 en la corrida experimental
M-3	Muestra 3 en la corrida experimental
M-4	Muestra 4 en la corrida experimental
°C	Grados centígrados
V	Volumen
H	Altura del colector
d	Diámetro
h	Altura
$\pi$	Pi
$\rho$	Densidad
m	Metro
<i>tag</i>	Tangente
k	Constante de filtrado
C	Resistencia de la membrana del filtrado
$\tau$	Tiempo
$\Delta \tau 1$	Tiempo del filtrado con restricción en caída libre
$\Delta \tau 2$	Tiempo bombeado sin restricción con caída libre
$\Delta \tau$	Tiempo necesario para filtrar
Q	Caudal de salida
hp	Caballos de fuerza
\$	Dólar
KW/h	Kilo watt hora
Ce	Costo de energía
Pi	Potencia instalada
VAN	Valor actual neto
Co	Desembolso inicial de la inversión
Cn	Flujo de fondo
K	Tasa de interés
TIR	Tasa interna de recuperación
R	Tiempo de recuperación