

T  
621.89  
RODAS.



**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL**

Facultad de Ingeniería Mecánica

**"ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO DE LOS  
ACEITES LUBRICANTES USADOS"**

**TESIS DE GRADO**

Previa a la obtención del Título de:

**INGENIERO MECANICO**

Presentada por:

**LUIS FERNANDO RODRIGUEZ LEON**

Guayaquil - Ecuador

1996

## AGRADECIMIENTO

**Al Dr. FRANCISCO ROMAY**

Director de Tesis, por su ayuda y  
colaboración para la realización  
de este trabajo



## DEDICATORIA

A mi esposa e hija

A mis padres

A mis hermanos

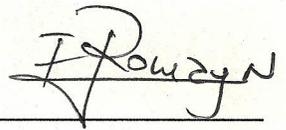
A mis amigos





**Dr. Alfredo Barriga**

**Decano de la F.I.M.**



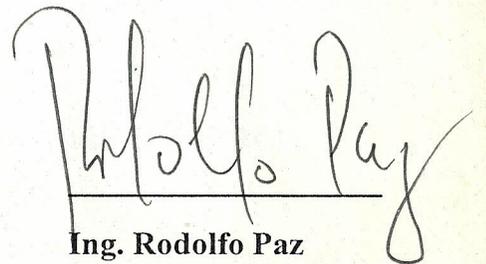
**Dr. Francisco Romay**

**Director de Tesis**



**Ing. Mario Patiño**

**Miembro de Tribunal**



**Ing. Rodolfo Paz**

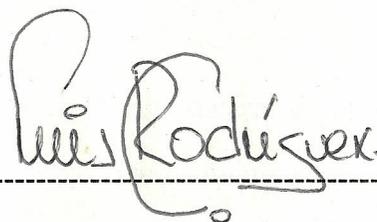
**Miembro de Tribunal**



## DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL"

(Reglamentos de Exámenes y Títulos profesionales de la ESPOL)

A handwritten signature in black ink, reading "Luis Rodríguez León". The signature is written in a cursive style with a large initial "L" and "R".

Luis Fernando Rodríguez León



## RESUMEN

La contaminación de la naturaleza, por medio de la eliminación de los lubricantes sin ningún control en el medio ambiente, es lo que me llevó a tratar de reducir en algo esta acción. Siendo los lubricantes un tema poco conocido en nuestro medio inclusive a nivel de profesionales técnicos, es que la problemática planteada la he enfocado desde temas muy generales para ir profundizando poco a poco y llegar al objetivo final de presentar alternativas para el aprovechamiento de los lubricantes luego de cumplida su vida útil.

Para esto realicé el primer capítulo destinado enteramente a la divulgación de lo que son los lubricantes y la manera de producirlos, con el fin de involucrar al lector en el conocimiento pleno de la materia a desarrollarse en capítulos posteriores.

En el segundo capítulo presento la dimensión verdadera de lo que son los aceites usados, luego de cumplida su vida útil, y revelo la situación actual del destino final de éstos, describiendo su impacto ambiental.

En el tercer capítulo propongo varias alternativas de aprovechamiento de los aceites usados, revisando cada una de ellas, para finalmente en el capítulo cuarto centrarme únicamente en lo que considero es la alternativa mas viable de aplicarse en nuestro medio como es el aprovechamiento del aceite usado mezclándolo con fuel oil # 6 para su uso como combustible.

## INDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	6
INDICE GENERAL.....	7
<del>0</del> INTRODUCCION.....	9
<del>1</del> I. FUNDAMENTOS TEORICOS DE LOS LUBRICANTES.....	11
1.1. Origen.....	11
1.2. Proceso de elaboración.....	17
1.3. Funciones.....	26
1.4. Tipos.....	28
1.5. Aplicaciones.....	29
II. LOS LUBRICANTES USADOS.....	32
2.1. Características.....	32
2.2. Estimación de los volúmenes generados en Ecuador.....	33
2.3. Identificación de los lugares donde se concentran en Ecuador.....	34
2.4. Destino final en la actualidad.....	35
2.5. Impacto ambiental.....	37
III. ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO DE LOS ACEITES LUBRICANTES USADOS.....	41
3.1. Diagrama de prioridades.....	41
3.2. Reciclaje del hidrocarburo: reprocesando el aceite usado.....	42
3.3. Reciclaje del hidrocarburo: re-refinando el aceite usado.....	45
3.4. Reciclaje del valor energético a altas temperaturas.....	49
3.5. Incineración.....	51
3.6. Mezcla con fuel oil # 6- Introducción.....	52
IV. MEZCLA CON FUEL OIL # 6.....	54
4.1. Características del fuel oil # 6 comercializado en Ecuador.....	54
4.2. Consumo de fuel oil # 6 en Ecuador.....	56
4.3. Recomendaciones para la mezcla.....	61
4.4. Características de diferentes mezclas fuel oil # 6-aceite usado.....	62
4.5. Emisiones gaseosas.....	66
4.6. Análisis económico.....	75

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... 81

BIBLIOGRAFIA..... 83



X



## INTRODUCCION

Actualmente en el país existen tres plantas de procesamiento de lubricantes, llamadas así porque en el Ecuador se importan los aceites básicos y los aditivos, que luego de mezclarse a temperaturas comprendidas entre 80 y 100 grados centígrados se obtiene el lubricante final.

Cada una de estas plantas tiene su propia marca de lubricantes en el mercado. Adicionalmente estas plantas prestan sus servicios a marcas que importando sus propios aceites básicos y aditivos, alquilan los servicios de procesamiento de estas plantas para producir sus propios productos. A estos dos grupos de compañías se suman, aunque en menor porcentaje, compañías que importan los lubricantes terminados. Según estimados de la compañía Shell Ecuador S.A., se venden en Ecuador un total de 15'000.000 galones de lubricantes por año.

Todos estos lubricantes tienen diferentes características y aplicaciones, y dependiendo de estas, se determina el tiempo de vida útil del lubricante. Unos tienen una vida útil mas larga que otros pero en determinado momento todos tienen que ser sustituidos. Aquí surge una pregunta fácil de responder, pero cuya respuesta merece una profunda reflexión. La pregunta es: ¿dónde van a parar los lubricantes después de haber cumplido su vida útil?. La respuesta en la actualidad, en nuestro país, es una sola: en el medio ambiente, en las carreteras, en las alcantarillas etc., contaminando. Cabe destacar que este problema no esta presente solamente en nuestro país, sino que es un problema a nivel mundial, pero que principalmente afecta a los países en desarrollo por tener escasos recursos destinados a la protección del medio ambiente, y además por la falta de conciencia colectiva para pagar un costo adicional agregado al

producto, y así financiar todo un proceso de recolección de lubricantes usados, lo cual reduciría su impacto ambiental.

Es por esto que el presente trabajo se ha planteado, con el fin de cumplir con el siguiente objetivo: difundir la manera de aprovechar los lubricantes usados, para reducir su impacto ambiental al ser desechados en forma directa.



## I. FUNDAMENTOS TEORICOS DE LOS LUBRICANTES

### 1.1. Origen

Los aceites base son derivados obtenidos de la refinación del petróleo crudo, luego esta base es mezclada con aditivos especiales, para obtener el lubricante final. Aproximadamente la proporción de mezcla es de 90% aceite base y 10% aditivos. Dependiendo del tipo de lubricante esta proporción puede variar.

#### 1.1.1. Aceites Base

Considerando que un gran porcentaje del lubricante final esta formado por el aceite base derivado del petróleo crudo, las características del crudo son determinantes en las propiedades del lubricante.

Todos los crudos son mezclas complejas de compuestos químicos, principalmente hidrocarburos (compuestos químicos formados de átomos de carbono e hidrógeno). La manera como se agrupan estos átomos determina el tipo de hidrocarburo del cual esta constituido el petróleo , y esto varía dependiendo del lugar de donde se obtuvo el hidrocarburo. Hay que destacar que en un mismo crudo pueden existir varios tipos de hidrocarburos pero siempre uno de ellos será el predominante. Existen básicamente tres tipos de hidrocarburos:

- Parafínicos: estos compuestos están formados de cadenas rectas o ramificadas de átomos de carbono, que son muy estables al calor y a la oxidación. También tienen un

alto índice de viscosidad, (tienden a mantener estable la viscosidad ante las variaciones de temperatura), pero tienen malas características de fluidez a bajas temperaturas.

- Nafténicos: estos compuestos tienen moléculas cuyos átomos de carbono están arreglados en forma de anillos. Son menos estables al calor y a la oxidación que los parafínicos, y su viscosidad es más sensible con los cambios de temperatura, (bajo índice de viscosidad), sin embargo tienen buena fluidez a bajas temperaturas. Además son buenos lubricantes de frontera, es decir que son capaces de lubricar superficies que están en contacto bajo cargas pesadas.

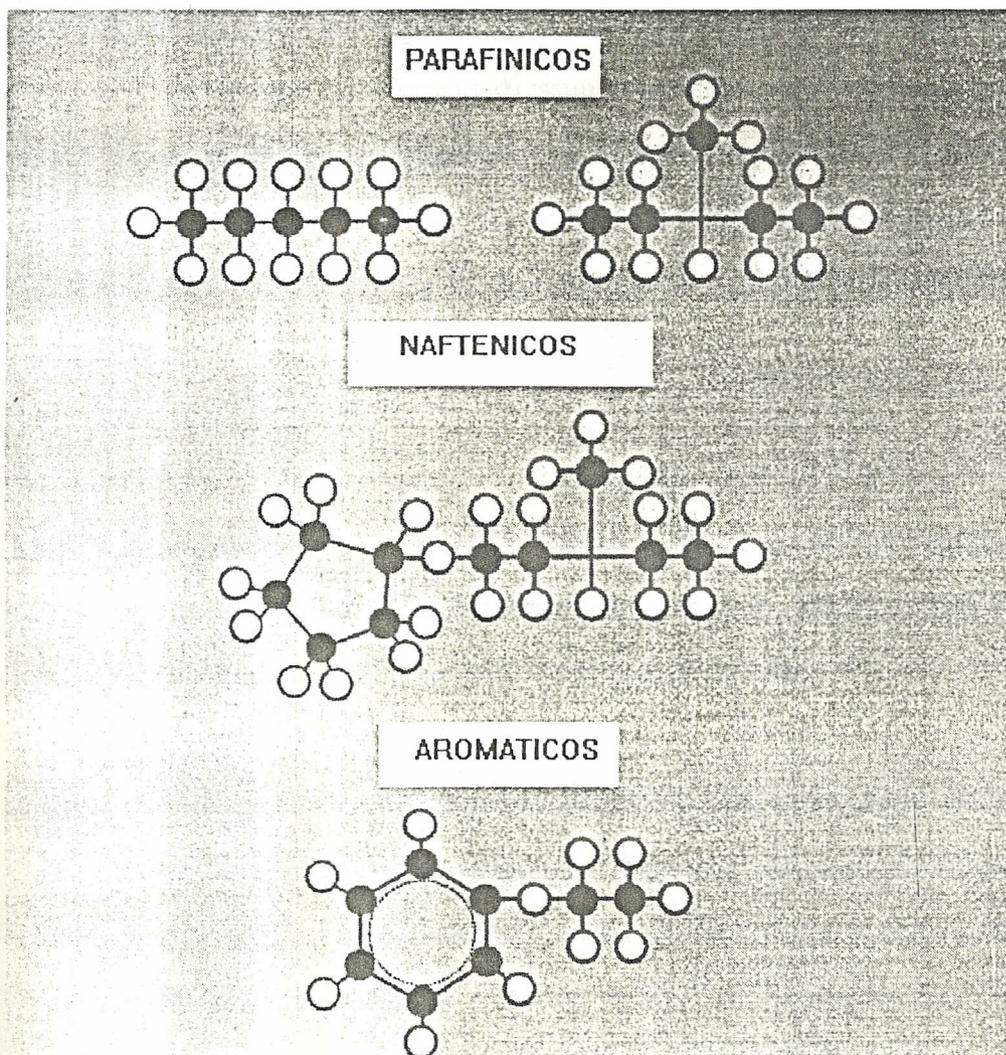
- Aromáticos: al igual que los nafténicos, los aromáticos contienen átomos de carbono arreglados en forma de anillos, sin embargo tienen una baja proporción de átomos de hidrógeno. Estos compuestos tienen todas las características negativas que tienen los hidrocarburos parafínicos y nafténicos, es decir tienen malas características de fluidez a bajas temperaturas y no son tan estables al calor y a la oxidación.

Además de su contenido de hidrocarburos, los aceites base tienen pequeñas cantidades de elementos como oxígeno, nitrógeno y azufre. Muchos de estos compuestos no son estables al calor y a la oxidación, por lo cual pueden promover la formación de barnices y lacas, así como otros depósitos.

La selección de un aceite base depende de las características del lubricante final que se desee. Por ejemplo, cuando se requiera de un lubricante de alto índice de viscosidad, es decir que su viscosidad no varíe considerablemente con los cambios de temperatura, un aceite base de altas proporciones de moléculas parafínicas podría

FIGURA 1.1.1.

CADENAS DE ATOMOS DE CARBONO E HIDROGENO QUE CONFORMAN  
LOS DIFERENTES TIPOS DE HIDROCARBUROS



pensarse que es la mejor opción, pero sin embargo esta base daría al lubricante malas características de fluidez a bajas temperaturas, por lo cual no sería adecuado para aplicaciones en climas fríos. Por otro lado una base que contenga altas proporciones de moléculas nafténicas daría buenas características de fluidez a bajas temperaturas pero tendría un bajo índice de viscosidad. En estos casos donde ambas características (fluidez y alto índice de viscosidad) sean requeridas, será necesario balancear el contenido de moléculas parafínicas y nafténicas cuidadosamente para obtener la óptima solución. Los métodos de refinación y mezclado de las diferentes bases serán escogidos para dar las características óptimas en aplicaciones particulares de los lubricantes.

### **1.1.2. Aditivos**

Existen muchos tipos de aditivos, los cuales dan al lubricante diferentes características. La combinación de aditivos depende de la aplicación que el lubricante tendrá. Es conveniente dividir los aditivos en tres categorías:

- Aditivos que modifican el comportamiento del lubricante. Aquí se incluyen los mejoradores del índice de viscosidad y los depresores del punto de fluidez.
- Aditivos que protegen el lubricante. Aquí se incluyen los anti-oxidantes y los agentes anti-espumantes.
- Aditivos que protegen la superficie lubricada. Aquí se incluyen los inhibidores de corrosión, inhibidores de herrumbre, detergentes, dispersantes y aditivos anti-desgaste.

#### **- Mejoradores del índice de viscosidad**

Son añadidos a los aceites base para reducir la variación de la viscosidad al producirse cambios de temperatura. Estos son de mucha utilidad cuando un lubricante tiene que trabajar satisfactoriamente en un amplio rango de temperaturas. Por ejemplo, los lubricantes de motores usados en climas fríos, deben ser lo suficientemente livianos para permitir al motor arrancar fácilmente, y suficientemente espesos para lubricar eficientemente a las altas temperaturas generadas en una máquina. Todos los lubricantes multigrados son tratados con los aditivos mejoradores del índice de viscosidad.

#### **- Depresores del punto de fluidez**

Son usados para minimizar la tendencia de un lubricante a congelarse y solidificarse cuando es sometido a climas fríos. Son aditivos necesarios en todos los lubricantes usados en máquinas que operan a bajas temperaturas.

#### **- Anti-oxidantes**

Evitan la oxidación de los lubricantes, especialmente en aquellos que trabajan a temperaturas altas. Cuando un lubricante es expuesto al oxígeno del aire, reacciona formando ácidos orgánicos, lacas pegajosas y lodos. Los ácidos pueden causar corrosión, las lacas pueden causar que las superficies en movimiento se adhieran unas a otras, y los lodos espesan el aceite y pueden tapar líneas, filtros y otros componentes del sistema de lubricación. La oxidación se presenta dependiendo de la cantidad de oxígeno que entra en contacto con el lubricante, y esto ocurre generalmente a altas temperaturas cuando se acelera el movimiento de las moléculas del lubricante. La oxidación es también promovida por la humedad y contaminantes que podrían estar

presentes en el lubricante como: suciedad, partículas metálicas, herrumbre y otros productos de la corrosión.

#### **- Agentes anti-espumantes**

Previenen la formación de espuma en un lubricante. Los lubricantes altamente refinados generalmente no producen espuma, sin embargo la espuma se puede desarrollar con la presencia de ciertos contaminantes en maquinarias que están en constante agitación. La espuma incrementa la exposición del lubricante al aire, promoviendo la oxidación, pero una consecuencia más grave es la reducción de la eficiencia de lubricación, debido a que una película de espuma es mucho menos efectiva que una película continua de lubricante.

#### **- Inhibidores de corrosión**

Restringen los cambios químicos en las superficies lubricadas, que pueden ser causados por algunos contaminantes. La causa más común de corrosión son los ácidos, estos pueden ser desarrollados por la oxidación del lubricante o, en motores de combustión interna, durante la combustión. Los inhibidores de corrosión son generalmente compuestos básicos solubles en el aceite, que reaccionan químicamente contra los ácidos neutralizándolos.

#### **- Inhibidores de herrumbre**

Son inhibidores de corrosión especialmente diseñados para contrarrestar la acción del agua en los metales ferrosos. Generalmente son usados en lubricantes de turbinas e hidráulicos, debido a que estos tipos de lubricantes por lo común se contaminan con agua.



### - Detergentes

Son frecuentemente usados en lubricantes de motores. Reducen los depósitos de carbón y las lacas, previenen el pegamiento de los anillos de los pistones y proveen una reserva alcalina al lubricante para neutralizar la formación de ácidos provenientes del proceso de la combustión.

### - Dispersantes

Son añadidos a los lubricantes para mantener en suspensión los contaminantes y así evitar que se formen depósitos

### - Agentes anti-desgaste

Son necesarios cuando la lubricación hidrodinámica no puede ser mantenida y las superficies en movimiento entran en contacto metal con metal. Se los conoce como aditivos de extrema presión.

## 1.2. Proceso de elaboración

La gran mayoría de lubricantes son elaborados con aceites minerales, que son aceites obtenidos del petróleo crudo. Los primeros lubricantes, consistían en las fracciones de viscosidad apropiada obtenida durante la destilación del petróleo. Hoy en día la producción de lubricantes es un proceso mucho más complicado. Este proceso envuelve muchas etapas de refinamiento y mezcla en la producción de los aceites bases, pero estas bases por si solas no cumplen con todas las funciones requeridas de un lubricante, por lo que hay que añadir aditivos para producir un lubricante final. Los aditivos mejoran las propiedades del aceite base y en algunos casos imparten una característica totalmente nueva.

La primera etapa del proceso de refinación es la destilación atmosférica, mediante la cual el crudo es calentado en un horno aproximadamente a 400 °C. Con este calentamiento se produce una mezcla de gases y líquidos. En este estado el crudo es introducido en una gran columna de fraccionamiento, desde la cual, por la parte mas alta y de algunos chorros laterales, se extraen las fracciones que corresponden a los combustibles: gasolina, kerosene y diesel. Del fondo de la columna se extraen los remanentes del crudo no destilados. Estos remanentes constituyen la materia prima para la producción de los lubricantes al ser sometidos a una segunda destilación, esta vez al vacío, y cortada en más fracciones.

Las fracciones mas volátiles se pueden utilizar como combustibles, el residuo es usado para la producción de aceites pesados y asfaltos, mientras las fracciones intermedias se usan para obtener los aceites base para la producción de los lubricantes, las mismas que deben ser sometidas a nuevos procesos de refinación, para la eliminacion de elementos asfálticos, hidrocarburos aromáticos y parafinas sólidas.

De las fracciones intermedias las menos volátiles, llamadas aceites de residuo corto, contienen una gran cantidad de oxígeno, nitrógeno y azufre, que son los elementos que constituyen los asfaltos, y son eliminados añadiendo propano al aceite, el cual se mezcla y disuelve la mayoría de estos compuestos.

Los aceites de residuo corto de los cuales ya se ha eliminado los compuestos asfálticos, junto con las otras fracciones intermedias son tratadas con solventes, para eliminar los hidrocarburos aromáticos. En este proceso que se denomina extracción por solventes, se añade un solvente a la mezcla, el cual disuelve la mayoría de los hidrocarburos aromáticos, quedando los parafínicos y nafténicos, los cuales pueden

FIGURA 1.2.1.

PROCESO DE ELABORACION DE ACEITES BASE: DESTILACION ATMOSFERICA

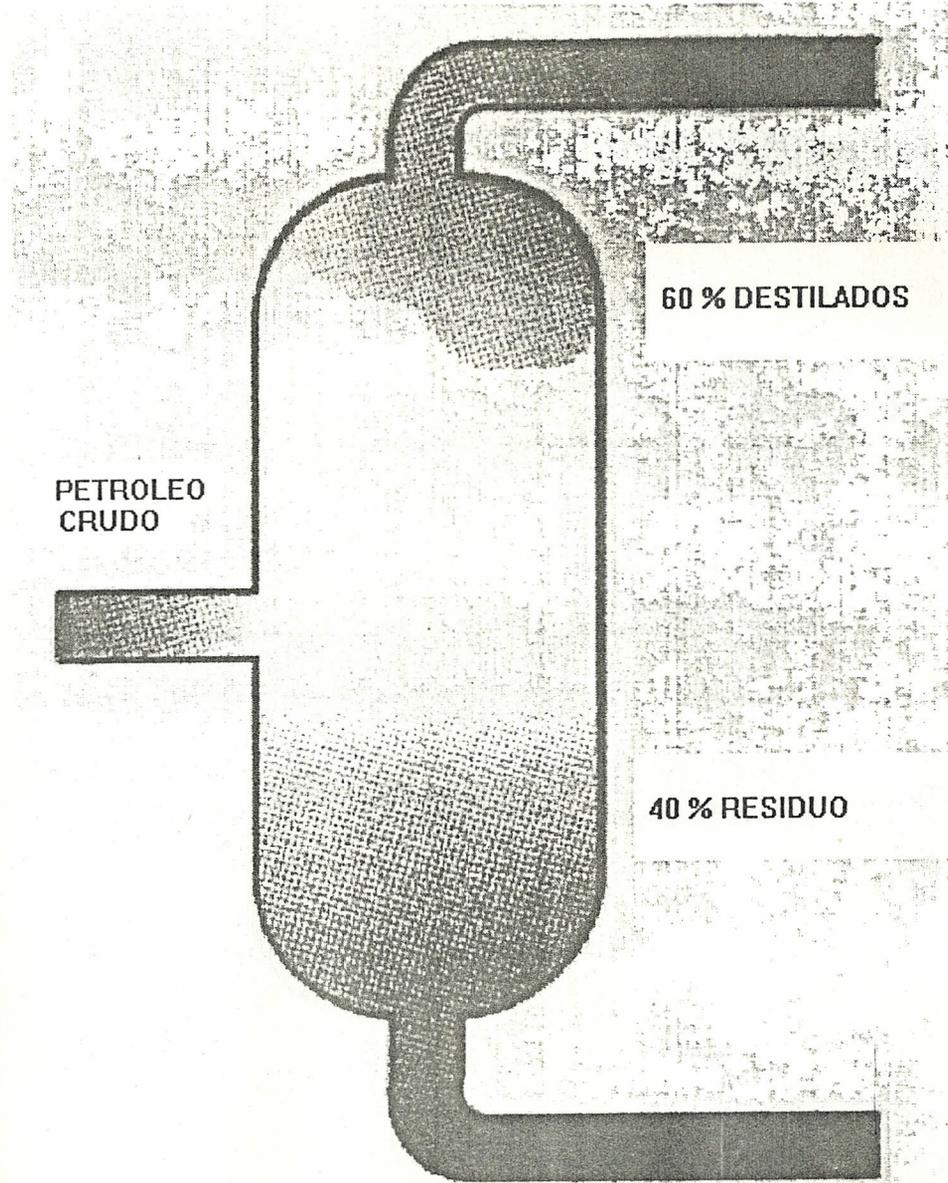


FIGURA 1.2.2.

PROCESO DE ELABORACION DE ACEITES BASE: DESTILACION AL VACIO

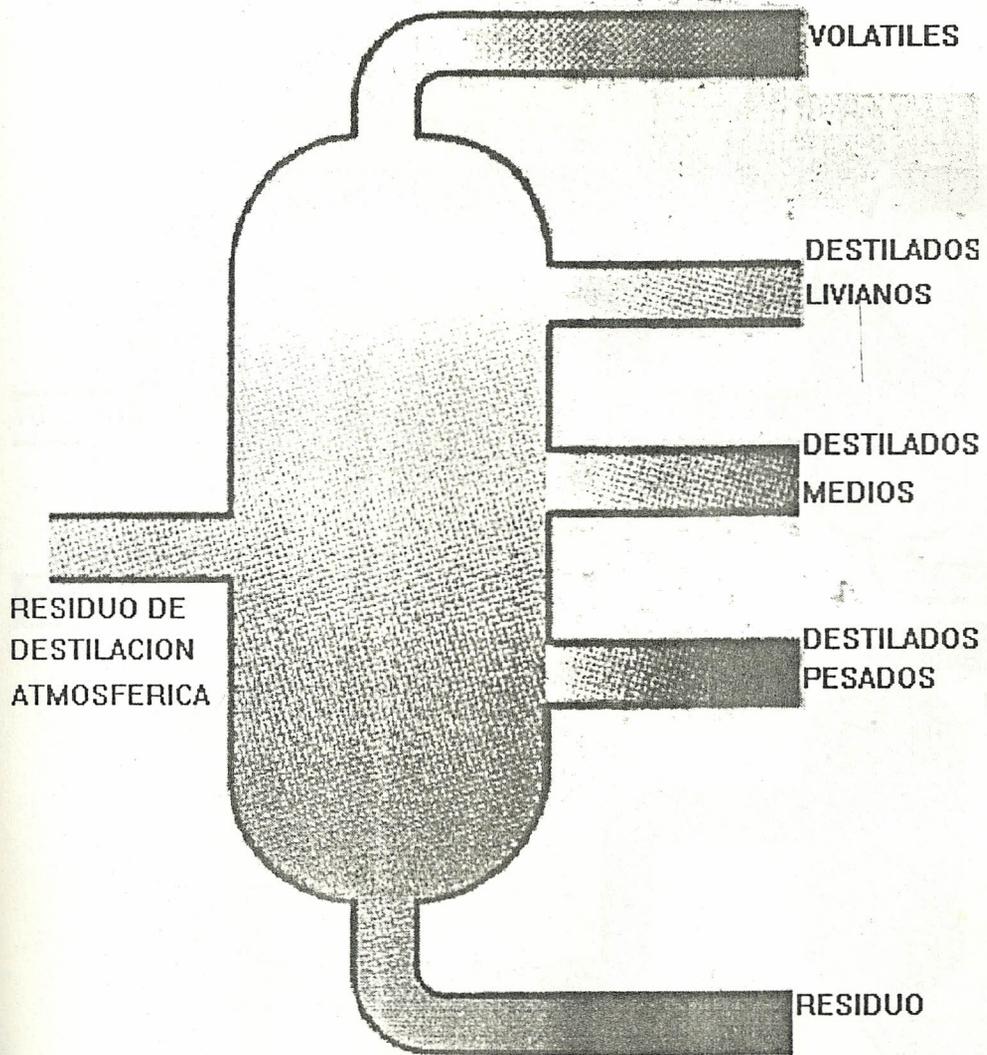


FIGURA 1.2.3.

PROCESO DE ELABORACION DE ACEITES BASE: DESASFALTIZACION

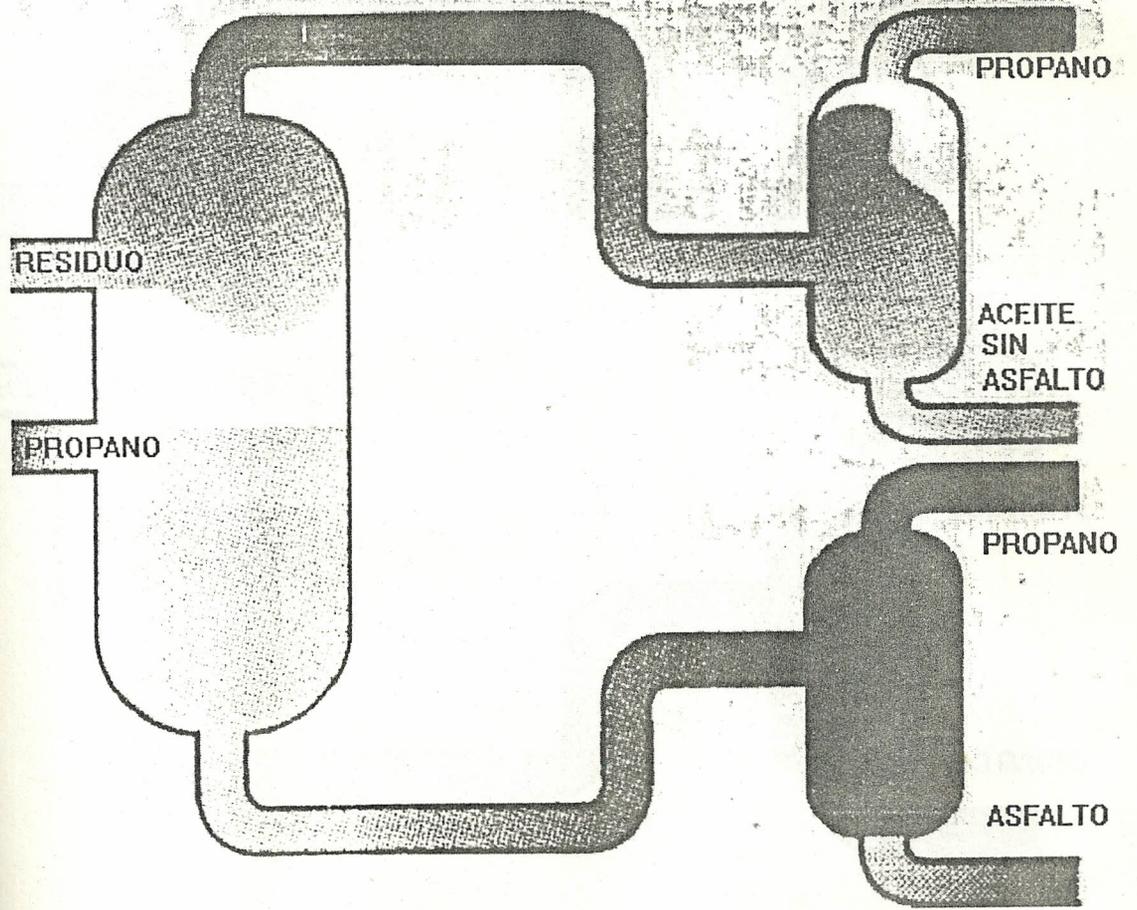


FIGURA 1.2.4.

PROCESO DE ELABORACION DE ACEITES BASE: EXTRACCION POR SOLVENTES.

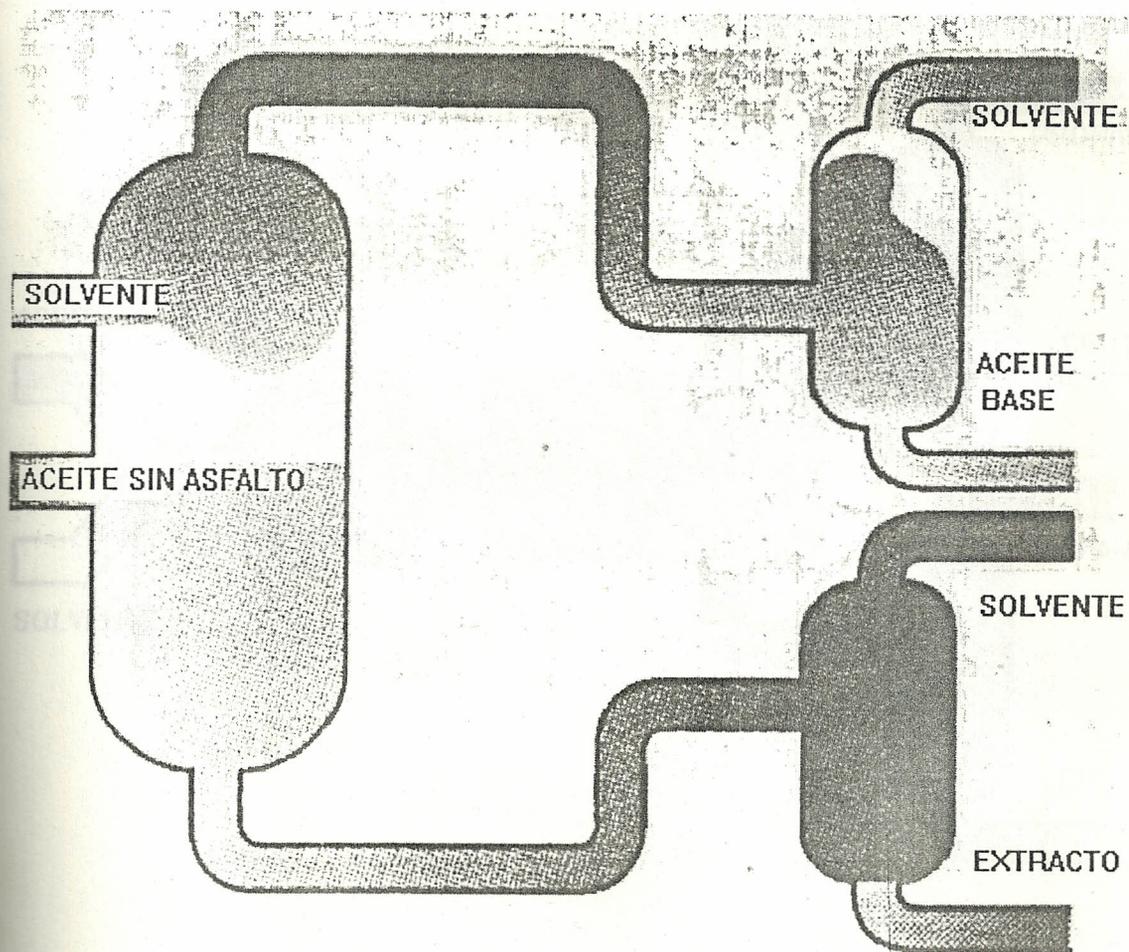


FIGURA 1.2.5.

PROCESO DE ELABORACION DE ACEITES BASE: SEPARACION DE CERAS.

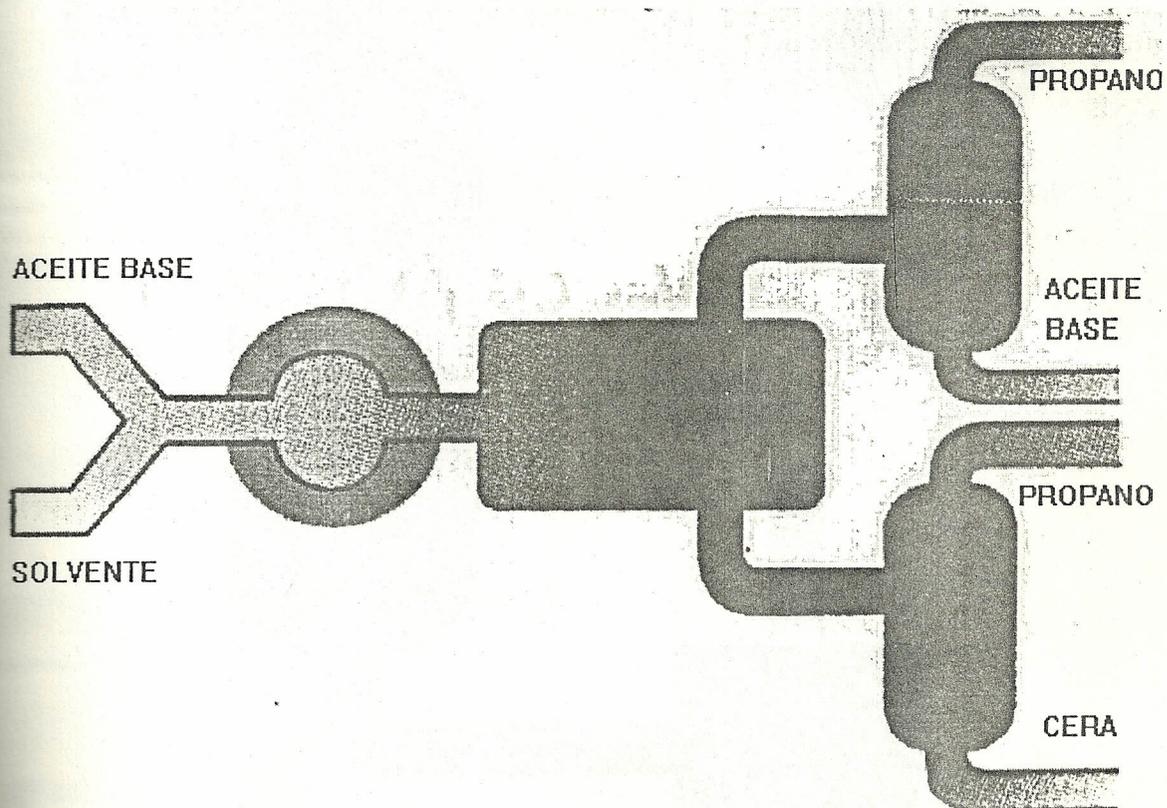
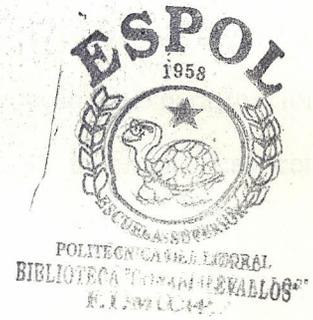
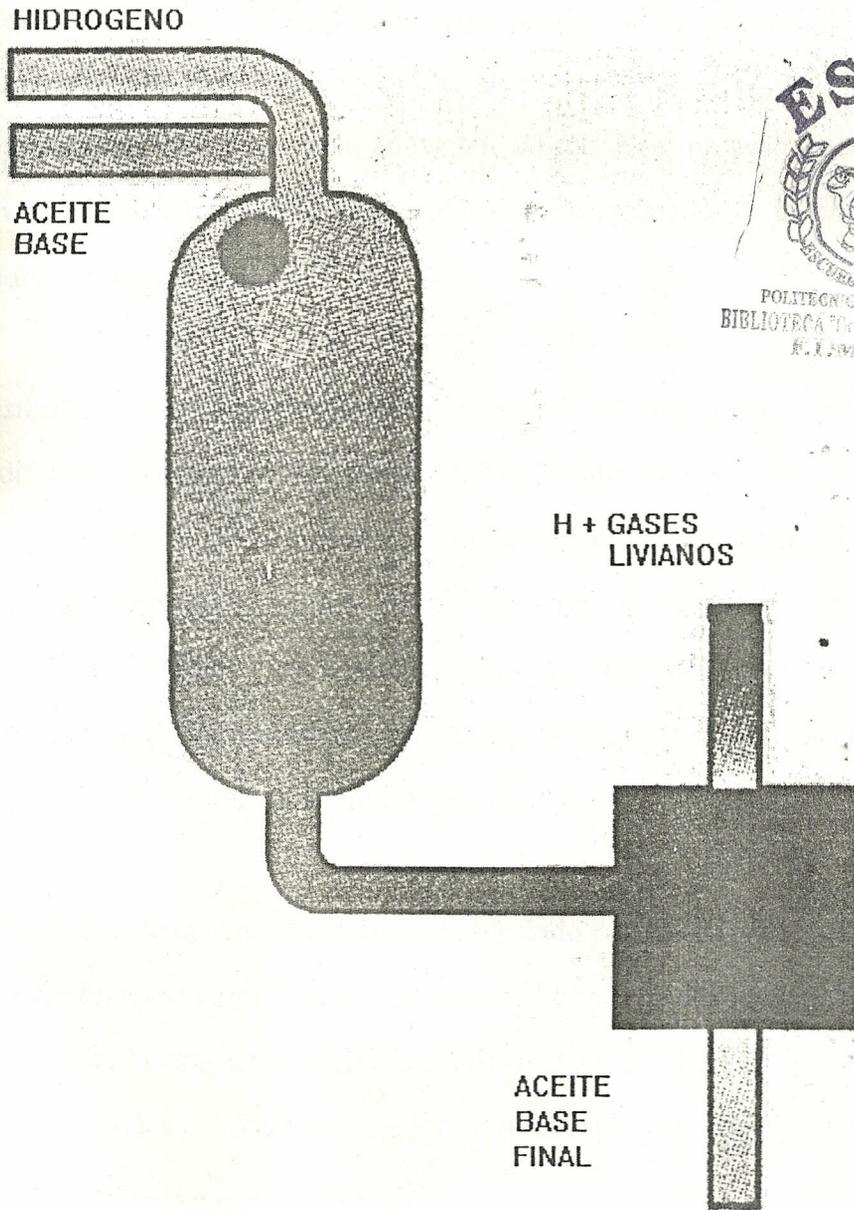


FIGURA 1.2.6.

PROCESO DE ELABORACION DE ACEITES BASE: HIDROACABADO.



ser separados unos de otros. Los productos de esta etapa se los conoce como refinados.

La siguiente etapa es la separación de ceras (dewaxing). En este proceso las parafinas de alto punto de fusión son removidas para mejorar las propiedades de fluidez a bajas temperaturas. En la técnica convencional de este proceso (desparafinación por solventes), se añade un solvente a la mezcla y luego se la enfría. Las ceras se solidifican y son separadas.

Existe otra técnica (desparafinación catalítica), que alcanza el mismo objetivo, pero de diferente manera. En este proceso la estructura molecular de las parafinas de alto punto de fusión es alterada mediante un tratamiento con hidrógeno en presencia de un catalizador. En ciertos tipos de aceites base, se requiere que el contenido de aromáticos y asfaltos sea reducido aún mas, Esto se logra mediante el proceso conocido como hidroacabado, en el cual el aceite es tratado bajo presión con hidrógeno en la presencia de un catalizador.

El aceite base esta listo ahora para ser mezclado con otras bases y aditivos, según sean las características requeridas del lubricante. La mezcla del aceite base con los aditivos se la realiza a una temperatura específica, para que las moléculas de la base y el aditivo se enlacen definitivamente y no ocurra separación después de que el lubricante final este almacenado en reposo.

### 1.3. Funciones

Los lubricantes no estan elaborados unicamente para lubricar, en muchos casos ellos llevan a cabo otras funciones como enfriar, proteger, limpiar, sellar, transmitir potencia y hasata aislar.

#### 1.3.1. Lubricación

La función principal de un lubricante es proveer una película de aceite para separar dos superficies y simplemente hacer mas fácil para una superficie deslizarse sobre la otra. Esto reduce la fricción y el desgaste, además que ahorra energía. Sin embargo, aún los mejores lubricantes no pueden eliminar totalmente la fricción. Se calcula que en los motores de automóviles modernos, el 20 % de la energía generada, se pierde por efecto de la fricción.

#### 1.3.2. Refrigerante

Cualquier material que reduzca la fricción actuará como un refrigerante, simplemente porque reduce la cantidad de calor generado cuando dos superficies entran en rozamiento. Además, algunas máquinas correctamente lubricadas generan cantidades considerables de calor, teniendo este que ser transferido de las áreas calientes a las areas frías, tal es el caso de los motores de combustión interna donde el lubricante transfiere el calor generado en el área de los cilindros hacia el cárter.

#### 1.3.3. Protección contra la corrosión

Una lubricación efectiva es la que minimiza el desgaste mecánico, reduciendo el contacto entre las superficies en movimiento. Sin embargo, desgaste químico puede ocurrir. Idealmente un lubricante debe proteger cualquier daño causado por el agua, ácidos u otros agentes dañinos que pueden contaminar el sistema.

Los lubricantes protegen contra la corrosión recubriendo las superficies, produciendo de esta manera una barrera física contra el ataque corrosivo. Además, muchos lubricantes son formulados con inhibidores, los cuales neutralizan los agentes corrosivos.

#### **1.3.4. Mantienen limpio el sistema de lubricación**

La eficiencia de una máquina se reduce si su lubricante se contamina con polvo, productos del desgaste y corrosión. Estas partículas sólidas pueden incrementar el desgaste, promover más corrosión y bloquear las líneas del sistema de lubricación. Los lubricantes mantienen limpias internamente a las máquinas y las ayudan a operar más eficientemente mediante la acción de los agentes detergentes y dispersantes, los cuales remueven y mantienen en suspensión las partículas sólidas para ser eliminadas con los drenajes periódicos de lubricante.

#### **1.3.5. Actúan como sellos**

Los lubricantes usados en los motores de combustión interna deben proveer un afectivo sellamiento entre los anillos del pistón y las paredes de los cilindros. La acción de sellamiento de los lubricantes también es importante en algunos compresores y bombas.

#### **1.3.6. Transmiten potencia**

Los aceites hidráulicos son usados para la transmisión y control de potencia así como también para la lubricación de las superficies en contacto de un sistema hidráulico.

#### **1.3.7. Aislante**

Aceites aislantes son usados en transformadores eléctricos.



POLITECNICA DEL LITORAL  
BIBLIOTECA "GONZALO ZEMALLOS"  
E.I.M.C.P.

#### **1.4. Tipos**

Existen basicamente cuatro tipos de materiales capaces de cumplir con las funciones de un lubricante, unos en mayor grado que otros.

##### **1.4.1. Líquidos**

Muchos tipos de líquidos pueden ser usados como lubricantes pero los más comunes son los basados en aceites minerales, derivados del petróleo crudo. Otros aceites usados en menor escala como lubricantes son los aceites naturales (aceite animal, vegetal) y los aceites sintéticos.

Los aceites naturales pueden ser excelentes lubricantes, pero tienden a romper su estructura molecular más rápidamente que los aceites derivados del petróleo. En la actualidad a habido un gran interés en desarrollar aplicaciones de los aceites vegetales como lubricantes, debido a que son rápidamente biodegradables y en general menos nocivos para la naturaleza que los aceites minerales.

Los aceites sintéticos son elaborados bajo ciertos procesos químicos, los cuales resultan muy caros. Estos lubricantes son principalmente usados cuando una propiedad particular de éstos sea indispensable. Tal es el caso de la resistencia a las extremas temperaturas requeridas en los aceites de los motores de aviación.

##### **1.4.2. Grasas**

Son lubricantes semi-sólidos, elaborados a partir de un aceite espesado en un jabón o arcilla. Las grasas protegen las superficies de contaminantes externos, sin embargo no fluyen ni son buenos refrigerantes como los aceites.

### **1.4.3. Sólidos**

Los principales materiales usados como lubricantes sólidos son: grafito, bisulfuro de molibdeno y teflón. Estos son menos usados que los aceites y grasas pero son invaluable para aplicaciones especiales donde ningún otro elemento es tolerado. Por ejemplo, los apoyos del módulo lunar Apolo, fueron lubricados con bisulfuro de molibdeno.

### **1.4.4. Gases**

Aire y otros gases, son usados como lubricantes, pero sólo para propósitos especiales. Por ejemplo los rodamientos de los taladros de alta velocidad usados por los dentistas son lubricados por aire a presión.

## **1.5. Aplicaciones**

Existen un número extenso y variado de aplicaciones de los lubricantes pero las más comunes son:

### **1.5.1. Motores de combustión interna**

Los aceites para motores de combustión interna están elaborados para lubricar, enfriar, proteger contra la corrosión, mantener limpio el sistema de lubricación y sellar los anillos de los pistones, durante el amplio rango de temperaturas y presiones de operación.

Los aceites multigrados son formulados con aditivos mejoradores del índice de viscosidad para evitar que baje la viscosidad del aceite a las altas temperaturas de operación, con aditivos depresores del punto de fluidez para facilitar el arranque en climas fríos, aditivos anti-oxidantes para prevenir la oxidación y la formación de

lodos, agentes anti-espumantes para prevenir la formación de espuma cuando el aceite recircula en el sistema, inhibidores de corrosión para neutralizar los ácidos formados durante la combustión, inhibidores de herrumbre para proteger las superficies lubricadas, detergentes y dispersantes para controlar la formación de depósitos. Como se puede apreciar estos lubricantes son unos de los más completos, debido a las altas exigencias de los motores de hoy.

### **1.5.2. Sistemas hidráulicos**

Los aceites en sistemas hidráulicos son usados para lubricar y transmitir potencia. Deben ser lo suficientemente viscosos para lubricar las partes en movimiento, pero lo suficientemente finos para circular fácilmente por el sistema. Deben tener además buena resistencia a la formación de espuma y buenas propiedades para liberar el aire y así evitar la compresibilidad del aceite que afectaría su trabajo como fluido hidráulico. Otra propiedad indispensable es la demulsibilidad, es decir la capacidad de separarse del agua, que afectaría a las bombas, válvulas y rodamientos. Para prevenir la corrosión interna, llevan además aditivos anti-oxidantes e inhibidores de corrosión, junto con aditivos anti-desgaste.

### **1.5.3. Engranajes**

Los engranajes abiertos son generalmente lubricados con aceites. Para prevenir que los lubricantes sean expulsados fuera del engranaje debido a las altas revoluciones, se usan aceites viscosos con características adhesivas (aditivos asfálticos). Los engranajes cerrados, (cajas reductoras), son generalmente suspendidos por rodamientos, por lo que lubricantes para ambas aplicaciones son necesarios. A altas revoluciones, se requieren lubricantes de bajas viscosidades con agentes anti-

oxidantes y agentes anti-espumantes. Además los lubricantes de engranajes que soportan cargas pesadas requieren de aditivos de extrema presión.

#### **1.5.4. Rodamientos**

Las grasas tienen la ventaja de proveer un efectivo sellamiento contra contaminantes y pérdidas de lubricante, sin embargo aceites son una mejor opción para rodamientos que operan a altas velocidades y temperaturas elevadas.



## II. LOS LUBRICANTES USADOS

### 2.1. Características

Debido a su muy variada naturaleza, es prácticamente imposible caracterizar con precisión a los lubricantes usados. Sin embargo, estos tienen las siguientes características generales, según datos de la compañía Shell, mostrados en la tabla 2.1.

TABLA 2.1.	
CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS ACEITES USADOS	
Contenido de agua	0-35 %
Hidrocarburos halogenados	1) < 2 %
Cenizas (metales en forma de óxidos)	< 2 %
Contenido de metales peligrosos	2) muy variable
Punto de inflamación	> 200 F
Número de acidez	incierto, pero alto
Temperatura de ebullición	50-1400 C
Color	usualmente negro
Fuente: Departamento Técnico de Shell Ecuador	

#### 1) Hidrocarburos Halogenados

Los hidrocarburos conteniendo cualquiera de los elementos halógenos, principalmente el cloro, son potencialmente contaminantes. Este elemento está presente en el aceite usado por:

- Los aditivos de algunos lubricantes nuevos, como es el caso de los aceites de corte y de los aceites de máquinas a diesel utilizadas en la industria de trenes.
- Y de los aditivos de la gasolina a base de cloro y bromo que son necesarios para que se combinen con el plomo formando  $PbCl_2$  y  $PbBr_2$ , que son compuestos volátiles destinados a perderse con los gases de escape.

La preocupación no es el cloro en sí, sino la posible formación de policlorinatos bifenílicos y policlorinatos trifenílicos, los cuales pueden producir dioxinas altamente tóxicas debido a una combustión incompleta de la gasolina.

## 2) Contenido de metales peligrosos:

<b>Concentración estimada (ppm)</b>	
Arsenico	17
Bario	132
Cadmio	3
Cromo	28
Plomo	665
Zinc	580

## 2.2. Estimación de los volúmenes generados en Ecuador

La demanda mundial anual de lubricantes es de aproximadamente 40 millones de toneladas, de las cuales alrededor de la mitad se convierten en aceite usado. La cantidad de aceite usado generado varía dependiendo de la naturaleza de la aplicación del lubricante.

La generación de aceite usado en los lubricantes automotrices esta entre el 60-70 % del volumen vendido de aceite nuevo. En los lubricantes industriales se estima que la generación de aceite usado representa del 30-60 % del total vendido.

En nuestro país se comercializan aproximadamente 15'000.000 galones de lubricantes nuevos por año, según datos de la compañía Shell, de los cuales aproximadamente 9'000.000 galones son aceites automotrices y 6'000.000 galones son aceites industriales. Esto nos indica que se generan en el país aproximadamente 8'700.000 galones por año de aceite usado.

### **2.3 Identificación de los lugares donde se concentran en Ecuador**

En nuestro país podemos clasificar los lugares donde se concentran los aceites usados considerando los principales consumidores.

#### **2.3.1. Sector automotriz**

- Lubricadoras
- Talleres mecánicos
- Mecánicos informales

#### **2.3.2. Sector camaronero**

- Camaroneras de islas
- Camaroneras de continente

#### **2.3.3. Sector agrícola**

- Bananeras
- Plantaciones varias, donde se empleen sistemas de bombeo

#### **2.3.4. Sector Constructor**

- Constructoras de carreteras
- Constructoras de represas, embalses, tuneles, etc.

#### **2.3.5. Sector industrial**

- Refinerías
- Empresas eléctricas
- Industria en general

#### **2.4. Destino final en la actualidad.**

En la actualidad el destino final de los aceites usados no es un problema que afecta sólo a países en desarrollo como el nuestro, sino también a países tan desarrollados como los Estados Unidos, como lo demuestra un estudio realizado en 1989 por Temple, Barker and Sloane, Inc., para la Agencia de Protección Ambiental de los E.E.U.U. y cuyo resumen se muestra en la tabla 2.4.1. Según dicho estudio el volumen de aceite usado eliminado anualmente en el medio ambiente en los Estados Unidos es 20 veces mayor al volumen del crudo derramado por el tanquero Exxon Valdez en las costas de Alaska en la década de los ochenta.

Para el Ecuador se realizó un estudio de los volúmenes generados de aceite usado siguiendo los mismos parámetros del estudio de Temple, Barker and Sloane, Inc y los resultados se muestran en la tabla 2.4.2.

TABLA 2.4.1.		
DESTINO DE LOS ACEITES USADOS EN LOS E.E.U.U. (1989)		
	Volumen ( 1'000.000 gal.)	
<b>Venta de lubricantes (1989)</b>	2500	
<b>Aceite usado generado</b>		
Automotriz	850	
Industrial	500	
Total	1350	
<b>Aceite usado eliminado</b>		
Mezclado con combustible	784	
Reciclado	70	
Combustible no industrial	52	
Incinerado	13	
Medio ambiente	431	
Total	1350	
<b>Fuente: Temple, Barker and Sloane, Inc.</b>		



POLITECNICO DE DURANGO  
 BIBLIOTECA "FRANCISCO DE VIALLOS"  
 P. I. M. C. D. R.

TABLA 2.4.2.

DESTINO DE LOS ACEITES USADOS EN ECUADOR (1995)	
	Volumen
<b>Venta de lubricantes ( 1995 )</b>	15'000.000
<b>Aceite usado generado</b>	
Automotriz	6'300.000
Industrial	2'400.000
Total	8'700.000
<b>Aceite usado eliminado</b>	
Mezclado con combustible	No se encontraron registros
Reciclaje	0
Combustible no industrial	No se encontraron registros
Incinerado	40000
Medio ambiente	8'000.000

### 2.5. Impacto ambiental

Uno de los aspectos más difíciles del problema de la contaminación medio ambiental es establecer índices que definan lo que constituye en realidad una contaminación.

Para un pescador de gran afición, todo lo que altere su arroyo favorito es contaminación, para un obrero industrial, lo más importante es el trabajo en el que interviene, incluso si contamina de algún modo el medio ambiente.

En el sentido más estricto, contaminación medio ambiental puede definirse como todo aquello que de alguna manera modifica el entorno ambiental natural. Según esta definición, la vida humana misma constituye contaminación. Hacemos ruido, producimos calor que debe disiparse en el ambiente, practicamos la agricultura, consumimos cultivos comestibles, y generamos productos residuales que degradan el medio ambiente.

Una definición comúnmente aceptada es la que establece que la contaminación es un cambio indeseable en las características físicas, químicas o biológicas del aire, tierra o agua que pueda afectar la vida humana o la de las especies vivas de interés. En realidad esta definición no ayuda mucho, ya que deja abierto el interrogante de cuánto cambio es posible tolerar en nuestro ambiente antes de que este se haga indeseable. además, siempre existirá la pregunta de cuál o cuál no es una especie de interés. Dado que por necesidad toda actividad humana debe causar alguna contaminación, carece de sentido hablar de un nivel cero de ésta. La meta de cualquier programa de control de contaminación debe ser determinar un nivel óptimo de tal efecto: el punto en el que los beneficios para la sociedad provenientes de la actividad propuesta sobrepasan a los efectos nocivos de la contaminación inevitable que resulta.

En Estados Unidos todos los aspectos de la contaminación medio ambiental están bajo el control de la Agencia de Protección Ambiental (EPA). Sus actividades son muy amplias pero tienen un principal interés en el control de la descarga de petróleo e hidrocarburos al ambiente. En la tabla 2.5. se muestra las normas de la EPA para las emisiones provenientes de unidades generadoras de vapor calentadas por combustibles fósiles.

Según los estimados de aceite usado generado en Ecuador, mostrados con anterioridad en la tabla 2.4.2., el volumen depositado en el medio ambiente cada año corresponde a un 53% del total de ventas de lubricantes nuevos. Esta cantidad de aceite usado va a contaminar directamente a los suelos, ríos, mares y atmósfera. ✓

✓

TABLA 2.5.	
NORMAS EPA PARA CONTROL DE EMISIONES EN UNIDADES GENERADORAS DE VAPOR	
Materiales	Máxima emisión permisible (lb / 10 <sup>6</sup> Btu)
<b>Partículas</b>	
Combustibles sólidos, líquidos o gaseosos	0,10
<b>Bióxido de azufre</b>	
Combustibles Líquidos	0,80
Combustibles Sólidos	1,20
<b>Oxidos de nitrógeno</b>	
Combustibles gaseosos	0,20
Combustibles líquidos	0,30
Combustibles sólidos	0,70
<b>Fuente: EPA (Standards of Perfomance - 40 CFR Part 60)</b>	

✓

✓

**2.5.1. Contaminación de suelos**

La presencia de hidrocarburos en los suelos promueve el incremento de microorganismos capaces de biodegradar estas sustancias, posiblemente afectando el ciclo del nitrógeno. Los metales pesados ( particularmente el plomo ) presentes comúnmente en el aceite usado inhiben el crecimiento de las plantas. Además que organismos como los gusanos pueden absorber los metales en concentraciones tales que pueden ser fatales para las formas de vida que se alimentan de ellos.

**2.5.2 Contaminación de aguas**

Aceites usados depositados en drenajes, lagos, ríos, mares etc., pueden alterar drásticamente el ecosistema natural acuático, siendo uno de los principales agentes

mutagénicos. Los metales pesados como el zinc son tóxicos para los peces y otros organismos acuáticos.

### 2.5.3. Contaminación atmosférica

El aceite usado en ocasiones es mezclado (sin ningún tratamiento) con combustibles pesados. Tal práctica incontrolada libera peligrosos metales pesados a la atmósfera como el plomo y el zinc . Además que algunos aceites usados pueden tener altas concentraciones de cloro, el cual puede promover la formación de dioxinas altamente tóxicas. Antes de realizar tal práctica, que es uno de los objetivos de esta tesis, se debe realizar un adecuado tratamiento al aceite usado.



### **III. ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS ACEITES LUBRICANTES USADOS**

#### **3.1 Diagrama de prioridades**

El reciclaje puede tener varias formas: una de ellas es el reciclar el aceite usado como hidrocarburo para la obtención de hidrocarburos de otro tipo, otra el reciclar el valor energético del aceite usado, volviendo a utilizar su poder calorífico, etc. A continuación se muestran las siguientes opciones en orden de preferencia como alternativas del aprovechamiento de los aceites usados.

#### **REPROCESAMIENTO EN UNA REFINERIA AMBIENTAL**

##### **RE-REFINACION**

##### **RECICLAJE DEL VALOR ENERGETICO**

##### **INCINERACION**

##### **MEZCLA CON FUEL OIL # 6**



### 3.2. Reciclaje del hidrocarburo: reprocesando el aceite usado

Antes de mezclar el aceite usado con el crudo en una refinería, es necesario un pre-tratamiento del aceite para remover principalmente:

- Agua y combustibles livianos (gasolina, diesel)
- Los hidrocarburos halógenos, en especial los clorinados pues son corrosivos y además pueden causar problemas en los productos livianos como la gasolina.
- Los metales debido a que ellos son elementos tóxicos en muchas de las unidades de destilación del crudo (cat-crackers, hydrocrackers, etc) y son contaminantes en el combustible.

Es así que un pre-tratamiento ideal incluye los siguientes procesos:

#### 3.2.1. Deshidratación

Esta es llevada a cabo mediante la destilación atmosférica, vaporizando en una columna deshidratadora. Mediante este proceso se elimina el agua y cierto porcentaje de combustible. En la figura 3.2.1. se muestra el proceso esquematizado.

#### 3.2.2. Eliminación de combustibles

La eliminación del combustible se alcanza mediante un horno recalentador. El sistema de sobrecalentamiento es construido de acero inoxidable para evitar la corrosión. En la figura 3.2.2. se muestra el proceso esquematizado.



FIGURA 3.2.1.

REPROCESAMIENTO EN UNA REFINERIA: DESHIDRATACION.

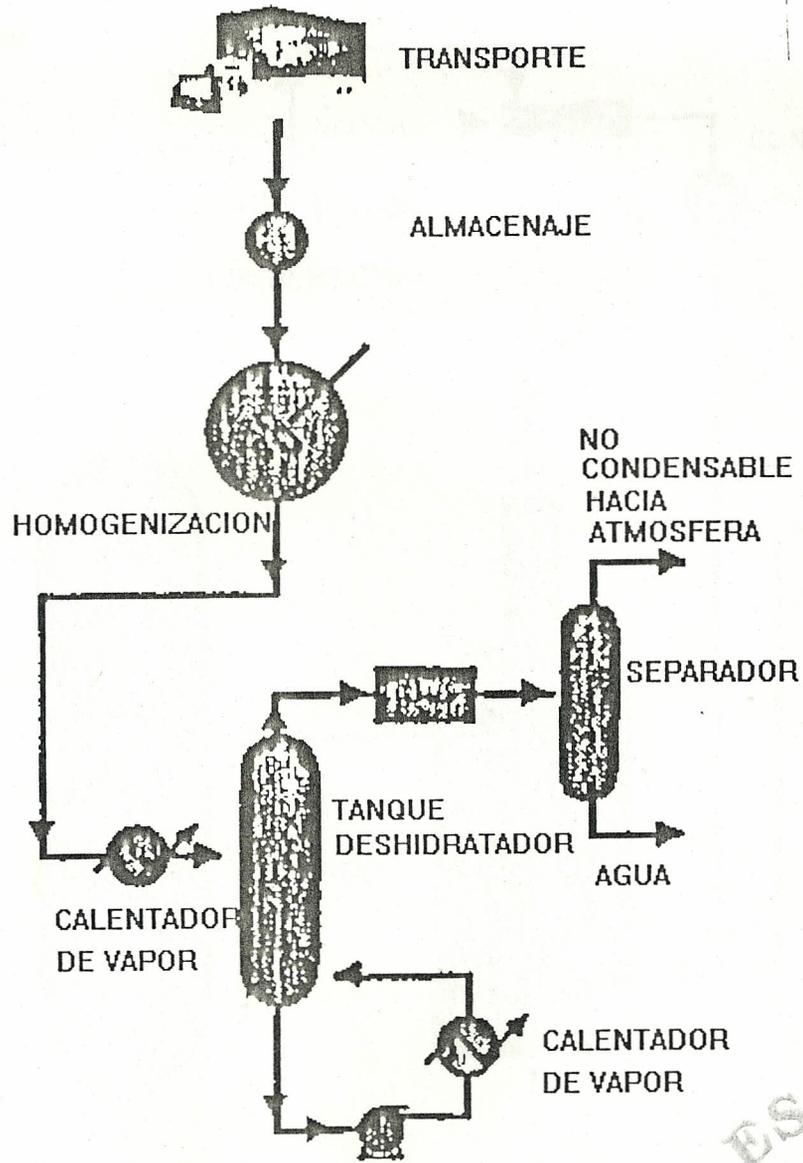
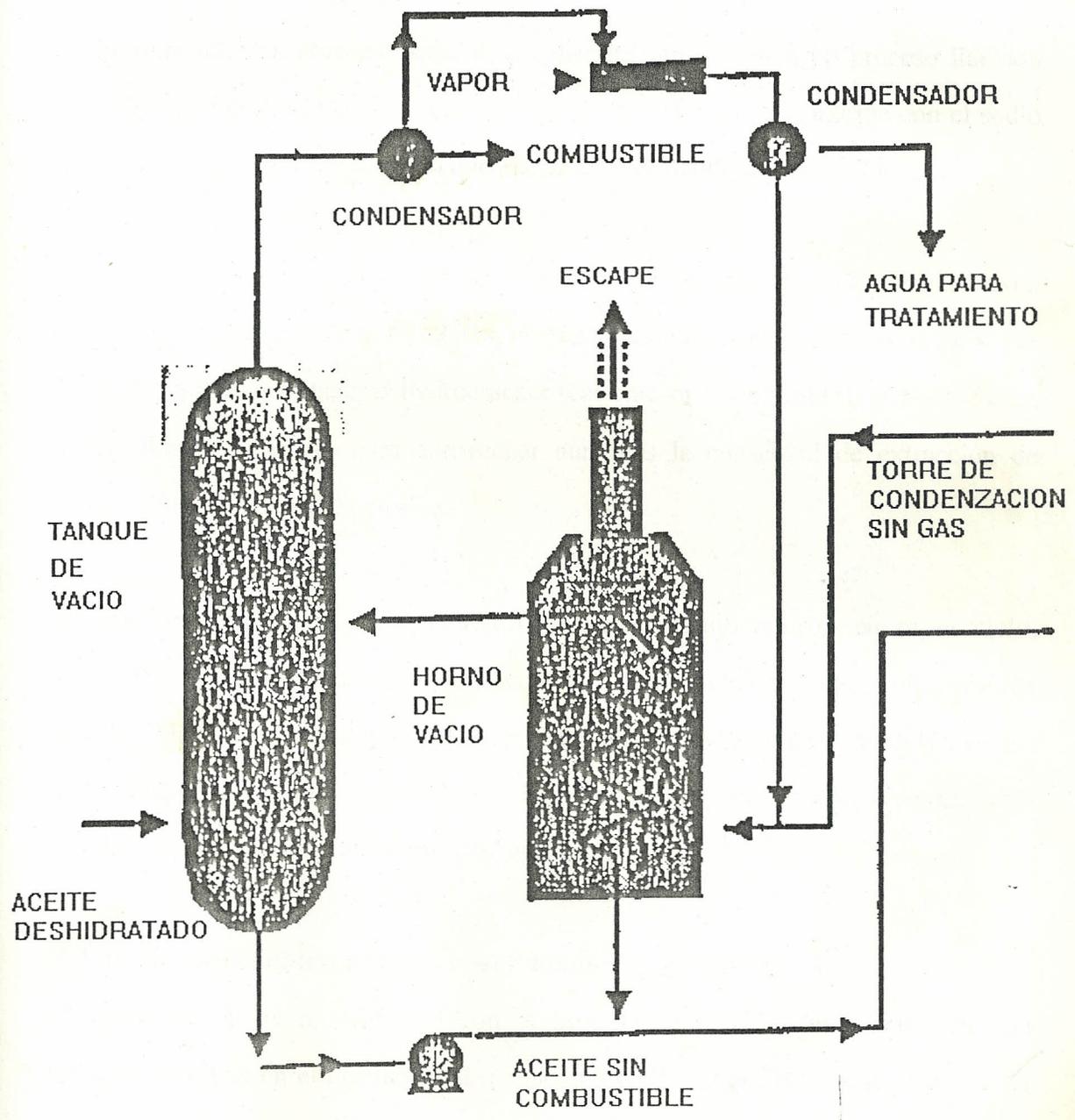


FIGURA 3.2.2.

REPROCESAMIENTO EN UNA REFINERIA: ELIMINACION DE COMBUSTIBLES.



### 3.2.3. Destilación al vacío

Los metales se retienen en las fracciones pesadas del proceso. Ver figura 3.2.3. proceso esquematizado

### 3.2.4. Eliminación del cloro

La eliminación del cloro es esencial, y generalmente se aplica un proceso llamado Recyclon (metallic sodium), con el objetivo de que el cloro se combine con el sodio metálico y forme cloruro de sodio que puede ser eliminado junto con el agua.

Los productos pre-tratados pueden ser añadidos directamente al crudo, pero debido a que estos productos están formados mayoritariamente por destilados medios, es preferible que se los añada al hydrocracker (cat-cracker o visbreaker), que son etapas de destilación al vacío, para aprovechar aún más la capacidad de extracción de combustibles livianos del petróleo.

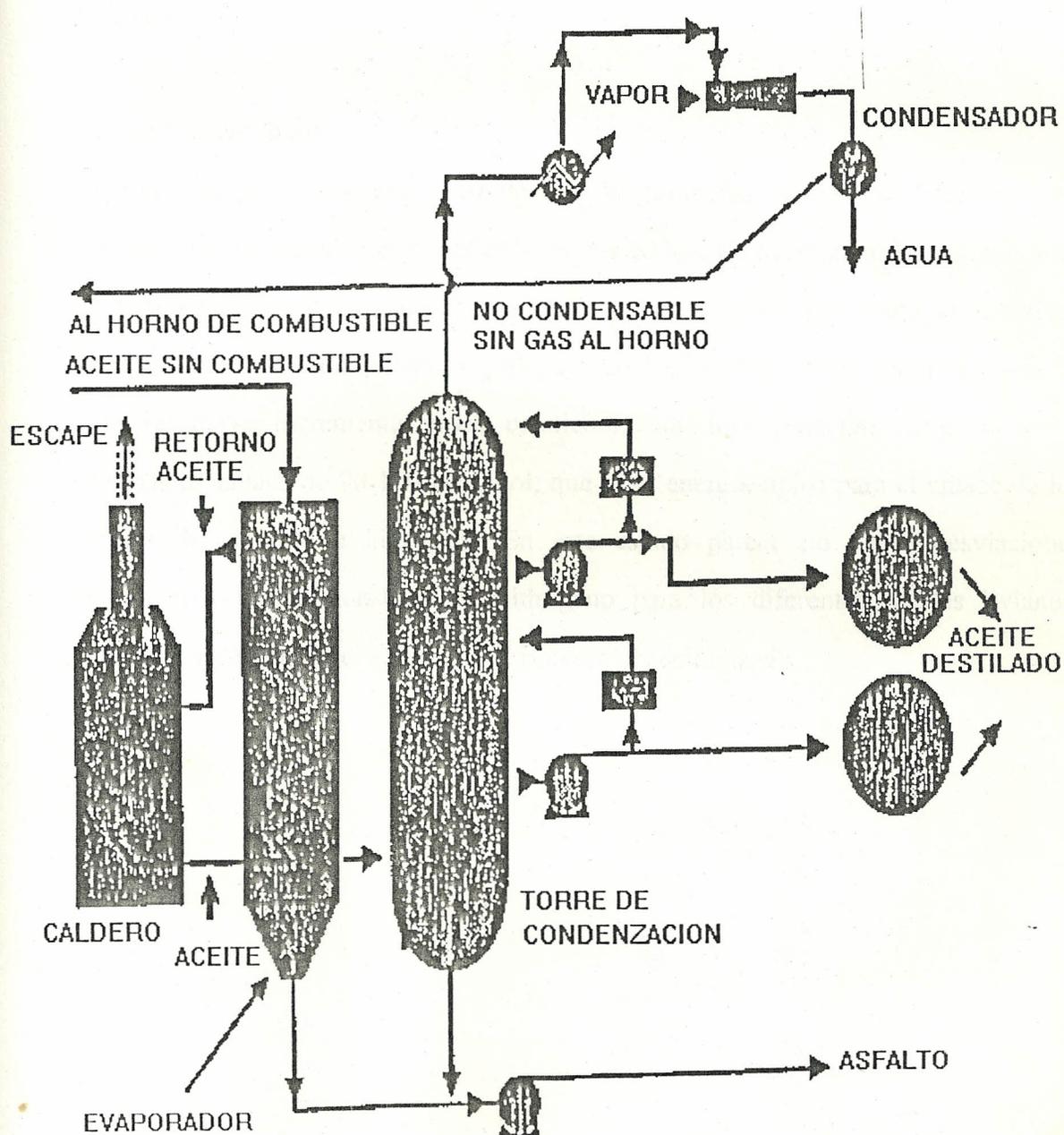
La principal ventaja de esta alternativa es que definitivamente cierra el ciclo, aprovechando nuevamente al hidrocarburo para obtener más hidrocarburos combustibles. Las desventajas son: un pre-tratamiento del aceite usado muy extenso que incluye altas inversiones de dinero, además que la tecnología usada esta disponible pero no comercialmente probada.

### 3.3. Reciclaje del hidrocarburo: re-refinando el aceite usado

La diferencia de la re-refinación con el procesamiento del aceite usado en una refinería, consiste en el destino final que se le va a dar al aceite. Como vimos en el punto anterior (3.2), el aceite usado luego de una serie de etapas de tratamiento se lo añade al crudo en el proceso de obtención de los diferentes derivados. Mientras en la

FIGURA 3.2.2.

REPROCESAMIENTO EN UNA REFINERIA: DESTILACION.



re-refinación el aceite pasa por etapas de tratamiento para luego ser re-refinado es decir obtener un aceite base reciclado. En esta alternativa se siguen las tres primeras etapas de pre-tratamiento del "re-procesamiento del aceite usado en una refinería" , pero la gran diferencia es que luego de la destilación al vacío se sigue un proceso de hidroacabado.

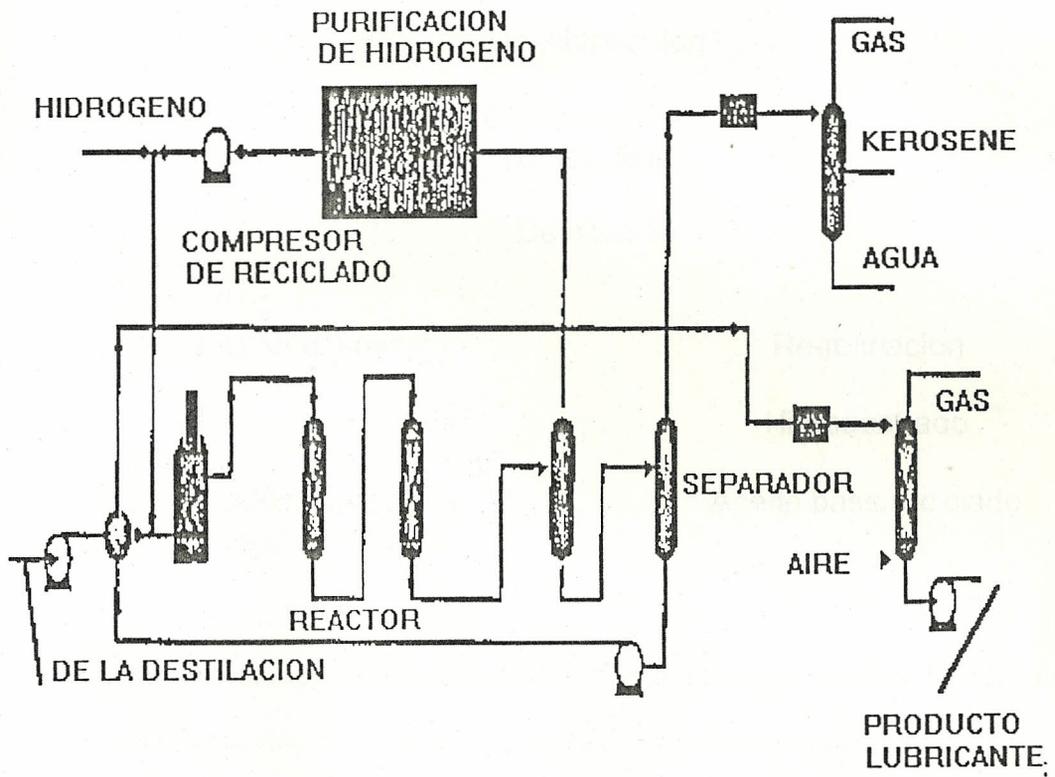
### 3.3.1. Hidroacabado

El siguiente es el proceso utilizado por la compañía canadiense Breslube Ltd. (Ontario). El hidroacabado es realizado en dos etapas. En la primera, las temperaturas de hidrogenación corresponden a energías de enlace de 50-60 kcal/mol que modifican químicamente los contaminantes, produciendo HCl y H<sub>2</sub>S. En la segunda etapa, la temperatura se incrementa y las condiciones de hidrogenación corresponden a energías de enlace de 90-100 kcal/mol, que es la energía típica para el enlace de los átomos de carbono e hidrógeno. En este estado parece no haber desviaciones significativas en el consumo de hidrógeno para los diferentes aceites livianos, medianos y pesados. Ver figura 3.3.1. proceso esquematizado.



FIGURA 3.3.1.

RE-REFINACION: HIDROACABADO.

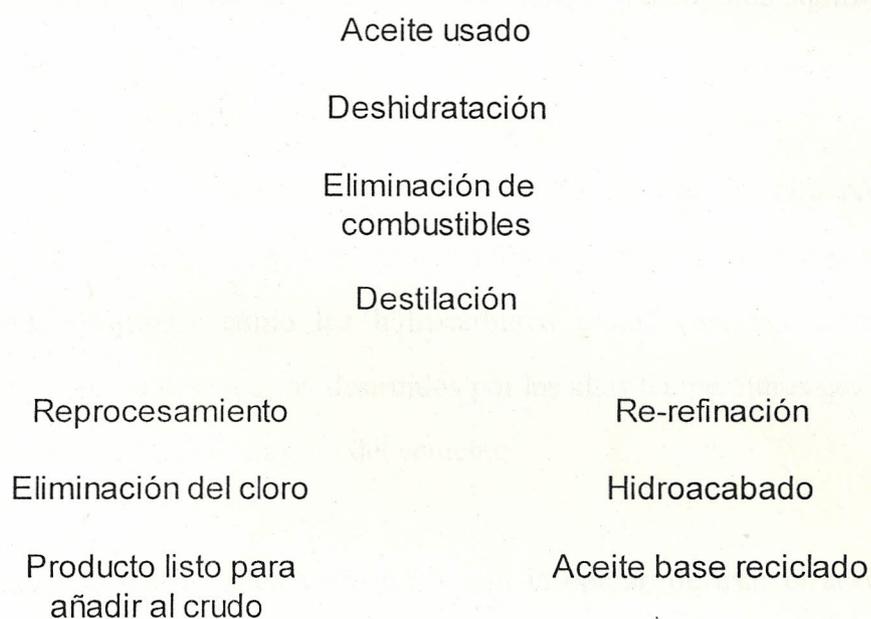


### 3.3.2. Reprocesamiento vs re-refinación

El siguiente diagrama compara las diferencias entre estas dos opciones de aprovechamiento del aceite usado.

**FIGURA 3.3.2.**

#### **REPROCESAMIENTO VS RE-REFINACION**



Solamente la tecnología de la re-refinación esta en uso comercial. La tecnología del reprocesamiento esta disponible pero no esta probada comercialmente.

### 3.4. Reciclaje del valor energético a altas temperaturas

Si la re-refinación no esta disponible, el reciclaje del valor energético del aceite debería ser considerado. Esto envuelve la mezcla del aceite usado con el fuel oil para uso en algunas aplicaciones que queman esta mezcla a elevadas temperaturas y así minimizan la posibilidad de producir dioxinas contaminantes.

### 3.4.1. Hornos cementeros

La industria cementera usa energía proveniente de los combustibles fósiles: carbón, fuel oil # 6, y gas. Se estima que la producción de un millón de toneladas de cemento, requiere el equivalente a 116000 toneladas de fuel oil pesado ( fuel oil # 6) como combustible. Esta alta demanda de energía es debido a la necesidad de generar altas temperaturas de operación en los hornos cementeros para convertir la materia prima en clinker que es el elemento base del cemento. Altas temperaturas significan altos costos de energía.

Sin embargo, los hornos cementeros proveen condiciones ideales para recobrar el valor energético del aceite usado de una manera segura para el medio ambiente. Contaminantes peligrosos como los hidrocarburos aromáticos, los hidrocarburos halogenados y metales pesados son destruidos por las altas temperaturas generadas en los hornos del proceso de producción del cemento.

Los siguientes son los beneficios asociados con la opción de usar el aceite usado como combustible en los hornos cementeros:

- Conservación de recursos: quemar el aceite usado desplaza las fuentes no renovables de energía como el carbón, fuel oil, y gas.
- Destrucción de contaminantes: las altas temperaturas en los hornos, de hasta 2000 C, aseguran la destrucción de posibles contaminantes del aceite usado.
- Las cenizas de los metales pesados presentes en el aceite usado son incorporadas al clinker y finalmente a la estructura del cemento.

En Estados Unidos hay actualmente 25 plantas cementeras quemando aproximadamente 1'000.000 de toneladas de aceite usado por año. En nuestro país esta práctica la podrían llevar acabo tres o cuatro empresas cementeras existentes.

En la tabla 3.4.1. se muestra las especificaciones del combustible aceite usado, para los hornos cementeros en Canadá.

X

**TABLA 3.4.1.**

<b>LIMITES PERMITIDOS EN CANADA</b>	
COLORO	1000-1500 ppm
HIDROCARBUROS	
AROMATICOS	30 ppm
PLOMO	100-200 ppm
CROMO	10 ppm
ARSENICO	2 ppm
CADMIO	4-5 ppm
AZUFRE	1-2 % peso

8

### 3.5. Incineración

La incineración del aceite usado es también una forma de quemar el aceite a elevadas temperaturas, pero la diferencia con los hornos cementeros es que en ellos se aprovecha el valor energético del aceite para producir un producto, mientras en la incineración es prácticamente el mismo proceso pero con el único fin de eliminar el aceite usado. En algunos incineradores es posible aprovechar el valor energético del aceite usado, usándolo como combustible para destruir otros desechos.

### **3.6. Mezcla con fuel oil # 6 - Introducción**

La mezcla del aceite usado con fuel oil # 6 para aplicaciones industriales donde la combustión se realiza a bajas temperaturas, puede producir emisiones atmosféricas contaminantes (metales pesados y dioxinas). Estas emisiones se pueden reducir a niveles aceptables mezclando el aceite usado dentro del fuel oil en concentraciones menores. Sin embargo, esta acción es únicamente una dilución de la contaminación y no representa una solución enteramente satisfactoria.

A pesar de los problemas de contaminación atmosférica asociados con el uso del aceite usado mezclado con fuel oil # 6 y combustionado a bajas temperaturas, esta opción si es realizada de una manera controlada y responsable, es un paso adelante en el control de la contaminación ambiental, si la comparamos con la eliminación del aceite desechado directamente al medio ambiente.

### **3.7. Opciones no recomendadas**

Existen otras opciones a las descritas en este capítulo que se las realiza en algunos países, para evitar la eliminación del aceite usado directamente al medio ambiente, pero que se ha comprobado que siguen siendo altamente contaminantes.

#### **3.7.1. Extendido de asfaltos - No recomendado**

La mayor preocupación sobre usar el aceite usado como un extendedor de asfaltos es que se generan vapores peligrosos para la salud humana por inhalación, además que se filtra en los suelos pudiendo contaminar aguas subterráneas.

### **3.7.2 Disposición en superficies de tierra - No recomendado**

Esta acción se refiere a depositar de una manera controlada el aceite usado en una determinada área por muchos años, usando micro-organismos para biodegradar los constituyentes carbonosos del aceite. A pesar de ser simple y no costosa no es recomendada por:

- Los grandes volúmenes de aceite usado a ser tratados requieren grandes áreas de terrenos por prolongados periodos de tiempo o a veces indefinidamente.
- Existen grandes riesgos de contaminar las vertientes de agua subterráneas.
- Solamente los hidrocarburos parafínicos son degradables. Los hidrocarburos aromáticos y los metales no lo son y se acumulan en el terreno.

### **3.7.3. Depósito en un lugar determinado - No recomendado**

Es muy semejante a la acción del punto anterior, con la diferencia de que se deposita el aceite usado en un lugar determinado sin realizar ningún tipo de acción para biodegradar el aceite.

### **3.7.4. Rociado en caminos polvorientos - No recomendado**

La práctica de rociar el aceite usado en caminos polvorientos ha ido en desuso en muchos países por estar comprobado la peligrosidad de estar en contacto con los contaminantes presentes en el aceite. Sin embargo es una práctica muy común en nuestro medio.

## **IV. ACEITE USADO MEZCLADO CON FUEL OIL # 6**

### **4.1. Características del fuel oil # 6 comercializado en Ecuador**

Como fuel oil # 6 nos referimos a los combustibles residuales o residuos viscosos que no se han evaporado durante el proceso de refinación del petróleo crudo, y, por esta razón, son los de menor precio.

A diferencia de los combustibles destilados, los combustibles residuales contienen cantidades importantes de materia inorgánica, que constituyen sus cenizas, variando estas, entre 0,01 y 0,1 % en peso. La ceniza suele contener vanadio que al mezclarse con el sodio (también presente en el residuo), acelera las acciones corrosivas en calderas y calentadores. En una especificación común para calentadores de tratamiento en refinerías se exige que los tubos y soportes de tubos sean de una aleación de 50 % de níquel y 50 % de cromo cuando la concentración de vanadio es mayor que 150 ppm. El óxido de vanadio también abate el punto eutéctico de muchos materiales refractarios, causando su rápida desintegración.

Los combustibles residuales tienen mayor densidad específica y son más viscosos que los combustibles destilados. La alta viscosidad hace necesario un precalentamiento en los calentadores de las instalaciones industriales a fin de que la atomización sea apropiada para asegurar una combustión completa.

En nuestro país existen dos refinерías donde se produce fuel oil para comercializarlo, ya sea para exportación o para consumo interno del país. Las características del producto varían y están detalladas en la tabla 4.1.

**TABLA 4.1.**

<b>ESPECIFICACIONES DEL FUEL OIL # 6 PRODUCIDO EN ECUADOR</b>		
<b>Refinería</b>	<b>La Libertad</b>	<b>Esmeraldas</b>
Densidad específica a 15 C	0,9573	0,9573
Grados API	16,3	13,9
Punto de inflamacion, C	104	87
Punto de escurrimiento, C	7	2
Agua y sedimento (% en vol.)	0,05	0
Carbon Conradson (% en peso)	12,0	12,8
Viscosidad cinematica a 40 C, cst	1100	1350
Azufre (% en peso)	1,35	1,70
Cenizas (% en peso)	0,038	0,030
Vanadio, ppm	140	200
Cromo, ppm	0	0
Niquel, ppm	65	81
Cobre, ppm	0,2	0,3
Hierro, ppm	5,6	7,3
Plomo, ppm	4,0	5,2
<b>Fuente: Laboratorio de la Refinería de Petropenínsula</b>		



#### 4.2. Consumo de fuel oil # 6 en Ecuador

De la producción total (15'908.000 barriles en 1994) de fuel oil # 6 en el país aproximadamente el 50% se exportó a países desarrollados donde en la estación de invierno tiene gran demanda como combustible para los sistemas de calefacción. Además, el fuel oil de La Libertad es un producto del que todavía se pueden extraer combustibles livianos en refinerías con sistemas de "cracking catalítico" como el de la refinería de Esmeraldas, por lo que el producto de la refinería de La Libertad también se lo exporta a algunas refinerías de Estados Unidos y Centroamérica con este propósito.

La producción para consumo interno (7'908.000 barriles en 1994) también es necesaria debido a su uso en el sector industrial, transporte marítimo y en las empresas eléctricas.

En la industria y empresas eléctricas están incluidas las empresas del sector privado y del estado que tienen en su proceso de producción la necesidad de energía que se obtiene de un combustible barato como el fuel oil. Dicha energía generalmente se la utiliza en calderas y hornos. Es para estas aplicaciones donde sería recomendable el uso de fuel oil # 6 mezclado con aceites usados, para evitar el desecho directo del aceite en el medio ambiente.

En las aplicaciones marinas el fuel oil es mezclado con un producto más liviano, generalmente diesel, en diferentes proporciones, para así disminuir la viscosidad del combustible requerido por los motores de combustión interna usados en las naves.

Para este fin no es recomendado usar el fuel oil mezclado con aceite usado, debido a que el uso final de los denominados IFO's (mezcla del fuel oil # 6 con diesel) será en las máquinas principales de las naves, las cuales tienen exigencias muy altas de rendimiento y controles muy estrictos en el uso de combustibles.

- En la tabla 4.2.1. se detallan las especificaciones de los combustibles residuales marinos, en la tabla 4.2.2. se detalla la producción de fuel oil por refinería en el país durante el año 1994, y en la tabla 4.2.3. se detalla el destino final de la producción de fuel oil de dicho año.



TABLA 4.2.1.

ESPECIFICACIONES DE COMBUSTIBLES RESIDUALES MARINOS (International Standard ISO 8217)								
Características	Método	A10	B10	C10	D15	E25	F25	G35
Densidad a 15 C, (Kg / m <sup>3</sup> )	ISO 3675 max.	975	991	991	991	991	991	991
Viscosidad cinemática a 100 C, cst	ISO 3104 max.	10	10	10	15	25	25	35
Punto de inflamación, C	ISO 2719 min.	60	60	60	60	60	60	60
Punto de congelamiento, C	ISO 3016 max.	0	24	24	30	30	30	30
Cenizas, % (m/m)	ISO 6245 max.	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,15	0,15
Agua, % (VV)	ISO 3733 max.	0,5	0,5	0,5	0,8	1,0	1,0	1,0
Azufre, % (m/m)	ISO 8754 max.	3,5	3,5	3,5	4,0	5,0	5,0	5,0
Vanadio, mg/kg	DIN 51790 max.	150	150	300	350	200	500	300



POLITECNICA DEL LITORAL  
BIBLIOTECA "GONZALO ZEVALLOS"  
F.I.M.C.P.

**TABLA 4.2.1.**

(continuación)

**ESPECIFICACIONES DE COMBUSTIBLES RESIDUALES MARINOS**  
**(International Standard ISO 8217)**

<b>Características</b>	<b>Método</b>	<b>H35</b>	<b>K35</b>	<b>L35</b>	<b>H45</b>	<b>L45</b>	<b>H55</b>	<b>L55</b>
Densidad a 15 C, (Kg / m <sup>3</sup> )	ISO 3675 max.	991	991	991	991	991	991	991
Viscosidad cinemática a 100 C, cst	ISO 3104 max.	35	35	35	45	45	55	55
Punto de inflamación, C	ISO 2719 min.	60	60	60	60	60	60	60
Punto de congelamiento, C	ISO 3016 max.	30	30	30	30	30	30	30
Cenizas, % (m/m)	ISO 6245 max.	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Agua, % (V/V)	ISO 3733 max.	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Azufre, % (m/m)	ISO 8754 max.	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Vanadio, mg/kg	DIN 51790 max.	600	600	600	600	600	600	600
<b>Fuente: Shell Marine Fuel Specifications Book</b>								

**TABLA 4.2.2.**

<b>PRODUCCION DE FUEL OIL # 6 EN ECUADOR</b>	
<b>Refinerías</b>	<b>Barriles / 1994</b>
Producción La Libertad	6'575.000
Producción Esmeraldas	9'333.000
Producción Otras	800
Producción país	15'908.000
<b>Fuente: Productos Especiales - Petroecuador / 1994</b>	

**TABLA 4.2.3.**

<b>DESTINO DEL FUEL OIL # 6 PRODUCIDO EN ECUADOR</b>	
<b>Destino</b>	<b>Barriles / 1994</b>
<b>Exportación</b>	8'000.000
<b>Comercialización país</b>	7'908.000
Transporte marítimo	2'575.000
Industria	2'633.000
Empresas eléctricas	2'586.000
Otros	144.000
<b>Fuente: Productos Especiales - Petroecuador / 1994</b>	



POLITECNICA DEL LITORAL  
BIBLIOTECA "CORRALOZUEVALLOS"  
R.I.M.C.P.

### 4.3. Recomendaciones para la mezcla

La proporción del aceite usado incorporado al fuel oil # 6 debe ser tal, que no modifique sus características físico-químicas. En la práctica se ha encontrado, según un estudio realizado por la compañía Shell International Petroleum Company titulado "Lubricants Enviromental Study", que dicho porcentaje de aceite usado no debe ser mayor al 2 %.

Los siguientes, son los controles recomendados según el estudio mencionado, para realizar la mezcla de fuel oil # 6 con aceite usado:

- El aceite usado debe permanecer en reposo para eliminar el agua que contenga, luego debe ser filtrado y centrifugado para remover los lodos y partículas de metales
- El contenido de agua después del tratamiento anterior debe ser menos de 1%, de modo que al mezclarse con el fuel oil no forme una emulsión.
- La mezcla ideal establecida es de máximo 2 % en peso de aceite usado, como se indicó anteriormente. La misma que se debe realizar introduciendo en el recipiente de mezcla, primero el aceite usado (menor densidad) y luego el fuel oil (mayor densidad). Esta mezcla será favorecida también por agitación.
- La mezcla debe ser completa, y las especificaciones del combustible mezclado debe mantener las especificaciones originales típicas del fuel oil # 6.

La composición del aceite usado y de la mezcla con fuel oil debe ser regularmente monitoreada para asegurar de que se cumplan los límites establecidos en la tabla 4.3.1.

**TABLA 4.3.1.**

<b>LIMITES DE CONTAMINANTES Y PROPIEDADES FISICAS DEL ACEITE USADO</b>		
<b>Contaminante / Propiedades</b>	<b>Aceite usado</b>	<b>Mezcla fuel oil # 6 - aceite usado</b>
Plomo	< 2500 ppm	< 50 ppm
Cloro orgánico	< 5000 ppm	< 100 ppm
Numero de acidez total - E (ASTM D 664)		< 3 mg KOH/gr
Punto de inflamación	100 C	
<b>Fuente: Lubricants Enviromental Study - S.I.P.C.</b>		

#### 4.4. Características de diferentes mezclas fuel oil # 6 - aceite usado

En el laboratorio de la refinería de Petropeninsula se realizaron mezclas de fuel oil # 6, producido en esa refinería, con aceite usado, en diferentes proporciones (1%, 2% y 5%). El aceite usado fue el producto de la mezcla de ocho muestras de aceite provenientes de motores de combustión interna de la compañía Naviera del Pacífico (NAVIPAC). Esta compañía tiene barcos tanqueros operando nacional e internacionalmente, y las muestras de aceite usado corresponden a las máquinas principales y moto-generadores de sus diferentes unidades operativas. Las características de los motores monitoreados y de la mezcla de las ocho muestras de aceite usado, se detallan en la tabla 4.4.1. y tabla 4.4.2. respectivamente.

TABLA 4.4.1.

CARACTERISTICAS DE LOS MOTORES MONITOREADOS				
Muestra	1	2	3	4
Motor	Niigata	Niigata	Man	Enterprice
Modelo	6LI6S	6LI6S	D2858M	DMG38
Horas de motor (desde última reparación)	2875	2780	2220	24029
Tipo de aceite	SAE 40	SAE 40	SAE 40	SAE 40
Horas de aceite	1500	1500	200	1500



POLITECNICA DEL LITORAL  
BIBLIOTECA "GONZALO ZEVALLOS"  
F.I.M.C.P.

TABLA 4.4.1.  
(continuación)

CARACTERISTICAS DE LOS MOTORES MONITOREADOS				
Muestra	5	6	7	8
Motor	Nohab	Baldwin	Nohab	Baldwin
Modelo	MN165	VO	MN165	VO
Horas de motor (desde última reparación)	1570	3548	2450	4237
Tipo de aceite	SAE 40	SAE 40	SAE 40	SAE 40
Horas de aceite	1570	508	900	1197

Fuente: Departamento Técnico de Navipac

TABLA 4.4.2.

CARACTERISTICAS DEL ACEITE USADO					
	1	2	3	4	5
Aceite Usado	1	2	3	4	5
Horas de servicio	1500	1500	200	1500	1570
Gravedad especifica a 15,5 C	0,8906	0,8902	0,8928	0,8994	0,898
Punto de inflamación, C	227	202	205	226	226
Punto de congelamiento, C	4,8	4,0	4,6	4,4	4,6
Viscosidad a 100 C, cst	13,2	13,9	16,1	16,8	16,0
Agua y sedimentos	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas
Azufre, % peso	0,82	0,70	0,74	0,72	0,78
Vanadio, ppm	0,058	0,056	0,066	0,068	0,060
Niquel, ppm	14,0	11,5	13,6	12,8	12,0
Hierro, ppm	66	73	79	59	61
Cobre, ppm	1,1	1,6	0,8	1,4	1,0
Plomo, ppm	96	90	128	130	112

TABLA 4.4.2.  
(continuación)

CARACTERISTICAS DEL ACEITE USADO				
	6	7	8	mezcla
Aceite Usado	6	7	8	mezcla
Horas de servicio	508	900	1197	1109
Gravedad especifica a 15,5 C	0,8950	0,8938	0,8956	0,8946
Punto de inflamación, C	208	210	203	213
Punto de congelamiento, C	4,4	4,8	4,2	4,5
Viscosidad a 100 C, cst	15,9	14,9	16,6	15,4
Agua y sedimentos	trazs	trazas	trazas	trazas
Azufre, % peso	0,78	0,70	0,81	0,76
Vanadio, ppm	0,054	0,056	0,060	0,060
Niquel, ppm	11,9	11,4	14,3	12,7
Hierro, ppm	68	59	80	68
Cobre, ppm	1,0	1,8	0,8	1,2
Plomo, ppm	88	116	116	109

Fuente: Laboratorios de Petropenínsula y Shell Ecuador S.A.

Las diferentes proporciones de mezcla de aceite con fuel oil fueron; 1%; 2% y 5% de aceite usado. Para todas estas proporciones se realizaron análisis típicos para determinar si todavía estaban en especificación de fuel oil. Los resultados se muestran en la tabla 4.4.3.



**TABLA 4.4.3.**

<b>RESULTADOS DE LA MEZCLA FUEL OIL # 6 - ACEITE USADO</b>				
Mezcla	0%	1	2	3
Fuel oil # 6	100%	99%	98%	97%
Aceite usado	0%	1%	2%	5%
Gravedad específica (15,5 C)	0,9573	0,9567	0,9565	0,9560
Grados API	16,3	16,4	16,4	16,5
Punto de inflamación, C	104	106	106	108
Punto de escurrimiento, C	7,0	7,0	6,9	6,8
Viscosidad a 40 C, cst	1100	1040	960	890
Agua y sedimentos	trazas	trazas	trazas	trazas
Azufre (% peso)	1,35	1,35	1,34	1,33
Carbono (% en peso)	85,5	85,5	85,5	85,5
Hidrógeno (% en peso)	12,34	12,30	12,30	12,30
Vanadio (ppm)	140	139	137	133
Níquel (ppm)	65,0	65,0	64,0	62,4
Hierro (ppm)	5,6	6,0	6,3	8,7
Cobre (ppm)	0,2	0,2	0,3	0,8
Plomo (ppm)	4,0	5,0	6,1	9,2
<b>Fuente: Laboratorio de Petropenínsula</b>				

De los resultados obtenidos podemos señalar que las propiedades del fuel oil mezclado con aceite usado no varían con respecto al fuel oil # 6 original, aún para proporciones mayores al 2% de aceite usado. Por lo que podemos concluir que tal proporción de mezcla de aceite usado (2%) en el fuel oil # 6, es una cantidad

moderada y conservadora, que no hará variar las propiedades del combustible original.

#### **4.5. Emisiones gaseosas**

Dada la naturaleza de la composición química de los petróleos y sus derivados, cuya característica principal es la poca variación en los contenidos de carbono e hidrógeno con valores entre 80 - 86 % de carbono y 10 - 14 % de hidrógeno, los gases de la combustión de cualquiera de sus derivados sean estos fuel oil o lubricantes son básicamente los mismos: dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ), dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), variando tan solo por la mayor o menor dificultad de la combustión, el aire práctico necesario para la combustión completa. Productos de una mala combustión son hidrocarburos sin quemar ( $\text{C}_x\text{H}_y$ ) y monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ).

La adición de aceite usado al fuel oil # 6 aportará en los residuos de la combustión una mayor cantidad de óxidos de los metales presentes en el aceite, los cuales incrementarán la formación de cenizas. Su contenido no incide en la producción de gases.

##### **4.5.1. Dióxido de carbono**

Dado que el dióxido de carbono, es un componente natural del aire, (gas carbónico), no se considera un contaminante, y no existen reglamentaciones relativas a su emisión. Por ser uno de los causantes del efecto invernadero, es posible que las generaciones futuras tengan que preocuparse por las emisiones de tal gas. Sin embargo, dado que el dióxido de carbono es el producto inevitable de la combustión de los combustibles fósiles, sólo existen dos formas de reducir su producción: quemando menos combustible de esa clase o recurriendo a las plantas nucleoelectricas. Ninguna de estas opciones es muy aceptable en la actualidad.

#### 4.5.2. Dióxido de azufre

El problema ambiental más difícil que enfrenta la industria en la actualidad es la emisión de dióxido de azufre. Todos los combustibles fósiles contienen azufre en mayor o menor medida. El dióxido de azufre (gaseoso) escapa con los demás gases producidos en el hogar.

Además de la formación de dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), siempre ocurre cierta oxidación a trióxido de azufre ( $\text{SO}_3$ ) el cual, en presencia de humedad reacciona para formar ácido sulfúrico. Dado que este ácido sulfúrico (líquido) tiene una presión de vapor extremadamente baja, se condensa y forma pequeñas gotas coloidales de neblina ácida, muy difíciles de eliminar de los gases de escape. Si este rocío ácido llega a la chimenea produce un penacho blanco que incrementa la opacidad de los gases de la combustión.

Las emisiones mundiales anuales de dióxido de azufre por actividades humanas representan en la actualidad un total de 160 millones de toneladas métricas, de las cuales alrededor del 16 % corresponde a la combustión de productos del petróleo, en particular el combustible residual con alto contenido de azufre que se emplea en muchas plantas industriales. Las emisiones de dióxido de azufre han aumentado de manera uniforme durante los últimos 30 años, pero en la actualidad se espera que se estabilice y quizá incluso disminuyan un tanto a medida que se implanten mayores restricciones a la contaminación ambiental.

#### 4.5.3. Oxido de nitrógeno

Estos se producen en todo proceso de combustión si la temperatura es lo suficientemente elevada para fijar el nitrógeno del aire, haciéndolo reaccionar directamente con el oxígeno.

La producción de óxido nítrico, NO, depende de la temperatura, cantidad de exceso de oxígeno y velocidad de enfriamiento de los gases. El producto inicial a alta temperatura es el óxido nítrico, pero al enfriarse gradualmente se oxida y se convierte en dióxido de nitrógeno, (NO<sub>2</sub>). Dado que en los gases de combustión siempre existe una mezcla de óxido nítrico y dióxido de nitrógeno, esta se conoce a menudo como NO<sub>x</sub>, en donde x tiene un valor entre 1 y 2.

Se estima que las actividades humanas producen unos 55 millones de toneladas métricas de óxido de nitrógeno al año, y mas o menos la mitad proviene de la combustión del carbón. El nitrógeno es por supuesto esencial para el crecimiento de las plantas. El ciclo del nitrógeno es parte fundamental de todos los procesos biológicos, y se estima que la cantidad de dióxido de nitrógeno liberada a la atmósfera por la actividad biológica natural es unas 15 veces la aportada por la contaminación industrial y los escapes de automóviles. Además, en muchas reacciones biológicas se liberan cantidades aún mayores de nitrógeno en la forma de amoníaco y óxido nitroso,(N<sub>2</sub>O). Por tanto, hasta donde se refiere a la cantidad total de óxidos de nitrógeno, las fuentes de contaminación no son muy importantes.

#### 4.5.4. Monóxido de carbono

Es el contaminante del aire, producido en mayores cantidades por la actividad humana, y sobre una base global supera en masa a todos los demás contaminantes del

aire juntos. La producción mundial de monóxido de carbono es de aproximadamente de 360 millones de toneladas métricas al año, de las cuales alrededor del 55 % provienen de las emisiones de vehículos automotores. El contenido de monóxido de carbono en la atmósfera es muy variable, y va de aproximadamente 1 a 70 ppm en áreas de acumulación, con breves niveles pico hasta de 140 ppm. Concentraciones mayores de 600 ppm puede causar náuseas, y la exposición prolongada a concentraciones mayores a 1000 ppm puede ser fatal.

#### **4.5.5. Aire necesario para la combustión de fuel oil y las mezclas con aceite usado**

En la mayoría de los procesos de combustión el oxígeno se suministra como aire y no como oxígeno puro. En la tabla 4.5.1. se presenta la composición química del aire seco.

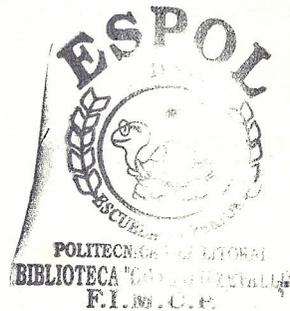




TABLA 4.5.1.

COMPOSICION QUIMICA DEL AIRE SECO			
	% en volumen (moles)	% en peso	Peso molecular (kg por kgmol)
Oxígeno	20,9	23,19	32,0
Nitrógeno	78,03	75,47	28,016
Argón	0,94	1,3	39,944
Anhidrido Carbónico	0,03	0,04	44,003
Hidrógeno	0,01	0,0	2,016
Aire seco	100	100	28,967

Para cálculos de ingeniería es aceptable utilizar los siguientes valores: 79% en volumen de  $N_2$  y 21% en volumen de  $O_2$ . En el proceso de combustión solo el oxígeno tiene valor, siendo el nitrógeno un diluyente y carga térmica que se calienta con la mezcla (combustible-oxígeno) y abandona los dispositivos de combustión llevándose energía.

Debe indicarse sin embargo, que a altas temperaturas se produce una reacción entre el nitrógeno y oxígeno formando óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ) en los gases de escape, los cuales son considerados contaminantes del aire.

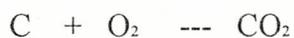
A continuación se detalla el análisis químico para determinar el volumen de aire necesario para combustionar completamente 100 gr. de fuel oil # 6.

- Del análisis típico del fuel oil # 6 de la refinería de Petropenínsula tenemos:

Carbono	85,5 gr.
Hidrógeno	12,34 gr.
Azufre	1,57 gr.
Nitrógeno	0,5 gr.
Cenizas	0,04 gr.
Agua y sedimentos	0,05 gr.

Los elementos que se van a combustionar son el carbono, hidrógeno y azufre

- Carbono:



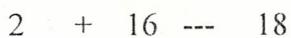
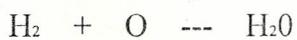
entonces



$$X = 85,5 * 32 / 12$$

$$X1 = 228 \text{ gr de O}$$

- Hidrógeno:



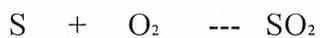
entonces



$$X = 12,34 * 16 / 2$$

$$X2 = 98,72 \text{ gr de O}$$

- Azufre:



$$32 + 32 \text{ --- } 64$$

entonces

$$32 \text{ gr S --- } 32 \text{ gr O}$$

$$1,57 \text{ gr S --- } X$$

$$X = 1,57 * 32 / 32$$

$$\mathbf{X3 = 1,57 \text{ gr de O}}$$

- El total de gramos de oxígeno sera:  $X1 + X2 + X3 = 329,07 \text{ gr de O}$

- Segun la ley de Avogadro:  $32 \text{ gr} = 22,4 \text{ lt}$  (a 0 C y 760 mm Hg)

Luego

$$32 \text{ gr --- } 22,4 \text{ lt}$$

$$329,07 \text{ gr O --- } X$$

$$X = 329,07 * 22,4 / 32$$

$$X = 230,35 \text{ lt de O}$$

$$\mathbf{X = 0,23 \text{ m}^3 \text{ de O}}$$

- Los componentes del aire son 21 % oxígeno 79 % nitrógeno, por lo tanto tenemos:

$$21 \% O \text{ --- } 100 \text{ Aire}$$

$$0,23 \text{ m}^3 O \text{ --- } X$$

$$X = 0,23 * 100 / 21$$

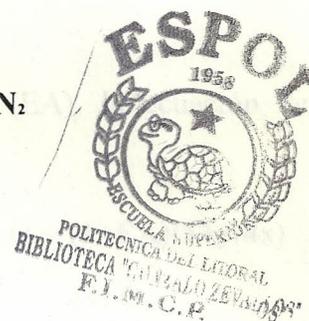
$$\mathbf{X = 1,09 \text{ m}^3 \text{ de aire}}$$

En la práctica es necesario dar un exceso de aire aproximadamente del 15 % para garantizar una combustión completa, por eso al valor teórico obtenido de 1,09 m<sup>3</sup> de aire necesario para combustionar 100 gr de fuel oil # 6 de la refinería La Libertad, le aumentamos el 15 % de exceso de aire. Por lo tanto el valor de aire total necesario para la combustión de 100 gr de fuel oil será de 1,25 m<sup>3</sup>.

Del análisis anterior se nota que los compuestos significativos para realizar el análisis del aire necesario para la combustión son el carbono e hidrógeno, debido a que la cantidad de aire necesaria para combustionar el azufre es insignificante y no influye en el resultado final. Por lo que no se analizará el azufre al plantear la fórmula química general para determinar el aire necesario para combustionar cualquier hidrocarburo (C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>).



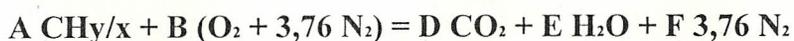
Antes de analizar la ecuación anterior se definirá la relación:



**Relación aire - combustible (a/c): Es el cociente entre la cantidad de aire suministrado en el proceso de combustión y la cantidad de combustible usado.**

Este parámetro se utiliza para indicar la riqueza o pobreza de una mezcla aire - combustible.

La ecuación de combustión estequiométrica completa en aire determinada por balance molar es:



igualando los átomos de los componentes a ambos lados de la ecuación, tenemos:

$$A = 1$$

$$B = (1 = y/4x)$$

$$D = A$$

$$E = y/2x$$

$$F = B$$

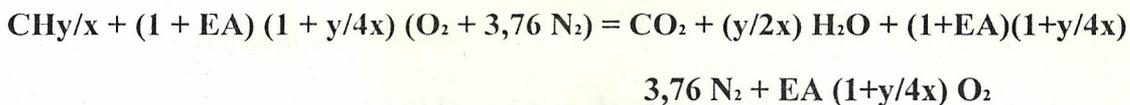
lo que nos da:



$$(a/c)_{\text{est.}} = 137,28 (1 + y/4x) / (12 + y/x)$$

donde 137,28 y 12 corresponden a los pesos moleculares del aire y del carbono respectivamente.

Si el proceso de combustión maneja un Exceso de Aire (EA), la ecuación de combustión completa esta dada por:



$$(a/c)_{\text{real}} = 137,28 (1 + y/4x) (1 + \text{EA}) / (12 + y/x)$$

De esta última expresión podemos obtener la relación aire - combustible real para cualquier hidrocarburo. Por lo que esta relación también es válida para las mezclas fuel oil # 6 con aceite usado. En la tabla 4.5.2. se muestran valores de utilidad práctica.

75

TABLA 4.5.2.			
VALORES DE LA RELACION AIRE-COMBUSTIBLE PARA DIFERENTES HIDROCARBUROS			
Formula	Combustible	y/x	(a/c)est.
C H4	Metano	4	17,16
C3H8	Propano	2,67	15,60
C4H10	Butano	2,50	15,40
C8H18	Octano	2,25	15,05
C12H26	Dodecano	2,16	14,92
C0,071 H0,123	Fuel Oil	1,73	14,32
C0,071 H0,123	Mezcla # 1	1,73	14,32
C0,071 H0,123	Mezcla # 2	1,73	14,32

Se puede concluir de la tabla anterior que la relación (a/c)est. para la mayoría de los combustibles fósiles de la forma  $CH_y/x$  es aproximadamente igual a 15, y que la adición de aceite usado al combustible fuel oil no hace variar la relación aire - combustible del producto final.

#### 4.6. Análisis económico

Una vez establecida la factibilidad técnica de mezclar el aceite usado con el fuel oil, para así evitar su eliminación directa al medio ambiente con consecuencias negativas descritas en capítulos anteriores, no podemos dejar de lado el análisis económico.

Se analizará la inversión necesaria para una empresa promedio de la industria ecuatoriana que tenga un consumo propio de lubricantes y que además cuente entre sus equipos utilitarios, con calderos que consuman combustible fuel oil.

#### 4.6.1. Inversión necesaria para la implementación del proyecto

La tabla 4.6.1. muestra los equipos necesarios para una industria que genera 150 galones por mes de aceite usado, provenientes de una pequeña flota de transportes propios y de su planta de producción. Además, se estima que esta industria consume 6000 galones al mes de fuel oil en sus calderas.

#### 4.6.2. Costo de horas de trabajo adicionales y costo de laboratorio

Para realizar esta operación, será necesario la utilización de horas adicionales de trabajo del personal, lo que involucra costos operativos adicionales. Se estima que un empleado utilizaría en el manipuleo de los aceites usados, operación de bomba de aceite, centrifugadora, agitador y limpieza de filtro, no más de 8 horas mensuales. Para el monitoreo periódico del aceite tratado, será necesario la contratación de un laboratorio.

En la tabla 4.6.2. se muestra el costo de las 8 horas utilizadas por un empleado de planta y el costo del análisis de una muestra de aceite usado en un laboratorio de lubricantes.



**TABLA 4.6.1.**

<b>COSTO DE INVERSION</b>	
Tanque de almacenamiento de aceite sin tratamiento (cap. 200 gal.)	\$100
Tanque para aceite tratado (cap. 200 gal.)	\$100
Bomba de aceite (con motor electrico y montaje)	\$300
Filtro de aceite (malla fina)	\$20
Maquina Centrifugadora	\$300
Agitador adaptado a tanque de Fuel Oil	\$100

**TABLA 4.6.2.**

<b>COSTO DE OPERACION Y LABORATORI</b>	
Sueldo de empleado de planta (8 horas)	\$15
Costo de análisis de muestra (una muestra / mes)	\$10



Sumando los costos mostrados en las tablas anteriores tenemos \$ 920,00 de inversión necesaria, mas un gasto de \$ 25,00 por mes.

**4.6.3. Razón beneficio-costo**

Dejando a un lado el indiscutible beneficio de evitar la contaminación de la naturaleza mediante la eliminación directa al medio ambiente del aceite usado, a continuación se analizarán, los beneficios económicos del ahorro de un 2% en el consumo de fuel oil, porcentaje de mezcla recomendado como lo más moderado y conservador, que asegura una dilución adecuada del aceite usado en el fuel oil.

En la tabla 4.6.3.1. se muestra el ahorro de dinero, por ahorro de combustible en una industria que consume 6000 gal. de fuel oil al mes

**TABLA 4.6.3.1.**

<b>AHORRO DE COMBUSTIBLE EN DOLARES</b>	
Ahorro de 2% de combustible equivalente a	120 gal.
Precio de fuel oil en Diciembre / 95	S/. 1700/gal.
Ahorro mensual en fuel oil # 6	\$70



Si analizamos la razón beneficio-costo, B/C, considerando los datos de las tablas 4.6.1., 4.6.2. y 4.6.3.1. tendremos el siguiente resultado:

$$B/C = \text{ahorro} / \text{costo}$$

$$B/C = \$70 / \$25$$

$$B/C = 2,8$$

Este resultado nos demuestra que sería una inversión totalmente provechosa, si no consideramos el costo de la inversión inicial, la cual se pagaría en 20 meses de operación.

En la tabla 4.6.3.2. se muestra el balance del proyecto para el caso citado.

TABLA 4.6.3.2.	
BALANCE DE PROYECTO (para el caso citado)	
Inversión	\$920
Operación mensual	\$25
Ahorro mensual	\$70

Analizando la tabla anterior tenemos una inversión de \$ 920 y una operación mensual de \$ 25 contra un ahorro mensual en combustible de \$ 70, lo cual pagaría la inversión necesaria en un plazo de aproximadamente 20 meses de operación.

Lo importante de este proyecto no es el negocio que se pueda hacer con este ahorro a mediano plazo de valores no tan significativos, sino está el beneficio económico adicional al no descargar el aceite usado al medio ambiente, que es muy difícil estimar pero que es mucho mayor que el costo de inversión y operación planteados.

Debe existir un compromiso del empresario a contribuir con este pequeño aporte a la preservación del medio ambiente en que vivimos. En algunos países desarrollados como Estados Unidos y Alemania esta contribución, solicitada en esta tesis al empresario ecuatoriano, ya no tiene mas el carácter de contribución, sino es ya una obligación, la eliminación planificada del aceite usado por medio de uno de los métodos sugeridos.





## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los volúmenes de aceite usado, generados en Ecuador, que se estima son depositados directamente en el medio ambiente, corresponden aproximadamente al 53 % del total de lubricantes vendidos en un año. Comparando esta cifra contra lo que sucede en Estados Unidos, donde según el estudio realizado por Temple, Barker and Sloane, Inc., para la Agencia de Protección Ambiental (E.P.A.), muestra que el aceite usado depositado directamente en el medio ambiente corresponde a un 17 % del volumen de lubricantes vendido anualmente en ese país. Esta comparación nos muestra lo ineficientes que somos en Ecuador para buscar alternativas de desecho del aceite usado, sumado a la falta de recursos económicos y tecnológicos para llevar adelante grandes inversiones en el campo de refinerías ambientales o procesos de reciclaje del aceite usado descritos en esta tesis. Es por esto que el aprovechamiento del aceite usado mezclándolo con fuel oil # 6 en proporciones controladas es la alternativa que a mi juicio puede llevar a cabo la industria ecuatoriana.

En nuestro país se producen anualmente, para consumo interno, aproximadamente 7'900.000 barriles de fuel oil # 6 (331'800.000 galones) y se generan alrededor de 8'700.000 galones de aceite usado por año, que equivale al 2,6 % de fuel oil # 6 producido. Esto nos indica que aún en el caso hipotético de que se pueda recolectar todo el aceite usado generado en un año en nuestro país y mezclarlo con fuel oil # 6 siguiendo las indicaciones desarrolladas en esta tesis, esta alternativa no daría una solución definitiva al destino final del aceite usado. Por lo que tendría que ser

complementada con otras alternativas para cumplir con la necesidad de evitar la eliminación directa del aceite usado al medio ambiente.

El impacto ambiental, que la mezcla del aceite usado con fuel oil # 6 para uso como combustible ocasione, puede ser discutida y debatida, pero de ninguna manera será una acción cuyo impacto sea mayor a la eliminación directa del aceite usado en el medio ambiente. Es por esto que la implementación de esta medida (mezcla aceite usado-fuel oil) es un aporte significativo al control de la contaminación ambiental.

La incineración del aceite usado es también una de las acciones mas apropiadas, pero la implementación de hornos incineradores de altas temperaturas, donde el único fin es destruir, incinerar, sin ningún aprovechamiento de la inversión, en términos de retorno de capital, creo que sea poco atractivo en nuestro medio, a menos que se implemente alguna ley que obligue en ese sentido. La misma acción de incinerar a altas temperaturas se la puede realizar en hornos ya existentes construidos para otros fines. En nuestro país se ha identificado la existencia de estos hornos en las plantas cementeras, el costo de implementar un sistema de recolección y transporte sería muy elevado, pero no deja de ser una de las alternativas menos discutidas en términos de contaminación ambiental.

Finalmente menciono nuevamente un párrafo del desarrollo de esta tesis: dado que toda actividad humana debe causar alguna contaminación, carece de sentido hablar de un nivel cero de esta. La meta de cualquier programa de control de contaminación debe ser determinar un nivel óptimo de tal efecto: el punto en el que los beneficios para la sociedad provenientes de la actividad propuesta sobrepasen a los efectos nocivos de la contaminación inevitable que resulta.



## BIBLIOGRAFIA

1. SHELL INTERNATIONAL PETROLEUM COMPANY, The Shell Oils Tutor, London, 1991.
2. SHELL INTERNATIONAL PETROLEUM COMPANY, Lubricants Environmental Study: Options for Used Oil, London, 1992.
3. SHELL INTERNATIONAL PETROLEUM COMPANY, The Cement Kiln Option, London, 1993.
4. SHELL MARINE SERVICE WORLDWIDE, Know Your Fuels, London, 1991.
5. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, Study by Temple, Barker and Sloane, Inc., Estados Unidos, 1989.
6. SINGER, F., The Changing Global Environment, D Reidel, Boston, 1975.
7. NELSON, W., Petroleum Refinery Engineering, McGraw-Hill, New York, 1986.
8. KEMPE'S, Engineering Yearbook, Morgan Grompium, London, 1980.