

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO, Y GAS
NATURAL PETROQUIMICA**



**DISEÑO DE PLANTA PILOTO PARA DESARROLLAR
TECNOLOGÍA DE EXTRACCIÓN CON SOLVENTE PARA
TRATAMIENTO DE ACEITES USADOS**

**TITULACIÓN POR ACTUALIZACIÓN DE CONOCIMIENTOS PARA
OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
PETROQUÍMICO**

ELABORADO POR:

CECILIA DEL PILAR VILLANUEVA TORRES

PROMOCION 2000 - 0

LIMA – PERU

2005

INDICE

	Página
CAPÍTULO 1. <u>RESUMEN</u>	01
CAPITULO 2. <u>INTRODUCCIÓN</u>	02
2.1 Antecedentes.	02
2.2 Objetivos del Estudio.	03
CAPÍTULO 3. <u>REVISION BIBLIOGRAFICA</u>	04
3.1 Aceites Lubricantes.	04
3.1.1. Definición.	04
3.1.2. Clasificación de los Aceites Lubricantes.	04
3.1.3. Manufactura de los Aceites Lubricantes.	05
3.1.4. Características Físicas y Químicas de los Aceites Lubricantes.	06
3.1.5. Aceite Base.	07
3.1.6. Fabricación de los Aceite Base.	10
3.1.7. Aditivos.	13
3.1.7.1 Tipos de Aditivos Utilizados.	13
3.2 Aceites Usados.	16
3.2.1. Características de los Aceites Usados.	16
3.2.2. Contaminantes de los Aceites Usados.	18
3.2.3. Degradación en los Aceites Usados.	19
3.2.4. Posibles Usos de los Aceites Usados.	19
3.3 Industria del Aceite Usado en el Mundo.	20
3.4 Alternativas de Tratamiento de Aceites Usados.	22
3.5 Tecnologías de Regeneración de Aceites Usados.	24
CAPÍTULO 4. <u>EVALUACIÓN TÉCNICA DEL PROCESO SELECCIONADO</u>	28
4.1 Sistema Actual del Proceso de Regeneración de Aceites Usados en el Perú.	28
4.2 Selección del Proceso de Regeneración de Aceites Usados.	29
4.3 Tecnología de Extracción con Solvente.	29
4.3.1 Descripción.	29
4.3.2 Selección del Solvente.	31
4.4 Justificación de la Tecnología Seleccionada.	33
4.5 Diseño de una Unidad a Escala Piloto.	34
4.5.1 Estimación del Tamaño de Planta.	34
4.5.2 Asunciones de Diseño.	34

4.5.1	Estimación del Tamaño de Planta.	34
4.5.2	Asunciones de Diseño.	34
4.5.3	Descripción del Proceso.	35
4.5.4	Equipos.	39
4.6	Pruebas en la Planta Piloto.	40
4.7	Determinación de la Carga a Tratar.	41
4.8	Propiedades Físicas de la Base Obtenida.	41
4.9	Impacto Ambiental.	42
CAPÍTULO 5.	<u>EVALUACIÓN ECONÓMICA A NIVEL DE PERFIL DEL PROCESO DE REGENERACION DE ACEITES USADOS</u>	44
5.1	Estudio de Mercado.	44
5.2	Estimado de la Inversión Económica.	47
5.3	Costos Operativos.	48
5.4	Comparación de Costos de Aceite Base.	49
CAPÍTULO 6.	<u>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</u>	50
6.1	Conclusiones	50
6.2	Recomendaciones.	52
BIBLIOGRAFÍA.		53
ANEXO.		55

Cuadros

	Página
CUADRO 1. Principales Propiedades de los Distintos Aceites Base.	09
CUADRO 2. Aplicaciones de los Aditivos.	15
CUADRO 3. Rango de Variación de las Características más Importantes de los Aceites Usados procedentes del Sector Automotriz.	17
CUADRO 4. Alternativas de Tratamiento de Diferentes Aceites Usados.	23
CUADRO 5. Descripción de las Principales Tecnologías de Regeneración De Aceites Usados.	25
CUADRO 6. Nuevas Opciones de Regeneración en Vías de Desarrollo.	27
CUADRO 7. Propiedades Físico-Químicas del Propano.	32
CUADRO 8. Lista de Equipos.	39
CUADRO 9. Propiedades Físicas de un Aceite Base Regenerado.	42
CUADRO 10. Demanda Nacional de Aceites Lubricantes (MBLS).	44
CUADRO 11. Producción de Aceites Lubricantes por Tipo de Aceite: 1990 – 1999 (MBLS).	46
CUADRO 12. Estimación del Capital Básico de Inversión para Instalación De una Planta Piloto de Tratamiento de Aceites Usados por Extracción con Solvente.	47
CUADRO 13. Precio de Compra de Materia Prima.	48
CUADRO 14. Estimación de los Costos Básicos de Procesamiento por Galón De Aceite Base Regenerado.	48
CUADRO 15. Costos de Bases Lubricantes: Importación CIF.	49

Figuras

	Página
FIGURA 1. Proceso de Refino del Petróleo para obtener los Aceites Base.	08
FIGURA 2. Proceso de Separación del Aceite Lubricante.	10
FIGURA 3. Procesamiento del Aceite Base.	11
FIGURA 4. Ilustración Simplificada del Proceso de Desasfaltado con Propano.	12
FIGURA 5. Cambio de Aceite Usado procedente del Automóvil.	16
FIGURA 6. Diagrama de Flujo de la Tecnología de Extracción con Solvente.	30
FIGURA 7. Productos obtenidos de diferentes Etapas del Proceso Interline: Extracción con Propano.	33
FIGURA 8. Diagrama de Flujo del Tratamiento de Aceite Usado con Solvente.	37
FIGURA 9. Diagrama de Instrumentación y Tuberías del Tratamiento de Aceite Usado con Solvente.	38
FIGURA 10. Gráfico de la Demanda Nacional de Aceites Lubricantes: 1990 – 2004 (MBLs)	45

CAPITULO 1

RESUMEN

Los aceites lubricantes usados, tanto de procedencia industrial como los empleados en automoción, constituyen en la actualidad uno de los principales residuos tóxicos y peligrosos, debido a su contenido en metales pesados y su capacidad de contaminación del medio ambiente. En el Perú no existe una política de regeneración de aceites usados, el cual es utilizado muchas veces como combustible, se desecha o se reutiliza.

Es por ello que en la búsqueda de un proceso de Regeneración de Aceites Usados que por su desarrollo, pudiera hacer viable la instalación de una Planta a Escala Industrial, se han revisado y evaluado 4 tipos de alternativas para la gestión de aceites usados:

1. 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.
2. Los Procedimientos de Reciclaje a combustible, utilizable en motores diesel de generación eléctrica.
3. La valorización energética como fuel óleo industrial ya sea por combustión directa o con pre-tratamiento del agua (separación de agua y sedimentos).
4. La valorización energética como combustible en hornos.

Cada una de las alternativas generales mencionadas, presentan a su vez múltiples alternativas técnicas para llevar a cabo cada operación de regeneración o reciclaje.

La opción de regeneración a bases lubricantes a partir de aceites usados de procedencia automotriz utilizando la tecnología de extracción con solvente es seleccionado como un proceso idóneo para la realidad peruana. Este informe presenta en base a la investigación desarrollada, el **Diseño de una Planta de Tratamiento de Aceites Usados a Escala Piloto** usando **la Tecnología de Extracción con Solvente** para producir un aceite base mejorado. Se determina el tamaño adecuado de la Unidad a Escala Piloto y se desarrolla una Evaluación Económica a Nivel de Perfil.

CAPITULO 2

INTRODUCCION

2.1 ANTECEDENTES

Durante el servicio, los aceites lubricantes nuevos pierden lentamente sus cualidades lubricantes debido a que sufren cambios en sus propiedades físicas y químicas, dando así finalmente el aceite lubricante usado. Dichos cambios se deben a la contaminación y degradación del aceite y aditivos que lo componen. La rapidez con que se degrada un aceite, depende de varios factores tales como: composición química del aceite y del combustible, el estado del motor y las condiciones de trabajo.

Los aceites minerales lubricantes usados, constituyen un agente contaminante de consideración, si se tiene en cuenta la cantidad anual vertida al medio ambiente y su difícil destrucción por medios naturales.

Actualmente, el aceite lubricante usado es empleado en grandes cantidades como combustible para los hornos de las ladrilleras y compañías de cemento, ocasionado de esta forma, un grave problema de contaminación atmosférica al verterse a la atmósfera grandes cantidades de gases y sustancias tóxicas.

La tecnología de tratamiento seleccionada y presentada en este informe, sólo o en combinación con la etapa de Hidrotratamiento, tiene el potencial de reducir significativamente las impurezas en el producto comúnmente producido por el procesamiento o tratamiento del aceite usado. Este producto regenerado podrá ser usado como un aceite base de alto valor. La tecnología de extracción con solvente, ya está siendo utilizada satisfactoriamente en Europa como una unidad a gran escala para producir aceite lubricante a partir de aceite usado.

2.2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO

- a. Determinar los Parámetros del Proceso para desarrollar y guiar el Diseño de una Planta de Tratamiento con Solvente a Escala Piloto.
- b. Diseñar una configuración de Planta a Escala Piloto para producir satisfactoriamente suficientes cantidades de aceite regenerado como producto.
- c. Determinar la viabilidad o no del proceso seleccionado de acuerdo a los Costos de Inversión estimados.

Como fase subsiguiente del proyecto, se podría incluir la construcción de una Unidad a Escala Piloto. Sobre la construcción, los objetivos del proyecto podrían extenderse a una etapa de demostración de la tecnología propuesta incluyendo:

- i. Pruebas en la Planta Piloto variando parámetros de operación, procesando diferentes calidades de carga, etc.
- ii. Pruebas de las características físicas y químicas del producto final.
- iii. Determinación de la aceptación en el mercado de los productos obtenidos.
- iv. Diseño de una Unidad a Escala Industrial.

CAPITULO 3

REVISION BIBLIOGRAFICA

3.1 ACEITES LUBRICANTES

3.1.1 DEFINICION DE ACEITE LUBRICANTE

Un Aceite Lubricante consiste en uno o más de un componente base (aceites básicos) en combinación con aditivos químicos que refuerzan las propiedades de los Aceites Base y / o adicionan características especiales a estos. El tipo específico de aditivos que se escoge y su proporción difiere según el tipo de servicio para el cual está destinado el lubricante ^{1,2}.

Las principales funciones de un aceite lubricante son:

- Reducción de la Fricción.
- Disipación del calor.
- Retención y suspensión de contaminantes.

3.1.2 CLASIFICACION DE LOS ACEITES LUBRICANTES

1. **ACEITES ORGÁNICOS.** Se extraen de animales y vegetales. Cuando aún no se conocía el petróleo, eran los únicos utilizados; hoy en día se emplean mezclados con los aceites minerales impartiendo ciertas propiedades tales como adherencia y pegajosidad a las superficies. Estos aceites se descomponen fácilmente con el calor y a temperaturas bajas se oxidan formando gomas, haciendo inútil su utilización en la lubricación ³.
2. **ACEITES SINTÉTICOS.** Los aceites sintéticos no tienen su origen directo del crudo o petróleo, sino que son creados de sub.-productos petrolíferos

combinados en procesos de laboratorio. Al ser más largo y complejo su elaboración, resultan más caros que los aceites minerales. Dentro de los aceites sintéticos, estos se pueden clasificar en:

- Oligomeros Olefínicos.
- Esteres Orgánicos.
- Poliglicoles.
- Fosfato Esteres.

3. ACEITES MINERALES. Proceden del Petróleo y son elaborados del mismo después de múltiples procesos en sus plantas de producción, en las Refinerías. El petróleo bruto tiene diferentes componentes que lo hace indicado para distintos tipos de producto final, siendo el crudo parafínico el más adecuado para obtener Aceites^{3,4}

3.1.3 MANUFACTURA DE LOS ACEITES LUBRICANTES

Básicamente es la mezcla (**Blending**) de aceites base y los aditivos necesarios. Las proporciones de los componentes en el mezclado están basadas en formulaciones exactas determinadas a nivel de laboratorio, en función de recomendaciones de los productores internacionales de aceites básicos y aditivos para cumplir con las especificaciones y aprobaciones de los fabricantes de equipo.

El mezclado de la mayoría de los lubricantes deben ser efectuadas a temperaturas relativamente bajas (120 – 140 °F), generalmente se usa la cantidad de calor necesaria para controlar y completar la operación de mezclado en el mínimo tiempo.

3.1.4 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS ACEITES LUBRICANTES

1. **VISCOSIDAD** .- Es la propiedad más importante de los aceites lubricantes, ya que todo aceite está clasificado según su viscosidad. Para determinar la viscosidad se usa el Método ASTM D – 445 “Viscosidad Cinemática de Líquidos Transparentes y Opacos”.
2. **COLOR** .- La determinación del color de productos lubricantes se usa principalmente para propósitos de color de manufactura y es una importante característica de calidad puesto que el color es prontamente observado por el usuario del producto. En algunos casos el color puede servir como una indicación de contaminación con otro producto, cuando el color determinado esta fuera del rango de color especificado. Para determinar el color se usa el método ASTM D – 1500 “Color ASTM de Productos de Petróleo”. Sin embargo el color no siempre es una guía confiable de la calidad del producto y no debe usarse indiscriminadamente en las especificaciones de productos.
3. **DENSIDAD Y GRAVEDAD** .- La densidad de una sustancia esta definida como la masa por una unidad de volumen, a una temperatura estándar. La gravedad específica (Densidad Relativa) es la razón de densidad entre la densidad de la sustancia y la densidad del agua a una temperatura determinada. La gravedad API es una función especial de la gravedad específica y se define:

$$\text{GRAVEDAD API} = \frac{141.5}{\text{Sp. gr } 60 / 60^{\circ} \text{ F}} - 131.5$$

La determinación de la Gravedad API de los aceites lubricantes es para convertir el volumen a temperatura estándar de 60 °F. La gravedad API se determina con el método ASTM D – 287 “Gravedad API de Petróleo Crudo y Productos de Petróleo (Método del Hidrómetro)”.

4. **NUMERO DE BASE TOTAL (TBN)** .- Definido como la cantidad de ácido perclórico expresado en términos del número equivalente de miligramos de Hidróxido de Potasio necesarios para neutralizar todos los componentes básicos presentes en un gramo de muestra. El TBN se usa como guía en el control de calidad de formulaciones de aceites lubricantes, ya que nos indica indirectamente la cantidad de aditivo que lleva dicha formulación, también es usado como una medida de la degradación del lubricante en servicio. El Método ASTM D – 2896 “Número de Base Total de Productos de Petróleo por Titulación

Potenciométrica con Ácido Perclórico”, es el usado para determinar el TBN de Aceites Lubricantes para motor y Aceites Marinos principalmente.

5. **PUNTO DE INFLAMACIÓN** .- El punto de inflamación de un aceite es la temperatura a la cual el aceite libera suficiente vapor, a la superficie de ignición se aplica una llama.

El punto de inflamación es afectado por el tipo de crudo, así tenemos que para aceites nafténicos el punto de inflamación es menor que el de un aceite parafínico de similar viscosidad.

El método ASTM D – 92 “Punto de Inflamación con la Copa Abierta Cleveland” es usado para determinar el punto de inflamación.

6. **CENIZAS SULFATADAS** .- Las cenizas sulfatadas pueden ser usadas para indicar la concentración de un metal conocido en aceites nuevos conteniendo aditivos.

Cuando el Fósforo esta ausente, el Bario, Calcio, Magnesio, Sodio y Potasio son convertidos a sus sulfatos y el estaño y Zinc a sus óxidos. El Azufre y el Cloro no interfieren pero cuando el Fósforo esta presente con metales, permanece parcialmente o totalmente en las cenizas sulfatadas como Fosfatos metálicos. Para determinar las cenizas sulfatadas de un aceite lubricante se utiliza el Método ASTM D – 874 “ Cenizas Sulfatadas de Aceites Lubricantes y Aditivos”.

7. **PUNTO DE ESCURRIMIENTO** .- Es la más baja temperatura, expresada en múltiplos de 5°F (3°C) a la cual se observa que el aceite fluye cuando es enfriado y examinado bajo condiciones prescritas.

Muchos aceites contienen ceras disueltas, cuando el aceite es enfriado, estas ceras empiezan a separarse en cristales, y estos cristales se juntan formando una estructura rígida, que atrapa el aceite en pequeños paquetes en la estructura.

Esta prueba se realiza para los aceites que van a trabajar en condiciones severas donde el clima es extremadamente frío.

Para determinar esta característica se utiliza el método ASTM D – 97 “Punto de Ecurrimiento de Aceites de Petróleo (Pour Point)”.

3.1.5 ACEITE BASE

Partiendo del petróleo, el aceite base se consigue con un proceso de refino, los componentes resinosos o asfálticos son separados del producto, dejando solamente lo que nos interesa del mismo. La Fig. 1 es una ilustración simplificada del Proceso de Refino del Petróleo Crudo para obtener los Aceites Base.

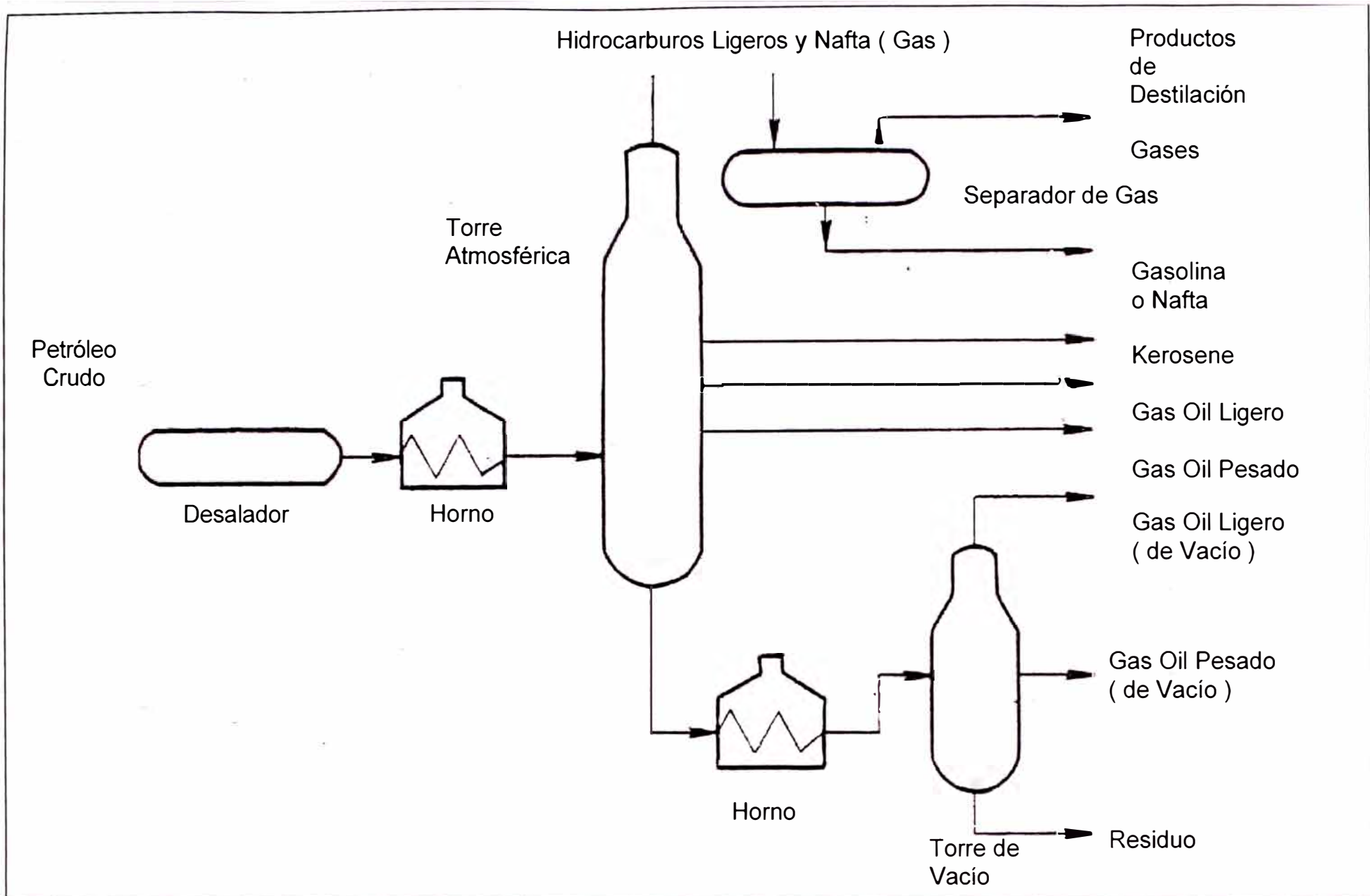


Fig. 1 Proceso de Refino del Petróleo Crudo para obtener los Aceites Base

Los aceites base se clasifican según la naturaleza química del petróleo crudo, pudiendo ser estas:

- Naturaleza Parafínica.
- Naturaleza Nafténica.
- Naturaleza Aromática.

Las principales propiedades de los distintos aceites base se detallan en el Cuadro 1.

Cuadro 1

PRINCIPALES PROPIEDADES DE LOS DISTINTOS ACEITES BASE

BASE PARAFINICA	BASE NAFTENICA	BASE AROMATICA
Densidad Baja (0.80 – 0.89)	Densidad Alta (> 0.9)	Densidad muy Alta
I.V. muy elevados (aprox. 100)	I.V. bajas (40 – 60)	I.V. muy bajos
Poca volatilidad	Volatilidad Media	Gran volatilidad
P. I. Elevados	P.I. Medianos	P.I. Bajos
Oxidación retardada	Mayor oxidación, corrosión en caliente	Gran Oxidabilidad
Bajo Poder Disolvente	Mediano Poder Disolvente	Alto Poder Disolvente
Gran Estabilidad Química	Mediana Estabilidad Química	Sin Estabilidad Química

I.V.: Índice de Viscosidad.
PAI.: Punto de Inflamación.

3.1.6 FABRICACION DE ACEITES BASE

La manufactura de una base lubricante consiste de una serie de procesos de separación los cuales remueven componentes indeseables de la alimentación obteniéndose una base lubricante que encuentra los requerimientos de performance.

Casi todos los procesos usados en las refinerías para producir la base lubricante son procesos de separación, es decir, los procesos operan por división de la alimentación, el cual es una mezcla compleja de compuestos químicos en productos - usualmente dos productos. Así aunque los mismos productos son mezclas complejas, los compuestos en cada uno de los productos son similares en propiedades físicas o químicas.

Este concepto de procesos de separación es básico para entender la manufactura de la base lubricante. Un simple diagrama de un proceso de separación es mostrado en la Fig. 2

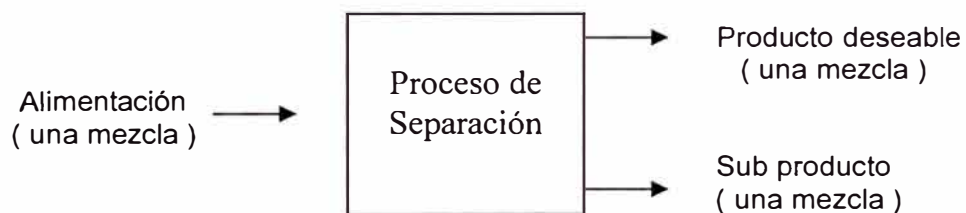


Fig. 2. Proceso de Separación del Aceite Lubricante.

Un diagrama de Flujo simplificado (Fig. 3) indica los 5 procesos de refinación de la base lubricante.

1. Destilación al Vacío.
2. Desasfaltado con Propano.
3. Extracción con Furfural.
4. Desparafinado con Metil Etil Cetona (MEK).
5. Hidrotratamiento.

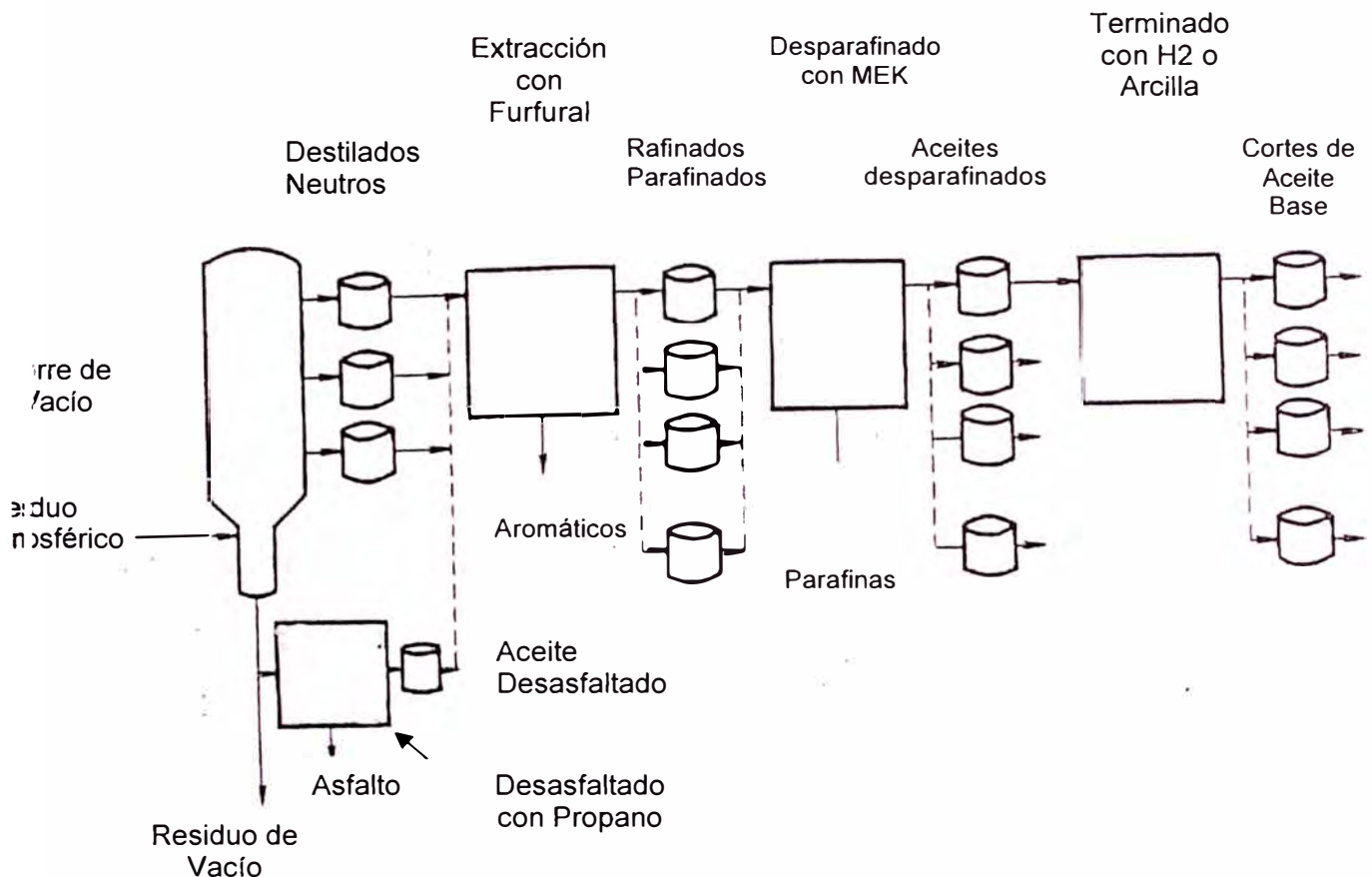


Fig. 3. Procesamiento del Aceite Base

Los primeros cuatro ítem son procesos de separación. El quinto, Hidrotratamiento, es una reacción catalítica con Hidrógeno para decolorar al aceite base. El propósito de estos procesos es remover materiales indeseables en el producto final⁵.

1. **Destilación al Vacío.** Considerado el primer proceso en la manufactura del aceite base. El residuo de la Columna de Destilación Atmosférica es la alimentación de la Columna de Destilación al Vacío. Esta fracción hierve entre 650 °F (340 °C) y 700 °F (371 °C). En esta columna se obtienen los destilados de vacío que originarán los aceites base tras el conveniente tratamiento⁵
2. **Desasfaltado con Propano.** Trata el residuo de vacío proveniente de la columna de destilación al vacío mediante un proceso de extracción líquido / líquido cuyo disolvente es el propano líquido. De esta extracción resulta un aceite desasfaltado (bright stock) y un residuo asfáltico. El primero se somete a diversos tratamientos, obteniéndose el aceite base correspondiente; el segundo se utiliza en la producción de betunes o se

incorpora al fuelóleo. La Fig. 4 es una ilustración simplificada del Proceso de Desasfaltado con Propano.

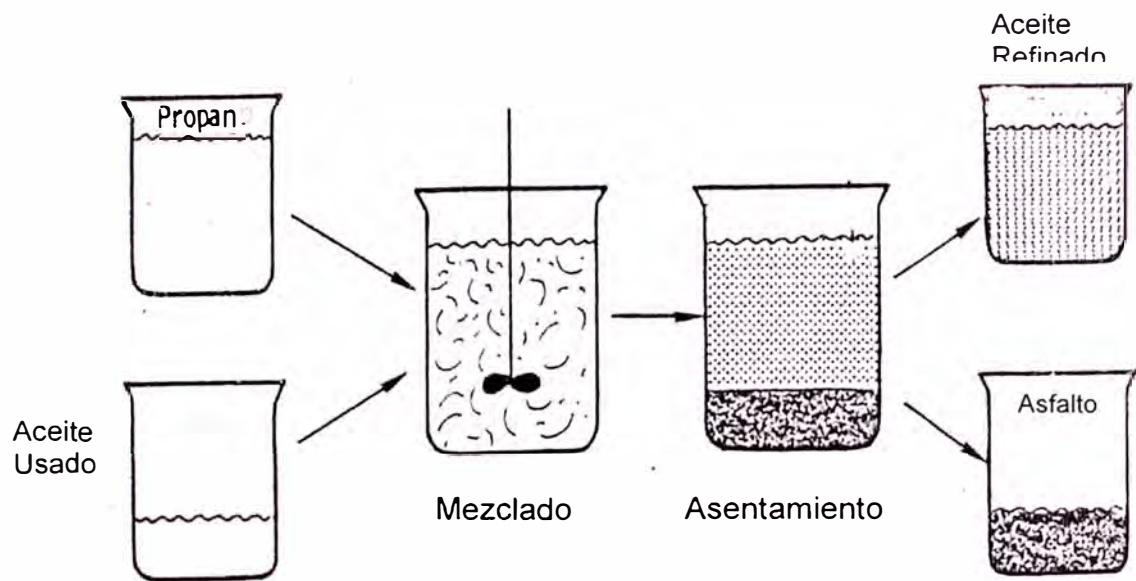


Fig. 4. Ilustración Simplificada del Proceso de Desasfaltado con Propano.

- 3. Extracción de Aromáticos con Furfural.** Los destilados de vacío y el desasfaltado, provenientes de la unidad de destilación al vacío y de la unidad de desasfaltado con propano, se someten a un proceso de extracción líquido / líquido cuyo disolvente es el furfural, para obtener aceites refinados con un índice de viscosidad elevado. Los extractos resultantes de este proceso de tratamiento, ricos en hidrocarburos aromáticos, se pueden comercializar como componentes en la prod Asfalto de betunes ⁵
- 4. Desparafinado con MEK.** Extrae de los refinados / destilados las parafinas de punto de fusión elevados, de modo que se obtienen aceites desparafinados con bajos puntos de fusión utilizables a bajas temperaturas. El proceso de tratamiento en esta unidad utiliza un disolvente mixto constituido por MEK (metil etil cetona) y tolueno. Las parafinas que se obtienen en la etapa de desparafinación son posteriormente fraccionadas, originando dos tipos de parafinas: duras y blandas. Las parafinas duras se someterán a un tratamiento posterior de refinación y las parafinas blandas se comercializan como especialidades o como componente en el fuelóleo ⁵
- 5. Hidrotratamiento.** Trata por Hidrogenación, los aceites desparafinados en presencia de un catalizador apropiado para garantizar las adecuadas características de color, estabilidad térmica y oxidación, necesarias en el producto final de esta fábrica: el Aceite Base ⁵

3.1.7 ADITIVOS

Los aditivos son productos químicos que se añaden al aceite base para aumentar determinadas propiedades útiles o para dar otras que no tienen. 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 funciones que cumplir, clasificándose al respecto como uni o multifuncionales.

3.1.7.1 TIPOS DE ADITIVOS UTILIZADOS

1. **Mejoradores del Índice de Viscosidad.** Limita la variación de la viscosidad del aceite lubricante en función de su temperatura. La acción de estos aditivos sobre el aceite se traduce en un espesamiento general del aceite más pronunciado a temperaturas elevadas, que se traducen en un aumento del Índice de Viscosidad. Los compuestos químicos utilizados para formular este tipo de aditivos son poli metacrilatos y copolímeros, poliacrilatos, poliestirenos y polímeros olefinicos.
2. **Detergentes.** Utilizados en aceites de motores, su papel es químico (neutralizante) y físico-químico (dispersante). Actúan como dispersantes de los productos de combustión y neutralizan la formación de acidez corrosiva proveniente de la combustión normal o de la oxidación del azufre del combustible que provoca la formación de anhídrido sulfúrico. Los componentes químicos más usados actualmente con este propósito son sulfonatos, fosfonatos, tiofosfonatos, fenatos y salicilatos alquílicos.
3. **Antioxidantes de Altas Temperaturas.** Su finalidad consiste en disminuir la oxidación de un aceite y proteger las piezas que están en movimiento (cojinetes) contra la corrosión. Pertenecen a este grupo compuestos de la familia de los ditiofosfatos de zinc, fenoles bloqueados y aminas.
4. **Aditivos de Extrema Presión.** Confieren al aceite propiedades antisoldaduras necesarias en la lubricación de engranajes en carter cerrado en los que se desarrollan elevadas presiones, evitando así el gripaje o soldadura por la formación de dos películas protectoras que resultan de la liberación de azufre o fósforo del aditivo a consecuencia de la temperatura.

Los compuestos químicos clásicos son compuestos orgánicos que contienen azufre, halógenos (Cl), fósforo, Carboxilos o carboxilatos; Naftenato de plomo y aceites grasos sulfurizados.

5. **Aditivos Mejoradores del Punto de Congelación.** La creación de estos aditivos se centra en obtener un punto de congelación bajo, para que los aceites fluyan a bajas temperaturas.
El aditivo rodea los microcristales de parafina, evitando la formación de otros mayores y consiguiéndose, por lo tanto, un punto de congelación más bajo. Los compuestos químicos clásicos para formular este tipo de aditivos son polímeros y copolímeros de alquilmacrilatos, poliácridamidas, copolímeros de vinil carboxilato y poliestireno alquilado.
6. **Antiespumantes.** Impiden la formación de una espuma estable cuando el aceite es agitado en contacto con el aire. El mecanismo de acción de estos productos es favorecer la unión de las burbujas de gas y la ruptura de las películas de aceite que las rodean.
Pertenece a este tipo de aditivos las siliconas.
7. **Dispersantes.** Mantiene los residuos procedentes de la combustión sin aglomerarse y sin que se depositen en el motor.
Los aditivos dispersantes pueden ser de Naturaleza Orgánica los cuales no dejan residuos al quemarse (sin ceniza), tales como copolímeros, amidas, succinamidas, ésteres y aminas; de naturaleza Órgano-Metálico tales como sulfonatos y salicilatos de calcio y magnesio.
8. **Inhibidores de la Corrosión.** Protegen los cojinetes y las superficies metálicas contra ataques químicos. A este grupo pertenecen compuestos tipo ditiofosfatos y ditiocarbonatos metálicos especialmente de zinc, terpenos sulfonizados y terpenos fosfosulfurizados.
9. **Agentes Alcalinos.** Neutralizan los ácidos presentes en el aceite formando sales inertes que previenen la oxidación del propio aceite.
A este grupo de aditivos pertenecen los compuestos tipo sulfonatos, silicatos de calcio y magnesio, siliconas y copolímeros orgánicos.

El Cuadro 2 muestra las principales Aplicaciones de los Aditivos mencionados.

Cuadro 2

APLICACIONES DE LOS ADITIVOS

Tipo de Aditivo	Tipo de Aceite Lubricante						
	Aceite de Motor	Aceite de Transmisión	Aceite de Ejes	Aceite Hidráulico	Aceite de Engranajes	Aceite de Turbinas	Otros Lubricantes
Detergente	X						
Dispersante	X	X					
Antioxidante	X	X	X	X	X	X	X
Antidesgaste	X	X	X	X	X		
Antiherrumbre	X			X	X	X	
Inhibidor de corrosión	X	X	X				X
Modificador de fricción		X	X				X
De extrema presión			X		X		X
Antiespumante	X	X	X	X	X	X	X
Mejorador de Viscosidad	X	X					
Reductor del punto de fluidez	X	X	X				
Mejorador de sellado		X					

3.2 ACEITES USADOS

3.2.1 CARACTERISTICAS DE LOS ACEITES USADOS

Un aceite lubricante usado es un líquido de aspecto negro y viscoso cuyas características han cambiado con respecto al aceite original. Las propiedades de los aceites usados dependen prioritariamente de las bases lubricantes de las cuales se derivan, de los aditivos adicionados para mejorar la viscosidad, el poder detergente y la resistencia a altas temperaturas. Además, como resultado del servicio prestado, contiene sólidos, metales y productos orgánicos ⁶. En la Fig. 5 se muestra el aspecto de un aceite usado.



Fig.5. Cambio de aceite usado procedente de automóvil.

Los aceites usados de procedencia automotriz presentan características típicas como las que se señalan en el Cuadro 3.⁷

Cuadro 3

RANGO DE VARIACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS MÁS IMPORTANTES DE LOS ACEITES USADOS PROCEDENTES DEL SECTOR AUTOMOTRIZ

PROPIEDAD	VALOR
Viscosidad (Csk) 40 °C 100 °C	19 – 434 4 – 30
Índice de Viscosidad	90 - 120
Peso Específico (15/15)	0.82 – 0.94
Gravedad a 15.6 °C, ° API	19 - 22
Color (ASTM)	2 – 8
Punto de Congelación	- 12 - -24
Punto de Ignición	79 – 270
Contenido de Agua (% peso)	0.1 – 10
Residuo carbón (% peso)	0.2 – 33.8
Cenizas (% Peso)	0.03 – 6.43
Poder Calorífico (MJ / Kg)	31.56 – 44.8
Contenido de Azufre (% Peso)	0.15 – 1.50
Contenido de cloro (% peso)	0.1 – 0.83
Fósforo (ppm)	319 – 1550
Análisis de Hidrocarburos Parafínicos Nafténicos Aromáticos	56 – 64 30 – 39 5 – 8.5
Metales (ppm) Pb Ba Fe Ca Zn Al Cu	85 – 21670 9 – 3900 97 – 2400 210 – 2290 260 – 1790 1 – 750 0.1 - 15

3.2.2 CONTAMINANTES DE LOS ACEITES USADOS

En los aceites gastados se encuentran por lo general: combustible, agua, suciedad atmosférica, hollín, metales de desgaste del motor y productos de oxidación del combustible. A continuación se explica los principales contaminantes.

- a. **COMBUSTIBLE:** La dilución por combustible se genera por mezclas de combustible - aire demasiado ricas, exceso de combustibles para lograr mayor potencia, arranque de motor en frío o inyectores defectuosos o con escapes. Esta dilución reduce la viscosidad y puede formar productos de oxidación y contaminar con insolubles.
- b. **AGUA:** La presencia de agua en los lubricantes se debe principalmente a monobloques rajados, sellos o casquillos con escapes, bajas temperaturas en la chaqueta y usos ocasionales del motor, lo cual sale con los gases de escape. El vapor de agua al condensarse forma una emulsión con el aceite, aumentando excesivamente la viscosidad y contribuyendo a la precipitación de lodos.
- c. **SUCIEDAD ATMOSFÉRICA:** Los filtros defectuosos o las aberturas en el sistema de entrada de aire favorecen la introducción de materiales abrasivos presentes en la atmósfera, los cuales aceleran el desgaste del motor.
- d. **HOLLÍN:** Una combustión demasiado rica produce gases de escape con humo, contaminando el lubricante con hollín. Este hollín queda disperso y es arrastrado por los aceites modernos altamente dispersantes.
- e. **METALES:** La contaminación con partículas metálicas debidas al desgaste de un motor comienza tan pronto como esta entra en servicio. Bajo condiciones ordinarias, el desgaste es un proceso lento y gradual que continúa a través de la duración del motor. El desgaste del motor se acelera en presencia de agua, abrasivos o dilución del combustible. Las partículas de desgaste del motor también contribuyen al desgaste abrasivo, pues se interponen entre las superficies lubricadas.
- f. **OTROS CONTAMINANTES:** Son los anhídridos sulfurosos que se forman cuando el combustible tiene azufre, estos anhídridos se combinan con el agua formando ácidos corrosivos. El aceite también puede contaminarse con materiales insolubles, principalmente cuando se usan combustibles que contienen plomo, lo cual da lugar a la formación de diversos compuestos de plomo que llegan hasta el aceite del cárter.

3.2.3 DEGRADACIÓN DE LOS ACEITES USADOS

Además de los contaminantes, los aceites lubricantes del cárter están sometidos a los efectos de altas temperaturas y a la entrada del aire durante el servicio. Estas condiciones promueven la oxidación, lo cual, si se permite que continúe indefinidamente, conlleva a un aumento en la viscosidad y a la formación de barnices y lodos.

En el constante incremento en la potencia de los motores, tiene como consecuencia una demanda de lubricante de mejor calidad, estabilidad y resistencia a la oxidación, corrosión y al desgaste del motor. A pesar de las mejoras en los procesos y de los adelantos tecnológicos de los aditivos, no se ha logrado suprimir completamente la oxidación de los aceites.

Se sabe poco sobre las reacciones que se efectúan al oxidarse los aceites lubricantes, aunque las investigaciones efectuadas por varios autores sobre la oxidación de hidrocarburos puros, particularmente los parafínicos, nafténicos y aromáticos que son los que constituyen básicamente un aceite lubricante, se puede concluir que el primer paso en la oxidación de los aceites es la formación de hidroperóxidos, los cuales al descomponerse dan productos del tipo ácido carboxílicos, aldehídos, cetonas, alcoholes, ésteres, resinas y asfaltenos. En oxidaciones más avanzadas parte de los compuestos antes citados se descomponen en agua y dióxido de carbono.

En las parafinas, la oxidación se efectúa entre átomos de carbono secundarios; los naftalenos se oxidan en átomos de carbono terciarios rompiendo la cadena. Los aromáticos se caracterizan porque al oxidarse no se presenta la ruptura del anillo, efectuándose la oxidación en las cadenas parafínicas laterales que se separan formando ácidos carboxílicos. Los anillos aromáticos residuales forman productos de condensación que oscurecen el aceite.

3.2.4 POSIBLES USOS DE LOS ACEITES USADOS

El posible uso que se le dé al aceite usado dependerá del tratamiento específico a que ha sido sometido. Algunas posibilidades para obtener productos a partir de los aceites usados de procedencia automotriz son:

1. **ACEITE LUBRICANTE REGENERADO:** Los aceites lubricantes regenerados son de calidad superior a los aceites lubricantes vírgenes debido a que son más resistentes a la oxidación y producen menos depósitos de carbón como de lodos.
2. **COMBUSTIBLE:** Utilizable en motores diesel de generación eléctrica.
3. **FUELOLEO INDUSTRIAL:** Utilizable como combustible en hornos de algunas instalaciones.
4. **AMONIACO:** En Suiza se emplea el aceite gastado para un uso completamente diferente. Allí se produce, por conversión térmica (1440 °C) de los aceites gastados, monóxido de carbono e hidrógeno. Este último se hace reaccionar con nitrógeno en presencia de un catalizador para producir amoniaco.

3.3 INDUSTRIA DEL ACEITE USADO EN EL MUNDO

Los Aceites Usados son subproductos de aceites utilizados en vehículos y maquinarias que llegan a ser reemplazados en todos los equipos debido a la contaminación del polvo, agua, sales, metales, productos de combustión incompleta, anticongelante u otros materiales. Los aditivos de los aceites lubricantes llegan a ser descompuestos por el uso, ocasionando contaminación.

Como contiene innumerables productos venenosos, cancerígenos, tóxicos, irritantes y no es biodegradable, el aceite usado está automáticamente clasificado como un “**residuo peligroso**” y como tal tiene que ser manipulado, trasvasado, recogido, almacenado, tratado y utilizado de acuerdo a legislaciones específicas ⁸

Además de ser un producto de elevado riesgo para la salud, por contacto con el cuerpo humano, su vertido en la Naturaleza constituye una agresión ecológica violentísima. Estudios eco-biológicos señalan que el contacto de un aceite usado sobre el suelo destruye la flora de tal forma que ésta sólo se recompone totalmente transcurrido 15 años. Los mismos estudios indican que el vertido de 5 litros de aceite usado sobre el agua origina la formación de una película aceitosa con diámetro de 5 Km. Los vertidos en los basureros provocan la inhibición del sistema de depuración de las estaciones de procesamiento.

La forma tradicional de reutilización de los aceites usados ha sido su quemado, aprovechando su excelente potencial energético. Sin embargo la quema sin un

pre-tratamiento que le retire las sustancias nocivas sólo agrava el problema de impacto ambiental, pues es más peligrosa la polución atmosférica provocada que la contaminación del suelo y del agua debida a su vertido.

El hecho de que un aceite usado sea simultáneamente un residuo peligroso y tenga un potencial económico, abre la cuestión de su utilización de un modo que sea aceptable y pueda contemplar las dos vertientes a saber, el trasvase no nocivo y la contribución al ahorro energético de una forma rentable.

Históricamente, las actividades de recogida y reutilización eran limitadas y dominadas por pequeños empresarios sin preparación técnica ni medios para un eficaz tratamiento y, en ciertos casos, con pocos escrúpulos.

La mayor parte de los aceites usados en los Estados Unidos es tratado o re-refinado, convirtiéndolos a una condición de uso. Pero se han encontrado especificaciones de performance de lubricación que ocasionan altos niveles de procesamiento más que las técnicas de decantación, centrifugación o filtración. El gran número de contaminantes potenciales contenidos en los aceites usados complican la selección de los métodos de tratamiento apropiado. Un número de tecnologías de variada complejidad han sido propuestas o están comúnmente en uso por todas las industrias de aceite usado. Estas tecnologías incluyen variaciones desde ácido / arcilla hasta otros tratamientos químicos, varios procesos de destilación, cracking, hidrotreatmento, tratamiento con solvente y mezclado. Las combinaciones de estas tecnologías de tratamiento con la decantación, centrifugación y filtración son requeridas para producir aceites de alto valor. El grado de complejidad del tratamiento de aceite usado varía con el uso pensado de los productos finales.

La Industria de Tratamiento del aceite usado en los Estados Unidos está caracterizada por numerosos pequeños operadores que luchan por sobrevivir y un reducido número de procesos de re-refinación. Factores tales como: amplias fuentes de disposición de aceite usado, los vendedores agresivos de aceite virgen, impuestos y regulaciones medioambientales y cambios tecnológicos en productos del aceite usado han impedido el desarrollo de la industria de aceite usado en los últimos 20 años pasados. Pequeños negocios necesitan responder a estas condiciones desfavorables. La mayor parte de compañías de aceite usado en el estado de Washington son pequeñas, pobremente capitalizadas, marginalmente provechoso y sostenido por personal con modestos niveles de educación técnica o experiencia.

La Unión Europea reguló hace unos años la gestión y eliminación de los aceites usados mediante la aplicación de Normas. La legislación española incorpora esta normativa. Según estas normas, los aceites industriales o lubricantes con base mineral que resulten inadecuados para el uso que se les había asignado inicialmente deberán ser recogidos y eliminados, para lo cual se determinan los

siguientes métodos según prioridad; tratamiento por refinado, combustión, destrucción y depósito controlado. En cualquier caso se prohíbe el vertido en aguas subterráneas, marítimas y en sistemas de evacuación, el depósito o vertido con efectos nocivos en el suelo y cualquier tratamiento que provoque una contaminación atmosférica superior al nivel establecido por las distintas disposiciones legales. La normativa admite la gestión de estos residuos por parte de empresas privadas autorizadas, las cuales están sometidas a registros y controles adecuados a nivel nacional. Será a través de estos gestores como se organizarán los servicios de recogida en puntos tales como talleres de automoción y pequeñas industrias para evitar vertidos incontrolados de los mismos. La tendencia en la gestión de estos aceites residuales es la obtención de productos y métodos lo más respetuosos con el medio. Una vez generado el aceite usado, el tratamiento más adecuado para su eliminación es su regeneración, reciclando el residuo obteniendo una base nueva⁹.

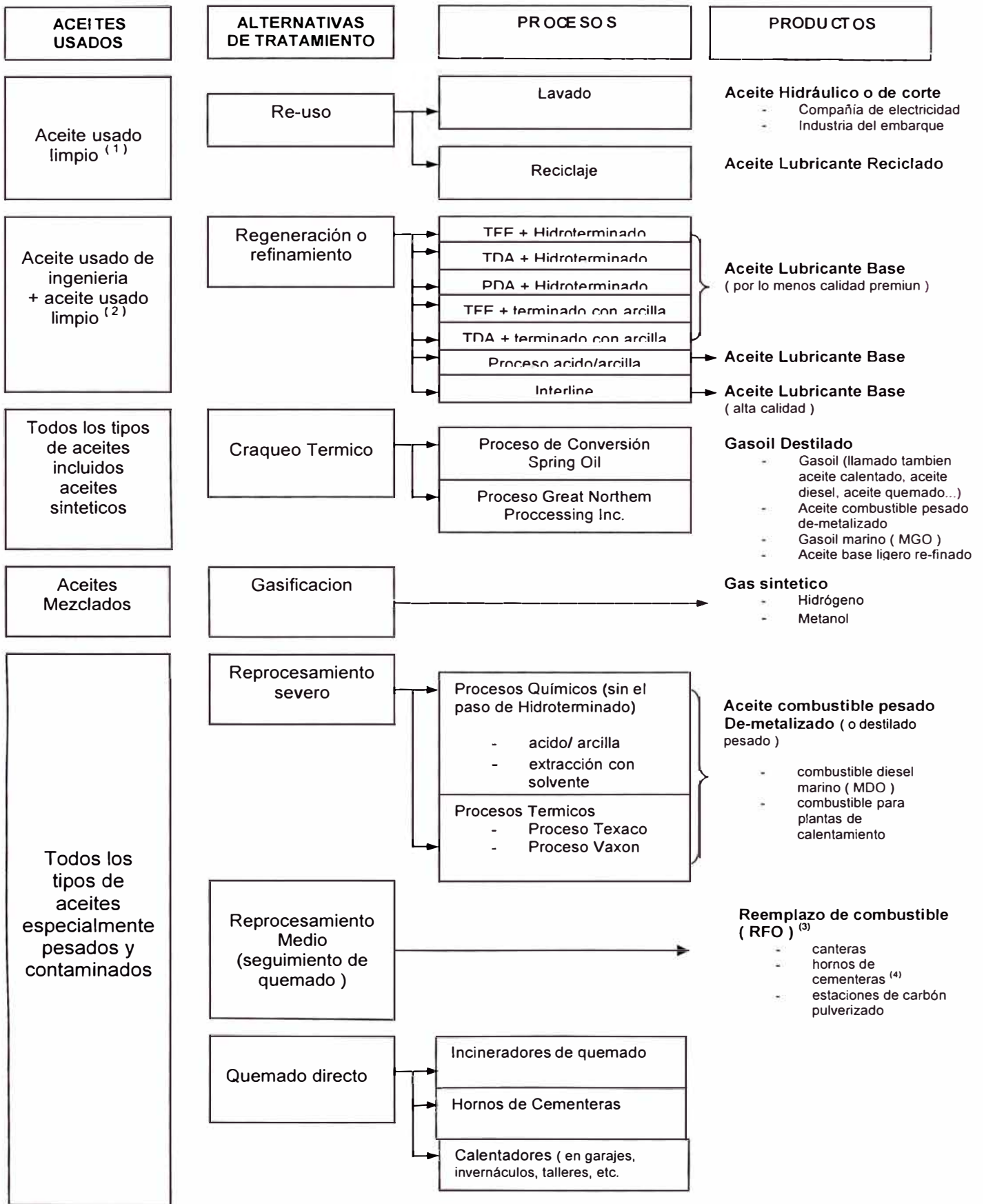
3.4 ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO DE ACEITES USADOS

Antiguamente, la mejor tecnología para tratamiento de aceites usados fue el proceso ácido / arcilla. Este proceso es capaz de producir aceptable calidad de bases lubricantes pero produce grandes volúmenes de aceite contaminado con ácido y residuo de arcilla requiriéndose un conveniente manejo y disposición de este nuevo residuo. Consecuentemente, esta tecnología empezó a ser antieconómica por el alto costo del manejo de residuos generados¹⁰.

Hoy en Europa existe una gran cantidad de procesos de tratamiento (o están en desarrollo). Los más significativos son los listados en el Cuadro 4.

Cuadro 4

ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO DE DIFERENTES ACEITES USADOS



⁽¹⁾ Especialmente aceite hidráulico o aceite de corte

⁽²⁾ Aceites de ingeniería sin incoloro + aceite hidráulico sin cloro + aceites minerales hidráulicos + aceites minerales diatérmicos (de acuerdo a la clasificación API)

⁽³⁾ Conteniendo metales pesados, halógenos y azufre en el aceite usado.

⁽⁴⁾ sustituyendo a otros combustibles líquidos secundarios o residual o petróleo.

3.5 TECNOLOGIAS DE REGENERACIÓN DE ACEITES USADOS

En Europa y en el mundo existen numerosas tecnologías de regeneración mejoradas (comparándolo con el proceso ácido/arcilla). Estos Procesos pueden diferir por la tecnología usada por una o varias de las siguientes operaciones:

- **De-watering and de-fuelling:** remoción de agua, trazas de gasolina y solventes.
- **De-asphalting:** remoción de residuos asfálticos, metales pesados, polímeros, aditivos y otros compuestos de degradación.
- **Fractionation:** en dos o tres etapas.
- **Finishing** o Terminado.

En los Cuadros 5 y 6 se describen las operaciones mencionadas.

En cuanto al Terminado, el Hidrotratamiento es hoy una operación muy eficiente reduciendo o removiendo metales y metaloides, ácidos orgánicos, compuestos que contienen cloro, azufre y nitrógeno. Operando a altas temperaturas y elevada presión, también reduce el contenido de Hidrocarburos Aromáticos Poli cíclicos (PAH).

Considerando la demanda en calidad por los usuarios y la complejidad en la composición de los aceites, un severo Hidrotratamiento puede ser una opción cada vez menos extra en el futuro ¹⁰

Cuadro 5

DESCRIPCIÓN DE LAS PRINCIPALES TECNOLOGÍAS DE REGENERACIÓN DE ACEITES USADOS

Tecnología	Procesos				Ventajas	Desventajas
	De-watering	De-asphalting	Fraccionation	Finishing		
Ácido / Arcilla	¹ Destilación al Vacío (a)	² Contacto con Ácido sulfúrico Absorción con arcilla	³ Unidad de Destilación seguido de neutralización y filtrado	-	Costos de capital relativamente bajos Relativa simplicidad de las operaciones	Producto de baja calidad Impacto ambiental negativo (producido por el ácido y arcilla)
Destilación / Arcilla	¹ Destilación al Vacío (a)	² Contenido en contacto con arcilla (Absorción)	-	-	Arcilla menos contaminada que el proceso ácido / arcilla	Producto de baja calidad Baja producción
Destilación / Tratamiento Químico o Extracción con Solvente	¹ Destilación al Vacío (2 etapas)	² Destilación al Vacío (3 ^{ra} etapa)		³ Tratamiento químico o extracción con solvente	Virtualmente todos los hidrocarburos aromáticos poli cíclicos (PAH) son removidos	-
Desasfaltado con Propano (PDA)	² Destilación al Vacío (a)	¹ Propano Líquido	³ Destilación al Vacío	⁴ Hidrotratamiento o Arcilla	Alta producción Producto de buena calidad (si es hidrotratado)	Mas o menos cara de acuerdo al numero de etapas del PDA Significante cantidad de subproductos
Interline	¹ Destilación al Vacío (a)	² Propano Líquido	³ Destilación al Vacío	-	Alta producción. Costos de operación y capital reducido	-

Tecnología	Procesos				Ventajas	Desventajas
	De-watering	De-asphalting	Fraccionation	Finishing		
Evaporador de Película Delgada (TFE) con Hidrotratamiento	1 Destilación al Vacío (a) (+ tratamiento químico en algunos casos)	2 TFE (a muy alta temperatura y presión)	4 Destilación al Vacío	3 Hidrotratamiento	Alta calidad del producto	-
Desasfaltado Térmico (TDA)	1 Destilación al Vacío (a) mas Tratamiento Químico	2 Sedimentación + TDA		3 Hidrotratamiento o Arcilla	-	-
TFE + Lubricante reciclado	1 Destilación al Vacío (a) (Pre-tratamiento en una Planta de Regeneración)	2 TFE (a muy alta temperatura y presión)		3 Extracción de Aromáticos + Hidrotratamiento (Reciclado en una Refinería)	-	-

1,2,3,4 Orden en que se da cada etapa

(a) La destilación al vacío indicado para los diferentes procesos tiene lugar en una unidad pre-flash.

Cuadro 6

NUEVAS OPCIONES DE REGENERACIÓN EN VÍAS DE DESARROLLO

Tecnología	Procesos				Ventajas	Desventajas
	De-watering	De-asphalting	Fraccionation	Finishing		
UOP Tratamiento de Desasfaltado con Hidrógeno	3 Destilación al Vacío (a)	1 Flasheo de Hidrógeno a alta temperatura	4 Destilación al Vacío	2 Hidrotratamiento	-	-
ENTRA	2 Destilación al Vacío (a)	1 Reactor Tubular	-	-	-	-
Extracción Supercrítica	1 Destilación al Vacío (a)	2 Desasfaltado supercrítico	3 Fraccionamiento Supercrítico	-	Costos de Operación y Capital reducido cuando se compara a la tecnología estándar PDA	-

Fuente: Some Elements from " Collection and Disposal of Used Lubricant ", 1996, CONCAWE ¹¹

CAPITULO 4

EVALUACIÓN TÉCNICA DEL PROCESO SELECCIONADO

4.1 SISTEMA ACTUAL DEL PROCESO DE REGENERACIÓN DE ACEITES USADOS EN EL PERU

Anualmente, en el país se generan grandes volúmenes de aceites usados, provenientes del consumo de lubricantes por el sector automotor, de aceites de proceso y aceites de transformadores, entre otros. Esto llevó a emprender un análisis cualitativo de las distintas actividades realizadas en la cadena comercial de este residuo (generación, almacenamiento, mezcla, recolección, transporte y disposición final), encontrándose resultados inquietantes que atañen al sector energético por las practicas de disposición final, ya que los aceites usados se están utilizando como combustibles en forma indiscriminada por la pequeña y mediana industria, otros lo desechan o venden como lubricante sin tratamiento previo.

Una buena parte de los aceites recogidos se utilizan como combustible de bajo coste para hornos de instalaciones de cemento, ladrilleras y similares sin otro pre-tratamiento que una filtración y una decantación para reducir su contenido en agua y la concentración de micro partículas sólidas en suspensión. Sin embargo, otros tipos de instalaciones recurren a procesos de calentamiento y centrifugación (para eliminar la contaminación por elementos libres, en suspensión y el agua). En esta forma de reutilización, únicamente se aprovecha el poder calorífico del aceite usado despreciándose su capacidad para ser regenerado.

Por desconocimiento de procedimientos técnicos para su adaptación, por ausencia de normatividad para su reutilización industrial, por la carencia de estándares de consumo en hornos, calderas y secadores entre otros y por el mercado negro existente con estos productos, se considera 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, antimonio, plomo y cromo, 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.

Actualmente, es la empresa Lubricantes Filtrados Marte EIRL la que se dedica al reciclaje de aceites usados aplicando los procesos de re-refinación mediante tratamiento físico – químico basado en las Normas Técnicas Peruanas ¹² : NTP 900.053:2003: Manejo de aceites usados. Re-refinación.

4.2 SELECCIÓN DEL PROCESO DE REGENERACIÓN DE ACEITES USADOS

Un proceso económico y ecológicamente adecuado para la realidad peruana que permite llevar a la práctica la regeneración de aceites usados es la Tecnología de Extracción con Solvente Líquido que permite conseguir rendimientos de regeneración muy altos con inversiones moderadas. Esta propuesta considera la selección de una de las mejores tecnologías de tratamiento de este tipo de residuo, asimismo, en el presente informe se presenta el diseño para una Unidad a Escala Piloto justificando su tamaño con base en las cifras de mercado.

4.3 TECNOLOGIA DE EXTRACCIÓN CON SOLVENTE

4.3.1 DESCRIPCION

La Tecnología de Extracción con Solvente tiene el potencial de producir productos de alta calidad, superior a aquellos producidos por procesos de destilación a baja temperatura comúnmente en uso. La Fig. 6 presenta un Diagrama de Flujo de la Tecnología de Extracción con Solvente.

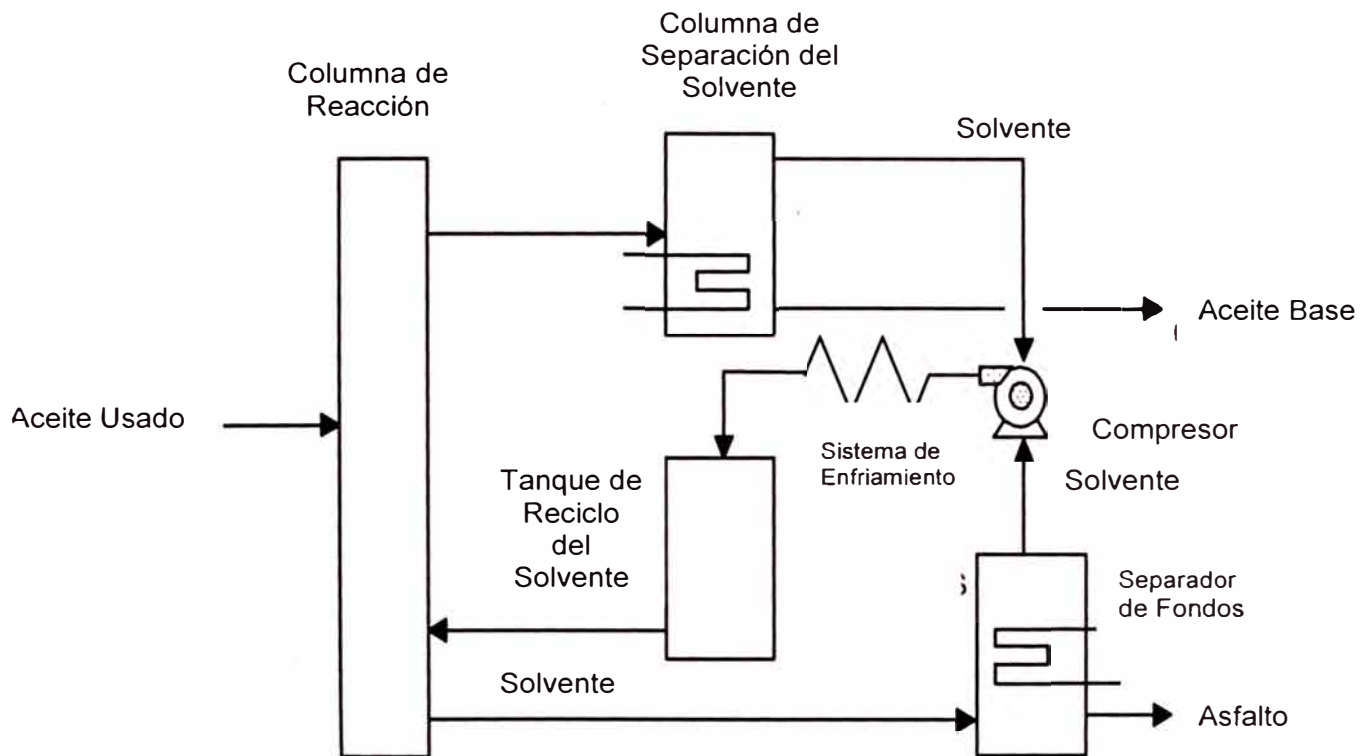


Fig 6. Diagrama de Flujo de la Tecnología de Extracción con Solvente

El aceite usado es mezclado en el Reactor con un solvente alifático. En esta unidad, el solvente actúa selectivamente disolviendo la fracción de aceite y separando las impurezas menos solubles. El solvente cargado de aceite es transportado del tope del Reactor a la Columna de Separación de solvente donde la fracción de solvente es separado del aceite para su reciclaje dentro del proceso. Las impurezas asentadas lentamente en el fondo del Reactor son bombeadas a la Columna de Separación de Fondos. El solvente residual es separado en esta unidad. El solvente recuperado es licuado a través de un compresor y un sistema de enfriamiento y es nuevamente reinyectado a través del Tanque de Reciclo del Solvente para repetir el ciclo.

4.3.2 SELECCIÓN DEL SOLVENTE

La tecnología de extracción con solvente ha sido de interés para los refinadores como un medio de remoción de aromáticos y otros compuestos indeseables de los aceites lubricantes. La remoción de estos componentes mejora el índice de viscosidad, color, estabilidad a la oxidación, estabilidad térmica, etc.

En la selección de un solvente para uso en procesos de extracción como el que se ha expuesto, se consideran características tales como:

- Alta Selectividad: para componentes indeseables.
- Buena Solubilidad: solvente / alimentación : baja.
- Alta Temperatura de Extracción: para una óptima transferencia de masa.
- Fácilmente recuperable.
- Baja Presión de Vapor.
- Alta Densidad: para una rápida separación del aceite y la fase del solvente.
- No Emulsificable: para una rápida separación del aceite y la fase del solvente.
- Estabilidad: no degradación química o térmica.
- Adaptable: a un amplio rango de fuentes de alimentación.
- Disponible: A un costo razonable.
- No Corrosivo.
- No Tóxico: ambientalmente seguro.

Así, los refinadores de petróleo han dedicado una considerable cantidad de tiempo y esfuerzo para encontrar el solvente ideal. Los solventes más comunes usados durante los años 1909 – 1934 fueron el furfural y el fenol. Actualmente, solventes alifáticos como el propano, butano, hexano o heptano pueden ser utilizados ¹³. Para la realidad peruana, se puede predisponer el uso de **propano líquido** proveniente del Gas de Camisea. Esta opción se basa en las ventajas medio ambientales de los procesos de regeneración (Interline ¹⁴), por su mayor ahorro de materias primas, menores olores y emisiones y menor producción de residuos o efluentes. El Cuadro 7 presenta Datos Físico – Químicos del Propano.

Por consiguiente surge el interés de desarrollar una Planta a Escala Piloto para evaluar y desarrollar la Regeneración de Aceites Usados, en una primera etapa con cantidades moderadas de carga para luego continuar con el Escalamiento Industrial.

La Fig. 7 muestra los productos obtenidos de las diferentes etapas del Proceso Interline: Extracción con Propano.

Cuadro 7

PROPIEDADES FISICO – QUÍMICAS DEL PROPANO

FASE LIQUIDA

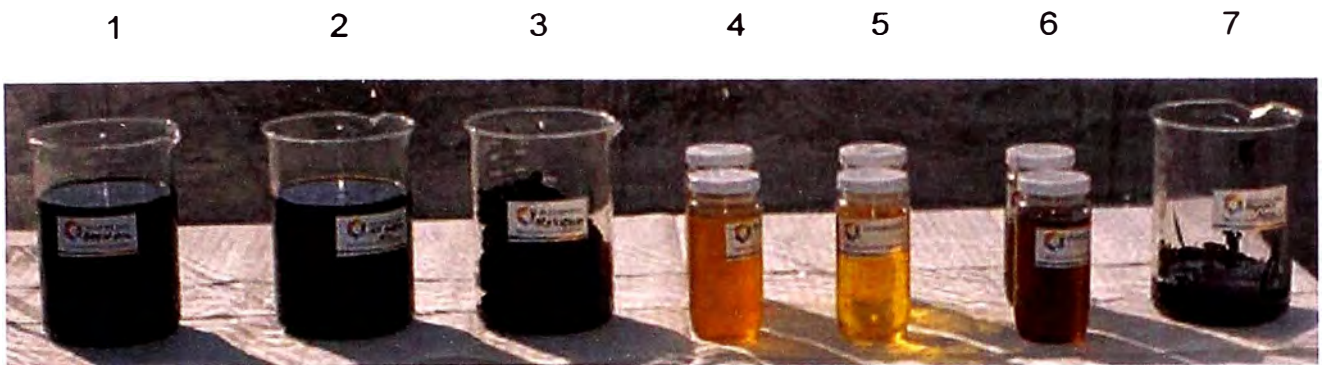
Densidad @ 70 °F	31.12 lb/ft ³
Equivalente Líquido / Gas (1.013 bar y 15 °C)	311 vol/vol
Punto de Ebullición (1.013 bar)	-42.1 °C
Calor latente de Vaporización (1.013 bar a la T _{ebul})	425.31 KJ/Kg
Presión de Vapor (a 21 °C)	8.7 bar

FASE GASEOSA

Densidad (1.013 bar a la T _{ebul})	2.423 Kg/m ³
Densidad (1.013 bar y 15 °C)	1.910 Kg/m ³
Gravedad Específica (aire=1) (1.013 bar y 21 °C)	1.55
Volumen Específico (1.013 bar y 21 °C)	0.543 m ³ /Kg
Capacidad Calorífica a P cte (Cp a 1 bar y 25 °C)	0.075 KJ/mol.°K
Capacidad Calorífica a V cte (Cv a 1 bar y 25 °C)	0.066 KJ/mol.°K
Conductividad Térmica (1.013 bar y 0 °C)	15.198 mW/m.°K

INFLAMABLE	SI
OXIDANTE	NO
CORROSIVO	NO
EXPLOSIVO	NO
TOXICO	NO
ASFIXIANTE	SI
IRRITANTE	NO
RADIOACTIVO	NO
APARIENCIA Y COLOR	Gas licuado, incolore y sin olor, cuando está puro
SOLUBILIDAD EN AGUA (% Peso)	Leve. Soluble en éter y alcohol

Fig. 7 Productos Obtenidos de las diferentes etapas del Proceso Interline: Extracción con Propano:



1. Aceite Usado
2. Primera Fase del Aceite
3. Residuo
4. 5 y 6. Aceite Base
7. Asfalto

4.4 JUSTIFICACION DE LA TECNOLOGÍA SELECCIONADA

La extracción con solvente es seleccionado para ser adaptado al aceite motor re-refinado formulado con altas concentraciones de pour point, mejoradores de índice de viscosidad y otros aditivos, y conteniendo además, gran cantidad de barniz, gomas y otros compuestos asfálticos generados por calor y fricción durante su uso. El solvente remueve la porción (fase) mineral del detergente presente y precipita agua la cual es soltada químicamente.

El solvente, solubilizado en la fase de hidrocarburos disocia la porción deteriorada de:

- Compuestos antioxidantes, permitiendo grupos antioxidantes más pesados para precipitar.
- Aditivos del aceite tales como mejoradores del índice de viscosidad, inhibidores orgánicos y mejoradores del pour point ¹⁵

4.5 DISEÑO DE UNA UNIDAD A ESCALA PILOTO

4.5.1 ESTIMACIÓN DEL TAMAÑO DE PLANTA

Considerando que en nuestro país no se dispone de este tipo de materia prima en puntos específicos, y que la recolección de la misma representa la fase crítica y tal vez la más importante para la viabilidad o no de este tipo de plantas, recordemos que la recolección se hará de lubricante automotriz obtenido directamente de las estaciones de servicio de cambio de aceite a los automóviles (lubricentros).

Por otro lado del Anuario Estadístico del Ministerio de Energía y Minas ¹⁶, este tipo de aceite es aproximadamente el 67% del total de aceites producidos. Este valor es un promedio de los porcentajes dados del año 1990 al año 1999 y se consideran constantes para efectos de determinar la cantidad de materia prima.

De esta información, se tiene que a Lima le corresponde aproximadamente un 68% del total de aceite producido, esto es aproximadamente 234 404.84 barriles / año.

Por ello, para fines de este estudio se determinó que la capacidad máxima inicial de una Planta a Escala Piloto de Regeneración de Aceites Usados estaría en el orden de 1000 galones / día. Sin embargo, cabe mencionar que luego de lograr los objetivos mencionados inicialmente, la meta final en el futuro debería ser el cubrir toda la demanda de aceites regenerados, por consiguiente el volumen de producción fijado anteriormente tendería a ser mayor.

4.5.2 ASUNCIONES DE DISEÑO

Los parámetros de operación para el reactor fueron determinados por la literatura, principalmente de los procesos del IFP (Institute Francais du Petrole) ^{17,18}. Una temperatura de operación de 120 °F (49 °C) y presión de 230 psig fueron seleccionadas dentro de los rangos citados por los procesos del IFP. Debido a que la viscosidad no lineal reduce efectos, altas temperaturas de operación afectan positivamente la capacidad del Reactor para separar impurezas del aceite.

El contenido de agua en la corriente de aceite usado se ha asumido insignificante (mucho menos que el 2% en volumen). La literatura señala que la tecnología de extracción con solvente es capaz de tratar aceites con significativo contenido de agua (al 10% de volumen). Adicionalmente, la posterior separación del agua de los fondos es simplificada también.

Por otro lado, se hace referencia que una razón de solvente / aceite de 1:1 es muy bajo para ser eficiente en llevar a cabo una buena separación de fondos. Una razón de 20:1 fue reportado para producir una buena base de aceite lubricante ¹⁴ . Para nuestros fines, una razón inicial de 5:1 será practicada inicialmente.

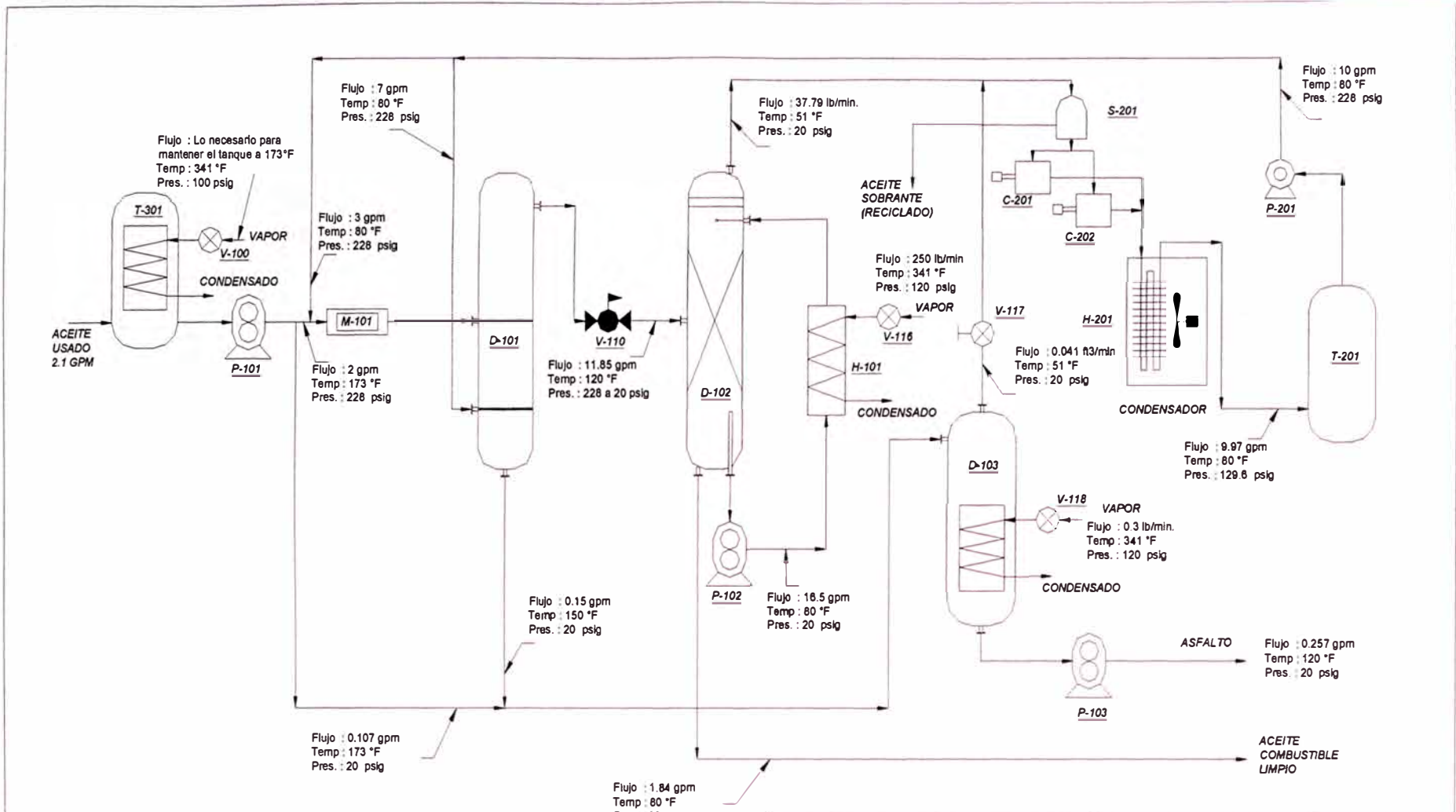
4.5.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

El aceite usado ingresa al tanque T-301 a una razón de 2 gpm. Dentro del tanque, el aceite usado es calentado aproximadamente hasta 173 °F (78 °C), luego, el aceite es bombeado por la bomba P-101 hacia el mezclador M-101 que se encuentra en la línea donde es mezclado con 3 gpm de solvente. Este solvente es adicionado del tanque de almacenamiento T-201 a través de la bomba P-201. La razón de solvente / aceite de 5:1 es mantenido monitoreando los medidores de flujo en el fondo y en las líneas del solvente. La mezcla aceite / solvente ingresa al punto medio de la Columna D-101. Asimismo, una razón de 7gpm de solvente es adicionada al punto más bajo de la Columna D-101.

Dentro de esta columna, el solvente actúa sobre el aceite usado para solubilizar la fracción de aceite y permitir que los contaminantes menos solubles se asienten. El propano también reduce la viscosidad permitiendo el asentamiento para procesarlo más rápidamente, mientras que el grado de separación es una función del tiempo de residencia en la columna D-101. Asimismo, una mínima cantidad de solución aceite – solvente es llevado hacia los fondos del asfalto, mientras que gran cantidad de esta solución sale por el tope del tanque D-101. La mezcla que sale por el tope de esta columna es expandida a través de la válvula V-110 e ingresa a la Columna D-102. Dentro de esta columna, la presión se mantiene cerca de la atmosférica y la temperatura es elevada. La presión dentro de la columna se mantiene por evacuación de los vapores del solvente por los compresores C-201 y C-202 y por adición de calor a través del sistema de reflujo de aceite. Los vapores del solvente removidos por los compresores son dirigidos a una trampa colectora de aceite, S-201, para prevenir el ingreso accidental de aceite a los compresores. Después de la compresión, los vapores son dirigidos hacia el condensador de vapores H-201 antes de ser colectados en el tanque de almacenamiento del solvente T-201 para su re-uso. El sistema de reflujo de aceite utiliza la bomba P-102 para separar aceite cerca del fondo de la Columna D-102 y lo bombea hacia el intercambiador de calor H-101 donde la temperatura del aceite

se incrementa por calentamiento con vapor. El aceite caliente es rociado hacia la columna de empaque. La niebla de aceite es atrapada dentro de la columna por el eliminador de Niebla E-101. El aceite limpio es removido del fondo de la columna D-102 del cual se ha separado el solvente.

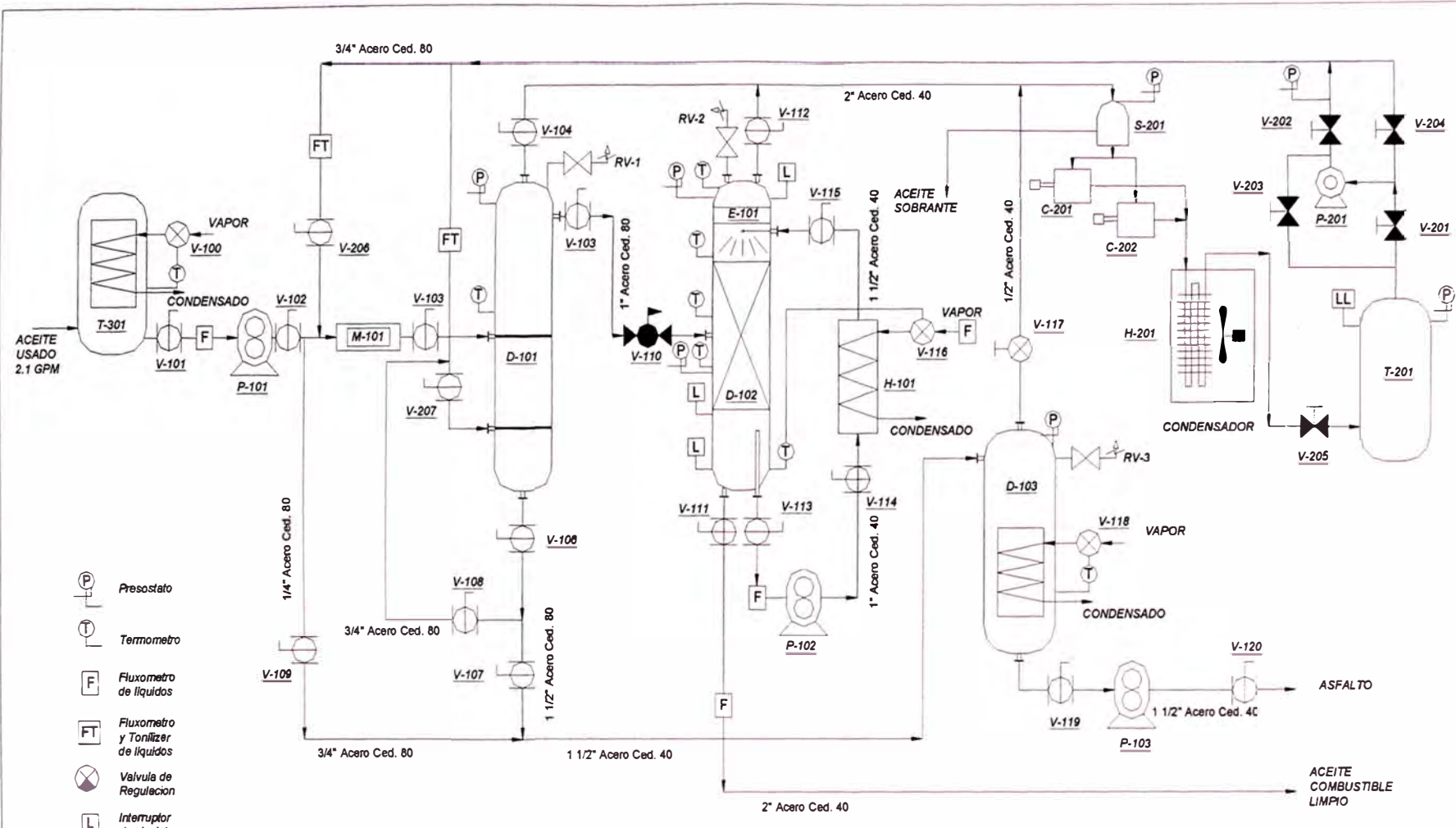
Dentro de la Columna D-103, los fondos de la Columna D-101 son mantenidos a una temperatura de 150 °F (66 °C) por un período de tiempo prolongado para permitir la eficiente recuperación del solvente. Los fondos de esta columna son removidos por la bomba P-103. La Figura 8 muestra el Diagrama de Flujo del Proceso descrito y la Figura 9 el Diagrama de Instrumentación y Tuberías.



PROYECTO N° 04 - 001	
DISEÑADO POR : Cecilia Villanueva T.	ESCALA : Ninguna
DIBUJADO POR : Cecilia Villanueva T.	DOCUMENTO : Tesis.doc
REVISADO POR :	FECHA : 24-Nov-04

DIAGRAMA DE FLUJO DEL TRATAMIENTO DE ACEITE USADO CON SOLVENTE

Figura 8



- Presostato
- Termometro
- Fluxometro de líquidos
- Fluxometro y Tonilizer de líquidos
- Valvula de Regulacion
- Interruptor de nivel de líquidos
- Medidor de nivel de líquidos
- Valvula de seguridad de sobrepresion
- Valvula manual de bola
- Valvula de compuerta
- Valvula reductora de presion

PROYECTO N° 04 - 001	
DISEÑADO POR : Cecilia Villanueva T.	ESCALA : Ninguna
DIBUJADO POR : Cecilia Villanueva T.	DOCUMENTO : Tesis.doc
REVISADO POR :	FECHA : 24-Nov-04

DIAGRAMA DE INSTRUMENTACION Y TUBERIAS DEL TRATAMIENTO DE ACEITE USADO CON SOLVENTE

Figura 9

4.5.4 EQUIPOS

Para la capacidad de producción estimada, la Planta a Escala Piloto consistirá básicamente de los equipos listados en el Cuadro 8.

Cuadro 8:

LISTA DE EQUIPOS

Equipo	Nombre	Manufactura	Tamaño o Capacidad
D-101	Tanque Reactor	Unidad Usada	1200 gal
D-102	Columna de Destilación Flash	Unidad Usada	1200 gal
D-103	Tanque de Destilación de Fondos	Unidad Usada	300 gal
T-201	Tanque de Almacenamiento de Solvente	Alquilado	6000 gal
T-301	Tanque de Almacenamiento de Aceite Usado	Unidad Usada	1200 gal
P-101	Bomba de Engranajes	Unidad Usada	0.5 HP
P-102	Bomba de Engranajes para Reflujo de Columna Flash	Bomba Usada	3 HP
P-103	Bomba de Engranajes para Transferencia de Fondos	Bomba Usada	0.5 HP
P-201	Bomba Centrífuga para solvente	Bomba Usada	4 HP
C-201	Compresor de Vapor (Unidad # 1)	Equipo Usado	4 HP
C-202	Compresor de Vapor (Unidad # 2)	Equipo Usado	4 HP
M-101	Mezclador en Línea	Unidad Usada	2 " Diám., 20 gpm
H-101	Intercambiador de Calor	Unidad Usada	Específico al Proyecto
H-201	Intercambiador de Calor	Unidad Usada	Específico al Proyecto
S-201	Trampa Colectiva de Aceite Usado	Unidad Usada	Específico al Proyecto
C-101	Caldero	Unidad Usada	Específico al Proyecto

4.6 PRUEBAS EN LA PLANTA PILOTO

Una vez construida la Unidad Piloto, las pruebas serían inicialmente la evaluación de la efectividad de la tecnología seleccionada. Específicamente, la mejora de características físicas y químicas del aceite regenerado podrá ser comparado con el aceite usado (alimentación). Los parámetros considerados durante la prueba incluyen reducción en el contenido de cenizas y metales, mejora del índice de viscosidad e incremento de la temperatura flash point. Estos parámetros afectan directamente la aceptación del producto en el mercado. Suficientes cantidades de aceite puede ser producido para suministrar a potenciales clientes para pruebas en sus unidades.

La evaluación del mecanismo de ensuciamiento en tuberías podrá ser evaluada durante las operaciones de prueba y puesta a punto de la Planta Piloto.

La separación del aceite limpio del solvente es la clave para evaluar la eficiencia del proceso. Bajo condiciones reales, la separación nunca será perfecta. Habrá alguna cantidad de solvente perdido en el aceite. La determinación de las pérdidas aceptables del solvente en la Unidad Piloto, es una consideración de diseño importante para la implementación a Escala Industrial. La efectiva recuperación del solvente podrá ser alcanzada para asegurar que el aceite ha encontrado el flash point dentro de especificaciones.

La meta de la tecnología de extracción por l solvente es la limpieza del aceite (que contiene ciertos jabones en partes de petróleo revestido) y el equipo, que pueden ser evaluados en una Unidad Piloto mientras que haya una significativa cantidad de aceite usado conteniendo estos materiales. Algunos de estos jabones son éter y son solubles en el aceite y agua. Los materiales jabonosos son emulsificadores muy efectivos y provocan cambios en los métodos de reciclaje de aceite usado y también a la tecnología del solvente.

Las preguntas de ¿ Si el aceite usado crudo podrá ser tratado directamente ? o ¿ Si el aceite usado deshidratado podrá ser usado también? Serán evaluadas en las pruebas a Escala Piloto. Adicionalmente, la efectividad de la tecnología del solvente para tratamiento de aceites sintéticos podrá ser evaluado en esta Unidad.

4.7 DETERMINACION DE LA CARGA A TRATAR

Como primera etapa, es necesario evaluar las propiedades del aceite usado realizando ensayos físico-químicos y analíticos a las muestras del aceite usado.

Las propiedades recomendadas a ser analizadas son:

- Viscosidad / Índice de Viscosidad.
- Densidad Relativa / Gravedad API.
- Color
- Flash Point (PMCC).
- Pour Point.
- Contenido de Cenizas.
- Carbón Conradson.
- Contaminación por agua.
- Contenido de azufre total.
- Contenido de metales (Pb, Ca, Zn, Ba, Mg).

Realizando un estudio con los resultados obtenidos, se podría elaborar una Tabla de Variación de Características más importantes de los aceites usados provenientes del sector automotriz.

4.8 PROPIEDADES FÍSICAS DE LA BASE OBTENIDA

El Cuadro 9 muestra los valores típicos de las propiedades físicas de un aceite base regenerado.

Cuadro 9

PROPIEDADES FÍSICAS DE UN ACEITE BASE REGENERADO

CARACTERÍSTICAS	VALOR
Viscosidad @ 100 °C	5.86
@ 40 °C	31.56
Densidad Relativa @ 60° F	0.8697
Gravedad API @ 60° F	31.2
Color	L 5.5
Flash Point (PMCC) °F	230 +
Pour Point (°C/°F)	-9/16
Ceniza (% Peso)	0.001
Punto de niebla (°C/°F)	<-9/16
Residuos de carbon (% Peso)	0.5
Indice de Cetano	86.8

DESTILACION	Metodo	Resultado
IBP, °F	D-1160	643
5%		762
10%		772
20%		788
30%		802
40%		815
50%		826
60%		841
70%		857
80%		879
90%		914
95%		948
Punto final		952
Recuperado, %		96.0
Residuo, %		4.0
Perdidas, %		0.0

4.9 IMPACTO AMBIENTAL

Desde el punto de vista medioambiental, se trata de una "Tecnología Limpia" ya que la producción de residuos, efluentes y emisiones a la atmósfera es mínima.

Por otra parte, los productos finales de la Unidad Piloto: base de aceite lubricante limpio y asfalto, además de cumplir con las especificaciones técnicas

correspondiente a su aplicación industrial, son aceptables desde el punto de vista medioambiental, no causando problemas de contaminación en su uso posterior.

Estas características se deben fundamentalmente al proceso de separación por medio de propano líquido. En líneas generales, la separación de las bases lubricantes e hidrocarburos ligeros del resto de sustancias que constituyen el aceite residual se basa en una extracción líquido – líquido, utilizando propano líquido como disolvente.

Los residuos generados habitualmente en las instalaciones de regeneración de aceites están constituidos fundamentalmente por los aditivos obtenidos en el aceite y sus residuos de degradación, además de otros contaminantes tales como plomo (procedente de la gasolina), subproductos de combustión, polvos y partículas metálicas. En el proceso descrito, todos estos contaminantes del aceite se separan, gracias a su insolubilidad en el propano líquido, y constituyen un residuo de tipo asfáltico.

Estos componentes y en particular los metales pesados quedan retenidos en el asfalto, que constituye un subproducto aprovechable para el sector. En este proceso, los contaminantes quedan perfectamente retenidos e inertizados evitándose con ello su dispersión en el medio ambiente.

CAPITULO 5

EVALUACIÓN ECONÓMICA A NIVEL DE PERFIL DEL PROCESO DE REGENERACION DE ACEITES USADOS

Siendo el interés principal de este estudio investigar los aspectos técnicos del proceso de Regeneración de Aceites Usados seleccionado, la Evaluación Económica que se realizará a continuación solo es a Nivel de Perfil, la cual incluye una sección denominada Estudio de Mercado, otra sección que considera el Estimado de la Inversión Económica y otra llamada Costos Operativos.

5.1 ESTUDIO DE MERCADO

En nuestro país las ventas de aceites lubricantes realizadas por las Plantas Lubricantes de Shell, Móvil, Castrol, Texaco entre otros, cubren la Demanda de dichos productos a nivel nacional. En el Cuadro 10, se muestra la Data Histórica del Consumo de Aceites Lubricantes de los últimos años (1990 – 2004), de donde se observa que no existe una tendencia definida en dicha demanda (Ver Fig. 10).

Cuadro 10

DEMANDA NACIONAL DE ACEITES LUBRICANTES (MBLs)

Año	1990	1991	1992	1993	1994
Aceites Lubricantes	359,1	367,5	355,6	430,2	331,2

Año	1995	1996	1997	1998	1999
Aceites Lubricantes	531,4	538,7	587,0	525,0	515,9

Año	2000	2001	2002	2003	2004
Aceites Lubricantes	457,8	459,0	450,8	501,6	533,2

Fuente: Informe Mensual DGH

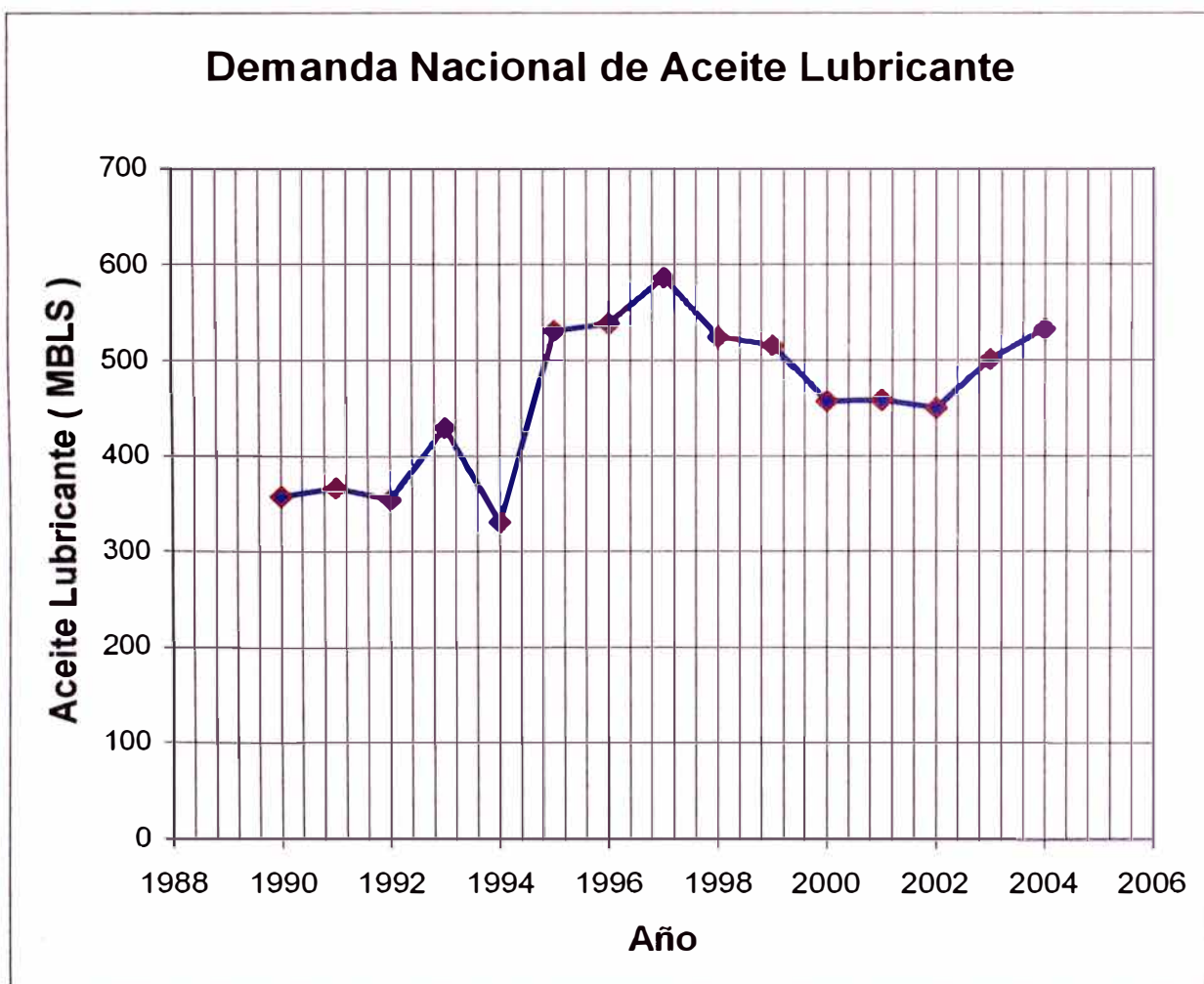


Fig. 10 Gráfico de la Demanda Nacional de Aceites Lubricantes: 1990 – 2004 (MBLs)

Esto se explica porque la Demanda del Aceite Lubricante está únicamente sujeta a las importaciones y exportaciones de Aceites Bases y Aceites Lubricantes y al precio del Petróleo Crudo en el Mercado Internacional, es por ello que a fin de encontrar un indicador del Consumo de los Aceites Base (que en el presente informe es el principal componente de análisis, el cual es obtenido a partir de aceites usados procedentes de los automóviles) para su posterior tratamiento y aditivación para obtener Aceite Lubricante para motor, resulta de interés investigar la Producción de Aceites Lubricantes por tipo de aceite. En el siguiente cuadro, se muestra la Producción de Aceites Lubricantes por tipo de aceite tomados desde los años 1990 – 1999.

Cuadro 11

PRODUCCIÓN DE ACEITES LUBRICANTES POR TIPO DE ACEITE: 1990 – 1999 (MBLs)

Tipo de Aceite	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Motor	241.4	250.7	246.2	291.6	217.5	361.1	358.5	380.7	353.7	343.4
Transmisión	29.5	30.2	25.0	36.9	29.2	41.6	44.3	54.1	47.4	42.6
Automático	6.4	6.3	5.4	7.1	6.1	12.0	12.3	13.8	9.9	8.5
Mecánico	23.1	23.9	19.6	29.8	23.1	29.6	32.0	40.3	37.5	34.1
Industrial	64.7	64.0	60.0	76.0	61.2	88.0	94.2	109.3	87.5	97.5
De Corte	1.5	1.7	1.8	2.3	2.0	2.7	2.7	1.7	2.3	1.6
Marino	15.2	15.9	16.0	15.4	15.5	27.9	27.7	25.0	22.7	19.5
Aviación	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.5	0.0
Otros	6.8	5.0	6.6	8.0	5.8	11.2	11.2	11.2	11.0	11.2
Total	359.1	367.5	355.6	430.2	331.2	531.4	538.7	538.7	252.0	515.9

Fuente: Informe Mensual DGH

Del Cuadro 11, se observa que el aceite para motor representa aproximadamente el 67 % del total de aceites producidos. Este valor es un promedio de los % dados

desde los años 1990 hasta 1999 y se considera constante a fin de determinar la cantidad de producción promedio de aceites para motor. Por consiguiente, de lo mencionado anteriormente, se estima que la demanda de aceite para motores crezca debido al incremento de unidades automotrices en el Parque Automotor de nuestro país lo que hace necesario el desarrollo de una Planta de Regeneración de Aceites Usados.

5.2 ESTIMADO DE LA INVERSION ECONOMICA

La inversión económica requerida para la adquisición e instalación de los equipos mencionados en el ítem 5.5.4 asciende aproximadamente a US\$ 22 000.00. El Cuadro 12 presenta en detalle los costos de cada equipo.

Cuadro 12

ESTIMACIÓN DEL CAPITAL BASICO DE INVERSIÓN PARA INSTALACIÓN DE UNA PLANTA PILOTO DE TRATAMIENTO DE ACEITES USADOS POR EXTRACCIÓN CON SOLVENTE

# Equipo	Nombre	Costo (US\$)
D - 101	Tanque Reactor	1 000.00
D - 102	Columna de Destilación Flash	1 600.00
D - 103	Tanque de Destilación de Fondos	500.00
T - 201	Tanque de Almacenamiento de Solvente y conexión.	3 000.00
T - 301	Tanque de Almacenamiento de Aceite Usado	900.00
P - 101	Bomba de Engranajes	100.00
P - 102	Bomba de Engranajes para Reflujo de Columna Flash	180.00
P - 103	Bomba de Engranajes para Transferencia de Fondos	100.00
P - 201	Bomba Centrifuga para Solvente	250.00
C - 201	Compresor de Vapor (Unidad # 1)	500.00
C - 202	Compresor de Vapor (Unidad # 2)	500.00
M - 101	Mezclador en línea	150.00
S - 201	Trampa Colectiva de Aceite Usado	100.00
H - 101	Intercambiador de calor	600.00
H - 202	Intercambiador de calor	200.00
C - 100	Caldero	5 000.00

Costo Total de Módulos (C_{TM})	14 680.00
Elementos Complementarios: 30% C_{TM}	4 404.00
Mano de Obra e Imprevistos: 20% C_{TM}	2 936.00
Capital Básico de Inversión	22 020.00

5.3 COSTOS OPERATIVOS

Para los objetivos señalados en este informe, los costos operativos que involucra la construcción de una Unidad a Escala Piloto para Tratamiento de Aceites Usados utilizando la Tecnología de Extracción con Solvente, serán esencialmente de materia prima, suministros y mano de obra. Los Cuadros 13 y 14 muestran en detalle los costos mencionados.

Cuadro 13

PRECIO DE COMPRA DE MATERIA PRIMA

	US\$ /Gl.	US\$ / Kg.
Aceite Usado	0.50	-
Propano	0.95	0.50

Cuadro 14

ESTIMACION DE LOS COSTOS BÁSICOS DE PROCESAMIENTO POR GALON DE ACEITE BASE REGENERADO

% DE CAPACIDAD	25%	50%	75%	100%
Galones por Día	250	500	750	1000
Costo de Operación Variable (US\$) (excluye costo de aceite usado)				
Propano	0.0052	0.0052	0.0052	0.0052
Pruebas en Laboratorio	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000
Costo Total de Operación Variable	0,1052	0.1052	0.1052	0.1052
Costo de Operación Fijo (US\$)				
Personal	0.1084	0.0542	0.0361	0.0270
Suministros de Producción				
Electricidad	0.4884	0.2442	0.1628	0.1221
Vapor	1.2180	0.6090	0.4060	0.3045
Mantenimiento	0.1212	0.0606	0.0404	0.0303
Costo de Operación Fijo (US\$)	1.9360	0.9680	0.6453	0.4839
Costo de Procesamiento (US\$)	2.0412	1.0732	0.7505	0.5891
Costo de Aceite Usado (US\$)	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
Costo Total de Procesamiento por galón (US\$)	2.5412	1.5732	1.2505	1.0891

Una vez que se haya logrado la puesta a punto de la Planta Piloto y que esta a su vez produzca al 100 % de su capacidad, se obtiene un menor costo de procesamiento equivalente a US\$ 1.0891 por galón de base lubricante regenerada.

5.4 COMPARACION DE COSTOS DE ACEITE BASE

Del Cuadro 14 se ha estimado que el costo de Procesamiento de 1 galón de aceite base regenerado en la Planta Piloto es de US\$ 1,0891.

Por otro lado, del Cuadro 15 se observa que los costos mes a mes (Importación CIF, año 2004) de las Bases Lubricantes, para producir los distintos tipos de Aceites Lubricantes en las diferentes Plantas Lubricantes que se tienen en el país, son valores elevados que exceden aproximadamente en un 59 % al costo de Producción en la Unidad Piloto diseñada, costo que tendería a ser menor si la Base Lubricante se procesara en una Unidad a Escala Industrial.

Cuadro 15

COSTO DE BASES LUBRICANTES: IMPORTACIÓN CIF

	Enero-04	Febrero-04	Marzo-04	Abril-04	Mayo-04	Junio-04	Julio-04
Importación CIF de Aceite base (US\$ / BI)	68,31	67,55	67,86	69,60	70,48	74,25	68,73

	Agosto-04	Septiembre-04	Octubre-04	Noviembre-04	Diciembre-04	Enero-05
Importación CIF de Aceite base (US\$ / BI)	75,20	70,07	69,75	82,20	79,35	82,63

Fuente: Informe Mensual DGH

CAPITULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

1. Todos los residuos o desechos tal como los Aceites Usados que puedan causar daño a la salud o al medio ambiente, son considerados como residuos peligrosos fundamento por el cual el gobierno y autoridades competentes tienen la responsabilidad de:
 - Promover la adopción de medidas para reducir al máximo la generación de estos desechos.
 - Establecer políticas y estrategias para que su manejo y manipulación se ejecuten sin menoscabo del medio ambiente y se reduzcan sus propiedades nocivas mediante técnicas apropiadas de reciclaje.
2. La aparición y desarrollo de nuevos procesos y tecnologías tal como la Extracción con Solvente, permiten la reutilización o reciclaje de los aceites usados transformándolos en sustancias susceptibles de ser utilizadas o aprovechadas como materia prima.
3. La construcción de una Planta a Escala Piloto de Extracción con Solvente utilizando propano líquido, es importante y necesaria para:
 - Refinar el diseño expuesto.
 - Probar una gran variedad de corrientes de aceite usado.
 - Evaluar los Costos del Tratamiento que se ha seleccionado.
 - Producir suficientes cantidades de aceite y asfalto para promocionar la aceptación probando con clientes para estos productos.
 - Proceder al Escalamiento Industrial de acuerdo a las cantidades de recolección que se tiene en nuestro país.
4. Una vez dominado y mejorado el proceso propuesto, se procedería al diseño de una Columna de Destilación al Vacío para refinar la base lubricante obtenida a: Gasóleo, Base Lubricante Ligera y Base Lubricante Pesada.

5. El procedimiento propuesto es una *Tecnología Limpia* debido a las grandes ventajas medioambientales que se tienen respecto a otros procesos propuestos. El asfalto obtenido engloba de modo inertizante todos los metales y demás contaminantes que en otros procesos constituyen un residuo tóxico y peligroso.
6. Este proceso no promueve la degradación del aceite base ni de sus respectivos contaminantes.
7. La Regeneración de aceites usados, es decir su reciclaje para obtener los aceites base originales, constituye una opción importante e interesante en la gestión de los aceites usados.
8. Del cálculo de Costos Operativos se ha estimado que los Costos de Procesamiento de 1 galón de Aceite Base Regenerado en la Unidad Piloto diseñada y descrita en el presente informe, es de US \$ 1.0891 , valor que tendería a ser menor si el proceso descrito se desarrolla en una Unidad a Escala Industrial.
9. La instalación de una Planta de Regeneración de Aceites Usados a Escala Industrial promovería al ahorro de divisas anuales en nuestro país.
10. La implementación de planes y programas tendientes a lograr un apropiado manejo, recolección, transporte y aprovechamiento de este tipo de residuo, se traducirá en grandes beneficios económicos, energéticos, ambientales y sociales, por la opción de una nueva alternativa de disposición, por la remoción de contaminantes especialmente los metales pesados y por la generación de un mercado formal que elimine su carácter de residuo peligroso, fomentando así la participación de los diferentes actores para su recuperación, acopio y tratamiento.

6.2 RECOMENDACIONES

1. Este informe recomienda la futura construcción de una Planta de Tratamiento con Solvente a Escala Piloto por grupos interesados o Plantas Lubricantes que existen actualmente en nuestro país para:
 - Permitir la perfección del diseño variando los parámetros mencionados en el presente informe.
 - La producción de suficientes cantidades de productos de aceite y asfalto para permitir la aceptación probando con vendedores de estos productos.
 - Minimizar los daños medioambientales, ya que este tipo de residuo tóxico actualmente está siendo reutilizado sin ningún tipo de control.
2. Elaborar e implementar un modelo logístico de recolección de aceites usados el cual aseguraría la cantidad y disponibilidad continua de esta Materia Prima.
3. En los lugares de recolección de los aceites usados se recomienda controlar la calidad de este producto In Situ.
4. El desarrollo de un Marco Regulatorio Ambiental y Energético que permita el cambio en la óptica de la naturaleza del aceite usado: de residuo tóxico de carácter especial a base lubricante regenerada para ser reutilizada como Materia Prima para la producción de Aceites Lubricantes para uso motor.
5. Establecer las obligaciones, preceptos de aceptación y control que deben cumplir cada uno de los aceites de la cadena de Gestión de Aceite Usado.
6. Para una mejor exactitud de la calidad de aceite en nuestro país, realizar un estudio fisicoquímico.

BIBLIOGRAFIA

1. Albarracin Pedro
LUBRICACIÓN INDUSTRIAL Y AUTOMOTRIZ
Editorial Omega
Págs. 15 – 16
2. Witteff Harold, Reuben Bryan
PRODUCTOS ORGANICOS INDUSTRIALES
VOL. II.
Pág. 23
3. RECYCLING OF USED OR WASTE OIL
[Http://www.Cleantechindia.com/eicimage/2102_80/RUWO.htm](http://www.Cleantechindia.com/eicimage/2102_80/RUWO.htm)
Págs. 1 – 2
4. Roldan Vilorio, José
MANUAL DE MANTENIMIENTO E INSTALACIONES
Paraninfo Thompson Learning, Año 2000. España.
Pags. 122 – 125
5. Mobil Technical Bulletins
REFINING OF LUBRICATING OLIZ AND WAXES
Engine Oil Specifications and Test – Significance and Limitations
Págs. 12 – 27
6. CARACTERÍSTICAS DE LOS ACEITES USADOS
[Http://www.upme.gov.co/revista/web/transformacion.htm](http://www.upme.gov.co/revista/web/transformacion.htm)
7. TYPICAL SPECIFICATION FOR A WASTE OIL DERIVED FUEL
The U.K Hazardous waste Inspectorate_ Third Report.
Págs. 19 - 20
8. PRODUCTOS Y SERVICIOS DE LOS ACEITES USADOS
<http://www.galpenergia.com/Galp+Energia/Espanol/Productos>

9. TECHNOLOGY FOR USED OIL TRATMENT
Final Report N° 0-95-1, December 1995
Aerco, Inc., P.S.
Págs.: 2 – 4
10. REGENERATION AND INCINERATION OF WASTE OILS
Taylor N. Sofres Consulting
Págs.: 20 – 42
11. Concawe The Collection, Disposal and regeneration of waste oils Related
Materials Rpeort N° 85/53, 1985.
12. NORMA TÉCNICA PERUANA
NTP 900.053:2003: Manejo de aceites usados. Re-refinación.
<http://www.indecopi.gob.pe>
13. Sequeira A., Mc Bride E.
MP REFINING OF LUBES
Hydrocarbon Processing, September 1979
Págs.: 155 – 156
14. Proceso Interline Sener para la Regeneración de aceites Usados Dr.
Ignacio Ortega. SENER Grupo de Ingeniería. Área de Energía y Medio
Ambiente.
15. Reprocessing and Disposal of waste Petroleum Oils. L.Y. Hess chemical
Technology. Review N° 140, Noyes Data Corporation, Park Ridge, NJ.
1979 Pollution Techonology Review N°64.
16. Anuario Estadístico de Energía y Minas.
17. Vaughn S. Kimball
WASTE OIL RECOVERY AND DISPOSAL
Noyes data Corporation, Park Ridge, NJ., 1975 Pollution Technology
Review N° 20
18. Quang Dang Vu, París; Francois Audibert, Lyon; Jean Francois Boucher,
Saint Germain en Laye; Henri de Ville, Licelle saint Cloud, all of France,
assignors to Institut Francais du Petrole
PROCESS FOR REGENERATION USED LUBRICATING OILS U. S.
Patent. 3,773,658,
November 20, 1973.

ANEXO

BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA

En el balance de materia partimos de una alimentación de 14.37 lb / min que equivale a 862,2 lb / hr de aceite usado, obteniéndose 771,60 lb/hr de aceite base limpio libre de impurezas y agentes contaminantes, 86,40 lb / hr de asfalto (10,00%) y 0,0% de agua. Los resultados de los balances de materia y energía se muestran en el cuadro que se presenta a continuación.

N°	SECCION	UNIDAD	MATERIA	ENTRADA (lb/hr)	SALIDA (lb/hr)
1	Tanque de Precalentamiento	T-301	Aceite Usado	862,20	862,20
2	Mezclador en Línea	M-101	Aceite Usado Propano Líquido Mezcla Aceite Usado con Propano	819,00 748,80	1567,80
3	Tanque Reactor	D-101	Mezcla Aceite Usado con Propano Propano Líquido Mezcla Aceite Usado con Propano	1567,80 1747,25	3315,00
4	Columna de Destilación Flash	D-102	Mezcla Aceite Usado con Propano Aceite Base Limpio Propano	3315,00	771,60 2502,00
5	Tanque de Destilación de Fondos	D-103	Mezcla Aceite Usado con Propano Asfalto Mezcla Aceite Usado con Propano	87,00	86,40 0,60
6	Tanque de Almacenamiento de Solvente	T-201	Propano	2502,00	2520,00

DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL CALCULO DEL BALANCE DE MATERIA Y ENERGIA EN LA PLANTA PROPUESTA

