



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE MEXICO

26  
Zej.

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

ZARAGOZA

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD  
(TECNICO-ECONOMICO) PARA LA REUTILIZACION  
DE ACEITES LUBRICANTES INDUSTRIALES

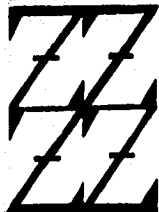
TESIS

Que para obtener el Título de:

INGENIERO QUIMICO

Presentan:

UNAM  
FES  
ZARAGOZA



LO HUMANO EJE DE  
NUESTRA CIVILIZACION

LETICIA MUÑOZ MENDOZA

JOEL MENDOZA JUAREZ

FRANCISCO MIGUEL ANGEL DIAZ GARCIA

MEXICO, D.F.

1996

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES ZARAGOZA

JEFATURA DE LA CARRERA DE  
INGENIERIA QUIMICA

OF/IQ/JU/082/004/96

**JOEL MENDOZA JUAREZ  
LETICIA MUÑOZ MENDOZA Y  
FRANCISCO MIGUEL ANGEL DIAZ GARCIA  
P R E S E N T E.**

En respuesta a su solicitud de asignación de jurado para el Examen Profesional, les comunico que la Jefatura a mi cargo ha propuesto la siguiente designación:

**PRESIDENTE:    ING. ALEJANDRO ROGEL RAMIREZ  
VOCAL:            ING. EDUARDO VASQUEZ SAMORA  
SECRETARIO:    ING. RAUL RAMON MORA HERNANDEZ  
SUPLENTE:        ING. JOSE BENJAMIN RANGEL GRANADOS  
SUPLENTE:        ING. MIGUEL ANGEL VARELA CEDILLO**

**A T E N T A M E N T E  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"**

México, D.F., 11 de marzo de 1996

  
**ING. JOSE BENJAMIN RANGEL GRANADOS  
JEFE DE LA CARRERA**

<IRM

**A MIS PADRES**

*Emma Mendoza y Quintin Muñoz.*

Por creer en mí, darme su apoyo, cariño y sobre todo su confianza, lo cual me permitió llegar al lugar donde me encuentro.

**A MIS HERMANAS Y HERMANO**

Por su cariño, apoyo y sobre todo su paciencia, lo cual me ayudo a seguir adelante, hasta lograr conseguir la realización de esta meta.

**A EL**

*Joel Mendoza J.*

Por su apoyo y cariño brindado, lo cual me permitió conseguir la realización de mi tesis.

**CON CARINO Y RESPETO**

**LETICIA MUÑOZ MENDOZA**

**MAYO 1996**

**A MIS PADRES**

**ANITA JUAREZ J. Y EUGENIO MENDOZA M.**

**LES DOY LAS GRACIAS POR SU APOYO  
INCONDICIONAL, SACRIFICIO Y CARÍÑO  
PARA SEGUIR ADELANTE Y LOGRAR  
CONCLUIR CON EXITO MI CARRERA  
PROFESIONAL CON ESTE TRABAJO DE  
TESIS.**

**A MIS HERMANOS Y HERMANA**

**POR SU CONSEJOS, AYUDA Y MOTIVACIÓN  
BRINDADA DURANTE MIS ESTUDIOS.**

**A MI NOVIA LETICIA MUÑOZ. M.**

**POR SU DEDICACIÓN Y ESFUERZO PARA  
QUE JUNTOS LOGRARAMOS CONCLUIR CON  
ESTE TRABAJO.**

**CON RESPETO Y CARÍÑO**

**JOEL MENDOZA JUAREZ**

**MAYO DE 1996**

DEDICO ESTA TESIS:

A MIS PADRES:

CON EL AGRADECIMIENTO MAS GRANDE DEL  
MUNDO POR EL INFINITO APRECIO Y APOYO  
BRINDADO.

A LA MUJER MAS LINDA DEL MUNDO  
POR SU COMPRESION Y AYUDA CONSTANTE  
( MI ESPOSA ).

A MIS HERMANOS, FAMILIARES Y AMIGOS  
CON RESPETO Y CARINO Y A TODAS  
AQUELLAS PERSONAS QUE DE ALGUNA  
MANERA CONTRIBUYERON A MI FORMACION.

ATTE:

**FRANCISCO MIGUEL ANGEL DIAZ GARCIA**

## **RESUMEN**

Este trabajo consistió en realizar un estudio técnico-económico para reutilizar aceites lubricantes usados de tipo industrial. El trabajo contemplo 5 capítulos. En el capítulo uno de generalidades se desarrollan los conceptos fundamentales acerca de los aceites lubricantes como son: definición, clasificación, tipos de lubricantes industriales propiedades generales de los lubricantes, propiedades generales de los aditivos, formulación de los lubricantes industriales, entre otros.

En el capítulo dos se realizó un estudio y análisis de mercado, en donde se analiza la demanda de los aceites básicos, aceites lubricantes industriales y la de los aceites usados re-refinados de tipo industrial. Así mismo se llevaron a cabo proyecciones de los sectores anteriores.

Los aspectos ecológicos de los aceites usados se contemplaron en el capítulo tres en donde se habla sobre la caracterización y flujo de aceites usados en México, constituyentes promedio en aceites usados, disposición, almacenamiento y transporte.

En el capítulo cuatro se describieron algunas alternativas de proceso para la regeneración de aceites usados, también se desarrolló un análisis de selección de la mejor alternativa a utilizar. Posteriormente se efectuó un balance de masa y energía, seguido del diseño, especificación del equipo y un análisis de localización de la planta.

La evaluación económica del proceso seleccionado se realizó en el capítulo cinco, en el cual se evaluaron los costos de producción como son: capital de inversión costos totales, y determinación del punto de equilibrio.

Finalmente se efectúan las conclusiones del proyecto y la bibliografía correspondiente.

## **INDICE**

<b>Introducción.</b>	1
----------------------	---

### **CAPITULO I**

<b>1. Generalidades.</b>	6
1.1 Definición de un Aceite Lubricante.	7
1.2 Función de un Aceite Lubricante.	8
1.3 Clasificación de un Aceite Lubricante.	13
1.4 Clasificación de Aceites Lubricantes Industriales.	19
1.5 Sistemas de Clasificación de Aceites Lubricantes Industriales.	21
1.6 Propiedades Generales de los Aceites Lubricantes.	25
1.7 Análisis de Aceites Lubricantes Usados Industriales.	30
1.8 Aditivos.	35
1.9 Formulación de los aceites Lubricantes.	39

### **CAPITULO II**

<b>2. Estudio de Mercado.</b>	41
2.1 Definición del Producto.	42
2.2 Análisis del Mercado	44
2.3 Proyecciones del Mercado.	55
2.4 Mercado de Consumo de Aceites Lubricantes.	72



### CAPITULO III

<b>3. Aspectos Ecológicos.</b>	77
3.1 Caracterización de Aceites Lubricantes Usados en México.	78
3.2 Composición Promedio en Lubricantes Usados.	81
3.3 Disposición de los Aceites Lubricantes Usados.	84
3.4 Almacenamiento y Transporte de los Aceites Lubricantes Usados.	91

### CAPITULO IV

<b>4. Estudio Técnico.</b>	94
4.1 Obtención de Aceites Básicos	94
4.2 Descripción de los Procesos Para la Re-refinación de Aceites Usados.	97
4.3 Selección de la Mejor Alternativa de Proceso.	121
4.4 Balance de Masa y Energía.	128
4.5 Diseño y Especificación de Equipo.	133
4.6 Análisis de la Localización de la Planta.	194

### CAPITULO V

<b>5. Evaluación Económica.</b>	226
5.1 Metodología de Análisis.	226
5.2 Punto de Equilibrio.	236

**Conclusiones.**

239

**Bibliografía.**

241

**Apendice**

251

## **INTRODUCCION**

El mal aprovechamiento y control de los energéticos naturales no renovables como son los aceites lubricantes traerá como consecuencia futura una escasez de estos, lo que hace necesario conservar y aprovechar los recursos energéticos del país. Además esto permitirá satisfacer las necesidades de la población, así como disminuir el problema de la contaminación ambiental.

Una manera de ahorrar recursos energéticos es la recuperación de lubricantes industriales usados, lo que permitirá reducir los costos de operación, mantenimiento y aumentar la eficiencia de los equipos industriales, obteniéndose utilidades antes no generadas, con el fin de obtener beneficios económicos y sociales, fortaleciendo la economía nacional.

Entre las alternativas existentes para la recuperación adecuada de los aceites lubricantes usados, están: la incineración y la re-regeneración.

La incineración, se considera un método limpio; con las desventajas de no poder reutilizar el aceite básico que en su mayor parte constituye el lubricante usado, desaprovechar la energía térmica y tener que disponer de cenizas en sitios de confinamiento. Por otro lado, se requerirá grandes inversiones en estas instalaciones, por lo que el costo de esta disposición puede resultar relativamente alto. Otra opción son los llamados combustibles suplementarios contemplados en el programa de destrucción térmica de residuos, que consiste en preparar un combustible técnico ecológico a base de una mezcla balanceada de desechos industriales como natas de pinturas, solventes, resinas, desengrasantes, tintas de impresión y aceites usados. Estos combustibles son utilizados en los hornos para fabricar cemento, en donde las condiciones de operación aseguran que los productos residuales cumplan con las disposiciones establecidas. Sin embargo en México son pocas las empresas cementeras incorporadas al uso de combustible suplementario, en virtud de que se encuentra en sus

inicios y las inversiones requeridas en la instalación de un quemador especial, almacenamiento y sistemas de monitoreo continuo de emisiones a la atmósfera es relativamente alta.

La otra alternativa para el ahorro de energía es la re-refinación o reciclado para obtener un aceite básico con propiedades similares a los aceites minerales vírgenes que provienen de la refinación del petróleo, y de esta manera volverlo a utilizar para los mismos fines o para otros tipos de aplicaciones.

La Re-refinación de los aceites lubricantes ha despertado un gran interés en los últimos años. Al parecer se comienza a concientizar a los diferentes sectores productivos, sobre la gran importancia que se tiene el poder aprovechar una materia prima, que hasta entonces se había considerado como material de desecho, una de las ventajas de la Re-refinación es el aprovechamiento de un recurso no renovable, un ahorro de energéticos y el alivio en gran medida a los problemas graves de contaminación. Los aceites usados que no pueden ser reciclados, debido a sus propiedades químicas o físicas deben ser tratados o dispuestos en confinamientos de residuos peligrosos industriales.

Al reciclar aceites usados industriales se tienen grandes ventajas como son:

- Reutilizar un recurso natural no renovable, de tal forma que se tenga un mayor aprovechamiento de los energéticos del país.
- Reducir la contaminación ambiental por la mala disposición de los aceites usados.
- En México PEMEX es el único productor de aceite básico, pero no ha logrado satisfacer la demanda nacional, por lo que al reciclar aceite lubricantes usados se tendrá una fuente de aceites básicos y poder cubrir en algún porcentaje la demanda nacional.
- Reducir de alguna manera los porcentajes de importaciones de aceites básicos.

- Crear fuentes de trabajo.
- Disminuir los accidentes, riesgos y derrames por el mal manejo y disposición del aceite usado.

Una de las principales consecuencias de la industrialización es la generación de grandes cantidades de residuos. En México uno de los fluidos residuales que representa un grave problema a la salud humana y al ecosistema es el aceite lubricante usado, debido principalmente a las formas incorrectas en que se dispone.

El aceite lubricante usado se ha considerado como un producto de desperdicio, de ahí que su manejo sea muy descuidado. Además debe tomarse en cuenta que es un producto natural no renovable que a futuro llegara a agotarse. Por otra parte no se ha logrado satisfacer el consumo nacional, lo cual genera una dependencia del exterior para poder cubrir la demanda.

La situación económica actual del país, hace necesario que se tenga un mayor ahorro de energéticos y un mejor aprovechamiento de estos.

La fricción en la industria y en las partes en movimiento de un equipo en general es un hecho indeseable atribuible a la pérdida de energía que se produce, el incremento en el tamaño requerido de los generadores de fuerza motriz y a la disminución de la vida útil de la maquinaria, todo lo cual se produce o traduce en un incremento de costos y en un mayor consumo de energéticos.

Una de las aplicaciones que se da actualmente al aceite usado contraviniendo la reglamentación expedida, es quemándolo en forma inadecuada como combustible de bajo costo. Esta disposición o uso incorrecta, representa una fuente de contaminación a la atmósfera, ya que los productos gaseosos de la combustión incompleta, se compone de

altos porcentajes de monóxido de carbono y óxidos de azufre y nitrógeno, además de incorporar al ambiente cenizas y partículas diversas.

La magnitud de los riesgos a la salud que presenta la combustión de lubricantes usados depende de la concentración de constituyentes peligrosos en lubricantes usados.

Algunos de los efectos que causan los aceites lubricantes usados debido a su mal uso y a la disposición incorrecta se mencionan a continuación:

- Los efectos que ocasionan en cuerpos receptores son: formación de películas que impiden la transferencia de oxígeno y luz, contaminan el agua, impartándole un olor y sabor desagradable; afectan la calidad para fines agrícolas y pecuarios, forman lodos afectando la vegetación y la vida de los cuerpos, etc.
- En los alcantarillados forman lodos y problemas en los ductos, pueden ocasionar incendios o explosiones, entre otros.
- Ocasiona problemas graves al utilizarlo como combustible barato sin un control adecuado.
- Al utilizarlo en plantas de tratamiento ocasiona, aumento en el consumo de energía, incrementan los costos de tratamiento, obstruye los sistemas difusores de aire, se requieren de equipos y procesos especiales para su eliminación, etc.

El objetivo a seguir en este trabajo es el siguiente:

Realizar un estudio técnico-económico para la re-refinación de aceites lubricantes industriales, como una alternativa para el ahorro de energéticos, disminución de la contaminación y apoyar la demanda de aceites básicos; originando beneficios sociales y económicos.

Este trabajo consistirá en 5 capítulos. En el capítulo uno de generalidades se desarrollaran todos los conceptos fundamentales acerca de los aceites lubricantes como son: definición, clasificación, tipos de lubricantes industriales propiedades generales de los lubricantes, propiedades generales de los aditivos, formulación de los lubricantes industriales, entre otras.

El capítulo dos se refiere a un estudio y análisis de mercado, en donde se analiza la demanda de los aceites básicos, aceites lubricantes industriales y la de los aceites usados re-refinados de tipo industrial. Así mismo se llevaran a cabo proyecciones de los sectores anteriormente señalados.

Los aspectos ecológicos de los aceites usados industriales estarán contemplados en el capítulo tres en donde se hablara sobre la caracterización y flujo de aceites usados en México, constituyentes promedio en aceites usados, disposición, almacenamiento y transporte.

En el capítulo cuatro se describirán las alternativas de proceso para la re-refinación de aceites usados. también se desarrollara un análisis de selección del mejor proceso a utilizar. Posteriormente se efectuara un balance de masa y energía seguido del diseño y especificación del equipo, posteriormente se llevara a cabo un análisis de la localización de la planta.

La evaluación económica del proceso seleccionado se realizara en el capítulo cinco, en el cual se evaluarán los costos de producción como son: capital de inversión costos totales, y determinación del punto de equilibrio.

Finalmente se contemplaran las conclusiones del proyecto y la bibliografía respectivamente.

## **CAPITULO I**

### **1. GENERALIDADES**

El papel que desempeña la lubricación, su aplicación en el momento oportuno, en la cantidad correcta y el tipo adecuado es de mayor importancia dada la estrecha relación con las funciones de la maquinaria. Actualmente el mundo requiere cada día de una mayor productividad para satisfacer las necesidades humanas, el medio para lograrlas es la automatización en diferentes niveles a fin de incrementar la velocidad y precisión de las máquinas. En nuestra época las máquinas modernas operan a altas cargas, velocidades y temperaturas extremas. Estas máquinas tienen que proveerse de un lubricante correcto en lugar y tiempo adecuados. El lubricante tiende a reducir el rozamiento, evitar el desgaste y corrosión y soportar las cargas necesarias para conservar las máquinas trabajando a la máxima eficiencia. Los lubricantes industriales cubren un amplio rango de aplicaciones que van desde los aceites lubricantes más económicos para la maquinaria antigua, hasta los que cumplen los requerimientos para el equipo más preciso. No se puede concebir ningún desplazamiento relativo entre dos cuerpos sin que exista fricción. El frotamiento o fricción es un fenómeno que sucede a diario y en ocasiones pasa desapercibido.

La fricción en la industria y en las partes en movimiento de un equipo en general es un hecho indeseable atribuible a la pérdida de energía que se produce, el incremento en el tamaño requerido de los generadores de fuerza motriz y a la disminución de la vida útil de la maquinaria, todo lo cual se produce o traduce en un incremento de costos y en un mayor consumo de energéticos.

La reducción de rozamiento se logra intercalando un lubricante entre los cuerpos que se pretende deslizar, por lo que en la práctica industrial todas las superficies susceptibles de fricción se encuentran lubricadas. El uso de los lubricantes no debe



asociarse exclusivamente a los costos de ellos y mano de obra empleada en su cambio, si no que debe evaluarse el costo adicional por el consumo excesivo de energéticos, periodicidad en la sustitución de refacciones, costo de reemplazo total de la maquinaria y paros por mantenimiento entre otros.

Los motores y máquinas hoy en día han evolucionado simultáneamente con el desarrollo de nuevos materiales, perfeccionamiento tecnológico, escasez de recursos económicos y la urgencia de una mayor productividad; dando como consecuencia equipos más compactos que trabajen a velocidades, temperaturas y presiones, mayores que los anteriores provocando la especialización de lubricantes.

### **1.1 Definición de un Aceite Lubricante.**

Se conoce como lubricante, toda sustancia (aceite, grasa y varias materias químicas sintéticas) que se usan para reducir el rozamiento y por consiguiente el desgaste y el calor entre piezas de maquinaria en movimiento, la acción lubricante eficaz es la que forma una película viscosa entre dos superficies que ruedan, resbalan o se frotan unas con otras.

Al hablar de un aceite lubricante, es necesario conocer el origen de éste, por tal motivo se menciona que es un compuesto derivado del petróleo y las diferentes etapas por las que atraviesa hasta convertirse en aceite básico. Este aceite se formula con un paquete adecuado de aditivos y se obtiene el aceite lubricante, el cual al ser utilizado genera el aceite lubricante usado.

### **Definición de Lubricante Usado.**

El aceite lubricante usado es aquel que ha perdido todas sus propiedades de lubricante, debido a la degradación de sus aditivos; es decir aquel producto que contiene además de aceites básicos, combustibles ligeros, agua, carbón, gomas, lacas, barnices, herrumbre, partículas metálicas en suspensión, metales pesados, entre otros. El aceite usado se ha considerado como un producto de desperdicio, de ahí que su manejo sea muy descuidado, originando la contaminación irracional del medio en el cual se deposite.

### **1.2 Función de un Lubricante.**

Los modernos aceites lubricantes, están ideados con tanto cuidado como cualquier pieza de un equipo. Los requerimientos del equipo se miden minuciosamente bajo una gran variedad de condiciones operacionales. Quien formula el aceite puede entonces determinar las cualidades que el mismo debe presentar.

La duración de las piezas esenciales del equipo que le genera movimiento, depende de la capacidad del aceite para neutralizar los efectos de fricción y sustancias corrosivas. A fin de suministrar esta protección durante la fabricación del aceite se le añaden compuestos químicos (aditivos) solubles en el mismo. A medida que funciona el equipo, el nivel de contaminante del aceite aumenta continuamente, este creciente nivel de contaminantes le dificulta cada vez más al aceite el proteger y lubricar el equipo.

Por ejemplo, los aditivos que dispersan los materiales formadores de sedimentos e impiden la oxidación y la corrosión, se agotan en el cumplimiento de su servicio.

Cuando esto ocurre el aceite ya no puede actuar con eficiencia entonces se debe reemplazar por uno nuevo.

Esto explica que dicho comúnmente el "aceite no se gasta", de aquí la justificación del proyecto de regeneración. Los aditivos que son esenciales para el funcionamiento adecuado del aceite si se agotan.

Las funciones principales de un lubricante son:

- Control del rozamiento o fricción.
- Control del desgaste.
- Control de la temperatura.
- Control de la herrumbre
- Control de la corrosión.
- Como aislante.
- Transmisión de potencia.
- Como amortiguador.
- Removedor de contaminantes.
- Formador de sellos.

#### **Control de la Fricción.**

La lubricación esta dedicada principalmente a reducir la resistencia a la fricción que se presenta en las superficies de interacción entre dos sólidos, cuando uno se mueve con relación a otro. Cualquier sustancia que se introduzca entre dos superficies en contacto tal que lleve a efecto una reducción en la fricción , será llamado lubricante. En forma simple se dice que la fricción es la fuerza que retarda el deslizamiento de las superficies en movimiento, es esta fuerza en forma de fricción la responsable del desgaste y eventual falla que sufren todas las partes en movimiento que conforman las máquinas. Superficies que a simple vista parecen ser lisas, están en realidad formadas en realidad por inestables picos y valles, a medida que se aplica presión y carga y las

superficies rozan entre si se produce una fricción. Los puntos más altos en ambas superficies se entrelazan llegando a romperse y a esto se le llama desgaste.

Cuando se interpone una capa de lubricante entre ambas superficies, todos los puntos altos son mantenidos sin entrar en contacto unos con otros, en estas condiciones el lubricante se comporta como si estuviera formando muchas capas delgadas, cuando la capa superior se mueve, la capa de lubricante más cercana a esta se mueve casi a la misma velocidad que la superficie en movimiento, en tanto que la capa inmediata inferior se mueve a una velocidad menor, y así sucesivamente las capas inferiores; a este fenómeno se le llama esfuerzo cortante.

### **Control del Desgaste.**

Ocurre el desgaste en sistemas lubricados debido a tres mecanismos:

- Abrasión.
- Corrosión.
- Contacto metal-metal.

#### **Abrasión.**

El desgaste abrasivo es causado por partículas sólidas que entran en el área de la superficie lubricada y físicamente erosionan esta superficie. Las partículas pueden ser contaminantes o fragmentos de desgaste.

#### **Corrosión.**

El desgaste corrosivo es causado generalmente por los productos de oxidación del lubricante. La corrosión es la principal causa del desgaste, en las máquinas de

combustión interna, los productos de combustión son elevadamente ácidos y contaminan el aceite lubricante.

#### **Contacto metal-metal.**

El desgaste causado por el contacto metal-metal, resulta del rompimiento de la película lubricante, debido a que esta película es insuficiente o la superficie es excesivamente rugosa que impide una lubricación adecuada.

#### **Control de la Temperatura.**

Esta es una función importante de los lubricantes, la temperatura de un sistema lubricado es directamente proporcional al trabajo realizado cuando dos partes se mueven relativamente, siendo importante la habilidad del lubricante para absorber y transmitir el calor generado.

Un lubricante, por lo tanto controla la temperatura por la minimización de la fricción y por arrastrar el calor generado en la operación de la maquinaria. La efectividad del control depende de la cantidad del lubricante sustituido, de la temperatura ambiente y de la provisión de enfriamiento externo.

#### **Control de la Corrosión.**

El papel de un lubricante en controlar la corrosión es importante, si la maquinaria esta parada; el lubricante puede actuar como protector de esta. Cuando la maquinaria esta en funcionamiento, los lubricantes controlan la corrosión al revestir las partes con una película, la cual contiene aditivos para neutralizar materiales corrosivos.

La habilidad de un lubricante para controlar la corrosión está directamente relacionada con el espesor de la película remanente sobre las superficies metálicas y de la composición química del lubricante.

### **Aislantes.**

En aplicaciones especializadas, el lubricante se utiliza para actuar como aislante eléctrico, esto es particularmente conveniente en equipos electrónicos como los transformadores e interruptores. Las características deseables del aceite aislante son: alta rigidez dieléctrica, baja viscosidad, a la temperatura de inflamación, ser químicamente neutro y libre de agua e impurezas.

### **Transmisión de Potencia.**

Mucha de la nueva maquinaria industrial utiliza fuerza hidráulica para la transmisión y el movimiento. Los fluidos utilizados en sistemas hidráulicos deben desempeñar las siguientes funciones:

- Transmitir potencia con un mínimo de pérdidas.
- Lubricar las partes en movimiento.
- Proteger las partes metálicas de la corrosión.

### **Amortiguador.**

La función de los lubricantes como fluidos para amortiguar choques, consiste en transferir la energía mecánica a la energía del fluido como la absorción de choques en automotores. En este caso la vibración u oscilación del cuerpo automotor causa que el pistón suba y baja en el cilindro cerrado sobre un fluido.

### **Removedor de Contaminantes.**

Los lubricantes tienen la propiedad de remover contaminantes en algunos sistemas, esto es aplicable en maquinaria de combustión interna, en donde los aditivos detergentes-dispersantes son empleados para suspender lodos y partículas de desgaste, arrastrándolos hasta el cárter y después a la superficie activa de filtros o centrifugas para removerlos. La acción de flujo de los lubricantes para remover sólidos contaminantes entre superficies es muy importante en la industria metal-mecánica.

### **1.3 Clasificación de un Aceite lubricantes.**

Los aceites lubricantes se pueden clasificar por la naturaleza del material básico con que se elaboran, por aplicaciones específicas, por su uso, por el estado físico en que se encuentran, entre otros.

#### **Clasificación de Acuerdo a su Estado Físico.**

Los lubricantes se pueden clasificar como:

**Líquidos.** Incluyen aceites minerales y aceites hechos con grasas animales o vegetales, por ejemplo, aceite de cártamo, grasa vegetal, etc.

**Semisólidos.** Dentro de este grupo se encuentran las grasas que se obtienen agregando un espesador a los aceites minerales o sintéticos.

**Sólidos.** Los lubricantes sólidos están formados por partículas de metal o compuestos químicos sólidos como por ejemplo la mica, grafito y titanio; su aplicación se encuentra a temperaturas extremadamente altas, en donde el aceite ordinario se

quemaría, también a temperaturas extremadamente bajas, el aceite ordinario se congelaría.

**Gases.** Podría parecer extraño que un gas fuera utilizado como lubricante. Se usan gases en aplicaciones que requieren de una separación muy exacta entre superficies en movimiento, en diferentes condiciones ambientales como lo pueden ser: temperaturas altas y bajas en las cuales los aceites habituales no podrían ser usados. Ejemplos de estos son el bióxido de carbono y helio.

#### **Clasificación de Acuerdo a su Estructura.**

Los lubricantes de acuerdo a su estructura se pueden clasificar en: minerales, sintéticos y mixtos.

**Minerales:** Los lubricantes minerales son los más comunes y utilizados debido a su basta disponibilidad y relativo bajo costo, siendo obtenido de la refinación del petróleo. Cabe recordar que cada fuente de crudo tiene una composición diferente de hidrocarburos, azufre y compuestos de nitrógeno, consecuentemente la composición de los aceites refinados dependerá directamente del tipo de petróleo del cual se hayan elaborado. La elaboración de los aceites requiere que el crudo sea procesado estrictamente con el objetivo de obtener productos específicos. La refinación del crudo para obtener los aceites básicos comprende principalmente las etapas de separación y conversión, donde la primera selecciona los componentes deseables del crudo, a través de algunas operaciones unitarias como destilación, extracción por solventes, tratamiento con arcilla y desparafinación, entre otras. La conversión transforma las especies químicas no deseables en componentes útiles para aceites lubricantes, entre estas operaciones se encuentran el hidrotreatmento, hidroterminado, hidrodeseintegración y la desparafinación catalítica. Los aceites se pueden dividir principalmente en parafínicos y nafténicos.



**Parafínicos.** El aceite básico parafínico es una mezcla de hidrocarburos saturados de cadena lineal que son relativamente estables. La fórmula química es  $C_nH_{2n+2}$ , que se identifica por tener las siguientes características: alto índice de viscosidad aproximadamente mayor de 80, alto punto de congelación, baja gravedad específica, gran estabilidad química, versatilidad para la elaboración de los diferentes aceites lubricantes. Debido a estas características y a la gran solubilidad que tienen con los aditivos para la elaboración de los lubricantes, son los más codiciados por las compañías fabricantes.

**Nafténicos.** El aceite básico nafténico, es un producto constituido por una mezcla de hidrocarburos saturados, que se caracteriza por un arreglo de cadena cerrada (cicloalcanos), con fórmula química  $C_nH_{2n}$  que presenta las siguientes características: bajo índice de viscosidad, bajo punto de congelación, alta gravedad específica, alta resistencia al cambio, incluyendo la oxidación. Debido a estas características se utilizan principalmente para la elaboración del aceite para corte de metales, ya que los aditivos para corte tienen mayor solubilidad en estos que en los parafínicos, también se utilizan para la elaboración de aceites lubricantes en compresoras de aire para evitar el atascamiento de las válvulas. En la tabla siguiente se muestra la composición de crudos base parafínica y nafténica con sus respectivos componentes:

**COMPOSICIÓN TÍPICA DE LA FRACCIÓN DE 250-300°F**

(porcentajes)

Tipo	PARAFINAS	NAFTENOS	AROMATICOS	CERA	ASFALTO
PARAFINICO	45-60	20-30	15-25	1-10	0-5
NAFTENICO	15-25	65-75	aprox. 10	trazas	0-5

Fuente: Manual del seminario de actualización de conocimientos de Lubricantes

Paramins. New Jersey, octubre 1993.

**Sintéticos:** Los aceites básicos sintéticos están constituidos por moléculas grandes y pesadas, estos son productos relativamente nuevos, resultado de hacer reaccionar moléculas simples. El 90 % de los aceites sintéticos producidos a nivel mundial son oligómeros, olefinicos, aromáticos alquilados, ésteres de ácidos dibásicos, ésteres de fosfatos y ésteres de polioles. Los aceites sintéticos poseen propiedades que se pueden fijar con anterioridad, debido a que es un producto homogéneo controlado. Las características que llegan a tener estos lubricantes sintéticos en comparación con los lubricantes minerales son tales como: alta estabilidad química a altas temperaturas, alto índice de viscosidad que permite que el aceite fluya a bajas temperaturas y en general mejor comportamiento.

Entre algunas de las razones para usar lubricantes sintéticos es que satisfacen mejor los requerimientos específicos para una determinada operación que los minerales; normalmente son necesarios para resolver problemas de lubricación que los lubricantes convencionales no pueden, aunque su aplicación es limitada y su campo de desarrollo cubre funciones muy especializadas.

Como un inconveniente se presenta el precio, pues son más caros. Los lubricantes de base sintética ayudan a resolver los problemas de energía, de operación y contaminación ambiental en una alta proporción.

**Mixtos:** Son mezclas de hidrocarburos parafínicos y nafténicos, sin predominio marcado de ninguna de las dos especies. Así, sus propiedades, tales como el índice de viscosidad, temperaturas de inflamación e ignición, serán también intermedias.

### **Clasificación de Acuerdo a su Aplicación.**

Al existir diversos requerimientos para un lubricante, de acuerdo a las condiciones de operación particulares, en que sea empleado, surge el interés del productor de lubricantes por formular productos con características específicas; así, si se trata de un trabajo en servicio ligero se requerirá de un aceite de baja viscosidad, si su aplicación es en la lubricación de un sistema sometido a bajas temperaturas ambientales, la característica primordial estará asociada con la fluidez del aceite a esas temperaturas.

El lubricante empleado en una turbina deberá presentar excelente estabilidad térmica y química, así como buena demulsibilidad, debido al ambiente de trabajo propicio para la oxidación y formación de emulsiones en este tipo de equipos. En la lubricación de maquinaria textil se propondrá que el aceite carezca de color para que no manche; en la industria de alimentos el aceite deberá ser inodoro e incoloro, a fin de no contaminar el olor, sabor o color del producto; en el maquinado de metales resalta la característica de disipar la energía térmica generada, además de la acción lubricante y para un sistema de engranajes se requerirá de un aceite con una función de extrema presión. En otros casos la lubricación no es requerida, siendo usado el aceite por su alta resistencia dieléctrica y bajo costo, o por su capacidad de intercambiar calor en forma media entre el aire y el agua.

Por todas estas razones surge la necesidad de contar con lubricantes específicos para cada equipo, en el que el producto debe dar el servicio requerido en cada caso, por ello a través del tiempo se han presentado diversas clasificaciones, sin embargo, entre las más aceptadas se tiene la de su aplicación. Así, los lubricantes formulados pueden dividirse en cuatro grupos: transporte, industriales, de proceso y otros, como se ilustra a continuación.

## **CLASIFICACION DE ACUERDO A SU APLICACION**

### **Lubricantes para Transporte:**

Automotrices

De cárter

servicio de gasolina

servicio diesel

Engranajes (transmisión manual/diferencial)

Transmisión Automática

Dos tiempos

Ferrocarriles

Agrícolas

Marinos

### **Lubricantes Industriales.**

Hidráulicos

A toda Pérdida

De bancada

Turbinas

Engranajes

Maquinado de metales

Solubles

Directos

Compresores

Neumáticos

Textiles

### **Lubricantes de Proceso.**

Blancos

Plastificantes

Aditivos

### **Otros Aceites.**

Dielectricos

Térmicos

Temple

Transferencia de calor

Fuente: Elaborado por la Comisión Petroquímica Mexicana.

#### **1.4 Clasificación de Aceites Lubricantes Industriales.**

Dentro de los lubricantes industriales podemos distinguir los hidráulicos, a toda pérdida, de bancada, de turbinas, para compresores, textiles de engranajes y para el maquinado de metales como los solubles y directos, entre otros, sus características o funciones dependen específicamente de su aplicación, por lo que a continuación se describen algunos de los más usuales.

**Lubricantes Hidráulicos.-** Son aceites especialmente formulados para ser usados como medio de transmisión de potencia, es decir convirtiendo la energía mecánica de una bomba en energía hidrodinámica; los principales agentes degradantes para este tipo de aceite son el aire (oxígeno), agua, temperatura y contaminación; por lo tanto, un buen aceite hidráulico debe presentar estabilidad térmica y química, características antiespuma, ser incompresible y presentar aceptable demulsibilidad.

**Lubricantes a Toda Pérdida.-** Son empleados en sistemas de lubricación mixta (película delgada) y aunque siempre se presenta algo de fricción y en consecuencia de desgaste, son ampliamente aceptados debido a su bajo costo de operación e instalación; son incorporados manual, mecánica o automáticamente a intervalos de tiempo determinado y son así llamados ya que el aceite alimentado no vuelve a ser empleado.

**Lubricantes para Turbinas.-** Existen diferentes tipos de turbinas, generalmente cada una requiere de un tipo específico de aceite de acuerdo con sus condiciones de operación. Por ejemplo, las características deseables para un aceite de turbina de vapor son: moderada baja viscosidad y excelente estabilidad química y térmica; ya que estos aceites se utilizan en cojinetes de alimentación a presión externa, con altas temperaturas de vapor y en contacto con humedad y oxígeno del aire que favorecen la

oxidación y formación de emulsiones; otra propiedad buscada es buena demulsibilidad y capacidad antiespumante. El empleo de inhibidores de herrumbre es otra práctica común en la formulación de estos aceites.

**Lubricantes para Engranajes.-** En la maquinaria industrial existen diferentes conjuntos de engranajes, los cuales frecuentemente se encuentran sometidos a condiciones de trabajo pesado, por lo cual se requiere de un aceite que contenga un aditivo de extrema presión, además de poseer alta resistencia térmica y química (oxidación), demulsibilidad y poseer características antiherrumbre.

**Lubricantes para el Maquinado de Metales Directos y Solubles.-** Son fluidos empleados en la industria metal mecánica en operaciones de corte con sierra, escariado, torneado, fresado, laminado, rolado, taladrado, roscado interno y externo, brocado interno, entre las aplicaciones más importantes. Estos aceites cumplen principalmente dos funciones:

- Disminuye la fricción entre el metal de trabajo y la cara de la herramienta, lo que influye en un incremento de la vida útil de ésta, reducción en el consumo de energía dirigida a la fuerza motriz y una mejor calidad en el acabado superficial del metal maquinado.
- Disipar la energía térmica generada por la operación.

Para los trabajos de maquinado, el enfriamiento es la condición primordial y el agua es preferida sobre el aceite por ser mejor transmisor de calor.

Cuando se requiere de una lubricación adicional, es necesaria una emulsión de aceite en agua, que se prepara con un aceite soluble, la porción a utilizar dependerá de la principal característica deseada entre las variables de lubricación y enfriamiento, a mayor lubricación, mayor porcentaje de aceite. A medida que la naturaleza del corte es

más severa y las velocidades son relativamente más bajas, surge la necesidad de un aceite cuya función principal sea reducir el rozamiento, para lo cual existen los llamados aceites directos.

**Lubricantes para Compresores.**- La principal función que debe cumplir este tipo de aceites es lubricar el cilindro del compresor, sin ser afectado en sus características por el gas que se comprime; asimismo, el lubricante no deberá interferir sensiblemente con el gas. En ocasiones, puede darse el caso de que no se acepte ningún grado de contaminación al gas (compresores sin lubricación), por lo que el pistón de esos cilindros va montado con anillos de carbón grafitado o de teflón, lo cual resulta muy costoso.

### **1.5 Sistemas de Clasificación de Aceites Lubricantes Industriales.**

En virtud de los cambios y de la necesidad de diferenciar los productos de acuerdo a su servicio y especificación, se requieren de lubricantes que avancen paralelamente a estas innovaciones. Lo anterior da como resultado especificaciones más estrictas, surgiendo la necesidad de clasificar a los aceites industriales. La clasificación comúnmente empleada en los aceites industriales es la viscosidad ISO (International Standard Organization), introducida internacionalmente en febrero de 1975 como ISO 3448 y la cual ha sido aceptada en la mayoría de los países. Fue desarrollada conjuntamente por ASTM (American Society For Testing And Materials) y ASLE (American Society of Lubrication Engineers).

Originalmente la clasificación estuvo basada en viscosidades medidas a 100°F, pero se modificaron para estar en concordancia con el sistema internacional, estableciéndose viscosidades determinadas a 40°C, donde se definen 18 grados de viscosidades, y cada uno está designado con un número que se obtiene al redondear la viscosidad media del aceite. En la siguiente tabla se muestra la clasificación.

## SISTEMAS DE VISCOSIDADES PARA LUBRICANTES INDUSTRIALES

GRADO DE VISCOSIDAD	VISCOSIDAD MEDIA A 40°C mm <sup>2</sup> /s (cst)	LIMITE DE VISCOSIDAD CINEMATICA A 40°C mm <sup>2</sup> /s (cst)	
		MINIMA	MAXIMA
ISO VG 2	2.2	1.98	2.42
ISO VG 3	3.2	2.88	3.52
ISO VG 5	4.6	4.10	5.06
ISO VG 7	6.8	6.20	7.48
ISO VG 10	10.0	9.00	11.00
ISO VG 15	15.0	13.50	16.50
ISO VG 22	22.0	19.80	24.20
ISO VG 32	32.0	28.80	35.20
ISO VG 46	46.0	41.40	50.60
ISO VG 68	68.0	61.20	74.80
ISO VG 100	100.0	90.00	110.00
ISO VG 150	150.0	135.00	165.00
ISO VG 220	220.0	198.00	242.00
ISO VG 320	320.0	288.00	352.00
ISO VG 460	460.0	414.00	506.00
ISO VG 680	680.0	612.00	748.00
ISO VG 1000	1000.0	900.00	1100.00
ISO VG 1500	1500.0	1350.00	1650.00

Fuente: Lubrication Fundamentals, J.George Wills, Mobil Oil Corporation,  
Marcel Dekker, Inc. 1980.



Es muy importante, saber interpretar y comprender la clasificación de un aceite. A continuación se hace mención de los puntos importantes:

- Fácil interpretación del comportamiento y calidad de un lubricante.
- Los niveles de calidad de un aceite pueden imprimirse fácilmente en los manuales de OEM (Original Equipment Manufacturers) y su equivalencia con otros productos.
- Los fabricantes de aceites utilizan la clasificación como una característica sobresaliente.
- Rebasa las barreras de lenguaje de uso común.
- Una mejor comunicación entre:

- \* La industria de Lubricantes
- \* Fabricantes de equipo
- \* Clientes

Existen otras organizaciones que clasifican a los aceites industriales de manera diferente, como son las siguientes:

**AGMA.**- The American Gear Manufacturers Association. Describe la viscosidad de los aceites para engranes de acuerdo con ISO VG. Especifica el tipo de aceites para engranes por medio de pruebas, de comportamiento y composición. Las clasificaciones más importantes de aceites para engranes son: R&O, EP y compuestos.

**NLGI.**- National Lubricating Grease Institute. Identifica la consistencia de una grasa por su penetración a 25°C en el trabajador de grasa a 60 golpes.

**OTROS.** - Existen otras clasificaciones más específicas para varias aplicaciones, como por ejemplo:

- \* DIN 51506: VB, VC, VD, VB-L, VC-L, VD-L (aceites para compresores).
- \* HH, HL, HM, HV, (aceites hidráulicos).

**Aceites de Extrema Presión (EP).**

Los aceites de extrema presión, además de contener un paquete de aditivos, contienen también un agente de extrema presión. Estos se aplican para condiciones severas de lubricación límite, de impactos fuertes o en donde no se puede mantener un régimen de lubricación hidrodinámica. No es aplicable a altas temperaturas, debido a su inestabilidad térmica de los aditivos EP.

## **1.6 Propiedades Generales de los Aceites Lubricantes.**

Después de haber refinado el aceite lubricante, este posee propiedades físicas y químicas que nos permiten identificarlos y clasificarlos. Las propiedades o pruebas de laboratorio que permiten distinguir estas propiedades están basadas en las normas ASTM (American Society For Testing Of Materials), para productos del petróleo, lubricantes y combustibles fósiles. A continuación se define las propiedades principales de los aceites lubricantes.

### **Peso Específico.**

Es la relación del peso de un líquido al peso de un volumen igual de agua a la misma temperatura, a este concepto se le conoce también como gravedad específica (SpGr). Esta escala de gravedad es establecida por el Instituto Americano Del Petróleo (API), el cual establece la unidad que se llama grados API. Los valores API se expresan en grados ( $^{\circ}$ API) y se refieren a la gravedad específica a  $60^{\circ}$ F.

$$^{\circ}\text{API} = 141.5 / (\text{SpGr} (60/60)) - 131.5$$

La densidad API del agua es 10, los líquidos más ligeros que el agua tienen valores mayores de 10, y líquidos más pesados que el agua tienen valores menores de 10.

### **Temperatura de Inflamación.**

Básicamente es la temperatura a la cual deberá calentarse un aceite lubricante o algún compuesto petrolífero, en la cual los vapores de la muestra se queman cuando se

les hace pasar una pequeña flama por la superficie. Indica la temperatura en que comienza la evaporación del aceite.

### **Temperatura de Ignición.**

Es la temperatura que se localiza cuando al seguir calentando y pasar continuamente la flama se logran encender los vapores desprendidos por lo menos durante 5 segundos.

Se debe considerar la presión atmosférica del lugar donde se realiza la prueba, cuando dicha presión difiera de 760mmHg, el punto de inflamación e ignición se deberá corregir mediante las siguientes ecuaciones:

$$T \text{ inflamación} = F + 0.06(760 - P)$$

$$T \text{ ignición} = F + 0.06(760 - P)$$

$$T \text{ inflamación} = C + 0.03(760 - P)$$

$$T \text{ ignición} = C + 0.03(760 - P)$$

F= Temperatura de inflamación o ignición en °F

C= Temperatura de inflamación o ignición en °C

P= Presión atmosférica del lugar donde se realiza la prueba

El conocimiento de las temperaturas de inflamación o ignición de un aceite es una medida de precaución para evitar que esto ocurra en la lubricación de un sistema que se maneje a altas temperaturas.

### **Temperatura de Fluidéz.**

Es la temperatura más baja a la que puede fluir un aceite bajo condiciones específicas cuando se enfria de manera continua y sin agitación. La temperatura mínima de fluidéz es básica para establecer la temperatura más baja a la que puede trabajar un aceite y que pueda fluir libremente, esto debido a que se tiene sistemas de lubricación de maquinaria o de equipos industriales que operan a muy bajas temperaturas o en climas muy fríos.

### **Temperatura de Escurrimento.**

Es la temperatura a la cual el aceite deja de fluir y comienza a solidificarse.

### **Viscosidad.**

La viscosidad es la resistencia que presenta un aceite a fluir. La viscosidad es una de las propiedades que varía con la temperatura a mayor temperatura la viscosidad disminuye o bien si la temperatura disminuye la viscosidad aumenta. También se dice que es la resistencia interna que se opone al movimiento de una capa de líquido en relación con una capa adyacente o la fricción interna de un líquido.

### **Índice de Viscosidad.**

El índice de viscosidad es un número empírico que indica la velocidad de cambio de viscosidad de un aceite dentro de una variante de temperatura. Un índice de viscosidad bajo significa un cambio de viscosidad relativamente grande, motivado por un cambio de temperatura, mientras un índice de viscosidad alto indica un cambio relativamente pequeño en la viscosidad debido a un cambio en la temperatura. El índice de viscosidad no puede ser empleado para medir ninguna otra cualidad de un aceite.

### **Residuos de Carbón.**

Este término se utiliza para designar los residuos carbonosos formados después de la evaporación o pirólisis de un aceite lubricante. también se utiliza para prever algún indicio en la formación de depósitos, tales como: coque, barniz, resinas, etc; el valor en el residuo de carbón se utiliza como un control de manufactura en los aceites lubricantes.

### **Cenizas sulfatadas.**

Esto se aplica para la determinación de cenizas sulfatadas provenientes de aceites lubricantes usados y nuevos, e indica la concentración de metal(excepto plomo) en los motores de combustión interna. En los aceites nuevos se determina si el aceite contiene la cantidad adecuada de aditivos. Estos aditivos usualmente contiene uno o más de los siguientes metales: bario, calcio, magnesio, zinc, potasio, sodio, estaño, etc. Los elementos de azufre, fósforo y cloro también pueden estar presentes en forma combinada.

### **Contenido de Azufre.**

Es importante controlar el nivel de azufre, en un aceite lubricante, este control sirve para predecir las condiciones de funcionamiento del lubricante en uso. En algunos casos la presencia de compuestos de azufre es ventajosa, pero en otros resulta una fuente corrosiva; ya que al trabajar a temperaturas elevadas y en condiciones de humedad, el azufre puede formar ácido sulfúrico.

### **Demulsibilidad.**

Mide la capacidad del aceite para separarse del agua. La velocidad de separación del agua y el aceite es importante en sistemas de circulación, en donde se encuentra el agua como contaminante.

### **Color.**

El color en el aceite, sirve para identificar el mismo; así, los de origen parafínico tienen un color fluorescente al reflejo de la luz mientras los nafténicos producen reflejos azulados. El color es útil en cuanto a controlante de la uniformidad, por tal motivo existen diferentes métodos para caracterizar la producción.

### **Índice de Refracción.**

Es la relación entre las velocidades de propagación de las ondas de dos medios (sólido-aceite) en cuya superficie de separación se refracta un rayo de luz. El índice de refracción depende de la longitud de onda y de la temperatura. Este valor nos indica en cierta medida la pureza de los aceites lubricantes, aunado a otras propiedades físicas como la viscosidad y gravedad específica.

### **Número de Neutralización.**

Es el número expresado en miligramos de hidróxido de potasio (KOH) que se necesitan para neutralizar el ácido en un gramo de aceite. Por medio de esta prueba se pueden determinar los cambios relativos del aceite bajo condiciones de oxidación. Mide la formación de productos dañinos en los aceites.

### **Número de Saponificación.**

Es la cantidad de álcali, expresada en términos del número equivalente en mgr de potasa (KOH). La muestra es calentada con un exceso de una solución alcohólica de KOH, dando un número de saponificación. Todos los aceites lubricantes tienen números de acidificación y neutralización particulares, dependiendo del origen de esos constituyentes.

### **Estabilidad a la Oxidación.**

Es importante determinar la resistencia del aceite a la oxidación, ya que éste al entrar en función puede alcanzar altas temperaturas que pueden ser causa de una reacción química entre el aceite y el oxígeno formando los ácidos.

### **1.7 Análisis de Aceites Lubricantes Usados Industriales.**

Es cierto que debido a las condiciones severas de operación y de los porcentajes de composición, los lubricantes pueden tener verdaderamente un desgaste por lo menos en un grado. La degradación puede ser el resultado de ambas acciones físicas y químicas, generando contaminantes extraños. Es necesario recordar que los lubricantes son frecuentemente mezclas complejas de aditivos químicos en una variedad de aceite base. Puesto que la terminación de estos lubricantes son siempre diseñados específicamente para aplicaciones particulares, mejorando sus características tales como estabilidad a la oxidación, lubricidad, antidesgaste, antiherrumbre, características EP y propiedades de detergencia y dispersancia.

Los compuestos que imparten estas propiedades van siendo gradualmente "usados" durante el desarrollo de sus respectivas funciones. La exposición del lubricante a las



condiciones y las composiciones del lubricantes son importantes para evitar la aceleración del deterioro del lubricante y daños a los equipos. La deterioración de un lubricante es la pérdida de la capacidad de lubricar eficazmente, es decir de su función.

La contaminación por materiales abrasivos o corrosivos puede causar severos daños a los equipos. El deterioro de un lubricante es frecuentemente una función del tiempo de servicio, temperatura del sistema, porcentaje de composición y de condiciones ambientales, entre otras.

### **Pruebas de desgaste.**

Como se menciona anteriormente los compuestos aditivos dentro del lubricante llegan a ser agotados, muchos de estos aditivos contienen un elemento inorgánico, como un metal, azufre, fósforo, nitrógeno, etc. Algunas veces los contaminantes actúan como agentes catalíticos y aceleran el análisis o composición química de los lubricantes, alterando la calidad, eficiencia y capacidad de lubricar los equipos, por lo que se tiene la necesidad de efectuar un análisis cualitativo y cuantitativo para determinar el grado de agotamiento.

El grado de análisis químico y físico pueden determinarse por un amplia variedad de estándares y pruebas especiales. Los resultados de las pruebas pueden indicar la necesidad para un inmediato cambio o para una acción correctiva para mejorar el nivel de calidad del lubricante.

El tipo de análisis puede ser diferente de acuerdo al tipo de producto y a la aplicación. En algunos casos unas pruebas simples pueden ser suficientes. Puede ser necesario solamente notar el olor y el cambio de color. La oxidación de un aceite es un indicativo si el aceite a oscurecido significativamente en el servicio y a sufrido una quemadura.

Hay varios métodos analíticos disponibles para determinar cuantitativamente los elementos inorgánicos presentes en los aditivos de los lubricantes. Entre estos están la espectrografía de emisión, rayos X y aparatos de absorción atómica que han sido ampliamente usados para este propósito. sin embargo, se debe tener precaución con respecto a la interpretación de estos datos, la sola presencia de estos elementos en la misma concentración presente en el lubricante cuando nuevo, no asegura un comportamiento asociado originalmente a estos elementos. Esto se debe al hecho que los aditivos sufren cambios químicos al desarrollar sus funciones sin que necesariamente se produzca un cambio en la concentración de un elemento en particular asociado con el aditivo. Normalmente, sin embargo, una reducción en la concentración de los elementos ocurre en el servicio y bajo estas circunstancias los valores que se obtienen dan algún índice del agotamiento que el aditivo ha sufrido en un tiempo dado.

Un medio para evaluar tanto los cambios químicos y cambios en concentración que pueden producirse durante el servicio es la espectroscopia infrarroja. En estos métodos se hace pasar luz infrarroja de longitud de onda variable a través de una delgada película de muestra. La absorbancia a una longitud de onda identifica la estructura molecular y la extensión de la absorbancia es función de la concentración de la estructura en particular. Los resultados obtenidos con esta técnica están sujetos a diferentes interpretaciones y dentro de ellas no se ha encontrado que sean suficientes para evaluar cuan agotado está el aditivo en un lubricante usado.

A continuación se mencionaran el control de distintos equipos utilizados en la industria y las diferentes pruebas a las que son sometidos:

### **Sistemas Hidráulicos.**

Las características generales de los aceites hidráulicos son similares a los aceites de turbinas. Estos incluyen inhibidores de corrosión y oxidación, excelentes características de separación del agua, resistencia a la espuma y a la aireación. Este aceite se formula incorporando aditivo antidesgaste en base a Zn y Fósforo y cuyas viscosidades más típicas van del grado ISO 32 al ISO 150.

Las pruebas requeridas para este tipo de aceite generalmente son: apariencia, olor, agua y sedimentos por centrifugación, viscosidad, desgaste metálico, espuma, número y de neutralización.

La viscosidad es de gran importancia en estos sistemas por lo que se debe tener un control adecuado, en los mecanismos hidráulicos el desgaste metálico están presentes una gran variedad de metales excepto el silice, un cambio inesperado en el contenido de metales indica un desgaste anormal. La formación de espumas comúnmente se debe a la contaminación con agua y otras sustancias extrañas, así como a algunas condiciones mecánicas que se pudieran presentar. Algunas de las causas que influyen en el desgaste de un lubricante en sistemas hidráulicos se mencionan a continuación:

- Temperatura excesiva.- se tiene una tendencia a la oxidación, por lo que la viscosidad tiende a aumentar y los materiales ácidos pueden ser corrosivos.
- Contaminación por agua.- tendencia a la oxidación y del herrumbre del sistema hidráulico.
- Partículas Contaminantes.- Influyen en el aumento de la oxidación, partículas abrasivas aceleran el desgaste.
- Formación de espuma y aireación.- Pueden alterar las características de lubricación. La causa probable es por problemas de operación. Los contaminantes son la causa de la formación de espuma.

## **Compresores.**

Los compresores generalmente utilizan lubricante de base refinada con aditivos antiherrumbre, antioxidante, antiespuma, aireación y rápida separación de agua. Las pruebas principales son: viscosidad, desgaste metálico, apariencia, olor, espuma, número de neutralización, apariencia y agua y sedimentos. Los factores que influyen en la vida útil de los compresores son similares a los mencionados para sistemas hidráulicos.

## **Turbinas.**

Las turbinas son lubricadas con aceites formulados de bases altamente refinadas con un paquete de formulación de rápida desaireación y rápida separación de agua. Sus viscosidades van normalmente de un grado ISO 32 a ISO 100. Las pruebas para aceites lubricantes de turbinas son generalmente las siguientes: apariencia, olor, agua y sedimentos por centrifugación, viscosidad cinemática, entre otras. Los análisis de los resultados con sus respectivas causas se citan a continuación:

- **Apariencia.** - Una apariencia turbia significa una contaminación o una humedad, mientras que una apariencia oscura es el resultado de una oxidación y una contaminación. Si el aceite es claro se dice que es normal.
- **Olor.** - Cuando se tiene una oxidación, gases disueltos y una contaminación del aceite se tiene un olor penetrante.
- **Agua y Sedimentos.** - Se tiene trazas de agua debido a una posible condensación, los sedimentos son causa de partículas de desgaste contaminantes.
- **Viscosidad.** - La oxidación es una causa para aumentar la viscosidad de una turbina, la contaminación del aceite tiende a disminuir la viscosidad.

## **Reductores de Engranajes.**

Los aceites más típicos para cajas reductoras de engranajes están compuestos de un aceite base refinado por solventes, más un paquete de aditivos de extrema presión tipo azufre-fósforo. Sus viscosidades varían de ISO 68 a ISO 3.000. El control de estos aceites se basa en detectar el tipo de contaminación, degradación y causas del desgaste anormal. Las pruebas de laboratorio más comunes son: apariencia, olor, agua, sedimentos por centrifugación y desgaste de diferentes metales. Los resultados de las pruebas se analizan en base a límites máximos permisibles. A continuación se mencionan algunas pruebas con sus respectivas probables causas :

- Aumento de viscosidad.- La causa puede ser la mezcla con aceite de mayor viscosidad, aunque el aumento indica más claramente problemas de oxidación para este tipo de aceites. De la misma manera la mezcla con un aceite de menor viscosidad tiende a disminuir esta.
- Degradación.- La degradación es causa de altas temperaturas de operación, bajos niveles de aceite.
- Sedimentos.- La contaminación con polvos, la oxidación del aceite y un desgaste causan altos contenidos de sedimentos.
- Metales.- Un alto contenido de metales se debe a la contaminación, humedad, polvo y agotamiento de los aditivos de extrema presión debido a una degradación.

### **1.8 Aditivos.**

En realidad, los aceites lubricantes básicos, por sí solos, carecen de la totalidad de propiedades que permitiría un funcionamiento óptimo de la máquina donde se aplican. Con el objeto de mejorar o proporcionar, cuando así se requiera las capacidades de lubricación de los aceites, se les añade diferentes sustancias químicas, comúnmente llamadas aditivos.

Los aditivos son sustancias o productos orgánicos e inorgánicos que al ser mezclados con los aceites básicos refuerzan o mejoran las propiedades del lubricante. El crecimiento de la industria de los lubricantes ha sido eficazmente apoyada por el desarrollo técnico de nuevos y mejores aditivos, dando como resultado la optimización constante de las formulaciones, cumpliendo de esta forma con los requerimientos tecnológicos de una industria moderna y dinámica.

Los aditivos son usados de acuerdo a las características y severidad de las condiciones de operación para las cuales se destinará el aceite terminal, además se debe considerar la calidad del básico empleado, ya que a mayor calidad de éste se requerirá menor aditivación que en otro de menor calidad.

En la actualidad existe una gran cantidad de aditivos, algunos de ellos con características multipropósito, por lo que las empresas productoras de estos insumos cercioran que los aditivos recomendados en las formulaciones sean compatibles entre sí, así como con los aceites básicos con los que se mezclan. La industria de los aditivos para lubricantes se ha caracterizado por comercializar en su mayoría un mezcla de productos llamados "paquete de aditivos", la cual es vendida a las empresas de lubricantes de acuerdo a la formulación específica que se desea elaborar. por tal razón, el desarrollo técnico de las formulaciones recae prácticamente en estas empresas. A continuación se describen los principales aditivos empleados:

**Antidesgaste.**- Estos aditivos se adhieren a las superficies metálicas, formando una capa que la protege contra el desgaste, son utilizados principalmente en máquinas que requieren lubricación de película delgada, estos son fosfatos orgánicos, jabones de plomo, entre otros.

**Inhibidores de Corrosión.** Estos aditivos protegen las partes metálicas de los equipos del ataque químico, dando una vida más larga al equipo. Ejemplos de estos son: sulfonatos y fenatos de Bario, Calcio y Magnesio, Ditiófosfato de Zinc.

**Antioxidantes.** Los aditivos antioxidantes disminuyen la oxidación del aceite, evita el aumento de viscosidad, así mismo reduce la generación de ácidos, lodos, lacas y barnices. Evita menor desgaste químico y abrasivo y menores temperaturas de operación, alargando la vida del aceite, ejemplos de estos son: Ditiófosfato de Zinc, Difenílaminas, Fenoles Alquilados y Alquifosfitos.

**Antiespumantes.** Evitan la formación de espuma en el aceite, que da lugar a una lubricación regular, reduce la tensión superficial para que el aire se desprenda más fácilmente, así mismo reduce la posibilidad de corrosión por la humedad contenida en las burbujas, también disminuyen la posibilidad de cavitación en el sistema y el funcionamiento irregular de la bomba de aceite, obteniendo una vida más larga del equipo y del aceite. Las sustancias que cumplen con estas funciones son: Silicones, Copolímeros y ceras modificadas.

**Inhibidores de Herrumbre.** Son utilizados en la mayoría de los aceites, especialmente cuando puede haber agua por contaminación o condensación, forman una película continua que protege la superficie metálica de la presencia de agua y neutraliza los ácidos corrosivos. Previenen la formación de herrumbre en las partes metálicas, principalmente en las superficies ferrosas. Las sustancias que se emplean para estos son: Sulfonatos de sodio o calcio, Aminas fosfatadas, aceites y ácidos grasos.

**Mejoradores del Índice de Viscosidad.** Los mejoradores del índice viscosidad se añaden para reducir la velocidad de cambio de viscosidad, es decir, disminuyen la relación de cambio de la viscosidad con la temperatura. Provocando menor tendencia a que el aceite se adelgace con el aumento de temperatura, evitando el desgaste, esto se

logra añadiendo al aceite polimeros de butileno, olefinas polimerizadas, copolimeros de acrilato y metacrilato, etc.

**Dispersantes.-** Mantienen en suspensión a los contaminantes, evitando la formación de lodos y depósitos. Se obtiene una lubricación mas eficiente y eliminación de las partículas contaminantes al momento de efectuara un cambio de aceite, ejemplos de estas sustancias son: polimeros de estireno, polimetacrilatos conteniendo nitrógeno, aminas, entre otros.

**Detergentes.-** Son utilizados en donde existen altos niveles de contaminación, depósitos y ácidos, mantienen limpia la superficie lubricada al suspender los insolubles en el aceite, además neutralizan los ácidos formados, evitando la degradación y el desgaste químico del lubricante, se obtiene con esto más eficiencia, menor desgaste químico y abrasivo. Las sustancias mas comunes son: sulfonatos, fenatos, jabones de calcio, bario o magnesio.

**Agentes de Extrema Presión.-** Estos aditivos activados por presiones y temperaturas muy elevadas, en donde los aditivos antidesgaste normales fallarian. Forman una película lubricante que soporta altas cargas, evitando el contacto directo entre las superficies. Reducen la fricción prolongando la vida de los equipos. Algunas de la sustancia que se emplean son: Ditiolfatos de zinc, olefinas acloradas, ditiocarbonatos orgánicos, entre otros.

**Emulificantes.-** Estos aditivos permiten la formación de una emulsión estable con el agua, reduciendo la tensión superficial del aceite, de manera que el aceite y el agua se separen rápidamente. Evita los depósitos de lodos, lacas, gomas, herrumbre, etc; en el fondo de los depósitos de aceite de los motores y las máquinas al mantener estos en suspensión, ejemplos de estos son: jabones alcalinos, sulfonatos de petróleo, detergentes derivados de hidrocarburos.



**Adhesivos.**- Aumentan la adherencia del lubricante sobre la superficie en que se aplican. En lubricación o película delgada protege la superficie y evita el derrame, las sustancias utilizadas son: polímeros de isobutileno, etc.

**Desactivador de Metales.**- Forman películas sobre las superficies metálicas para contrarrestar su efecto catalítico que favorece la oxidación, estos aditivos se utilizan cuando hay metales suaves en el sistema y alta tendencia a la formación de ácidos, inhiben el efecto catalítico de los metales en la oxidación y corrosión. Las sustancias que se utilizan para ello son: fosfitos y compuestos de azufre, sulfuros orgánicos, diaminas, etc.

**Depresores de la Temperatura de Congelación.**- Este aditivo se agrega para disminuir la temperatura a la cual los aceites todavía no solidifican, ocasionando problemas cuando existe una temperatura baja e impide el vaciado del aceite así como la entrada de aceite en la bomba. Esto permite que el aceite fluya a bajas temperaturas. Ejemplos de estos son: los ésteres del ácido metacrílico, etc.

### **1.9 Formulación de Lubricantes Terminados.**

La mayoría de los lubricantes terminados son el resultado de la mezcla de aceites básicos con un paquete de aditivos, éste influye determinadamente en las propiedades finales del producto.

El proceso de formulación de un lubricante se puede apreciar con la recepción de las materias primas (aceites básicos y aditivos), a las cuales antes de ser descargadas les son practicadas diversas pruebas de control de calidad, tendientes a verificar las características especificadas para cada una de ellas.

Como se ha indicado, existe una gran cantidad de lubricantes industriales, que actúan en condiciones de servicio diferentes que generalmente no es posible elaborarlos a partir de un solo aceite básico, siendo necesario utilizar dos o más tipos de diferentes viscosidades. Con objeto de determinar la proporción de cada uno de ellos en la formulación, se recurre a tablas en las cuáles únicamente se requiere conocer la viscosidad final deseada y las correspondientes normalmente a un aceite básico ligero y un pesado.

El equipo utilizado para la formulación es un tanque mezclador, provisto de agitación y un sistema de calentamiento a través de un serpentín de vapor mediante una bomba que tiene la función de recircular el aceite.

La formulación física de un lubricante, se inicia propiamente cuando se bombea en primer término la cantidad de aceite ligero determinada, a continuación se transfiere el aceite pesado y por último el paquete de aditivos, cabe señalar que, en el caso de los aceites multigrado es necesario adicionar de manera complementaria un porcentaje de alrededor del 10% de un mejorador del índice de viscosidad.

La aditivación se realiza en un intervalo de temperatura de 40 a 60°C, a fin de lograr una dispersión óptima en el seno de los aceites básicos; cabe señalar que no en todas las formulaciones se requiere incrementar la temperatura, ya que en algunas de ellas se elaboran sin ningún problema a la temperatura ambiente.

## **CAPITULO II**

### **2. ESTUDIO DE MERCADO.**

La producción de aceites lubricantes es muy importante, tomando en cuenta su función y servicio, ya que sin ello no se tendría ninguno de los productos elaborados, por lo cual es muy requerido y provoca una insuficiencia en cuanto a su producción a nivel nacional. Debido a que **PEMEX** es el único que se encarga de la elaboración de la materia prima (Aceite básico) para la distribución correspondiente a las empresas que se encargan de la producción, resulta muy necesario la importación tanto de aceites básicos como de aceites terminados debido a la demanda existente.

Por lo anterior surge la necesidad de la re-refinación, como una alternativa para cubrir una demanda de tipo social que se requiere para el desarrollo del país.

El mercado potencial que tiene la re-regeneración de aceite lubricante de tipo industrial es un ahorro de energéticos, aprovechando un desperdicio como son los aceites lubricantes usados, disminuir riesgos por la contaminación, apoyar a satisfacer el consumo nacional y poder fortalecer el mercado de los aceites básicos.

Debido a que no se cuenta con información específica sobre la demanda de aceites lubricantes industriales re-refinados, pero sabiendo que el producto obtenido de la re-refinación es aceite básico, por lo tanto en este capítulo se estudiará el mercado de los aceites lubricantes básicos terminados de tipo industrial y las perspectivas de la re-regeneración de aceites usados.

Finalmente analizando el comportamiento histórico del mercado y se efectúan un análisis de proyección de los diferentes sectores de aceites lubricantes que intervienen en la economía nacional.

## **2.1 Definición del Producto.**

Un producto usado, como lo sabemos es aquél que después de prestar sus servicios, ha perdido casi el 100% en cuanto a sus funciones. Por lo siguiente un aceite usado es aquel que ya no tendrá las propiedades necesarias ya sean físicas o químicas para su adecuado empleo o servicio para el cual esta destinado, lo cual genera una sustitución de sus funciones y una fuente de desechos.

Ahora un aceite Re-refinado es aquel que después de haber sido usado, se somete a un proceso que consiste en tratamientos físicos y/o químicos adecuados que le generen características similares a las de un aceite básico. El aceite básico virgen es un patron para establecer la calidad deseada de un aceite re-refinado, dependiendo del uso que tuvo el aceite se debe de tener mas estricto control en el proceso para lograr la calidad necesaria y poder garantizar la producción, distribución y consumo del aceite re-regenerado en el mercado.

Cabe mencionar que varias de las empresas formuladoras de aceites lubricantes son clientes potenciales de petróleos mexicanos, por tener alta calidad en la elaboración sus aceites básicos y por cubrir la demanda de este producto en un alto porcentaje.

Por lo tanto el producto deseado de la re-refinación es un producto con propiedades similares a las del aceite básico virgen aundano a esto un precio inferior al del aceite virgen para garantizar su entrada en el mercado. En la tabla siguiente se muestran las características generales de un aceite básico virgen.

### COMPOSICIÓN DE ACEITE BÁSICOS VIRGEN

CARACTERÍSTICAS	VALOR
Viscosidad 40°C Cst.	48.59
Viscosidad 100°F SSU	252.9
Viscosidad 210°F SSU	48.9
Índice de Viscosidad	89
Punto de Inflamación °F	417
Punto de Escurrimiento °F	15.8
Punto de Congelación °F	-35
Punto Flash °F	355
Densidad 15°C g/ml	0.8978
Densidad 20°C g/ml	0.8894
Cenizas Sulfatadas %	1.13
Residuos de Carbón %	1.10
Azufre %	1.30
Nitrógeno %	.021
Pentanos Insolubles %	.050
Número de Saponificación mg	2.72
Número Total de Acido mg	1.27
Número Total Básico mg	6.85
Bario ppm	162
Calcio ppm	3430
Magnesio ppm	20
Potasio ppm	7
Sodio ppm	5
Fosforo ppm	470
Zinc ppm	359
Cromo ppm	0
Cobre ppm	menos de 1
Hierro ppm	1
Plomo ppm	0
Estaño ppm	0
Níquel ppm	0
Silicio ppm	3

## **2.2 Análisis del Mercado.**

La demanda o Consumo Aparente, como su nombre lo indica es lo necesario en cuanto a cantidad en bienes y/o servicios requeridos por la sociedad para la satisfacción de las necesidades específicas en cuanto a los aspectos tanto económico como de servicio.

$$\text{DEMANDA} = \text{PRODUCCION NACIONAL} + \text{IMPORTACION} - \text{EXPORTACION}$$

### **Comportamiento Histórico de la Demanda.**

Como se menciono anteriormente, la demanda surge por las necesidades de la sociedad en cuanto a su crecimiento y como se sabe que un lubricante se involucra en la satisfacción de un sin fin de necesidades de esta, también se deduce que ira creciendo constantemente con el transcurso del tiempo.

Una manera de comprobar que el crecimiento será constante de acuerdo a las necesidades de la humanidad, se muestra estadísticamente a través de los años transcurridos como se muestra en la tabla 1 de aceite básico, lo cual se refiere a la necesidad de aceite Re-refinado.

**TABLA 1**  
**PRODUCCION DE ACEITE BÁSICO.**

AÑO	CANTIDAD (millones de litros)
<b>1985</b>	388.8034
<b>1986</b>	371.3943
<b>1987</b>	400.4095
<b>1988</b>	441.0307
<b>1989</b>	435.2277
<b>1990</b>	423.6216
<b>1991</b>	446.8338
<b>1992</b>	464.2429
<b>1993</b>	383.0004
<b>1994</b>	406.2125

FUENTES: -Memorias de Labores de Petróleos Mexicanos.

-Secretaría de Fomento y Comercio Industrial.

El suministro de aceites básicos minerales de origen nacional es cubierto en su totalidad por la empresa paraestatal Petróleos Mexicanos (PEMEX) quien extrae dos tipos de aceites básicos, el nafténico producido en la refinería de Minatitlán y el llamado parafínico producido exclusivamente en la refinería "Ing. Antonio M. Amor", el cual representó en 1992 casi el 93% de la producción global.

Como se puede notar, la producción de aceites básicos va en crecimiento desde los primeros años de los ochentas y en los últimos años del 93 y 94 existe un pequeño declive.

En la tabla 2 se muestra estadísticamente la cantidad necesaria en volumen de importación de aceites básicos de acuerdo a las necesidades de la sociedad.

**TABLA 2.**  
**IMPORTACION DE ACEITES BASICOS**

<i>ANO</i>	<i>CANTIDAD millones de litros</i>
<b>1985</b>	174.0910
<b>1986</b>	203.1062
<b>1987</b>	29.0151
<b>1988</b>	-----
<b>1989</b>	270.7710
<b>1990</b>	274.2840
<b>1991</b>	299.4110
<b>1992</b>	226.2940

FUENTES: - Memoria de labores de Petróleos Mexicanos.  
- Secretaria de Comercio y Fomento Industrial.

Nota: El valor de 1988 en importación no se encontró, debido a la incertidumbre para ese año.



La baja utilización de las instalaciones puede atribuirse a la alta calidad de los productos elaborados y a la antigüedad de los equipos que las componen.

Nuestro país es un importante productor de hidrocarburos a nivel mundial, sin embargo la producción de aceites básicos minerales ha sido insuficiente para satisfacer las necesidades del mercado nacional, lo que ha originado una creciente dependencia del extranjero.

Al igual que la producción de aceites básicos, el índice de crecimiento de la importación se ve en crecimiento aunque en los años finales se ve una baja a consecuencia de una disminución pequeña de la demanda de aceites lubricantes básicos.

En lo que respecta al origen de las importaciones en 1992, los E.U.A. representaron uno de los principales proveedores de este producto, al venderle a México el 83.9% del volumen total de éstas, Italia contribuyó con el 6.5% y el restante 9.5% provino principalmente de España, Trinidad y Tobago, Francia y el Reino Unido.

Como consecuencia de las cantidades importadas de aceites básicos, ha existido una considerable fuga de divisas en detrimento de la economía nacional.

Como se muestra a continuación en la tabla 3, se reporta el consumo nacional aparente en cantidad de volumen a través de los años estadísticamente.

**TABLA 3.****CONSUMO NACIONAL APARENTE ACEITE BASICO**

1985	562.8945
1986	574.4246
1987	429.4246
1988	441.0307
1989	705.9998
1990	697.9056
1991	746.2448
1992	691.1278

FUENTE: -Memorias de Labores de Petróleos Mexicanos.

-Anuario Estadístico PEMEX 1994.

El consumo aparente de lubricantes básicos en México ha mostrado cierta tendencia en los últimos años a fluctuar en la línea de los 700,000 metros cúbicos anuales.

Como se muestra estadísticamente en el consumo nacional aparente sucede lo que se ha estado comentando en cuanto a las bajas de la producción de aceites básicos e importación de los mismos, lo que también sucede en el año de 1987 a consecuencia de un mal estado económico, se nota que durante el transcurso del año 87 al 91 se

mantuvo una estabilidad permanente y para el año de 1992 se elevó en un porcentaje aproximado de 22%.

Las importaciones siempre han representado un volumen importante del global manejado cada año en el país, ya que en el lapso de 1989 a 1991 éstas contribuyeron en promedio el 39.2% del consumo aparente, las cuales incluyen básicos aromáticos, los cuales no se encuentran incluidos en la producción nacional, correspondiendo a lo que PEMEX considera especialidades.

Con respecto a la demanda de aceite básico como se muestra en la tabla 3, esta ha tenido un crecimiento regular en los últimos años, de la misma forma el consumo aparente registra un comportamiento similar, a pesar de que se ha tenido alguna desestabilidad en los últimos años.

A continuación se llevara a cabo un análisis de los aceites lubricantes terminados de tipo industrial, como lo es la producción, la importación, demanda y consumo nacional aparente.

La producción de aceites terminados de los diferentes sectores es muy importante, ya que como se había mencionado al principio, un aceite terminado es una mezcla de aceite básico y aditivos, que posee propiedades lubricantes especiales para un funcionamiento específico.

La producción total de lubricantes ascendió para 1992 a 648 millones de litros aproximadamente con un valor de 1,521.4 miles de millones de pesos (se excluyen los de proceso). Del volumen producido el sector privado participó con un 64%, mientras que PEMEX participó con el 36% restante.

En 1992 la paraestatal contaba con 6 centros de formulación, el 45% de la producción se elaboró en la refinería de Salamanca, el 20% en las terminales de Puebla, el 14% en el Distrito Federal, el 12% en Mazatlán, el 8% en Monterrey y el 1% en la Refinería de Minatitlán.

En la tabla 4 se muestra el reporte estadístico correspondiente a la producción del sector industrial a nivel nacional, lo cual muestra un crecimiento favorable.

**TABLA 4**  
**PRODUCCION TOTAL DE ACEITES INDUSTRIALES**

ANO	CANTIDAD (mil toneladas de aceites)
<b>1985</b>	101.9510
<b>1986</b>	97.3530
<b>1987</b>	123.6958
<b>1988</b>	132.7022
<b>1989</b>	143.1241
<b>1990</b>	144.9360
<b>1991</b>	155.4770
<b>1992</b>	172.9112

FUENTE: Comisión De Fabricantes De Lubricantes INFLA MEXLUB.

La importación de lubricantes de tipo industrial es necesaria para satisfacer la demanda que exige la sociedad nacional. Esto se observa en la tabla 5.

**TABLA 5**  
**IMPORTACION DE LUBRICANTES INDUSTRIALES**

AÑO	CANTIDAD (millones de litros)
<b>1985</b>	4.4543
<b>1986</b>	4.1300
<b>1987</b>	1.8835
<b>1988</b>	2.7500
<b>1989</b>	3.2076
<b>1990</b>	3.0032
<b>1991</b>	4.3120
<b>1992</b>	5.6551

FUENTE: Comisión de Fabricantes de Lubricantes INFLA MEXLUB.

**TABLA 6.****CONSUMO NACIONAL APARENTE DE LUBRICANTES INDUSTRIALES.**

<b>AÑOS</b>	<b>CANTIDAD (mil toneladas)</b>
<b>1985</b>	106.4054
<b>1986</b>	101.4831
<b>1987</b>	125.5793
<b>1988</b>	135.4527
<b>1989</b>	146.3317
<b>1990</b>	147.9392
<b>1991</b>	159.7890
<b>1992</b>	178.5663

FUENTE: Comisión de Fabricantes de Lubricantes INFLA MEXLUB

Por lo que se refiere a la producción de lubricantes terminados, PEMEX destina una parte de su producción para formular lubricantes de tipo industrial. La tabla 7 muestra el aumento con que ha venido evolucionando la producción de este sector.

**TABLA 7****PRODUCCION TOTAL LUBRICANTES TIPO INDUSTRIAL (PEMEX).**

<b>AÑOS</b>	<b>CANTIDAD (millones de litros)</b>
<b>1985</b>	39.7609
<b>1986</b>	37.9677
<b>1987</b>	48.2414
<b>1988</b>	51.7538
<b>1989</b>	55.8184
<b>1990</b>	56.5250
<b>1991</b>	60.6360
<b>1992</b>	67.5212

FUENTE: Comisión Nacional de Fabricantes de Lubricantes INFLA MEXLUB

Se muestra un crecimiento en la producción de aceites lubricantes de tipo industrial en la tabla anterior por PEMEX, el cual no trabaja en un 100% de su capacidad para satisfacer la demanda existente.

Con respecto a la producción de aceite Re-refinado de tipo industrial que se ha obtenido durante los últimos años, se ha tenido un crecimiento constante, esto se muestra en la tabla 8. La cual empieza a partir del año de 1990 debido a la gran importancia y necesidad existente en el país. A pesar de esto el porcentaje de aceites re-refinados sigue siendo bajo comparado con la producción de aceite básico.

**TABLA 8****PRODUCCION DE ACEITE RE-REFINADO TIPO INDUSTRIAL**

<b>AÑO</b>	<b>CANTIDAD (en toneladas)</b>
<b>1990</b>	3.4590
<b>1991</b>	3.8480
<b>1992</b>	4.0900
<b>1993</b>	4.4110
<b>1994</b>	4.7110

FUENTE: Instituto Nacional de Estadística y Geografía Informática. (INEGI)



### **2.3 Proyección del Mercado.**

Una vez analizados los modelos (ver apéndice) para llevar a cabo la proyección de aceites básicos e industriales en los diferentes sectores como son: producción, importación, consumo nacional aparente y re-refinación de aceites lubricantes industriales. Se procede a realizar las proyecciones para un periodo de tiempo hasta el año 2000.

Además de reportar la tabulación de los datos pronosticados e históricos, también se reporta el modelo seleccionado y el comportamiento gráfico.

En la tabla 9 se reportan los datos correspondientes de la producción histórica, la proyección a futuro de los aceites básicos y la gráfica de comportamiento.

**TABLA 9**

**PROYECCION DE LA PRODUCCION DE ACEITE BASICO**

AÑO	Producción de Aceite Básico (en millones de litros)	Producción de Aceite Básico (en millones de litros)
1985	388.8034	399.9135
1986	371.3943	403.2422
1987	400.4095	406.5987
1988	441.0377	409.9831
1989	435.2277	413.3957
1990	423.6216	416.8367
1991	446.8338	420.3063
1992	464.8338	423.8048
1993	383.0004	427.3324
1994	406.2125	430.8894
1995		434.4760
1996		438.0924
1997		441.7390
1998		445.4159
1999		449.1234
2000		452.8618

ECUACION:  $Y = 2.857697E-5 \cdot (1.008323)^X$

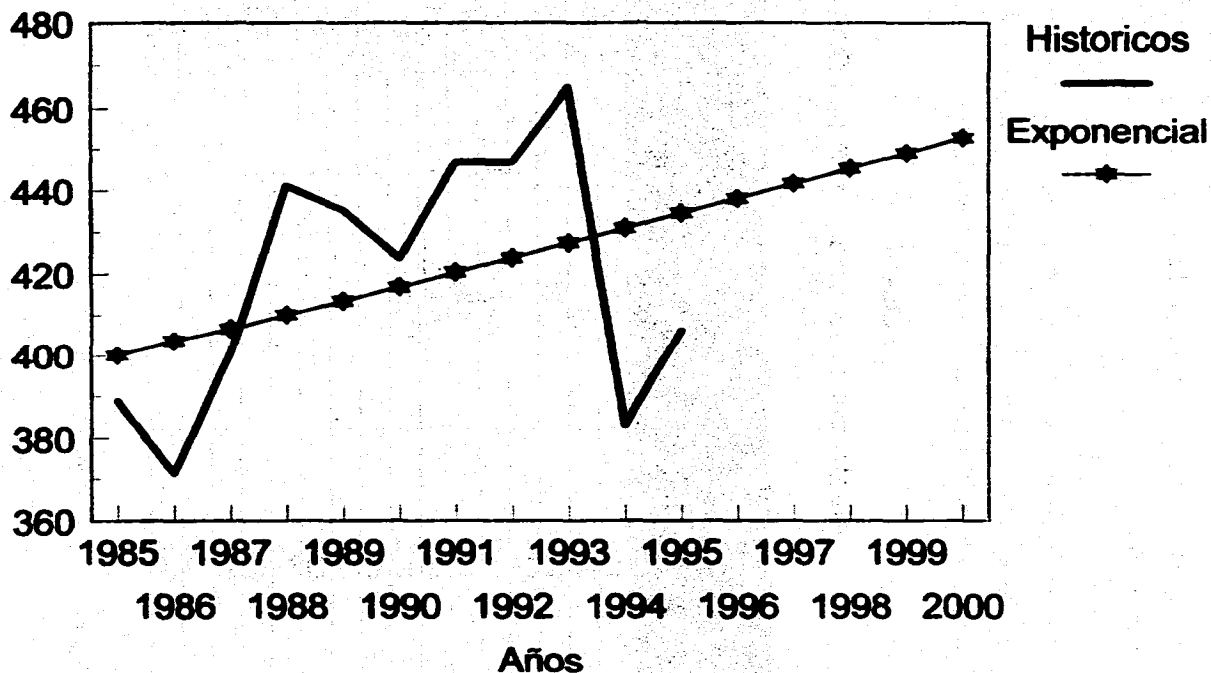
DONDE:

X = ES EL NUMERO DE AÑOS.

Y = ES EL VOLUMEN EN MILLONES DE LITROS.

# Proyección de Producción de Aceite Básico

Producción (millones de litros)



Como se observa, la producción histórica de aceites básicos ha tenido diversas tendencias en los últimos años, sin embargo el análisis efectuado nos predice un crecimiento pequeño.

A continuación en la tabla 10 consiste de los datos de la proyección e importación de aceites básicos, del resultado del análisis estadístico de los datos históricos para el año 2000, junto con su correspondiente ecuación.

**TABLA 10.**  
**PROYECCION DE LA IMPORTACION DE ACEITES BASICOS.**

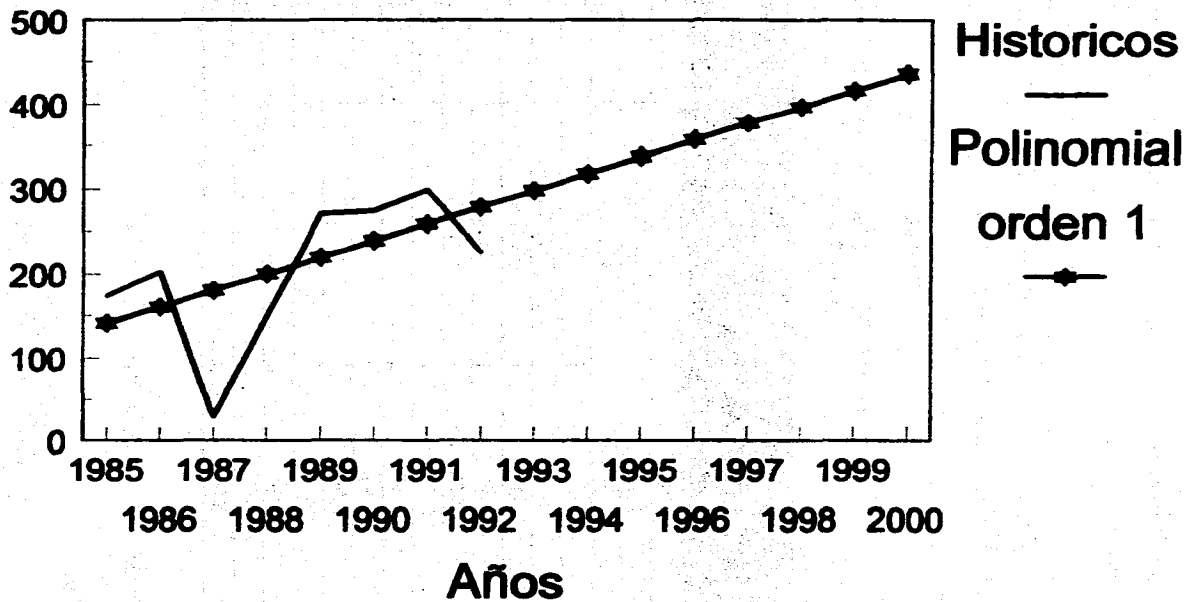
AÑO	Importación	Proyección
1985	174.0909	140.8980
1986	203.1062	160.5705
1987	29.0151	180.2436
1988	-----	199.9164
1989	270.7710	219.5892
1990	274.2840	239.2620
1991	299.4110	258.9348
1992	226.2940	278.6076
1993		298.2894
1994		317.9532
1995		337.6260
1996		357.2988
1997		376.9710
1998		396.6444
1999		416.3117
2000		435.9900

ECUACION:  $Y = -24732.519960 + 12.557033 \cdot X$   
DONDE:

X = ES EL NUMERO DE AÑOS.  
Y = ES EL VOLUMEN EN MILLONES DE LITROS.

## Proyección de la Importación de Aceite Básico

Importación (millones de litros)



El modelo proyectado nos indica un crecimiento moderado de las importaciones de aceite básico, a pesar de que no se ha cubierto la demanda de aceite básico actualmente.

La tabla 11, reporta la proyección del consumo nacional aparente en conjunto con los datos históricos y la gráfica correspondiente.

**TABLA 11.**  
**PROYECCION DEL CONSUMO NACIONAL APARENTE**  
**DE ACEITES BASICOS.**

UNION	Consumo Nacional Aparente (Historico)	Proyección (Consumo Nacional Aparente)
1983	562.8943	488.3621
1986	574.5006	522.0140
1987	429.4246	555.6859
1988	441.0377	589.3178
1989	705.9987	622.9697
1990	697.9056	656.6216
1991	746.2448	690.2734
1992	691.1278	723.9253
1993		757.5772
1994		791.2291
1995		824.8810
1996		858.5329
1997		892.1848
1998		925.8366
1999		959.4885
2000		993.1404

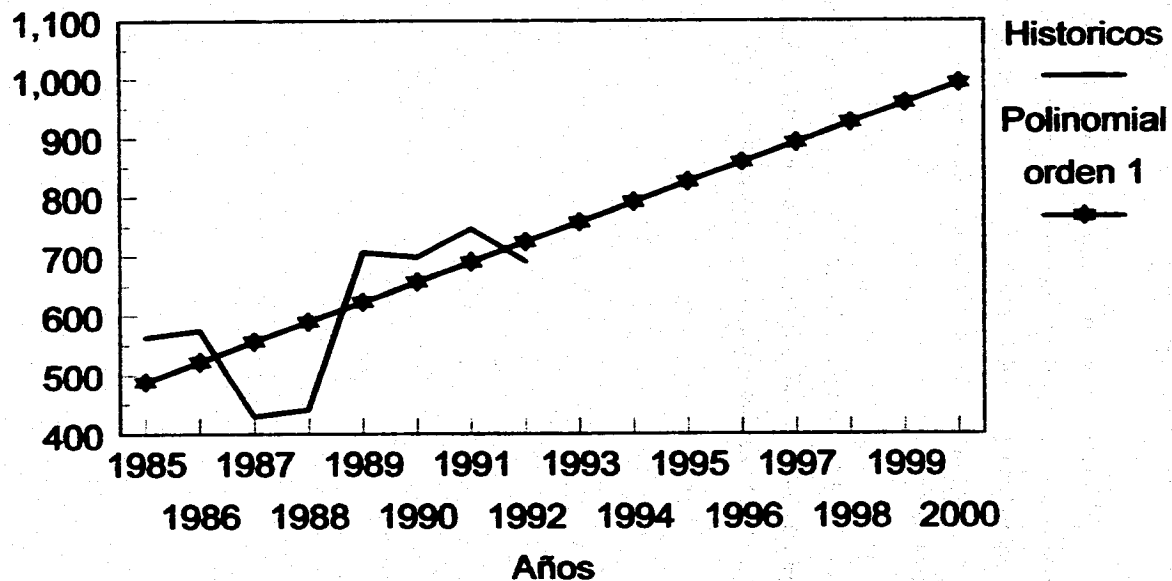
ECUACION:  $Y = - 66310.63333 + 33.6518869 \cdot X$

DONDE:

X = ES EL NUMERO DE AÑOS  
Y = ES EL VOLUMEN EN MILLONES DE LITROS.

# Proyección del Consumo Nacional Aparente de Aceite Básico

C:N:A: (millones de litros)



El consumo nacional aparente de aceites básicos, al igual que la producción e importación se ve con una tendencia a crecer en forma proporcional

Los aceites básicos son esenciales para lograr elaborar un producto que se mantenga en sus propiedades y servicios, por lo cual se analizo anteriormente el comportamiento que puede tener a futuro el aceite básico conforme se ha comportado en los últimos años. A continuación se trabajara con el sector de aceite terminado de tipo industrial.

La tabla 12, consiste de los datos históricos y proyección de aceite terminado de tipo industrial y el modelo al cual se ajusto conforme el análisis, que junto con el comportamiento gráfico, ayudara a ver la problemática existente.



**TABLA 12.**

**PROYECCION DE LA PRODUCCION NACIONAL DE ACEITES  
TERMINADOS DE TIPO INDUSTRIAL.**

ANOS	Produccion Nacional de aceites terminados de tipo industrial en millones de litros	Proyeccion de la produccion nacional de aceites terminados de tipo industrial en millones de litros
<b>1985</b>	101.9510	98.1247
<b>1986</b>	97.35308	108.3804
<b>1987</b>	123.6958	118.6362
<b>1988</b>	132.7022	128.8920
<b>1989</b>	143.0241	139.1477
<b>1990</b>	144.9360	149.4035
<b>1991</b>	155.4770	159.6592
<b>1992</b>	172.9112	169.9150
<b>1993</b>		180.1707
<b>1994</b>		190.4265
<b>1995</b>		200.6822
<b>1996</b>		210.9380
<b>1997</b>		221.1937
<b>1998</b>		231.4495
<b>1999</b>		241.7052
<b>2000</b>		251.9610

ECUACION:  $Y = -20259.54705 + 10,255764X$

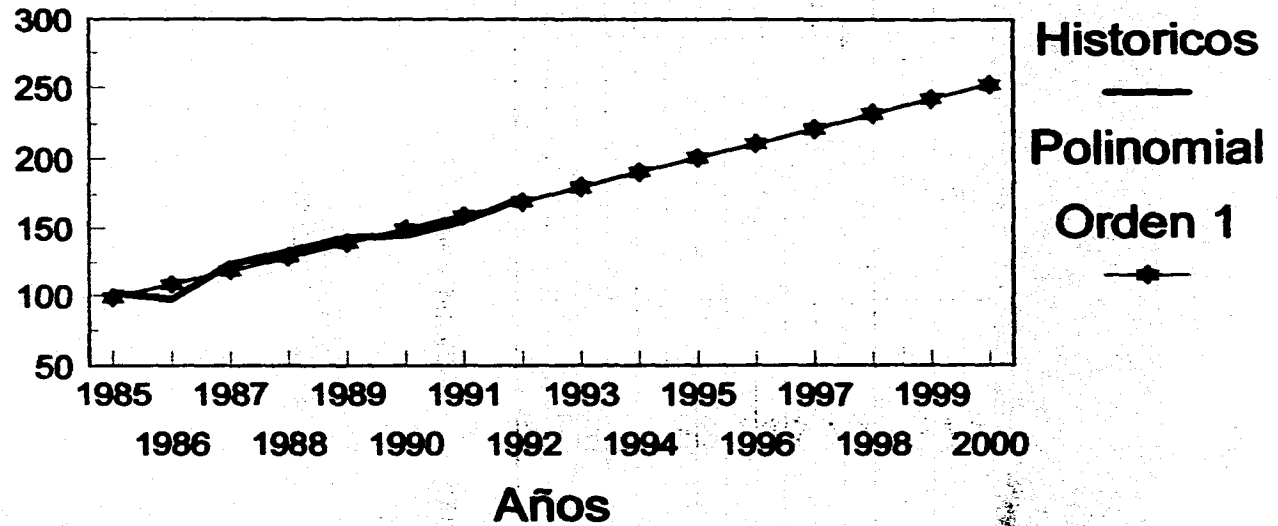
DONDE:

X = ES EL NUMERO DE AÑOS.

Y = ES EL VOLUMEN EN MILLONES DE LITROS

# Proyección de la Producción de Aceite Terminado Tipo Industrial

Producción (millones de litros)



Como se observa en la gráfica anterior, el comportamiento del modelo proyectado crece de manera proporcional al comportamiento histórico, por lo que se espera un crecimiento constante de la producción de aceite lubricantes industriales.

Respecto a la proyección de importación de aceite terminado, después de haber realizado el análisis estadístico, se obtuvieron los siguientes datos que están contenidos en la tabla 13 junto con los datos históricos y la ecuación correspondiente.

**TABLA 13.**

**PROYECCION DE LA IMPORTACION DE ACEITES TERMINADOS DE TIPO INDUSTRIAL**

ANO	Importación (Millones de Litros)	Proyección (Millones de Litros)
1985	4.4543	3.1274
1986	4.1300	3.2837
1987	1.8835	3.4400
1988	2.7504	3.5963
1989	3.2076	3.7526
1990	3.0032	3.9090
1991	4.3120	4.0653
1992	5.6551	4.2216
1993		4.3779
1994		4.5343
1995		4.6906
1996		4.8469
1997		5.0032
1998		5.1596
1999		5.3159
2000		5.4722

ECUACION:  $Y = -307.175124 + 0.156323 \cdot X$

DONDE:

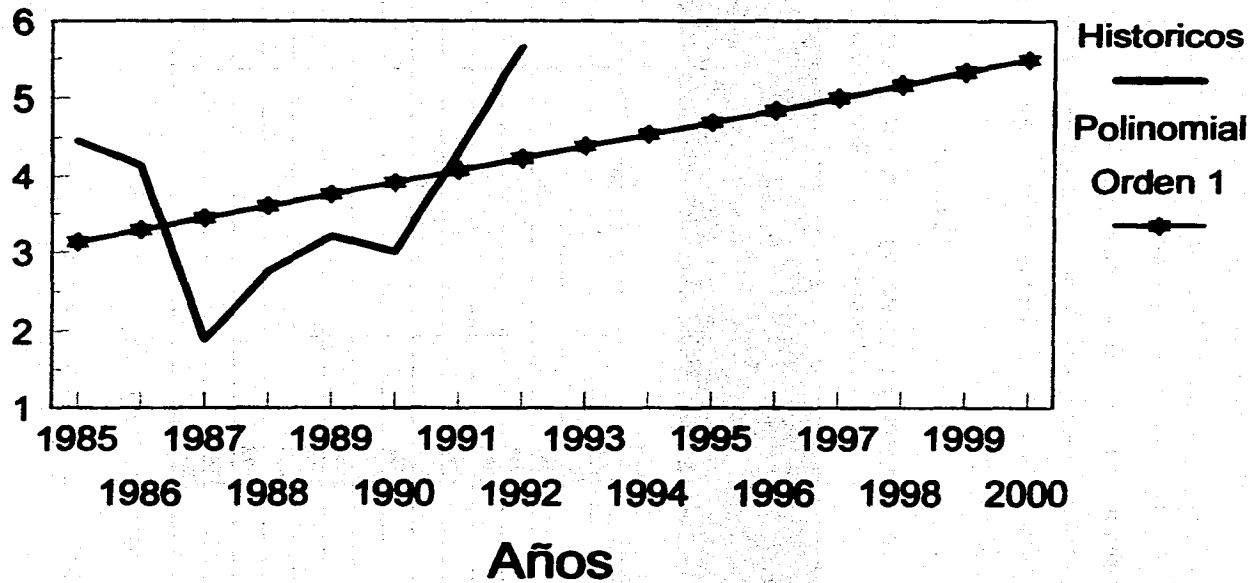
X = ES EL NUMERO DE AÑOS.

Y = ES EL VOLUMEN EN MILLONES DE LITROS.

# Proyección de la Importación de Aceite Terminado

## Tipo Industrial

Importación (millones de litros)



Se espera un crecimiento de las importaciones de aceite lubricantes industriales en los años futuros a pesar de que se tienen recesos en años anteriores. Tomando en cuenta el aumento en la producción e importación de aceites terminados de tipo industrial que se ha venido manteniendo durante el transcurso del tiempo, ayuda a comprobar el aumento constante en el consumo aparente nacional como se muestra en la tabla 14, donde aunado a los datos históricos vienen los datos de proyección y la ecuación de ajuste.

**TABLA 14**

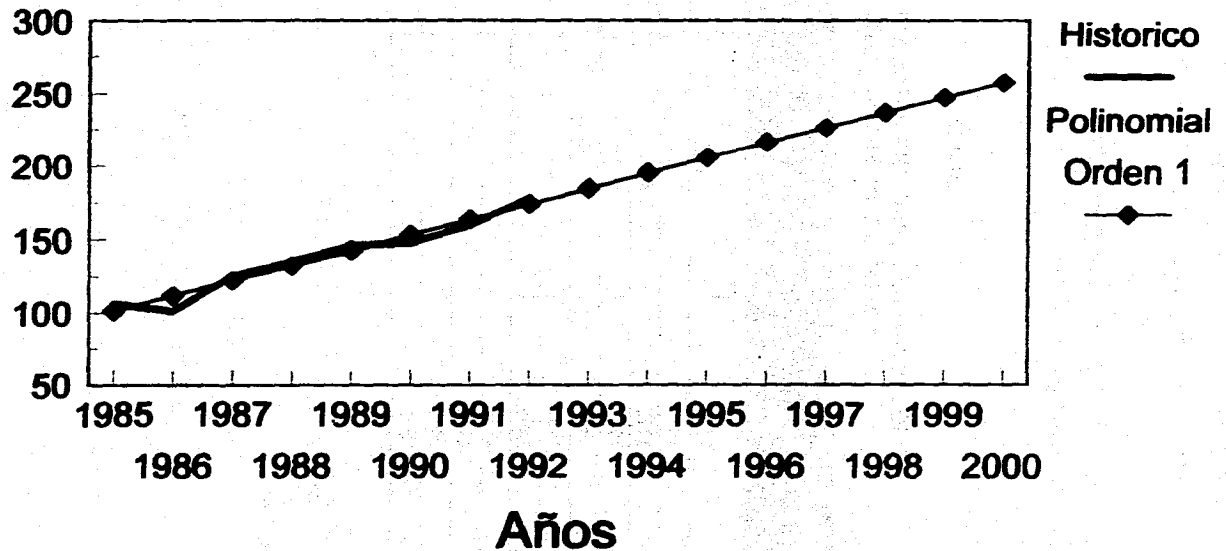
**PROYECCION DEL CONSUMO NACIONAL APARENTE DE ACEITES TERMINADOS TIPO INDUSTRIAL.**

Año	Consumo Nacional Aparente (Millones de Litros)	Proyección (Millones de Litros)
1985	106.4054	101.2510
1986	101.4831	111.6631
1987	125.5793	122.0752
1988	135.4527	132.4872
1989	146.3317	142.8993
1990	147.9392	153.3114
1991	159.7890	163.7235
1992	178.5663	174.1355
1993		184.5476
1994		194.9597
1995		205.3718
1996		215.7838
1997		226.1959
1998		236.6080
1999		247.0200
2000		257.4321

ECUACION:  $Y = -20566.713070 + 10.412072 \cdot X$

DONDE: X = ES EL NUMERO DE AÑOS.  
Y = ES EL VOLUMEN EN MILLONES DE LITROS

# Proyección del Consumo Nacional Aparente de Aceite Terminado de Tipo Industrial C.N.A. (millones de litros)



En la gráfica anterior, el modelo ajustado nos muestra un crecimiento constante en forma proporcional conforme han transcurrido los años.

En la tabla 15 se muestran los datos de la producción a futuro de aceite lubricante re-refinado de tipo industrial.

**TABLA 15.**

**PROYECCION DE LA PRODUCCION DE ACEITE LUBRICANTE RE-REFINADO DE TIPO INDUSTRIAL.**

Año	Producción (Millones de Litros)	Producción (Millones de Litros)
1990	3.4590	3.5034
1991	3.8480	3.8118
1992	4.0900	4.1202
1993	4.4110	4.4286
1994	4.7110	4.7370
1995		5.0239
1996		5.3306
1997		5.6373
1998		5.9440
1999		6.2507
2000		6.5574

ECUACIÓN:  $y = -610.2126 + 0.3084 \cdot X$

DONDE:

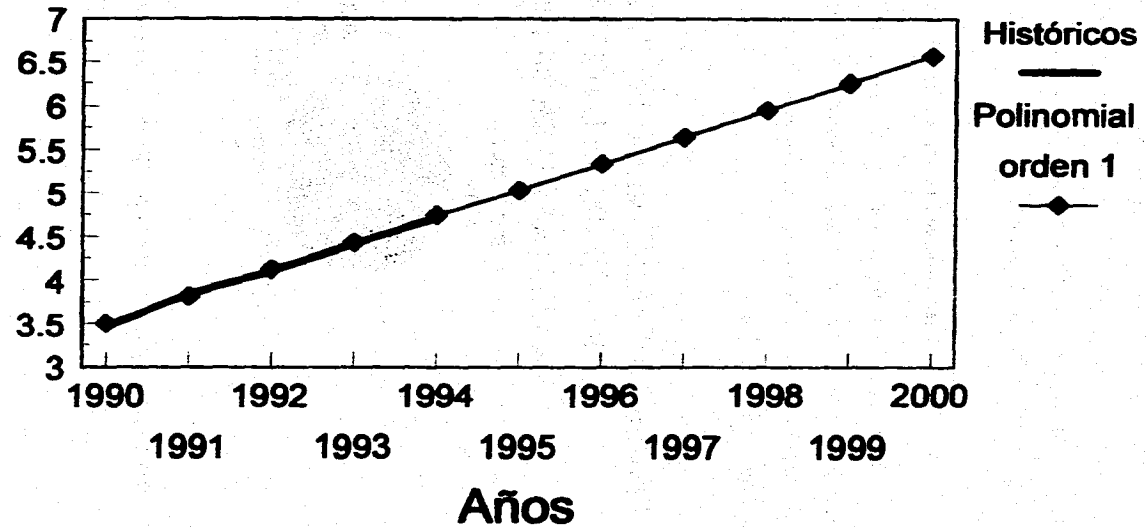
X = ES EL NUMERO DE AÑOS.

Y = ES EL VOLUMEN EN MILLONES DE LITROS



# Proyección de la Producción de Aceites Lubricantes Re-refinados Tipo Industrial

Producción (millones de litros)

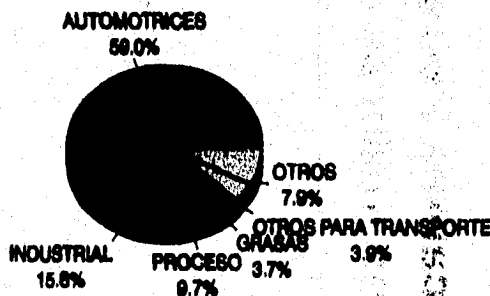


Observando el comportamiento gráfico, se espera un crecimiento constante en los años futuros. Este crecimiento de la producción de aceite industriales tendrá beneficios económicos y sociales, por lo que es necesario mantener o aumentar la producción de aceites regenerados de tipo industrial. Así mismo esto ayudara a reducir los problemas de la contaminación por residuos aceitosos.

#### 2.4 Mercado del Consumo Nacional de Aceites Lubricantes

La demanda de aceites básicos para el año de 1992 tuvo un mayor consumo destinado a la formulación de aceites automotrices e industriales, el cual fue 59% y 15.8% respectivamente. En la siguiente gráfica se observa la distribución y consumo de los aceites lubricantes básicos.

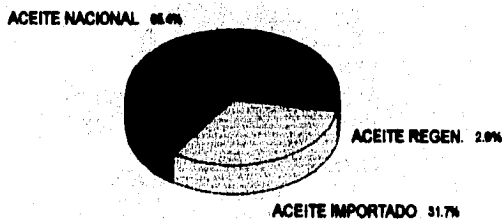
### DISTRIBUCIÓN DEL CONSUMO DE ACEITES BASICOS DE ACUERDO A SU DESTINO INDUSTRIA DE LUBRICANTES



FUENTE: ELABORADO POR LA COMISION PETROQUIMICA MEXICANA

La oferta total de lubricantes minerales se ve complementada por aceite re-refinado, sin embargo, como puede observarse el porcentaje ha sido mínimo aproximadamente de un 2.9%. En la gráfica siguiente se observan los porcentajes de procedencia de los aceites básicos.

### **PARTICIPACION PORCENTUAL DE ACEITES BASICOS**



**FUENTE: COMISION PETROQUIMICA MEXICANA**

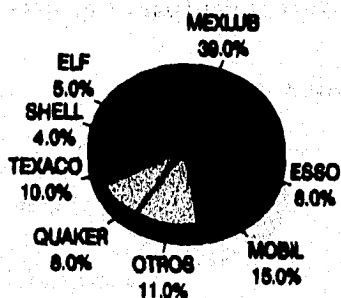
Cabe señalar que el consumo de aceites básicos de algunas empresas, no es para la formulación de lubricantes considerados en este estudio, otras compañías satisfacen sus requerimientos en forma combinada con producto nacional e importado, mientras que algunas empresas comercializan el aceite básico adquirido en forma pura o mezclas.

El mercado de lubricantes, esta abarcado por una gran cantidad de empresas en el país, sin embargo son pocas las que dominan con un porcentaje notable el mercado.

La industria privada de formulación de lubricantes se encuentra centralizada, ya que el 20% de las empresas que integran este sector generan aproximadamente el 79% de la producción total; mientras que el 80% restante participa con el 21%, cabe señalar que dentro del grupo mayoritario conformado por 14-16 empresas, 4 de ellas formulan el 70% del subtotal de este grupo. A continuación se hace referencia al porcentaje de participación de cada empresa en el mercado gráficamente a nivel nacional.

## MERCADO DE FABRICANTES QUE LO DOMINAN A NIVEL NACIONAL

### PRINCIPALES PRODUCTORES



FUENTE: MEXLUB

Son pocas las empresas que verdaderamente contribuyen en un porcentaje adecuado a la satisfacción de la demanda que el mercado exige, debido a esto, los lubricantes más conocidos se encuentran: Mexlub, Mobil, ESSO, Quaker State, Roshfran, etc.

A continuación se hace mención de las principales empresas ofertantes que se encuentran registrados.

- Aceites Lubricantes y Grasas, Comkadi S. A. de C. V.
- Lubricantes de México (MEXLUB).
- Aditivos y Lubricantes especiales, S.A. de C. V.
- Comercial Importadora, S. A. (Quaker State).
- Comercial Roshfran, S.A. (Roshfrans).
- Compañía general de Lubricantes, S. A. (ESSO).

- Especialidades de Lubricantes finos (Elf).
- Exxon Mexicana, S. A. de C. V.
- Ferro Mexicana, S. A. de C. V.
- Kluber Lubricación, S. A. de C. V.
- Lubrimex, S. A. de C. V. (Shell).
- Mextra, S. A. de C. V.
- Mobil Oil de México, S. A. de C. V. (Mobil).
- Productos del Petróleo, S. A.
- Raloy Lubricantes, S. A. de C. V.
- Texaco, S. A. de C. V.
- Aditivos Mexicanos, S. A.
- Ciba - Geigy Mexicana, S. A. de C. V.
- Industrial Lubrisol, S. A.
- Paramins Plasticor, S. A. de C. V.
- Bardahl de México S. A. de C. V.
- Reprocesadora de Aceites Industriales S. A.
- Henkel Mexicana S. A. de C. V.
- Repsol Mexicana S. A. de C. V.
- Lubricantes Mexicanos Lugol S. A. de C. V.
- Tecniquimia Mexicana S. A. de C. V.
- Diator de México S. A. de C. V.
- Aceites y Parafinas Industriales S. A. de C. V.
- Lubricantes Fuchs de México S. A. de C. V.
- Impulsora Nacional de Lubricantes S. A. de C. V.
- Interlub S. A. de C. V.
- Prosel S. A. de C. V.
- Chem - Trend de México S. A. de C. V.

A pesar de que son varias las empresas que se encargan de la producción de aceites terminados y pocas las que se encargan de la producción de aceite básico, nos hace ver la necesidad de cubrir la producción, que de acuerdo con los datos históricos reportados en las tablas anteriores, donde se nota que la demanda e importaciones van creciendo, por lo cual se ve la necesidad de retomar con mayor importancia las inversiones en la producción de aceite básico y los proyectos de Re-refinación de aceites usados como una alternativa para ahorrar energéticos, disminuir la contaminación y apoyar la demanda de aceites básicos.

### **CAPITULO III**

#### **3. ASPECTOS ECOLOGICOS**

Una de las principales consecuencias de la industrialización es la generación de grandes cantidades de residuos. Por tal motivo es necesario disminuir la generación de residuos contaminantes mediante las opciones posibles de regeneración y reutilización siguiendo las normas establecidas para ello; por su parte los no susceptibles de tratarse, deben ser manejados y dispuestos en lugares o sitios adecuados para anularlos.

En México uno de los fluidos residuales que representa un grave problema a la salud humana y al ecosistema es el aceite lubricante usado, debido principalmente a las formas incorrectas en que se dispone. El aceite lubricante usado es aquel que ha perdido todas sus propiedades de lubricante, debido a la degradación de sus aditivos; es decir aquel producto que contiene además de aceites básicos, combustibles ligeros, agua, carbón, gomas, lacas, barnices, herrumbre, partículas metálicas en suspensión, metales pesados, entre otros. El aceite usado se ha considerado como un producto de desperdicio, de ahí que su manejo sea muy descuidado, originando la contaminación irracional del medio en el cual se deposite.

En la industria también se tienen pérdidas de lubricantes, las operaciones de maquinado de metales en las que se utilizan aceites solubles, dan origen a mezclas cuyo contenido principal (90%) es agua y su disposición es considerada como un caso de tratamiento de la misma. otro caso es la utilización de los lubricantes denominados a toda pérdida, los cuales una vez cumplida su función (periodos de tiempo muy cortos) no son vueltos a utilizar.

### **3.1 Caracterización de lubricantes usados en México.**

La caracterización precisa de lubricantes usados requiere de datos relacionados con la generación y flujos de los lubricantes usados. Requiere específicamente de información acerca de la regeneración y reprocesamiento, almacenamiento, transporte y tasas de disposición de lubricantes usados. La caracterización se realizó con la información disponible para realizar un análisis y establecer un marco de referencia básico para nuestro estudio. Por ejemplo, el estudio de los datos disponibles muestra que PEMEX es la única compañía en México que produce lubricantes nuevos.

Las grandes cantidades que se generan de aceite usado proceden de los motores y transmisiones de automóviles ferrocarriles, tractores, barcos, y en general todo vehículo motorizado, teniéndose además los producidos por la industria en general en procesos de maquinado o templado de metales, engranes, turbinas, compresores, prensas hidráulicas y algunos otros tipos que dentro de la industria cumplen funciones específicas.

Los lugares donde se generan aceites usados son: servicios de lubricación automotriz, agencias automotrices, talleres de mantenimiento de flotillas de vehículos de carga y pasajeros, armadoras de automóviles, industria pesada: minería, fundiciones, cementeras y construcción, ingenios azucareros, industria metal-mecánica, talleres de mantenimiento de maquinaria agrícola, industria de plásticos, hidroeléctricas, termoeléctricas, industria petroquímica y en general donde existan sistemas hidráulicos y maquinarias que requieren lubricación.

En base a un estudio realizado por la Agencia de Protección al Ambiente (EPA) y a los resultados del censo industrial elaborado por el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), se estimaron que el 55.9% de los lubricantes nuevos se



recuperan en el sector de transporte, mientras que en el sector industrial se recuperan aproximadamente 53.5%. Utilizando estas cifras se tiene que la generación de aceites usados en México en el sector automotriz fue de 239,570.51 m<sup>3</sup> de los 401,997.09 m<sup>3</sup> consumidos y de 92,953.31 m<sup>3</sup> de los 107,653.46 m<sup>3</sup> utilizados en el sector industrial. En la tabla 1 se muestra el consumo de lubricantes y la generación de los aceites usados a nivel industrial.

**TABLA 1**

<b>SECTOR</b>	<b>CONSUMO DE LUBRICANTES m<sup>3</sup></b>	<b>GENERACION DE ACEITES USADOS m<sup>3</sup></b>
HIDRAULICOS	86,882.35	46,482.06
ENGRANAJES	22,769.70	12,181.79
TURBINAS	11,321.38	6,056.94
TEXTILES	3,639.63	1,947.20
A TODA PERDIDA	3,426.13	1,832.98
COMPRESORES	1,713.79	916.88
BANCADA	786.21	420.62
NEUMATICOS	398.15	213.01
MAQUINADO DE MATERIALES	28,678.52	15,343.01
OTROS	14,131.53	7,560.37
<b>TOTAL</b>	<b>173,744.51</b>	<b>92,953.31</b>

Fuente: I.C.F Kaiser Servicios Ambientales.

La estimación de los volúmenes generados de aceites usados por la industria a nivel estatal, también se estimaron utilizando los datos del Censo Industrial Mexicano y con los datos de lubricantes producidos para el sector industrial, así como el porcentaje de generación estimado por la EPA. En la tabla 2 se muestra el consumo de lubricantes y la generación de aceites usados por estado a nivel industrial.

**ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

**TABLA 2**

<b>ENTIDAD FEDERATIVA</b>	<b>CONSUMO DE LUBRICANTES m<sup>3</sup></b>	<b>GENERACION DE ACEITES USADOS m<sup>3</sup></b>
<b>AGUASCALIENTES</b>	1,287.41	638.76
<b>BAJA CALIFORNIA</b>	2,924.85	1,564.80
<b>BAJA CALIFORNIA SUR</b>	378.15	202.31
<b>CAMPECHE</b>	11,349.26	6,071.85
<b>COAHUILA</b>	6,916.60	3,700.38
<b>COLIMA</b>	418.96	224.16
<b>CHIAPAS</b>	1,909.91	1,021.80
<b>CHIHUAHUA</b>	2,924.85	2,635.69
<b>DISTRITO FEDERAL</b>	29,702.29	15,890.72
<b>DURANGO</b>	1,780.84	952.75
<b>GUANAJUATO</b>	5,984.61	3,201.77
<b>GUERRERO</b>	438.59	234.64
<b>HIDALGO</b>	3,421.91	1,830.72
<b>JALISCO</b>	9,447.01	5,054.15
<b>MEXICO</b>	26,051.53	13,937.57
<b>MICHOACAN</b>	2,209.71	1,182.20
<b>MORELOS</b>	2,657.76	1,421.90
<b>NAYARIT</b>	390.12	208.72
<b>NUEVO LEON</b>	14,928.64	7,986.82
<b>OAXACA</b>	2,134.87	1,142.15
<b>PUEBLA</b>	5,499.61	2,942.29
<b>QUERETARO</b>	3,356.27	1,795.60
<b>QUINTANA ROO</b>	228.97	122.50
<b>SAN LUIS POTOSI</b>	3,998.07	2,138.97
<b>SINALOA</b>	1,290.17	690.24
<b>SONORA</b>	4,571.57	2,445.79
<b>TABASCO</b>	7,248.62	3,878.01
<b>TAMAULIPAS</b>	3,936.04	2,105.78
<b>TLAXCALA</b>	1,157.92	619.49
<b>VERACRUZ</b>	11,329.03	6,061.03
<b>YUCATAN</b>	1,198.95	641.44
<b>ZACATECAS</b>	669.74	358.31
<b>TOTAL</b>	<b>173,744.51</b>	<b>92,953.31</b>

Fuente: I.C.F Kaiser Servicios Ambientales.

### **3.2 Composición promedio en lubricantes usados.**

La magnitud de los riesgos a la salud que presenta la combustión de lubricantes usados depende de la concentración de constituyentes peligrosos en lubricantes usados. Para un análisis del impacto de lubricantes usados en los E.U.A., la Agencia de Protección Ambiental de los E.U.A. (EPA) condujo un programa de muestreo y análisis para cuantificar los niveles de ciertos compuestos inorgánicos y orgánicos que se han identificado en lubricantes usados. Debido a las limitaciones de información de datos estadísticos representativos de aceites usados en México, se tomaron los datos de los E.U.A. como fuente principal para caracterizar las concentraciones de constituyentes. Aunque existen algunas diferencias significativas en las concentraciones de lubricantes usados generados en México comparados con aquellos generados en los E.U.A.; el uso de esta fuente de información representa la más completa información de las características de los lubricantes usados.

Debido a que es probable que algunas de las concentraciones de constituyentes de aceites usados sean mayores en México que en los Estados Unidos (por ejemplo las concentraciones de plomo), se han incluido valores de los peores casos de concentraciones de constituyentes presentes en los lubricantes de los E.U.A.; lo cual debería abarcar la escala más alta de riesgos asociados con el manejo de lubricantes usados en México.

La EPA<sup>1</sup> utilizó, como antecedente, el muestreo y los datos generados por un programa de análisis en ocho categorías amplias generadoras de lubricantes usados.

---

<sup>1</sup> (E.U. EPA, "caracterización de Muestreo de Lubricantes Usados y Programa de Análisis: Reporte Final) presentado por Science Applications International Corporation, 30 de Agosto de 1991.

- \* Lubricantes y fluidos automotrices
- \* Lubricantes y fluidos de motores diesel
- \* Lubricantes marinos
- \* Lubricantes/fluidos hidráulicos
- \* Lubricantes de metalmecánica
- \* Lubricantes de aislamiento eléctrico
- \* Lubricantes de motores de combustión de gas natural; y
- \* Lubricantes de aviación

Los resultados analíticos presentan una composición muy variada, dependiendo de los diferentes procesos a través de los cuales los constituyentes orgánicos e inorgánicos ingresan al lubricante, además de las impurezas que se forman, producto de las mezclas de solventes con otros fluidos.

En la tabla 3 se presentan las características de los aceites usados.

**TABLA 3**  
**COMPOSICION PROMEDIO DE LUBRICANTES USADOS**

<i>CARACTERISTICAS</i>	<i>VALOR</i>
<b>Peso específico, °API, 15.6 °C</b>	24
<b>Viscosidad, Centistokes 40 °C</b>	99
<b>Punto de fusión, °C</b>	-37
<b>Punto de inflamación, °C</b>	146
<b>Poder Calorífico, KJ/Kg (Btu/lb)</b>	38,230 (16,436)
<b>Sedimentos y agua, % en peso</b>	11
<b>Azufre, % en peso</b>	0.43
<b>Cenizas, % en peso</b>	2
<b>Plomo, ppm</b>	3400
<b>Zinc, ppm</b>	1650
<b>Fósforo, ppm</b>	1250
<b>Hierro, ppm</b>	1025
<b>Bario, ppm</b>	1005
<b>Calcio, ppm</b>	1000
<b>Magnesio, ppm</b>	559
<b>Cobre, ppm</b>	177
<b>Estañio, ppm</b>	58
<b>Cromo, ppm</b>	29
<b>Plata, ppm</b>	1

Fuente: I.C.F Kaiser Servicios Ambientales.

Los valores anteriores fueron analizados y estimados mediante una metodología estadística para estimar valores promedio de concentraciones de constituyentes y de peor caso para las distintas categorías de los aceites lubricantes usados.<sup>2</sup>

### **3.3 Disposición de los Aceites Lubricantes Usados.**

#### **Disposición incorrecta.**

Una de las aplicaciones que se da actualmente al aceite usado, contraviniendo la reglamentación expedida, es quemándolo en forma inadecuada como combustible de bajo costo en los precarios hornos con que cuentan las ladrilleras y talleres artesanales de vidrio o cerámica; así como en algunas calderas de baños públicos y hornos de panadería. Esta disposición o uso incorrecto, representa una fuente de contaminación a la atmósfera, ya que los productos gaseosos de la combustión incompleta, se compone de altos porcentajes de monóxido de carbono y óxidos de azufre y nitrógeno, además de incorporar al ambiente cenizas y partículas diversas.

Otra forma de contaminación resulta cuando el aceite usado es empleado como aceite de temple, ya que al contacto con los metales al rojo vivo, se quema instantáneamente, provocando gases tóxicos y degradándose aún más del estado inicial en que se encontraba. Asimismo, una parte del aceite que se recolecta se destina a diversos fines, tal vez menos contaminantes, como es la construcción, donde se emplea en la preparación de cimbras y desmoldante en la fabricación de tabicon; en la porcicultura como insecticida; en las minas con propósitos de compactación de terracerías; mientras que otras industrias obtienen con él, productos como mastique, grasas e impermeabilizantes.

<sup>2</sup> "Constituyentes promedio en lubricantes usados", (EPA/OPPE) y (EPA/OSW), 7 de septiembre de 1992.

En la tabla 4 se muestra el uso del aceite usado en México. Se debe considerar que el uso inadecuado o el mal aprovechamiento de los aceites lubricantes ocasionará una escasez de un recurso no renovable como lo es el petróleo base principal de los aceites lubricantes.

**TABLA 4**  
**Usos del Aceite Usado en México**

<b>TIPO DE INDUSTRIA</b>	<b>APLICACION</b>
<b>Ladrillera</b>	<b>Combustible</b>
<b>Cementeras</b>	<b>Combustible</b>
<b>Baños públicos</b>	<b>Combustible</b>
<b>Panaderías</b>	<b>Combustible</b>
<b>Minas</b>	<b>Compactación terrenos</b>
<b>Fundidoras</b>	<b>Templado</b>
<b>Construcción</b>	<b>Cimbras, moldes</b>
<b>Industria Química</b>	<b>Impermeabilizantes, mastiques y grasas</b>
<b>Porcelanara</b>	<b>Insecticida</b>

Fuente: I.C.F Kaiser Servicios Ambientales.

Algunos de los efectos que causan los aceites lubricantes usados debido a su mal uso y a la disposición incorrecta se mencionan a continuación:

- Los efectos que ocasionan en cuerpos receptores son: formación de películas que impiden la transferencia de oxígeno y luz, contaminan el agua, impartiendo un olor y sabor desagradable; afectan la calidad para fines agrícolas y pecuarios, forman lodos afectando la vegetación y la vida de los cuerpos, etc.
- En los alcantarillados forman lodos y problemas en los ductos, pueden ocasionar incendios o explosiones, entre otros.

- Ocasiona problemas graves al utilizarlo como combustible barato sin un control adecuado.
- Al utilizarlo en plantas de tratamiento ocasiona, aumento del consumo de energía, incrementan los costos de tratamiento, obstruye los sistemas difusores de aire, se requieren de equipos y procesos especiales para su eliminación, etc.
- En el agua se tiene aumentos en la acidez, turbidez, y un contenido potencialmente tóxico de metales, como: plomo, Zinc, solventes clorados, Arsénico, Bario y otros componentes orgánicos, entre otros.

#### **Disposición Correcta.**

Entre las alternativas existentes para la disposición adecuada de los residuos peligrosos derivados del aceite lubricante usado, están: el reciclaje, la incineración y el confinamiento.

El confinamiento controlado no es recomendable, ya que no constituye una solución definitiva, presenta altos costos, además la lejanía de los centros de acopio respecto a los estados de la República Mexicana.

Con respecto a la incineración, se considera un método limpio; con las desventajas de no poder reutilizar el aceite básico que en su mayor parte constituye el lubricante usado, desaprovechar la energía térmica y tener que disponer de cenizas en sitios de confinamiento. Por otro lado, se requerirá grandes inversiones en estas instalaciones, por lo que el costo de esta disposición puede resultar relativamente alto. Otra opción son los llamados combustibles suplementarios contemplados en el programa de destrucción térmica de residuos, que consiste en preparar un combustible técnico ecológico a base de una mezcla balanceada de desechos industriales como natas de pinturas, solventes, resinas, desengrasantes, linternas de impresión y aceites usados. Estos combustibles son utilizados en los hornos para fabricar cemento, en donde las



condiciones de operación aseguran que los productos residuales cumplan con las disposiciones establecidas. Sin embargo en México son pocas las empresas cementeras incorporadas al uso de combustible suplementario, en virtud de que se encuentra en sus inicios y las inversiones requeridas en la instalación de un quemador especial, almacenamiento y sistemas de monitoreo continuo de emisiones a la atmósfera es relativamente alta.

El manejo de los aceites usados que son quemados para la recuperación de energía y cualquier otro combustible derivado de los aceites usados están sujetos a requisitos regulatorios adicionales.

En la tabla 5 se muestran algunas especificaciones establecidas por la EPA. Estos niveles se establecieron después de revisar numerosos estudios sobre daños potenciales a la salud y al ambiente por ejemplo el nivel máximo permisible de halógenos se fijó en 4.000 ppm, debido a que la EPA estudio los altos contenidos de halógenos en la quema de aceites no controlados. Los estudios indican que los aceites que contienen halógenos por encima de este nivel no pueden ser quemados con seguridad en calderas u hornos no controlados.

**TABLA 5**

CONSTITUYENTE Y PROPIEDAD	NIVEL PERMISIBLES
<b>ARSENICO</b>	5 PPM MAXIMO
<b>CADMIO</b>	2 PPM MAXIMO
<b>CROMO</b>	10 PPM MAXIMO
<b>PLOMO</b>	100 PPM MAXIMO
<b>PUNTO DE IGNICION</b>	38°C (100°F) MINIMO
<b>HALOGENOS TOTALES</b>	4,000 PPM MAXIMO

Fuente: I.C.F Kaiser Servicios Ambientales.

Otra disposición de los desechos de aceite lubricante es la regeneración o reciclado para obtener un aceite básico con propiedades similares a los aceites minerales vírgenes que provienen de la refinación del petróleo, y de esta manera volverlo a utilizar para los mismos fines o para otros tipos de aplicaciones.

Los estándares de la EPA (Agencia de Protección del Ambiente) asume que casi todos los aceites usados pueden ser reciclados. Los aceites usados que no pueden ser reciclados, debido a sus propiedades químicas o físicas deben ser tratados o dispuestos en confinamientos de residuos peligrosos industriales. Un aceite usado mezclado con residuos peligrosos y que presenta características de residuo peligroso requiere de estrictos estándares de manejo. Los aceites usados han sido clasificados por la EPA como residuos peligrosos, debido a que se han documentado varios casos en que los aceites han sido utilizados deliberada o inadvertidamente como medio para la disposición ilegal de los residuos peligrosos.

Los aceites lubricantes que pueden ser reciclados generalmente son los siguientes:

- Aceite usado mezclado con un residuo peligroso, pero que como mezcla no presenta propiedades de residuo peligroso.
- Aceite usado mezclado con un residuo peligroso inflamable aunque la mezcla no presente características de inflamabilidad.
- Mezclas de aceites usados y residuos sólidos no peligrosos.
- Mezclas de aceites usados y otros productos combustibles.
- Materiales producidos en la quema de los aceites usados para la recuperación de energía.

La regeneración de aceites lubricantes usados genera aceites lubricantes básicos con propiedades y especificaciones similares a las del aceite básico elaborado por

PEMEX. Una de las características de los aceites regenerados es que tienen una menor tendencia a la oxidación con respecto a los aceites vírgenes, ya que en la regeneración se eliminan productos de oxidación por la presencia de hidrocarburos de cadena abierta. Otro aspecto es que al re-refinar aceites se mejora el índice de viscosidad debido a la eliminación de hidrocarburos aromáticos inestables, presentes en el aceite vírgen que le imparten un bajo índice de viscosidad. Se debe tomar en cuenta que la calidad del aceite reciclado depende de varios factores como son: el proceso de regeneración utilizado, de la calidad del aceite usado (materia prima), entre otros.

Al reciclar aceites lubricantes usados se tiene grandes ventajas comparadas con las otras alternativas de disposición entre las que podemos citar las siguientes:

- Reducir la contaminación ambiental por la mala disposición de los aceites usados.
- Reutilizar un recurso natural no renovable, de tal forma que se tenga un mayor aprovechamiento de los energéticos del país.
- En México PEMEX es el único productor de aceite básico, pero no ha logrado satisfacer la demanda nacional, por lo que al reciclar aceite lubricantes usados se tendrá una fuente de aceites básicos y poder cubrir la demanda nacional.
- Reducir de alguna manera los porcentajes de importaciones de aceites básicos.
- Crear fuentes de trabajo.
- Disminuir los accidentes, riesgos y derrames por el mal manejo y disposición del aceite usado.

Existen varias rutas para llevar a cabo la regeneración de aceite lubricante usado. A nivel mundial se tiene una gran variedad de tecnologías para el reciclado o reutilización del lubricante usado entre las cuales están: Resource Technology, Mathys Garap, K.T.I (Kinetics Technology International), Cáustico Hidróxido de Sodio), Recyclon, Acido Arcilla, PROP (Proceso Phillips), Alcohol Alifático-Acido, BERC (Bartlesville Energy

Research Center), I.F.P (Tratamiento con propano), Cáustico con peróxido y cloruro de Aluminio, Proceso de Percolación a través de Arcilla Tratada, entre otras.

En México los procesos seguidos para la regeneración de aceites usados son la re-refinación PROP y la regeneración ácido-arcilla.

El origen del proceso ácido-arcilla fue debido a que PEMEX importaba el déficit nacional de aceites básicos para abastecer a los formuladores de esta materia prima, por lo que algunos formuladores independientes iniciaron el tratamiento de aceite usado, para tener fuentes complementarias de esta materia prima. Las instalaciones que emplean el proceso ácido-arcilla, en algunos casos han sufrido algunas adecuaciones tecnológicas para hacerlas más eficientes, económicas y operativas.

En Querétaro se tiene una planta que emplea el proceso de re-refinación de aceite de la Compañía Phillips Petroleum, comúnmente llamado proceso "PROP" y que es uno de los procesos más utilizados en el mundo, por las ventajas comparativas que presenta. La planta tiene una capacidad instalada para procesar anualmente 37.9 millones de litros de aceite usado, con un rendimiento de 31 millones de litros de aceite básico al año. El método de re-refinación es un proceso limpio en términos ambientales, ya que es un proceso que elimina considerablemente el problema de contaminación.

Aunque los procesos anteriores producen residuos, éstos no son comparables con el aceite usado que de no ser tratado o dispuesto adecuadamente causa grave contaminación al ambiente.

Pese a la existencia en nuestro país de una gran cantidad de lubricantes usados, las empresas dedicadas a la actividad de reciclado continúan enfrentando una situación precaria derivada de la falta de normatividad específica en el manejo y disposición de

estos desechos que ha orillado a varias de estas compañías al cierre o paro temporal de sus instalaciones.

### **3.4 Almacenamiento y Transporte de Aceites Lubricantes Usados.**

#### **Almacenamiento.**

Los aceites usados deben ser almacenados en tanques contenedores, colectores o cualquier otro dispositivo de recolección equipados con vertederos. Los dispositivos de almacenamiento deben ser estacionarios y deben ser construidos con materiales tales como madera, concreto, acero o plástico. Deben estar en buenas condiciones y no tener fugas. Los tanques deben tener un mantenimiento constante para eliminar los residuos acumulados en el fondo y estar bien tapados para evitar la contaminación con polvo, papel y basura en general, asegurando de esta manera tener menos contaminado el aceite.

Se han documentado numerosos casos de daños al ambiente por el almacenamiento del aceite usado en otro tipo de unidades y por lo tanto se prohíbe su almacenamiento en lagunas, fosas o embalses superficiales, a menos que el generador almacene aguas residuales con muy pequeñas cantidades de aceites usados. Estas unidades no proporcionan una adecuada protección a la salud y al medio ambiente debido a los daños y derrames potenciales de este tipo de materiales.

Los aceites usados que han sido identificados como residuos peligrosos y que no pueden ser reciclados deben ser enviados a confinamientos de residuos peligrosos.

Los aceites usados que no son residuos peligrosos y que no pueden ser reciclados deben ser dispuestos de acuerdo a los estándares de las instalaciones de disposición de residuos sólidos y rellenos sanitarios. Estos estándares incluyen la restricción de no

manejar los residuos peligrosos a granel o con contenido de "líquidos libres", a menos que éstos sean residuos conocidos, otros residuos sépticos, residuos que sean lixiviados o gases condensados del confinamiento y el confinamiento cuenta con un sistema de recolección de lixiviados, contenidos en recipientes pequeños o contenidos en recipientes diseñados especialmente para su almacenamiento y disposición final.

### **Transporte.**

La EPA asume que es necesario permitir que los generadores de aceites usados transporten pequeñas cantidades a los centros de recolección o puntos de acopio para su reciclaje, con el fin de alentar a los pequeños y medianos generadores que tienen varios puntos de generación, pero que generan pequeñas cantidades de aceites usados en uno o varios sitios a reciclar sus aceites usados. De tal forma, los generadores de aceites usados que generan pequeñas cantidades de éstos en cualquier mes del calendario serán desalentados a almacenarlos por largos periodos de tiempo o disponerlos inadecuadamente.

La EPA selecciono 208 litros como la cantidad limite debido a que ésta es la capacidad de un tambor. Así mismo considera que cualquier cantidad de aceite usado menor de 208 litros no es económicamente rentable para los transportistas.

El limite expuesto para transportar aceites lubricantes usados es con el propósito de minimizar los riesgos de accidentes durante el transporte.

Así mismo la EPA recomienda para las instalaciones de transferencia que incluyen actividades de carga, áreas de estacionamiento, áreas de almacenamiento y otras zonas relacionadas con el embarque de los aceites usados una permanencia por más de 24 horas y no más de 35 días.

Los transportistas de los aceites usados podrán acumular o consolidar cargas de aceites usados con propósitos de transportación, pero no los podrán procesar a menos de que cumplan con los requisitos establecidos para los procesadores. Los incidentes en las operaciones que puedan ocurrir durante la transportación (por ejemplo sedimentación y separación de agua) no constituyen una violación.

Los camiones utilizados para el transporte de materiales peligrosos deberán ser completamente descargados, de conformidad con las regulaciones de los residuos peligrosos antes de transportar aceites usados con el fin de prevenir que éstos se mezclen con los residuos peligrosos.

## **CAPITULO IV**

### **4. ESTUDIO TECNICO**

#### **4.1 Obtencion de Aceites Básicos.**

La refinación del crudo para obtener los aceites básicos comprende principalmente las etapas de separación y conversión, donde la primera selecciona los componentes deseables del crudo, a través de algunas operaciones unitarias como destilación, extracción por solventes, tratamiento con arcilla y desparafinación, entre otras.

La conversión transforma las especies químicas no deseables en componentes útiles para aceites lubricantes, entre estas operaciones se encuentra el hidrotratamiento, hidroterminado, hidrodesintegración y la desparafinación catalítica.

#### **Obtención de Aceite Tipo Parafinico.**

La obtención del aceite básico parafinico, la lleva a cabo PEMEX en la refinería de Salamanca, se inicia generalmente al cargar el crudo en las columnas de destilación primaria, que trabajan en condiciones atmosféricas y cuyo objetivo es separar componentes livianos como son naftas ligeras y pesadas, querosina, diesel y residuos. La corriente de residuos se alimenta a las torres de destilación al alto vacío, donde se obtienen parafinicos del tipo husos, neutro, neutro ligero, tecnol y transformadores.

El residuo de cada una de las fracciones, al alto vacío, es procesado en las plantas desasfaltadoras con una mezcla de propano-butano, en esta operación el asfalto tiende a precipitarse, obteniéndose así en la corriente de los aceites, productos del tipo neutro pesado, pesado y cilindros, en tanto que la corriente de fondos contendrá el asfalto.



Posteriormente, los diferentes tipos de aceites son enviados al proceso de refinación con furfural con lo que se disuelven los componentes de tipo aromático que son inestables. Con dicha operación, se logra aumentar el índice de viscosidad de los aceites y mejorar su estabilidad a la oxidación. Esta etapa se verifica a una temperatura media de 93 ° C y normalmente se utiliza dos partes de furfural por una de aceite.

Los básicos refinados son tratados en la planta hidródesulfuradora con la finalidad de hacer reaccionar las impurezas de azufre, nitrógeno y oxígeno con hidrógeno y de esta manera eliminar los compuestos indeseables formados, mejorando de este modo, color, olor y estabilidad de los aceites tratados.

El producto obtenido es enviado a las plantas desparafinadoras, donde se separa la parafina de los aceites refinados por medio de una mezcla de metil-etil-cetona (MEC) y tolueno, la primera provoca que la parafina precipite y el tolueno es usado para disolver el aceite. Es típico emplear 1.5 a 3 volúmenes de la mezcla por unidad volumétrica de aceite. La presencia de parafina en un lubricante terminado, dificulta la operación de los motores a bajas temperaturas, razón por la cual se elimina mediante este procedimiento. La mezcla de solventes (MEC-tolueno), aceites y parafina se hace pasar por enfriadores que emplean propano como agente refrigerante, para después ser sometida a una etapa de filtración donde se separa el precipitado parafínico de la mezcla. La mezcla de lubricante es tratada en una planta de arcilla, donde se eliminan impurezas, mejorando la calidad, color y estabilidad a la oxidación del producto.

Finalmente los aceites básicos son almacenados y comercializados a clientes independientes para su formulación.

### Obtención de Aceite Tipo Nafténico.

En la refinería Gral. Lazaro Cárdenas PEMEX, lleva a cabo la obtención de aceite básico nafténico. La materia prima debe ser un crudo no ceroso iniciándose el proceso con una destilación primaria, obteniéndose así gases secos y licuados, gasolinas, diesel, gasóleo pesado y residuo primario.

El residuo primario es calentado nuevamente y vuelto a destilar en una torre al alto vacío en la que se obtiene como residuo una corriente de combustóleo y tres corrientes intermedias, las cuales son alimentadas a una torre fraccionaria obteniéndose básicos del tipo neutro y husos.

Posteriormente el aceite básico es alimentado a una planta hidrodesulfuradora, con el objeto de eliminar el azufre, esta reacción se lleva a cabo en presencia de un catalizador a base de níquel, cobalto y molibdeno en una atmósfera de hidrógeno, para posteriormente eliminar el ácido sulfhídrico gaseoso formado y con ello mejorar la calidad del producto.

#### **4.2 Descripción de los Procesos para la Re-refinación de Aceites Usados.**

El reciclaje de aceite usado implica la limpieza del aceite básico contaminado con impurezas provenientes de distintas fuentes. Es del conocimiento común que los lubricantes en el servicio se contaminan con polvo, agua, partículas metálicas desprendidas y otras materias extrañas, aunado con esto la degradación de los aditivos contenidos resultado de las condiciones de servicio en particular.

Dependiendo de la duración y severidad de las condiciones, existirá un aumento continuo de los contaminantes del aceite.

Un proceso de Re-refinación debe atender correctamente a cada una de las fuentes de contaminación con el fin de eliminar sus efectos del aceite básico que se pretende recuperar.

La Re-refinación de los aceites lubricantes ha despertado un gran interés en los últimos años. Al parecer se ha empezado a concientizar a los diversos sectores productivos, sobre la gran importancia que se tiene el poder aprovechar una materia prima, que hasta entonces se había considerado como material de desecho, una de las ventajas de la Re-refinación es el aprovechamiento de un recurso no renovable, un ahorro de energéticos y el alivio en gran medida a los problemas graves de contaminación.

Existen procesos de Re-refinación que permiten reutilizar un aceite lubricante, de tal manera que este pueda obtener características semejantes con respecto a un lubricante básico virgen.

Dentro de los procesos que se describen se encuentran los siguientes:

- **Resource Technology.**
- **Mathys Garap.**

- **K.T.I (Kinetics Technology International).**
- **Cáustico (Hidróxido de Sodio).**
- **Recyclon.**
- **Acido Arcilla.**
- **PROP (Proceso Phillips).**
- **Alcohol Alifático-Acido.**
- **BERC (Bartlesville Energy Research Center).**
- **I.F.P (Tratamiento con propano).**
- **Cáustico con peróxido y cloruro de Aluminio.**
- **Proceso de Percolación a través de Arcilla Tratada.**

A continuación se describirán cada uno de los procesos anteriormente mencionados:

#### **Proceso Resource Technology (Fig 1).**

En este proceso inicialmente se drena el agua del aceite usado en un tanque cónico. Posteriormente es calentado para evaporar el agua y los hidrocarburos ligeros a presión atmosférica por destilación (a una temperatura menor a 425 °F.) El aceite deshidratado es enviado a una destilación al vacío a una presión de 100 mm Hg donde se alcanza una temperatura de 620 °F y se evaporan los hidrocarburos y combustibles semivolátiles. Este combustible puede ser quemado directamente o condensado y formulado para su venta y distribución.

El aceite remanente es inyectado a gran velocidad en una columna de destilación tipo ciclón. Las altas velocidades de la corriente generan una gran fuerza centrífuga que ayuda a la separación de los aditivos y contaminantes remanentes, eliminando la formación de coque o lodos aglutinados de residuos. En el fondo de la columna de destilación se depositan y extraen estos residuos que son utilizados como materia prima

en plantas de asfalto. El aceite obtenido en el domo es contactado con arcilla activada y tierra diatomacea. Por ultimo esta mezcla es filtrada para obtener el aceite re-refinado.

#### **Eficiencia.**

El proceso produce relativamente un aceite lubricante de una alta calidad con un contenido minimo de metales (5 ppm) además con una eficiencia de recuperación del producto del 80% con relación a la carga de la materia prima. Así mismo este proceso indica tener un 90% de recuperación sobre el aceite seco.

#### **Ventajas.**

- El proceso casi no genera emisiones contaminantes a la atmósfera, por lo que no se generan materiales de desechos peligrosos.
- Las aguas residuales generadas requieren de muy poco tratamiento
- Los residuos sólidos generados representan una inversión ya que pueden ser vendidos o empleados en asfaltos.
- El proceso no requiere de ácidos, solventes o químicos adicionales.
- La etapa de contacto con arcilla puede ser sustituida por una de etapa de deshidrofinalización.

#### **Desventajas.**

- En caso de utilizar una unidad de diseño ordinaria en el lugar de la torre ciclónica, originaría una formación de coque y un ensuciamiento pronunciado.
- No se tiene información alguna sobre el diseño especial de la torre ciclónica.
- Aun cuando se minimiza el uso de arcilla no se elimina el problema de contaminación.
- La presión de operación de la torre ciclónica es muy difícil de reproducir y mantener dicha presión.

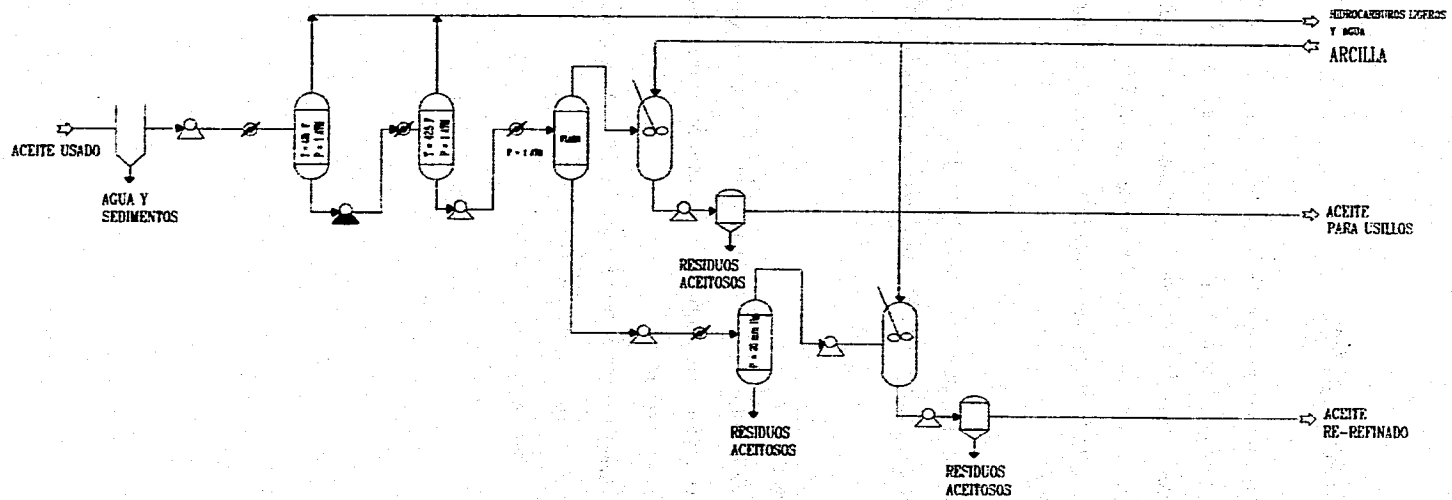


FIG. 1 PROCESO RESOURCE TECHNOLOGY

### **Proceso Mathys Gump (fig 2).**

Esta tecnología fue desarrollada por Pierre Mathys en Francia. El aceite usado se somete a una separación instantánea a una temperatura de 356 °F, removiendo hidrocarburos ligeros y agua. La corriente de los fondos se envía a una columna de destilación fraccionada, que opera a una temperatura de 645-713 °F. Las fracciones neutrales obtenidas y los fondos son acidulados ( $H_2SO_4$ ) y pueden ser centrifugados a una temperatura de 392 °F.

Una vez que las fracciones han sido centrifugadas, son contactadas con 3 % de arcilla activada y posteriormente filtradas para obtener los aceites Re-refinados.

#### **Ventajas.**

- Bajos requerimientos de ácido
- La centrifugas sustituyen a los tanques de asentamiento, haciendo que estos últimos se tornen obsoletos, ya que se eliminan largos periodos de asentamiento.
- El proceso tiende a ser continuo.
- El producto obtenido posee características similares a las del aceite virgen.
- Las condiciones de operación no son extremas.
- Los materiales de reacción son fáciles de conseguir.

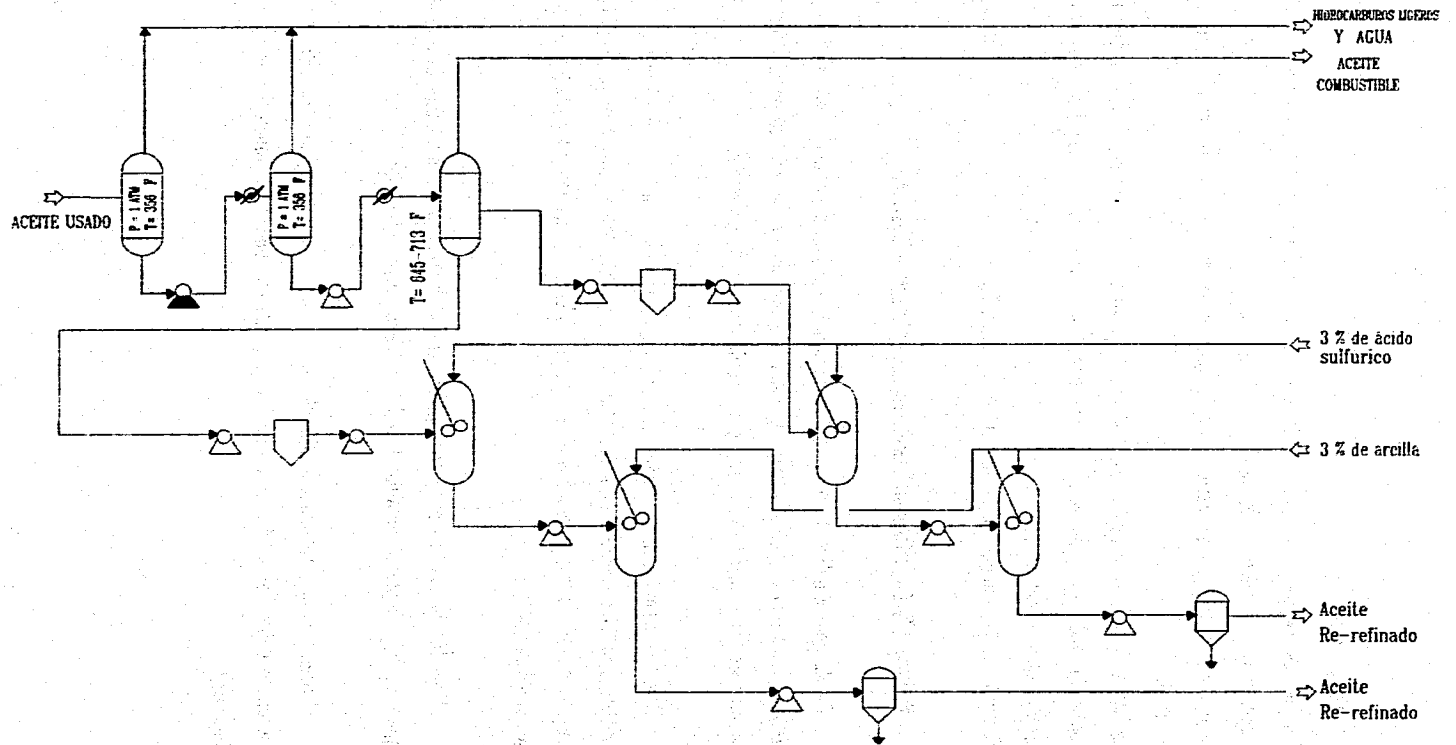


FIG. 2 PROCESO MATTYS GARAP.



### **Desventajas.**

- Aunque los requerimientos de ácido sean bajos, aun persisten los problemas de disposición de residuos (lodos ácidos).
- El uso de centrifugas es caro y por lo general se requiere de un mantenimiento especial.
- Se habla de que la columna esta provista de barras, que ayudan a desprender el coque formado (al contraerse y dilatarse), pero aun así se pueden presentar problemas de atascamiento.
- El diseño de la columna no se encuentra especificado.

### **Proceso K.T.I. (Kinetics Technology Internacional) (Gr.3).**

En Europa, Kinetics Technology International, desarrollo un nuevo proceso para Re-refinar todo tipo de aceite lubricante usado. El proceso se caracteriza por no tener producción de lodos, arcilla aceitosa, corriente de químicos desgastados.

Este proceso utiliza como primer instancia una destilación atmosférica instantánea, lo que propicia la separación de los hidrocarburos ligeros y agua. Este aceite se somete a dos destilaciones a vacío para obtener los aceites y separarlos de los fondos contaminantes.

El aceite obtenido se pone en contacto con el hidrógeno en una cama catalítica de tipo comercial donde se elimina el azufre, oxígeno, nitrógeno y cloro.

El aceite ya hidrotratado, se alimenta a una columna agotadora al vacío donde se remueven pequeñas cantidades de volátiles y el aceite en condiciones ambiente, se envía a almacenaje.

Este proceso fue utilizado en la planta de refinación de la Bahía de San Francisco. Fue diseñada y construida por la compañía K.T.I, pero la opera Evergreen Oil Inc., una compañía subsidiaria de la unidad K.T.I de Evergreen Holdings Inc., en Irvine, California. Su capacidad es de 100,000 galones por día de alimentación de aceite usado. La planta recicla el aceite usado removiendo los contaminantes y convirtiéndolos en residuos asfálticos para materiales de relleno.

#### **Eficiencia.**

Este proceso ofrece una eficiencia del 82 %

#### **Ventajas.**

- Admite aceite de todo tipo con diferentes grados de contaminación y otros componentes altamente tóxicos.
- Los aceites obtenidos son de una buena calidad.
- La contaminación es mínima ya que no se generan hidrocarburos de cadenas largas como subproductos
- Se lleva acabo una producción del 99% sobre el aceite con agua
- Los fondos pueden ser usados en asfaltos.

#### **Desventajas.**

- La destilación que se lleva acabo por debajo de 250°C requiere de un valor bajo de presión, lo que causa problemas de operación.
- La habilidad del proceso de propiciar coque y ensuciamiento cuando se opera por varias horas a un no se ha demostrado claramente.
- No se tiene información clara del diseño especial de la columna.
- Cuando se utiliza la hidrogenación el proceso puede ser perturbado con la introducción de cualquier tipo de impureza.

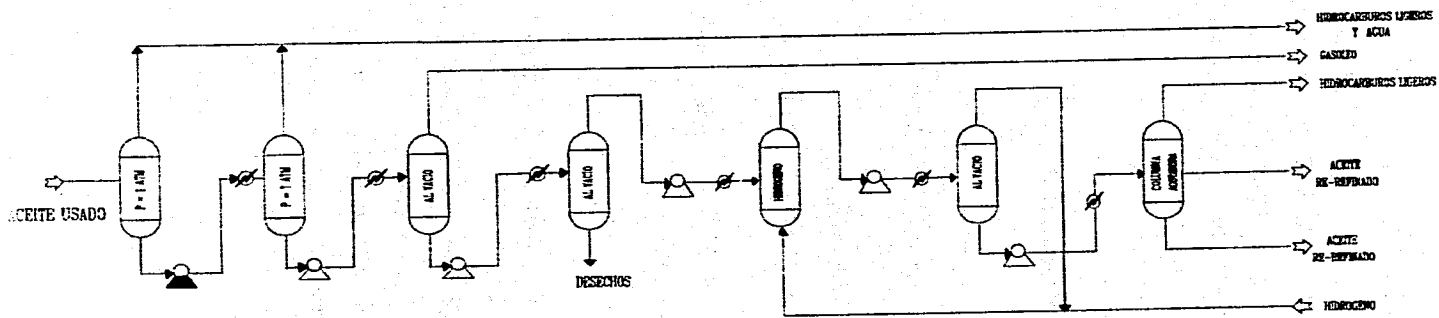


FIG. 3 PROCESO K.T.I

### **Proceso Cáustico (fig 4).**

Este proceso involucra básicamente un tratamiento cáustico que minimiza la formación de productos de desechos (los cuales dan lugar a una dificultad de eliminación).

El aceite usado es sometido a una doble etapa de separación instantánea. La corriente resultante se mezcla con hidróxido de sodio (NaOH), a una temperatura de 280 °F en una proporción de 2 % en peso, a este mismo se le mezcla nafta ligera (30% en peso) que tiene como función de coagular los productos de reacción.

La mezcla obtenida es sometida a reflujo a una temperatura de 240 °F durante 4 horas. Esto es para que el hidróxido de sodio reaccione con los compuestos ácidos, contenidos en el aceite usado y que la nafta ligera propicie una buena precipitación de los compuestos complejos de esta reacción.

La corriente obtenida en el reflujo, se hace llegar a tanques cónicos para dejar reposar la mezcla durante 12 horas, a una temperatura de 120 °F, enseguida se decanta y se filtra el aceite, para posteriormente mandarlo a una torre de destilación fraccionaria, con el fin de retirar la nafta antes agregada.

Después el aceite se mezcla con arcilla a una temperatura de 640 °F en un tiempo de 1 hora. La mezcla se enfría hasta 300 °F y por último se filtra.

### **Ventajas.**

- Los materiales de desecho son carbonosos y de fácil disposición.
- Los reactivos o solventes son de fácil disponibilidad.
- Las condiciones de operación no son extremas.

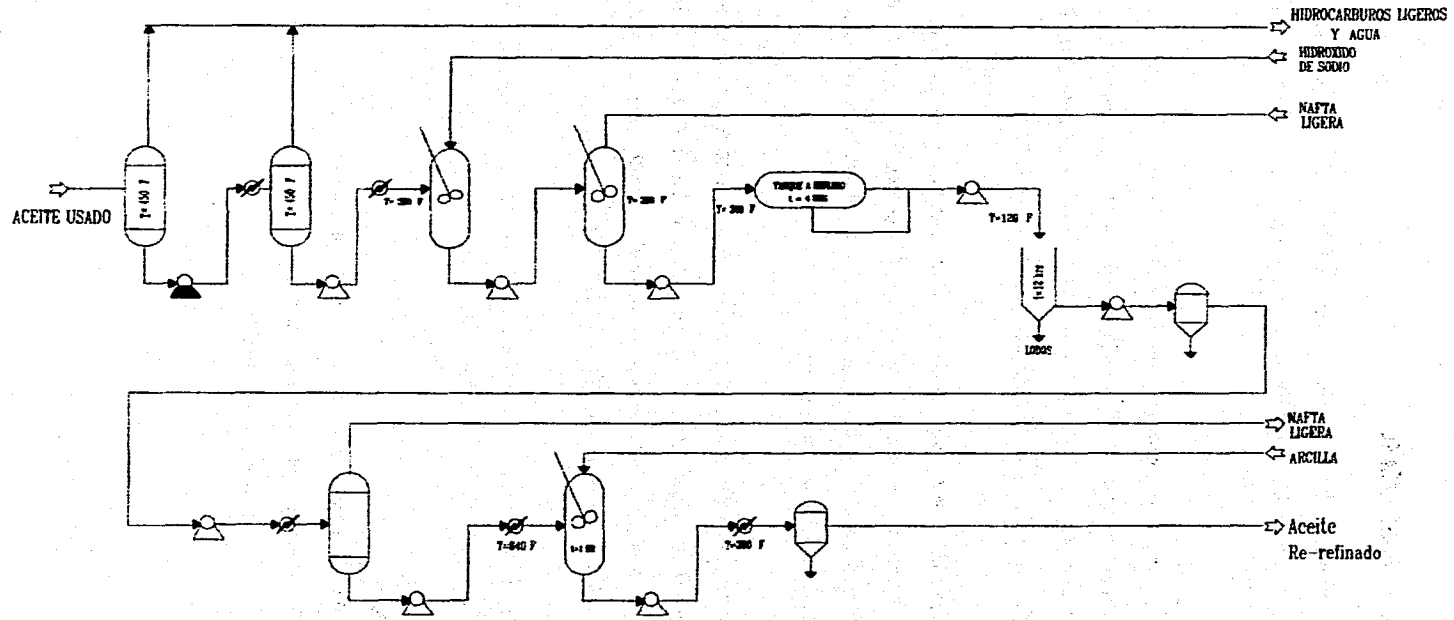


FIG. 4 PROCESO CAUSTICO

### **Desventajas.**

- El hidróxido de sodio no reacciona con los contaminantes del aceite usado como se espera.
- Se habla que este proceso tiene un 60% de recuperación.
- Aun cuando no se utiliza ácido sulfúrico, la cantidad de desechos de este proceso es demasiado significativo.
- Se produce arcilla aceitosa en considerables cantidades.
- El periodo de asentamiento es significativo.

### **Proceso Revvelon (Fig. 5).**

Este proceso consiste en una destilación inicial que opera a 20 mm Hg absolutos, esto se hace con el fin de evaporar el agua y los hidrocarburos ligeros que se tienen en el aceite usado. Posteriormente el aceite deshidratado es enviado a un reactor que contiene partículas de sodio con un tamaño aproximado de 5 a 15 micrones ( $\mu\text{m}$ ) las cuales son adicionadas en suficiente cantidad para lograr obtener una concentración de 1% de metales en solución.

La reacción con el sodio se lleva acabo a una temperatura de 482 °F y en una proporción de sodio-aceite de 1% en peso. En pocos minutos una serie de reacciones, que incluye la polimerización de oleofinas saturadas y la conversión de compuestos sulfurosos halógenados, las impurezas del aceite son transformadas en compuestos que no podrán ser destilados que se depositan en el residuo.

La mezcla se filtra y se flashea para eliminar el aceite base del sodio y algún producto de reacción que pueda ser separado por este método. Finalmente el aceite pasa a través de una serie de destilaciones de película fina para la separación final de los residuos.

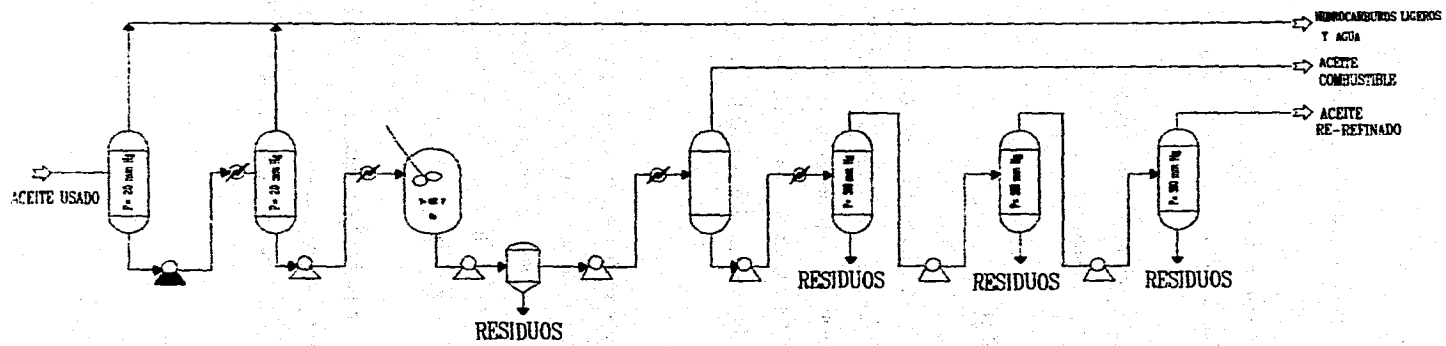


FIG 5 PROCESO RECYCLON

### **Eficiencia.**

Este proceso presenta una eficiencia del 70% sobre el aceite usado.

### **Ventajas.**

- El proceso genera bajas emisiones de contaminantes a la atmósfera.
- El agua residual generada que se encuentra acidificada basta neutralizarla para ser descargada a un drenaje.
- Se obtiene un producto de muy buen color.
- El proceso no requiere el uso de ácido.
- Es un proceso continuo.
- No se requiere de contacto con arcilla o de una etapa de hidrofinaización.
- Los residuos poseen un alto poder calorífico y un contenido muy bajo de azufre, con lo cual puede ser utilizado como fuente de calor.
- Los aceites producidos por este proceso son comparables a los obtenidos de un aceite virgen.
- No hay problemas de contaminación graves.

### **Desventajas.**

- Presenta problemas de reproducir y mantener la presión baja de la destilación y de los evaporadores.
- El manejo de sodio metálico resulta riesgoso para personal no calificado.
- Los evaporadores Leybold-Herdeus presentan atascamientos con cierta frecuencia.
- Se desconocen los factores económicos de capital y de operación.

### **Proceso Acido-Arcilla (fig 6).**

El proceso inicia con la eliminación de las impurezas más pesadas contenidas en el aceite, a través de una precipitación o asentamiento la cual puede durar hasta 72 horas, los desechos originados son utilizados como cargas en los asfaltos.



Posteriormente el aceite es calentado y enviado a un equipo deshidratador por flasheo, a una temperatura de 300 °F y presión atmosférica, esto es para remover la humedad y los hidrocarburos ligeros. El aceite deshidratado se enfría a 100 °F y se mezcla con una solución de 4 a 6 % en peso de ácido sulfúrico del 93 al 98 % en concentración.

Al finalizar la reacción la mezcla se separa en dos fases, donde la fase inferior esta compuesta por asfaltos y sulfatos metálicos, estos materiales se integran a una fase llamada "lodos ácidos", que son separados del aceite por drenado y son enviados a una área externa del proceso para tratamiento.

El aceite obtenido del tratamiento ácido conserva aun el calor oscuro del aceite usado y remanentes de compuestos orgánicos, por lo que debe tratarse con arcillas clarificantes para ajustar sus características a un producto comercial. De tal manera que el aceite obtenido del tratamiento ácido es alimentado a un calentador de fuego directo para ajustar la temperatura de 550 a 600 °F, enviándolo al clarificador y adicionándole la arcilla en una proporción de .4 lb de arcilla por galón de aceite, manteniendo la mezcla en agitación durante 12 horas. Finalmente la mezcla de aceite y arcilla se separa por filtración, donde el aceite es enfriado y enviado a almacenamiento.

El aceite obtenido por este método contiene una porción importante de combustible, su color es muy similar al de productos obtenidos por destilación de crudos, su viscosidad se ubica entre los típicos de aceites ligeros y medios, el proceso tiene un rendimiento aproximado del 60 % con respecto al aceite seco.

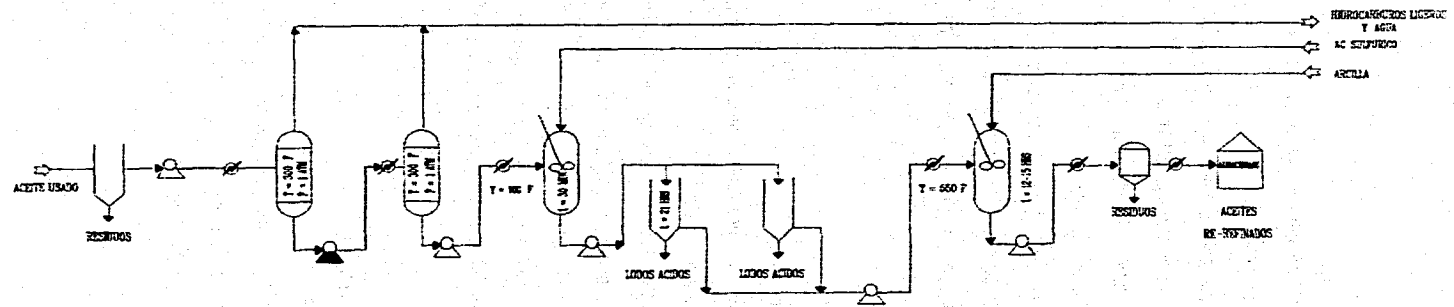


FIG. 6 PROCESO ACIDO-ARCILLA

### **Ventajas.**

- Los lubricantes obtenidos por este método pasan por todas las pruebas y requisitos que establecen las normas al respecto.
- El aceite básico re-refinado por este método posee propiedades sino mejores que el aceite básico virgen, cuando menos muy competitivas.
- El proceso tiene la característica de eliminar eficientemente todos los metales contenidos en el aceite a excepción del plomo.
- Las condiciones de operación en general no son extremas.
- La disponibilidad de materiales de reacción y servicios es buena.
- El proceso puede ser utilizado para tratar una gran variedad de aceites usados con diversos tipos de contaminantes.

### **Desventajas.**

- El proceso tiene un rendimiento bajo.
- Los lodos ácidos resultantes de este proceso se generan en grandes cantidades y son altamente contaminantes del medio ambiente.
- Se pierde una considerable cantidad de aceite cuando los residuos son descargados.
- El equipo utilizado debe ser un material resistente a la corrosión.
- El tiempo de asentamiento es considerable.
- Se requiere de una cantidad considerable de ácido sulfúrico y arcilla para tratar aceites usados multigrados, por lo tanto los costos se incrementan, como también los problemas de contaminación.

### **Proceso Phillips (PROP) (Se 7).**

Este proceso fue desarrollado por la compañía Phillips Petroleum, actualmente se encuentra funcionando en México, en una planta en Querétaro. El proceso está diseñado para manejar anualmente 37,850,000 litros de lubricante usado, el sistema opera

continuamente durante 335 días al año. Este proceso logra una recuperación superior al 90 % lo que representa una producción de 31,000,000 de litros anuales de aceite básico.

El proceso en si combina una etapa de desmetalización química e hidrotatamiento como etapa de finalización para producir aceite de calidad aceptable.

El proceso se divide en dos etapas principalmente:

- **Desmetalización.**
- **Hidrotatamiento.**

La etapa de desmetalización consiste en eliminar en su totalidad el contenido de metales que contaminan el aceite, se hace reaccionar una solución de fosfato diamónico con el aceite usado, el cual pasara por una serie de reactores donde la mezcla es agitada y calentada gradualmente; las reacciones se llevan acabo con un incremento progresivo de la temperatura (320-430 °F) y un descenso de presión (35-90 psig), esto se hace para promover la reacción química en donde las sales metálicas orgánicas y las particulas en suspensión reaccionan con el fosfato diamónico para formar fosfatos metálicos insolubles en el aceite y agua, susceptibles de ser filtrados posteriormente.

Debido a las altas temperaturas de reacción, el agua y los hidrocarburos ligeros se evaporan durante las dos últimas etapas de reacción.

Las reacciones de los metales presentes en el aceite usado son esencialmente completas ha excepción del Zinc y Fósforo, pero la alta temperatura que se maneja en las etapas de reacción origina una degradación térmica de estos compuestos con lo que después pueden ser filtrados fácilmente.

La última etapa de la secuencia de los reactores se le conoce como remojo térmico, ahí es donde se eleva la temperatura del producto hasta 650 °F misma que asegura la coalescencia de los fosfatos metálicos en partículas suficientemente grandes que permitan su filtración.

Como último paso de la etapa de la desmetalización, se efectúa una filtración que utiliza 1 % de tierras diatomeas en aceite. El módulo de la filtración es un sistema cerrado el cual está diseñado para operar en ciclos de 4 a 6 horas cada uno, a la salida del filtro el producto ya desmetalizado se enfría y se almacena en un tanque de paso.

La etapa de hidrot ratamiento, consiste en mezclar con hidrógeno el aceite filtrado anteriormente, esta mezcla es enviada a un reactor equipado con sulfuro de níquel y molibdeno. El propósito del hidrot ratamiento es mejorar el color del producto final y remover el cloro, azufre, nitrógeno y oxígeno presentes en el aceite. El aceite obtenido se somete a una separación flash para recuperar el hidrógeno que no reaccionó y poder recircularlo nuevamente.

Una vez que el hidrógeno ha sido separado del aceite, este último es enviado a un agotador para eliminar el ácido clorhídrico, ácido sulfhídrico, amoníaco y agua, para posteriormente ser enviado a un tanque de almacenamiento de producto terminado.

#### **Eficiencia.**

Este proceso ofrece un rendimiento del 95%, con impurezas de metales menores a 10 ppm y una eficiencia de remoción muy elevada, del orden del 96%.

#### **Ventajas.**

- El proceso genera un residuo (tierra diatomea) que puede ser dispuesto sin posibilidad de riesgos tóxicos en un confinamiento.

- El combustible producto durante el proceso se encuentra casi exento del contenido de azufre en general.
- Se obtiene un producto de calidad comparable a los derivados de aceite virgen.
- En el proceso no se presenta corrosión respecto al uso de ácidos fuertes.
- No hay problemas de contaminación y recuperación de solvente en el proceso, pues no se emplea etapa de extracción.
- No requiere de una etapa de pretratamiento para remover el agua e hidrocarburos ligeros.
- Las sustancias químicas que se emplean son de fácil disponibilidad no presentan problemas de manejo y/o almacenamiento.
- Es un proceso continuo.
- El volumen de la torta de filtrado es del orden de 2-3 veces menor que la obtenida en el proceso ácido-arcilla.
- La planta que utiliza este proceso en México ofrece beneficios tangibles para la economía nacional, ya que la producción de la planta es capaz de sustituir 15-20% de las importaciones del aceite básico.

#### **Desventajas.**

- Es una tecnología que presenta pocas posibilidades de adaptarse o modificarse a un proceso ya en funcionamiento.
- La compra de esta tecnología requiere de una inversión elevada.
- Presenta altos costos de operación.
- El proceso depende del catalizador y del difosfato de amonio.
- El proceso no puede manejar lubricantes usados que contengan productos clorados.
- Los residuos ácido-arcilla contienen aproximadamente 40-50% de hidrocarburos, plomo y zinc, trae como consecuencia una disminución en la lubricidad del aceite.

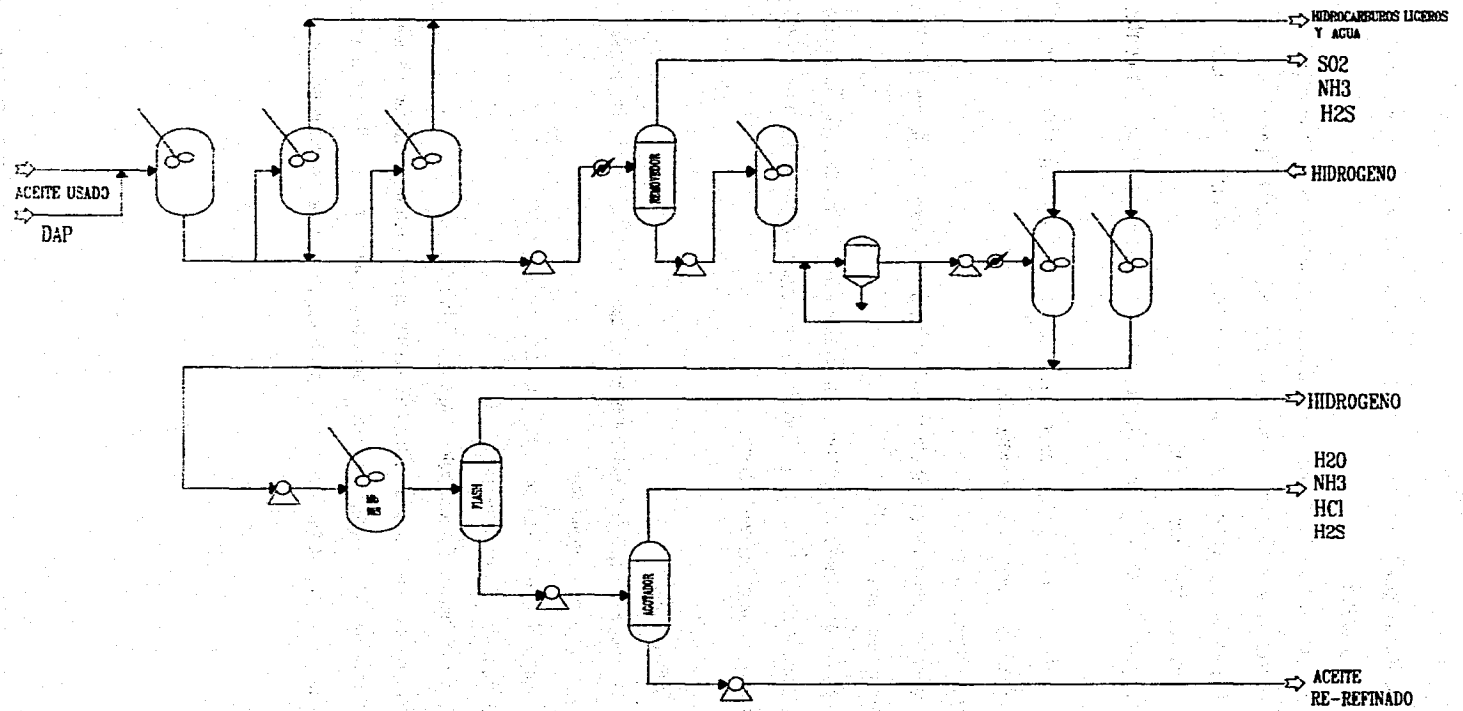


FIG. 7 PROCESO PROP

### **Proceso B.E.R.C (Bartlesville Energy Research Center) (fig 8).**

Este proceso es muy similar al proceso K.T.I, la diferencia estriba en que en este proceso se incorpora una etapa de precipitación con solventes, para reducir el coque y el ensuciamiento en la subsecuente etapa de destilación fraccionada.

El proceso comienza con la deshidratación del aceite en la destilación así como la separación por evaporación de los hidrocarburos ligeros. Es muy importante que la temperatura de operación no rebase la temperatura de coque de la alimentación. Estas condiciones son las siguientes, temperatura igual a 300 °F y una presión igual a 10 mm Hg.

Al aceite deshidratado se le adiciona un solvente formado por butanol, isopropanol y metil-etil-cetona (MEK), en una proporción de 1:2:1 a razón de 3:1 solvente-aceite, a una temperatura de 80 °F. Esta mezcla se agita y se deja sedimentar permitiendo así el asentamiento y drenado de los lodos y sedimentos, o bien se centrifuga para separar estos residuos.

Posteriormente mediante una evaporación se recuperan, condensan, y se reciclan los solventes.

Una vez que el solvente ha sido retirado del aceite, este último se envía a una torre de destilación fraccionada que opera a 550°F y una presión de 10 mmHg proporcionando cortes de combustibles, aceites, además de combustibles pesados en los fondos.

Las fracciones obtenidas de la destilación tienen un color rojo profundo o naranja y un olor a acre o agrio, por lo que es necesario tratarlos con arcilla de blanqueo.



Por otro lado se están llevando a cabo investigaciones para sustituir en este proceso el tratamiento con arcilla por la de hidrogenación.

Este mejora incrementara la calidad del producto final y se eliminaran por completo la generación de arcillas gastadas. Sin embargo, una de las desventajas en la hidrogenación es que se requerirá de una mayor inversión inicial.

#### **Eficiencia.**

Este proceso tiene una recuperación del 75 al 85 % sobre el aceite seco.

#### **Ventajas.**

- La alta calidad del producto pasa todas las pruebas.
- La generación de residuos de arcilla es mucho menor y en su lugar se obtienen residuos de hidrocarburos y compuestos pesados que pueden ser mezclados en algún combustible para su incineración.
- También los lodos neutrales que se producen tienen un mercado potencial en aplicación como asfalto o bien para la elaboración de tinta para periódico.
- Este proceso no emplea ácido, y por lo tanto no existen problemas significativos de corrosión.

#### **Desventajas.**

- La tecnología de BERC a la venta no suministra los detalles de operación.
- Las presiones de operación son muy bajas, y por lo tanto son difíciles de reproducir y mantenerse.
- Debido a fallas de energía se tienen riesgos de grandes fugas de hidrogeno en la unidad criogénica de almacenamiento.
- El consumo de energía es mucho más elevado.
- La operación tiene muy poca flexibilidad en sus parámetros de control.
- La proporción solvente-aceite es elevada.

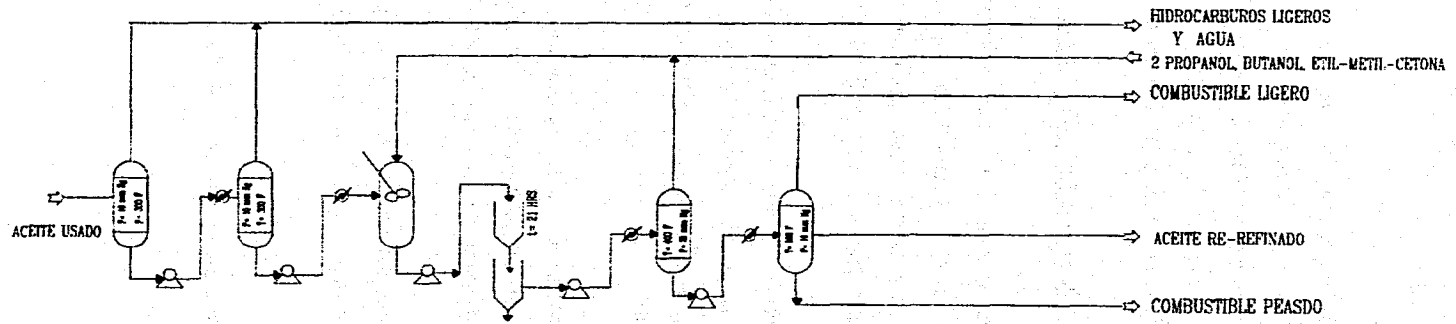


FIG 8 PROCESO BERC

- Los periodos de asentamiento emplean un tiempo importante.
- Emplea grandes volúmenes de arcilla, 50% en peso del aceite.
- Si el proceso se mejora con la implementación de la etapa de hidrogenación da como resultado una mayor inversión inicial, un potencial fuente de riesgo en el almacenamiento de hidrogeno ya que tiene un elevado riesgo de explosión.

### **Proceso I. F. P ( Instituto Francés del Petróleo) (fig 9).**

El proceso de extracción ácido-arcilla es un desarrollo relativamente nuevo en la industria de Re-refinación y aceites lubricantes usados. Muchas firmas de diseño han estudiado el uso de propano como solvente, sin embargo el primer proceso desarrollado en forma corresponde al Instituto Francés del Petróleo (I.F.P).

El proceso de extracción con propano es previo al tratamiento de ácido-arcilla, este se encuentra entre la etapa de deshidratación y adición de ácido sulfúrico. La base de este proceso es la utilización de propano para extraer de forma selectiva el aceite lubricante de un residuo de aceite usado.

Esta alternativa proporciona una mayor productividad y un producto de buena calidad, también posee la cualidad de que los costos de inversión y operación son más bajos con respecto a los del tradicional proceso ácido-arcilla (17% menos).

La técnica ya se usa en dos plantas con capacidad de producción de 35 mil toneladas por año en Lodi Italia y la otra de 20 mil toneladas al año en Belgrado Yugoslavia.

El proceso típico de extracción con propano se divide en seis operaciones básicas:

- Destilación
- Extracción con solvente

- Separación del solvente y recuperación del aceite
- Tratamiento ácido
- Tratamiento con tierras de blanqueo (arcilla)
- Filtración

El aceite usado es sometido a una doble etapa de separación instantánea, que es llevada a cabo a una temperatura de 375 °F a presión atmosférica, esto se hace con la finalidad de retirar hidrocarburos ligeros. Posteriormente se mezcla con propano en un extractor en la proporción de 4:1 (propano-aceite) para obtener un producto de alta calidad. La mezcla de propano-aceite es enviada a un separador donde el propano es evaporado del aceite y reutilizado en el proceso. En esta separación se forman los residuos asfálticos e impurezas.

El aceite libre de propano se mezcla con ácido sulfúrico concentrado al 93% y es agregado al aceite en una proporción de 2 % en peso del aceite, el aceite y ácido se mezclan a una temperatura de 100 °F por un tiempo de 10 minutos. La mezcla se envía a tanques de asentamiento, por un tiempo de 12 horas, manteniendo la temperatura a 60 °F, en esta etapa se forman lodos ácidos.

El aceite resultante es mezclado con arcilla en una proporción de 2 % en peso, la mezcla es sometida a un calentamiento por 6 horas manteniendo la temperatura a 300 °F. La finalidad de esta etapa es la de eliminar posibles sedimentos encontrados, neutralizar los excesos de ácido, mejorar el color y olor del aceite.

Después de esto la mezcla es filtrada a una temperatura de 300 °F en un filtro de placas y marcos.

El producto obtenido mediante este proceso se encuentra con características de calidad superior en lo que se refiere a color, estabilidad y viscosidad. Por otra parte el

consumo de ácido y arcilla se reduce entre 50 y 70 % con respecto al proceso original.

#### **Eficiencia.**

Este proceso cuenta con una buena recuperación estimada en 83 % en peso del aceite alimentado.

#### **Flexibilidad.**

Este proceso tiene la característica de ser flexible en sus etapas, de adecuarse a algunos cambios sin perder la esencia del proceso, ya que es posible incluirle una etapa de extracción con furfural, que complete la operación de desasfaltado y eliminación de cenizas, así como también implementar una etapa de dehirofinaización para obtener un aceite de un buen color, olor, y minimizar la producción de contaminantes.

#### **Ventajas.**

- Reduce considerablemente las necesidades de ácido sulfúrico y arcilla y por lo tanto los problemas de contaminación casi en un 40 %.
- Proporciona un aceite de buena calidad, que es competitivo con el aceite nuevo.
- Los costos de operación e inversión no son altos.
- Es un proceso que opera eficientemente con aceites usados que contengan altas concentraciones de barnices, gomas y asfaltos.
- Es un proceso que opera eficientemente con los aceites multigrado.
- Con este método la producción de lodos se reduce considerablemente.
- El agua de proceso requiere de un mínimo de tratamiento.
- El material del equipo que se puede utilizar en este proceso puede ser acero al carbón, pues no existen problemas de corrosión significativos.

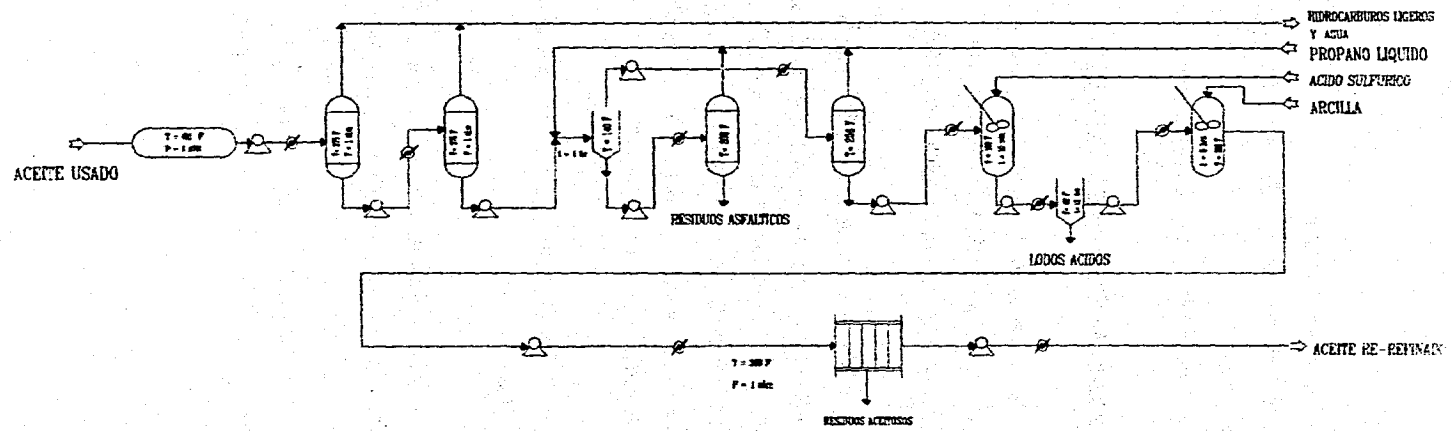


FIG 9 PROCESO I.F.P.

### **Desventajas.**

- Se requiere una cantidad elevada de propano.
- Aunque el volumen de ácido sulfúrico y arcilla son disminuidos, el problema de contaminación aun se presenta.
- El asentamiento de la mezcla emplea un tiempo considerable.

### **Proceso de Tratamiento Alcohol Alifático-Acido (fig. 10).**

Este proceso es la adaptación de la patente Brownawell and Renard, U.S. El proceso inicia cuando el aceite lubricante usado es sometido a una predestilación con el fin de remover los hidrocarburos ligeros y los contaminantes acuosos.

Hecho lo anterior se procede a mezclar el aceite deshidratado a una relación de 1:1 en volumen con 1-butanol por un periodo de tiempo de 24 horas, una vez que ha transcurrido el tiempo la mezcla se ha sedimentado formándose dos capas, una ligeramente gris la cual esta formada por lodos en el fondo y una negra formada por el aceite-alcohol. Este solución se decanta y se calienta a una temperatura de 110 °F antes de ser centrifugado para eliminar las trazas de lodos.

La solución Aceite-Alcohol así tratada se filtra y el alcohol es eliminado por medio de una destilación flash.

Un total de 3 % de lodos es eliminado en el tratamiento previo. Posteriormente el aceite libre de alcohol se mezcla con ácido sulfúrico fumante en una proporción de 15 % en volumen del aceite, la mezcla se agita por un tiempo de 45 minutos, lo que origina que la temperatura se incremente y exista formación de espuma. La mezcla se deja sedimentar por un lapso de 4 horas antes de separar la capa de aceite.

El aceite obtenido contiene ácido, por lo que el ácido resultante es neutralizado mediante la adición de carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) en solución. Enseguida se añade 2-propanol para extraer tanto el agua como los sulfatos de sodio formados ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) formados en el paso de neutralización.

La capa de aceite se separa de el alcohol residual y el agua remanente. La cantidad de aceite recuperado fue del 53 % con respecto al aceite inicial.

#### **Eficiencia.**

Este proceso presenta una eficiencia del 53 % con respecto al aceite inicial.

#### **Ventajas.**

- Reduce la cantidad empleada de ácido en comparación del tradicional proceso ácido-arcilla.
- Se disminuye la producción de lodos ácidos.
- Es un proceso sencillo.
- Los solventes o reactivos son de fácil disponibilidad.

#### **Desventajas.**

- El proceso sólo presenta una recuperación del 53 %.
- Los periodos de asentamientos son considerables.
- Aun cuando se reduce la producción de lodos estos no se eliminan, ya que no existe una disminución significativa de los mismos con respecto al proceso ácido-arcilla.
- Se obtiene un aceite de muy baja calidad.
- No existe evidencia de que el proceso se lleve a escala industrial.
- El producto presenta un alto contenido de sodio debido a la etapa de neutralización.



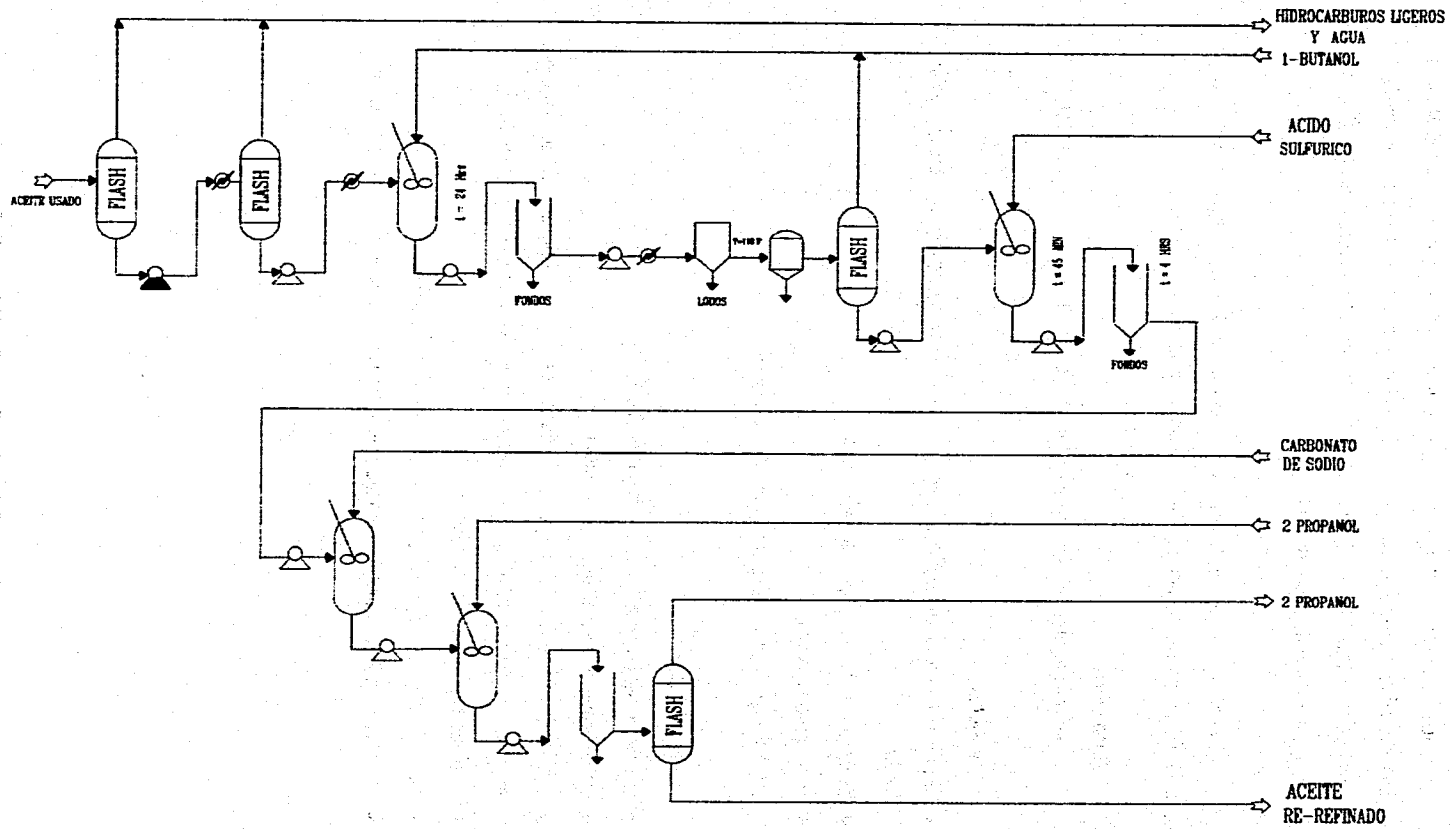


FIG 10 PROCESO ALCOHOL ALIFATICO-ACIDO

### **Proceso de Tratamiento Cásitico con Peróxido y Cloruro de Aluminio (fig 11).**

Otra técnica usada para procesar una muestra de aceite lubricante usado es la propuesta por Gulick.

El método indica técnica de adición de distintos compuestos químicos con el objetivo de tratar las partículas coloidales contaminantes en suspensión en el aceite. El aceite lubricante usado se mezcla con hidróxido de sodio y peróxido de hidrógeno, ambos a razón de .1 % con respecto a la carga tratada. Esta mezcla se agita a 150 °F durante un periodo de 2 horas, posteriormente se manda a tanques de asentamiento por un tiempo de 24 horas, el aceite se remueve de los lodos y se centrifuga.

El aceite recuperado es aproximadamente el 93% del aceite inicial en volumen. A este aceite se adiciona el .5 % en peso de cloruro de aluminio anhidro, y se somete a calentamiento a una temperatura de 180 °F, por una hora. Después del enfriamiento y sedimentación durante una noche el aceite se centrifuga y se filtra.

#### **Eficiencia.**

La recuperación final es del 86% con respecto al aceite original.

#### **Ventajas.**

- Las condiciones de temperatura y presión no son extremas.
- Se elimina el uso de ácido.
- Las sustancias que se emplean son de fácil disponibilidad.

#### **Desventajas.**

- Este proceso es muy poco efectivo para la remoción de metales.
- El proceso es simple, pero aun no se aplica a escala industrial, sólo a nivel laboratorio.

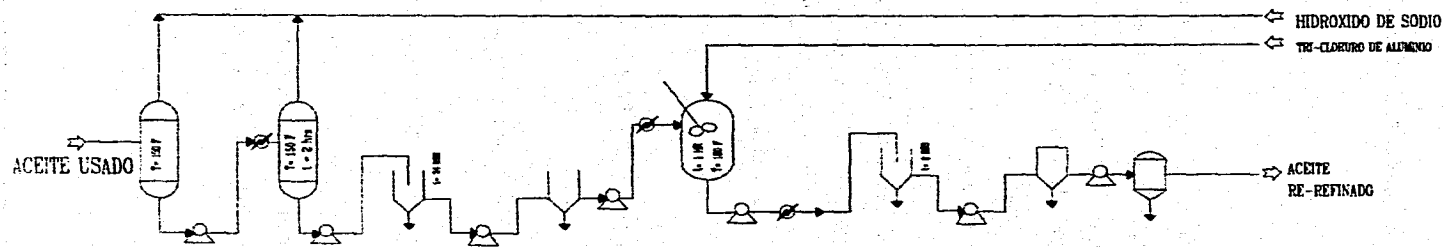


FIG 11 TRATAMIENTO CAUSTICO CON PEROXIDO CLORURO DE ALUMINIO

- El contenido de pentanos insolubles, cenizas sulfatadas y residuos de carbón presentan altos niveles casi del 50% del contenido en un aceite usado.
- Requiere grandes tiempos de asentamiento.

### **Proceso de Percolación a través de Arcilla Tratada (fig 12).**

Este proceso emplea básicamente las etapas de deshidratación, dilución, contacto con arcilla y extracción.

El aceite usado es deshidratado por una destilación flash llevada a cabo en dos etapas, logrando al mismo tiempo retirar también hidrocarburos ligeros. Enseguida este aceite es mezclado con n-hexano en proporción de 1:1, haciéndose circular a través de una torre empacada con arcilla tratada por un tiempo de 3 horas.

La arcilla tratada se prepara de la siguiente manera: como primer paso se mezcla arcilla (malla 30/60) con una solución acuosa de hidróxido de sodio, de tal manera que este último represente el 10 % en peso de la arcilla. Esta mezcla es colocada y seca en charolas a una temperatura de 100 °F, por un tiempo de 48 horas.

La mezcla obtenida aceite-n hexano que fue pasada por la arcilla tratada en la torre empacada (3 lb de arcilla/ galón de aceite), se hace combinar con arcilla blanqueadora (de malla 200) a razón de .5 lb/ galón. La mezcla es filtrada y enviada a una separación flash para recuperar el n-hexano donde la presión de operación es de 10 mm Hg.

El aceite una vez libre de n-hexano es mezclado con n-pentano en una proporción de 4:1 y posteriormente centrifugado para remover lodos y sedimentos.

Finalmente el n-pentano es removido del aceite por una separación flash.

### **Ventajas.**

- No requiere del uso de ácido.
- No existen problemas serios de corrosión.
- Los reactivos son de fácil disponibilidad.
- La etapa de centrifugación acelera el proceso y aumenta los rendimientos.

### **Desventajas.**

- La calidad del aceite es mala.
- La remoción de solventes no es adecuada.
- Se requiere de altas cantidades de arcilla originando mayores costos de operación y problemas de contaminación.
- Los requerimientos de n-hexano y n-pentano son elevados, repercutiendo en un incremento en los costos de operación.
- El sistema de centrifugación origina que los costos de operación aumenten.
- Existen pérdidas significativas del aceite al pasar por la columna empacada, aun cuando se somete a un lavado está última con n-hexano.

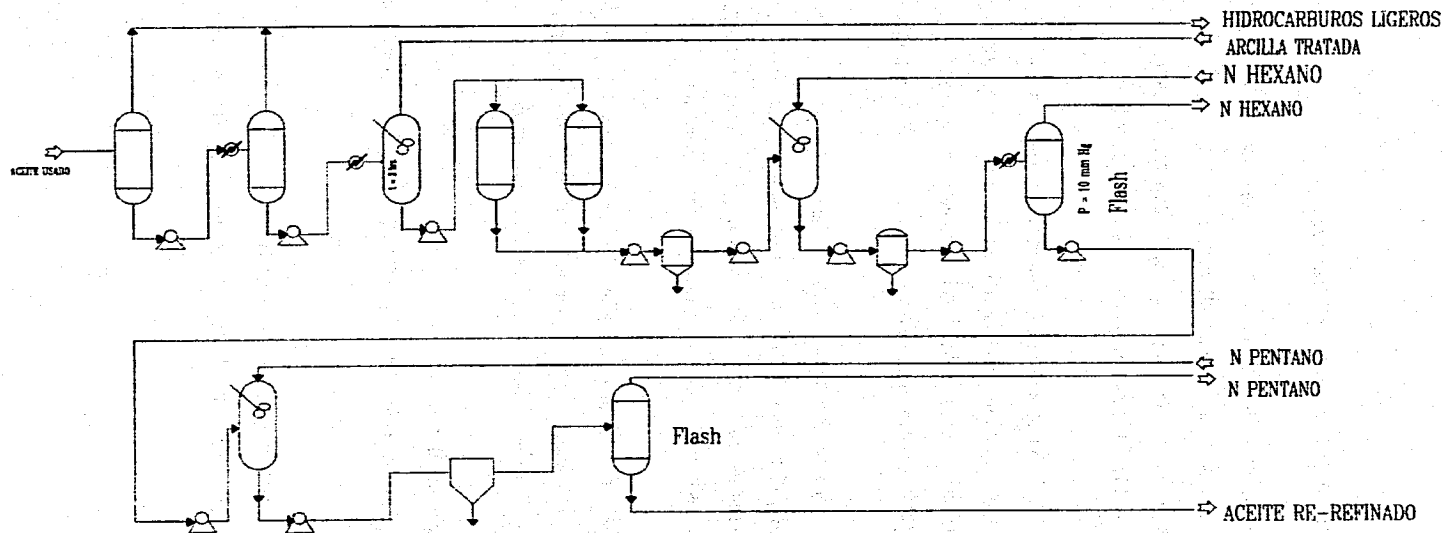


FIG 12 PROCESO PERCOLACION - ARCILLA TRATADA

#### **4.3 Selección de la Mejor Alternativa de Proceso.**

La información expuesta anteriormente de cada uno de los procesos de Re-refinación nos permitirá elegir la mejor alternativa, que no implique costos excesivos para el manejo de los lubricantes usados, así como minimizar los riesgos a la salud y el medio ambiente asociados al buen manejo de los residuos producidos.

La elección de la mejor alternativa implica llevar a cabo un análisis comparativo de todos los procesos expuestos, tomando en cuenta ciertas características como por ejemplo: eficiencia del proceso, calidad del producto, condiciones de operación no extremas, que el producto sea comparable con respecto al aceite virgen entre otras.

El análisis comparativo se llevará a cabo en fases, como primera fase de elección todos los procesos participaran, estos procesos deberán cumplir requisitos mínimos generales, posteriormente los procesos resultantes deberán cumplir requisitos aún más específicos y así sucesivamente hasta encontrar la mejor alternativa.

El hecho de encontrar la mejor alternativa implica aprovechar recursos, tanto materiales como económicos, de manera eficiente, con el fin de ahorrar energía y de minimizar los riesgos asociados con el manejo de lubricantes usados.

##### **Primera Fase de Selección.**

En esta fase, participaran todos los procesos, los cuales deberán cumplir los siguientes objetivos:

1. El proceso debe operar a escala industrial.
2. El proceso debe tener una eficiencia aceptable, no menor a 70% con respecto al aceite seco.

3. La calidad del producto debe ser aceptable, esto es que el producto sea capaz de ser comparable con un aceite virgen.

4. Los residuos producidos por el proceso sean lo menos contaminante al medio ambiente.

Para llevar acabo esta fase de selección se utilizara. *satisface y no satisface* para identificar si los procesos cumplen o no cumplen con los cuatro objetivos de la primera fase, si alguno de los procesos no llegara a cumplir dichos objetivos no podrá pasar a la siguiente fase de selección. En la tabla se muestra el análisis de selección.



**TABLA 1**

<b>PROCESO</b>	<b>OBJETIVO 1</b>	<b>OBJETIVO 2</b>	<b>OBJETIVO 3</b>	<b>OBJETIVO 4</b>
<b>Resource</b>	SI SATISFACE	SI SATISFACE	NO SATISFACE	SI SATISFACE
<b>Technology</b>				
<b>Matthys Garap</b>	SI SATISFACE	NO SATISFACE	SI SATISFACE	NO SATISFACE
<b>K. T. I.</b>	NO SATISFACE	SI SATISFACE	SI SATISFACE	SI SATISFACE
<b>Caustico</b>	SI SATISFACE	NO SATISFACE	SI SATISFACE	NO SATISFACE
<b>Recyclon</b>	SI SATISFACE	SI SATISFACE	SI SATISFACE	SI SATISFACE
<b>Acido-Areilla</b>	SI SATISFACE	SI SATISFACE	SI SATISFACE	NO SATISFACE
<b>PROP</b>	SI SATISFACE	SI SATISFACE	SI SATISFACE	SI SATISFACE
<b>Alcohol</b>	NO SATISFACE	NO SATISFACE	SI SATISFACE	NO SATISFACE
<b>Alifatico-Ac</b>				
<b>BERC</b>	SI SATISFACE	SI SATISFACE	SI SATISFACE	SI SATISFACE
<b>I. F. P.</b>	SI SATISFACE	SI SATISFACE	SI SATISFACE	SI SATISFACE
<b>Peróxido</b>	NO SATISFACE	SI SATISFACE	NO SATISFACE	SI SATISFACE
<b>Cloruro de Al</b>				
<b>Percoloración</b>	NO SATISFACE	NO SATISFACE	NO SATISFACE	NO SATISFACE

Como se podrá observar en la tabla anterior sólo cuatro procesos cumplieron con los objetivos de la primera fase, por lo tanto estos pasaran a la siguiente fase de selección.

Los procesos que cumplieron esta primera fase son los siguientes:

- Proceso Recyclon.
- Proceso PROP.
- Proceso BERC.
- Proceso I.F.P.

### **Segunda Fase de Selección.**

Los objetivos para esta fase serán más específicos, esto es con el fin de seleccionar aquella (s) alternativas que se apeguen a dichos objetivos.

Por tal motivo estos objetivos contarán con una puntuación, que irá en una escala de 50 a 100 siendo la primera la más pequeña y la segunda la más alta.

Al finalizar esta fase, se sumará la puntuación correspondiente a cada proceso, de tal manera que aquel o aquellos procesos que finalicen esta etapa con la mayor puntuación serán los que pasarán a la siguiente fase.

A continuación se mencionan los objetivos de esta fase, así como la puntuación correspondiente:

#### **1 Condiciones de operación: Temperatura y Presión.**

Temperatura		Presión	
alta	50	alta	75
mediana	100	mediana	100
baja	75	baja	50

#### **2 Tipo de proceso.**

Continuo	100
Semicontinuo	75
Batch	50

#### **3 Disponibilidad, manejo y volumen de los solventes o reactivos utilizados.**

<u>Disponibilidad</u>	<u>Manejo</u>	<u>Volumen</u>
Buena 100	Fácil 100	Alto 50
Regular 75	Regular 75	Mediano 75
Baja 50	Peligroso 50	Bajo 100

4. Sometimiento de desechos a tratamiento o utilización inmediata de los mismos.

Alta 100

Mediana 75

Baja 50

5. Flexibilidad del proceso a cambiar alguna etapa para el mejoramiento de la calidad del producto.

Alta 100

Mediana 75

Baja 50

6. Dependencia fundamental del proceso sobre alguna etapa en particular

Alta 50

Mediana 75

Baja 100

7. Capacidad del proceso a tratar cualquier tipo de aceites lubricantes usados.

Alta 100

Mediana 75

Baja 50

8. Problemas de corrosión.

Graves 50

Medianas 75

Bajas 100

9. Aprovechamiento de la energía en el proceso.

Alta 100

Mediana 75

Baja 50

En la tabla 2 se muestra el análisis de los objetivos anteriores

**TABLA 2**

Proces.	OBJ	OBJ	OBJ	OBJ	OBJ	OBJ	OBJ	OBJ	OBJ	Obj	Obj
<b>Recyclon</b>	50	50	100	100	100	75	50	75	100	75	925
<b>PROP</b>	75	75	100	100	100	75	75	75	100	50	975
<b>BERC</b>	75	50	100	100	100	75	75	75	100	50	925
<b>I.F.P.</b>	75	75	100	100	100	100	75	100	75	50	1000

El análisis de esta segunda etapa nos muestra que el proceso I.F.P es el proceso más conveniente técnicamente debido a que existen una serie de ventajas comparativas con respecto a los otros procesos analizados como son: mayor flexibilidad a modificar ó cambiar una etapa del proceso, con el fin de optimizar el mismo así como la calidad del producto (aceite lubricante).

El proceso genera una baja producción de residuos secundarios contaminantes, lo que permite tener una considerable baja en los problemas de contaminación, una menor peligrosidad en el manejo de estos residuos, y un mejor control en el almacenamiento y transporte; así mismo estos desechos son fácilmente sometidos a tratamiento a un uso posterior.

Por otra parte se tiene que el proceso opera a condiciones no extremas, por lo que pueden ser controladas, disminuyendo los riesgos potenciales. Otro aspecto es que el proceso I.F.P no es un proceso complejo de tal forma que este ofrece una estabilidad en la obtención del producto además es capaz de manejar una amplia gama de aceites usados para su re-refinación.

Finalmente como se ha visto el proceso I.F.P es el que presenta más ventajas comparativas con respecto a los otros procesos, por lo tanto el proceso seleccionado para nuestro estudio es el proceso I.F.P.

#### 4.4 Balance de Masa y Energía.

Datos <sup>1</sup>

Composición de Aceite Usado.

Aceite	86.57%
Agua	8%
Asfaltos	0.43%
Cenizas	1.5%
Sedimentos	2%
Hidrocarburos ligeros	1.5%

Densidad del aceite Usado

$$\rho = 0.9067 \text{ gr/cm}^3 \text{ (56.6052 lb/ft}^3\text{)}$$

Flujo de Aceite Usado

$$F = 93,000 \text{ m}^3/\text{año}$$

Criterios Para el Desarrollo Del Balance de Masa y Energía.

1.- Se considera una capacidad de operación de la planta del 70%.

$$\text{Flujo inicial} = 93,000 \text{ m}^3/\text{año (24,567,958.8 galones/año)}$$

$$(24,567,958.8 \text{ galones/año}) / 0.70 = 35,097,084 \text{ gal/año}$$

2.- Se consideran 260 días netos de trabajo al año tomando en cuenta lo siguiente:

- \* Un sólo turno
- \* 12 días no laborales al año
- \* 100 días no laborales equivalentes a sábados y domingos anuales

<sup>1</sup> ICF KAISER SERVICIOS AMBIENTALES.

35,097,084 gal/año (1 año / 260 días netos)  
= 134988.78 gal / día

= 134988.78 gal / día = 751.892 ft<sup>3</sup>/hr

751.892 ft<sup>3</sup>/hr \* 56.6052 lb/ ft<sup>3</sup> = 42559.899 lb/hr

Flujo Inicial = 42560 lb/hr

3.<sup>2</sup> - La alimentación del aceite residual al proceso se efectúa a condiciones ambientales P= 1 atm y T= 60 °F.

4.<sup>2</sup> - Se alimenta propano en una proporción de 4:1 con respecto al aceite y la recuperación de este se lleva a cabo a 206 °F ( a esta temperatura no se disuelven compuestos orgánicos).

5.<sup>2</sup> - Se alimenta ácido sulfúrico al 93% de concentración en una proporción de 2% con respecto al aceite.

6.<sup>2</sup> - Se alimenta 2% en peso de Arcilla con respecto al aceite alimentado.

7. - Se considera un delta T = 5 °F en las corrientes de salida de los equipos que fluyen a través de la tubería, esto es considerando que la tubería está aislada en su totalidad.

A continuación se muestra el balance de masa y energía desarrollado para el proceso I.F.P.

---

<sup>2</sup> Fuente: Proceso I.F.P

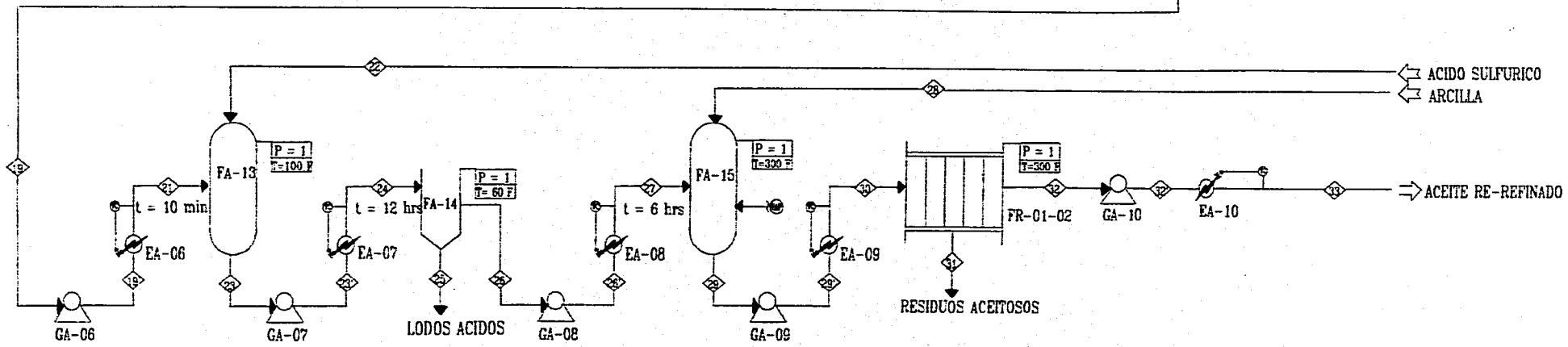
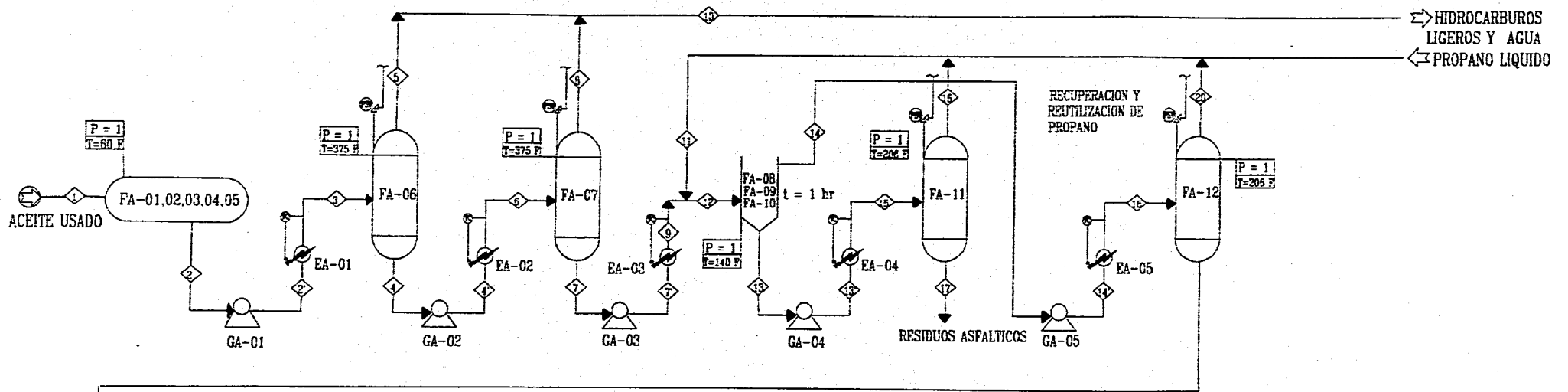
BALANCE DE MASA Y ENERGIA		PLANTA REGENERADORA DE ACEITE LUBRICANTE USADO MORELOS (VALLE DE CUERNAVACA CIVAC)							
CORRIENTE COMPONENTE	1	2	2'	3	4	4'	5	6	7
FLUJO MASICO LB/HR	42500	42500	42500	42500	37776.256	37776.256	4763.744	37776.256	37045.458
AGUA	0.09	0.09	0.09	0.09	0.01	0.01	0.7208	0.01	0.002
HIDROCARBUROS LIGEROS	0.015	0.015	0.015	0.015	0.0016	0.0016	0.1201	0.0016	0.0003
ACEITE	0.995	0.995	0.995	0.995	0.9981	0.9981	0.1592	0.9981	0.9975
PROPANO									
ACIDO SULFURICO									
ARCILLA									
T (°F)	60	60	60	375	370	370	375	375	370
P (LB/IN <sup>2</sup> )	14.7	14.7	22.05	17.64	14.7	22.05	14.7	17.64	14.7

BALANCE DE MASA Y ENERGIA		PLANTA REGENERADORA DE ACEITE LUBRICANTE USADO MORELOS (VALLE DE CUERNAVACA CIVAC)							
CORRIENTE COMPONENTE	7'	8	9	10	11	12	13	13'	14
FLUJO MASICO LB/HR	37045.458	730.797	37045.458	5514.541	147824.33	184899.79	25954.977	25954.977	159914.8
AGUA	0.002	0.4193	0.002	0.9907		0.0004	0.0028	0.0028	
HIDROCARBUROS LIGEROS	0.0003	0.0006	0.0003	0.1134		0.00008	0.0004	0.0004	
ACEITE	0.9975	0.5108	0.9975	0.2058		0.1999	0.1423	0.1423	0.2092
PROPANO					1	0.7998	0.8543	0.8543	0.7907
ACIDO SULFURICO									
ARCILLA									
T (°F)	370	375	350	375	60	140	135	135	135
P (LB/IN <sup>2</sup> )	22.05	14.7	17.64	14.7	14.7	14.7	14.7	22.05	14.7



BALANCE DE MASA Y ENERGIA		PLANTA REGENERADORA DE ACEITE LUBRICANTE USADO MORELOS (VALLE DE CUERNAVACA CIVAC)							
CORRIENTE COMPONENTE	14'	15	16	17	18	19	19'	20	21
FLUJO MASICO LB/HR	158914.8	25954.977	21809.324	4144.8987	158914.8	33555.758	33555.758	125355.4	33555.758
AGUA		0.0028	0.0018	0.0089					
HIDROCARBUROS LIGEROS		0.0004	0.0002	0.0013					
ACEITE	0.2092	0.1423	0.0018	0.8827	0.2092	0.9812	0.9812	0.0028	0.9812
PROPANO	0.7907	0.8543	0.9863	0.107	0.7907	0.0188	0.0188	0.9874	0.0188
ACIDO SULFURICO									
ARCILLA									
T (° F)	135	208	208	201	208	201	201	208	100
P (LB/IN <sup>2</sup> )	22.05	17.64	14.7	14.7	17.64	14.7	22.05	14.7	17.64

BALANCE DE MASA Y ENERGIA		PLANTA REGENERADORA DE ACEITE LUBRICANTE USADO MORELOS (VALLE DE CUERNAVACA CIVAC)							
CORRIENTE COMPONENTE	22	23	23'	24	25	26	26'	27	28
FLUJO MASICO LB/HR	658.498	34214.258	34214.258	34214.258	1362.088	32852.187	32852.187	32852.187	645.853
AGUA	0.07	0.0013	0.0013	0.0013	0.0325				
HIDROCARBUROS LIGEROS									
ACEITE		0.9828	0.9828	0.9828	0.4827	0.9828	0.9828	0.9828	
PROPANO		0.0181	0.0181	0.0181	0.0453	0.169	0.169	0.169	
ACIDO SULFURICO	0.83	0.0178	0.0178	0.0178	0.4385	0.0005	0.0005	0.0005	
ARCILLA									1
T (° F)	80	95	95	80	55	55	55	300	295
P (LB/IN <sup>2</sup> )	14.7	14.7	22.05	17.64	14.7	14.7	22.05	17.64	14.7



ELABORARON	LETICIA MUÑOZ MENDOZA JOEL MENDOZA JUAREZ	U.N.A.M.	F.E.S ZARAGOZA
ASESOR	FRANCISCO MIGUEL A. DIAZ GARCIA ING J. BENJAMIN RANGEL GRANADOS	INGENIERIA QUIMICA	
DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO PARA LA RE-REFINACION DE ACEITE USADO LOCALIZACION: MORELOS VALLE DE CUERNAVACA (CIVAC)			

BALANCE DE MASA Y ENERGIA		PLANTA REGENERADORA DE ACEITE LUBRICANTE USADO MORELOS (VALLE DE CUERNAVACA CIVAC)							
CORRIENTE COMPONENTE	29	29'	30	31	32	32'	33		
FLUJO MASICO LB/HR	33497.84	33497.84	33497.84	1505.727	31992.113	31992.113	31992.113		
AGUA									
HIDROCARBUROS LIGEROS									
ACEITE	0.9639	0.9639	0.9639	0.1929	1	1	1		
PROPANO	0.0166	0.0166	0.0166	0.3701					
ACIDO SULFURICO	0.0003	0.0003	0.0003	0.008					
ARCILLA	0.0192	0.0192	0.0192	0.429					
T (°F)	295	295	300	295	295	295	60		
P (LB/IN <sup>2</sup> )	14.7	22.05	17.64	14.7	14.7	22.05	17.64		

#### 4.5 DISEÑO Y ESPECIFICACION DE EQUIPO.

##### Evaporadores Instantáneos.

El cálculo de estos equipos se llevara acabo, tomando en cuenta un sistema ideal, las ecuaciones que se utilizaran para el análisis termodinámico son específicamente para un Proceso de Evaporación Instantánea (Isotérmico) en el cual se especificara Flujo de Entrada (F), Temperatura(T) y Presión(P).

Las ecuaciones que obedecen a este análisis son las siguientes:

$$F = V_v + L_v$$

$$X_i = (X_{fi} / (L_v/F)) + (V_v K_{fi} / F)$$

$$Y_i = K_{fi} X_i$$

Donde:

$K_{fi}$  = variable en función de (T y P).

$X_i$  = composición del componente i en la fase líquida.

F = flujo de alimentación.

$X_{fi}$  = composición en la alimentación.

$L_v$  = flujo del líquido.

$V_v$  = flujo de vapor.

$$\theta = V_v / F$$

$$X_i = X_{fi} / (1 - \theta(1 - K_{fi}))$$

### Secuencia de cálculo:

1.- Los datos para el separador Líquido-Vapor son los siguientes:

Componentes	$P_{\text{vapor}}$ (lb/in <sup>2</sup> )	Tem.ebu. (°F)	Densidad (lb/ft <sup>3</sup> )	Peso Mol. (g/gmol)
<sup>1</sup> Aceite	21.756	350	56.60	138
<sup>2</sup> Agua	184.07	212	62.43	18
<sup>2</sup> Hidrocarburos ligeros	411.6	96.8	39.08	72

<sup>1</sup> Fuente: I.C.F Kaiser Servicios Ambientales.

<sup>2</sup> Fuente: DAVID M. Himmelblaw. Balances de Materia y Energía

Flujo de alimentación = 42560 lb/hr

Composición en la alimentación:

Aceite = 0.8950

Agua = 0.0900

Hidrocarburos Ligeros (H.L) = 0.0150

Temperatura = 375 °F

Presión de operación = 1 Atm.

2.- El proceso de solución a las ecuaciones del sistema será de manera iterativa, por tal motivo se aplicara el método de Newton Raphson con el fin de encontrar la raíz deseada que converja cuando  $P(\theta) = 0$ . Una vez obtenida la raíz se procederá a evaluar  $V_F$ ,  $L_F$ ,  $X_i$  y  $Y_i$ .

Las siguientes ecuaciones del sistema consideran todos los componentes  $i$  y se expresa de manera funcional:

$$P(\theta) = \sum_{y=1}^n [X_i / (1 - \theta(1 - K_{fi}))] - 1$$

$$P'(\theta) = \sum_{y=1}^n [X_i(1 - K_{fi}) / (1 - \theta(1 - K_{fi}))^2]$$

$$P(\theta) = \theta - P(\theta) / P'(\theta)$$

Los valores obtenidos para este separador fueron los siguientes:

$$V_F = 4783.744 \text{ lb/hr}$$

$$L_F = 37776.256 \text{ lb/hr}$$

$$X_{AGUA} = 0.0100$$

$$X_{H.L} = 0.0016$$

$$X_{ACE} = 0.9984$$

$$Y_{AGUA} = 0.7207$$

$$Y_{H.L} = 0.1201$$

$$Y_{ACE} = 0.1592$$

Una vez obtenido lo anterior se procede a calcular la Temperatura de Burbuja y Temperatura de Rocio, las ecuaciones utilizadas se muestran a continuación:

#### **Temperatura de Burbuja**

$$F(T_F) = \sum_{y=1}^n (K_{fi} X_i) - 1 = 0$$

Donde:

$$K_{fi} = P^o / P_T$$

$P_T$  = Presión Total de sistema

#### **Temperatura de Rocio**

$$F(T_F) = \sum_{y=1}^n (Y_i / K_{fi}) - 1 = 0$$

Para obtener la temperatura de Burbuja y de Rocío se utilizó el método de Newton Raphson con el fin de encontrar la raíz que converja para obtener  $F(T_f) = 0$ , una vez logrado lo anterior se obtuvieron los valores de:

Temperatura de Burbuja = 343 °F

Temperatura de Rocío = 395 °F

Para llevar acabo el diseño mecánico se utilizara como referencia el Código ASME<sup>3</sup> a continuación se presenta el algoritmo de cálculo.

1.- Datos:

$$\rho_L = 50 \text{ lb/ft}^3$$

$$\rho_V = 0.0715 \text{ lb/ft}^3$$

$$Q_L = 755.525 \text{ ft}^3 / \text{hr}$$

$$Q_V = 66822.852 \text{ ft}^3 / \text{hr}$$

Como se observa el valor de  $Q_V$  es mayor al valor de  $Q_L$ , el tanque separador se diseñara de forma vertical.

2.- Cálculo de la velocidad máxima permisible

$$V_{\max} = K_v [ (\rho_L - \rho_V) / \rho_V ]^{1/2}$$

Considerando que el tanque se diseña con internos, es decir con malla separadora para obtener mejor eficiencia en la separación.

---

<sup>3</sup> American Society of Mechanical Engineers.

$$K_v = 0.35$$

$$V_{\max} = 0.35 [(50 - 0.0715) / 0.0715]^{1/2}$$

$$V_{\max} = 9.2488 \text{ ft/seg}$$

### 3.- Cálculo de la velocidad de diseño

$$V_D = 0.75 * V_{\max}$$

$$V_D = 6.9366 \text{ ft/seg}$$

### 4.- Cálculo del área mínima (área transversal)

$$A_{\min} = Q_v / V_D$$

$$A_{\min} = 2.6759 \text{ ft}^2$$

### 5.- Cálculo del diámetro del recipiente.

$$D_{\min} = [(4 * A_{\min}) / \pi]^{1/2}$$

$$D_{\min} = 1.8458 \text{ ft}$$

El diámetro mínimo obtenido se debe ajustar a un diámetro comercial.

$$D_{\min} \rightarrow D_{\text{com}} = 2 \text{ ft}$$

### 6.- Cálculo de la altura del recipiente.

$$L = h_b + h_r + h_v + m + h_t$$



donde:

$m$  = espesor de la malla separadora (0.5-0.66ft)

$h_t$  = distancia de la malla separadora a la tangente superior del tanque (1ft).

$h_v$  = altura de disgregación de vapor

$h_b$  = distancia del fondo del tanque para la localización de la boquilla inferior de interfase (6 in ).

$h_r$  = altura del nivel del liquido de acuerdo a un tiempo de residencia predeterminado

$$h_r = Q_L \cdot \theta_{RD} / A_{Tan}$$

$Q_L$  = flujo volumétrico del liquido

$A_{Tan}$  = área del tanque (a partir del diametro comercial)

$\theta_{RD}$  = tiempo de residencia de diseño toma en cuenta los factores de instrumentación y personal.

$$\theta_{RD} = [(F1 + F2)/2] \cdot \theta_R$$

$F1$  = factor de instrumentación (1.0)

$F2$  = factor de personal (1.2)

$$\theta_{RD} = 4.4 \text{ min}$$

$$A_{Tan} = 3.1415 \text{ ft}^2$$

$$h_r = 17.63 \text{ ft}$$

$$L = 21 \text{ ft}$$

Tipo de tapas : toriesfericas.

El diámetro de la boquilla de alimentación se determina mediante la ecuación siguiente:

$$D = [(4 \cdot Q_T) / (V \cdot \pi)]^{1/2}$$

donde:

$Q_T$  = gasto volumétrico total

V = velocidad recomendada de la alimentación

D = 3 in

El diámetro de la boquilla de salida de vapor se calcula con la ecuación siguiente:

$$D = [(4 * Q_v) / (V_v * \pi)]^{1/2}$$

donde:

Q<sub>v</sub> = gasto volumétrico del vapor

V<sub>v</sub> = velocidad recomendada del vapor

D = 6 in

El diámetro de la boquilla de líquido se determina con la siguiente ecuación:

$$D = [(4 * Q_l) / (V_l * \pi)]^{1/2}$$

donde:

Q<sub>l</sub> = gasto volumétrico del líquido

V<sub>l</sub> = velocidad recomendada del líquido

D = 3 in

Diámetro de la boquilla de venteo : 1 in

Diámetro de la boquilla de Dren : 1.5 in

Diámetro de la boquilla de registro de hombre : 18 in

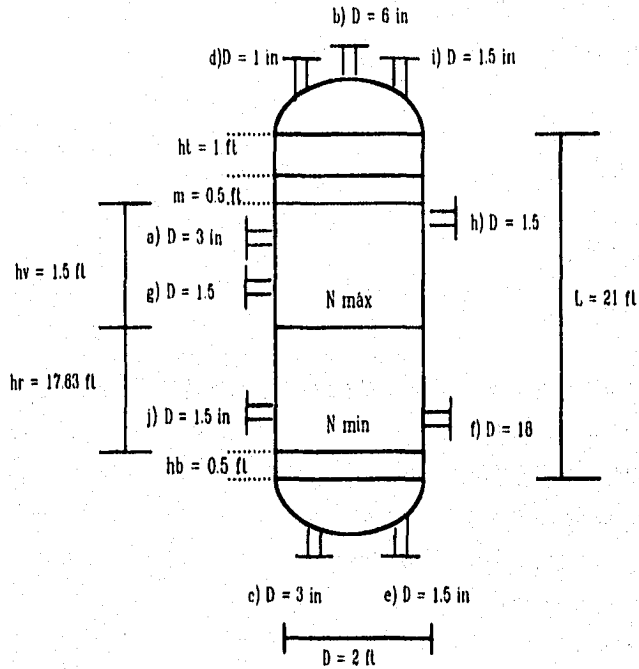
Diámetro de la boquilla de indicador de nivel : 1.5 in

Diámetro de la boquilla de indicador de temperatura : 1.5 in

Diámetro de la boquilla de indicador de presión : 1.5 in

Diámetro para conexión de alarma : 1.5 in

**FA-06.**



-Temperatura de Operación = 375 °F

-Presión de Operación = 1 Atm.

-Temperatura de burbuja = 343 °F

-Temperatura de rocío = 395 °F

-Composición en la alimentación:

- $F_L = 42560$  lb/hr.

- $X_{AGUA} = 0.0900$

- $X_{H_2L} = 0.0150$

- $X_{ACE.} = 0.8950$

-Composición en la fase L y V

- $F_L = 37776.256$  lb/hr.

- $X_{AGUA} = 0.0100$

- $X_{H_2L} = 0.0016$

- $X_{ACE.} = 0.9984$

- $F_V = 4783.744$  lb/hr.

- $Y_{AGUA} = 0.7207$

- $Y_{H_2L} = 0.1201$

- $Y_{ACE.} = 0.1592$

- $\rho_L = 50 \text{ lb/ft}^3$
- $\rho_V = 0.0715 \text{ lb/ft}^3$
- $Q_L = 755.525 \text{ ft}^3 / \text{hr}$
- $Q_V = 66822.852 \text{ ft}^3 / \text{hr}$
- $D = 2 \text{ ft}$
- $h_t = 1 \text{ ft}$
- $m = 0.5 \text{ ft}$
- $h_v = 1.5 \text{ ft}$
- $h_r = 17.63 \text{ ft}$
- $h_b = 0.5 \text{ ft}$
- $L = 21 \text{ ft}$

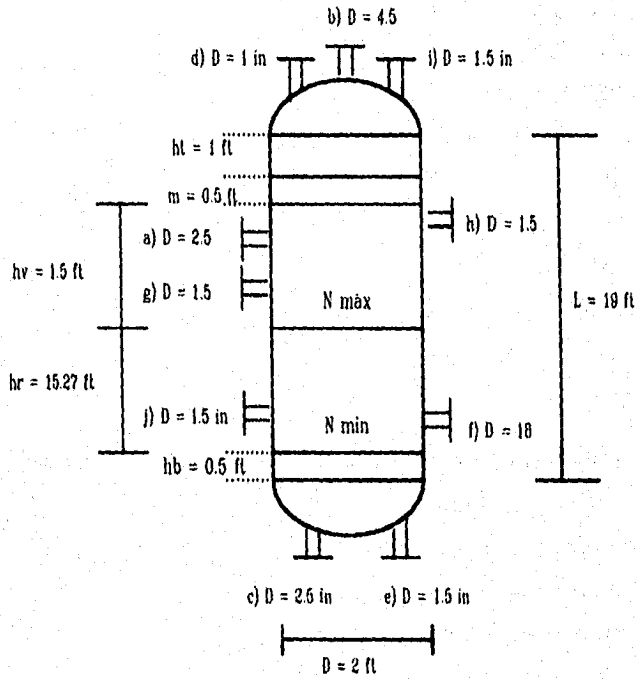
-Material de Construcción : Acero al carbón baja aleación C-Si (SA 515 55)

-Tipo de tapas : torisféricas

- a) Boquilla de alimentación = 3 in
- b) Boquilla de salida de vapor = 6 in
- c) Boquilla de salida de líquido = 3 in
- d) Boquilla de venteo = 1 in
- e) Boquilla de dren = 1.5 in
- f) Registro de hombre = 18 in
- g) Boquilla de indicador de nivel = 1.5 in
- h) Boquilla para termómetro = 1.5 in
- y) Boquilla para manómetro = 1.5 in
- j) Conexión para alarma = 1.5 in

El cálculo de los siguientes separadores se llevara acabo de la misma manera, por lo que sólo se expresaran los resultados obtenidos.

**FA-07.**



- Temperatura de Operación = 375 °F
- Presión de Operación = 1 Atm.
- Temperatura de burbuja = 349 °F
- Temperatura de rocío = 361 °F
- Composicion en la alimentación:
- $F_E = 37776.256$  lb/hr.
- $X_{AGUA} = 0.0100$
- $X_{H.L} = 0.0016$
- $X_{ACE} = 0.9884$

- Composición en la fase Ly V
- $F_L = 37045.458$  lb/hr.
- $X_{AGUA} = 0.0020$
- $X_{H.L} = 0.0003$
- $X_{ACE} = 0.9977$
- $F_V = 730.797$  lb/hr.
- $Y_{AGUA} = 0.4194$
- $Y_{H.L} = 0.0698$
- $Y_{ACE} = 0.5108$

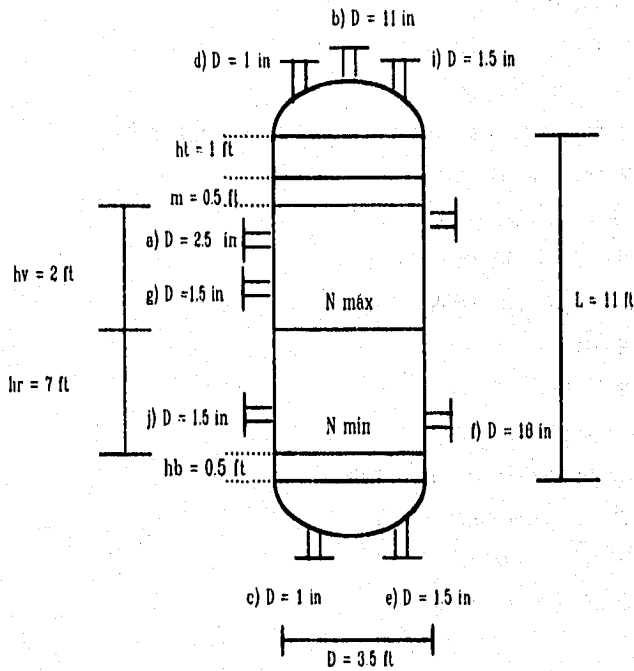
- $\rho_L = 56.6052 \text{ lb/ft}^3$
- $\rho_V = 0.020 \text{ lb/ft}^3$
- $Q_L = 654.4532 \text{ ft}^3 / \text{hr}$
- $Q_V = 36539.85 \text{ ft}^3 / \text{hr}$
- $D = 2 \text{ ft}$
- $h_t = 1 \text{ ft}$
- $m = 0.5 \text{ ft}$
- $h_v = 1.5 \text{ ft}$
- $h_r = 15.27 \text{ ft}$
- $h_b = 0.5 \text{ ft}$
- $L = 19 \text{ ft}$

-Material de Construcción : Acero al carbón baja aleación C-Si (SA 515 55)

-Tipo de tapas : toriesféricas

- a) Boquilla de alimentación = 2.5 in
- b) Boquilla de salida de vapor = 4.5 in
- c) Boquilla de salida de líquido = 2.5 in
- d) Boquilla de venteo = 1 in
- e) Boquilla de dren = 1.5 in
- f) Registro de hombre = 18 in
- g) Boquilla de indicador de nivel = 1.5 in
- h) Boquilla para termómetro = 1.5 in
- i) Boquilla para manómetro = 1.5 in
- j) Conexión para alarma = 1.5 in

FA-11.



-Temperatura de Operación = 206 °F

-Presión de Operación = 1 Atm.

-Temperatura de burbuja = 80 °F

-Temperatura de rocío = 89 °F

-Composición en la alimentación:

- $F_E = 25954.977$  lb/hr.

- $X_{AGUA} = 0.0028$

- $X_{H.L} = 0.0004$

- $X_{ACE.} = 0.1423$

- $X_{PROP.} = 0.8543$

- $F_L = 4144.598$  lb/hr.

- $X_{AGUA} = 0.0089$

- $X_{H.L} = 0.0013$

- $X_{ACE.} = 0.8827$

- $X_{PROP.} = 0.1070$

- $F_V = 21809.323$  lb/hr.

- $Y_{AGUA} = 0.0016$

- $Y_{H.L} = 0.0002$

- $Y_{ACE.} = 0.0016$

- $X_{PROP.} = 0.9963$

$-\rho_L = 54.4372 \text{ lb/ft}^3$

$-\rho_V = 0.09078 \text{ lb/ft}^3$

$-Q_L = 76.1354 \text{ ft}^3 / \text{hr}$

$-Q_V = 240227.9303 \text{ ft}^3 / \text{hr}$

-Material de Construcción : Acero al carbón baja aleación C-Si (SA 515 56)

-Tipo de tapas : torisféricas

a) Boquilla de alimentación = 2.5 in

b) Boquilla de salida de vapor = 11 in

c) Boquilla de salida de líquido = 1 in

d) Boquilla de venteo = 1 in

e) Boquilla de dren = 1.5 in

f) Registro de hombre = 18 in

g) Boquilla de indicador de nivel = 1.5 in

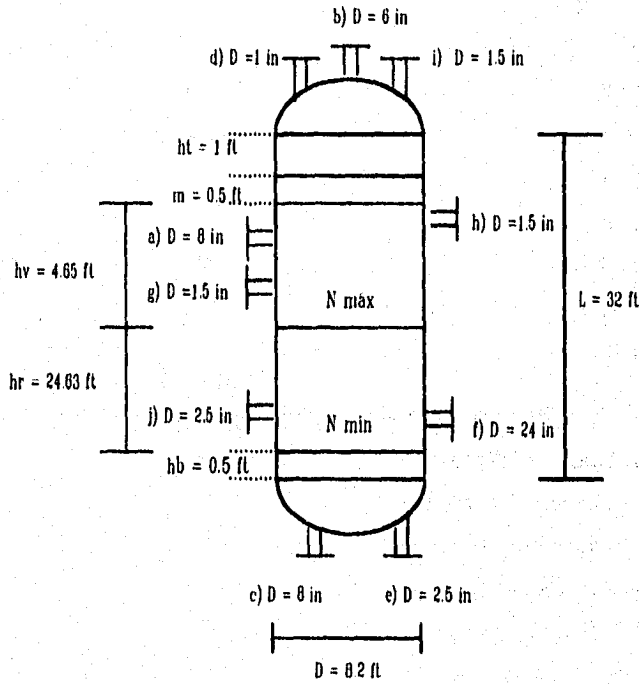
h) Boquilla para termómetro = 1.5 in

i) Boquilla para manómetro = 1.5 in

j) Conexión para alarma = 1.5 in



**FA-12.**



-Temperatura de Operación = 206 °F

-Presión de Operación = 1 Atm.

-Temperatura de burbuja = 229 °F

-Temperatura de rocío = 295 °F

- $F_E = 158914.801$  lb/hr.

-Composición en la alimentación:

- $X_{ACE} = 0.2092$

- $X_{PROP} = 0.7907$

- $\rho_L = 56$  lb/ft<sup>3</sup>

-Composición en la fase Líquida:

- $F_L = 33555.758$  lb/hr.

- $X_{ACE} = 0.9812$

- $X_{PROP} = 0.0188$

-Composición en la fase Vapor:

- $F_V = 125355.395$  lb/hr.

- $Y_{ACE} = 0.0026$

- $Y_{PROP} = 0.9974$

- $\rho_v = 0.0910 \text{ lb/ft}^3$
- $Q_t = 721.629 \text{ ft}^3 / \text{hr}$
- $Q_v = 137753.81 \text{ ft}^3 / \text{hr}$
- $D = 8.2 \text{ ft}$
- $h_t = 1 \text{ ft}$
- $m = 0.5 \text{ ft}$
- $h_v = 4.65 \text{ ft}$
- $h_r = 24.63 \text{ ft}$
- $h_b = 0.5 \text{ ft}$
- $L = 32 \text{ ft}$

-Material de Construcción : Acero al carbón baja aleación C-Si (SA 515 55)

-Tipo de tapas : toriesféricas

- a) Boquilla de alimentación = 8 in
- b) Boquilla de salida de vapor = 6 in
- c) Boquilla de salida de líquido = 6 in
- d) Boquilla de venteo = 1 in
- e) Boquilla de dren = 2.5 in
- f) Registro de hombre = 24 in
- g) Boquilla de indicador de nivel = 2.5 in
- h) Boquilla para termómetro = 1.5 in
- i) Boquilla para manómetro = 1.5 in
- j) Conexión para alarma = 1.5 in

## Bombas

La capacidad de las bombas se determinaran de acuerdo a un análisis en el sistema, realizando el siguiente balance de Energía (ecuación de Bernulli).

$$W_f = (Z_2 - Z_1) \frac{g}{g_c} + (V_2^2 - V_1^2) / 2 g_c + P_2 - P_1 / \rho + H_{fs_{1-2}}$$

Donde:

$W_f$  = Energía de flecha, la cual también se define como trabajo mecánico o de bombeo

$P_2$  = Presión de salida del fluido

$P_1$  = Presión de entrada del fluido

$\rho$  = Densidad del fluido

$V_1$  = Velocidad de entrada del fluido

$V_2$  = Velocidad de salida del fluido

$Z_1$  = Posición del fluido de succión con respecto a un eje de referencia

$Z_2$  = Posición del fluido de succión con respecto a un eje de referencia

$g$  = gravedad = 32.17 m/sec<sup>2</sup>

$g_c$  = Constante = 32.17 lb<sub>m</sub>/lb<sub>f</sub> seg<sup>2</sup>

$H_{fs_{1-2}}$  = Energía disipada por fricción del punto 1 al punto 2

Considerando que no se conocen las posiciones y distancias de los equipos, entonces el termino de fricción es despreciable por lo tanto la ecuación anterior se simplifica obteniendo la siguiente ecuación:

$$W_f = P_2 - P_1 / \rho$$

La potencia teórica se expresa de la siguiente manera:

$$P_{\text{teórica}} = W_f + W$$

Donde:

$W$  = flujo másico, lb/ft

$W_f$  = Energía de flecha, lb<sub>f</sub> ft / lb<sub>m</sub>

La potencia real se determina mediante la siguiente relación.

$$P_{\text{real}} = P_{\text{teórica}} / \eta$$

Donde  $\eta$  es igual a la eficiencia de la bomba.

A continuación se realizará un ejemplo de cálculo para la bomba GA-1, los cálculos de las siguientes bombas serán de forma similar; por lo tanto, sólo se mostrarán los datos obtenidos.

Datos:

$$P_{\text{entrada}} = 2116.8 \text{ lb/ft}^2$$

$$P_{\text{salida}} = 3175.2 \text{ lb/ft}^2$$

$$\rho_{\text{fluido}} = 56.6052 \text{ lb/ft}^3$$

$$\eta = 85 \%$$

$$W = 42560 \text{ lb/hr}$$

Aplicando la ecuación de Bernulli modificada, se obtiene el siguiente trabajo de flecha

$$W_f = 18.6979 \text{ lb}_f \text{ ft / lb}_m$$

Una vez obtenido el trabajo de flecha se procede a calcular la potencia teórica y la potencia real

$$P_{\text{teórica}} = (18.6979) \cdot (42560) = 795783.8502 \text{ lb}_f \text{ ft /hr}$$

$$P_{\text{real}} = 795783.8502 / 0.85 = 936216.2944 \text{ lb}_f \text{ ft /hr}$$

$$P_{\text{real}} = 0.4783 \text{ HP}$$

Para obtener la capacidad de la bomba se utiliza la siguiente relación:

$$\text{Capacidad} = W / \rho$$

$$\begin{aligned} \text{capacidad} &= (42560 \text{ lb/hr}) / 56.6052 \text{ lb/ ft}^3 \cdot 60 \text{ min} \\ &= 12.5312 \text{ ft}^3 / \text{min} = 93.7462 \text{ G.P.M.} \end{aligned}$$

**Bomba GA-1**

Flujo de alimentación - 42560 lb/hr.

Presión de entrada - 14.7 lb / in<sup>2</sup>

Presión de salida - 22.05 lb / in<sup>2</sup>

Potencia - 0.4783 Hp

Capacidad - 93.7462 G.P.M

Motor - eléctrico.

**Bomba GA-2**

Flujo de alimentación - 37776.256 lb/hr.

Presión de entrada - 14.7 lb / in<sup>2</sup>

Presión de salida - 22.05 lb / in<sup>2</sup>

Potencia - 0.3567 Hp

Capacidad - 83.2090 G.P.M

Motor - eléctrico.

**Bomba GA-3**

Flujo de alimentación - 37045.458 lb/hr.

Presión de entrada - 14.7 lb / in<sup>2</sup>

Presión de salida - 22.05 lb / in<sup>2</sup>

Potencia - 0.3498 Hp

Capacidad - 81.5994 G.P.M

Motor - eléctrico.

**Bomba GA-4**

Flujo de alimentación - 25954.977 lb/hr.

Presión de entrada - 14.7 lb / in<sup>2</sup>

Presión de salida - 22.05 lb / in<sup>2</sup>

Potencia - 0.2451 Hp

Capacidad - 57.1705 G.P.M

Motor - eléctrico.

**Bomba GA-5**

Flujo de alimentación - 158914.801 lb/hr.

Presión de entrada - 14.7 lb / in<sup>2</sup>

Presión de salida - 22.05 lb / in<sup>2</sup>

Potencia - 1.5006 Hp

Capacidad - 350.0389 G.P.M

Motor - eléctrico.

**Bomba GA-6**

Flujo de alimentación - 33555.758 lb/hr.

Presión de entrada - 14.7 lb / in<sup>2</sup>

Presión de salida - 22.05 lb / in<sup>2</sup>

Potencia - 0.3168 Hp

Capacidad - 73.9127 G.P.M

Motor - eléctrico.

**Bomba GA-7**

Flujo de alimentación - 34214.256 lb/hr.

Presión de entrada - 14.7 lb / in<sup>2</sup>

Presión de salida - 22.05 lb / in<sup>2</sup>

Potencia - 0.3230 Hp

Capacidad - 75.3631 G.P.M

Motor - eléctrico.

**Bomba GA-8**

Flujo de alimentación - 32852.187 lb/hr.

Presión de entrada - 14.7 lb / in<sup>2</sup>

Presión de salida - 22.05 lb / in<sup>2</sup>

Potencia - 0.3102 Hp

Capacidad - 72.3629 G.P.M

Motor - eléctrico.

**Bomba GA-9**

Flujo de alimentación - 33497.840 lb/hr.

Presión de entrada - 14.7 lb / in<sup>2</sup>

Presión de salida - 22.05 lb / in<sup>2</sup>

Potencia - 0.3163 Hp

Capacidad - 73.7851 G.P.M

Motor - eléctrico.

**Bomba GA-10**

Flujo de alimentación - 31992.113 lb/hr.

Presión de entrada - 14.7 lb / in<sup>2</sup>

Presión de salida - 22.05 lb / in<sup>2</sup>

Potencia - 0.3021 Hp

Capacidad - 70.4684 G.P.M

Motor - eléctrico.



### **Filtro Prensa de Placas y Marcos FR - 01-02**

En todo diseño de filtros debe tomarse en cuenta cual es el mecanismo de bombeo, esto es para determinar que características presenta el flujo de filtración, en este caso se llevará a cabo una filtración a presión y velocidad variable debido a que el mecanismo de bombeo que se utiliza en el proceso es de tipo centrífugo, de igual forma esto nos permite también especificar que el proceso con el que se cuenta es de tipo intermitente o por lotes.

El algoritmo de cálculo<sup>4</sup> para el diseño del filtro prensa de placas y marcos especificado en el proceso I.F.P ( Instituto Frances de Petróleo) se desarrollo con base a las condiciones anteriores y de acuerdo a las características del fluido.

A continuación se muestran los datos para llevar a cabo el diseño del filtro:

Datos:

-Flujo de alimentación: 33497.840 lb/hr  
(contiene 2% de arcilla)

-Composición:

Aceite- 0.9639

Propano- 0.0166

Ac.sulfúrico- 0.0030

Arcilla- 0.0192

-Densidad de la mezcla: 55 lb/ft<sup>3</sup>

-Presión de operación: 1 Atm.

---

<sup>4</sup> Nicholas P. Chohey "Manual de Cálculos de Ingeniería Química"

- Temperatura del sistema: 300 °F
- Velocidad recomendada<sup>5</sup>: 40 Gal/ft.ft hr
- Flujo volumétrico: 4556.3152 Gal/hr

Una vez determinada la velocidad recomendada de filtración se procede a calcular el área de filtración.

$$\text{Area de filtración} = \frac{\text{flujo volumétrico de alimentación}}{\text{velocidad recomendada}}$$

$$\text{Area de filtración} = 113.9078 \text{ ft}^2 = 10.58 \text{ m}^2$$

Como el área de filtración es grande, se utilizaran dos filtros con un área de filtración = 56.9539 ft<sup>2</sup> = 5.29 m<sup>2</sup>

Se recomiendan marcos de 0.5 \* 0.5 m , por lo que se procede a calcular el número de estos.

$$\text{No Marcos} = \text{Area de filtración} / \text{Area del marco}$$

$$\text{No Marcos} = 21$$

El filtro constara de un dispositivo mecánico para abrir y cerrar la prensa

Medio filtrante: tela de acrilico

Material de construcción: acero al carbón SA 515 55

Espesor de la torta: 1.47 in

Tiempo de filtrado: 19 min

Espesor de los marcos : 5 cm

---

<sup>5</sup> Manual del Ingeniero Químico, Robert H. Perry

## **Intercambiadores de Calor**

Los procesos químicos invariablemente requieren de la adición o eliminación de calor. Por lo consiguiente el diseño y aplicación de los intercambiadores de calor han sido objeto de una consideración importante en el diseño de una planta.

1.- Se deben especificar las condiciones del proceso (composiciones, velocidades de flujo, temperaturas, presiones, etc).

Es muy importante en el diseño de un intercambiado de calor de proceso tener en cuenta los siguientes factores:

2.- Se deben obtener las propiedades físicas que se requieren sobre los intervalos de presión y temperatura que interesan.

Para el diseño del intercambiador de calor requerido en el proceso, de acuerdo a las características del fluido que se maneja en cada corriente se toma en cuenta el siguiente procedimiento:

1.- Se evalúa el flujo de calor total, tomando en cuenta la composición para la evaluación de las propiedades.

$$Q = W C_p \Delta T$$

donde:

W = es el flujo total de la corriente que requiere del servicio.

C<sub>p</sub> = es el calor específico promedio de la mezcla que compone la corriente.

ΔT = es el intervalo de temperatura correspondiente generado por el servicio.

2.- Se evalúa el flujo de vapor de agua necesario para lograr el servicio correspondiente.

Una vez obtenido el flujo de calor total, se procede a calcular el flujo de vapor necesario, así como también el flujo de agua cuando así se requiera.

$$H_{\text{vapor}} (400^{\circ}\text{F}) = 826 \text{ BTU/lb}$$

$$Q = W_{\text{vapor}} H$$

donde:

Q = es el calor total obtenido.

$W_{\text{vapor}}$  = flujo de vapor.

H = entalpia de vapor.

3.- Se evalúa el LMTD correspondiente.

Temperatura Caliente	Temperatura Fria
400°F	375°F
400°F	60°F

$$\text{LMTD} = ((T1 - t2) - (T2 - t1)) / (\ln(T1 - t2) - (T2 - t1))$$

donde:

T1 = temperatura de entrada del vapor.

T2 = temperatura de salida del vapor.

t1 = temperatura de entrada del fluido.

t2 = temperatura de salida del fluido.

4.- Se evalúa el número de Reynolds del lado de tubos y coraza.

$$NRe = d V \rho / \mu$$

donde:

d = diámetro del tubo.

V = velocidad recomendada de la mezcla.

$\rho$  = densidad de la mezcla.

$\mu$  = viscosidad de la mezcla.

5.- Se obtiene el coeficiente de transferencia de calor del lado de tubos y coraza.

$$Nux = 0.332 Pr^{1/3} Re^{1/2}$$

$$Nu = 2 Nux$$

$$h = (Nu K)/L$$

donde:

Pr = es el número de Prandtl.

Re = es el número de Reynolds.

Nu = número de Nusselt promedio.

L = longitud propuesta del tubo.

h = Coeficiente de transferencia de calor.

6.- Se obtiene el coeficiente de transferencia de calor global ( U ).

$$U = 1 / ( 1/h_o + (L/K(A_o/A_m)) + r_i(A_o/A_i) + r_o + (1/h_i(A_o/A_i)))$$

donde:

${}^6A_o$  = área exterior del intercambiador.

${}^6A_i$  = área interior del intercambiador.

${}^6A_m$  = área media.

${}^6l$  = longitud del intercambiador.

${}^6K$  = conductividad térmica material.

${}^6r_1$  = factor del material de incrustación interior.

${}^6r_o$  = factor del material de incrustación exterior.

7.- Se evalúa la caída de presión del lado de tubos y coraza.

$$\Delta P = f (L/D) \rho V^2 / (2 gc)$$

$$f = 0.316 / Re^{1/4} \quad \text{Régimen turbulento.}$$

$$f = 64 / Re \quad \text{Régimen laminar.}$$

donde:

$f$  = factor dependiente del número de Reynolds.

$L$  = longitud del intercambiador de calor.

$D$  = diámetro del intercambiador de calor.

$\rho$  = densidad del fluido.

$V$  = velocidad recomendada del fluido.

$gc$  = constante de gravedad.

---

\* Fuente: Datos obtenidos de Transferencia de calor, Kern.

8.- Se compara la caída de presión obtenida con la permitida, para evaluar si el diseño propuesto cumple.

$\Delta P$  permitida del lado de los tubos permitida = 1.0 lb/in<sup>2</sup>.

$\Delta P$  permitida del lado de la coraza = 10.0 lb/in<sup>2</sup>.

En base a la literatura que maneja mucho los intercambiadores de calor para un servicio similar al que se requiere.

Se propone un intercambiador de calor de 21.1/4 in de diametro y 16 ft de longitud y arreglados en cuadro de 1.1/4 in de un solo paso de acero al carbón BGW 16 que es el material mas recomendable de uso industrial y se evalúa de acuerdo a los criterios permitidos para evaluarlos.

### Intercambiador de calor EA - 01

Se requiere calentar 42560 lb/h de aceite de 60 °F a 375 °F y una presión de 1 atm el cual tiene un calor específico de 0.5332 BTU/lb-°F, para lo cual se dispone de vapor saturado a 400 °F.

1) Se calcula el flujo de calor desprendido por la corriente para evaluar el vapor necesario.

$$Q = 42560 \text{ lb/h} (0.5332) \text{ BTU/lb-F} (375 - 60) \text{ °F} = 7148292.48 \text{ BTU/h}$$
$$H \text{ vapor (400 F)} = 826 \text{ BTU/lb}$$
$$W_{\text{vapor}} = 8654.107 \text{ lb/h}$$

2) Se evalúa la diferencia de temperaturas (LMTD).

$$LMTD = ((T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)) / (\ln((T_1 - t_2) / (T_2 - t_1)))$$

Fluido caliente	Fluido frío
400 F	375 F
400 F	60 F

$$LMTD = ((400 - 375) - (400 - 60)) / \ln((400 - 375) / (400 - 60))$$
$$LMTD = 120.68 \text{ F}$$

3) Se evalúa el número de Reynolds.

$$NRe = d V \rho / \mu$$



H<sub>2</sub>O.

$$Nre = (1/12) \text{ ft} (4\text{ft}/\text{seg}) (3600\text{seg}/\text{h}) (59.63 \text{ lb}/\text{ft}^3) / 0.65 \text{ lb}/\text{h} - \text{ft}^3$$

$$Nre = 110086.1538$$

Aceite.

$$Nre = (1/12) \text{ ft} (2.5 \text{ ft}/\text{seg}) (3600\text{seg}/\text{h}) (52.35 \text{ lb}/\text{ft}^3) / 6.05 \text{ lb}/\text{h} - \text{ft}^3$$

$$Nre = 6487.76$$

4) Se evalúa el coeficiente de transferencia de calor del lado de tubos y coraza.

H<sub>2</sub>O.

$$\begin{aligned} Nux &= 0.332 Pr^{1/3} Re^{1/2} \\ &= 0.332 (1.66)^{1/3} (110086.1538)^{1/2} \\ &= 130.4068 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Nu &= 2 Nux \\ &= 2(130.4068) \\ &= 260.8136 \end{aligned}$$

$$h = Nu K / L$$

$$\begin{aligned} K &= 0.395 \text{ BTU}/(\text{h ft } ^\circ\text{F}) \\ &= 260.8136 (0.395) \text{ BTU}/(\text{h ft } ^\circ\text{F}) / 16 \text{ ft} \\ &= 6.4388 / \text{BTU}/(\text{h ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}) \end{aligned}$$

Aceite.

$$\begin{aligned} Nux &= 0.332 Pr^{1/3} Re^{1/2} \\ &= 0.332 (260.57)^{1/3} (6487.76)^{1/2} \\ &= 170.7701 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Nu &= 2 Nux \\ &= 2(170.7701) \\ &= 341.5402 \end{aligned}$$

$$h = Nu K / L$$

$$\begin{aligned}
 &= 341.5402 (0.07884) \text{ BTU}/(\text{h ft } ^\circ\text{F})/16 \text{ ft} \\
 &= 1.6829 \text{ BTU}/(\text{h ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F})
 \end{aligned}$$

5) Se evalúa el coeficiente de transferencia de calor global.

$$A_i = 0.2618$$

$$A_o = 0.2277$$

$$A_m = 0.2447$$

$$r_i = \text{factor de incrustación interior} = 0.001$$

$$r_o = \text{factor de incrustación exterior} = 0.002$$

$$\begin{aligned}
 U &= 1 / ( 1 / 1.6829 \text{ BTU}/(\text{h ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}) + 16\text{ft} / 21\text{BTU}/(\text{h ft } ^\circ\text{F}) + \\
 &\quad 0.002 (0.2277 / 0.2618) + 0.001 + 1 / 6.4388 (0.227 / 0.2618)) \\
 U &= 0.6940 \text{ BTU}/(\text{h ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F})
 \end{aligned}$$

6) Se evalúa el flujo de calor en base a el coeficiente de transferencia de calor global y a el área propuesta.

$$\begin{aligned}
 Q &= U A \Delta T \\
 &= 0.6940 \text{ BTU}/(\text{h ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}) (178.024) \text{ ft}^2 (120.68)^\circ\text{F} \\
 &= 14909.9807 \text{ BTU}/\text{h}
 \end{aligned}$$

7) Se obtiene el número de tubos.

$$\begin{aligned}
 \text{N}^\circ \text{ de tubos} &= A_{\text{total}} / A_{\text{tubo}} \\
 &= 178.024 \text{ ft}^2 / 8.377 \text{ ft}^2 \\
 &= 21
 \end{aligned}$$

8) Se evalúa la caída de presión del lado de tubos y coraza.

Tubos.

$$f = 0.316/Re^{1/4}$$

$$Re = 110086.1538$$

$$f = 0.316/(110086.1538)^{1/4}$$
$$= 0.01734$$

$$\Delta P = f (L/D) \rho V^2 / (2 \text{ gc})$$

$$\Delta P = (0.01734) 16\text{ft}/(1/12) \text{ft} (59.63) \text{ lb/ft}^3 ((4 \text{ ft/seg})^2 / 2 (32.2) \text{ ft/seg}^2)$$

$$\Delta P = 0.085 \text{ lb/ in}^2$$

$\Delta P$  del lado de los tubos permitida = 1.0 lb/in<sup>2</sup>.

Coraza.

$$f = 0.316/Re^{1/4}$$

$$Re = 6487.76$$

$$f = 0.316 / (6487.76)^{1/4}$$
$$= 0.03520$$

$$\Delta P = f (L/D) \rho V^2 / (2 \text{ gc})$$

$$\Delta P = (0.03520) 16\text{ft}/(21.5/12)\text{ft} (52.3346) \text{ lb/ft}^3 ((2.5 \text{ ft/seg})^2 / 2 (32.2)\text{ft/seg}^2)$$

$$\Delta P = 0.01121 \text{ lb/ in}^2$$

$\Delta P$  permitida del lado de la coraza = 10.0 lb/in<sup>2</sup>.

### Intercambiador de calor EA - 02.

Se requiere calentar una mezcla de agua, hidrocarburos y aceite de 37776.256 lb/h de una temperatura de 370 °F, a 375 °F y una Presión de 1 atm el cual tiene un calor específico de 0.6333 BTU/ lb - °F. para lo cual se dispone de vapor a una temperatura de 400 °F.

$$T_p = 372.5 \text{ °F.}$$

Tubos.

$$N_{re} = 619179.3809$$

$$Nu = 571.9376$$

$$h_o = 5.3490 \text{ BTU/(h ft}^2 \text{ °F)}$$

$$W = 37776.256 \text{ lb/h}$$

$$U_{global} = 0.9756 \text{ BTU/(h ft}^2 \text{ °F)}$$

$$\Delta T = 27.424 \text{ °F.}$$

$$A = 178.024 \text{ ft}^2$$

$$Q = 5048.88 \text{ BTU/lb}$$

$$W_{vapor} = 144.7708 \text{ lb/h}$$

$$f = 0.01126$$

$$\Delta P = 0.0407 \text{ lb/ in}^2 \text{ (evaluada)}$$

$$\Delta P = 1.0 \text{ lb/ in}^2 \text{ (permitida)}$$

Coraza.

$$Re = 179934.6939$$

$$Nu = 141.5300$$

$$h_i = 6.8854 \text{ BTU/(h ft}^2 \text{ °F)}$$

$$f = 0.015342$$

$$\Delta P = 3.3608 \text{ lb/ in}^2 \text{ (evaluada)}$$

$$\Delta P = 10.0 \text{ lb/ in}^2 \text{ (permitida)}$$

### Intercambiador de calor EA - 03

Se requiere enfriar una mezcla de 37045.458 lb/h de agua y aceite de una temperatura de 370 °F. hasta 350 °F. y una Presión de 1 atm la cual tiene un calor específico de 0.6186 BTU/ lb - °F., para lo cual se dispone de agua de enfriamiento a una temperatura de 300 °F.

$$T_p = 360 \text{ °F.}$$

Tubos

$$Re = 4640.9583$$

$$Nu = 241.3716$$

$$h_o = 2.5075 \text{ BTU/(h ft}^2 \text{ °F)}$$

$$W = 37045.458 \text{ lb/h}$$

$$U_{\text{global}} = 0.7846 \text{ BTU/(h ft}^2 \text{ °F)}$$

$$\Delta T = 24.8533 \text{ °F.}$$

$$A = 178.024 \text{ ft}^2$$

$$Q = 458367.1564 \text{ BTU/h}$$

$$W_{\text{agua}} = 11470.6495 \text{ lb/h}$$

$$\Delta P = 0.1755 \text{ lb/ in}^2 \text{ (evaluada)}$$

$$\Delta P = 1.0 \text{ lb/ in}^2 \text{ (permitida)}$$

Coraza

$$Re = 179934.6939$$

$$Nu = 141.53$$

$$h_i = 6.8854 \text{ BTU/(h ft}^2 \text{ °F)}$$

$$f = 0.015342$$

$$\Delta P = 3.3608 \text{ lb/ in}^2 \text{ (evaluada)}$$

$$\Delta P = 10.0 \text{ lb/ in}^2 \text{ (permitida)}$$

### Intercambiador de calor EA - 04

Se requiere calentar una mezcla de aceite, agua, hidrocarburos, y propano de 25954.977 lb/h de una temperatura de 135 °F hasta 206 °F, y una Presión de 1 atm. que tiene un calor específico de 0.4165 BTU/lb - °F., para lo cual se dispone de vapor a 400 °F.

$$T_p = 170.5 \text{ °F.}$$

Tubos

$$Re = 9357.9730$$

$$Nu = 266.1715$$

$$h_o = 2.6673 \text{ BTU/(h ft}^2 \text{ °F)}$$

$$W = 25954.977 \text{ lb/h}$$

$$U_{\text{global}} = 0.7803 \text{ BTU/(h ft}^2 \text{ °F)}$$

$$\Delta T = 227.6577 \text{ °F.}$$

$$A = 178.024 \text{ ft}^2$$

$$Q = 2731071.164 \text{ BTU/h}$$

$$W_{\text{vapor}} = 927.2347 \text{ lb/h}$$

$$\Delta P = 0.1251 \text{ lb/ in}^2 \text{ (evaluada)}$$

$$\Delta P = 1.0 \text{ lb/ in}^2 \text{ (permitida)}$$

Coraza

$$Re = 44210.9090$$

$$Nu = 92.5192$$

$$h_i = 4.4640 \text{ BTU/(h ft}^2 \text{ °F)}$$

$$f = 0.02179$$

$$\Delta P = 5.2661 \text{ lb/ in}^2 \text{ (evaluada)}$$

$$\Delta P = 10.0 \text{ lb/ in}^2 \text{ (permitida)}$$

### Intercambiador de calor EA - 05

Se requiere calentar una mezcla de aceite, agua, hidrocarburos, y propano de 158914.801 lb/h de una temperatura de 135 °F hasta 206 °F, y una Presión de 1 atm., que tiene un calor específico de 0.4165 BTU/lb - °F., para lo cual se dispone de vapor a 400 °F.

$$T_p = 170.5 \text{ °F.}$$

Tubos

$$Re = 9357.9730$$

$$Nu = 266.1715$$

$$h_c = 2.6673 \text{ BTU/(h ft}^2 \text{ °F)}$$

$$W = 158914.801 \text{ lb/h}$$

$$U_{global} = 0.7803 \text{ BTU/(h ft}^2 \text{ °F)}$$

$$\Delta T = 227.6577 \text{ °F.}$$

$$A = 178.024 \text{ ft}^2$$

$$Q = 4699349.038 \text{ BTU/h}$$

$$W_{vapor} = 5689.284 \text{ lb/h}$$

$$\Delta P = 0.1251 \text{ lb/ in}^2 \text{ (evaluada)}$$

$$\Delta P = 1.0 \text{ lb/ in}^2 \text{ (permitida)}$$

Coraza

$$Re = 44210.9090$$

$$Nu = 92.5192$$

$$h_i = 4.4640 \text{ BTU/(h ft}^2 \text{ °F)}$$

$$f = 0.02179$$

$$\Delta P = 5.2661 \text{ lb/ in}^2 \text{ (evaluada)}$$

$$\Delta P = 10.0 \text{ lb/ in}^2 \text{ (permitida)}$$

### Intercambiador de calor EA - 06.

Se requiere enfriar una mezcla de aceite y propano de 33555.768 lb/h de una temperatura de 201 °F hasta 100 °F, y una Presión de 1 atm la cual tiene un calor específico promedio de 0.4951 BTU/lb - °F para lo cual se dispone de agua de enfriamiento a una temperatura de 80 °F.

$$T_p = 150.5 \text{ °F.}$$

Tubos

$$Re = 6990.518$$

$$Nu = 251.9798$$

$$h_o = 2.5396 \text{ BTU/(h ft}^2 \text{ °F)}$$

$$W = 35555.768 \text{ lb/h}$$

$$U_{global} = 0.6811 \text{ BTU/(h ft}^2 \text{ °F)}$$

$$\Delta T = 33.11 \text{ °F.}$$

$$A = 178.024 \text{ ft}^2$$

$$Q = 1677959 \text{ BTU/h}$$

$$W_{agua} = 15845.648 \text{ lb/h}$$

$$\Delta P = 0.1355 \text{ lb/ in}^2 \text{ (evaluada)}$$

$$\Delta P = 1.0 \text{ lb/ in}^2 \text{ (permitida)}$$

Coraza

$$Re = 54002.6496$$

$$Nu = 106.9975$$

$$h_i = 5.1077 \text{ BTU/(h ft}^2 \text{ °F)}$$

$$f = 0.02179$$

$$\Delta P = 6.7177 \text{ lb/ in}^2 \text{ (evaluada)}$$

$$\Delta P = 10.0 \text{ lb/ in}^2 \text{ (permitida)}$$



### Intercambiador de calor. EA - 07

Se requiere enfriar una mezcla de agua, aceite, propano y ácido sulfúrico de 34214.256 lb/h de una temperatura de 95 °F. hasta una temperatura de 60 °F, y una Presión de 1 atm la cual tiene un calor específico de 0.4626 BTU/ lb - °F., para lo cual se dispone de agua de enfriamiento a una temperatura de 50 °F.

$$T_p = 77.5 \text{ °F.}$$

Tubos

$$Re = 3486.1585$$

$$Nu = 166.9912$$

$$h_o = 1.7477 \text{ BTU}/(\text{h ft}^2 \text{ °F})$$

$$W = 34214.256 \text{ lb/h}$$

$$U_{\text{global}} = 0.5917 \text{ BTU}/(\text{h ft}^2 \text{ °F})$$

$$\Delta T = 12.3315 \text{ °F.}$$

$$A = 178.024 \text{ ft}^2$$

$$Q = 553963.0189 \text{ BTU/h}$$

$$W_{\text{agua}} = 15843.35 \text{ lb/h}$$

$$\Delta P = 0.1660 \text{ lb}/\text{in}^2 \text{ (evaluada)}$$

$$\Delta P = 1.0 \text{ lb}/\text{in}^2 \text{ (permitida)}$$

Coraza

$$Re = 26004.8780$$

$$Nu = 97.6708$$

$$h_i = 4.3158 \text{ BTU}/(\text{h ft}^2 \text{ °F})$$

$$f = 0.02488$$

$$\Delta P = 8.2029 \text{ lb}/\text{in}^2 \text{ (evaluada)}$$

$$\Delta P = 10.0 \text{ lb}/\text{in}^2 \text{ (permitida)}$$

### Intercambiador de calor EA - 08

Se requiere calentar una mezcla de aceite, propano y ácido sulfúrico de 32852.187 lb/h de una temperatura de 55 °F. hasta 300 °F, y una Presión de 1 atm la cual tiene un calor específico de 0.5090 BTU/lb - °F., para lo cual se dispone de vapor de agua a 400 °F.

$$T_p = 177.5 \text{ °F.}$$

Tubos

$$Re = 10847.8058$$

$$Nu = 273.5784$$

$$h_o = 2.7323 \text{ BTU}/(\text{h ft}^2 \text{ °F})$$

$$W = 32852.187 \text{ lb/h}$$

$$U_{\text{global}} = 0.6986 \text{ BTU}/(\text{h ft}^2 \text{ °F})$$

$$\Delta T = 197.84 \text{ °F.}$$

$$A = 178.024 \text{ ft}^2$$

$$Q = 4096831.98 \text{ BTU/h}$$

$$W_{\text{vapor}} = 4959.84 \text{ lb/h}$$

$$\Delta P = 0.1202 \text{ lb}/\text{in}^2 \text{ (evaluada)}$$

$$\Delta P = 1.0 \text{ lb}/\text{in}^2 \text{ (permitida)}$$

Coraza

$$Re = 64157.8947$$

$$Nu = 109.3840$$

$$h_i = 5.3078 \text{ BTU}/(\text{h ft}^2 \text{ °F})$$

$$f = 0.01985$$

$$\Delta P = 6.4141 \text{ lb}/\text{in}^2 \text{ (evaluada)}$$

$$\Delta P = 10.0 \text{ lb}/\text{in}^2 \text{ (permitida)}$$

### Intercambiador de calor. EA - 09

Se requiere calentar una corriente de aceite, propano, ácido sulfúrico y arcilla de 33497.8401 lb/h de una temperatura de 295 °F. hasta una temperatura de 300 °F. y una Presión de 1 atm la cual tiene un calor específico de 0.5657 BTU/ lb - °F., para lo cual se dispone de vapor de agua a una temperatura de 400 °F.

$$T_p = 297.5 \text{ °F.}$$

Tubos

$$Re = 11216.9062$$

$$Nu = 200.6075$$

$$h_o = 0.9261 \text{ BTU/(h ft}^2 \text{ °F)}$$

$$W = 33497.8401 \text{ lb/h}$$

$$U_{\text{global}} = 0.5511 \text{ BTU/(h ft}^2 \text{ °F)}$$

$$\Delta T = 102.4796 \text{ °F.}$$

$$A = 178.024 \text{ ft}^2$$

$$Q = 94748.6407 \text{ BTU/h}$$

$$W_{\text{vapor}} = 114.7077 \text{ lb/h}$$

$$\Delta P = 0.1939 \text{ lb/ in}^2 \text{ (evaluada)}$$

$$\Delta P = 1.0 \text{ lb/ in}^2 \text{ (permitida)}$$

Coraza

$$Re = 219842.5271$$

$$Nu = 299.7283$$

$$h_i = 7.2627 \text{ BTU/(h ft}^2 \text{ °F)}$$

$$f = 0.01985$$

$$\Delta P = 1.2269 \text{ lb/ in}^2 \text{ (evaluada)}$$

$$\Delta P = 10.0 \text{ lb/ in}^2 \text{ (permitida)}$$

### Intercambiador de calor. EA - 10

Se requiere enfriar una corriente de aceite, de 31992.113 lb/h de una temperatura de 295 °F. hasta una temperatura de 60 °F, y una Presión de 1 atm la cual tiene un calor específico de 0.5059 BTU/ lb - °F., para lo cual se dispone de agua de enfriamiento a una temperatura de 50 °F.

$$T_p = 177.5 \text{ } ^\circ\text{F.}$$

Tubos

$$Re = 510.4849$$

$$Nu = 118.9163$$

$$h_o = 0.5938 \text{ BTU}/(\text{h ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F})$$

$$W = 31992.113 \text{ lb/h}$$

$$U_{\text{global}} = 0.4182 \text{ BTU}/(\text{h ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F})$$

$$\Delta T = 62.2808 \text{ } ^\circ\text{F.}$$

$$A = 178.024 \text{ ft}^2$$

$$Q = 3803430.342 \text{ BTU/h}$$

$$W_{\text{agua}} = 16157.3424 \text{ lb/h}$$

$$\Delta P = 0.8619 \text{ lb}/\text{in}^2 \text{ (evaluada)}$$

$$\Delta P = 1.0 \text{ lb}/\text{in}^2 \text{ (permitida)}$$

Coraza

$$Re = 64157.8947$$

$$Nu = 109.3840$$

$$h_i = 5.3078 \text{ BTU}/(\text{h ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F})$$

$$f = 0.01985$$

$$\Delta P = 8.2029 \text{ lb}/\text{in}^2 \text{ (evaluada)}$$

$$\Delta P = 10.0 \text{ lb}/\text{in}^2 \text{ (permitida)}$$

### **Diseño de Mezcladora.**

La agitación o mezclado es una de las operaciones más antiguas y comunes de la ingeniería química, aun así los patrones de flujo en el recipiente agitado típico son tan complejos que la aplicación rigurosa de los principios básicos resulta imposible, generalmente deben utilizarse métodos empíricos por lo cual se basa uno en especialistas.

Así para el diseño de mezcladores se toma en cuenta la presión máxima y temperatura de las corrientes que entran al sistema, así como las características del la corriente del fluido. A continuación se mostrará el algoritmo de secuencia para el diseño de un mezclador.

- 1) Presión de diseño.

$$P_D = P_{\text{max. de oper.}}$$

- 2) Temperatura de diseño.

$$T_D = T_{\text{max. de oper.}} + 15^\circ\text{C}$$

- 3) Se obtiene el volumen del recipiente en función del tiempo de residencia.

$$V = \text{Flujo Volumétrico} \times \theta_R$$

- 4) Se determina un factor F, tomando en cuenta el material adecuado de acuerdo con el fluido.

$$F = P_D / (S \cdot C \cdot E)$$

donde:

C = Corrosión Permisible.

S = Esfuerzo Permisible.

E = Eficiencias de uniones.

$P_D$  = Presión de diseño.

5) Se determina el diámetro del tanque, el cual se obtiene de la gráfica de ABAKIAN en función del volumen del recipiente y el factor F.

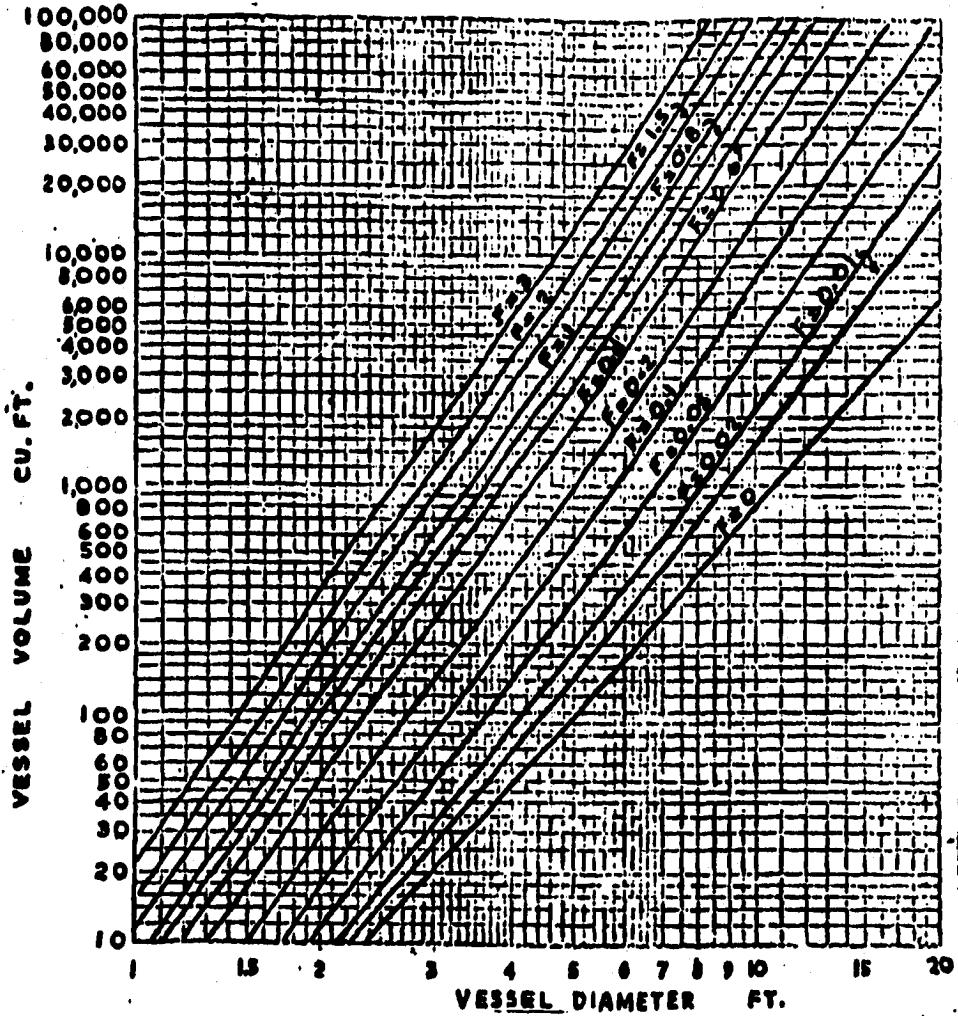
6) Se determina la altura del tanque, tomando como base el  $L/D = 3$  que es el óptimo.

De acuerdo a la experiencia industrial, existen recomendaciones para los diámetros de las boquillas de algunos registros normales en el control del recipiente.

Para determinar el diámetro de la boquilla de alimentación del flujo de la corriente y vapor, se toma en cuenta el flujo volumétrico y velocidad recomendada en la bibliografía.

**MONOGRAPHS GIVES OPTIMUM VESSEL SIZE**

(Grafica de Abakians)



### Tanque Mezclador FA-13.

Se requiere mezclar una corriente de agua, aceite, propano y ácido sulfúrico de 34214.256 lb/h y a una presión de 17.64 lb / in<sup>2</sup> y a una temperatura de 100 °F mediante un tiempo de 10 minutos.

Composición:

$$X_{\text{aceite}} = 0.9628$$

$$X_{\text{agua}} = 0.0013$$

$$X_{\text{prop}} = 0.0181$$

$$X_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 0.0178$$

$$\rho_{\text{aceite}} = 62.74 \text{ lb/ft}^3$$

$$\rho_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 114.4404 \text{ lb/ft}^3$$

$$\rho_{\text{Propano}} = 36.4875 \text{ lb/ft}^3$$

$$\rho_{\text{agua}} = 62.43 \text{ lb/ft}^3$$

$$\rho_{\text{mezcla}} = 63.1844 \text{ lb/ft}^3$$

$$W_T = W \Theta_R$$

donde:

$W$  = flujo masico total de la corriente.

$\Theta_R$  = Tiempo de mezclado.

$W_T$  = Libras totales en el tiempo de mezclado.

$$W = 34214.256 \text{ lb/h}$$

$$W_T = 6842.85 \text{ lb}$$

$$V_p = W_T / \rho_{\text{mezcla}}$$



donde:

$V_p$  = volúmen promedio.

$$V_p = 108.29 \text{ ft}^3$$

$$Q_T = W / \rho_{\text{mezcla}}$$

donde:

$Q_T$  = es el flujo volumétrico.

$$Q_T = 541.4984 \text{ ft}^3 / \text{h}$$

$$F = P_D / ( C . S . E . )$$

donde:

C = Corrosión Permisible.

S = Esfuerzo Permisible.

E = Eficiencias de uniones.

$P_D$  = Presión de diseño.

Material : acero al carbón - Si (SA -516 - 70)

$$P_D = 17.64 \text{ lb} / \text{in}^2$$

$$C = 0.0625$$

$$S = 17500 \text{ lb} / \text{in}^2$$

$$E = 0.8$$

$$F = 17.64 \text{ lb} / \text{in}^2 / (0.0625 \times 17500 \text{ lb} / \text{in}^2 \times 0.8)$$

$$F = 0.0168$$

$$\text{Diámetro} = 4 \text{ ft}$$

$$L/D = 3$$

$$H = 12 \text{ ft.}$$

Tipo de tapas : toriesfericas.

El diámetro de la boquilla de alimentación se determina mediante la ecuación siguiente:

$$D = [(4 \cdot Q_r) / (V \cdot \pi)]^{1/2}$$

donde:

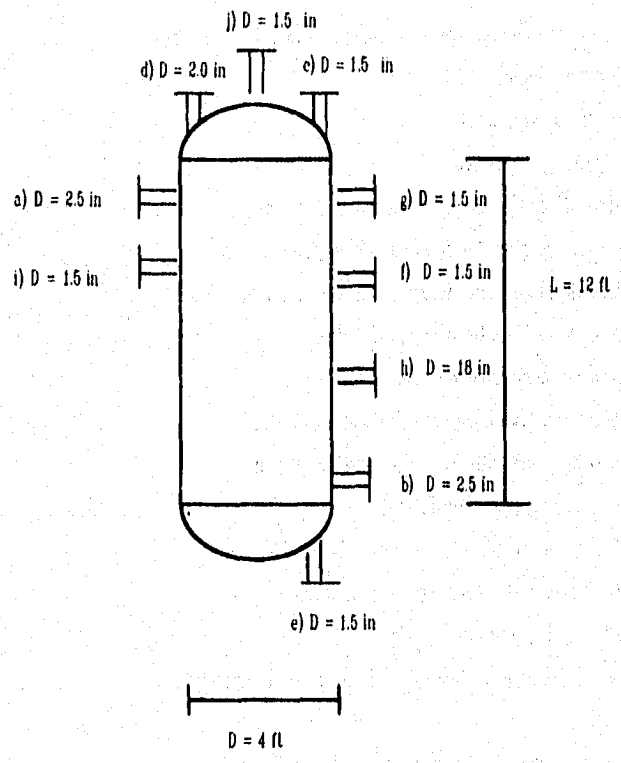
$Q_r$  = gasto volumétrico total

$V$  = velocidad recomendada de la alimentación

$V = 6$  ft/seg

$D = 2.1439$  in

**FA - 13.**



Volumen de diseño: 108.0 ft<sup>3</sup>

Presión de diseño: 17.64 lb / in<sup>2</sup>

Temperatura de diseño: 100 °F

Material de construcción: acero al carbón - Si (SA - 516-70)

Diámetro del recipiente: 4 ft.

Altura del recipiente: 12 ft

Tipos de tapas: Toriesfericas

a) Diámetro de la boquilla de alimentación: 2.5 in

b) Diámetro de la boquilla de salida del liquido: 2.5 in

c) Diámetro de la boquilla de alimentación de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>: 1.5 in

d) Diámetro de la boquilla de venteo: 2.0 in

e) Diámetro de la boquilla de Dren: 1.5 in

f) Diámetro de la boquilla para termómetro: 1.5 in

g) Diámetro de la boquilla para manómetro: 1.5 in

h) Diámetro del Registro hombre: 18 in

i) Diámetro de la boquilla de indicador de nivel: 1.5 in

j) Diámetro para la conexión de alarma: 1.5 in

Agitadores tipo: turbina de tres aspas.

Deflectores: 4 deflectores verticales de 0.333 ft de diámetro.

<sup>7</sup> La mayoría de los recipientes de agitación por turbinas tienen 4 deflectores verticales de 1/12 del diámetro del tanque.

Se eligió este material en específico por el manejo de la mezcla de ácido sulfúrico.

---

<sup>7</sup> Procesos de Ingeniería Química, ULRICJJ

### Tanque Mezclador FA-15.

Se requiere mezclar una mezcla de aceite, propano, ácido sulfúrico y arcilla de 33497.84 lb/h a una presión de 17.64 lb/in<sup>2</sup> y una temperatura de 300 °F mediante un tiempo de 6 horas.

Composición:

$$X_{\text{aceite}} = 0.9639$$

$$X_{\text{Propano}} = 0.0166$$

$$X_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 0.0003$$

$$X_{\text{arcilla}} = 0.0192$$

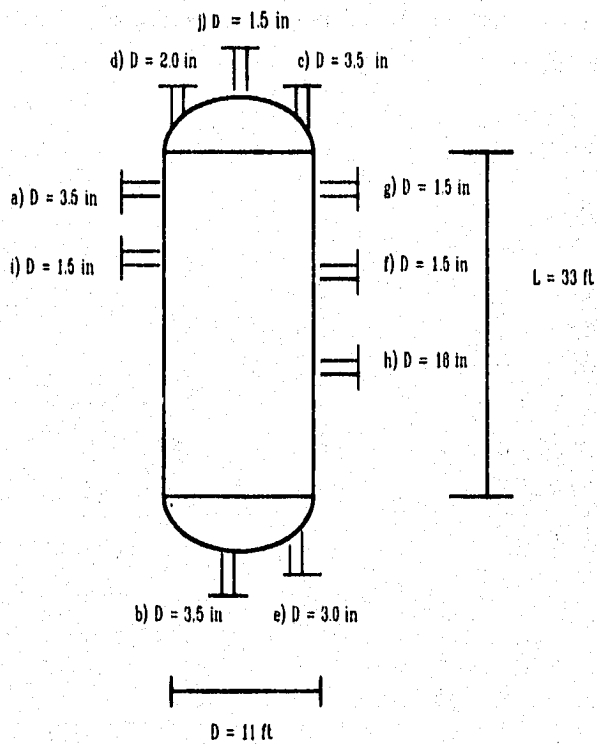
$$\rho_{\text{aceite}} = 62.74 \text{ lb/ft}^3$$

$$\rho_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 114.4404 \text{ lb/ft}^3$$

$$\rho_{\text{Propano}} = 36.4875 \text{ lb/ft}^3$$

$$\rho_{\text{mezcla}} = 61.1149 \text{ lb/ft}^3$$

FA - 15.



Volúmen de diseño: 3289 ft<sup>3</sup>

Presión de diseño: 17.64 lb/in

Temperatura de diseño: 300 °F

Material de construcción: Acero al carbón (SA - 283 Grado C)

Diámetro del recipiente: 11 ft

Altura del recipiente: 33 ft

Tipo de tapas: Toriesfericas

a) Diámetro de la boquilla de alimetación: 3.5 in

b) Diámetro de la boquilla de salida del liquido: 3.5 in

c) Diámetro de la boquilla de alimentación de la arcilla: 3.5 in

d) Diámetro de la boquilla de venteo: 2.0 in

e) Diámetro de la boquilla de Dren: 3.0 in

f) Diámetro de la boquilla para termómetro: 1.5 in

g) Diámetro de la boquilla para manómetro: 1.5 in

h) Diámetro de la boquilla de registro de hombre: 18 in

i) Diámetro de la boquilla de indicador de nivel: 1.5 in

j) Diámetro para conexión de alarma: 1.5 in

Agitadores tipo: turbina de tres aspas

Deflectores: 4 deflectores verticales de 0.916 ft de diámetro

### **Tanque de Almacenamiento FA - 01-02-03-04-05.**

Se va a almacenar un flujo de aceite usado de 42560 lb/h a condiciones estándar de presión y temperatura, las cuales son 14.7 lb / in<sup>2</sup> y 60 °F . Para ello se utilizaran cinco tanques con las siguientes especificaciones:

$T_p = 60 \text{ }^\circ\text{F}$ .

Volumen de diseño: 114 ft<sup>3</sup>

Presión de diseño: 14.7 lb / in<sup>2</sup>

Temperatura de diseño: 60 °F

Material de construcción: acero al carbón (SA - 285 grado C)

Diámetro del recipiente: 9.8 ft

Longitud del tanque: 26.5 ft

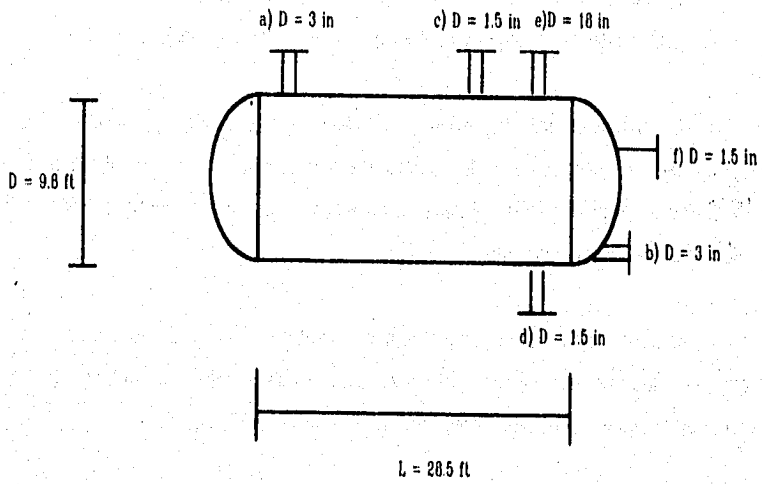
Tipos de tapas: Toriesféricas ( $D \leq 15 \text{ ft}$  ,  $P_D \leq 1000 \text{ Psig}$ )

Forma: Horizontal

- a) Diámetro de la boquilla de alimentación: 3.0 in
- b) Diámetro de la boquilla de salida del líquido: 3.0 in
- c) Diámetro de la boquilla de venteo: 1.5 in
- d) Diámetro de la boquilla de Dren: 1.5 in
- e) Diámetro del Registro hombre: 18 in.
- f) Diámetro de la boquilla de indicador de nivel: 1.5 in



FA - 01-02-03-04-05.



### **Diseño de Sedimentadores**

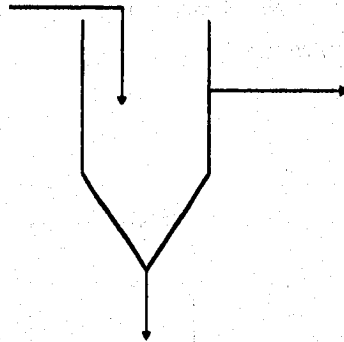
La sedimentación es la separación parcial o la concentración de las partículas sólidas suspendidas en un líquido mediante asentamientos por gravedad.

Originalmente los dispositivos de fondo cónico (cono de asentamiento) su mecanismo de operación era de manera intermitente, hoy en día se diseñan para el rebosamiento continuo de la solución clarificada y para descarga continua, automática o manual de los sólidos concentrados.

Este recipiente es un tanque cónico invertido cuyo ángulo es de 45 a 60°. El diseño de los sedimentadores se hacen en base al código ASME (diseño de recipientes a presión), tomando en cuenta ciertos criterios de diseño para su diseño.

**Tanque FA-08-09-10.**

Agua = 0.0004  
 H.L = 0.00006  
 Aceite = 0.1999  
 Propano = 0.7996  
  
 $P_{Mezcla} = 40.3932 \text{ lb/ft}^3$   
 $Q = 4576.755 \text{ ft}^3/\text{Hr}$   
 $F = 184869.787 \text{ lb/Hr}$



Aceite = 0.2092  
 Propano = 0.7907  
  
 $P_{Mezcla} = 40.5679 \text{ lb/ft}^3$   
 $Q = 3917.2548 \text{ ft}^3/\text{Hr}$   
 $F = 158914.801 \text{ lb/Hr}$

Agua = 0.0028  
 H.L = 0.0004  
 Aceite = 0.1423  
 Propano = 0.8543  
  
 $P_{Mezcla} = 39.2795 \text{ lb/ft}^3$   
 $Q = 660.7766 \text{ ft}^3/\text{Hr}$   
 $F = 25954.977 \text{ lb/Hr}$

Temperatura de Operación: 140 ° F

Presión de Operación: 1 Atm.

Tiempo de asentamiento: 1 Hr

Volumen del diseño: 1.25 Volumen de operación

Segun norma de API standard 650 :  $h = 1.5D = 36 \text{ ft.}$

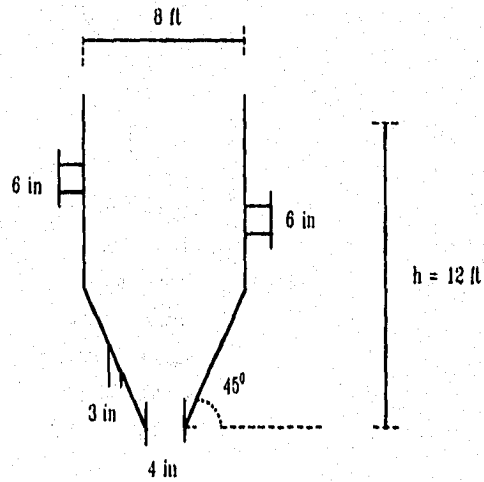
Diámetro: 24 ft.

Material de construcción : Acero al carbón baja aleación C-Si (SA 515 55)

Altura del líquido con sedimentos: 6 ft

Angulo de fondo:  $45^{\circ}$

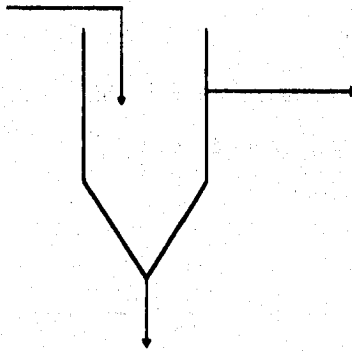
Como las dimensiones del tanque son muy grandes, se dividira en tres tanques con las siguientes dimensiones:



**Tanque FA-14.**

Agua = 0.0013  
 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> = 0.0178  
 Aceite = 0.9828  
 Propano = 0.0181

ρ<sub>Mezcla</sub> = 57.2763 lb/ft<sup>3</sup>  
 Q = 597.3545 ft<sup>3</sup>/Hr  
 F = 34214.256 lb/Hr



Aceite = 0.9826  
 Propano = 0.1690

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> = 0.0005  
 ρ<sub>Mezcla</sub> = 61.8172 lb/ft<sup>3</sup>  
 Q = 531.4408 ft<sup>3</sup>/Hr  
 F = 32852.187 lb/Hr

Agua = 0.0325  
 H.L = 0.0004  
 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> = 0.4395  
 Propano = 0.84533  
 ρ<sub>Mezcla</sub> = 81.3207 lb/ft<sup>3</sup>  
 Q = 16.7493 ft<sup>3</sup>/Hr  
 F = 1362.068 lb/Hr

Temperatura de Operación: 60 ° F

Presión de Operación: 1 Atm.

Tiempo de asentamiento: 12 Hr

Volumen de Diseño: 1.25 Volumen de Operación

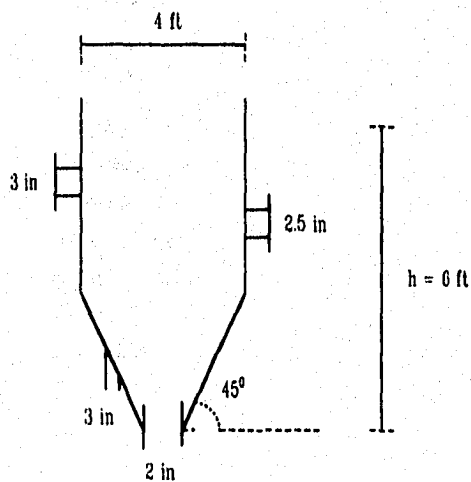
Segun Norma de API Standard 650 :  $H = 1.5D = 6 \text{ ft}$

Diámetro: 4ft

Material de Construcción : Acero al carbón baja aleación C-Si (SA 515 55)

Altura del líquido como sedimentos: 2.5 ft

Angulo de fondo: 45°



### LISTA DE EQUIPO

<b>CLAVE</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>CARACTERISTICAS</b>
EA - 01	Calentador de aceite usado	Q = 14909.98 BTU/h
EA - 02	Calentador de aceite usado	Q = 5048.88 BTU/h
EA - 03	Enfriador de aceite	Q = 458367.15 BTU/h
EA - 04	Calentador de aceite-Propano	Q = 2731071.164 BTU/h
EA - 05	Calentador de aceite-Propano	Q = 2731071.164 BTU/h
EA - 06	Enfriador de aceite	Q = 1677959 BTU/h
EA - 07	Enfriador de aceite-ácido	Q = 553963.01 BTU/h
EA - 08	Precalentador de aceite	Q = 4096831.98 BTU/h
EA - 09	Calentador de aceite-arcilla	Q = 94748.64 BTU/h
EA - 10	Enfriador de aceite Re-Refinado	Q = 3803430.34 BTU/h
GA - 01	Bomba de alimentación de aceite usado a el separador No. 1	W = 42560 LB/HR
GA - 02	Bomba de alimentación de aceite usado a el separador No. 2	W = 37776.256 LB/HR
GA - 03	Bomba de alimentación de aceite usado a el sedimentador	W = 37045.458 LB/HR
GA - 04	Bomba de alimentación de aceite y propano a el tanque separador de residuos asfálticos	W = 25954.977 LB/HR
GA - 05	Bomba de alimentación de aceite y propano a el recuperador de propano	W = 158914.801 LB/HR
GA - 06	Bomba de alimentación de aceite a el tanque mezclador con ácido	W = 33555.758 LB/HR
GA - 07	Bomba de alimentación de la mezcla acida a el separador de lodos acidos	W = 34214.256 LB/HR

GA - 08	Bomba de alimentación de aceite a el tanque de mezclado con arcilla	W = 32852.187 LB/HR
GA - 09	Bomba de alimentación de aceite y arcilla a el filtro separador	W = 33497.840 LB/HR
GA - 10	Bomba de alimentación de aceite re-refinado a formulación y almacenamiento	W = 31992.113 LB/HR
FA-01-05	Tanque de almacenamiento de aceite usado	L = 26.5 ft D = 9.8 ft
FA-06	Separador de hidrocarburos ligeros y agua	L = 21 ft D = 2 ft
FA-07	Separador de hidrocarburos ligeros y agua	L = 19 ft D = 2 ft
FA-08-10	Sedimentador de residuos	L = 12 ft D = 8 ft
FA-11	Separador de residuos asfálticos y recuperador de propano	L = 11 ft D = 3.5 ft
FA-12	Separador de aceite - propano	L = 32 ft D = 8.2 ft
FA-13	Mezclador de aceite - ácido sulfurico	L = 12 ft D = 4 ft
FA-14	Sedimentador de lodos ácidos	L = 6 ft D = 4 ft
FA-15	mezclador aceite - arcilla	L = 33 ft D = 11 ft
FR-01-02	Filtro separador aceite - arcilla	A = 5.29 m <sup>2</sup>



#### **4.6 Análisis de la Localización de la Planta**

La localización correcta de una planta requiere de los máximos beneficios económicos que puedan contribuir a esta. Se debe tomar en cuenta un amplia gama de factores, entre los que se tienen: suministro de materias primas, localización del centro de consumo, disponibilidad de fuentes de energía, condiciones climatológicas, costo, resistencia y topografía del terreno, facilidad de transporte, suministro de agua, desechos de efluentes, disponibilidad de mano de obra, facilidades y restricciones legales y fiscales, protección contra fuego y/o inundaciones, proximidad a complejos industriales, etc.

La importancia relativa entre estos factores varía de acuerdo a cada proyecto en particular. La elección de la mejor alternativa de localización se llevara acabo tomando en cuenta parques industriales ya establecidos, los cuales tienen como objetivos impulsar el desarrollo económico y social.

Estas zonas industriales pretenden alcanzar un equilibrio entre el habitat natural y desarrollo industrial, especificando la localización del equipo y plantas de tratamiento de aguas residuales en cada uno de los parques.

Así mismo estos parques contemplan factores específicos guiados a cubrir necesidades que conlleven a obtener beneficios económicos en el establecimiento de la planta.

Por otra parte, para llevar acabo la localización de la planta, se llevara acabo un análisis matricial en varias etapas, tomando en cuenta diferentes factores determinantes para la elección.

En la primera etapa de selección, se realizara un análisis general para seleccionar las entidades federativas mas favorables.

Los parametros o factores a analizar serán los siguientes::

C.P. = Ciudades Principales

P.E. = Promedio Escolar (años)

C.E. = Centros Educativos

Ca.P. = Carreteras Principales (Km)

Ca.S. = Carreteras Secundarias (Km)

T.F. = Transporte Ferroviario (Km)

A.I. = Aeropuertos Internacionales

A.N. = Aeropuertos Nacionales

P.M. = Puertos Marinos

G.D. = Generación de Desechos de Aceites Usados (m<sup>3</sup>)

En el análisis se tomara en cuenta el programa de descentralización industrial, con el fin de insentivar la descentralización y por ende, crecimiento y consolidación de los mercados regionales.

TABLA 1-A  
ENTIDADES FEDERATIVAS

ENTIDAD	CP	PI	CI	GP	GN	TI	TE	EX	PM	GD
<b>Agua Cal</b>	2	6.0	2	404	507	214	0	1	0	638.76
<b>B.C. Sur</b>		6.8	1	1292	1411	0	3	3	22	202.31
<b>B. C.</b>	3	7.5	2	1743	1652	214	4	1	17	1564.8
<b>Chiapas</b>	5	3.7	2	2232	2483	542	1	2	5	1021.8
<b>Chihuahua</b>	5	6.3	2	2826	2566	2608	2	0	0	2635.69
<b>Colima</b>		6.1	1	432	424	199	1	1	4	224.15
<b>Coahuila</b>		6.9	1	1571	1979	2173	3	2	0	3700.38
<b>Campeche</b>		5.8	1	1255	914	397	1	1	11	6071.85
<b>D. F.</b>	2	8.4	3	156		313	1	0	0	15890.2
<b>Durango</b>		5.9	2	2039	402	1283	0	1	0	952.75
<b>Guanajuato</b>	4	4.9	2	1334	2058	1072	0	3	0	3201.77
<b>Guerrero</b>	2	4.9	1	2310	496	94	2	0	6	234.64
<b>Hidalgo</b>	1	5.1	2	1049	1918	904	0	1	0	1830.72
<b>Jalisco</b>	1	6.3	2	2429	2669	1050	2	1	3	5054.15
<b>Edo. México</b>	4	6.5	2	1113	5667	1228	1	2	0	13937.7
<b>Michoacan</b>	3	5.1	3	2548	2269	1148	0	4	1	1182.20

I-B

**ENTIDADES FEDERATIVAS.**

ESTADO	CP	PI	CI	GP	CS	FI	LI	IN	PM	GD
<b>Morelos</b>	1	6.5	2	460	970	272	0	1	0	1421.90
<b>Nayarit</b>	1	5.6	2	837	792	417	0	1	6	208.72
<b>Nuevo Leon</b>	1	7.6	2	1276	2690	1111	2	0	0	7986.82
<b>Oaxaca</b>	1	4.2	2	3009	1449	684	1	3	4	1142.15
<b>Puebla</b>	1	5.3	2	1446	1504	1033	0	2	0	2942.29
<b>Queretaro</b>	1	5.0	2	580	753	444	0	1	0	1795.60
<b>Quintana Roo</b>	1	5.4	1	911	1297	0	4	0	14	122.50
<b>San Luis Pot.</b>	1	5.3	1	1729	1556	1125	0	2	0	2138.97
<b>Sinaloa</b>	3	6.1	2	854	4263	1243	1	2	5	690.24
<b>Sonora</b>	2	9.0	3	23387	3345	1997	3	2	12	2445.79
<b>Tabasco</b>	1	5.1	2	85	2627	302	0	1	2	3878.01
<b>Tamaulipas</b>	3	6.6	3	2138	3007	938	4	1	4	2105.78
<b>Tlaxcala</b>	1	6.0	1	609	648	361	0	1	0	619.19
<b>Veracruz</b>	4	5.3	2	2812	3160	1776	1	4	8	6061.03
<b>Yucatan</b>	1	5.8	3	1226	1882	599	1	0	14	641.44
<b>Zacatecas</b>	1	4.8	1	1449	2113	672	0	1	0	358.31

Analizando la matriz anterior, se concluye que los estados que presentaron más infraestructura y ventajas de acuerdo a los factores antes descritos son:

Aguascalientes, Baja California Norte, Chihuahua, Coahuila, Estado de México, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, Michoacan, Morelos, Nuevo Leon, Tlaxcala, San Luis Potosi, Sonora, Tamaulipas, y Veracruz.

La segunda etapa de selección consistirá en analizar los parques industriales que se encuentren ubicados en las entidades federativas seleccionadas anteriormente, de tal manera que se seleccione el parque o los parques industriales que cumplan con la infraestructura más conveniente.

Para este análisis sólo se tomarán en cuenta los parques industriales que cuenten con la información suficiente para su análisis y aquellos que se encuentren dentro del área de especialización permitida para desarrollar las operaciones de reciclado de aceites lubricantes usados.

TABLA 2  
AGUAS CALIENTES

FACTORES		
<b>Superficie Total Has</b>	N.D.	32
<b>Superficie Desarrollada</b>	N.D.	32
<b>Propiedad</b>	PUBLICA	PRIVADA
<b>Registro de SECOFI</b>	NO	SI
<b>Garantía</b>	SI	SI
<b>Banquetas</b>	SI	SI
<b>Pavimentos</b>	SI	SI
<b>Alumbrado</b>	SI	SI
<b>Red Hídrica</b>	SI	SI
<b>Drenaje Sanitario</b>	SI	SI
<b>Planta de Tratamiento de Aguas Negras</b>	NO	NO
<b>Subestación Eléctrica</b>	SI	NO
<b>Red Eléctrica</b>	SI	SI
<b>Red de Gas</b>	NO	NO
<b>Teléfono</b>	SI	SI
<b>Telex</b>	SI	SI
<b>Vías Ferreas</b>	SI	SI
<b>Bomberos</b>	NO	SI
<b>Áreas Verdes</b>	SI	SI

N.D. = No hay Datos

Parque Seleccionado: Alta Tecnología

TABLA 3-A  
BAJA CALIFORNIA

FACTORES	EL	EL	FUNDADORES PRIMUL	
	GUAY	VALI		
Superficie Total Has	40	17.4	10	222
Superficie Desarrollada	40	17.4	N.D.	97
Propiedad	PRIVADA	PRIVADA	PRIVADA	PRIVADA
Registro de SECOFI	N.D.	SI	N.D.	SI
Guarnición	NO	SI	N.D.	SI
Banquetas	SI	SI	SI	SI
Pavimentos	SI	SI	N.D.	SI
Alumbrado	SI	N.D.	N.D.	SI
Red Hidráulica	SI	SI	SI	SI
Drenaje Sanitario	SI	SI	N.D.	SI
Planta de Tratamiento de Aguas Negras	NO	NO	N.D.	NO
Subestación Eléctrica	SI	SI	SI	SI
Red Eléctrica	SI	SI	SI	SI
Red de Gas	NO	N.D.	N.D.	NO
Teléfono	SI	SI	SI	SI
Telex	NO	SI	SI	SI
Vías Ferreas	NO	SI	N.D.	NO
Bomberos	SI	N.D.	N.D.	NO
Areas Verdes	SI	NO	SI	SI

N.D. = No hay Datos

TABLA 3-B  
**BAJA CALIFORNIA**

FACTORES	PRIVADA	PRIVADA SELECCIONADA	NUEVA TIJUANA	PRESIDENTES
<b>Superficie Total Has</b>	160	356,738	403	12.1
<b>Superficie Desarrollada</b>	45.2	45	118	N.D.
<b>Propiedad</b>	PRIVADA	PRIVADA	PRIVADA	PRIVADA
<b>Registro de SECOFI</b>	SI	SI	SI	N.D.
<b>Guarnición</b>	SI	SI	N.D.	SI
<b>Banquetas</b>	SI	SI	SI	SI
<b>Pavimentos</b>	SI	SI	SI	SI
<b>Alumbrado</b>	SI	SI	SI	SI
<b>Red Hidráulica</b>	SI	SI	SI	SI
<b>Drenaje Sanitario</b>	SI	SI	SI	SI
<b>Planta de Tratamiento de Aguas Negras</b>	NO	NO	SI	SI
<b>Subestación Eléctrica</b>	SI	SI	N.D.	SI
<b>Red Eléctrica</b>	SI	SI	SI	SI
<b>Red de Gas</b>	NO	NO	SI	SI
<b>Teléfono</b>	SI	SI	SI	SI
<b>Telex</b>	SI	SI	SI	SI
<b>Vías Ferreas</b>	NO	NO	N.D.	NO
<b>Bomberos</b>	NO	NO	SI	SI
<b>Areas Verdes</b>	SI	SI	SI	SI

N.D = No hay Datos

Parque seleccionado = Nueva Tijuana.



TABLA 4-A  
**CHIHUAHUA**

FACTORES	VIROPLERIO	ANTONIO	CAMARGO
	MERMUZ		
<b>Superficie Total Has</b>	71.9	17.5	11
<b>Superficie Desarrollada</b>	71.9	92	11
<b>Propiedad</b>	PUBLICA	PRIVADA	PRIVADA
<b>Registro de SECOFI</b>	SI	SI	SI
<b>Guarnición</b>	SI	SI	SI
<b>Banquetas</b>	SI	SI	SI
<b>Pavimentos</b>	SI	SI	SI
<b>Alumbrado</b>	SI	SI	SI
<b>Red Hidráulica</b>	SI	SI	SI
<b>Drenaje Sanitario</b>	SI	SI	SI
<b>Planta de Tratamiento de Aguas Negras</b>	NO	NO	NO
<b>Subestación Eléctrica</b>	SI	SI	SI
<b>Red Eléctrica</b>	SI	SI	SI
<b>Red de Gas</b>	SI	SI	NO
<b>Teléfono</b>	SI	SI	SI
<b>Telex</b>	SI	SI	NO
<b>Vías Ferreas</b>	NO	NO	NO
<b>Bomberos</b>	NO	NO	NO
<b>Areas Verdes</b>	SI	SI	SI

**TABLA 4-B**  
**CHIHUAHUA**

<b>Superficie Total Ha</b>	138.17	849.9	40.7	389.7
<b>Superficie Desarrollada</b>	49.6	480	18.5	65.8
<b>Propiedad</b>	PRIVADA	PUBLICA	PRIVADA	PRIVADA
<b>Registro de SECOFI</b>	SI	SI	NO	SI
<b>Guarnición</b>	SI	SI	SI	SI
<b>Banquetas</b>	SI	SI	SI	SI
<b>Pavimentos</b>	SI	SI	SI	SI
<b>Alumbrado</b>	SI	SI	SI	SI
<b>Red Hidráulica</b>	SI	SI	SI	SI
<b>Drenaje Sanitario</b>	SI	SI	SI	SI
<b>Planta de Tratamiento de Aguas Negras</b>	NO	SI	NO	NO
<b>Subestación Eléctrica</b>	SI	SI	SI	SI
<b>Red Eléctrica</b>	SI	SI	SI	SI
<b>Red de Gas</b>	NO	SI	NO	NO
<b>Teléfono</b>	SI	SI	SI	SI
<b>Telex</b>	SI	SI	SI	NO
<b>Vías Ferreas</b>	NO	SI	NO	SI
<b>Bomberos</b>	NO	SI	NO	N.D.
<b>Areas Verdes</b>	SI	SI	SI	SI

N.D = No hay Datos

TABLA 4-C  
**CHIHUAHUA**

<i>FACTORES</i>	<i>Paquim</i>	<i>Parral</i>	<i>Rio Bravo</i>	<i>Chihuahua</i>
<b>Superficie Total Has</b>	100	78	75	845
<b>Superficie Desarrollada</b>	25.8	22	75	643
<b>Propiedad</b>	PRIVADA	PRIVADA	PRIVADA	PRIVADA
<b>Registro de SECOFI</b>	SI	SI	SI	SI
<b>Guarnición</b>	SI	SI	SI	SI
<b>Banquetas</b>	SI	SI	SI	SI
<b>Pavimentos</b>	SI	SI	SI	SI
<b>Alumbrado</b>	SI	SI	SI	SI
<b>Red Hidráulica</b>	SI	SI	SI	SI
<b>Drenaje Sanitario</b>	SI	SI	SI	SI
<b>Planta de Tratamiento de Aguas Negras</b>	NO	NO	NO	NO
<b>Subestación Eléctrica</b>	NO	NO	SI	NO
<b>Red Eléctrica</b>	SI	SI	SI	SI
<b>Red de Gas</b>	NO	NO	NO	SI
<b>Teléfono</b>	SI	SI	SI	SI
<b>Telex</b>	SI	SI	SI	SI
<b>Vías Ferreas</b>	NO	NO	NO	SI
<b>Bomberos</b>	NO	NO	SI	SI
<b>Areas Verdes</b>	SI	SI	SI	SI

Parque seleccionado = Chihuahua

TABLA 5  
COAHUILA

FACTORES	Las Torres		Nogales		Oaxaca	
	Si	No	Si	No	Si	No
<b>Superficie Total Has</b>	35	N.D.	106.6	200	26	
<b>Superficie Desarrollada</b>	34	N.D.	N.D.	61	26	
<b>Propiedad</b>	PRIVADA	PRIVADA	PUBLICA	PUBLICA	PRIVADA	
<b>Registro de SECOFI</b>	SI	NO	SI	SI	NO	
<b>Guarnición</b>	SI	SI	N.D.	SI	SI	
<b>Banquetas</b>	SI	SI	N.D.	SI	SI	
<b>Pavimentos</b>	SI	SI	SI	SI	SI	
<b>Alumbrado</b>	SI	SI	N.D.	SI	SI	
<b>Red Hidráulica</b>	SI	SI	SI	SI	SI	
<b>Drenaje Sanitario</b>	SI	SI	N.D.	N.D.	SI	
<b>Planta de Tratamiento de Aguas Negras</b>	N.D.	N.D.	N.D.	SI	N.D.	
<b>Subestación Eléctrica</b>	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	SI	
<b>Red Eléctrica</b>	SI	SI	SI	SI	SI	
<b>Red de Gas</b>	SI	N.D.	N.D.	N.D.	SI	
<b>Teléfono</b>	SI	SI	SI	SI	SI	
<b>Telex</b>	SI	SI	N.D.	N.D.	SI	
<b>Vías Ferreas</b>	N.D.	SI	SI	N.D.	SI	
<b>Bomberos</b>	N.D.	SI	N.D.	N.D.	N.D.	
<b>Areas Verdes</b>	SI	N.D.	N.D.	SI	SI	

N.D = No hay Datos

Parque seleccionado = Las Torres

TABLA 6  
**GUANAJUATO**

<i>FACTORES</i>	<i>CELAYA</i>	<i>DELTA</i>	<i>TRAPAJUATO</i>
<b>Superficie Total Has</b>	409.5	N.D.	30
<b>Superficie Desarrollada</b>	109.4	N.D.	N.D.
<b>Propiedad</b>	PUBLICA	N.D.	N.D.
<b>Registro de SECOFI</b>	SI	N.D.	N.D.
<b>Guarnición</b>	SI	N.D.	SI
<b>Banquetas</b>	SI	N.D.	N.D.
<b>Pavimentos</b>	SI	SI	SI
<b>Alambrado</b>	SI	SI	SI
<b>Red Hidráulica</b>	SI	N.D.	SI
<b>Drenaje Sanitario</b>	SI	SI	SI
<b>Planta de Tratamiento de Aguas Negras</b>	N.D.	N.D.	N.D.
<b>Subestación Eléctrica</b>	SI	N.D.	SI
<b>Red Eléctrica</b>	SI	SI	SI
<b>Red de Gas</b>	N.D.	N.D.	SI
<b>Teléfono</b>	SI	SI	SI
<b>Telex</b>	SI	N.D.	SI
<b>Vías Ferreas</b>	N.D.	SI	N.D.
<b>Bomberos</b>	N.D.	N.D.	N.D.
<b>Areas Verdes</b>	SI	N.D.	SI

N.D = No hay Datos

Parque seleccionado = Celaya.

TABLA 7  
JALISCO

FACTORES	Iradim	Zapopan No. 1
<b>Superficie Total Has</b>	53.8	29.1
<b>Superficie Desarrollada</b>	N.D.	16.4
<b>Propiedad</b>	PRIVADA	PRIVADA
<b>Registro de SECOFI</b>	NO	NO
<b>Garantía</b>	NO	NO
<b>Banquetas</b>	SI	SI
<b>Pavimentos</b>	SI	SI
<b>Alumbrado</b>	SI	SI
<b>Red Hidráulica</b>	SI	SI
<b>Drenaje Sanitario</b>	NO	NO
<b>Planta de Tratamiento de Aguas Negras</b>	N.D.	NO
<b>Subestación Eléctrica</b>	N.D.	NO
<b>Red Eléctrica</b>	SI	SI
<b>Red de Gas</b>	NO	NO
<b>Teléfono</b>	SI	SI
<b>Telex</b>	NO	N.D.
<b>Vías Ferreas</b>	NO	N.D.
<b>Bomberos</b>	N.D.	N.D.
<b>Áreas Verdes</b>	N.D.	N.D.

N.D = No hay Datos

Parque Seleccionado: Zapopan Norte.

TABLA 8  
HIDALGO

FACTORES	Uspchi S. R.	Uzayma PRIVADA	Tula S.A. P. U. A.	Tula PRIVADA	Tula P. U. A.
<b>Superficie Total (Has)</b>	510	300	92.2	150	349.6
<b>Superficie Desarrollada</b>	129.6	N.D.	52	40	306.6
<b>Propiedad</b>	PRIVADA	PRIVADA	PUBLICA	PRIVADA	PUBLICA
<b>Registro de SECOFI</b>	SI	NO	SI	TRAMITE	NO
<b>Guarnición</b>	N.D.	SI	SI	SI	NO
<b>Banquetas</b>	N.D.	SI	SI	SI	NO
<b>Pavimentos</b>	N.D.	SI	SI	SI	NO
<b>Alumbrado</b>	SI	SI	SI	SI	NO
<b>Red Hidráulica</b>	SI	SI	SI	SI	N.D.
<b>Drenaje Sanitario</b>	SI	SI	SI	SI	NO
<b>Planta de Tratamiento de Aguas Negras</b>	NO	NO	NO	SI	NO
<b>Subestación Eléctrica</b>	N.D.	SI	SI	SI	NO
<b>Red Eléctrica</b>	SI	SI	SI	SI	SI
<b>Red de Gas</b>	N.D.	NO	N.D.	SI	SI
<b>Teléfono</b>	SI	SI	SI	SI	SI
<b>Telex</b>	N.D.	SI	SI	NO	SI
<b>Vías Ferreas</b>	N.D.	SI	SI	SI	SI
<b>Bomberos</b>	NO	SI	NO	SI	NO
<b>Areas Verdes</b>	N.D.	SI	SI	SI	NO

N.D. = No hay Datos

Parque Seleccionado: Tula S.A. de C.V.

TABLA 9-A  
ESTADO DE MEXICO

FACTORES	Manzanillo	Colima	La Paz	Los Mochis	Toluca
<b>Superficie Total (Haa)</b>	292	25	35.5	103.6	28
<b>Superficie Desarrollada</b>	292	N.D.	28.5	25.4	6
<b>Propiedad</b>	PUBLICA	PUBLICA	PUBLICA	PUBLICA	PUBLICA
<b>Registro de SECOFI</b>	SI	TRAMITE	SI	SI	NO
<b>Guarnición</b>	SI	SI	SI	SI	SI
<b>Banquetas</b>	NO	SI	SI	NO	NO
<b>Pavimentos</b>	NO	SI	SI	SI	SI
<b>Alumbrado</b>	SI	SI	SI	NO	SI
<b>Red Hidráulica</b>	SI	SI	SI	SI	SI
<b>Drenaje Sanitario</b>	SI	SI	SI	SI	SI
<b>Planta de Tratamiento de Aguas Negras</b>	NO	N.D.	NO	NO	NO
<b>Subestación Eléctrica</b>	NO	N.D.	NO	SI	SI
<b>Red Eléctrica</b>	SI	SI	SI	SI	SI
<b>Red de Gas</b>	NO	N.D.	NO	SI	NO
<b>Teléfono</b>	SI	SI	SI	SI	SI
<b>Telex</b>	N.D.	N.D.	N.D.	NO	NO
<b>Vías Ferreas</b>	SI	N.D.	NO	NO	NO
<b>Bomberos</b>	NO	N.D.	SI	NO	NO
<b>Areas Verdes</b>	SI	SI	N.D.	N.D.	N.D.

N.D. = No hay Datos



TABLA 9-B  
ESTADO DE MEXICO

FACTORES	Exporte Horizonte XXI	San Antonio la Isla	Santiago Tehuacan
<b>Superficie Total (Has)</b>	108.3	10.1	45
<b>Superficie Desarrollada</b>	44.7	N.D.	38
<b>Propiedad</b>	PUBLICA	PUBLICA	PRIVADA
<b>Registro de SECOFI</b>	SI	SI	NO
<b>Guarnición</b>	SI	SI	SI
<b>Banquetas</b>	SI	SI	NO
<b>Pavimentos</b>	SI	SI	SI
<b>Alumbrado</b>	SI	NO	NO
<b>Red Hidráulica</b>	SI	SI	SI
<b>Drenaje Sanitario</b>	NO	SI	SI
<b>Planta de Tratamiento de Aguas Negras</b>	SI	NO	NO
<b>Subestación Eléctrica</b>	N.D.	SI	N.D.
<b>Red Eléctrica</b>	SI	SI	SI
<b>Red de Gas</b>	N.D.	NO	NO
<b>Teléfono</b>	SI	NO	SI
<b>Telex</b>	N.D.	NO	N.D.
<b>Vías Ferreas</b>	NO	NO	NO
<b>Bomberos</b>	SI	NO	NO
<b>Areas Verdes</b>	SI	N.D.	SI

N.D. = No hay Datos

Parque Seleccionado: Exporte-Horizonte XXI

TABLA 10  
MICHOACAN

FACTORES	Lagos	Marabá	Zacapu
	Cadenas		
<b>Superficie Total (Has)</b>	3089.9	354.5	58.4
<b>Superficie Desarrollada</b>	1316	280	20.6
<b>Propiedad</b>	PUBLICA	PUBLICA	N.D.
<b>Registro de SECOFI</b>	NO	SI	NO
<b>Guarnición</b>	SI	SI	N.D.
<b>Banquetas</b>	SI	N.D.	N.D.
<b>Pavimentos</b>	SI	SI	N.D.
<b>Alumbrado</b>	SI	SI	N.D.
<b>Red Hidráulica</b>	SI	SI	N.D.
<b>Drenaje Sanitario</b>	SI	SI	N.D.
<b>Planta de Tratamiento de Aguas Negras</b>	NO	N.D.	N.D.
<b>Subestación Eléctrica</b>	SI	SI	SI
<b>Red Eléctrica</b>	SI	SI	SI
<b>Red de Gas</b>	NO	N.D.	N.D.
<b>Teléfono</b>	SI	SI	SI
<b>Telex</b>	SI	SI	N.D.
<b>Vías Ferreas</b>	SI	SI	SI
<b>Bomberos</b>	N.D.	N.D.	N.D.
<b>Áreas Verdes</b>	SI	SI	N.D.

N.D. = No hay Datos

Parque Seleccionado: Morelia

TABLA 11  
**MORELOS**

<b>FACTORES</b>	<i>Cuautla</i>	<i>Valle de Cuernavaca</i>
<b>Superficie Total (Has)</b>	113	391.8
<b>Superficie Desarrollada</b>	60	391.8
<b>Propiedad</b>	PRIVADA	PUBLICA
<b>Registro de SECOFI</b>	SI	SI
<b>Guarnición</b>	SI	SI
<b>Banquetas</b>	SI	SI
<b>Pavimentos</b>	SI	SI
<b>Alumbrado</b>	SI	SI
<b>Red Hidráulica</b>	SI	SI
<b>Drenaje Sanitario</b>	SI	SI
<b>Planta de Tratamiento de Aguas Negras</b>	N.D.	SI
<b>Subestación Eléctrica</b>	N.D.	SI
<b>Red Eléctrica</b>	SI	SI
<b>Red de Gas</b>	N.D.	N.D.
<b>Teléfono</b>	SI	SI
<b>Telex</b>	N.D.	SI
<b>Vías Ferreas</b>	SI	SI
<b>Bomberos</b>	N.D.	SI
<b>Areas Verdes</b>	SI	SI

N.D. = No hay Datos

Parque Seleccionado: Valle de Cuernavaca (CIVAC)

TABLA 12-A  
NUEVO LEON

FACTORES				
Hijos				
<b>Superficie Total (Has)</b>	23.9	91.7	2360	81
<b>Superficie Desarrollada</b>	N.D.	21.4	220	29.2
<b>Propiedad</b>	PRIVADA	PUBLICA	PRIVADA	PUBLICA
<b>Registro de SECOFI</b>	SI	SI	SI	SI
<b>Guarnición</b>	NO	SI	SI	SI
<b>Banquetas</b>	NO	SI	SI	SI
<b>Pavimentos</b>	N.D.	SI	SI	SI
<b>Alumbrado</b>	N.D.	N.D.	SI	SI
<b>Red Hidráulica</b>	SI	SI	SI	SI
<b>Drenaje Sanitario</b>	SI	SI	N.D.	SI
<b>Planta de Tratamiento de Aguas Negras</b>	NO	N.D.	N.D.	N.D.
<b>Subestación Eléctrica</b>	N.D.	N.D.	SI	N.D.
<b>Red Eléctrica</b>	SI	SI	SI	SI
<b>Red de Gas</b>	NO	N.D.	N.D.	SI
<b>Teléfono</b>	SI	SI	SI	SI
<b>Telex</b>	NO	N.D.	N.D.	N.D.
<b>Vías Ferreas</b>	NO	N.D.	N.D.	N.D.
<b>Bomberos</b>	NO	N.D.	N.D.	N.D.
<b>Areas Verdes</b>	N.D.	SI	SI	SI

N.D. = No hay Datos

TABLA 12-B  
**NUEVO LEON**

<b>FACTORES</b>	<b>U. Carranca</b>	<b>Mariano Escobedo</b>	<b>Limanes</b>	<b>Salinas Hidalgo</b>	<b>Pesqueira</b>
<b>Superficie Total (Has)</b>	74.7	200	473.9	57.7	26.8
<b>Superficie Desarrollada</b>	41.3	58.1	53.1	43.3	7.2
<b>Propiedad</b>	PUBLICA	PUBLICA	PUBLICA	PUBLICA	PUBLICA
<b>Registro de SECOFI</b>	SI	SI	SI	SI	SI
<b>Guarnición</b>	SI	SI	SI	SI	SI
<b>Banquetas</b>	SI	SI	SI	SI	SI
<b>Pavimentos</b>	SI	SI	SI	SI	SI
<b>Alumbrado</b>	SI	SI	SI	SI	SI
<b>Red Hidráulica</b>	SI	SI	SI	SI	SI
<b>Drenaje Sanitario</b>	N.D.	SI	SI	SI	SI
<b>Planta de Tratamiento de Aguas Negras</b>	N.D.	N.D.	SI	N.D.	N.D.
<b>Subestación Eléctrica</b>	N.D.	SI	N.D.	N.D.	N.D.
<b>Red Eléctrica</b>	SI	SI	SI	SI	SI
<b>Red de Gas</b>	N.D.	SI	SI	N.D.	N.D.
<b>Teléfono</b>	SI	SI	SI	SI	SI
<b>Telex</b>	N.D.	SI	N.D.	N.D.	N.D.
<b>Vías Ferreas</b>	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
<b>Bomberos</b>	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
<b>Áreas Verdes</b>	SI	SI	SI	SI	SI

N.D. = No hay Datos

Parque Seleccionado: Gral. Mariano Escobedo

TABLA 13  
**TLAXCALA**

<i>FACTORES</i>	<i>Capulalpan</i>	<i>Xiloxotla</i>	<i>Atlixco</i>
<b>Superficie Total (Has)</b>	103.2	67.5	34.8
<b>Superficie Desarrollada</b>	45.2	23	27.5
<b>Propiedad</b>	PUBLICA	PUBLICA	PUBLICA
<b>Registro de SECOFI</b>	SI	SI	SI
<b>Guarnición</b>	NO	NO	SI
<b>Banquetas</b>	NO	NO	NO
<b>Pavimentos</b>	NO	NO	SI
<b>Alumbrado</b>	NO	NO	NO
<b>Red Hidráulica</b>	SI	SI	SI
<b>Drenaje Sanitario</b>	SI	SI	SI
<b>Planta de Tratamiento de Aguas Negras</b>	NO	SI	SI
<b>Subestación Eléctrica</b>	SI	NO	SI
<b>Red Eléctrica</b>	SI	SI	SI
<b>Red de Gas</b>	SI	SI	SI
<b>Teléfono</b>	SI	NO	SI
<b>Telex</b>	SI	NO	SI
<b>Vías Ferreas</b>	SI	NO	SI
<b>Bomberos</b>	NO	NO	NO
<b>Areas Verdes</b>	NO	NO	NO

Parque Seleccionado: Xiloxotla

TABLA 14  
SAN LUIS POTOSI

<b>FACTORES</b>	<i>Industrial San Luis Potosi</i>	<i>Industrial del Potosi</i>
<b>Superficie Total (Haa)</b>	1238.1	1086
<b>Superficie Desarrollada</b>	600.4	1086
<b>Propiedad</b>	PUBLICA	PUBLICA
<b>Registro de SECOFI</b>	SI	SI
<b>Guarnición</b>	N.D.	N.D.
<b>Banquetas</b>	N.D.	N.D.
<b>Pavimentos</b>	SI	SI
<b>Alumbrado</b>	SI	SI
<b>Red Hidráulica</b>	SI	SI
<b>Drenaje Sanitario</b>	SI	N.D.
<b>Planta de Tratamiento de Agua Negra</b>	SI	N.D.
<b>Subestación Eléctrica</b>	SI	SI
<b>Red Eléctrica</b>	SI	SI
<b>Red de Gas</b>	SI	SI
<b>Teléfono</b>	SI	SI
<b>Telex</b>	N.D.	N.D.
<b>Vías Ferreas</b>	SI	SI
<b>Bomberos</b>	SI	SI
<b>Areas Verdes</b>	N.D.	N.D.

N.D. = No hay Datos

Parque Seleccionado: Industrial del Potosi

TABLA 15  
**TAMAULIPAS**

FACTORES	Matamoros	Tampico	Matamoros
<b>Superficie Total (Has)</b>	13.2	13.9	404
<b>Superficie Desarrollada</b>	6.7	8.2	404
<b>Propiedad</b>	PRIVADA	PUBLICA	PUBLICA
<b>Registro de SECOFI</b>	SI	SI	SI
<b>Guarnición</b>	SI	N.D.	SI
<b>Banquetas</b>	SI	N.D.	SI
<b>Pavimentos</b>	SI	N.D.	SI
<b>Alumbrado</b>	SI	SI	SI
<b>Red Hidráulica</b>	SI	SI	SI
<b>Drenaje Sanitario</b>	SI	SI	SI
<b>Planta de Tratamiento de Aguas Negras</b>	N.D.	N.D.	SI
<b>Subestación Eléctrica</b>	SI	N.D.	SI
<b>Red Eléctrica</b>	SI	SI	SI
<b>Red de Gas</b>	SI	N.D.	N.D.
<b>Teléfono</b>	SI	SI	SI
<b>Telex</b>	SI	N.D.	SI
<b>Vías Ferreas</b>	SI	SI	N.D.
<b>Bomberos</b>	N.D.	N.D.	N.D.
<b>Areas Verdes</b>	SI	SI	SI

N.D. = No hay Datos

Parque Seleccionado: Matamoros



TABLA 16  
SONORA

<b>FACTORES</b>	<b>CD Obregón</b>
<b>Superficie Total (Has)</b>	219.8
<b>Superficie Desarrollada</b>	219.8
<b>Propiedad</b>	PUBLICA
<b>Registro de SECOFI</b>	SI
<b>Guarnición</b>	SI
<b>Banquetas</b>	SI
<b>Pavimentos</b>	SI
<b>Alumbrado</b>	SI
<b>Red Hidráulica</b>	N.D.
<b>Drenaje Sanitario</b>	SI
<b>Planta de Tratamiento de Aguas Negras</b>	N.D.
<b>Subestación Eléctrica</b>	SI
<b>Red Eléctrica</b>	SI
<b>Red de Gas</b>	N.D.
<b>Teléfono</b>	SI
<b>Telex</b>	SI
<b>Vías Ferreas</b>	SI
<b>Bomberos</b>	N.D.
<b>Areas Verdes</b>	SI

N.D. = No hay Datos

Parque Seleccionado: CD Obregón.

TABLA 17  
VERACRUZ

<b>FACTORES</b>	<i>Bruno Paglai</i>
<b>Superficie Total (Has)</b>	411.8
<b>Superficie Desarrollada</b>	190
<b>Propiedad</b>	PUBLICA
<b>Registro de SECOFI</b>	SI
<b>Guarnición</b>	SI
<b>Banquetas</b>	NO
<b>Pavimentos</b>	SI
<b>Alumbrado</b>	SI
<b>Red Hidráulica</b>	SI
<b>Drenaje Sanitario</b>	SI
<b>Planta de Tratamiento de Aguas Negras</b>	NO
<b>Subestación Eléctrica</b>	SI
<b>Red Eléctrica</b>	SI
<b>Red de Gas</b>	SI
<b>Teléfono</b>	SI
<b>Telex</b>	SI
<b>Vías Ferreas</b>	SI
<b>Bomberos</b>	NO
<b>Áreas Verdes</b>	SI

Parque Seleccionado: Bruno Paglai.

Finalmente en la última etapa de selección, se analizarán los parques seleccionados en la etapa anterior para determinar el parque que tenga mayores ventajas comparativas para la instalación industrial.

**TABLA 18-A**  
**Parques Seleccionados Segun Entidad Federativa**

<b>Superficie Total (Has)</b>	29.1	92.2	108.3	354.5
<b>Superficie Desarrollada</b>	16.4	52	44.7	280
<b>Propiedad</b>	PRIVADA	PUBLICA	PUBLICA	PUBLICA
<b>Registro de SECOFI</b>	NO	SI	SI	SI
<b>Guarnición</b>	N.D.	SI	SI	SI
<b>Banquetas</b>	SI	SI	SI	N.D.
<b>Pavimentos</b>	SI	SI	SI	SI
<b>Alumbrado</b>	SI	SI	SI	SI
<b>Red Hidráulica</b>	SI	SI	SI	SI
<b>Drenaje Sanitario</b>	SI	SI	NO	SI
<b>Planta de Tratamiento de Aguas Negras</b>	N.D.	NO.	SI	N.D.
<b>Subestación Eléctrica</b>	N.D.	SI.	N.D.	SI
<b>Red Eléctrica</b>	SI	SI	SI	SI
<b>Red de Gas</b>	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
<b>Teléfono</b>	SI	SI	SI	SI
<b>Telex</b>	N.D.	SI	N.D.	SI
<b>Vías Ferreas</b>	N.D.	SI.	NO	SI
<b>Bomberos</b>	N.D.	NO	SI	N.D.
<b>Areas Verdes</b>	SI	SI	SI	SI

N.D. = No hay Datos

TABLA 18-B  
Parques Seleccionados Segun Entidad Federativa

FACTORES	Valle de Caucho	Catal Maricao Escuela Nueva Espartero Marchesi	Industrial De Florencia Florencia	C.D. Dorrego
<b>Superficie Total (Has)</b>	391.8	200	1238.1	219.8
<b>Superficie Desarrollada</b>	391.8	58.1	600.4	219.8
<b>Propiedad</b>	PUBLICA	PUBLICA	PUBLICA	PUBLICA
<b>Registro de SECOFI</b>	SI	SI	SI	SI
<b>Guarnición</b>	SI	SI	N.D.	SI
<b>Banquetas</b>	SI	SI	N.D.	SI
<b>Pavimentos</b>	SI	SI	SI	SI
<b>Alumbrado</b>	SI	SI	SI	SI
<b>Red Hidrática</b>	SI	SI	SI	N.D.
<b>Drenaje Sanitario</b>	SI	SI	SI	SI
<b>Planta de Tratamiento de Aguas Negras</b>	SI	N.D.	SI	N.D.
<b>Subestación Eléctrica</b>	SI	SI.	SI	SI
<b>Red Eléctrica</b>	SI	SI	SI	SI
<b>Red de Gas</b>	NO	SI	SI	N.D.
<b>Teléfono</b>	SI	SI	SI	SI
<b>Telex</b>	SI	SI	N.D.	SI
<b>Vías Ferreas</b>	SI	N.D.	SI	SI
<b>Bomberos</b>	SI	N.D.	SI	N.D.
<b>Areas Verdes</b>	SI	SI	N.D.	SI

N.D. = No hay Datos

**TABLA 18-C**  
**Parques Seleccionados Segun Entidad Federativa**

<i>Yucatán</i>	<i>Morelos</i>	<i>Baja California</i>	<i>Veracruz</i>	<i>Chiapas</i>
<i>Yucatán</i>	<i>Morelos</i>	<i>Baja California</i>	<i>Veracruz</i>	<i>Chiapas</i>
<b>Superficie Total (Has)</b>	404	411.8	34.8	409.5
<b>Superficie Desarrollada</b>	404	190	27.5	109.4
<b>Propiedad</b>	PUBLICA	PUBLICA	PUBLICA	PUBLICA
<b>Registro de SECOFI</b>	SI	SI	SI	SI
<b>Guarnición</b>	SI	SI	SI	SI
<b>Banquetas</b>	SI	NO	NO	SI
<b>Pavimentos</b>	SI	SI	SI	SI
<b>Alumbrado</b>	SI	SI	NO	SI
<b>Red Hidráulica</b>	SI	SI	SI	SI
<b>Drenaje Sanitario</b>	SI	SI	SI	SI
<b>Planta de Tratamiento de Aguas Negras</b>	SI	NO	SI	N.D.
<b>Subestación Eléctrica</b>	SI	SI	SI	SI
<b>Red Eléctrica</b>	SI	SI	SI	SI
<b>Red de Gas</b>	N.D.	SI	SI	N.D.
<b>Teléfono</b>	SI	SI	SI	SI
<b>Telex</b>	SI	SI	SI	SI
<b>Vías Ferreas</b>	N.D.	SI	SI	N.D.
<b>Bomberos</b>	N.D.	NO	NO	N.D.
<b>Areas Verdes</b>	SI	SI	NO	SI

N.D. = No hay Datos

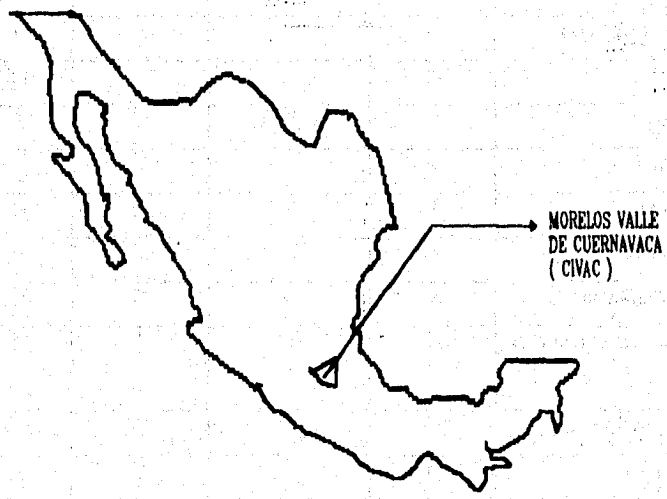
TABLA 18-D

Parques Seleccionados Segun Entidad Federativa

FACTORES	Las Torres	Atlix Tecnología	Cahuahua	Nueva
	Cahuahua	Agua Prieta	Cahuahua	Liquima (B.C.A.)
<b>Superficie Total (Has)</b>	35	32	849.9	403
<b>Superficie Desarrollada</b>	34	32	480	118
<b>Propiedad</b>	PUBLICA	PRIVADA	PUBLICA	PRIVADA
<b>Registro de SECOFI</b>	SI	SI	SI	SI
<b>Guarnición</b>	SI	SI	SI	N.D.
<b>Banquetas</b>	SI	SI	SI	SI
<b>Pavimentos</b>	SI	SI	SI	SI
<b>Alumbrado</b>	SI	SI	SI	SI
<b>Red Hidráulica</b>	SI	SI	SI	SI
<b>Drenaje Sanitario</b>	SI	SI	SI	SI
<b>Planta de Tratamiento de Aguas Negras</b>	N.D.	NO	SI	SI
<b>Subestación Eléctrica</b>	N.D.	NO	SI	N.D.
<b>Red Eléctrica</b>	SI	SI	SI	SI
<b>Red de Gas</b>	SI	NO	SI	SI
<b>Teléfono</b>	SI	SI	SI	SI
<b>Telex</b>	SI	SI	SI	SI
<b>Vías Ferreas</b>	N.D.	SI	SI	N.D.
<b>Bomberos</b>	N.D.	SI	SI	SI
<b>Areas Verdes</b>	SI	SI	SI	SI

N.D. = No hay Datos

Los 3 Parques Industriales que cuentan con una infraestructura favorable, para el desarrollo de la instalación Industrial son: Chihuahua, Matamoros y Valle de Cuernavaca (CIVAC), sin embargo el que ofrece mayores ventajas y beneficios para el abastecimiento de la misma es el estado de Morelos por lo tanto el parque industrial seleccionado es el Valle de Cuernavaca (CIVAC).





## **CAPITULO V**

### **5. EVALUACION ECONOMICA.**

#### **5.1 Metodología de Análisis.**

En este capítulo se llevara acabo la evaluación de los costos de producción para la re-refinación de aceites industriales usados, como alternativa para obtener beneficios de carácter social y económico, lo cual nos proporciona una pauta para establecer si la re-refinación es conveniente.

La evaluación de los costos de producción a desarrollar consiste en estimar los costos generados de la re-refinación de lubricantes usados . También se determinará el punto de equilibrio para la re-refinación de los aceites usados.

La metodología a desarrollar consistirá en siete pasos los cuales se mencionan a continuación:

1. Estimación de costos de capital
2. Estimación de costos de operación y mantenimiento
3. Actualización de costos a una base de 1995
4. Conversión de costos a una base de pesos de 1995
5. Estimación del valor presente de costos por la vida del equipo
6. Estimación del costo anual equivalente
7. Determinación del costo equivalente por litro de aceite lubricante

**1. Costos de Capital.-** Estos costos se integran por diferentes módulos los cuales se mencionan a continuación:

Modulo de costo de equipo de proceso  
Modulo de costos indirectos del proyecto  
Modulo de construcciones o instalaciones industriales  
Modulo de costos de terreno

Modulo de costos de equipo. - En este modulo se estimaron los costos de los diferentes equipos, tales como bombas, intercambiadores de calor, separadores, mezcladores, tanques de almacenamiento, filtros de placas y marcos y sedimentadores, además los costos de equipo involucrados por la tecnología de control anticontaminante.

Para determinar los costos de los equipos se tomaran en cuenta factores como son tipo de material, dimensiones, geometría, entre otros.

El costo de equipo total es: 3435786.5 Dolares en una base para 1994. <sup>1</sup>

Modulo de costos indirectos. - Este modulo esta integrado por todos aquellos costos que intervienen de manera indirecta en la realización del proyecto., como son: impuestos, seguros, fletes, costos de ingeniería, supervisión y contingencias.

El costo total de indirectos es: 159161.95 Dolares en una base para 1994.  
tomando en cuenta para este análisis:

---

<sup>1</sup> Los costo se obtuvieron apartir de información extraida de las siguientes fuentes:

-Richard S. Hall  
Estimating Process Equipment Costs  
Chemical Engineering, Vol. 95 No. 16 Nov. 1988.  
-Herber Popper  
Modern Cost--Engineering Techniques, E. U. 1970.  
-Anteproyecto de Norma para el Control de Aceites Lubricantes Usados. I.C.F. Kaiser Servicios Ambientales, 1994

De acuerdo a la experiencia con que se ha trabajado continuamente en los proyectos reportados con anterioridad en la literatura, se ha establecido que en la mayoría de ellos siempre se ha incurrido en gastos correspondientes a ciertos porcentajes con respecto a el valor obtenido del costo de equipo.

Los porcentajes que se reportan a continuación se tomaron del análisis realizado por Kenneth M. Guthrie<sup>2</sup> sobre estudios en diversas instalaciones industriales.

Impuestos = 15% del costo del equipo.

Fletes = 10% del costo del equipo.

Seguros = 6% del costo del equipo.

Contingencias = 15% del costo del equipo.

Modulo de construcciones o instalaciones industriales.- Este modulo comprende todos los costos que se generan durante la construcción o instalación industrial, tales como cimentaciones, instrumentación, construcción de oficinas, cuarto de control, instalaciones eléctricas, hidráulicas, tubería, pavimentación, etc.

La estimación del costo de instalación para una planta de re-refinación de aceites lubricantes usados, se obtuvo de acuerdo al volumen de producción, el cual fue 4539766.35 Dólares para una base de 1994.<sup>3</sup>

---

<sup>2</sup> " Popper Modern Cost Engineering Techniques " correspondiente a las técnicas para estimación de costos de capital del método de Kenneth M Guthrie.

<sup>3</sup> Fuente costo de instalación obtenido a partir del Anteproyecto de Norma para el Manejo de Aceites lubricantes Usados I.C.F. Servicios ambientales, 1994.

Modulo de costo de terreno.- este modulo toma en cuenta factores como son el registro del terreno, desagüe, drenaje, entre otros, los cuales nos generan los costos del sitio.

El costo total del terreno es: 1258826.40 Dólares para una base de 1994.

El costo total de capital es: 9393541.20 Dólares para una base de 1994.

( Inversión fija).

**2. Costos de Operación y Mantenimiento.**- Los costos de operación y mantenimiento generalmente incluyen trabajo de operación, mantenimiento, servicios auxiliares, energía y reemplazo de químicos o materiales, etc, los cuales se determinaran en base a los siguientes factores.

Trabajo.

Energía.

Misceláneos (H<sub>2</sub>O, Reactivos, etc.)

La actualización de los mismos se realizó utilizando, índices de salarios, costos de energía, entre otros.

El costo total de operación y mantenimiento, involucrando tanto equipo de proceso como de control es: 231679.6 Dólares para una base de 1994.

**3. Actualización de Costos para 1995 en Dólares.-** Para llevar acabo la actualización de los costos obtenidos en dólares de 1994 a dólares de 1995 fue necesario utilizar indicadores económicos.<sup>4</sup>

Costo total de capital (inversión fija) es: 9758462.8 Dólares para 1995.

Costo total de operación y mantenimiento es: 158135.5841 Dólares para 1995.

Costo total de energía es: 16455.385 Dólares para 1995.

Costo total de misceláneos es: 66146.21 Dólares para 1995.

**4. Conversión de Dólares a Pesos.-** Para la conversión de dólares a pesos, se tomo en cuenta la paridad de peso-dolar para el año de 1995.<sup>5</sup>

ACTIVIDAD	DOLARES 1995	PESOS 1995
<b>Costo de Inversión Fija</b>	9758462.8	75239700
<b>Costo de Operación y Mantenimiento</b>	231679.6	1786296.1
<b>Misceláneos</b>	66146.21	510000.51
<b>Energía</b>	16455.385	126874.31
<b>Trabajo</b>	158135.58	1219256.98

La paridad peso-dolar reportada en Diciembre de 1995 es: 7.7102 pesos.

<sup>4</sup> El costo se obtuvo utilizando los indicadores económicos de las siguientes fuentes:

- Marshall  
Swift Equipment Cost Index  
Chemical Engineering, May, 1995.
- Handling Risks  
Cost of control options for Reducing Waste Oil  
PEDC, Enviromental Inc. Draft Report, May 1984.
- Servicios Ambientales I.C.F.

<sup>5</sup> Esta información se obtuvo de la siguiente fuente:

- Indicadores Económicos  
Banco de México, Dic. 1995.

**5. Estimación del Valor Presente de Costos por la Vida del Equipo.-** El siguiente paso fue convertir los costos a su valor presente con una base después de impuestos. Este paso es necesario ya que los diferentes costos ocurren en distintos tiempos y tienen distintas consecuencias de impuestos. Normalmente los costos de capital deben ser depreciados al pasar el tiempo; pueden no ser depreciados sobre la vida gravable del equipo (lo cual es generalmente menor a la vida estimada del equipo). Los costos laborales de energía y otros, en los que se incurre cada año de vida del proyecto, son generalmente deducibles en cuestiones de impuestos sobre ingresos.

El propósito de estimar el valor presente de todos los costos en los que se incurre durante la vida del proyecto es el de colocarlos en un contexto en común para que puedan ser evaluados juntos.

Para este análisis se han considerado 3 tipos de flujo de caja; costos de capital inicial, costos anuales e impactos de impuestos de depreciación. Dentro de este contexto, la depreciación no es un costo adicional para la instalación industrial, sino es un proceso utilizado para distribuir el costo de la instalación del equipo durante la vida del equipo. La depreciación no requiere de pagos nuevos de parte de la empresa, sino que permite al dueño de la empresa recuperar parte de los costos de capital deduciendo de los impuestos de ingresos.

#### Valor Presente de los Costos de Capital

Para este análisis se supone que el valor presente de los costos de capital o inversión fija es generalmente igual al costo del equipo. También se ha supuesto que el desembolso inicial de capital no puede ser reducido de impuestos, sin embargo puede ser depreciado.

### Valor Presente de Costos Anuales de Operación y Mantenimiento.

Para este análisis se ha supuesto, que generalmente se incurre en los costos anuales de operación y mantenimiento cada año de vida del proyecto, Por tal motivo se ha supuesto que los costos permanecen uniformes en términos reales: es decir la cantidad total de trabajo o la cantidad total de químicos, refacciones o abastecimientos requeridos permanecen iguales año con año. Finalmente se ha supuesto que los costos de operación y mantenimiento son deducibles de impuestos sobre ingresos.

Para calcular el costo después de impuestos se ha multiplicado cada pago anual por el factor  $(1 - \text{Tasa de Impuesto})$  usando una tasa de impuesto de 34%.<sup>6</sup>

### Valor Presente de Costos de Depreciación.

La depreciación es una técnica usada para reconocer el costo del equipo a través del tiempo, mas que deducirlo a través del tiempo en el año en que se incurrió en el costo. La depreciación no requiere desembolsos adicionales, si no que proporciona a la compañía un mecanismo para reconocer los costos de capital para fines de impuestos y para reducir sus cuentas de impuestos. En consecuencia, la depreciación tiene el efecto de incrementar el dinero disponible para una compañía.

Para calcular el costo de depreciación, se ha supuesto que todos los costos de capital pueden ser depreciados con fines de impuestos.

El método que se utilizara para llevar a cabo la depreciación es el de doble declinación ( combinación de una depreciación acelerada-línea recta ).

---

<sup>6</sup> Fuente: Ley de Impuestos sobre la Renta ( I.S.R. ), según art. 10.

El plan de depreciación consistirá en depreciar un 20% para los primeros 5 años de la vida útil del equipo y un 10% de depreciación para la vida restante del equipo, considerando una vida útil del equipo de 10 años.

**Análisis de depreciación.**

AÑO DE DEPRECIACION	DEPRECIACION (pesos)
0	75239700
1	60191760
2	48153408
3	38522726
4	30818181
5	24654545
6	22189090
7	19970181
8	17973163
9	16175847
10	14558262

A continuación se muestra el valor presente de costos después de impuestos.



CAPITAL	75239700
TRABAJO	8047096.07
ENERGIA	837370.44
OTROS	3366003.3
DEPRECIACION	-14558262 <sup>7</sup>
TOTAL (pesos)	72931908

**6. Estimación del Costo Anual Equivalente.** El siguiente paso fue convertir el valor presente de los costos a una base anual equivalente en términos a impuestos. En este paso desarrollamos una estimación del costo uniforme en el cual la compañía pudiese incurrir cada año que tuviera al mismo valor presente que los costos actuales.

La fórmula para convertir un pago de totalidad (es decir el valor presente) en una serie de pagos uniformes equivalentes es :

$$\text{Pago} = \text{valor presente } i / 1 - (1 + i)^{-t}$$

donde:

i = tasa promedio anual de interés real

t = números de años

También se convirtió el costo anual antes de impuestos a su base anterior de impuestos.

$$\text{Costo Anual Anterior a Impuestos} = \frac{\text{Costo Anual Después de Impuestos}}{(1 - \text{tasa de impuestos})}$$

<sup>7</sup> Los números negativos representan una reducción de costo para la instalación industrial.

El costo anual Equivalente se muestra a continuación ( pesos )

Costo Anualizado Después  
de Impuestos (C.A.D.I.)

7309245.6

Costo Anualizado Antes  
de Impuestos<sup>b</sup> (C.A.A.I.)

11074615

**7. Determinación del Costo Equivalente.-** Para determinar el costo equivalente por litro se divide el costo anual uniforme entre el volumen anual de lubricantes usados procesados.

C. A. A. I.

Costo Equivalente =  $\frac{\text{C. A. A. I.}}{\text{Volumen Anual De Lubricantes Procesados}}$

Costo Equivalente =  $11074615 / 132842462.9 = s\ 0.833/\text{lit. (costo de producción)}$

<sup>b</sup> La tasa de interés real es 0.0004, esto es tomando en cuenta que la inflación anual para 1995 fue de 61.966 %

## **5.2 Punto de Equilibrio.**

Para llevar acabo este análisis se tomara en cuenta lo siguiente:

### **Costos Totales:**

Los costos totales están integrados por los costos fijos y los costos variables. Para nuestro análisis, los costos fijos permanecen constantes, mientras que los costos variables (operación y mantenimiento) tendrán un aumento anual en los precios con respecto a la inflación acumulada en los años a futuro.

De acuerdo a el análisis gráfico, se toma en cuenta una inflación promedio internacional de 9%, ya que es difícil pronosticar actualmente la inflación en México debido a la inestabilidad económica por la que atraviesa nuestro país.

**Costos Totales = 87490170 ( Inflación )**

### **Costos Fijos:**

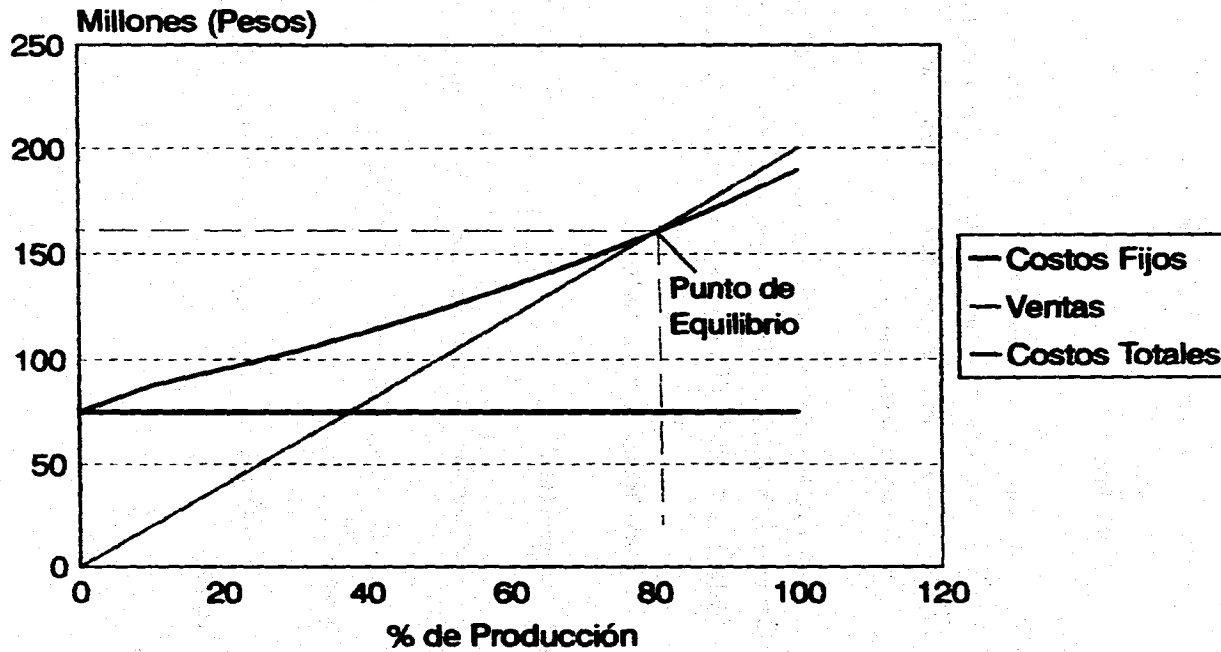
Los costos fijos permanecen constantes y equivalen a 85% de la inversión total.

Ventas .- Estas parten de cero y su aumento es constante de acuerdo al aumento de la producción.

A continuación se muestra el comportamiento gráfico donde se encuentra el punto de equilibrio:

# Curva de Punto de Equilibrio

## Análisis Económico



De acuerdo a el análisis gráfico de equilibrio realizado, se observa que el equilibrio entre ventas y costos totales, se obtiene cuando la producción aumenta cerca de un 100%, esto significa que el tiempo de recuperación de la inversión es amplia (aproximadamente 8 años), sin embargo la re-regeneración de Aceites Lubricantes Usados generaria beneficios Sociales y Económicos .

## CONCLUSIONES

Los objetivos planteados del proyecto han sido cubiertos de manera satisfactoria, por lo tanto se puede concluir lo siguiente:

Se observó que la demanda de los aceites lubricantes industriales no es cubierta en su totalidad por parte del país, a pesar de que la generación actual de lubricantes usados disponibles para reciclaje es muy amplio, lo que indica la existencia de un gran potencial de abastecimiento de lubricantes usados como materia prima; por lo que se requiere dar mayor impulso a la re-regeneración de aceites lubricantes industriales para satisfacer las necesidades sociales que se generan en México.

Por lo que respecta a los procesos de re-refinación de aceites lubricantes usados, el proceso que ofrece mayores ventajas comparativas para el reciclado de aceites usados es el proceso I.F.P., esto es debido a la flexibilidad, disponibilidad de materias primas, eficiencia en la recuperación, alta calidad del producto, menor generación de desechos contaminantes, competitividad con respecto a un aceite nuevo y bajos costos de operación e inversión. Se concluye también que los desechos contaminantes generados a través del proceso de re-refinación deben ser sometidos a tratamiento, con el fin de cumplir con las normas ambientales.

Por otra parte el parque industrial (Valle de Cuernavaca CIVAC) ubicado en el estado de Morelos fue el más favorable, debido a que éste presenta mayores ventajas y beneficios para la ubicación de la instalación industrial.

Así mismo la evaluación económica origina resultados favorables para la re-refinación de aceites lubricantes industriales usados, por lo que se concluye que el proyecto proporcionará beneficios sociales y económicos.

Los beneficios sociales se verán reflejados de manera inmediata reduciendo los problemas de contaminación como son: desechos aceitosos, contaminación del agua, mala disposición y disminución de riesgos causados por el mal almacenamiento de los mismos.

Por otro lado el aspecto económico se ve afectado por el tiempo amplio de recuperación de capital, esto implica que ningún inversionista estaría dispuesto a invertir en un proyecto de esta naturaleza. Sin embargo si el proyecto estuviese respaldado por el gobierno sería rentable, a pesar del tiempo de recuperación, ya que se requeriría de 8 años; de los cuales los 5 primeros años serían de concientización (aceptación de un aceite re-refinado con respecto a un aceite nuevo) y los 3 restantes serían de producción a la alta permitiendo sólo entonces un equilibrio económico, lo cual nos lleva a la rentabilidad del mismo. Esto traería como resultado ahorro de energéticos, disminución de importaciones e ingresos económicos para el desarrollo del país.

## **BIBLIOGRAFIA**

-Handbook. Book Lubrication Theory and Practice of Simbology.

Vol. I Y II.

E. Richard Bouser.

Edit. C.R.C. 3 Inc.

1983.

-Enciclopedia de la Tecnología Química.

Raymond E. Kirk.

EDIT. Hispano-Americana.

Primera edición.

Vol. 7-12.

1962.

-Procesos para Tratamiento de Aceites.

Industrializadora de Aceites, S.A. de C.V.

Querétaro, Querétaro; Septiembre 1988.

-Principies of The Lubrication.

The Lubrizol Corporation.

Industrial Products Group.

1990.

-Principios de la Lubricación.

ESSO.

Publicación de EXXON Company U.S.A.

1988.



-Lubricación de Compresores.

ESSO.

Publicación de EXXON Company U.S.A.

1988.

-Teoría de los Lubricantes.

KLUBER de México S.A de C.V.

1992.

-La Industria de los Lubricantes en México.

Secretaría de Energía (SE).

Comisión Nacional de Petróleo Gas y Petroquímica.

1992.

-Anteproyecto para la Normatividad de Aceites Usados.

ICF Kaiser Servicios Ambientales S.A de C.V.

1994.

-Encuesta Industrial Mensual.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. (INEGI).

1992-1994.

-Estadísticas del Comercio Exterior de México.

Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática. (INEGI).

Volumen XVII, Número 11.

Enero-Noviembre 1994.

- Estadísticas Básicas de Comercio y Fomento Industrial.  
Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI).  
1983-1988.
  
- Anuario Estadístico de los Estados Unidos Mexicanos.  
Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática. (INEGI).  
1988-1992.
  
- Avance de Información Económica  
(Índice de Volumen Físico de la Actividad Industrial)  
Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática. (INEGI).  
Febrero, 1994.
  
- Mexicana de Lubricantes S.A. de C.V.  
PEMEX. Primera Asamblea de Trabajo, Guadalajara.  
Abril, 1993.
  
- Memoria de Labores de PEMEX.  
1993-1994.
  
- Anuario Estadístico de PEMEX  
1994.
  
- Anuario Estadístico de la Industria Química Mexicana. (ANIQ).  
Años 1985-1994.
  
- Directorio de Empresas de la Industria Petroquímica Mexicana.  
Secretaría de Energía (SE).  
1990.

-Directorio de Parques, Puertos, Corredores y Zonas Industriales.

Comisión de Inversiones, Planeación y Zonas Industriales.

Canacindra-Nafin.

México. D.F. Marzo de 1993

-Indicadores de Comercio.

Banco de México

1985-1993.

-Índice de Precios.

Banco de México

Dirección de Investigación Económica 1994.

-Estudio de Riesgo e Impacto Ambiental.

SEDESOL. Junio, 1992.

-Normas Técnicas Ecológicas para Diversos Métodos de

Tratamiento y Disposición Final de Residuos.

Instituto Nacional de Ecología (INE), Dirección General de  
Normatividad y Regulación Ecológica.

-Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la

Protección al Ambiente en Materia de Residuos Peligrosos.

Noviembre 25, 1988.

-Reglamento para el Transporte Terrestre de materiales y

residuos Peligrosos.

-Medidas de Salud y Seguridad en el Manejo de Lubricantes.

Higiene y Seguridad

Vol. XXXVI No. 8 Agosto 1995.

-Normas Oficiales Mexicanas.

Octubre 22, 1993.

-DAVID M. Himmelblaw.

Balances de Materia y Energía.

4a. Edición.

Edit. Prentice Hall.

México, 1982.

-Alan S.Foust.

Principios de Operaciones Unitarias.

Edit. Continental, S.A.

España, 1989.

-Donald Q. Kern.

Procesos de Transferencia de Calor.

Edit Continental, S.A.

México, 1981.

-Charles D. Holland.

Fundamentos de Destilación de Mezclas Multicomponentes.

Edit. Limusa Noriega Editores.

México, 1992.

-Howard F. Rase, M. H. Barrow.

Ingeniería de Proyectos(Para plantas de Proceso).

Edit. Continental.

México 1981.

-Lloyd E. Brownell and Edwin H. Young.

Process Equipment Design (Vessel Design)

Library of Congress.

E.U. 1995.

-Nicholas P. Chopey and Tyler G. Hicks P.E.

Manual de Cálculos de Ingeniería Química.

Edit. Mc Graw-Hill.

México, 1988.

-Ernest E. Ludwig.

Applied Process Design For Chemical and Petrochemical Plants.

Volumen 1 y 3, Segunda Edition

Edit. Gulf Publishing Company.

E.U., 1979.

-Michael J. Matteson and Clyde Orr.

Filtration, Principles and Practices.

Edit. Marcel Dekker, INC.

2a Edición.

New York, 1987.

-Rip Weaver.

Process Piping Design

Tomo 1 y 2

Edit. Gulf Publishing Company

E.U., 1973

-Codigo ASME Sección VIII División I

Boiler and Pressure Vessels Code

July 1974.

-Robert H. Perry

Manual del Ingeniero Químico.

Tomo 1 y 5. Sexta Edición.

Edit Mc Graw-Hill.

México, 1992.

-Crane.

Flow of Fluids Through Valves, fittings and pipe.

New York.

-Herbert Popper.

Modern Cost-Engineering Techniques.

Edit. Mc Graw-Hill

E.U., 1970.

-William M. Vatauk

A Potpourri of Equipment Prices. Chemical Engineering

Vol. 102 No 8 Pag. 68-76 August. 1995.

-Ulrich.

Diseño y Economía de los Procesos de Ingeniería.

Edit. Interamericana.

México, 1986.

-Leonard Kazmier., Alfredo Diaz Mata.

Estadística(Aplicada a la Administración y Economía).

Edit. Mc Graw-hill.

México, 1991.

-Cal. H. Hollan F.

Microeconomía.

Edit. Interamericana.

México 1987.

-Dornbush R. Fisher.

Macroeconomía.

Edit. Mac Graw-Hill.

México 1990.

-Nick Chadha.

Waste Reduction. Chemical Engineering Progress

Vol. 90 No 11 November 1994.

-Christopher J. Sowa.

Explore Waste Minimization Via Process Simulation

Vol. 90 No 11 November 1994.

-O.K. Bhan, W.P. Tai, D.W. Brinkman.  
Hydrotreat Used Lube Oil. Hydrocarbon Processing  
Vol. 65 April 1986.

-Heinz P. Bloch, John B. Williams.  
Synthetic Lubricants Measure up to Claims.  
Chemical Engineering, Vol. 102 No. 1 January 1995.

-R. E. Linnard, L. M. Henton.  
Re-Refine Waste Oil With Prop.  
Hydrocarbon Processing.  
Vol. 86. September 1979.

-Reginald Berry.  
Re-refining Waste Oil.  
Hydrocarbon Processing  
Vol. 86 No. 9 April 1979.

-Reginald Berry.  
Oil Re-refining Route is Set For Two Plants  
Chemical Engineering,  
Vol. 89 No. 13 Octobre 1981.

-William M. Vatavuk.  
A Potpourri of equipment prices.  
Chemical Engineering  
Vol. 102 No. 8 August 1995.



-Galen Wilke and Branco Pecar.  
Equipment costs : Donot ignore tomorrow.  
Chemical Engineering.  
Vol. 102 No. 8 August 1995.

-Diario Oficial de la Federación  
(organo de gobierno constitucional de los Estados Unidos Mexicanos)  
México D. F. Diciembre de 1995.

## **APENDICE**

### **ANÁLISIS DE AJUSTE DE CURVAS.**

A continuación se llevara acabo un análisis del comportamiento histórico de los aceites básicos e industriales, con el fin de obtener un modelo que nos permita realizar proyecciones a futuro.

Este análisis consistirá en obtener la proyección a futuro del comportamiento de los aceites básicos como aceites de tipo industrial. El análisis estadístico se llevara acabo mediante las técnicas de regresión, como son: lineal, logaritmica, exponencial y polinomial. Se utilizo el método de minimos cuadrados para los diferentes modelos estadísticos.

El análisis estadístico se realizó de acuerdo a los datos que se han obtenido durante el transcurso de los años.

La selección del mejor modelo de ajuste de regresión se llevara acabo mediante el criterio de coeficiente de determinación (factor que nos indica la variabilidad o error de los datos con respecto a el modelo), como información adicional se reporta el coeficiente de correlación (factor que nos muestra si los datos se relacionan linealmente); si  $r^2$  es cercana a la unidad, entonces el modelo seleccionado es el que presenta mejor ajuste.

Posteriormente se realizo un análisis gráfico de los datos históricos con los diferentes modelos para verificar la elección del modelo que mas se ajusta.

A continuación se llevara acabo los diferentes análisis estadísticos del mercado de aceites básicos y aceites industriales:

**Análisis de la producción de aceite básico.**

Modelo logarítmico:

$$Y = -51466.753020 + 6830.589130 \cdot \ln X$$

$$r^2 = 0.1137$$

$$r = 0.337317$$

Modelo Exponencial:

$$Y = 2.857697E-5 \cdot (1.008323)^X$$

$$r^2 = 0.1145$$

$$r = 0.338523$$

Modelo Polinomial: ( primer grado )

$$Y = -6371.030303 + 3.419480 \cdot X$$

$$r^2 = 0.1134$$

$$r = 0.336890$$

Modelo Polinomial: ( segundo orden )

$$Y = -4774.9930 + 1.7469 \cdot X + 0.0004 \cdot X^2$$

$$r^2 = 0.1133$$

$$r = 0.336697$$

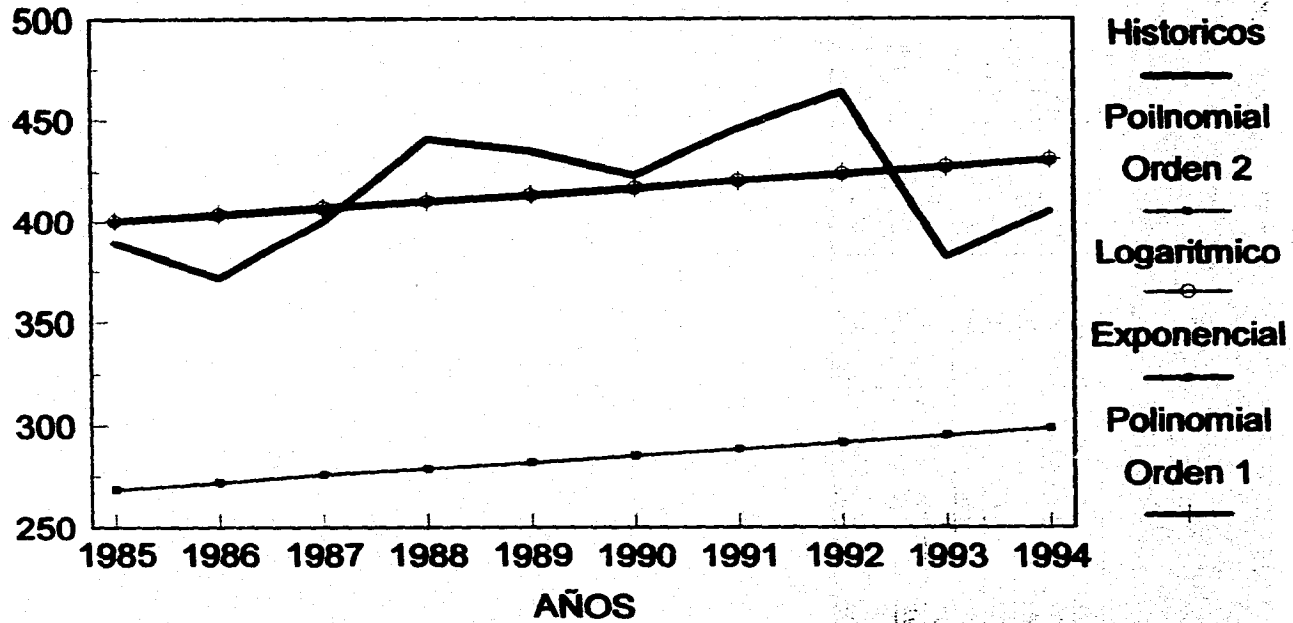
A continuación se muestra los datos históricos con los respectivos modelos de ajuste, así como el comportamiento gráfico de los mismos.

### Producción de Aceites Básicos.

INOS	Historia millones de litros	Logística millones de litros	Exportación millones de litros	Poliolefinas millones de litros	Poliolefinas No poliolefinas millones de litros
<b>1985</b>	388.8034	400.4662	399.9135	400.7652	268.6935
<b>1986</b>	371.3943	403.9065	403.2422	404.1767	272.0288
<b>1987</b>	400.4095	407.3450	406.5987	407.5882	275.8649
<b>1988</b>	441.0377	410.7817	409.9831	410.9997	278.7018
<b>1989</b>	435.2277	414.2168	413.3957	414.4112	282.0395
<b>1990</b>	423.6216	417.6501	416.8367	417.8227	285.3780
<b>1991</b>	446.8338	421.0817	420.3063	421.2341	288.7173
<b>1992</b>	464.8338	424.5116	423.8048	424.6456	292.0574
<b>1993</b>	383.0004	427.9397	427.3324	428.0571	295.3983
<b>1994</b>	406.2125	431.3661	430.8894	431.4686	298.7400

# PRODUCCION DE ACEITES BASICOS

PRODUCCION (MILLONES DE LITROS)



Como se puede observar en la gráfica anterior el comportamiento del modelo logarítmico, exponencial y polinomial de orden uno, es muy similar, sin embargo el coeficiente de determinación más aceptable es el modelo exponencial. Por lo tanto este es el modelo elegido para llevar a cabo las proyecciones.

#### **Análisis de la Importación de Aceite Básico.**

##### **Modelo Logarítmico:**

$$Y = -297094.4650 + 39144.0147 \cdot \ln X$$

$$r^2 = 0.3222$$

$$r = 0.567657$$

##### **Modelo Exponencial:**

$$Y = 4.906821E-65 \cdot 1.14022434^X$$

$$r^2 = 0.1796$$

$$r = 0.423800$$

##### **Modelo Polinomial: (Primer orden)**

$$Y = -24732.519960 + 12.557033 \cdot X$$

$$r^2 = 0.3222$$

$$r = 0.567693$$

##### **Modelo Polinomial: (Segundo orden)**

$$Y = -42759.61 + 23.5750 \cdot X - 0.0010 \cdot X^2$$

$$r^2 = 0.3222$$

$$r = 0.567690$$

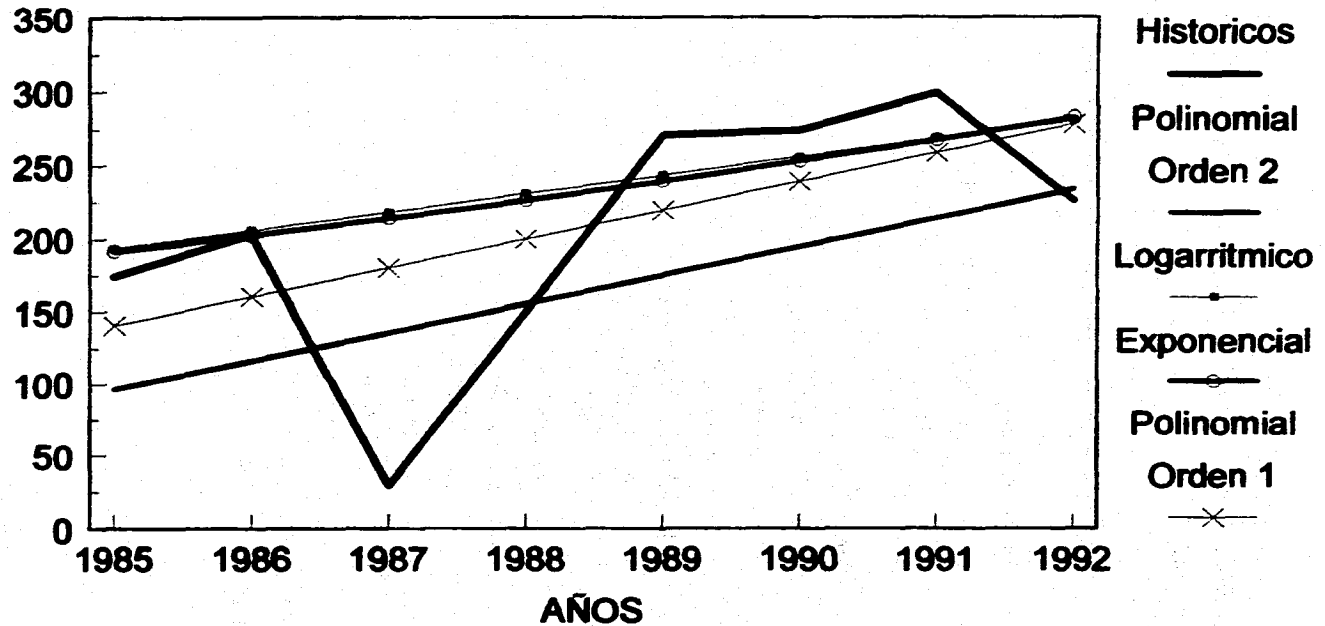
A continuación se muestra la tabla y el comportamiento gráfico de los modelos anteriores con respecto al comportamiento histórico.

### Importación de Aceite Básico

Año	Historial millones de dólares	Exportación millones de dólares	Importación millones de dólares	Financiamiento millones de dólares	Producción millones de dólares
<b>1985</b>	174.0909	193.2045	191.3850	140.8980	96.5400
<b>1986</b>	203.1062	205.7830	202.3972	160.5705	116.1440
<b>1987</b>	29.0151	218.3553	214.0430	180.2436	135.7460
<b>1988</b>	-----	230.9212	226.3590	199.9164	155.3460
<b>1989</b>	270.7710	243.4809	239.3835	219.5692	174.9440
<b>1990</b>	274.2840	256.0342	253.1575	239.2620	194.5400
<b>1991</b>	299.4110	268.5812	267.7241	258.9348	214.1340
<b>1992</b>	226.2940	281.1218	283.1288	278.6067	233.7260

# IMPORTACION DE ACEITES BASICOS

PRODUCCION (MILLONES DE LITROS)





Como se observa en la gráfica el modelo que mas se ajusto fue el modelo polinomial de primer orden, ya que su coeficiente de determinación es el mas cercano a la unidad.

### **Análisis del Consumo Nacional Aparente de Aceite Básico.**

Modelo Logaritmico:

$$Y = -507490.0687 + 66897.58072 \cdot \ln X$$

$$r^2 = 0.4459$$

$$r = 0.667803$$

Modelo Exponencial:

$$Y = 5.544965E-46 \cdot 1.057192198^X$$

$$r^2 = 0.3951$$

$$r = 0.628640$$

Modelo Polinomial: (Primer orden)

$$Y = -66310.63333 + 33.6518869 \cdot X$$

$$r^2 = 0.4460$$

$$r = 0.667929$$

Modelo Polinomial: (Segundo orden)

$$Y = -97104.66 + 65.1224 \cdot X - 0.0080 \cdot X^2$$

$$r^2 = 0.4458$$

$$r = 0.667747$$

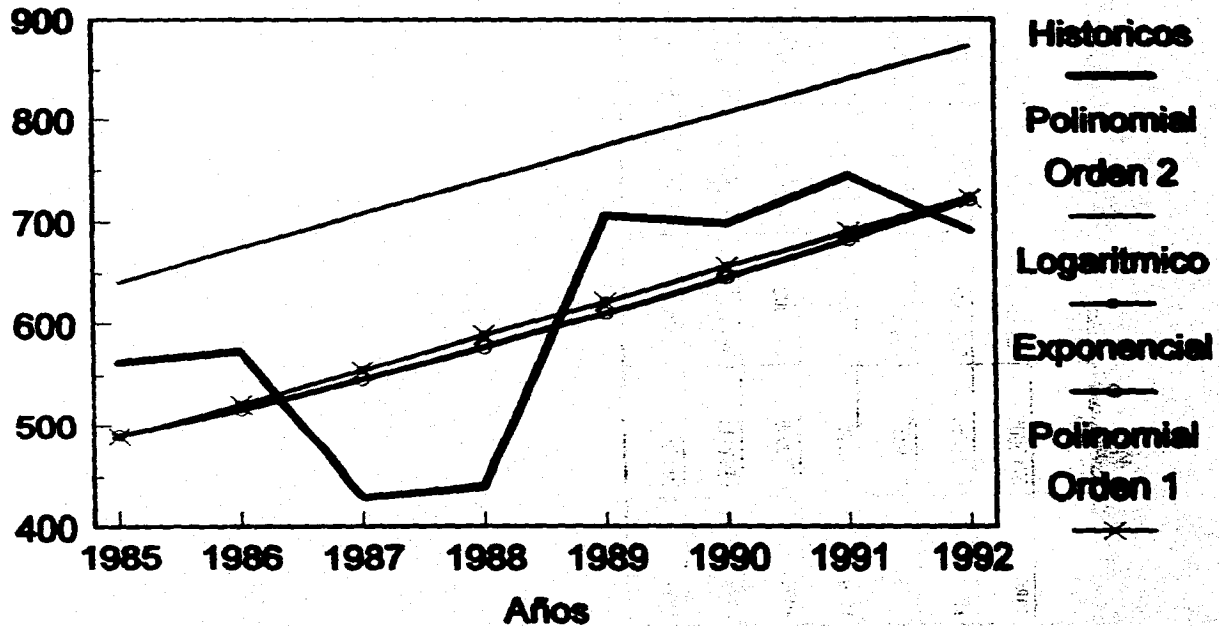
A continuación se muestra los datos históricos con los valores de los respectivos modelos y el comportamiento gráfico de estos.

### Consumo Nacional Aparente de Aceite Básico

<i>Años</i>	<i>Historicos</i> <i>millones de</i> <i>litros</i>	<i>Logaritmico</i> <i>millones de</i> <i>litros</i>	<i>Exponencial</i> <i>millones de</i> <i>litros</i>	<i>Polinomial</i> <i>Primer orden</i> <i>millones de</i> <i>litros</i>	<i>Polinomial</i> <i>Segundo</i> <i>millones de</i> <i>litros</i>
<b>1985</b>	562.8943	488.2943	489.2022	488.3621	641.5040
<b>1986</b>	574.5006	521.9873	517.1808	522.0140	674.8564
<b>1987</b>	429.4246	555.6634	546.7595	555.6659	708.1968
<b>1988</b>	441.0377	589.3226	578.0299	589.3178	741.5192
<b>1989</b>	705.9987	622.9648	611.0887	622.9697	774.8256
<b>1990</b>	697.9056	656.5902	646.0382	656.6216	808.1160
<b>1991</b>	746.2448	690.1986	682.9065	690.2734	841.3904
<b>1992</b>	691.1278	723.7902	722.0480	723.9253	874.6488

# Consumo Nacional de Aceite Básico

Producción (millones de litros)



El modelo que más se ajustó al comportamiento histórico, es el modelo polinomial de orden uno, debido a que su coeficiente de determinación fue el más elevado con respecto a los otros, de tal manera que este será el modelo a utilizar en la proyección a futuro.

### **Análisis de la producción de Aceite Terminado de tipo industrial**

Modelo Logaritmico:

$$Y = -154741.12770 + 20391.36214 \cdot \ln X$$

$$r^2 = 0.9486$$

$$r = 0.973991$$

Modelo Exponencial:

$$Y = 2.350415E-66 \cdot 1.081608838 \cdot X$$

$$r^2 = 0.9277$$

$$r = 0.963196$$

Modelo Polinomial: (Primer orden)

$$Y = -20259.54705 + 10.255754 \cdot X$$

$$r^2 = 0.9486$$

$$r = 0.974000$$

Modelo Polinomial: (Segundo orden)

$$Y = -29838.870 + 20.076 \cdot X - 0.0025 \cdot X^2$$

$$r^2 = 0.9484$$

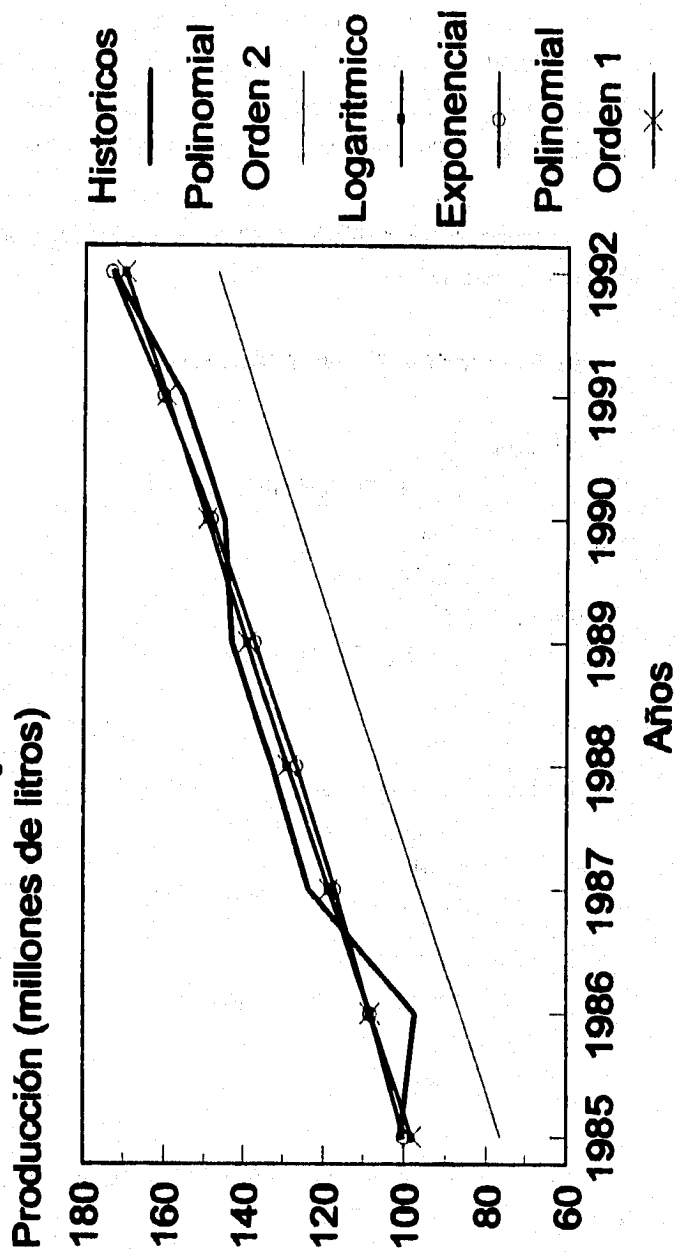
$$r = 0.973887$$

A continuación se muestra el comportamiento histórico y gráfico de los modelos anteriores.

**Producción Nacional de Aceites Terminados de Tipo Industrial**

<b>Año</b>	<b>Hasa (en millones de libras)</b>	<b>Leadura (en millones de libras)</b>	<b>Esencia (en millones de libras)</b>	<b>Parafina (en millones de libras)</b>	<b>Productos especiales (en millones de libras)</b>
<b>1985</b>	101.9510	98.1153	100.1257	98.1247	78.3710
<b>1986</b>	97.3530	108.3854	108.2969	108.3804	86.4344
<b>1987</b>	123.6950	118.6504	117.1349	118.6362	96.4932
<b>1988</b>	132.7022	128.9102	126.6941	128.8920	106.5468
<b>1989</b>	143.0241	139.1649	137.0335	139.1477	116.5954
<b>1990</b>	144.9360	149.4143	148.2166	149.4035	126.6390
<b>1991</b>	155.4770	159.6587	160.3124	159.6592	136.7634
<b>1992</b>	172.9112	169.8979	173.3953	169.9150	146.7112

# Producción Nacional de Aceite Terminado Tipo Industrial



De acuerdo a la gráfica anterior se observa la similaridad que existe entre los modelos logarítmico, exponencial y polinomial de primer orden a pesar de que su coeficiente de determinación es muy cercano entre ellos el modelo que más se ajusta es el polinomial de primer orden que tiene un coeficiente de determinación igual a 0.9486.

Este modelo es el que se utilizara para hacer las proyecciones a futuro de aceite terminado de tipo Industrial.

#### **Análisis de la Importación de Aceite Terminado.**

Modelo Logarítmico:

$$Y = -2353.862374 + 310.401016 \cdot \ln X$$

$$r^2 = 0.1036$$

$$r = 0.321943$$

Modelo Exponencial:

$$Y = 1.517174E-35 \cdot 1.041798226^X$$

$$r^2 = 0.0892$$

$$r = 0.298814$$

Modelo Polinomial:(Primer orden)

$$Y = -307.175124 + 0.156323 \cdot X$$

$$r^2 = 0.1039$$

$$r = 0.322399$$

Modelo Polinomial:(Segundo orden)

$$Y = -423.7683 + 0.2759 \cdot X + 0.0000 \cdot X^2$$

$$r^2 = 0.1037$$

$$r = 0.322042$$

A continuación se observan los datos históricos con los diferentes modelos analizados y su correspondiente gráfica.

### Importación de Aceite Terminado de tipo industrial

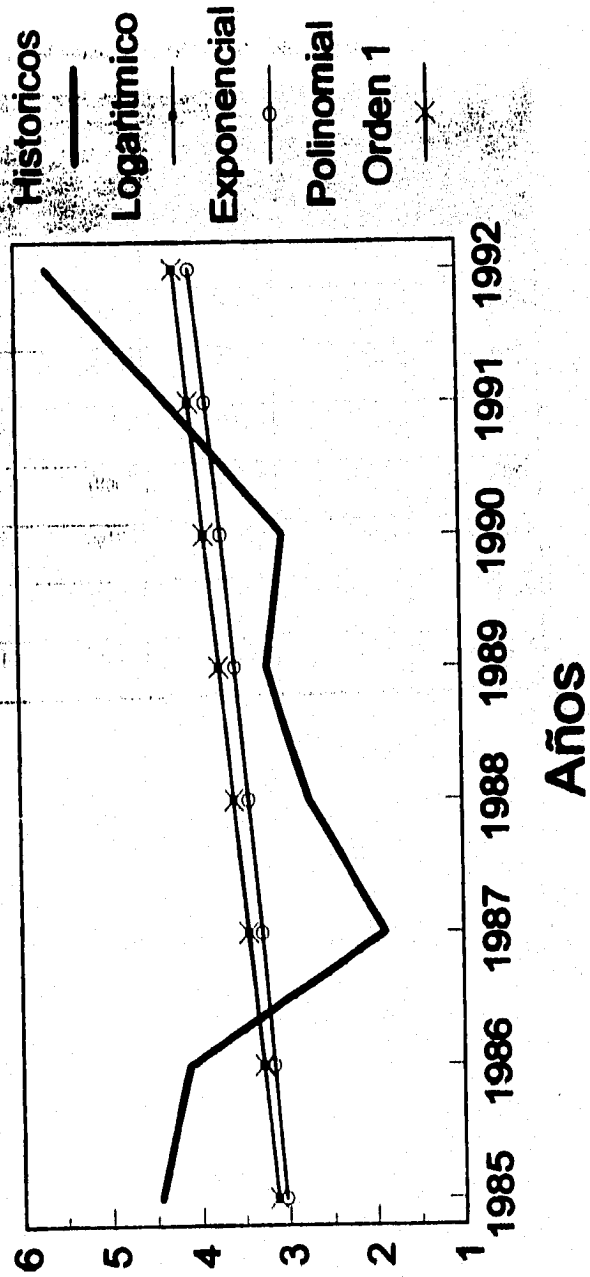
Año	Estados Unidos de América	Canadá	Europa	Países de América Latina	Países de Asia
1985	4.4543	3.1286	3.0304	3.1274	121.4429
1986	4.1300	3.2850	3.1571	3.2837	121.7163
1987	1.8835	3.4422	3.2890	3.4400	121.9897
1988	2.7504	3.5974	3.4265	3.5963	122.2631
1989	3.2076	3.7535	3.5697	3.7526	122.5365
1990	3.0032	3.9095	3.7190	3.9090	122.8099
1991	4.3120	4.0655	3.8744	4.0653	123.0833
1992	5.6551	4.2219	4.0363	4.2216	123.3567



# Importación de Aceite Terminado

## Tipo Industrial

Producción (millones de litros)



Analizando los diferentes modelos de ajuste de los datos históricos y observando la gráfica anterior se concluye que el modelo que más se ajusta a los datos de importación de lubricantes Industriales, es el modelo polinomial de orden uno. Cabe mencionar que en la gráfica anterior no se muestra la curva de orden dos, debido a que los valores salen del margen de los datos históricos de la Importación; siendo este el modelo que menos se ajusta a estos datos.

#### **Análisis del Consumo Nacional Aparente de Aceite Terminado.**

Modelo Logaritmico:

$$Y = -157095.0767 + 20701.7772 \cdot \ln X$$

$$r^2 = 0.9523$$

$$r = 0.975895$$

Modelo Exponencial:

$$Y = 4.906821E-65 \cdot 1.079972367^X$$

$$r^2 = 0.9389$$

$$r = 0.969005$$

Modelo Polinomial: (Primer orden)

$$Y = -20566.713070 + 10.412072 \cdot X$$

$$r^2 = 0.9524$$

$$r = 0.975925$$

Modelo Polinomial: (Segundo orden)

$$Y = -30232.870 + 20.320 \cdot X - 0.0025 \cdot X^2$$

$$r^2 = 0.9521$$

$$r = 0.975800$$

En la tabla siguiente se muestra el comportamiento histórico con los diferentes modelos analizados. Posteriormente se muestra el comportamiento gráfico de estos valores.

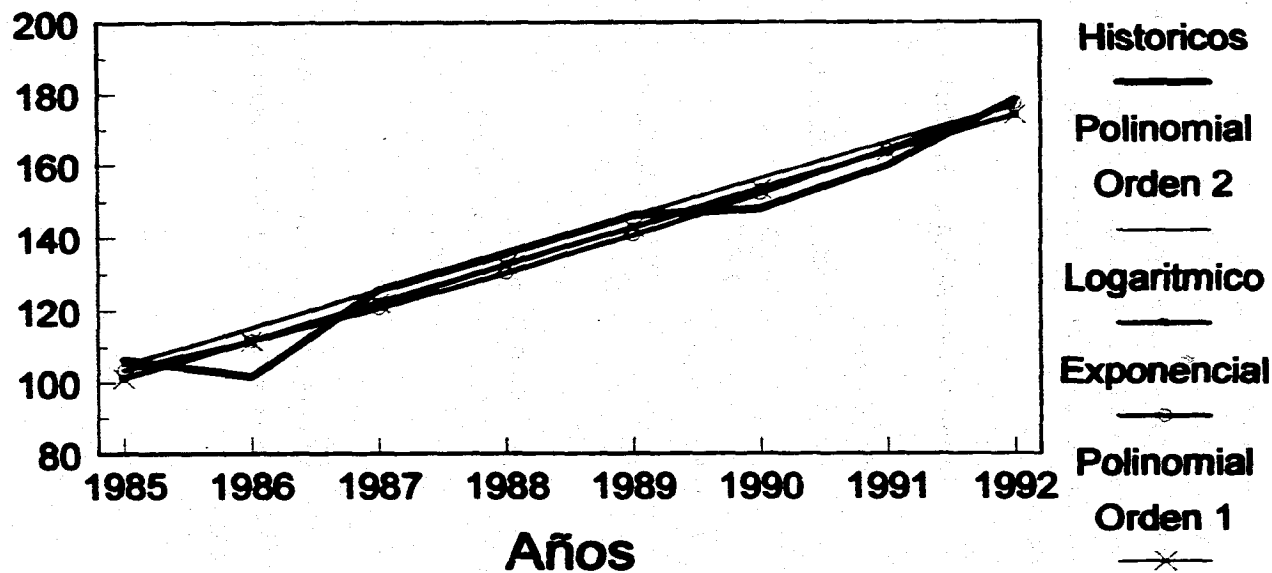
**Consumo Nacional Aparente de Aceite Terminado de Tipo Industrial**

Año	Estados Unidos	Canadá	Países Bajos	Francia	Reino Unido
<b>1985</b>	106.4054	101.2646	103.4897	101.2510	105.0550
<b>1986</b>	101.4831	111.6911	111.7660	111.6631	115.3016
<b>1987</b>	125.5793	122.1123	120.7042	122.0752	125.5434
<b>1988</b>	135.4527	132.5283	130.3573	132.4872	135.7804
<b>1989</b>	146.3317	142.9391	140.7822	142.8993	146.0126
<b>1990</b>	147.9392	153.3446	152.0409	153.3114	156.2400
<b>1991</b>	159.7890	163.7449	164.2000	163.7235	166.4626
<b>1992</b>	178.5663	174.1399	177.3315	174.1355	176.6804

# Consumo Nacional Aparente de Aceite Terminado

## Tipo Industrial

Producción (millones de litros)



El comportamiento de los diferentes modelos analizados nos muestra que los modelos logarítmicos y polinomial de primer orden son los que más se ajustan a los datos históricos del consumo aparente de lubricantes industriales, sin embargo el modelo seleccionado para realizar las proyecciones es el modelo polinomial de orden uno, por tener un coeficiente de determinación más aceptable con respecto al modelo logarítmico.

### **Análisis de la Producción de Aceite Re-refinado de Tipo Industrial.**

Análisis logarítmico:

$$y = -4631.926278 + 610.253666 \cdot \ln X$$

$$r^2 = 0.9948$$

$$r = 0.997420$$

Análisis Exponencial:

$$y = 2.224964E-65(1.078357)^{-X}$$

$$r^2 = 0.9904$$

$$r = 0.995196$$

Análisis Polinomial (orden uno)

$$y = -610.2126 + 0.3084 \cdot X$$

$$r^2 = 0.9959$$

$$r = 0.997967$$

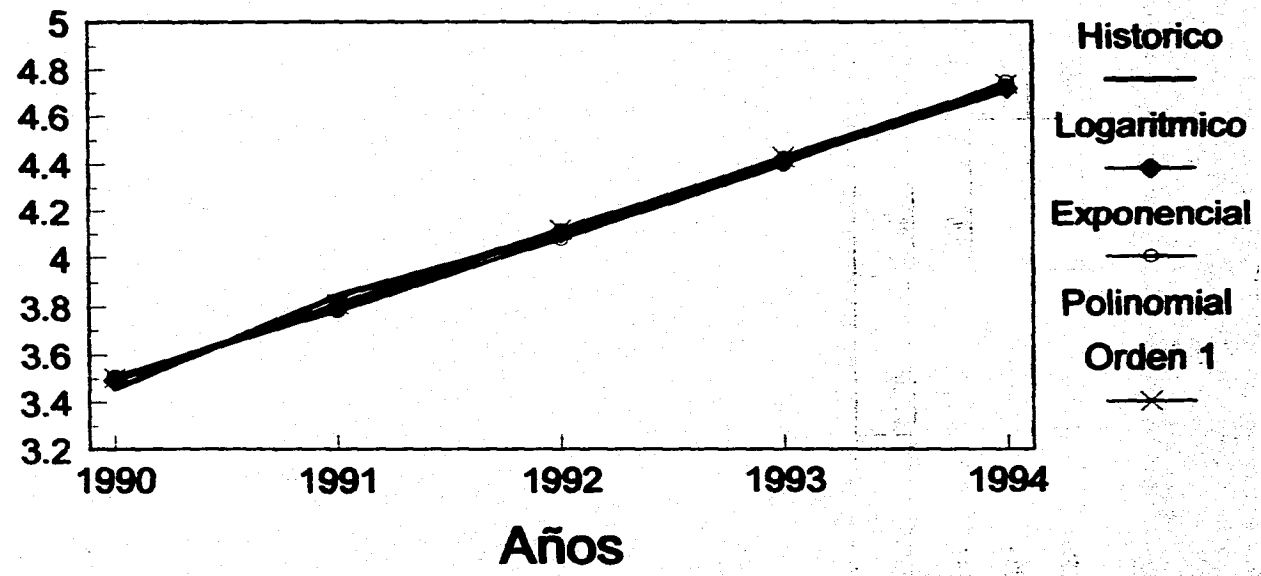
A continuación se muestra los valores tabulados de los distintos modelos analizados con respecto a los datos históricos. También se muestra su comportamiento gráfico.

### Producción de Aceite Re-refinado de Tipo Industrial

<i>Años</i>	<i>Historicos millones de litros</i>	<i>Logaritmico millones de litros</i>	<i>Exponencial millones de litros</i>	<i>Polinomial Primer orden millones de litros</i>
<b>1990</b>	3.4590	3.4933	3.5088	3.5034
<b>1991</b>	3.8480	3.7999	3.7838	3.8118
<b>1992</b>	4.0900	4.1064	4.0803	4.1202
<b>1993</b>	4.4110	4.4126	4.4000	4.4286
<b>1994</b>	4.7110	4.7188	4.7448	4.7370

# Producción de Aceite Lubricante Re-refinado de Tipo Industrial

Producción (millones de litros)



Observando las curvas de los diferentes modelos utilizados se puede decir que existe un comportamiento muy similar entre ellos, sin embargo el modelo que más se ajusta a los datos históricos es el modelo polinomial de orden de uno que tiene un coeficiente de determinación más cerca a la unidad, con respecto a los otros modelos.