

51/60/83

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
Facultad de Química

EVALUACION TECNICO-ECONOMICA PARA MEXICO, DE
DIFERENTES PROCESOS PARA REGENERAR ACEITES
LUBRICANTES USADOS

280

T E S I S
que para obtener el título de
INGENIERO QUIMICO
p r e s e n t a

JORGE HUMBERTO LOYA RAMIREZ



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

CLAS Tesis
AÑO 1976
FECHA 11/1
PROC 11/1
S 1

273

JURADO ASIGNADO ORIGINALMENTE SEGUN EL TEMA

PRESIDENTE	PROF. MARIA TERESA TORAL PEÑARANDA
VOCAL	PROF. EDUARDO ROJO Y DE REGIL
SECRETARIO	PROF. DARIO RENAN PEREZ PRIEGO
1er. SUPLENTE	PROF. ALBERTO SOLANO SALAZAR
2º SUPLENTE	PROF. MARIO RAMIREZ Y OTERO

LUGAR DONDE SE DESARROLLO EL TEMA

DOMICILIO
INSTITUTO DE GEOLOGIA
PETROLEOS MEXICANOS
CONACYT

DIRECTOR DE TESIS

ING. QUIM. RENAN PEREZ PRIEGO

SUSTENTANTE

JORGE HUMBERTO LOYA RAMIREZ

Alcanzar una meta no es un logro
exclusivo del hombre que lo consigue,
sino una consecuencia del devenir uni
versal, de los logros de los antepasados,
del esfuerzo de quienes le ayudaron.

Jorge Loya
Feb. /76

A mis padres y hermanos,
a mi esposa y familiares
a mis maestros y compañeros
de trabajo; a todos aquellos que
de alguna manera participaron en
la realización de este objetivo.

INDICE

		Págs.
1	INTRODUCCION	1
2	GENERALIDADES SOBRE EL PRODUCTO	
2.1	Aceite Nuevo	4
2.1.1	Descripción y características	4
2.1.2	Propiedades principales	11
2.1.3	Funciones	16
2.1.4	Pruebas en Motores	16
2.2	Aceite usado envejecido	18
2.2.1	Descripción y características	18
3	PROCESOS DE REGENERACION SELECCIONADOS	
3.1	Acido-Arcilla	22
3.2	Destilación-Arcilla	33
3.3	Clarificación con Propano	40
3.4	Destilación-Hidrogenación	45
4	EVALUACION DE LOS PROCESOS	
4.1	Calidades de los Productos	50
4.2	Subproductos y Desperdicios	56
4.3	Patentes y Proveedores de Tecnología	62
4.4	Costos y Economía	62
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	70
6	BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS	73

INTRODUCCION

En la época actual, más que en ninguna otra anterior, se han sentido los efectos de la explosión demográfica mundial, que ha propiciado un agotamiento acelerado de los recursos naturales y que seguirá en aumento, si la tasa de crecimiento de la población continúa al ritmo que hasta ahora lo ha venido haciendo.

Debido a que los recursos naturales son la única fuente de abastecimiento en la producción de las materias primas, la disponibilidad de éstas en la industria se ha visto también afectada, de manera que su adquisición en los últimos años va siendo cada vez más difícil. Aunado a este problema, la industria se enfrenta a otros dos que son de vital importancia: uno es la economía en los procesos y el otro es la contaminación del medio ambiente, causada por la fabricación y uso de diversos productos manufacturados. A esto se debe que los métodos de regeneración y recuperación de productos usados han cobrado gran importancia en los últimos años.

Entre los principales productos que actualmente se regeneran, está el de los lubricantes ya usados. Esto se puede comprobar fácilmente, observando el incremento que se ha tenido en las investigaciones, desarrollos tecnológicos y en el aumento de plantas que para dicho propósito se han venido construyendo en los llamados países " altamente desarrollados ", tales como: Estados Unidos de Norteamérica, Francia, Japón, Inglaterra, Italia, etc.

En México, debido a la " aparente " abundancia del petróleo y al precio bajo del lubricante, este tipo de empresa no ha prosperado rápidamente, de tal forma que de los 291,500 m³ de aceite lubricante usado, de tipo -automotriz e industrial, disponible en 1975 sólo se regeneraron alrededor de 3000 a 4000 m³, es decir, del 1.1 al 1.5% y por procesos rudimentarios, en los que además de obtenerse un lubricante muy pobre, en la mayoría de los casos, ocasionan problemas de contaminación del medio ambiente por los subproductos indeseables, tales como lodo ácido y arcilla contaminada.

Teniendo en cuenta la situación mencionada en el párrafo anterior, el -
objetivo de la presente tesis es hacer una evaluación de los diferentes pro
cesos, de los más recientes, para regeneración de aceites lubricantes ya usa
dos y que están funcionando en otros países, con el fin de seleccionar aquél
que desde los puntos de vista técnico y económico resulte el más adecuado
a las condiciones de nuestro país.

Por último, es importante aclarar lo siguiente:

- I) De los diferentes tipos de aceites usados que hay en el mercado, nos referimos exclusivamente a los lubricantes de motores de combustión interna, por ser los que se consumen en mayor escala, o sea alrededor del 65% del total de aceites, y por encontrarse disponible en condiciones físicas y químicas más homogéneas.
- II) Aunque existen dos clases diferentes de aceites lubricantes para motor que se emplean en otros países a nivel comercial, es decir, los de origen sintético y los de origen mineral, esta tesis tratará únicamente so
BRE LOS DE ORIGEN MINERAL POR SER LOS ÚNICOS QUE
SE PRODUCEN Y CONSUMEN EN MÉXICO

bre los de origen mineral, por ser los únicos que se producen y consumen en México.

1.- GENERALIDADES DEL PRODUCTO

2.1 ACEITE NUEVO

2.1.1 DESCRIPCION Y CARACTERISTICAS

Los aceites lubricantes para motor son hidrocarburos líquidos, grasosos y untuosos, derivados del petróleo, cuyos componentes principales son:

a) Aceites Básicos

b) Aditivos

a) Aceites Básicos

Son aceites minerales refinados, que dependiendo de su composición pueden ser: Parafínicos, Nafténicos, Aromáticos y Mixtos.

Básicos Parafínicos.- Son hidrocarburos de cadenas saturadas, rectas o ramificadas y que se caracterizan por tener un índice de viscosidad mayor de 80. (1)

Básicos Nafténicos.- Son hidrocarburos saturados de cadena cerrada, con índice de viscosidad muy bajo. En algunos casos, cadenas parafínicas pueden estar unidas a estos grupos afectando con esto sus propiedades, pero la formación del anillo es predominante.

Básicos Aromáticos.- Son anillos de carbonos semisaturados. Pueden tener cadenas laterales unidas a cualquier átomo de carbón, estando además unidos los anillos, por lo que dan margen a la formación de un gran número de compuestos.

(1) Para mayor información sobre índice de viscosidad, ver inciso 2.1.2.2

Los aceites lubricantes de base parafínica son los apropiados para motores de explosión, porque contienen una alta resistencia a los cambios frecuentes de temperatura, sin cambiar sustancialmente sus cualidades de viscosidad. Pueden ser utilizados en máquinas que generan temperaturas de 200 a 250 grados centígrados, que es el promedio en los motores de combustión interna.

La Tabla 1, lista las propiedades características de las tres clases principales de hidrocarburos presentes en los aceites.

La Tabla 2, da las relaciones entre las propiedades y los principales tipos de estructuras de los hidrocarburos que están presentes en los aceites lubricantes comunes.

b) Aditivos

Los aditivos son uno o varios compuestos químicos (de fósforo, de azufre, de zinc, compuestos orgánicos, etc.), que se añaden al aceite básico de un lubricante, con el fin de impartirle nuevas propiedades o de aumentar el valor de las que ya tiene.

Los propósitos específicos para los que se emplean son:

Para mejorar las propiedades de flujo:

Bajando la temperatura de solidificación

Disminuyendo el cambio de viscosidad con el cambio de temperatura.

Para mejorar la acción lubricante:

Proporcionando mayor aceitosisidad

Disminuyendo el desgaste de metal

Fortaleciendo mejor la resistencia de película

Para proveer una mayor estabilidad química:

Inhibiendo la oxidación

Neutralizando los promotores de la oxidación

Inhibiendo la corrosión del metal

Previniendo el depósito de lodos y barnices

Para preservar las superficies de las máquinas de la herrumbre y la corrosión.

Para evitar la espumación del aceite durante su uso.

TABLA 1

PRINCIPALES PROPIEDADES DE LOS TRES TIPOS DE HIDROCARBUROS QUE SE USAN PARA PREPARAR LOS ACEITES LUBRICANTES 2

PARAFINICOS (Densidad más baja)	NAFTENICOS (Densidad alta)	AROMATICOS (Densidad más alta)
Punto de congelación alto, disminuido por la desparafinación y por el uso de depresantes.	Punto de congelación bajo, pero pseudo plástico a bajas temperaturas. (No tiene proporcionalidad entre presión y flujo).	
Indice de viscosidad alto.	Indice de viscosidad bajo y pseudoplástico a bajas temperaturas.	Indice de viscosidad muy bajo, es decir abajo de cero.
Volatili dad baja y punto de inflamación alto; residuo de carbón "Conradson" regular, con forma granular.	Volatili dad mayor y en consecuencia punto de inflamación más bajo; residuo de "Conradson" bajo con forma de polvo.	Volatili dad muy alta y residuo de carbón "Conradson" alto.
Oxidación retrasada (con un período de inducción) formando primeramente ácidos volátiles que son más o menos corrosivos (afectan a los cojinetes de CU/Pb, y Cd/Ni o Cd/Ag), y después compuestos viscosos solubles.	Se oxida sin un período de inducción notable; acción corrosiva menor a altas temperaturas pero inicialmente tiene precipitación en estado disperso y después formación de sedimentos.	Muy susceptible a la oxidación con precipitado grande e insoluble. Pueden usar pequeñas cantidades de inhibidores naturales para la oxidación.
Sin poder solvente para cuerpos orgánicos resultantes de la contaminación del aceite debida a residuos de combustión. Las parafinas ligeras precipitan productos de degradación, de oxidación o polimerización.	Tiene alto poder solvente para insolubles que se forman por los cambios químicos del aceite en servicio y también para los residuos de combustión incompleta en máquinas diesel.	Tiene poder solvente para productos formados por cambios químicos del aceite cerca de 180°C. El miembro típico, benceno, es un solvente específico para partículas sueltas conocidos como resinas o asfaltenos.



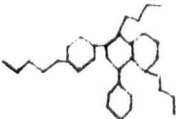
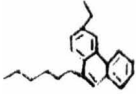
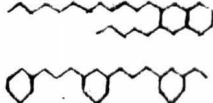


(Continúa Tabla 1)

PARAFINICOS (Densidad más baja)	NAFTENICOS (Densidad alta)	AROMATICOS (Densidad más alta)
Alto punto de anilina	Bajo punto de anilina.	Punto de anilina muy bajo, hīcha la goma natural.

TABLA 2

RELACION ENTRE PROPIEDADES Y ESTRUCTURAS ²

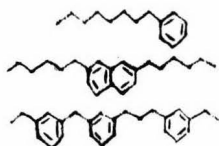
Clases de Hidrocarburos	Principales Propiedades
Cadena parafínica recta 	La viscosidad varía poco con la temperatura. Buena resistencia a la oxidación. Alto punto de congelación.
Cadena parafínica ramificada 	La viscosidad varía poco con la temperatura (excepto cuando se divide). Buena resistencia a la oxidación. Puede tener bajo punto de congelación.
Anillos nafténicos con cadenas laterales parafínicas cortas 	Buena resistencia a la oxidación. Bajo punto de congelación. La viscosidad varía mucho con la temperatura. Llega a ser pseudo-plástico bajo condiciones frías.
Anillos aromáticos con cadenas parafínicas laterales cortas. 	El punto de congelación varía de acuerdo a la estructura. Buena estabilidad térmica. La viscosidad varía mucho con la temperatura. Fácilmente se oxida.
Anillos nafténicos con cadenas parafínicas laterales largas 	La viscosidad varía poco con la temperatura. Buena resistencia a la oxidación. Puede tener bajo punto de congelación.

(Continúa Tabla 2)

Clases de Hidrocarburos

Principales Propiedades

Anillos aromáticos con cadenas
parafínicas laterales largas.



La viscosidad varía poco con la
temperatura.
Pueden tener buena resistencia a
la oxidación, si los ciclos no son
numerosos.
Y pueden tener bajo punto de con-
gelación.

2.1.2 PROPIEDADES PRINCIPALES

2.1.2.1 VISCOSIDAD

Es la propiedad que tiene una sustancia líquida o semilíquida para fluir libremente a una temperatura dada.

Esta propiedad es importante porque está en relación directa a la capacidad que tiene un aceite para:

- a) Formar una película que evite el contacto entre dos superficies que se deslizan una sobre la otra, evitando de esta forma la fricción que pudieran tener éstas por estar en contacto directo.
- b) Para que sus capas de moléculas se deslicen con mayor o menor dificultad una sobre otra. Un incremento desmedido de viscosidad aumentaría la dificultad para que se deslicen las capas de un aceite, que en el caso de un motor, ocasionaría una obstaculización en la marcha y una pérdida de potencia.

Los sistemas más comunes para medir la viscosidad son: Saybolt Universal, Saybolt Furol, Engler y Cinemático.

2.1.2.2 INDICE DE VISCOSIDAD

Es un número empírico que indica la relación de cambio de viscosidad de un aceite dentro de un rango dado de temperaturas. Un índice de viscosidad bajo (menor de 60), significa grandes cambios de viscosidad con respecto a la temperatura. Un índice de viscosidad alto (mayor de 95), nos evita que haya cambios bruscos en la viscosidad de un aceite que se usa

para una máquina que opere a altas y bajas temperaturas.

El valor numérico de este sistema está referido a una serie de aceites típicos de Pensilvania, a los cuales se les asignó el valor de 100 como índice de viscosidad y a una serie de aceites nafténicos, a los que se les asignó un valor de índice de viscosidad de cero.

El cálculo del índice de viscosidad se puede hacer usando tablas o gráficas, como la que se muestra a continuación, o bien por las siguientes ecuaciones:³

$$\text{Índice de Viscosidad} = \frac{VL - VU}{VL - VH} \times 100$$

donde:

$$VL = 0.408 (\text{SUV}_{98.9^{\circ}\text{C}})^2 + 12.568 (\text{SUV}_{98.9^{\circ}\text{C}}) - 475.4$$

$$VH = 0.216 (\text{SUV}_{98.9^{\circ}\text{C}})^2 + 12.07 (\text{SUV}_{98.9^{\circ}\text{C}}) - 721.2$$

siendo:

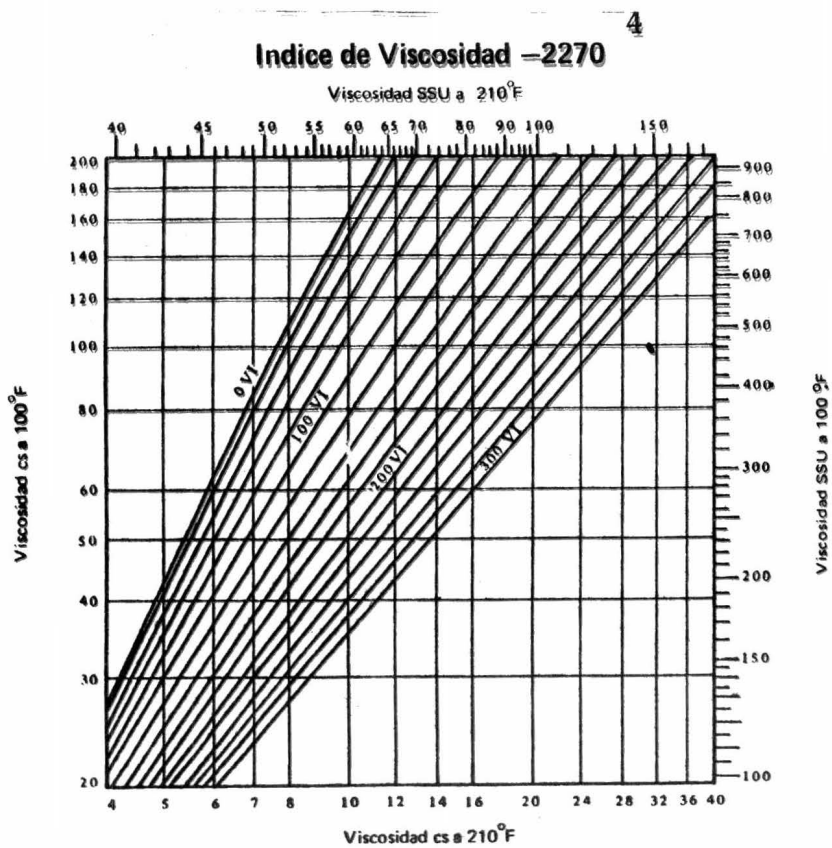
$$\text{SUV}_{98.9^{\circ}\text{C}} = \text{VU}_{98.9^{\circ}\text{C}}$$

VL= Viscosidad a 37.8°C de un aceite de índice de viscosidad de 100

VH= Viscosidad a 37.8°C de un aceite de índice de viscosidad de 0

VU_{98.9°C} = Viscosidad de la muestra a 98.9°C

SUV_{98.9°C} = Viscosidad Saybolt Universal a 98.9°C



GRAFICA No. 1

4

2.1.2.3 TEMPERATURAS DE INFLAMACION E IGNICION

Son aquellas en las que el aceite genera vapores en cantidades suficientes para producir inflamación cuando se le aproxima al fuego. La temperatura de ignición se localiza cuando la flama continúa ardiendo por lo menos cinco segundos.

El conocimiento de las temperaturas de inflamación e ignición de un aceite es una medida de precaución para evitar que esto ocurra en la lubricación de una máquina sujeta a altas temperaturas. También son importantes porque no indican las pérdidas por evaporación al hacer trabajar a un aceite a altas temperaturas.

2.1.2.4 PUNTO DE CONGELACION⁴

Es la temperatura más baja a la que puede fluir un aceite, bajo condiciones especiales, cuando es enfriado en forma progresiva y sin agitación.

El punto de congelación es básico para establecer la temperatura más baja a que puede trabajar un aceite y que pueda fluir libremente. Esta propiedad es importantísima en los aceites lubricantes para sistemas de refrigeración y para equipos que operan en climas muy fríos.

2.1.2.5 RESISTENCIA A LA OXIDACION

La oxidación del aceite es una acción química entre el aceite y el oxígeno presente, que da como resultado compuestos líquidos lodosos.

La temperatura del aceite y las partes del motor, la presencia de oxí-

geno, la naturaleza de los metales y/o los desechos y los subproductos de la combustión, todos contribuyen a la oxidación del aceite. La temperatura es el factor principal. La temperatura que se puede alcanzar fácilmente en la primera ranura del pistón de un motor es de 250°, y aún más en máquinas diesel super cargadas, es por lo tanto indispensable, cuando el aceite lubricante está sujeto a tales temperaturas que no contribuya a la formación de depósitos, aún después de largos períodos, ya que esto podría conducir a que el anillo se pegara.

2.1.2.6 RESIDUO DE CARBON

Es la cantidad de carbón que deja un aceite cuando se somete a calentamientos extremos en ausencia de aire.

El exceso y la composición de los residuos de carbón altera la combustión normal de los gases, causando un quemado ruidoso y estrepitoso que sujeta a la máquina a altas temperaturas y esfuerzos mecánicos, dando como resultado una disminución del buen funcionamiento y una reducción de la vida de la máquina.

2.1.2.7 DETERGENCIA

Es la propiedad que tiene un aceite de conservar las materias insolubles en suspensión, así como de evitar la formación de depósitos dañinos. Un detergente puede también remover los depósitos recién formados.

La cantidad de productos insolubles encontrado en aceites usados de máquinas diesel, puede ocasionalmente alcanzar del 8% al 10% del aceite en peso, mientras que los valores normales son del rango del 2% al 3%.

Si estos depósitos no son removidos con el aceite cuando éste se drena, la acumulación de éstos en la máquina podría acortar drásticamente su duración.

2.1.3 FUNCIONES

El aprovechamiento y aplicación de las propiedades de un aceite, dan como resultado las funciones que éste desempeña al momento de ser usado y que de una manera sucinta podemos enumerar de la forma siguiente:

- a) Reducir la resistencia friccional de la máquina a un mínimo y así asegurar un máximo de eficiencia mecánica.
- b) Proteger la máquina contra todos los tipos de desgaste.
- c) Reducir las fugas de gasolina y aceite en la zona anillada de forma eficiente y duradera.
- d) Contribuir al equilibrio térmico de la máquina.
- e) Remover todas las impurezas dañinas o perjudiciales.

2.1.4 PRUEBAS EN MOTORES⁶

Las pruebas en los motores sirven para cuantificar la magnitud de las propiedades en los aceites lubricantes; éstas han sido desarrolladas por diferentes asociaciones de investigación como: la CRC, CEC, ASTM y la Caterpillar Tractor Co.

A continuación se da una breve descripción de ellas.

2.1.4.1 PRUEBAS PARA DETERMINAR CARACTERISTICAS DE DETERGENCIA-ATASCAMIENTO DE ANILLOS, DESGASTE Y ACUMULACION DE DEPOSITOS.

CRCL-1

Prueba en motor diesel de 4 ciclos y 1 cilindro, empleando combustible con 0.4% de azufre durante las 480 horas de la prueba. Se utiliza para evaluar desgastes, atascamientos de anillos y depósitos.

CRC L-1 Modificada

Es similar a la L-1, pero con un combustible de 1.00% de azufre \pm 0.05% y es por lo que se comprueba o determina si un aceite es Suplemento 1.

La prueba también se conoce como la L-1 con 1% de azufre o Prueba Suplemento 1.

CATERPILLAR 1-A

Es la misma que la L-1, excepto que el contenido de azufre en el combustible es de 1% (\pm 0.05) y no tiene inspecciones intermedias, por lo que se corre continuamente.

CATERPILLAR 1-D

Método similar a la L-1, modificada (1% de azufre), pero con motor supercargado, se corre a elevadas velocidades y temperaturas. Originalmente se usaba para determinar los aceites que cumplían con la calidad Serie 2, pero ahora se usa con la 1-G para los aceites Series 3.

CATERPILLAR 1-G

Prueba en motor supercargado con combustible de bajo contenido de azufre. Es la más severa de las pruebas descritas anteriormente, ya que se requieren altas temperaturas y cargas. Se emplea con la 1-D para evaluar las Series 3, pero la velocidad del motor es más alta.

CATERPILLAR 1-H

Prueba en el mismo motor que la 1-G, usando combustible de bajo contenido de azufre; las condiciones son más severas que L-1, pero menos severas que la 1-G. Esta prueba es un requerimiento de los aceites MIL-L-2104B.

2.1.4.2 PRUEBAS PARA DETERMINAR LAS CARACTERISTICAS DE LOS ACEITES DE MOTOR RESPECTO A CORROSION Y OXIDACION DE COJINETES.

CRCL-4

Evalúa las características de corrosión y oxidación de cojinetes de los aceites HD, y se efectúa en un motor a gasolina Chevrolet de 6 cilindros ya descontinuado, y se desarrolla a altas velocidades constantes, cargas moderadas y altas temperaturas.

CRC L-38

Esta prueba ha reemplazado esencialmente a la L-4. Se efectúa en un motor de prueba CLR y en condiciones similares a la L-4 y con las mismas evaluaciones.

2.2 ACEITE USADO ENVEJECIDO

2.2.1 DESCRIPCION Y CARACTERISTICAS²

Un aceite envejecido es aquél cuyas propiedades físicas y químicas (viscosidad, resistencia a la oxidación, lubricidad, etc.), han disminuido a tal grado, que no son suficientes para satisfacer las funciones requeridas por un lubricante en servicio.

El análisis de un aceite envejecido para motor, normalmente revela impurezas del orden del 15 al 20%, así que es posible referirse a un aceite envejecido para motor como un " crudo " muy rico en fracciones de aceite lubricante.

Los elementos contaminantes de un aceite envejecido de motor, pueden dividirse en tres grupos:

- a) Productos volátiles
- b) Compuestos solubles en el aceite
- c) Compuestos insolubles en el aceite

a) Compuestos Volátiles

Los más comunes en éstos son el agua y el combustible. La presencia de combustibles complica el problema. Ciertas fracciones de combustibles tienen puntos de ebullición similares a los de las fracciones ligeras de los aceites para motor, la completa eliminación de los combustibles nos llevaría a utilizar un método especial.

Eliminar el agua a primera vista parece ser más fácil que un combustible, pero en la práctica es necesario distinguir entre agua libre, relativamente fácil de eliminar, y agua en una solución verdadera, la cual es más o menos estable y finalmente las emulsiones de agua en aceite o de aceite en agua, lo cual nos lleva a algo más que a las simples operaciones de calentamiento, sedimentación y extracción.

b) Compuestos Solubles en el Aceite

Estos pueden incluir también los mejoradores de índice de viscosidad y los compuestos organometálicos que son usados como aditivos detergentes. Estos últimos compuestos pueden estar presentes en su forma original activa o químicamente modificados por el uso.

La efectividad de un proceso de recuperación depende, en gran parte, del camino que se siga para eliminar o cambiar estos compuestos solubles, ya que aunque muchos de ellos no son activamente corrosivos, pueden actuar como catalizadores y provocar la oxidación del aceite re-refinado.

c) Partículas Insolubles en Aceite

La separación de partículas insolubles, parece a primera vista, ser la más fácil; en la práctica es más difícil a causa de que el tamaño de las partículas de los principales carbones combustibles es muy pequeño (abajo de un micrón). Las partículas de carbón fueron más grandes cuando los aceites de motor no eran "aditivados". El problema está rindiendo más dificultades ahora por la posible presencia de partículas aún activas de detergentes-dispersantes sostenidas en suspensión.

Las partículas contaminantes inorgánicas consisten en polvo atmosférico, partículas de metal, óxidos de metal y óxidos de plomo, derivado de la combustión del combustible que contiene tetraetilo de plomo. La eliminación de estos materiales es, en general, menos difícil que los anteriores.

La siguiente tabla muestra las proporciones de impurezas que contiene un aceite envejecido. Se tomaron muestras de 1 kg. para cada caso.

7

ANÁLISIS TÍPICO DE UN ACEITE LUBRICANTE
YA USADO PARA MOTOR

TABLA 3

Mues- tra	Agua (gr.)	Sólidos (Lodos) gr.	Substan- cias Car- bonizadas	pH	Peso Esp. 20°C	Aspec- to y co- lor	Voláti- les y ligeros (gr.)	Visc. Seg. Univ. Saybolt
1	5.13	50.1	15.14	3	0.965	turbio negro	308	548
2	4.31	43.7	13.93	3.8	0.943	turbio negro	301	569
3	3.83	41.3	11.88	4.3	0.925	turbio negro	205	593
4	7.08	61.3	18.93	2.85	0.976	turbio negro	330	498
5	6.07	49.2	14.85	3.6	0.948	turbio negro	249	554
prome- dio.	5.28	49.12	14.996	3.51	0.9506	turbio negro	278.6	552.4

3. PROCESOS DE REGENERACION SELECCIONADOS

Numerosos son los procesos o métodos que la literatura reporta para la regeneración de aceites usados para motor, pero de entre ellos se escogieron para su evaluación únicamente aquellos que por reunir características tales como alta productividad, bajo costo de manufactura, calidad de producto, etc., han resultado comercialmente aceptables a nivel mundial. Dichos procesos son los siguientes:

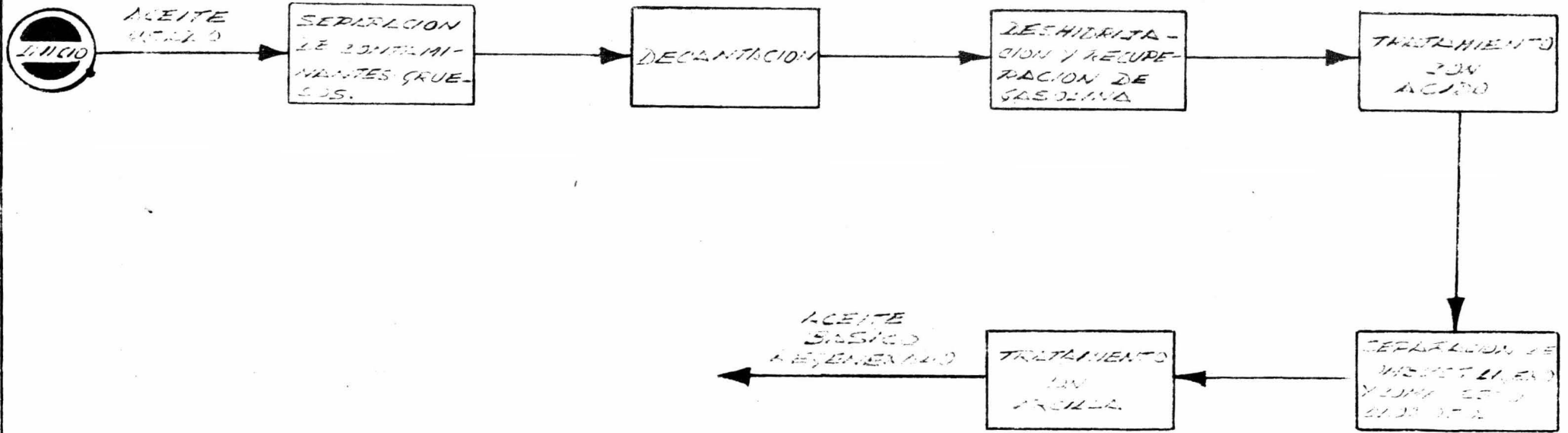
- 3.1 Acido-Arcilla
- 3.2 Destilación-Arcilla
- 3.3 Clarificación con Propano
- 3.4 Destilación-Hidrogenación

A continuación se da una descripción de la tecnología que cada uno de estos métodos utiliza.

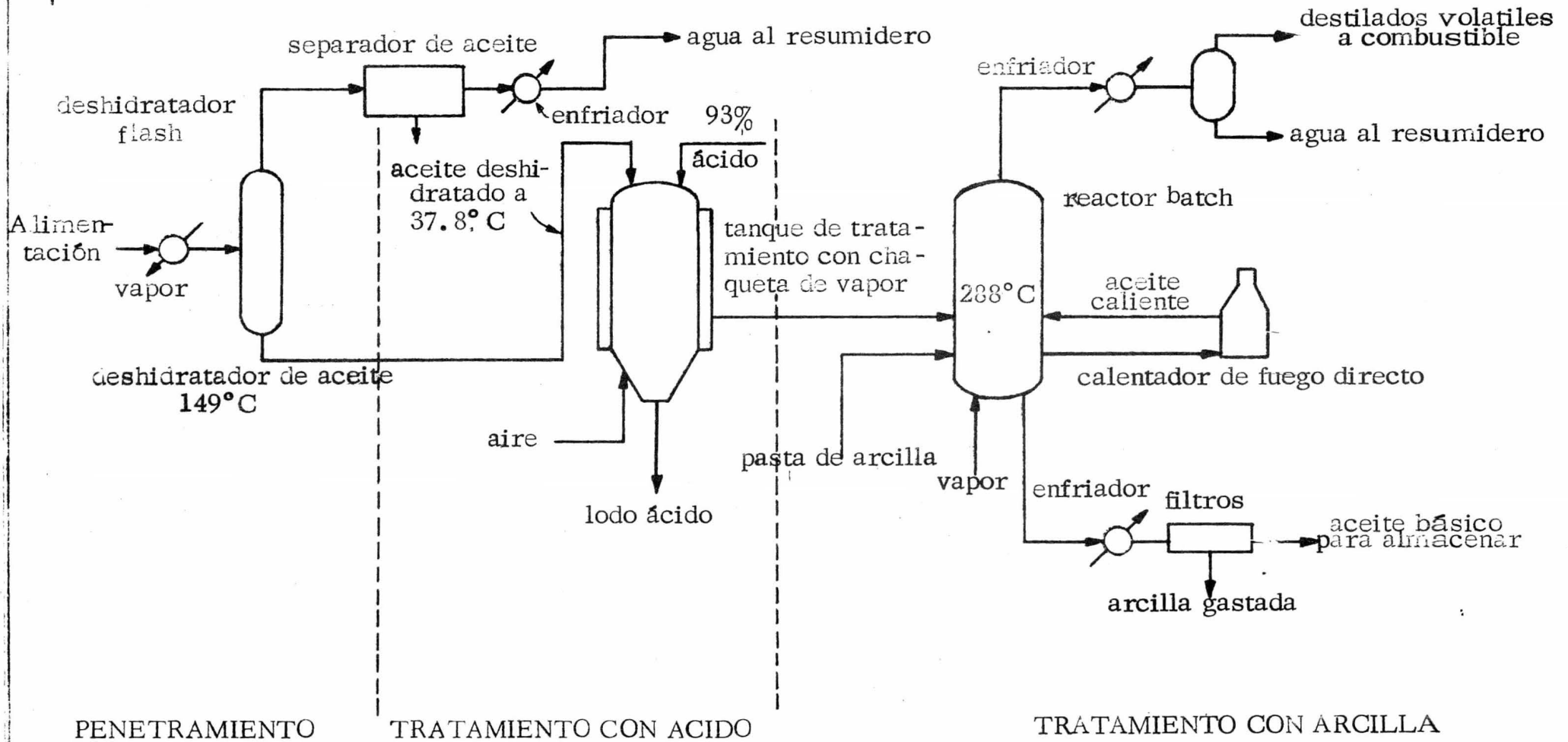
3.1 ACIDO-ARCILLA

En el diagrama 1 se muestra un esquema de un proceso típico Acido-Arcilla, para la regeneración de lubricantes automotrices usados. El proceso para la regeneración de aceites lubricantes de motores diesel difiere solamente en detalles de las condiciones del proceso.

El lubricante usado se descarga directamente de los autotanques de recolección, en un tanque parcialmente sumergido. Este tanque receptor, debe de estar equipado con rejillas y cedazos para eliminar los despojos que normalmente se encuentran en el lubricante usado. El tanque recomendado podría ser lo suficientemente largo, como para recibir la carga entera del



UNAM	
CIENCIAS QUIMICAS	
TESIS PROFESIONAL	
PROCESO	DIAG. I-A
ACIDO-ARCILLA	JORGE H. LOYA
	11/11/77



UNAM	
CIENCIAS QUIMICAS	
TESIS PROFESIONAL	
PROCESO	DIAG. I
ACIDO-ARCILLA	JORGE H. LOYA
	Méx. D.F.

autotancue y permitir que cualquier agua libre se asiente. El aceite se decanta y se envía al tanque de almacenamiento alimentador. La capa de agua se bombea a una espumadera y después a la instalación de tratamiento de agua de desperdicio. El manejo adecuado de la materia prima es extremadamente importante para una operación fácil y homogénea.

Del tanque de almacenamiento alimentador, se bombea el aceite a través de un cambiador de calor, alimentado con vapor, al deshidratador "flash" que opera a 149°C y a presión atmosférica. El vapor-aceite de la parte de arriba se condensa y se separa; el aceite separado se envía al almacén final de ligeros para ser usado como combustible y el agua a la instalación de tratamiento de agua de desperdicio.

Algunas veces el aceite deshidratado se separa adicionalmente en sus fracciones ligeras, antes del tratamiento con ácido, pero con mayor frecuencia se bombea directamente a los tanques de aceite secado, donde se almacena y enfría. Este se puede almacenar durante 2 a 4 días antes de que recobre una humedad apreciable, que tienda a incrementar los requerimientos de ácido durante el siguiente paso. Después de 48 horas de almacenamiento, la temperatura del aceite ha disminuido hasta aproximadamente 37.8°C .

El aceite seco se bombea a una de las varias unidades de tratamiento con ácido. Estas unidades están provistas de una chaqueta de vapor y son agitadas con un equipo de aire. Se le agregan al reactor de 4 a 6 volúmenes por ciento de ácido sulfúrico, cuando la temperatura se ha mantenido en los 37.8°C aproximadamente. Aunque normalmente se usa ácido fresco,

varios regeneradores usan ácido de alquilación gastado de las refinerías de petróleo. Los productos oxidados que contiene el aceite son eliminados usualmente por el ácido en 24 horas, pero se pueden requerir más de 48 horas dependiendo de la materia prima. El lodo ácido que contiene los contaminantes del aceite y las cenizas, se separa y se drena por el fondo del reactor. Varios análisis de los lodos ácidos se muestran en las tablas 4, 5 y 6. La utilización del lodo ácido que usualmente se regala a los rellenos de tierras, es uno de los problemas más críticos en este proceso.

El aceite ya deshidratado y tratado con ácido, es conducido a las operaciones de tratamiento de vapor y separación-arcilla. El equipo del "tratamiento-arcilla" consta de un tanque para pasta, una torre, un condensador y un calentador de fuego directo a través del cual se circula el aceite. La capacidad de este equipo es usualmente del orden de 19 000 a 38 000 litros, estando además equipado con un "sparger" para la introducción directa de vapor.

Después de que el "batch" ha sido llevado a la torre de tratamiento con arcilla, la temperatura se aumenta a 287-315°C por circulación a través del calentador y se introduce vapor vivo. El propósito de la operación de separación es eliminar las fracciones de combustible ligero remanente y los compuestos olorosos que pueden estar presentes. Los vapores se condensan y se separa el aceite del agua. La fracción de agua se envía a la instalación de tratamiento de agua de desperdicio, y la fracción de aceite se usa como combustible de planta.

Después de 12 a 15 horas el calor ha disminuido y parte del aceite se desvía al tanque para formar la pasta de arcilla. Se permite que la temperatura del aceite disminuya hasta aproximadamente 200°C. La arcilla, que generalmente es una mezcla de 50% de arcilla activada y tierra de diatomeas (200-250 mallas), se mezcla en el aceite circulante. La dosis de arcilla es de aproximadamente 0.4 kilos por litro de aceite. La arcilla elimina por absorción el color de los cuerpos y los carbonos coloidales.

El aceite caliente con el arcilla (120-180°C) se limpia a través de un filtro prensa, que algunas veces lleva además un segundo filtro en serie. Este aceite ya clarificado se almacena antes o después de tener los aditivos mezclados con el aceite base.

Resulta antieconómico separar y recuperar en una pequeña planta, los desperdicios del filtro, que son una mezcla de arcilla, impurezas y aceite. Por lo tanto se debe descartar y usarse para rellenar tierras. El papel que se usa como medio filtrante en el filtro prensa, se descarta con los demás desperdicios.

Los olores pueden ser un problema en la regeneración ácido-arcilla. Estos pueden provenir de tanques de almacenamiento, recipientes de procesamiento, tratamiento de aguas de desperdicio, lodo ácido, y derrames de aceite. En algunas operaciones de regeneración, los olores se pueden controlar adecuadamente: sellando los tanques y recipientes abiertos, por un buen mantenimiento y por un buen sistema de ventilación de recipientes hacia hornos donde los vapores se quemen con el combustible normal.

Otras plantas han recurrido a métodos de control, tales como lavadores cáusticos para tratar los gases venteados en cada uno de los pasos del proceso.

El sistema de tratamiento de agua de desperdicio varía de planta a planta, dependiendo del agua de enfriamiento y facilidades de vacío, de los problemas de desagüe, disponibilidad de tierra, contaminación de agua de alimentación, control gubernamental y disponibilidad de un local para tratamiento de aguas. Una instalación típica incluye un separador API con: espumante de aceite, controlador de pH, algún recirculador de agua y descarga a la instalación de aguas cloacales. Las instalaciones de aguas cloacales normalmente aceptarán agua que contenga aproximadamente arriba de 100 p.p.m. de aceite, que es un nivel relativamente fácil de conseguir.

En cuanto al rendimiento del proceso se ha reportado que el tratamiento ácido-arcilla produce de un 45% a un 75%, es decir, que de cada litro de lubricante usado que se procesa, alrededor de 450 a 750 ml se obtienen de aceite clarificado. Esto depende obviamente de las condiciones de operación y composición de la materia prima alimentada, siendo los componentes más críticos, agua con lodo, cenizas y gasolina. Para un aceite usado que contenga 3.5% H_2O y 7% nafta, se piensa que tendrá un rendimiento mayor del 70% con una operación muy cuidadosa, pero un rendimiento típico podría estar muy cerca de 60 a 65%.

El aceite obtenido por el proceso ácido-arcilla se puede considerar como una mezcla de solventes básicos neutros que tienen una viscosidad SUS (Segundos Saybolt Universal), generalmente entre 55 y 58 a 98.9°C. Esto

es equivalente a un aceite de SAE 20. El lubricante básico puede ser mezclado por el regenerador para producir un lubricante aditivado terminado, o venderlo directamente a un comerciante que lo pueda mezclar. Para obtener un aceite de SAE 30, la viscosidad se tiene que incrementar a 58-70 SUS (usualmente 60-65) a 98.9°C, agregándole básicos vírgenes o poli-isobutileno.

El índice de viscosidad del aceite regenerador normalmente excede los 90, sin agregar aditivos convencionales. Sin embargo, los paquetes de aditivos convencionales se usan para altos requerimientos de índice de viscosidad y especificaciones.

TABLA 4 ANALISIS DEL LODO ACIDO

	<u>% PESO</u>	
	<u>Diesel</u>	<u>Gasolina</u>
% Acido	47.5	40.8
Cenizas Sulfatadas	4.45	11.26
Azufre	14.9	14.1
Azufre calculado del % de H ₂ SO ₄ supuesto	15.5	13.3
Combustibles	----- 30-42 -----	

ANALISIS ELEMENTAL, ppm.

Cu	40	40
Al	40	140
Fe	500	1100
Si	800	1400
Pb	1100	20 000
Ag	14	0
Zn	200	2 100
Ba	400	1 300
Cr	190	50
Ca	12 600	6 400
Na	200	4 000
P	1 000	4 300
B	40	50
Ni	10	30
Sn	35	30
Mg	70	1 000
	<u>17 139</u>	<u>41 940</u>
	1.71%	4.19%
Cenizas sulfatadas calculadas del análisis elemental	5.35%	9.39%

Fuente: Regeneradores de U.S.A. 1971

TABLA 5 ANALISIS DE LODO ACIDO *

<u>SOLUBLE EN AGUA</u>	<u>% PESO</u>
Cenizas	4.2
Acido (H_2SO_4)	27.0
 <u>INSOLUBLES EN AGUA</u>	
Cenizas	8.4
Acidos	1.6
Volátiles (150°C a 1 mm Hg)	0.8
Accite lubricante (naftenos, parafinas, aromáticos)	15.5
Polímeros	15.6
Otros compuestos polares	1.8
Asfaltenos y otros residuos	24.4
	<u>99.3</u>

* Fuente: Putscher, R.E. Estudio de Re-refinación de Desperdicio.

TABLA 6 CARACTERISTICAS FISICAS DEL LODO ACIDO

Densidad, lbs/gal	10.0
Viscosidad, S.S.U.	
24°C	4 000 000
40°C	457 000
52°C	150 600
pH	0.1

Fuente: Re-refinadores U.S.A. 1971. Datos para el lodo de ácido sulfúrico.

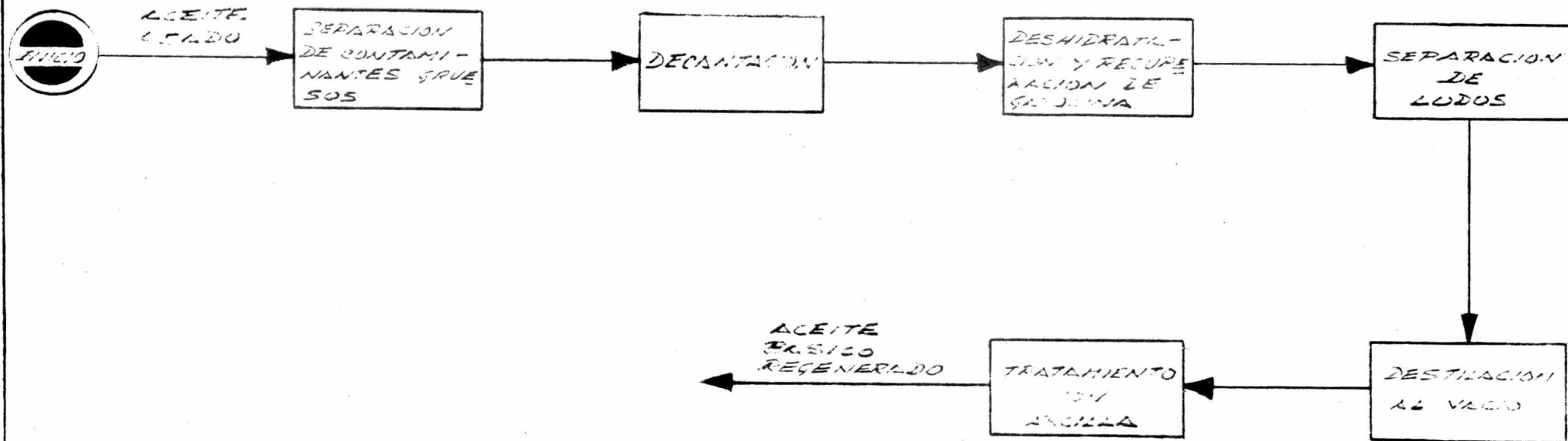
3.2 DESTILACION-ARCILLA

El proceso de destilación-arcilla supera el problema serio de la eliminación del lodo ácido presente en el tratamiento ácido-arcilla.

En este método los aceites ya usados se reciben en la planta de la forma usual previamente descrita. El aceite se deshidrata en una torre "flash" por calentamiento a 150°C, en un calentador directo usando como combustible fracciones de ligero generadas durante el proceso. La torre "flash" opera a presión atmosférica y a 150°C. El aceite-agua de arriba se condensa y envía a un decantador. La fase de agua se separa y se manda al sistema de tratamiento de agua de desperdicio. La capa de aceite se usa como combustible.

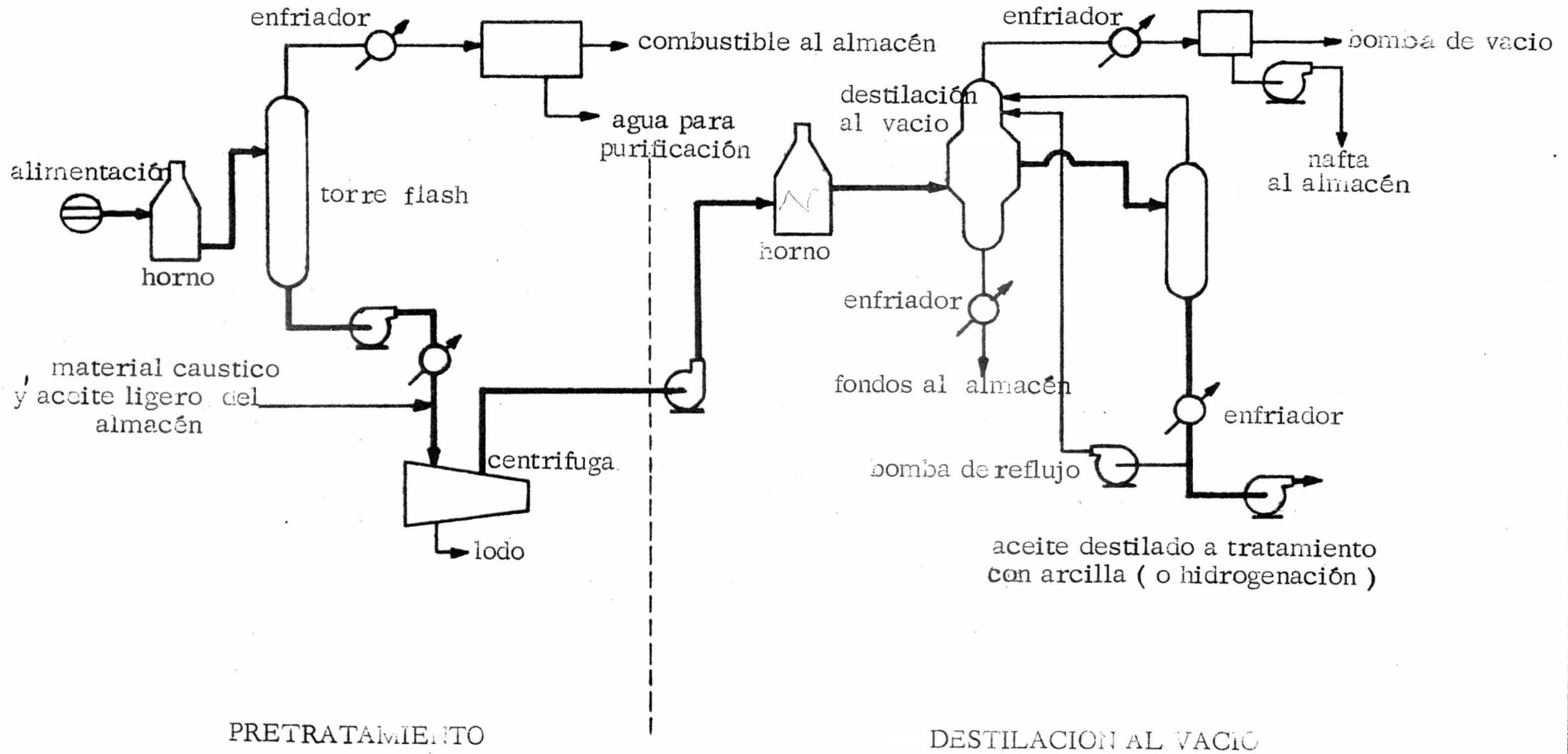
Los fondos de la torre "flash" pasan a través de un cambiador de calor para reducir la temperatura hasta aproximadamente 38°C. En la corriente de aceite deshidratado, se incorpora aceite ligero que tenga un rango de ebullición de 65-120°C. La cantidad que se usa es aproximadamente el 20% en base al volumen de aceite. Se le agrega también una pequeña cantidad de compuesto cáustico de 0.2-2%, dependiendo de las emulsiones presentes en la alimentación. La adición del aceite ligero y del compuesto cáustico tiende a romper la emulsión aceite-agua y precipita los sólidos. Estos materiales se eliminan por centrifugación. El lodo de la centrífuga se puede usar por separado, es decir, para rellenar tierras o se puede mezclar con los fondos del destilado, como se describe más adelante.

La operación del pretratamiento nafta-cáustico-centrífuga, puede no ser



UNAM
CIENCIAS QUIMICAS
TESIS PROFESIONAL
PROCESO
DESTILACION
ARCILLA

DIAG. 2-A
JORGE H. LOYA



UNAM	
CIENCIAS QUIMICAS	
TESIS PROFESIONAL	
PROCESO DESTILACION ARCILLA	DIAG. 2 JORGE H. LOYA

necesario adjuntarla a la destilación, pero éste tiende a eliminar algunos materiales que pueden causar ensuciamiento y erosión en el horno y en la columna de destilación al vacío, inclusive a los cambiadores de calor adjuntos.

El aceite centrifugado se envía entonces a la torre de destilación al vacío a través de un calentador de fuego directo. El horno calienta el aceite hasta cerca de 370°C. La columna opera a un vacío de 27 pulgadas de mercurio. La nafta de arriba, con un rango de ebullición de 63-230°C, se condensa, se enfría y se usa como combustible en la planta.

Los fondos que contienen casi el total de cenizas del aceite alimentado, se enfrían y se usan como combustible para mezclarse en productos asfálticos, o se venden a rellenos de tierras. Uno o más de los cortes medios destilados, se toman y se envían al tratamiento con arcilla para terminarlo como un aceite básico.

El tratamiento de arcilla es similar al descrito para el proceso ácido-arcilla, excepto que la primera separación es innecesaria y que la cantidad de arcilla puede reducirse a 15 gramos por litro aceite. Al lodo obtenido durante la filtración se le dispone de la forma usual.

Los rendimientos para este tipo de operación basado en el aceite que se alimenta, son aproximadamente del 70%, lo cual es comparable al mejor rendimiento del tratamiento ácido-arcilla. La calidad del producto es comparable también aunque la viscosidad a 98.9°C parece ser algo más baja debido a la eliminación de fondos.

Tomando más de una de las corrientes laterales de la columna de destilación al vacío, es posible obtener una parte de producto con una viscosidad tan alta como la de un lubricante básico. En las tablas 7 y 8 se muestran las propiedades de algunos aceites para motor destilados. Se piensa que el tratamiento de arcilla deje la mayor parte de estas propiedades sin cambiar, excepto para mejoramientos en color, número de neutralización y reducciones en el contenido de oxígeno y nitrógeno.

Se cree que los problemas de olor y agua de desperdicio no sean más serios con este proceso que con el tratamiento ácido-arcilla. Sin embargo, cuando un condensador barométrico se usa para la columna de vacío, la cantidad de agua de desperdicio contaminada es muy alta. Los condensadores por contacto superficial enfriados por aire o por agua se prefieren a los condensadores barométricos, pero son más costosos, aunque el incremento en costo debe ser balanceado nuevamente por el decremento en costo del tratamiento de agua de desperdicio.

TABLA 7

PROPIEDADES FISICAS DE FRACCIONES DE
DESTILACION AL VACIO

<u>Fracción</u>	<u>Nombre</u>	<u>Cantidad % de Alimentación</u>	<u>Color</u>	<u>Viscosidad SSU</u>	<u>Rango de Ebullición °C</u>	<u>Gravedad Específica</u>	<u>Punto Flash a (Copa Abierta) °C</u>
1	Nafta	1.5	-	-	63-230	0.7972 46° API	
2	Barométrica	9	4 1/2	33-34 a 37.8°C	204-360	0.8602 33° API	
3	Corriente Lateral Ligera	36	8	100 a 37.8°C 39.1 a 98.9°C	360-422	0.8735 30.5° API	178
4	Corriente Lateral Pesada	28	8	222 a 37.8°C 47.6 a 98.9°C	422-482	0.8789 29.5° API	221
5	Fondos	22	Negro	284 S. Saybolt Furol a 50°C	482 +	0.9937 10.9° API	
	Residuo, Agua + Pérdidas	3.5					
TOTAL		100%				Promedio de la gra- vedad específica del almacén de alimenta- ción 0.9035 25.1° API	

TABLA 8

PROPIEDADES DE ACEITES DE MOTOR USADOS
YA DESTILADOS

	Texas (B)	Texas (A)	California	Nueva York
Rendimientos:				
En la parte superior, % vol.	0-77	3.5-89.9 *	0-82.9 [†]	0-89.9 *
% peso	73.5	85.2	79.1	85.7
En los fondos, % peso	26.5	14.8	21.9	14.3
DESTILADOS				
Visc. a 37.8°C SSU	151	197.9	188.8	144
Visc. a 98.9°C SSU	43.6	46.5	46.0	43.1
Indice de Viscosidad	104	105	105	105
Color, ASTM (D-1500)	3.5	7.5	8.0	Lts. 7.0
Número Neutro	-	0.38	0.59	0.23
Compuestos polares, % peso				
Azufre	0.09	0.12	0.13	0.12
Oxígeno	0.19	0.17	0.35	0.16
Nitrógeno	0.04	0.03	0.02	0.02
Rango de ebullición, °C	193-565	277-543	244-550	239-597

* En la parte superior se colectó una fracción de volumen de agua de 0-3.5, separada del aceite.

† Tratado con calor mientras se purga con nitrógeno durante 24 horas a 132°C para sacar el agua antes de la destilación.



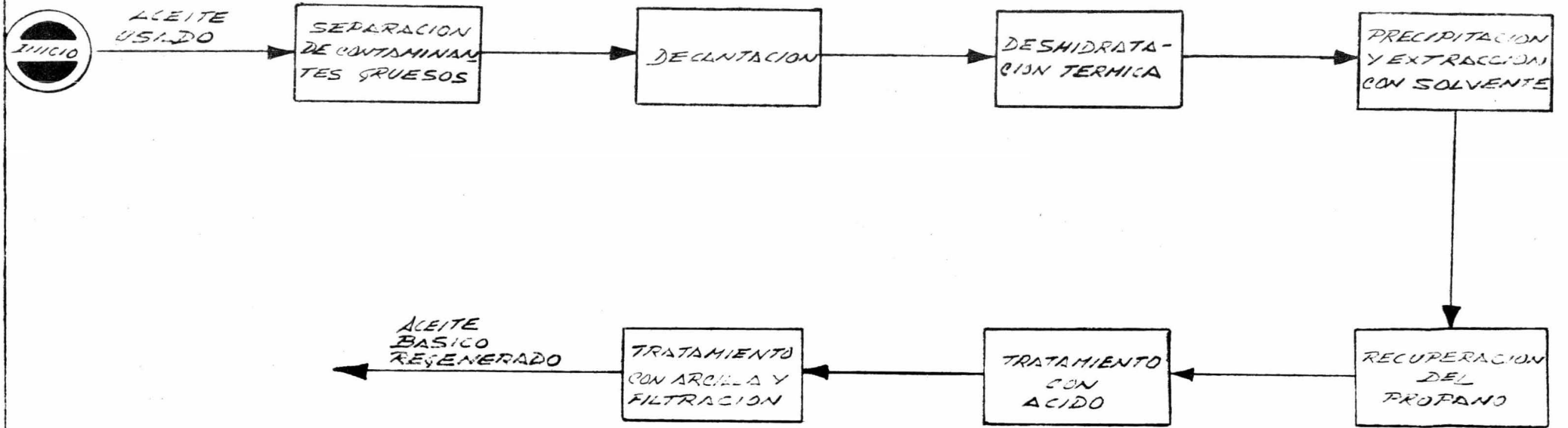
3.3 CLARIFICACION CON PROPANO

El proceso de clarificación con propano es un desarrollo relativamente nuevo en la re-refinación de aceites lubricantes ya usados. En Estados Unidos se ha tratado experimentalmente, pero ninguna planta lo tiene actualmente en operación. En Italia está operando una planta de 9 millones de galones por año basada en el proceso desarrollado por el Instituto Francés del Petróleo, quien además ha licenciado una planta de 44 000 toneladas por año para la Magnasi de este mismo país y otra con capacidad de 22 000 toneladas por año para Yugoslavia.

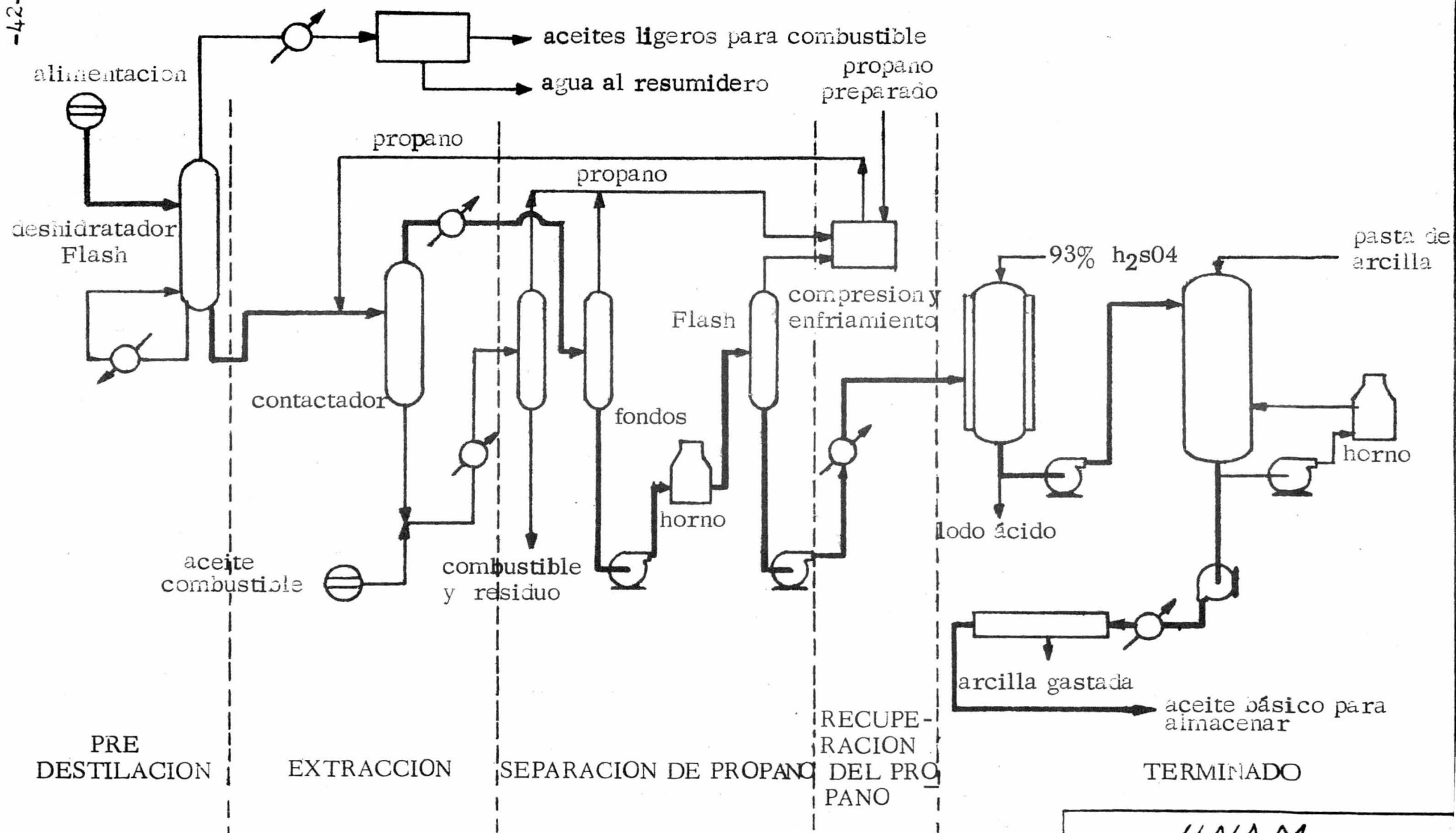
La base de este proceso, es el uso de propano para extraer selectivamente los aceites básicos de los aditivos e impurezas. El propano,conteniendo al aceite disuelto se saca del extractor, mientras que los materiales de alto punto de ebullición, como son los asfaltos de color negro, hidrocarburos oxidados y sólidos, se eliminan de los fondos de la unidad como residuos. Los fondos se mezclan con un aceite combustible y se usan como combustible de planta, o se envían fuera; mientras que el propano se 'flashea' del aceite y se recircula.

El proceso que se muestra en el esquema 3, consta de lo siguiente:

- a) Deshidratación térmica
- b) Precipitación y extracción con solvente
- c) Recuperación del propano
- d) Tratamiento con ácido
- e) Tratamiento con arcilla y filtración



UNAM	
CIENCIAS QUIMICAS	
TESIS PROFESIONAL	
PROCESO	DIAG.3-A
CLARIFICACION	JORGE H. LOYA
CON PROPANO	MAY DE



UNAM	
CIENCIAS QUIMICAS	
TESIS PROFESIONAL	
PROCESO CLARIFICACION CON PROPANO	DIAG. 3 JORGE H. LOYA MEX. D.F.

El aceite usado que entra, se descarga en un tanque receptor como se describió anteriormente. El aceite de alimentación al proceso se bombea a través de un cambiador de calor de vapor al deshidratador "flash," que se opera cerca de los 150°C y a presión atmosférica. Los vapores del domo se condensan y drenan a un separador. La capa de agua se elimina por medio de la instalación evacuadora de agua de desperdicio; la capa de aceite se vende o se procesa inmediatamente en el " extractor-solvente " .

El aceite se bombea a la torre de precipitación (extractor-solvente) a través de un cambiador de calor. También el propano se calienta e introduce a la torre aproximadamente 1/3 arriba del fondo. El aceite se introduce 1/3 abajo de la tapa superior. El " extractor-solvente " opera a una presión de varios cientos de libras por pulgada cuadrada. La solución propano-aceite (cuando el aceite ha sido disuelto en el solvente) se dirige a la parte superior, debido a las diferencias de gravedad específica, mientras que los precipitados fluyen al fondo del extractor.

El flujo a contracorriente es importante para una extracción eficiente. Serpentes de vapor, instalados en la parte superior y fondo de la torre controlan la temperatura al nivel deseado en el rango de 38-93°C.

Para aceites lubricantes de muy alta calidad, la relación solvente-alimentación podría ser aproximadamente de 20:1. Esto variará y debe ser determinado para cada stock de alimentación. La relación más pequeña de solvente-alimentación podría ser 1:1, produciendo un aceite de calidad pobre en el refinado. Se piensa que las operaciones comunes estén en una aproximación de 15:1.

Se agrega una pequeña cantidad de aceite combustible para ayudar en el flujo de los residuos de alta viscosidad de la unidad. Es frecuente el uso de dos etapas flash para separar el propano y el aceite. En este caso, el gas propano se licua y recircula.

El aceite lubricante se envía al tratamiento ácido-arcilla como se describió en el proceso ácido-arcilla. El proceso de " clarificación con propano ", requiere únicamente alrededor de 2% de ácido sulfúrico por volumen base de aceite, contra 4-6% para el proceso ácido-arcilla. Después del tratamiento con aproximadamente 18 g. de arcilla por litro a 149°C y filtración, se reporta que la calidad del aceite lubricante es superior a la del producto del método ácido-arcilla, al menos en términos de color y estabilidad al color, y quizás en viscosidad.

Aunque las cantidades de ácido y arcilla requeridas en el proceso del Instituto Francés del Petróleo, se hayan reducido mucho, existe aún un problema de disposición o uso. No se tiene disponible un análisis de lodo ácido, pero el contenido de metales, por ejemplo el plomo, es indudablemente menor que para los procesos ácido-arcilla. La mayoría de los metales y otras impurezas aparecen en la mezcla del combustible aceite-residuo. Por lo tanto, el uso de este material como combustible es cuestionable desde el punto de vista del medio ambiente, a menos que se acompañe de una inversión considerable en equipo de control de la contaminación del aire.

El ensuciamiento del tubo calentador que ocurrirá debido al contenido de cenizas, también disminuye el uso de la mezcla combustible aceite-residuo en aplicaciones normales.

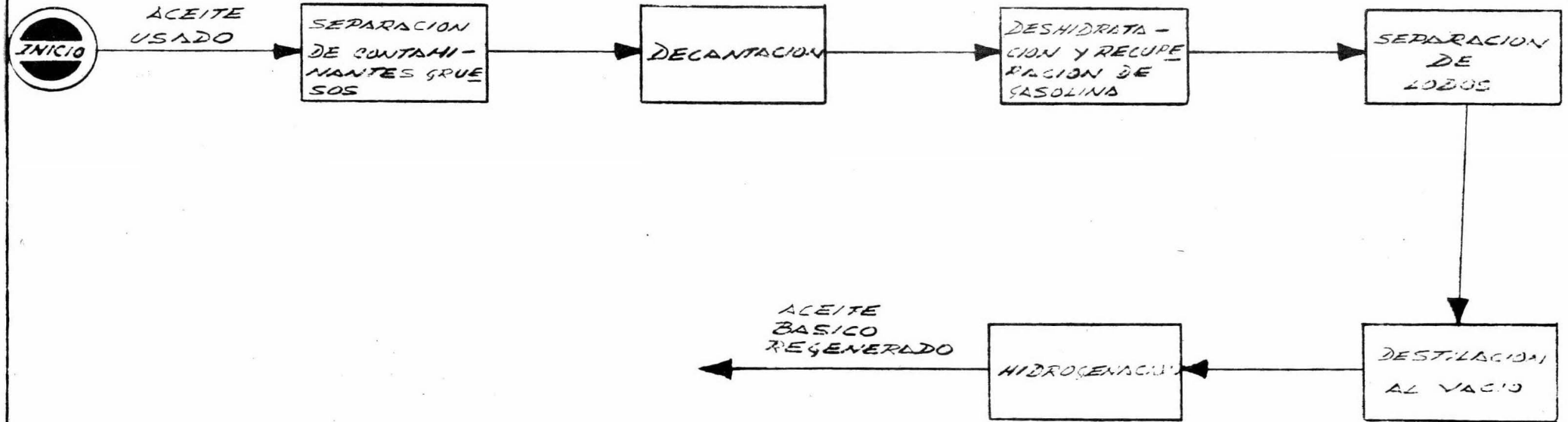
3.4 DESTILACION-HIDROGENACION

El proceso de destilación-hidrogenación es similar al de destilación arcilla, excepto en la etapa de terminado mostrada en el esquema 4. La 'National Oil Recoverg Corp.'; lo está usando para procesar todo tipo de aceites usados y además dos plantas europeas están planeando aparentemente combinar el tratamiento de hidrogenación con el de clarificación con propano del IFP.

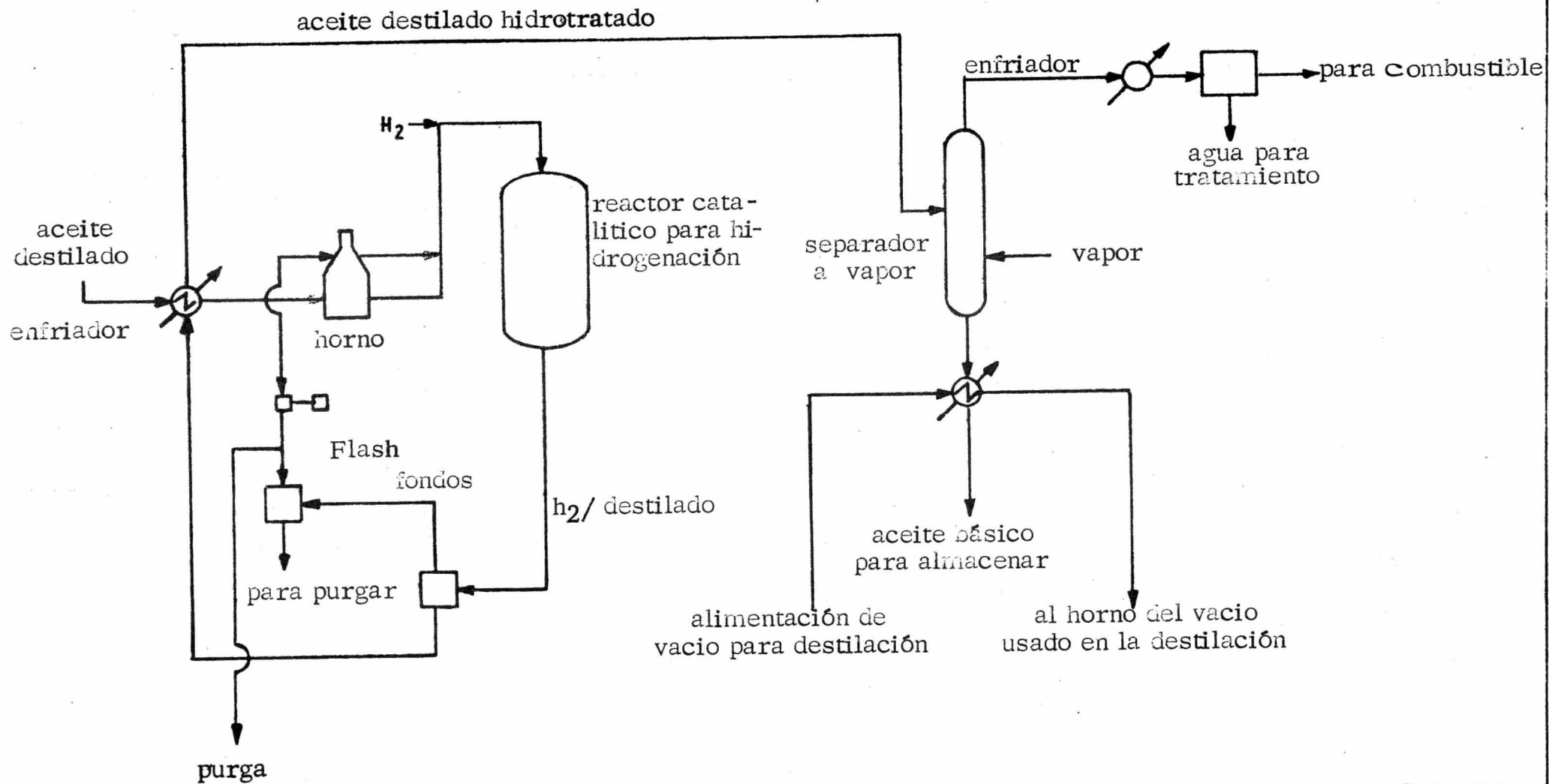
Como se describió antes, se puede usar una sección de pretratamiento antes de la destilación al vacío para reducir los problemas de ensuciamiento y erosión. El destilado de la corriente lateral de la columna de destilación al vacío, se calienta usando producto del hidrotratamiento y un calentador de aceite antes de ser mezclado con el recirculado y de preparar el hidrógeno. La mezcla de aceite-hidrógeno se pone en contacto con un catalizador estandar comercial para hidrotratado en un lecho fijo. El hidrógeno reacciona con el oxígeno y nitrógeno que contienen impurezas y con los insaturados.

La presión se reduce en dos tambores 'flash' en serie y el hidrógeno gaseoso recuperado se recircula. El aceite purificado se usa para precalentar la alimentación de entrada y después se inyecta a una columna de vacío o de separación de corrientes donde se eliminan cualquier cantidad pequeña de materiales volátiles que se pudieran haber formado. El producto purificado fuera del separador, se puede usar para precalentar la alimentación de la destilación al vacío, antes del enfriamiento y almacenamiento final.

Un trabajo reciente, resumido en la tabla 9, ha demostrado que el destilado tratado con hidrógeno, puede superar las propiedades típicas del lubricante Básico Neutro 150 visc. Las condiciones del hidrotratado usado en este traba



UNAM	
CIENCIAS QUIMICAS	
TESIS PROFESIONAL	
PROCESO	DIAG 4-A
DESTILACION	JORGE H. LOYA
HIDROGENACION	MEX D.F.



UNAM	
CIENCIAS QUIMICAS	
TESIS PROFESIONAL	
PROCESO	DIAG. 4
DESTILACION	JORGE
HIDROGENACION	H. LOYA
	J. D.F.

jo fueron: 47.5 kg/cm^2 ⁽¹⁾, 343°C , 142 litros de hidrógeno circulado por litro de alimentación y una velocidad de 1.0 v/v/hr (volúmenes de alimentación por hora, por volumen de catalizador).

Los fondos de la destilación que contienen casi todas las impurezas desagradables, pueden ser dispuestos de la misma forma que se mencionó anteriormente.

El problema del agua de desperdicio, al igual que en los otros procesos, se puede solucionar por medio de algún diseño convencional.

Para eliminar las impurezas provenientes de la purga en la corriente de hidrógeno y otras descargas menores, es suficiente con un purificador o lavador.

(1) Presión manométrica

TABLA 9

 CARACTERISTICAS DE LOS ACEITES USADOS DE MOTOR ANTES Y DESPUES
 DE SER TRATADOS POR EL PROCESO DESTILACION-HIDROGENACION

10

	Aceite ya usado para motor	Aceite * usado destilado	Aceite destilado-hidrotra- tado a $+45.7 \text{ kg/cm}^2/\text{v/v}$, $142.5 \text{ l H}_2/\text{l}$ alimentación			Propiedades típicas del lubricante Básico Neutro 150 vis
			288°C	315°C	343°C	
Visc. a 37.8°C, SSU	237	164	162	159	156	157
Visc. a 98.9°C, SSU	55.4	44.3	44.1	44.1	43.8	43.0
Indice de viscosidad	166 **	102	101	104	103	104
Color ASTM (D-1500)	Negro	Negro	<1.5	<1.5	<1.5	1.5
Estabilidad al color, TR (16 hrs a 100°C)	-	-	18	16	17	-
Gravedad, °API a 16°C	26.0	30.7	31.3	31.4	31.5	31.8
Flash, COC, °C	93	227	216	221	210	213
Punto de Congelación, °C	-34	-9.4	-7.0	-7.0	-9	-9
Carbón Conradson, % en peso	3.33	0.01	0.001	0.001	0.001	0.01
Número de Neutralización	5.87	0.51	0.0	0.0	0.0	0.01
Corrosión Cobre (3 hrs a 100°C)	-	-	2	2	1	1
Azufre, % en peso	0.3	0.12	0.053	0.031	0.012	0.08
Nitrógeno, % en peso	0.08	0.018	0.006	0.006	0.002	-

* Corte en el rango de 343-507°C (14-90% en vol)

** Los materiales ligeros, en aceites ya usados de motor, modifican la determinación del IV del aceite básico.

+ Presión manométrica.

4 EVALUACION DE LOS PROCESOS SELECCIONADOS

La evaluación de los procesos descritos en el capítulo anterior, la vamos a realizar a través de un estudio comparativo de cada uno de ellos, en los siguientes puntos:

4.1 Calidades de los productos

4.2 Subproductos y desperdicios

4.3 Patentes y proveedores de tecnología

4.4 Costo y Economía

4.1 CALIDADES DE LOS PRODUCTOS

El camino seguido para medir las calidades de los aceites regenerados, fué el de una comparación de las características de éstos contra las de los aceites básicos vírgenes correspondientes utilizados actualmente por las industrias de los lubricantes en U.S.A., Francia y México. Estos datos se presentan en las tablas 10, 11, 12 y 13 y se comentan a continuación.

En un análisis de la tabla 10 observamos que los aceites regenerados por el proceso ácido-arcilla presentan, en general, temperaturas de inflamación más bajas y números ácidos ligeramente mayores que aquellos de los aceites vírgenes, lo cual indica que, en estas propiedades, son ligeramente mejores los vírgenes, mientras que en el resto son tan similares que prácticamente resultan - equivalentes.

En cuanto al aceite tratado por el proceso destilación-arcilla, teniendo en cuenta que los valores presentados por la tabla 11 provienen de una muestra que ha sido únicamente destilada, y cuyas características de color y número de neutralización mejorarán después de ser tratado con arcilla, que es la etapa final de

este proceso, podríamos decir que sus características son equivalentes y en algunos casos superiores a las de un aceite virgen.

Los aceites regenerados en la Compañía Viscolube Italiana por el proceso de clarificación con propano, cuyas características aparecen en la tabla 12, nos muestran que el color es mejor para los aceites clarificados con propano que el de los vírgenes, así como el número ácido y el carbón Conradson.

En el caso del aceite tratado por el proceso destilación-hidrogenación, que -- aparece comparado en la tabla 13 contra el Básico Neutro 150 de U.S.A., en - contramos que las características son muy similares y por lo tanto las calidades resultan también equivalentes.

TABLA 10

PROPIEDADES DE ACEITES USADOS TRATADOS POR
 PROCESO ACIDO-ARCILLA
 VS
 PROPIEDADES DE ACEITES BASICOS VIRGENES

	Básico 200 Solvente Neutro		Básico 350 Solvente Neutro			Básico 400 Solvente Neutro	
	Virgen	Regenerado *	Virgen	Regenerados *		Virgen	Regenerado *
Peso Específico a 16°C	0.870 a 0.890	0.875	0.880 a 0.895	0.876	0.879	0.880 a 0.895	0.883
Temp. de Inflamación °C	210.0	132.0	215	174.0	257.0	230 a 235	218.0
Temp. de Congelación °C	-10 a -12	-15.0	-9°C	-18.0	-	-9 a -15	-23.0
Viscosidad SUS a 37.8°C	188 a 222	205.0	320 a 400	320	335	380 a 480	430
Indice de Viscosidad	95	107	95	103	82	95	92
Carbón Conradson (% peso)	0.06	0.19	0.1	0	0	0.05 a 0.1	0
Número Acido (mg. KOH/g)	0.05 a 0.01	0.151	0.1	0.145	0.064	0.01 a 0.1	0.146

* Aceites comercialmente regenerados en U.S.A.

TABLA 11
PROPIEDADES DE ACEITE USADO DESTILADO
VS
PROPIEDADES DE ACEITE BASICO VIRGEN

	Aceite Regenerado por Destilación	Básico virgen * Neutro Ligero 95
Viscosidad a 37.8°C, SSU	144	148.8
Viscosidad a 98.9°C, SSU	43.1	43.03
Indice de Viscosidad	105	98.0
Color ASTM (Método D-1500)	< 7.0	0.5
Número de Neutralización	0.23	0.034

NOTA: Estas propiedades son las que tiene un aceite usado tratado por el proceso destilación-arcilla, después de la etapa de la destilación. Se piensa que el tratamiento de arcilla, al que se somete posteriormente, deja la mayoría de estas propiedades relativamente sin cambiar, excepto en mejoramientos de color, número de neutralización y reducciones en el contenido de oxígeno y nitrógeno.

* Básico elaborado por Pemex

TABLA 12

PROPIEDADES DE ACEITES USADOS TRATADOS POR
 PROCESO CLARIFICACION CON PROPANO¹¹

VS

PROPIEDADES DE ACEITES BASICOS VIRGENES

	Básico 150 Solvente Neutro		Básico 350 Solvente Neutro		Básico 600 Solvente Neutro		Básico Solvente Bright Stock	
	Virgen	Regenerado*	Virgen	Regenerado*	Virgen	Regenerado*	Virgen	Regenerado*
Peso Específico	<0.875	<0.874	<0.885	0.882	<0.895	<0.888	< 0.910	<0.903
Color ASTM (D-1500)	< 2	<1.5	< 3	<2	<3.5	<2.5	< 6.5	< 5.5
Viscosidad Engler a 50°C	2.75 a 3.0	2.6 a 2.9	5.4 a 6.1	5 a 5.5	8.7 a 9.7	8 a 8.5	32 a 36	30 a 32
Indice de Viscosidad	97 +	95 +	95 +	95 +	95 +	95 +	95 +	95 +
Temperatura de Congelación °C	-15	-9	-9	-12	-9	-12	-9	-9
Temperatura de Inflamación Copa Abierta, °C	>200	>215	>215	>245	>240	>255	>290	>275
Número Acido	< 0.05	<0.03	<0.05	<0.03	<0.05	<0.03	<0.03	<0.03
Carbón Conradson	<0.03	<0.01	<0.1	<0.02	<0.15	<0.09	<0.8	<0.85
Cenizas	0	0	0	0	0	0	0	0

* Tratados por el proceso del Instituto Francés del Petróleo de clarificación con propano, ácido y extracción arcilla en la compañía Viscolube de Italia (sin aditivos).

TABLA 13

PROPIEDADES DE ACEITE USADO TRATADO POR
 PROCESO DESTILACION-HIDROGENACION 12
 VS
 PROPIEDADES DE ACEITE BASICO VIRGEN

-55-

	Propiedades aceite usado destilado-hidrogenado +			Propiedades típicas "Básico Neutro 150' **
	288°C*	315°C *	343°C *	
Viscosidad a 37.8 SSU	162	159	156	157
Viscosidad a 98.9 SSU	44.3	44.1	44.1	43.0
Índice de Viscosidad	101	104	103	104
Color ASTM (Método D-1500)	<1.5	<1.5	<1.5	<1.5
Peso Específico Relativo a 15.6/15.6°C	0.870	0.869	0.868	0.861
Temperatura de Inflamación °C	216	221	210	213
Temperatura de Congelación °C	-7.0	-7.0	-9	-9
Carbón Conradson, % en peso	0.001	0.001	0.001	0.01
Número de Neutralización	0	0	0	0
Corrosión Cobre (3 hrs. a 100°C)	2	2	1	1
Azufre, % en peso	0.053	0.031	0.012	0.08
Nitrógeno, % en Peso	0.006	0.006	0.002	-

+ Aceite Re-refinado sin aditivos

* Temperaturas de operación de la columna.

** Aceite básico virgen producido en U.S.A.

4.2 SUBPRODUCTOS Y DESPERDICIOS

Son dos los puntos fundamentales a considerar en este inciso: uno está enfocado a las ventajas o desventajas económicas que nos pueda generar la mayor o menor producción de estos subproductos y desperdicios; y el otro es referente a los problemas de la contaminación al medio ambiente que estos mismos puedan ocasionar.

-Consideración Económica.

En cuanto a este renglón se refiere, si observamos la tabla 14 notaremos - que todos los subproductos pueden ser utilizados como combustibles ligeros o pesados, y/o asfaltos. Como se sabe, actualmente los precios de venta de los combustibles son menores que los de los lubricantes; en el mejor de los casos un litro de diesel industrial que sería el equivalente al combustible ligero aquí obtenido, es de \$ 0.20, mientras que el de un aceite básico lubricante es de aproximadamente \$ 2.20 por litro, lo cual hace más deseable el producir más aceite lubricante y menos subproducto, por ser más costeable el primero que el segundo, ya que deja una utilidad mayor.

Por lo que toca al mercado para la venta del combustible ligero, se piensa que es grande y bien recibido, mientras que en el caso del combustible pesado, tendría problemas por el alto contenido de cenizas sulfatadas, lo cual provoca serios problemas de contaminación, por lo que muy probablemente sería usado más como asfalto que como combustible.

Respecto a los desperdicios, se puede observar fácilmente en la columna de "usos" de la tabla 14 que prácticamente ningún beneficio económico nos van a redituar éstos, sino más bien se tiene que hacer una inversión en ellos pa

ra poderles dar algún uso apropiado. Aunque la arcilla es susceptible de regenerarse hay que tener en cuenta que esto solo resulta costeable en grandes cantidades, por esta razón la mayoría de los regeneradores la siguen utilizando para rellenar tierras. Parece que la arcilla contaminada puede tener otros usos, pero no se tiene información clara de éstos.

De lo aquí mencionado, se puede concluir que desde el punto de vista económico la producción de subproductos y desperdicios es incosteable, por tanto los mejores procesos resultan ser aquellos que producen las menores cantidades de éstos; y que en este caso si analizamos la tabla 14 observaremos que en primer lugar estaría el de "clarificación con propano" y en segundo el de --- "destilación-arcilla".

-Problemas de Contaminación".

Los procesos que ocasionan los problemas de contaminación al medio ambiente más agudos, son obviamente aquellos que descargan los productos más nocivos y en las cantidades más altas. Si analizamos la tabla 15 observaremos que los productos más nocivos, por contener elementos o compuestos intoxicantes o irritantes al organismo del hombre y a los vegetales, son principalmente los lodos ácidos y en segundo término menos extremoso las arcillas -- usadas.

Si volvemos a la tabla 14, notaremos que el único proceso que no descarga -- ninguno de estos desperdicios es el de destilación-hidrogenación y que además el único producto de "desperdicio" que genera prácticamente es el agua con -- residuo, la cual finalmente puede ser tratada de tal forma que es posible volverla a utilizar. Por lo tanto desde el punto de vista de contaminación al medio ambiente, éste sería el más recomendable de los procesos.

TABLA 14

SUBPRODUCTOS Y DESPERDICIOS PRODUCIDOS POR LOS PROCESOS DE
REGENERACION SELECCIONADOS

P R O C E S O S	S U B P R O D U C T O S			D E S P E R D I C I O S		
	Tipo	*Cantidad	Uso	Disposición	*Cantidad	Tipo
Acido-arcilla	Hidrocarburos ligeros	6	Combustibles ligeros	Agua cloacal Relleno de tie- rras o se que- ma	4.0 20.7	Agua contaminada Lodo ácido
Destilación-arcilla	Hidrocarburos ligeros	** 4.0	Combustibles ligeros	Relleno de tie- rras	9.7	Arcilla usada
	Fondos de des- tilación	**21.2	Combustible pesado, as- falto o mate- ria prima pa- ra obtención - del plomo.	Tratamiento de aguas	**4.8	Residuos + agua
Clarificación con propano	Hidrocarburos ligeros	6	Combustibles ligeros	Relleno de tie- rras	1.3	Arcilla usada
	Residuos	4	Combustible pesado o asfal- to	Agua cloacal	4.0	Agua contaminada
Destilación-hidrogenación	Hidrocarburos ligeros	**4.0	Combustibles ligeros	Relleno de tie- rras o se que- ma	3.8	Lodo ácido
	Fondos de des- tilación	**21.2	Combustible pe- sado, asfalto o materia prima para obtención de plomo.	Tratamiento de aguas	**4.8	Residuos + agua

* Toneladas de subproducto o desperdicio por cada 100 toneladas de aceite usado alimentado al proceso.

** Valores estimados aproximados.

TABLA 15
 TRATAMIENTO Y DISPOSICION DE LOS RESIDUOS
 DE LOS ACEITES YA USADOS ₈

Residuos del Aceite usado	Origen	Contaminantes comunes	Contaminantes principales que impiden volverlos a usar o su aprovechamiento sencillo.	Tratamiento principal y métodos de disposición que se usa actualmente. (Desventajas)
Lodo Acido (93-98 % Acido sulfúrico/ lodo de aceite del orden de 30 % soluble en agua)	Tratamiento ácido de aceites usados para eliminar metales y otros contaminantes	H ₂ SO ₄ , Pb del aceite del carter metales y compuestos metálicos, polímeros y residuos de aceite pesado	H ₂ SO ₄ , Pb, y otros metales y aceite.	1. Relleno de tierras con o sin mezcla de desechos. (Contaminación de agua) 2. -Lagunas (Temporalmente)
Arcilla Usada. (aceite y arcilla impura contaminada)	Tratamiento con arcilla de los aceites usados para eliminar impurezas y mejorar color y olor.	Aceite, conteniendo compuestos inorgánicos N y O	Aceite y otros orgánicos.	1. - Relleno de tierras (Contaminación de aguas y degradación lenta).
Residuos del Pretratamiento. (lodo de aceite, agua y residuos inorgánicos)	Residuos del asentamiento, filtración centrifugación y otros pretratamientos.	Pb de los aceites de carter, otros metales y compuestos metálicos, residuo de aceite pesado (también se descartan los papeles filtro, los paños o telas y las ayudas - filtro)	Pb y otros metales	1. -Relleno de tierras (Contaminación de agua y degradación lenta)
Fondos de la Destilación o Extracción. (fracción de aceites pesados, ricos en inorgánicos)	Destilación o extracción para concentrar los contaminantes no volátiles.	Pb de los aceites de carter otros metales y compuestos metálicos, residuo de aceite pesado y coke.	Pb y otros metales	1. -Lagunas (temporalmente). 2. - Asfaltos 3. - Combustible (Contaminación del aire)

TABLA 15
(Continuación)

TRATAMIENTO Y DISPOSICION DE LOS RESIDUOS DE LOS
ACEITES YA USADOS

Residuos del aceite usado	Origen	Contaminantes comunes	Contaminantes principales que impiden volverlos a usar o un aprovechamiento sencillo	Tratamiento principal y métodos de disposición que se usan actualmente. (Desventajas)
Olores	Acido y otros pasos del proceso, tratamiento de agua, orificios de respiración tanques abiertos y fugas.	Pueden ser trazas de hidrocarburos, solventes, ácidos orgánicos, esterés, O, N, compuestos de azufre, SO ₂ , SO ₃ , NH ₃ , etc.	Olores	1.-Lavadores o depuradores (contaminación de agua) 2.- Venteo para hornos
Líquidos Condensados (Agua del aceite y del vapor usado para la columna de agotamiento, e hidrocarburos ligeros; vapor condensado y agua de enfriamiento donde se usó un chorro de vapor para vacío con condensador barométrico.	Destilación. * Mezclas superiores.	Fenoles, otros orgánicos disueltos y aceites.	Emulsiones, y orgánicos disueltos.	1.- Separación (eficiencia pobre, residuo de aceite húmedo)
Lavado de Aguas. (usualmente NH ₃ acuoso o cáustico con impurezas)	Gas lavado para eliminar SO ₂ , SO ₃ , y otros ácidos volátiles.	NaOH ó NH ₄ OH, SO ₂ , SO ₃ , y orgánicos solubles en agua.	Orgánicos solubles en agua.	1.-Recirculación (contaminación del agua de las purgas). 2.-Tratamiento ácido de las purgas (residuos sólidos disueltos).
Derrames y otras aguas aceitosas.	Aguas aceitosas de aceites derramados, fugas, purgas de la torre de enfriamiento y otras fuentes.	Aceite y polvo o tierra.	Aceite	1.-Separadores (eficiencia pobre, residuos de aceite húmedo y polvoso) 2.- Recoger para volver a usar. (Posible contaminación del agua).

TABLA 15
(Continuación)

TRATAMIENTO Y DISPOSICION DE LOS RESIDUOS DE LOS
ACEITES YA USADOS

Residuos del aceite usado	Origen	Contaminantes comunes	Contaminantes principales que impiden volver- los a usar o su aprovechamien- to sencillo.	Tratamiento principal y mé- todos de disposici3n que se usan actualmente. (Desventajas)
Cenizas y Coke	Tubos de los hornos y otras tuberías	Compuestos metálicos, po- límeros y coke.		1.- Relleno de tierras. (Contaminaci3n del agua por las cenizas solubles)

* Mezclas Superiores = Productos ligeros que salen por la parte superior de un evaporador o columna.

4.3 PATENTES Y PROVEEDORES DE TECNOLOGIA

Como se puede apreciar en la tabla 16, ningún proceso tiene problema de provisión de tecnología y además, como se mencionó al principio y en esta tabla se puede confirmar, todos estos procesos han sido comercialmente probados, por lo que en ningún caso se corre el riesgo de que el proceso no resulte al ser operado en escala industrial.

En cuanto a las patentes, el único caso del que no se encontró información en la literatura consultada es el del proceso ácido-arcilla; esto se debe muy probablemente a que es el proceso más antiguo, conocido y divulgado en la literatura, pero en caso de ser indispensable su obtención, es muy factible que se consiga probando a través de otros canales que resulten más apropiados.

Como conclusión de este inciso, podemos anotar que todos los procesos están en paridad de circunstancias en este aspecto, ya que todos ellos tienen disponibles las tecnologías y patentes, y han sido probados comercialmente a la fecha.

4.4 COSTOS Y ECONOMIA

Los costos y rentabilidades estimados en este inciso mostrados en las tablas 17, 18, 19 y 20, están basados en los cálculos de diseño del proceso, ya que no se dispone en la literatura de diseños mecánicos detallados. Estos son generales y para un propósito de orientación exclusivamente. Se actualizaron hasta septiembre de 1975 haciendo uso del " Cost Index Plant " de la revista " Chemical Engineering " y se estimaron de acuerdo a los precios de inversión, mano de obra y materia prima de México.

TABLA 16

PROVEEDORES DE TECNOLOGIA Y PATENTES

<u>PROCESO</u>	<u>PROVEEDOR DE TECNOLOGIA</u>	<u>PATENTES</u>	<u>*FIRMA QUE LO USA ACTUALMENTE</u>
Acido-Arcilla	Forsythe Lubrication Associates Ltd en Hamilton, Ontario.	Dato no disponible en la literatura consultada.	Forsythe Lubrication Associates Ltd en Hamilton, Ontario.
Destilación-Arcilla	Berks Associates, Inc. Douglasville, Pa.	-Chambers, U. M. "Crankcase Oil Refining", U. S. Patent No. 3, 173, 859. Mar-16-65. -Chambers, U. M. and Hadley-H. A., "Crankcase Oil Reclaiming" U. S. Patent No. 3, 625, 881 Dic-7-71.	Berks Associates, Inc. Douglasville, Pa.
Clarificación con Propano	Instituto Francés del Petróleo	-Quang Dang Vu, Audiberte Francois, etc. "Propane Regeneration Lubricating Oil" Patente Fr. 2, 096, 690.	Viscolube en Italia
Destilación-Hidrogenación	National Oil Recovery Corp. of Bayonne, N. J.	-Kettlitz, H. J., "Reclaiming Used-Oils" German Patent No. 1, 182, 377 (Nov/26/71) -Fiedler, et al, "Regeneration of Lubricating Oils" German Patent. No. 2, 030, 609 (Mar/18/71)	N. O. R. C. O. Bayone, N. J.

* Las firmas aquí mencionadas no son las únicas que usan actualmente el proceso, sino unas de las representativas.

La operación de las plantas supone un trabajo de 24 horas por día, 5 días a la semana, 50 semanas al año. Este tipo de operación tiene en cuenta reparación y mantenimiento en los fines de semana cuando sea necesario, lo -- cual nos proporciona flexibilidad en la capacidad de la planta, ya que ésta se puede incrementar trabajando también los fines de semana cuando sea necesario. Los costos de operación podrían disminuir un poco por la operación continua de 7 días por semana, con paros en la operación cuando se necesite reparación y mantenimiento.

Los rendimientos supuestos son algo optimistas, susceptibles de obtener con operaciones y alimentación cuidadosas.

Una suposición obvia en la comparación económica de los procesos de producción de aceite, es que la calidad del producto es la misma para cada proceso.

En la tabla 19 se descubre con facilidad que el proceso óptimo, económicamente hablando es el de Destilación-Arcilla, ya que tiene la inversión y costos de operación más bajos con la utilidad más alta, lo cual propicia que éste tenga la mejor de las rentabilidades.

TABLA 17

CAPITAL DE INVERSION PARA DIFERENTES PROCESOS DE REGENERACION
DE ACEITE YA USADO ⁸

Bases: procesado de 18,920 000 lts/año de aceite usado; 250 días/año de operación.

<u>Inversión</u> <u>\$ 1 000</u>	<u>Acido-Arcilla</u>	<u>Clarif. con Propano</u>	<u>Dest. -Arcilla</u>	<u>Dest. -Hidrogenación</u>
(1) Equipo de Proceso	16,860	21,040	15,500	19,680
(2) Facilidades de almacenamiento	7,938	8,704	9,520	9,520
Oficinas y Laboratorios	820	820	820	820
	<u>25,618</u>	<u>30,564</u>	<u>25,840</u>	<u>30,020</u>
Terreno y acondicionamiento del lugar	2,229	2,414	2,200	2,342
	<u>27,847</u>	<u>32,978</u>	<u>28,040</u>	<u>32,362</u>

(1) Incluye equipo para el proceso, edificio para el equipo, instalacion, ingenieria, diseño, tuberias, instrumentacion, etc.
Todo lo necesario para el equipo del proceso.

(2) Incluye los tanques, su instalacion, ingenieria, diseño, instrumentos, bombas, tuberias, etc.
Todo lo necesario para el almacenamiento.

TABLA 18

COSTOS DE OPERACION EN LOS PROCESOS DE REGENERACION DE ACEITE USADO ⁸

Bases: procesado de 18,920 000 lts/año de aceite usado; 250 días/año de operación.

<u>Procesos</u>	<u>Acido-Arcilla</u>	<u>Clarific. con Propano</u>	<u>Dest.-Arcilla</u>	<u>Dest. -Hidrogenación</u>
<u>Producción Anual</u>	13.6 x 10 ⁶ l	15.9 x 10 ⁶ l	14.4 x 10 ⁶ l	14.4 x 10 ⁶ l
<u>Inversión \$ 1 000</u>				
Planta (P)	25,618	30,564	25,840	30,020
Terreno y acondicionamiento	2,229	2,414	2,200	2,342
	<u>27,847</u>	<u>32,978</u>	<u>28,040</u>	<u>32,362</u>

<u>Productos Químicos</u>	<u>(1)</u>	<u>\$/l</u>	<u>(1)</u>	<u>\$/l</u>	<u>(1)</u>	<u>\$/l</u>	<u>(1)</u>	<u>\$/l</u>
H ₂ SO ₄ al 93% a \$ 4.10/kg.	0.127	0.521	0.043	0.176				
Arcilla a \$ 3.10/kg.	0.048	0.15	0.018	0.056	0.015	0.047		
H ₂ a \$ 3.5/m ³	-	-	-	-	-	-	0.102	0.357
Propano a \$ 2.0/kg.	-	-	0.0036	0.0072	-	-	-	-
Otros	-	-	-	-	-	0.054	-	0.034
<u>Servicios</u>								
Potencia Eléctrica a \$ 0.60/KWH ⁴⁵⁰	0.026	0.016 (11.60)	0.079	0.043	0.053	0.032 23.39	0.053	0.032
Agua a \$ 1.65/m ³ ^{1206/m³}	0.017	0.028 (20.46)	0.04	0.066	0.021	0.035 25.58	0.02	0.033
Aceite Combustible \$ 0.2/lit. ^{146.2 / 10⁶}	-	-	0.44	0.088	-	-	-	-
<u>Trabajo de Planta</u> ^{8.4 x 10⁶}								
Salarios a \$ 110 M/hombre/año	8 hombres	0.064	8 hombres	0.055	8 hombres	0.061	8 hombres	0.061
Refacciones y gastos generales a 50 %	-	0.032	-	0.028	-	0.031	-	0.031
Mantenimiento	3% P/año	0.056	3% P/año	0.058	3% P/año	0.054	3% P/año	0.063
<u>Seguros e Impuestos por Local</u>								
a 4/1000 Inversión/año	-	0.008	-	0.008	-	0.008	-	0.009

TABLA 18
(Continuación)

COSTOS DE OPERACION EN LOS PROCESOS DE REGENERACION DE ACEITE USADO

	<u>(1)</u>	<u>\$/1</u>	<u>(1)</u>	<u>\$/1</u>	<u>(1)</u>	<u>\$/1</u>	<u>(1)</u>	<u>\$/1</u>
<u>Disposición del Desperdicio</u>	-	0.016	-	0.007	-	0.001	-	0
<u>Depreciación a 10% P/año</u>	-	0.188	-	0.192	-	0.179	-	0.210
<u>Costos Indirectos</u>								
Salarios a \$ 800 M/año	-	0.059	-	0.050	-	0.056	-	0.056
Gastos Generales a 50% (Salarios)	-	0.030	-	0.025	-	0.028	-	0.028
<u>Costos Oper. (Excl. Alimentación)</u>		1,168 \$/ 1 Producto		0.859 \$/1 Producto		0.586 \$/1 Pro- ducto		0.914 \$/ 1 Producto

(1) Cantidad de material, servicio, o gasto, necesarios para obtener un litro de aceite básico terminado.

TABLA 19

UTILIDAD POTENCIAL DE LOS PROCESOS DE REGENERACION
DE ACEITE USADO⁸

<u>Procesos</u>	<u>Acido-Arcilla</u>	<u>Clarif. con Propano</u>	<u>Dest. -Arcilla</u>	<u>Dest. -Hidrogenación</u>
Inversión, \$ 1000	27,847	32,978	28,040	32,362
<u>Costos de operación (Excl. Alimentación)</u>				
Por unidad de producto	\$ 1.168/lt	\$ 0.859/lt	\$ 0.586/lt	\$ 0.914/lt
<u>Costos de Alimentación</u> a \$ 0.4/lt de aceite usado	0.56	0.48	0.53	0.53
<u>Costos totales</u>	\$ 1.73/lt	\$ 1.34/lt	\$ 1.12/lt	\$ 1.44/lt
<u>Precios de los productos</u>				
Aceite básico a \$ 2.20/lt	2.2	2.2	2.2	2.2
Aceite combustible con alto contenido de cenizas \$ 0.20/lt	-	0.06	0.05	0.05
	\$ 2.2/lt	\$ 2.26/l.	\$ 2.25/l.	\$ 2.25/l.
<u>Utilidad (Antes de impuesto)</u>				
Por unidad de producto	\$ 0.47/lt	\$ 0.92	\$ 1.13/lt	\$ 0.81/lt
1000 \$/Año	6,392	14,628	16,272	11,664
Rentabilidad %/Año	23.0	44.4	58.0	36,042

TABLA 20

RESUMEN DE PROCESOS PARA REGENERAR ACEITE YA USADO 8

Procesos	Productos Primarios	Desperdicios Primarios y Subproductos	Capacidad de Procesamiento 18.920,000 lts/año	
			Inversión	Costo de Operación *
Acido-Arcilla	Aceite básico para mezcla	Lodo ácido y arcilla usada	\$ 27.847,000	\$ 1.73/lt
Clarificación con propano	Aceite básicos para mezcla	Lodo ácido, arcilla - usada; alto contenido de cenizas en el subproducto combustible	\$ 32.978,000	\$ 1.34/lt
Destilación-arcilla	Aceite básico para mezcla	Arcilla usada; alto contenido de cenizas en el subproducto combustible.	\$ 28.040,000	\$ 1.12/lt
Destilación-Hidrogenación	Aceite básico para mezcla	Alto contenido de cenizas en el subproducto - combustible	\$ 32.362,000	\$ 1.44/lt

* Incluye \$ 0.4/lt por costo de alimentación y 10%/año por depreciación, pero falta la utilidad sobre la inversión.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A manera de un resumen conclusorio de los capítulos comentados en este trabajo, enunciamos lo siguiente:

- 5.1 Se estima que en 1975 se tiraron, como producto de desperdicio alrededor de 287,100 a 288,200 m³ de aceite lubricante usado envejecido, de tipo automotriz e industrial en la República Mexicana.
- 5.2 Los aceites lubricantes son hidrocarburos líquidos de alto peso molecular derivados del petróleo, cuyos componentes principales son aceites básicos y aditivos. Las propiedades principales que nos dan una idea del tipo de aceite, de su calidad, uso, etc., son: la viscosidad, peso, acidez, color; temperaturas de inflamación, ignición y congelación; resistencia a la oxidación y residuos de carbón.
- 5.3 Los aceites lubricantes envejecidos, que son aquellos que han sufrido modificaciones en sus propiedades físicas y químicas, pueden ser regenerados por diferentes tipos de procesos y por el agregado de aditivos que les permiten recuperar las características perdidas para que queden aptos y puedan ser usados de nueva cuenta.
- 5.4 Existen entre otros, cuatro procesos para regenerar aceite que se consideran los mejores por reunir características tales como: alta productividad, bajo costo de manufactura, calidad del producto y por haber sido probados comercialmente. Las operaciones que se efectúan en cada uno de ellos son las siguientes:

a) Proceso Acido-Arcilla

Separación de contaminantes gruesos

Decantación

Deshidratación y recuperación de gasolina

Tratamiento con ácido

Separación combustible ligero y compuestos olorosos

Tratamiento con arcilla

b) Proceso Destilación-Arcilla

Separación de contaminantes gruesos

Decantación

Deshidratación y recuperación de gasolina

Separación de lodos

Destilación al vacío

Tratamiento con arcilla

c) Proceso clarificación con Propano

Separación de contaminantes gruesos

Decantación

Deshidratación térmica

Precipitación y extracción con solvente

Recuperación del propano

Tratamiento con ácido

Tratamiento con arcilla y filtración

d) Proceso Destilación-Hidrogenación

Separación de contaminantes gruesos

Decantación

Deshidratación y recuperación de gasolina

Separación de lodos

Destilación al vacío

Hidrogenación

5.5 Al comparar los resultados de varias evaluaciones hechas a cada uno de estos procesos, con el fin de escoger el más apropiado para las condiciones y necesidades de México, se llegó a lo siguiente:

- a) Las calidades de los aceites regenerados por cada uno de éstos resultan prácticamente equivalentes y de un nivel tal en todos los casos, que pueden competir en el mercado contra la calidad de un -- aceite virgen.
- b) Por generar menos subproductos contaminantes, los más aceptables son el de Destilación-Hidrogenación, en primer plano y en segundo el de Destilación-Arcilla. (Ver tabla 14)
- c) En todos los casos se dispone de patentes y proveedores de tecnología.
- d) Desde el punto de vista económico, el proceso más **rentable** es el - de Acido-Arcilla, siguiéndole el de Clarificación con Propano. (Ver tablas 18 y 19).

Por las conclusiones anteriores se recomienda como el proceso "óptimo", para las condiciones de México el de Destilación-Arcilla, por haber resultado el mejor desde el punto de vista económico, porque los problemas de contaminación que provoca son de los menores y aceptables por el gobierno y por ser equivalente a los demás en el resto de los puntos.

- 16.- D.J. Skinner
" Preliminary Review of Used Lubricating Oils in Canada"
Report No. EPS 3-WP-74-4
Petroleum and Industrial Organic Chemicals Division, Water
Pollution Control Directorate.
Canadá, Junio de 1974.
112 páginas

- 17.- "Planta Regeneradora de Aceite Lubricante"
Guión del proyecto industrial No. 45
Nacional Financiera, S.A.
México, D.F. 1975
12 páginas

- 18.- "Indicadores Económicos"
Volumen III, No. 10
Banco de México, Gerencia de Investigaciones Económicas
México, D.F. Septiembre de 1975
Páginas 26-30

- 19.- Economic Indicators, CE Plant Cost Index
Chemical Engineering
Volumen 82, No. 26
Pág. 184, Dic. 8, 1975

- 20.- M.L. Whisman, J.W. Goetzinger y F.O. Cotton
"Waste Lubricating Oil Research an Investigation of Several
Re-refining Methods"
U.S. Bureau of Mines
Report of investigations 7884
Washington, U.S.A. 1974
26 páginas

- 21.- M.L. Whisman, J.W. Goetzinger and F.O. Cotton
"Waste Lubricating Oil Research: a Comparison of Bench-Test
Properties of Re-refined and Virgin Lubricating Oils"
U.S. Bureau of Mines
Report of investigations 7973
Washington, U.S.A. 1974
18 páginas

- 22.- "Waste Oil Roundup... No. 3"
American Petroleum Institute, Division of Marketing
Washington, D.C. U.S.A. Septiembre 1974
33 páginas

- 23.- John Perry
"Chemical Engineering Handbook"
Tercera edición
Mc Graw-Hill Book Company
New York, E.U.A.

- 24.- Robert E. Treybal
"Mass Transfer Operations"
Segunda edición
Mc Graw-Hill
New York. 1968
Capítulo tercero
- 25.- Morrison and Boyd
"Organic Chemistry"
Segunda edición
Allyn and Bacon, Inc.
Bastón, U.S.A. 1966
Páginas 109-110
- 26.- "Aditivos para Aceites Lubricantes"
Reporte No. C-1101
Lubrizol Servicios Técnicos, S. de R.L.
México, D.F.
48 páginas
- 27.- Norman J. Weinstein
"Re-refining Schemes Compared"
Hydrocarbon Processing. Páginas 74-76
Diciembre, 1974.
- 28.- Robert Dutriau y Dang Vu Quang
"Propane Clarification Aids Lube Oil Reclamation"
Chemical Engineering. Páginas 54 y 55
Febrero 21, 1972
- 29.- B. Cross
"Squeezing Pure Lubes from Waste Oils"
Chemical Engineering. Páginas 126-128
Junio II, 1962
- 30.- "The Dirty Story Nobody Wants to Hear"
Lubrication and Tribology. Páginas 9-11
Enero/Febrero 1975.
- 31.- "Literature Search on Used Oils-Disposal"
Lubrication Engineering. Páginas 486 y 487
Octubre, 1974
- 32.- J.W. Goetzinger, F.O. Cotton y M.L. Whisman
"A Comparative evaluation of news, used, and re-refined
lubricating oils"
The Oil and Gas Journal. Páginas 133-135
Marzo 3, 1975

- 33.- Pierre Bonnifay, Robert Dutriay y John W. Andrews
"A New process for Reclaiming Spent Lubricating Oils"
Presentado por el Instituto Francés del Petróleo en el Congreso Nacional de Combustibles y Lubricantes de la National Refiners Petroleum Association.
New York, U.S.A. Septiembre 14-15, 1972
10 páginas
- 34.- Quang Dang Vu, Francois Audibert, Jean-Francois Boucher y Henri Deville.
"Propane Regeneration Lubricating Oil"
Patente Francesa No. 2, 096, 690
Publicación: agosto 9, 1974
- 35.- Chambers, J.M.
"Crankcase Oil Refining"
Patente U.S.A. No. 3, 173, 859
Marzo 16, 1965.
- 36.- Chambers, J.M. and Hadley, H.A.
"Crankcase Oil Reclaiming"
Patente U.S.A. No. 3, 625, 881
Diciembre 7, 1971
- 37.- Fitzsimons, O., Radden Ch. y Hindman G.
"Process for Re-refining Used Petroleum Products"
Patente U.S.A. No. 3, 791, 965.
Febrero 12, 1974.
- 38.- Kettlitz, H.J.
"Reclaiming Used-Oils"
Patente alemana No. 1, 182, 377
Noviembre 26, 1971
- 39.- Fiedler, y otros.
"Regeneration of Lubricating Oils"
Patente Alemana No. 2, 030, 609
Marzo 18, 1971.

BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS

- 1.- Chemical Abstracts
Vol. 66 al 82
1967-1975
- 2.- Alphonse Schilling
"Motor Oils and Engine Lubrication"
Segunda edición
Scientific Publications (G.B.) LTD
Leicestershire, Inglaterra. 1968
301 páginas.
- 3.- Vladimir A. Kalichevsky
"Modern Methods of Refining Lubricating Oils"
Reinhold Publishing Corporation
New York, U.S.A. 1938
Páginas 11-14
- √4.- "Manual de Lubricación"
National Tube Division
Biblioteca Industrial Edicol
México, D.F. 1974
Dos volúmenes
- 5.- William A. Gruse, Formerly Chairman
"Motor Oils Performance and Evaluation"
Reinhold Publishing Corporation
New York, U.S.A. 1967
236 páginas
- √6.- "Manual de Lubricantes"
Petróleos Mexicanos
Tercera edición
Editorial Galache, S.A.
México, D.F. 1974
107 páginas
- 7.- René B. Méndez G.
"Estudio Técnico Económico para Regenerar Aceites
Lubricantes" (Tesis profesional)
Instituto Politécnico Nacional
México, D.F. 1969
80 páginas