



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
ZARAGOZA

RECUPERACION DE HEXANO Y SU UTILIZACION EN LA  
EXTRACCION DE ACEITES COMESTIBLES

T E S I S

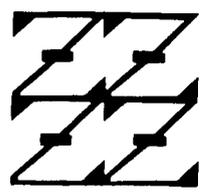
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A :

VICTOR MANUEL HERNANDEZ GUDIÑO

Asesor: I. Q. JOSE ANTONIO ZAMORA PLATA



MÉXICO, D.F. 2002

TESIS CON  
FALTA 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.



**FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES ZARAGOZA**

**JEFATURA DE LA CARRERA  
DE INGENIERIA QUIMICA**

**OFICIO: FESZ/JCIQ/537/01**

**ASUNTO: Asignación de Jurado**

**ALUMNO: HERNANDEZ GUDIÑO VICTOR MANUEL**

**P r e s e n t e.**

En respuesta a su solicitud de asignación de jurado, la jefatura a mi cargo, ha propuesto a los siguientes sinodales:

<b>Presidente:</b>	<b>I.Q. Eduardo Vázquez Zamora</b>
<b>Vocal:</b>	<b>I.Q. José Antonio Zamora Plata</b>
<b>Secretario:</b>	<b>Q. Cecilia Sugina Matsubara Oda</b>
<b>Suplente:</b>	<b>I.Q. José Maciel Ortíz</b>
<b>Suplente:</b>	<b>I.Q. Ana Lidia Tlapanco Godar</b>

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

**A t e n t a m e n t e**

**“POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU”**

México, D. F., 5 de Noviembre del 2001.

**EL JEFE DE LA CARRERA**

**I.Q. ARTURO E. MENDEZ GUTIERREZ**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
ZARAGOZA  
INGENIERIA QUIMICA  
SECRETARIA TECNICA**

AEMG/isa\*

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

## **AGRADECIMIENTOS**

SER HOMBRE ES HACER LAS COSAS; NO BUSCAR PRETEXTOS PARA NO HACERLAS.

A MIS PADRES LUIS Y GUADALUPE:

POR HABERME DADO LA VIDA Y BRINDARME LA OPORTUNIDAD DE TENER UNA CARRERA. GRACIAS POR HABER CONFIADO EN MI Y POR SER TAN BUENOS PADRES.

A MARTHA Y OCTAVIO:

NO HAY PALABRAS QUE DESCRIBAN EL AGRADECIMIENTO QUE SIENTO HACIA USTEDES YA QUE SIN SU APOYO NO HUBIERA PODIDO TERMINAR MIS ESTUDIOS. MIL GRACIAS POR HABERME AYUDADO CUANDO MÁS LO NECESITABA.

A MIS HERMANOS LUIS(†) Y ARTURO:

POR EL GRAN EJEMPLO DE SUPERACIÓN QUE ME DIERON, EL CUAL TRATO DE SEGUIR DIA CON DIA, QUIZAS NO LLEGUE A SER COMO USTEDES PERO SIEMPRE BUSCARE CUMPLIR MIS METAS EN LA VIDA..

AL ING. JOSE ANTONIO ZAMORA P. E ING. JORGE JIMENEZ L.:

GRACIAS POR EL TIEMPO BRINDADO PARA LA ELABORACIÓN DE ESTE TRABAJO, POR SU APOYO Y POR SUS CONSEJOS.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

A MIS HERMANOS:

SILVIA, MARCO ANTONIO, MARGARITA, ESTHER, LOURDES, HILDA Y ARMIDA. GRACIAS POR SU APOYO Y POR CONFIAR EN MI, AHORA LES PUEDO DECIR QUE HE CUMPLIDO.

A MIS CUÑADOS:

SALVADOR, MAYORAL Y ALEJANDRO. GRACIAS POR HABER ESTADO CONMIGO EN LAS BUENAS Y EN LAS MALAS, POR SUS CONSEJOS Y REGAÑOS QUE BASTANTE ME SIRVIERON, NUNCA CAMBIEN.

A TODOS MIS COMPAÑEROS DE LA ESCUELA:

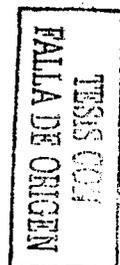
POR LA GRAN AMISTAD QUE ME BRINDARON Y POR LOS MOMENTOS QUE PASE JUNTO A USTEDES.

LA OPORTUNIDAD SE DEJA ALCANZAR SÓLO POR QUIENES LA PERSIGUEN.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## INDICE

INTRODUCCIÓN.....	2
<b>CAPÍTULO I HEXANO</b>	
1.1 Generalidades.....	4
1.2 Lugar de producción.....	7
1.3 Proceso de obtención.....	8
1.4 Análisis de la demanda de hexano.....	10
1.4.1 Composición de la demanda del mercado.....	15
1.5 Precios del hexano.....	17
1.6 Importaciones.....	19
<b>CAPÍTULO II PRINCIPALES USOS DEL HEXANO</b>	
2.1 Usos.....	23
2.1.1 Industria de los adhesivos.....	23
2.1.2 Elaboración de solventes y adelgazadores.....	24
2.1.3 Procesos de polimerización.....	24
2.1.4 Extracción de aceites comestibles.....	25
2.1.4.1 Extracción mecánica.....	27
2.1.4.2 Extracción por disolventes.....	30
2.1.4.3 Tratamiento final.....	34
a) Desgomado.....	34
b) Blanqueo.....	34
c) Deodorización.....	34
d) Hidrogenación.....	35
e) Enfriamiento.....	35
<b>CAPÍTULO III MERCADO DE SEMILLAS OLEAGINOSAS</b>	
3.1 Análisis del mercado nacional.....	37
3.2 Análisis del mercado mundial.....	40
3.2.1 Comportamiento de la producción de semillas oleaginosas... ..	43
3.2.2 Consumo de aceites, grasas y harinas oleaginosas.....	44
3.2.3 Perspectivas para 1998 y 1999.....	48
<b>CAPÍTULO IV PROCESOS PARA LA MINIMIZACIÓN DEL BENCENO</b>	
4.1 Procesos de separación.....	53
4.1.1 Selección de un proceso de separación.....	56
1) Posibilidad.....	56
2) Selectividad.....	57



3) Capacidad de separación.....	57
4) Calidad del producto.....	57
5) Valor del producto.....	58
4.2 Separación de benceno.....	59
4.2.1 Destilación.....	59
4.2.2 Hidrogenación catalítica.....	60
4.2.3 Adsorción.....	61
4.2.3.1 Características de la operación por adsorción.....	63
4.2.3.2 Materiales sorbentes.....	64
<b>CAPÍTULO V ANÁLISIS Y PROPUESTA</b>	
5.1 Análisis.....	67
5.2 Propuesta.....	74
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>75</b>
<b>ANEXO I.....</b>	<b>78</b>
<b>ANEXO II.....</b>	<b>82</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>116</b>

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Objetivos:**

- Revisar los procesos para el tratamiento y la eliminación del benceno.
- Seleccionar la alternativa más viable para minimizar el contenido del benceno en el hexano a menos de 10 ppm.
- Establecer las bases preliminares del proceso para la extracción de aceite comestible de semillas oleaginosas.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## INTRODUCCIÓN

A través de estudios previamente realizados se observaron diferentes factores que han afectado las ventas de hexano a nivel nacional, entre ellos se encuentra el aumento a los precios y la importación de hexano sin benceno, ya que el hexano que se produce en México tiene un alto contenido de benceno, aproximadamente 3000 ppm. Esto ha sido expuesto por los diferentes clientes que tienen que cumplir con normas internacionales de salud.

En respuesta a esto, la gerencia de comercialización de petroquímicos básicos tiene en marcha un proyecto para obtener y producir hexano con bajo contenido de benceno, teniendo resultados muy favorables para las perspectivas de los consumidores.

El proyecto tiene como fin encontrar la alternativa más viable para disminuir el contenido de benceno en el hexano además de realizar un estudio de mercado para revisar la situación actual del mercado de aceites comestibles tanto a nivel nacional como internacional, ya que también se pretende exportar el hexano.

Los procesos de separación que se analizaron fueron tres: hidrogenación catalítica, destilación y adsorción.

Actualmente el hexano que se comercializa proviene del complejo petroquímico Cangrejera cuya calidad es buena y apropiada para ciertos productos, como solventes, pero no cumple con los requerimientos para producir hexano para uso alimenticio.

El lograr producir hexano con estas características, sin lugar a dudas trae consigo beneficios no solo para la empresa, sino también para los clientes y la sociedad en general fortaleciendo el desarrollo económico del país.

Por otra parte el elaborar productos de calidad se ha convertido ya en una necesidad debido a que enfrentamos cada día una globalización de mercados, donde las empresas son cada vez más competitivas y el no estar al nivel del mismo, significa salir del mercado.

# **CAPITULO I**

## **HEXANO**

El hexano siendo un corte de la destilación del petróleo es considerado un petroquímico básico, ya que es susceptible de servir como materia prima industrial. El hexano es ampliamente utilizado en la industria para la extracción de aceites vegetales, como disolvente de pinturas, como medio de reacción para la polimerización, como desnaturizante del alcohol y en la industria farmacéutica.

Aun cuando parece que el mercado del hexano esta protegido, cabe mencionar que existen productos sustitutos en el caso de adelgazadores de pinturas, tintas de impresión y adhesivos, incluso la importación de este producto en el caso de la fabricación de aceite comestible, significando que la demanda para Pemex Gas y Petroquímica Básica se vea afectada. Ya que este es el problema que esta afectando a la Gerencia de Comercialización de Petroquímicos Básicos lo primero que tendremos que conocer es todo lo referente al hexano, desde su manejo hasta la situación actual en el mercado nacional, en cuanto a los usos hablaremos más a fondo en el segundo capitulo.

## **1.1 GENERALIDADES**

El hexano tiene las siguientes propiedades:

Es un líquido incoloro, volátil, con olor tenue a gasolina, inflamable, forma mezclas explosivas con el aire; tóxico por inhalación e ingestión, soluble en alcohol e insoluble en agua.

Su fórmula química es  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}_3$  y su peso molecular es 86.10 g/gmol.

Su nombre común es Hexano, su nombre químico es n-hexano, se le conoce también con otros nombres como son:

- Hidrido de caproilo
- Hidrido de hexilo

- n – Butilmetano

La siguiente tabla nos muestra las propiedades fisicoquímicas del hexano

TABLA 1.1 PROPIEDADES FISICOQUIMICAS

<b>ESTADO FÍSICO:</b>	Líquido
<b>COLOR:</b>	incolore
<b>OLOR:</b>	ligeramente a gasolina
<b>PESO ESPECIFICO A 20 °C:</b>	0.668
<b>CALOR DE COMBUSTION:</b>	995.01 Kcal/mol
<b>CALOR DE VAPORIZACION:</b>	87.50 cal/g
<b>CALOR DE FUSION:</b>	36.138 cal/g
<b>TEMPERATURA DE AUTOIGNICIÓN:</b>	225 °C
<b>TEMPERATURA DE INFLAMACION:</b>	-22.7 °C
<b>TEMPERATURA DE EBULLICION:</b>	68.736 °C
<b>TEMPERATURA DE FUSIÓN:</b>	-95.33 °C
<b>PRESIÓN DE VAPOR REID:</b>	0.4 kg./cm <sup>2</sup> máximo (6 lb/pulg <sup>2</sup> .)
<b>DESTILACION:</b>	
Temp. inicial.	60 °C mínimo
Temp. final	71 °C máximo
<b>ÍNDICE DE REFRACCION (20C)</b>	1.37486
<b>COLOR SAYBOLT:</b>	+ 25
<b>REACCION DEL RESIDUO:</b>	no ácida
<b>CORROSION</b>	estándar 1 máximo
<b>AZUFRE:</b>	30 ppm máximo
<b>NUMERO DE BROMO:</b>	1 cg Br/g máximo
<b>MATERIA NO VOLÁTIL:</b>	1 mg/100 ml máximo
<b>ÍNDICE KAURI-BUTANOL:</b>	33
<b>SOLUBILIDAD:</b>	
en agua	insoluble
en alcohol, acetona, éter	soluble
<b>ESTABILIDAD:</b>	estable

La toxicidad que tiene el hexano es la siguiente:

- Concentración máxima permisible (8 horas) menor de 500 ppm
- Al contacto con la piel, resulta irritante
- Tóxico por inhalación e ingestión

La rapidez con que se impartan los primeros auxilios a personas que han ingerido o inhalado el hexano es de suma importancia:

- En caso de inhalación mantener la respiración, dar oxígeno (si es necesario).
- En caso de ingestión, no inducir al vómito.
- Al contacto con la piel u ojos, lavar la piel con agua y jabón y los ojos sólo con agua.

El equipo de protección personal que se requiere para su manejo son:

- Ropa de algodón.
- Botas antiderrapantes y dieléctricas, con casquillo de acero.
- Mascarilla para vapores orgánicos.
- Goggles.
- Guantes de hule o de neopreno.
- No se debe colocar cerca de los puntos de calor, ni se debe almacenar o transportar en recipientes de vidrio sin tapa.
- Para guardar o transportar cantidades pequeñas debe disponerse de botes metálicos de seguridad, con tapas herméticas. Estos recipientes están contruidos de manera que su centro de gravedad es muy bajo, lo que hace difícil que se vuelquen y si accidentalmente sucede, el peligro de derrame es mínimo.
- Es conveniente hacer inspecciones periódicas al equipo, tuberías y recipientes, que hayan almacenado este producto para evitar mezclas explosivas.
- Los almacenes que guardan este producto además de las medidas de seguridad indicadas anteriormente, deberán de tener una buena ventilación, con el objeto de evitar la formación de mezclas explosivas.

La transportación del producto elaborado en las áreas de producción, (refinería y unidades petroquímicas) a los centros de distribución, (clientes) actualmente se lleva a cabo por Autotanque (carretera), asumiendo éstos el costo por su flete.

Durante el llenado o descarga deben evitarse toda clase de fugas debido a su inflamabilidad y toxicidad, debiendo realizar dichas actividades en lugares ventilados, alejados de cualquier fuente de ignición.

Mantener alejado al personal ajeno a la descarga o llenado. Tener indicación de la dirección del viento y de los aspersores de agua. Para efectuar la descarga no deberá aplicarse presión de aire, debe evitarse que el producto entre en contacto con superficies calientes.

## **1.2 LUGAR DE PRODUCCIÓN**

El Hexano actualmente se produce en el complejo petroquímico La Cangrejera, esta es una de las mayores instalaciones petroquímicas en Latinoamérica. El complejo comprende 20 plantas con las instalaciones necesarias de servicios auxiliares y edificios para las funciones administrativas que se requieren.

El complejo se localiza en el sureste, a 8 km. al este de la ciudad de Coatzacoalcos, sobre la carretera Coatzacoalcos – Villahermosa. Se halla a 4 km. del complejo de Pajaritos y a 5 km del puerto de Pajaritos, donde es el centro embarcador y la terminal marítima la cual es un punto de exportación ocupando un área de 305 Km.

Este centro petroquímico, ha tomado fuerza en los últimos años, lo cual se debe en gran parte a su ubicación y a una serie de impulsos tecnológicos industriales y comerciales. En cuanto a su capacidad fraccionadora de aromáticos es de 640,000 Ton. teniendo así una capacidad para la producción de productos petroquímicos como: Benceno, Heptano, Hexano, etc. (su tecnología ocupada en este punto es Fluor & Constructor Co.). En cuanto a su capacidad de producción de Hexano la de diseño es de 152 Ton / día teniendo 330 días operables al año.

En cuanto a la distribución nacional de producto, se lleva a cabo mediante carrotanque, haciendo un recorrido de 1 a 2 días de camino hasta la ciudad de México, su distancia recorrida es de 800 Km., transportando una capacidad de 40 ton.

Petroquímica CANGREJERA S.A. de C.V. ha suministrado el mercado nacional e internacional de aromáticos, siendo así la única cadena integrada de aromáticos en México por su autosuficiencia en sus servicios básicos y con una amplia capacidad de almacenamiento para sus productos.

CANGREJERA dentro de las ventajas que representa para sus clientes es el contar con el certificado de calidad como el ISO – 9002, en la elaboración y suministro de productos petroquímicos, cumpliendo así con los requisitos establecidos por sus clientes.

Aunado a esto, establecieron el sistema integral de administración de protección al medio ambiente, seguridad industrial y salud ocupacional (denominado PASSO), ofreciendo así no solo beneficio a la industria, sino además al medio ambiente, factor que en la actualidad ha tenido mucho auge.

### **1.3 PROCESO DE OBTENCIÓN**

El proceso de obtención es descrito en la fig. 1.1, comienza desde la extracción del crudo en los pozos petroleros. El crudo es tratado en las criogénicas de Cangrejera, resultando una mezcla de hidrocarburos la cuál entra en las plantas tratadora y fraccionadora, obteniéndose propano, butano, naftas pesadas y ligeras. Las naftas ligeras se envían a la planta deshidrodesulfuradora las que posteriormente van a ser la carga de la planta reformadora.

En general el proceso se puede dividir en tres partes:

- a) Planta reformadora BTX
- b) Planta fraccionadora de aromáticos
- c) Planta extractora de aromáticos

La nafta procedente de la planta hidrodeshulfuradora se alimenta a una columna desiohexanizadora, con objeto de separar la nafta no reformable (Hexano y más ligeros).

Se obtiene por el fondo Heptano y Octano, los que, previo calentamiento, se alimentan a la sección de reformación, compuesta de cuatro reactores. La mezcla

gaseosa se enfría y luego se envía a un tanque separador de gases, los que, luego de ser comprimidos, pasan a un segundo tanque separador de hidrógeno. Este se utiliza posteriormente en las plantas purificadoras de hidrógeno, hidrodesulfurizadora y recuperadora de licuables.

Los líquidos obtenidos en los separadores fluyen a la columna estabilizadora, donde se destila una mezcla de hidrocarburos ligeros, que se envían a la planta fraccionadora de líquidos criogénicos. Por el fondo de la columna se extrae reformado, compuesto de una mezcla de Hexano, Benceno, Tolueno y Xileno, que sirven de carga a la planta fraccionadora de aromáticos.

El reformado obtenido en la planta BTX es alimentado a la torre fraccionadora en donde se separan por el domo una mezcla de aromáticos ligeros (Hexano, Heptano, Benceno, Tolueno) que se envían a la planta extractora de aromáticos y los fondos se alimentan a la fraccionadora de Xilenos.

Junto con los Xilenos provenientes de la planta de isomerización de xileno y con los fondos de la columna de tolueno, en la torre de ortoxileno, se obtiene el ortoxileno producto y los fondos son alimentados a otra columna en donde la mezcla del domo se envía a la planta xilenos - plus y los fondos son enviados a almacenamiento.

Los productos finales obtenidos en esta planta son los siguientes: Benceno, Tolueno, ortoxileno, Hexano y Heptano.

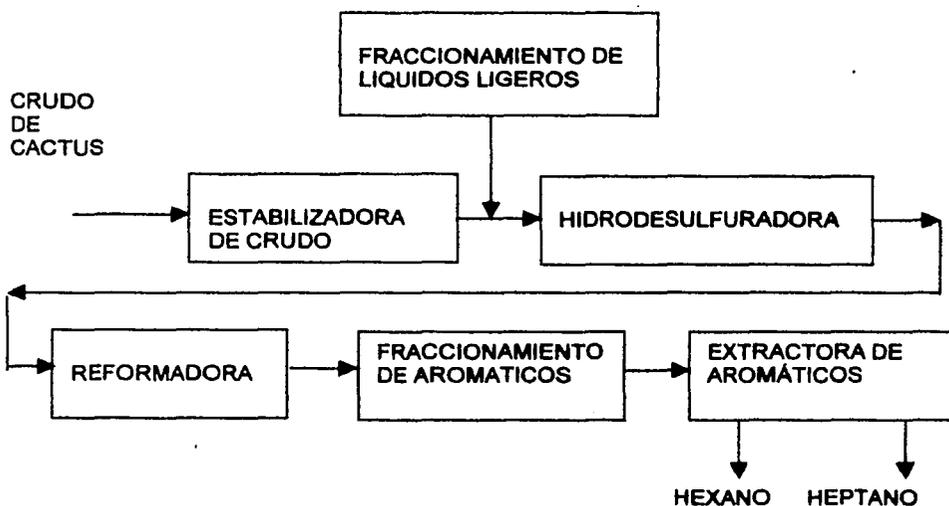
La planta extractora de aromáticos tiene como finalidad separar el Hexano y el Heptano de la mezcla formada por Hexano, Heptano, Benceno y Tolueno procedente de la fraccionadora de aromáticos. El refinado, compuesto de Hexano, Heptano y aromáticos, se lava con agua y separa en la fraccionadora de Hexano y Heptano.

El agua de lavado y el extracto fluyen a unos agotadores para separar los hidrocarburos ligeros, que se recirculan a la columna de extracción, entrando extracto y agua a la columna de recuperación, en la cual se destila la mezcla Benceno - Tolueno (extracto) que se envía a las plantas fraccionadoras de

Benceno y Tolueno, y el solvente, que fluye del fondo, se envía nuevamente a la columna de extracción, obteniendo finalmente el Hexano.

La producción promedio de Hexano es de 7000 T / mes lo que significa aproximadamente un 78% de la capacidad instalada.

**Fig. 1.1 Diagrama de bloques producción de hexano, Complejo Petroquímico Cangrejera.**



Después de conocer el proceso de obtención del hexano así como sus propiedades y manejo, daremos un vistazo a la situación actual en el mercado nacional.

#### 1.4 ANÁLISIS DE LA DEMANDA DE HEXANO

A continuación se mostraran las regiones y el número en donde se ubicaron los clientes que Pemex Gas y Petroquímica Básica suministró durante el periodo

1996, 1997, y 1998, así como el porcentaje que represento la zona para sus ventas.

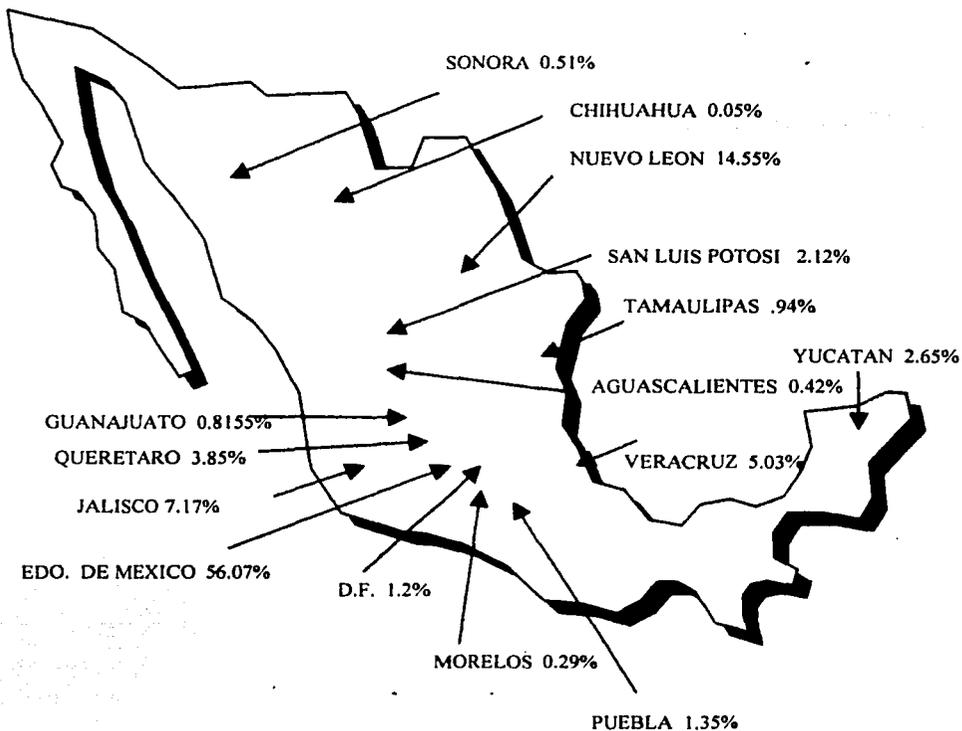
*TABLA 1.2 Número de clientes en el país ubicados en sus respectivas zonas geográficas 1996, 1997, 1998, 1999*

	<b>1996</b>	<b>1997</b>	<b>1998</b>	<b>1999</b>
ESTADO DE MÉXICO	11	14	12	11
NUEVO LEON	8	7	8	7
JALISCO	6	5	3	3
GUANAJUATO	3	2	2	2
VERACRUZ	3	3	1	1
DISTRITO FEDERAL	2	2	1	1
YUCATAN	2	2	2	2
MORELOS	2	2	1	0
SAN LUIS POTOSI	2	2	1	1
PUEBLA	1	1	1	1
TAMAULIPAS	1	1	1	1
AGUASCALIENTES	1	1	0	0
QUERETARO	1	1	1	1
SONORA	1	1	0	0
CHIHUAHUA	1	0	0	0
<b>TOTALES</b>	<b>46</b>	<b>44</b>	<b>34</b>	<b>31</b>

Las ciudades donde se encuentran el mayor número de empresas son el Estado de México, Monterrey y Jalisco, así como las zonas mas importantes por su consumo como se mostrará más adelante.

Cabe mencionar que no se incluye la demanda no atendida, es decir, clientes que nunca han consumido el hexano que produce Pemex, ya sea por que lo importan o que utilizan otro tipo de solvente para la extracción de los aceites.

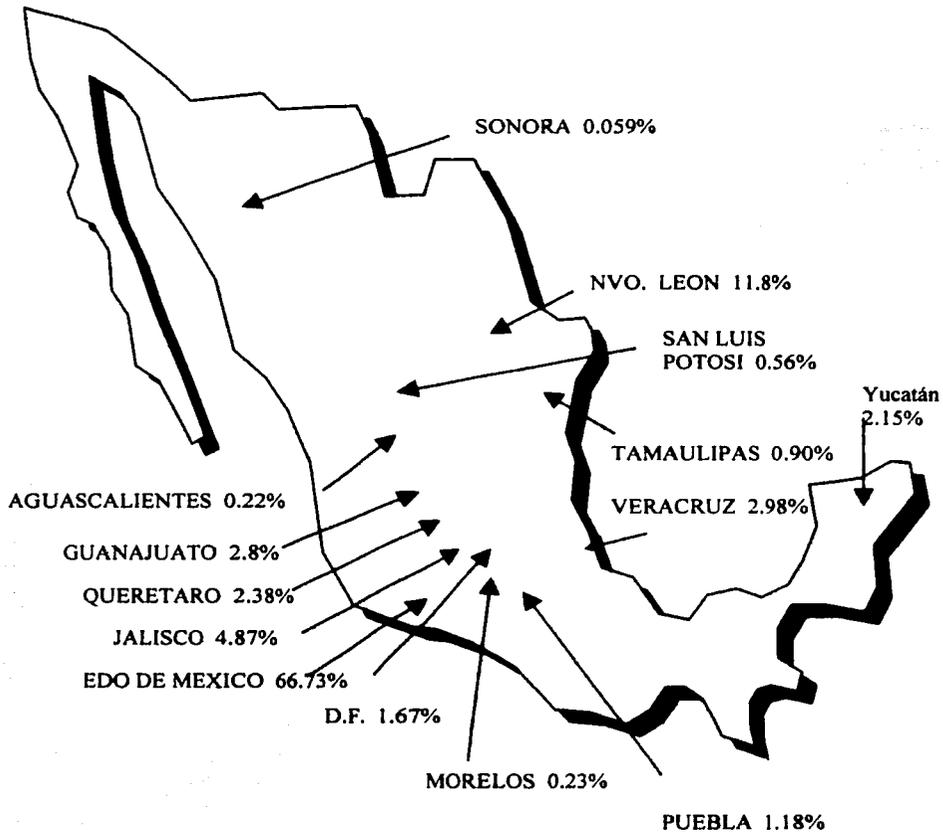
FIG. 1.2 MERCADO CUBIERTO POR PEMEX GAS Y PETROQUIMICA BASICA  
POR ENTIDAD FEDERATIVA 1996



Fuente PEMEX

La figura muestra la participación por entidad federativa del Hexano que vendió PEMEX GAS Y PETROQUIMICA BASICA en 1996, teniendo que la zona del Altiplanicie Mexicana represento la zona más importante con un 66.57% del mercado que cubre Pemex, siguiendo el Noreste con un 15.49% y el occidente con 7.17%.

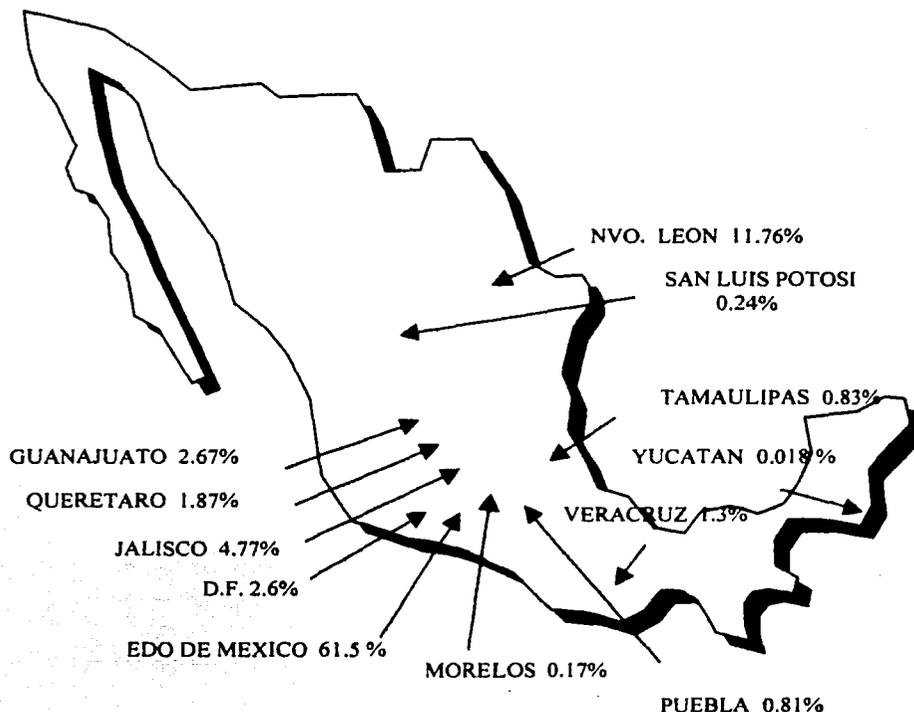
FIG. 1.3 MERCADO CUBIERTO POR PEMEX GAS Y PETROQUIMICA BASICA  
 POR ENTIDAD FEDERATIVA 1997



**Fuente PEMEX**

El Altiplano con respecto al año anterior se mantuvo a excepción de la zona de mayor importancia, (Estado de México) incrementando un 9 % para este año con respecto el año anterior, por su parte el Noreste, el Occidente, el Sur y el Noroeste disminuyeron 2.79 % 2.04%, 2.55% y 4.7% respectivamente dando un total del 12.08% de mercado que ya no se cubrió.

FIG. 1.4 MERCADO CUBIERTO POR PEMEX GAS Y PETROQUIMICA BASICA  
POR ENTIDAD FEDERATIVA 1998



**Fuente PEMEX**

Como se puede apreciar la zona del altiplano fue la zona más importante, aunque tuvo una disminución en su consumo con respecto a lo que había crecido como se verá en la siguiente hoja, por su parte el occidente consumió un porcentaje muy similar al año anterior pero no se ha recuperado la proporción que tenía del año 1996. El decrecimiento en el consumo de las industrias de la región Sur y Noroeste se aprecia más.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Quedando en resumen lo siguiente:

		Porcentaje %		
Año		1996	1997	1998
Zona				
Altiplano Mexicano		66.57	75.77	69.86
Noreste		15.44	12.7	12.59
Occidente		7.17	4.87	12.59
Sur		7.68	5.13	1.31
Noroeste		4.76	.059	0

TABLA 1.3 Porcentaje de disminución en el consumo de Hexano. Fuente Pemex.

Igualmente para el Sur y el Noroeste, año tras año se ve reflejada su disminución en su consumo llegando a ser insignificante.

#### 1.4.1 Composición de la demanda del mercado

A continuación se analizara la composición del mercado para entender su comportamiento, tomando en cuenta la segmentación realizada (tipo de Cliente y el uso que le dan al producto.)

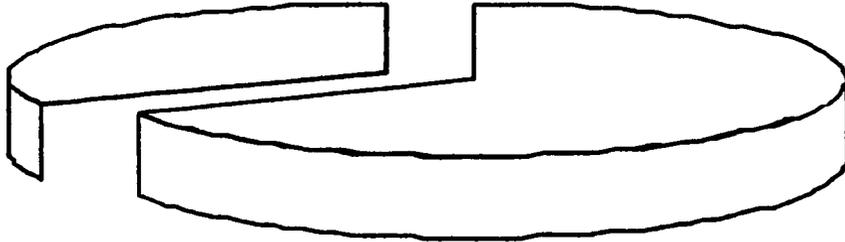
**Consumidor directo.** - Lo utiliza como insumo como solvente en la industria alimenticia y/o preparación de mezclas como adelgazadores, diluyente o vehículo en la elaboración de pinturas o thinner.

**Comercializador.-** Vende el producto, ubicándolo a empresas tanto alimenticias como para elaborar sus mezclas, pinturas o thinner.

Pemex Gas y Petroquímica Básica abasteció a dos tipos de consumidores siendo de la siguiente forma.

**CONSUMIDOR DIRECTO**  
16,167.86

**DISTRIBUIDORES**  
34,312.78



Tons./Anuales =50,480.64

PARA SOLVENTE  
11,719.28 Ton/año

PARA USO DE SOLVENTE  
27,450.22 Ton/año

PARA EXTRACCIÓN DE ACEITE  
4,448.58 Ton/año

UN 20 % PARA USO DE EXTRACCION  
DE ACEITE 6,862.556 Ton/año

**GRAFICA 1.1 Distribución del uso del Hexano. Fuente Gerencia de Comercialización de Pemex Gas y Petroquímica Básica**

CONSUMIDOR DIRECTO	TON / AÑO	COMERCIALIZADOR	TON / AÑO
Solvente para mezclas o adelgazador	11,719.28	Solvente para mezclas o adelgazador	27,450.22
Solvente en la industria alimenticia	4,448.58	Solvente en la industria alimenticia	6,862.56
<b>TOTAL</b>	<b>16,167.86</b>		<b>34,312.78</b>

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Dando un total de mercado cubierto por Pemex para la industria alimenticia (extracción de aceite de semilla) de 11,311.13 ton / año y para las industrias que utilizan el solvente como mezclas y adelgazador es de 39,169.50 ton/ año; dando un total de consumo anual para 1997 de 50,480 ton / anuales que representan el 22.4% y 77.59% respectivamente de las ventas totales al mercado nacional.

La única planta que produce hexano es la filial de Pemex Gas Cangrejera S.A. de C.V. con una producción promedio de 7 000 ton/mes

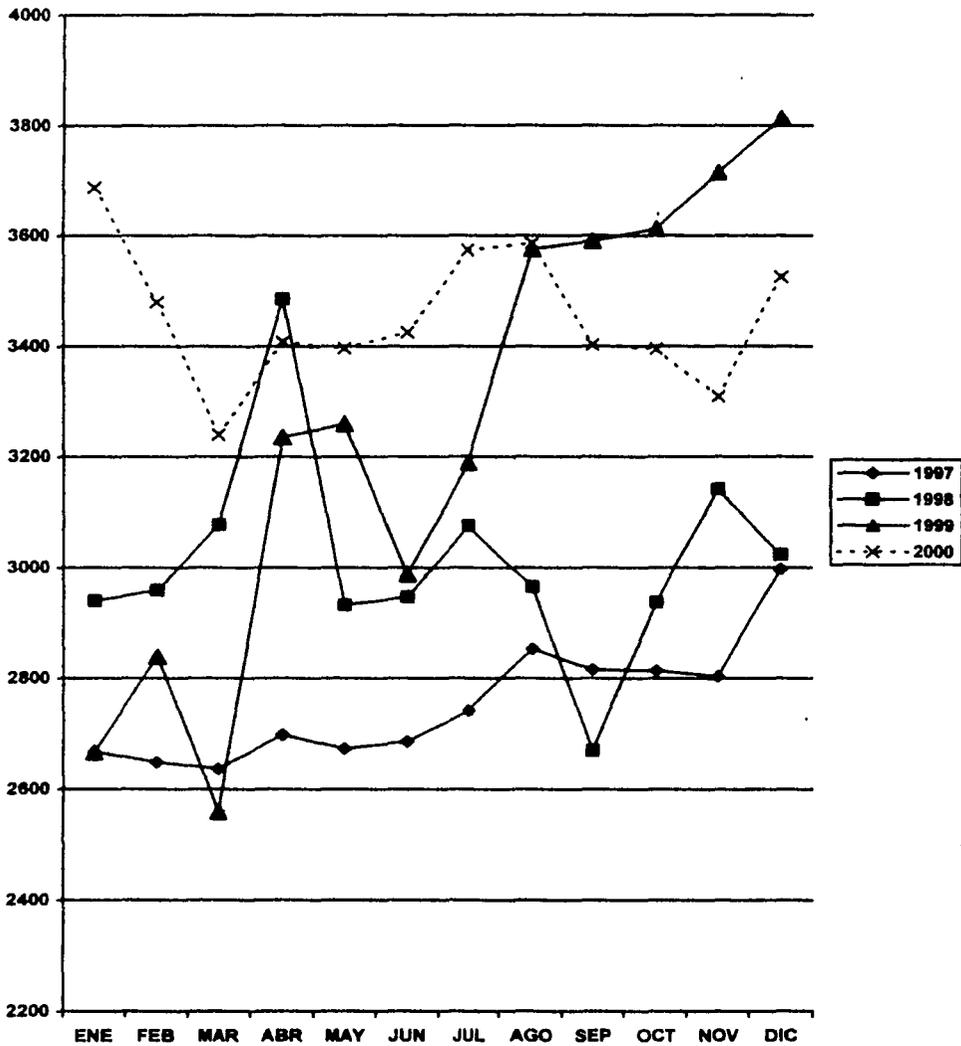
### 1.5 PRECIOS DEL HEXANO

Como se puede observar los precios del hexano en el país son muy inestables, ya que en 1997 mostraron un incremento conforme pasaban los meses, pero en 1998 empezaron con una baja para seguir incrementando conforme transcurrió el año, lo mismo se dio en 1999. Este fenómeno cambio en el año 2000, donde sucedió todo lo contrario.

	\$/TON (S/IVA)			
	1997	1998	1999	2000
ENERO	2666.96	2940.00	2666.09	3686.96
FEBRERO	2648.70	2959.13	2839.13	3480.00
MARZO	2636.52	3077.39	2559.13	3240.00
ABRIL	2698.26	3485.22	3235.65	3407.83
MAYO	2673.04	2932.17	3259.13	3396.52
JUNIO	2686.09	2946.96	2987.83	3425.22
JULIO	2741.74	3075.65	3189.57	3573.91
AGOSTO	2853.04	2965.22	3575.65	3586.09
SEPTIEMBRE	2815.65	2669.57	3590.43	3402.61
OCTUBRE	2813.91	2937.39	3613.04	3394.78
NOVIEMBRE	2803.48	3141.74	3715.00	3308.70
DICIEMBRE	2997.39	3023.48	3812.56	

**TABLA 1.4 Precios del hexano 1997-2000. Fuente Pemex Gas y Petroquímica Básica.**

**Gráfica 1.2 Evolución de los precios del hexano.**



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

## 1.6 IMPORTACIONES

En cuanto a las importaciones se puede notar un considerable incremento en los últimos años, de estas cifras no se sabe exactamente cuanto corresponde al hexano, pero por datos de los clientes se estima que puede estar entre el 15 y 20% del total de las cifras.

**TABLA 1.5 IMPORTACIONES POR LA FRACCIÓN 29.01.10.99 SOLVENTES**

	1994	1995	1996	1997	1998	1999
ALEMANIA	873	3,059	2,964	2,153	20,644	9,711
AUSTRALIA (COMUN)	19	-	-	-	-	-
AUSTRALIA (REP.)	-	-	24	-	-	-
BELGICA	-	-	9	-	-	-
BRASIL	7,210	3,506	-	-	-	-
CANADA	-	1	316	48	176	-
COREA DEL SUR	-	-	-	52	-	-
ESPAÑA	-	800	-	-	1	170
ESTADOS UNIDOS	1,470,132	2,284,716	3,457,250	10,814,573	106,123,769	29,431,068
FRANCIA	3,284	2,936	3,076	991	1,142	-
PAISES BAJOS	-	-	165	-	-	-
INDIA	-	-	-	-	-	-
ISRAEL	-	-	-	-	109,364	-
ITALIA	-	-	-	-	-	-
JAPON	1,990	1,660	1,031	31	480	-
R. UNIDO	1	800	-	-	200	-
SUECIA	-	-	-	-	1	-
SUIZA	1,408	1	-	-	-	-
<b>TOTAL</b>	<b>1,484,827</b>	<b>2,297,479</b>	<b>3,464,835</b>	<b>10,817,848</b>	<b>106,255,777</b>	<b>29,440,949</b>
<b>MENSUAL, KG.</b>	<b>123,736</b>	<b>191,457</b>	<b>288,736</b>	<b>901,487</b>	<b>8,854,648</b>	<b>7,360,237</b>
<b>MENSUAL, TON</b>	<b>124</b>	<b>191</b>	<b>289</b>	<b>901</b>	<b>8,855</b>	<b>7360</b>

*Notas: cifras incluyen definitivas, teles y maquila*

*Valor en dólares y volumen en unidad de la tarifa*

*Valores hasta septiembre de 1999*

**Fuente: Banco de México**

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## **CAPITULO II**

# **PRINCIPALES USOS DEL HEXANO**

El termino "solventes de petróleo" describe el líquido especial de fracciones de hidrocarburo obtenido de petróleo para uso en procesos industriales y formulaciones comerciales o para disolver o transportar los ingredientes de los procesos de formulación, el hexano esta clasificado dentro de los solventes de petróleo. En años recientes, la variedad de solventes de petróleo ha tenido un incremento considerable debido al descubrimiento de procesos de refinación designados principalmente para la transformación de bajo - octano a alto - octano en los combustibles. Los solventes de petróleo son dispuestos para una variedad de aplicaciones. Las técnicas modernas de refinación permiten producir solventes con un alto grado de pureza y estabilidad en un amplio rango de puntos de ebullición. Los solventes de petróleo son particularmente atractivos, la causa es que están disponibles en grandes volúmenes a costos bajos comparados con solventes de otros orígenes.

Los solventes son usados ampliamente por la industria en procesos de elaboración de diversos productos como pinturas, tintas de impresión, adhesivos, perfumes, pegamentos, limpiadores, grasas, etc. Otros usos son encontrados en el limpiado en seco, en las industrias de cuero y en el campo de los pesticidas. Los solventes, altamente purificados, han incrementado de manera importante su uso como medio de reacción en ciertos procesos catalíticos.

La variedad de aplicaciones enfatiza la versatilidad de los solventes de petróleo. Las características principales que determinan la sustentabilidad de una fracción de petróleo para su uso en particular son las siguientes propiedades de los solventes: volatilidad, pureza, peso especifico, olor, toxicidad y limites de control de contaminación en el aire. La siguiente tabla nos muestra las propiedades de algunos solventes de hidrocarburo típicos.

**TABLA 2.1** Propiedades aproximadas de solventes de hidrocarburo típicos.

	Rango de destilación °C(°F)		Velocidad de evaporación	Punto flash (°C)	Valor Kauri Butanol	Punto de Anilina °C(°F)	% en volumen de aromáticos	Sp Gr 60/60
	Inicial	Punto seco						
<b>CORTE DE ALIFATICOS</b>								
Hexano	66(151)	69(157)	>1000	<-15	31	63(146)	<1	0.680
Heptano	94(201)	98(209)	600	-5	38	53(127)	3	0.728
<b>SOLVENTES DE PUNTO DE EBULLICION ESPECIAL</b>								
Ether de petróleo	35(95)	60(140)	>1000	15	26	66(150)	0	0.645
Espiritus textiles	63(145)	79(175)	850	-5	34	57(134)	5	0.690
Solvente de goma	62(144)	120(248)	700	<-18	36	55(131)	5	0.712
Diluyente de laca	93(200)	104(220)	400	-7	40	49(120)	15	0.728
Nafta VM&P	99(210)	149(300)	150	7	38	54(130)	10	0.752
Aceite de tinta	257(495)	293(560)	<1	116	26	80(176)	<5	0.820
<b>ESPIRITUS DE MINERAL</b>								
Regular	160(320)	193(380)	10	42	39	54(130)	15	0.789
140-punto flash	182(360)	204(400)	5	60	35	62(143)	15	0.792
Inodoro	177(350)	193(380)	7	52	27	84(184)	<1	0.759
Alta solvencia	160(320)	193(380)	8	43	44	41(105)	30	0.808
<b>AROMATICOS</b>								
Benceno	79(175)	81(177)	500	<-12	115	14(57) <sup>a</sup>	99+	0.885
Tolueno	110(320)	111(322)	200	4	105	8(46) <sup>a</sup>	99+	0.870
Xileno	139(282)	141(285)	60	28	98	11(52) <sup>a</sup>	99+	0.869
Nafta aromática pesada	182(360)	282(540)	1	67	105	24(76) <sup>a</sup>	86+	0.933
<b>KEROSINA</b>								
Regular	177(359)	268(515)	1	60	30	71(160)	<25	0.804
Inodoro	204(400)	249(480)	1	77	27	88(190)	<1	0.782

<sup>a</sup> Punto de mezcla de anilina, °C(°F)

Las propiedades que aparecen en esta tabla se describen en el anexo II.

Después de haber descrito a los solventes de petróleo y de saber los requerimientos que deben cumplir para poder ser utilizados en la industria, pasaremos a hablar de los usos del hexano. Nos enfocaremos más hacia su utilización en la extracción de aceites comestibles ya que este es el problema que nos atañe.

## **2.1 USOS**

Los principales usos del hexano son los siguientes:

- 1) En la industria de los adhesivos
- 2) En la elaboración de solventes y adelgazadores
- 3) En los procesos de polimerización
- 4) En la extracción de aceites comestibles

**2.1.1** Los solventes industriales empleados en adhesivos podemos dividirlos en seis grupos:

1. Hidrocarburos: hexano, heptano, ciclohexano, benceno, tolueno, xileno, queroseno, naftas y gasolina.
2. Hidrocarburos clorados: cloroformo, metil cloroformo, dicloruro de etileno, dicloropentanos, tricloro etileno, tetracloruro de carbono, clorobenceno, clorotolueno.
3. Nitroparafinas: nitro metano, nitro etano, nitro propano.
4. Cetonas: acetona, metil-etil-cetona, metil-iso-butyl-cetona, diisopropil-cetona.
5. Esteres: acetato de etilo, acetato de butilo.
6. Alcoholes: etanol, iso-propanol, diacetona alcohol.

La tecnología de los disolventes de los adhesivos termoplásticos es semejante en muchos aspectos a la de los revestimientos, salvo que se emplea una mayor variedad de sustancias resinosas. Muchos adhesivos termoplásticos están basados en el caucho, y son, en su mayor parte, soluciones en hidrocarburos.

Otra gran familia de adhesivos está basada en el acetato polivinílico. Éstos requieren algunos disolventes activos que constan principalmente de ésteres y alcoholes. También la nitrocelulosa sirve como adhesivo, y en este caso la tecnología de los disolventes es semejante a la de las lacas de nitrocelulosa. La potencia disolvente, la aptitud de disolución y la velocidad de evaporación (tiempo de secado) son consideraciones importantes. El costo es, naturalmente, un factor digno de consideración.

**2.1.2** Los disolventes, o como se les denomina en la industria solventes, se pueden definir como fluidos volátiles o mezclas de los mismos capaces de disolver o dispersar otras sustancias. Aunque los disolventes no se consideran como parte integrante de una pintura, ya que se evaporan con más o menos rapidez, después de que ésta es aplicada por cualquiera de los métodos conocidos; sin embargo, desempeñan un papel importante en la formulación de las mismas, ya que de ellos dependen gran parte de las propiedades físicas de esmaltes, lacas y barnices, tanto en su forma líquida como en la película aplicada. Dentro de las propiedades físicas controlables por medio de los disolventes tenemos desde luego, la viscosidad, el contenido de sólidos, peso específico, fluidez, etc. En cuanto a las propiedades de la película aplicada, los disolventes tienen una influencia decisiva sobre la nivelación, brillo, adherencia, continuidad, resistencia química, etc.

En el mercado se encontrará una fracción del petróleo conocida como corte hexano, la cual consiste en una mezcla de hidrocarburos alifáticos. Se usa en aquellos casos donde la alta disolvencia del benceno no es necesaria, pero donde una rápida evaporación y baja toxicidad son requeridas. Tiene un uso muy limitado en lacas y se usa también como disolvente en hule y tintas.

**2.1.3** Una reacción de polimerización es la conversión de un compuesto particular a una molécula grande formada por varias moléculas del mismo compuesto. La mayoría de las polimerizaciones por etapas se llevan a cabo en sistemas homogéneos mediante la combinación simple de dos o más monómeros fundidos

sin disolvente. En contraste, una amplia variedad de métodos se usan, tanto en el laboratorio como en la industria para la preparación de polímeros con crecimiento de cadena y, en muchos casos, la reacción requiere de un catalizador sólido o se complica por la formación de un sistema de reacción en dos fases. En casi todos los casos de polimerización por etapas y en cadena, las reacciones se llevan a cabo en atmósfera inerte.

Las polimerizaciones de radicales en cadena son, desde el punto de vista de la industria, más importantes que las reacciones de crecimiento en cadena de cationes o aniones, aunque estas dos últimas se usan frecuentemente y su importancia sigue creciendo. De igual manera la polimerización en cadena que requiere la presencia de catalizadores sólidos, como en las polimerizaciones heterogéneas, han adquirido últimamente mucha importancia industrial, en particular en la polimerización de monómeros olefínicos para producir poliolefinas de alto peso molecular y lineales.

La polimerización de radicales en cadena de monómeros olefínicos puede llevarse a cabo mediante diferentes tipos de sistemas de reacción, incluyendo la polimerización en masa, la polimerización en solución, la polimerización en suspensión, la polimerización en emulsión y la polimerización por precipitación. Todos estos métodos se usan en la industria.

El hexano es usado como un medio de reacción en la manufactura de poliolefinas y de ciertos elastómeros sintéticos. Se utiliza para la elaboración de polietileno de alta densidad, propileno y polisopreno. En algunos procesos de polimerización el hexano se usa en combinación con ciclohexano.

**2.1.4** Para empezar daremos una definición de lo que son los aceites comestibles.

- Se entiende por aceite comestible al producto obtenido a partir de productos agrícolas o de especies animales, aptos para consumo humano, que haya sido sometido a extracción y, en su caso, refinación, lavado, deodorizado, blanqueo, hibernación o desencerado.

Los aceites vegetales comestibles podrán ser obtenidos por extracción mecánica o con uno o más de los siguientes solventes:

- ◆ Hidrocarburos acíclicos saturados, en los que predominen cadenas de 5 a 8 átomos de carbono
- ◆ Hidrocarburos cíclicos, en los que predomine el ciclohexano, y
- ◆ Alcoholes etílico e isopropílico.

Aproximadamente 40 especies de plantas se aprovechan como fuentes de aceite vegetal en la actualidad, aunque existen cientos de otras especies que podrían usarse también. Las semillas y frutos oleaginosos son variedades que aparte de las grasas animales, son la principal fuente de grasas y aceites utilizados en la preparación de alimentos y en la fabricación de jabón, aceites lubricantes especiales y aceites empleados en productos cosméticos. Algunas plantas se cultivan exclusivamente por el aceite que se extrae de sus semillas y frutos, mientras que otras constituyen también importantes cultivos alimenticios o, como en los casos del algodón y el lino, se cultivan para la obtención de fibras textiles. El patrón exacto de la producción mundial de aceite está cambiando continuamente, pero sólo una cantidad limitada de semillas tiene significación para el 90% del comercio aproximadamente. Estas son la soja, el girasol, el cacahuate, la semilla de algodón, la colza y el cocotero, el lino y la higuera.

La recolección de semillas y frutos oleaginosos es una parte importante de la economía agrícola de muchos países. Algunas de las plantas que se cultivan para la obtención de aceite se dan sólo en regiones tropicales (por ejemplo, el cocotero y la palma), otras en regiones mediterráneas (como el olivo), mientras que otras se desarrollan en regiones templadas (maíz, colza, girasol y soja o soya).

La mayoría de los aceites vegetales son ricos en ácidos grasos mono o poliinsaturados, y por ello son considerados ingredientes deseables en la dieta, en sustitución de las grasas animales, más ricas en ácidos grasos saturados, como la mantequilla, la manteca y el sebo. El etiquetado de alimentos puede especificar exactamente el tipo de aceite empleado, o enunciar sólo que el producto contiene aceites vegetales, que pueden ser una mezcla de aceites diferentes.

Aunque la calidad es obviamente un criterio importante, la disponibilidad comercial de un aceite depende a menudo de los usos no aceiteros de la semilla, más que de la necesidad del aceite mismo. Un buen ejemplo es la soja. La semilla contiene sólo, aproximadamente 18% de aceite, pero por la demanda de proteína de la soja, su aceite es el más común del que se dispone en la actualidad. En forma similar, pero en mucho menor escala, el aceite de maíz se encuentra disponible como un subproducto de la industria del almidón de maíz y el abastecimiento del aceite de semilla de algodón es un reflejo de la demanda de algodón como tal.

El siguiente paso es conocer los procesos mediante los cuales puede ser obtenido el aceite de las semillas y frutos oleaginosos, los cuales serán descritos a continuación.

Aunque cada tipo de semilla necesita diferentes procedimientos de extracción y purificación, se les aplican los mismos principios y enfoques generales. El aceite se obtiene, en primer lugar, por prensado de las semillas ricas en contenido graso. El aceite que todavía permanece en las semillas tras el proceso de prensado se obtiene por extracción mediante un disolvente orgánico; los residuos que quedan, ricos en proteínas, son un valioso alimento para el ganado (torta de semillas oleaginosas). Tanto los aceites de presión como de extracción pueden sufrir un proceso posterior de refinado para mejorar sus características organolépticas. La producción de aceite a partir de los frutos es similar.

Existen dos procesos por los cuales se puede obtener el aceite:

- 1) La extracción mecánica
- 2) La extracción con solventes

**2.1.4.1** La figura 2.1 muestra el diagrama de bloques de la extracción mecánica. Las semillas oleaginosas deben ser limpiadas y descascarilladas previamente. Después son troceadas y molidas antes de la extracción de su aceite por cualquiera de los dos sistemas.

En la extracción mecánica las semillas molidas pasan a un acondicionador para obtener un producto homogéneo que pasa a la prensa de tornillo donde a elevadas presiones y en un sólo paso se procede a la separación del aceite de la torta proteínica. El aceite obtenido es limpiado de impurezas gruesas en un tamiz vibratorio. Gracias al sistema de vibraciones no es necesario parar para limpiar el tamiz, ya que las impurezas no se pegan a la superficie de tamizado. El abrillantamiento y limpieza final del aceite se llevan a cabo en el filtro, con lo que tenemos así un aceite crudo filtrado.

La torta proteínica separada en la prensa es descargada sobre un tornillo sinfin que alimenta una estación de pesado y ensacado o unos rodillos trituradores de la torta proteínica. Esta torta proteínica puede ser desgrasada aún más en una planta de extracción por disolventes. También puede ser utilizada directamente como alimento de ganado o, si ha sido tratada higiénicamente, puede pasar a una instalación para obtención de proteínas para la alimentación humana.

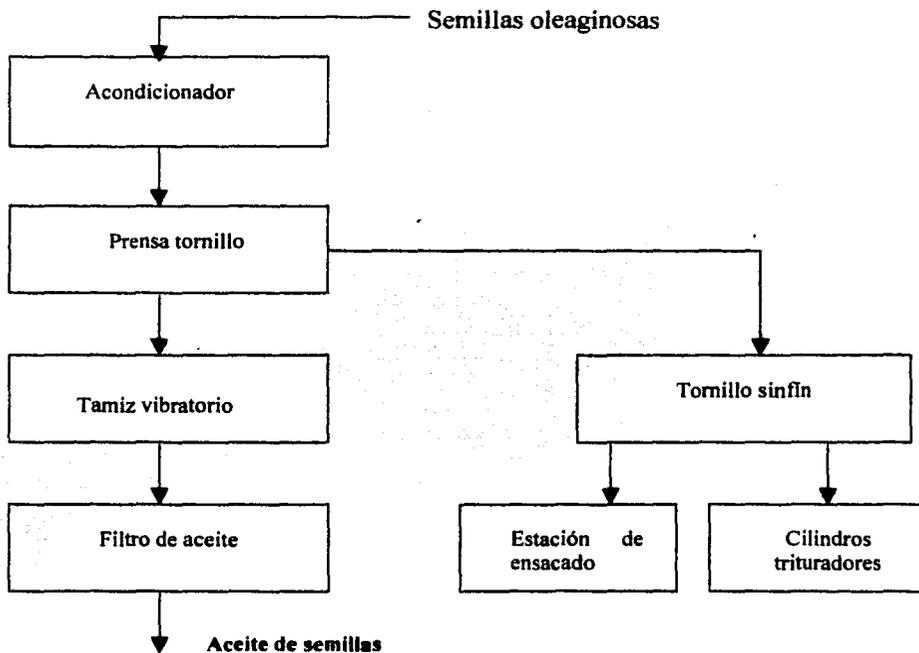


Fig. 2.1 Extracción mecánica de aceites comestibles

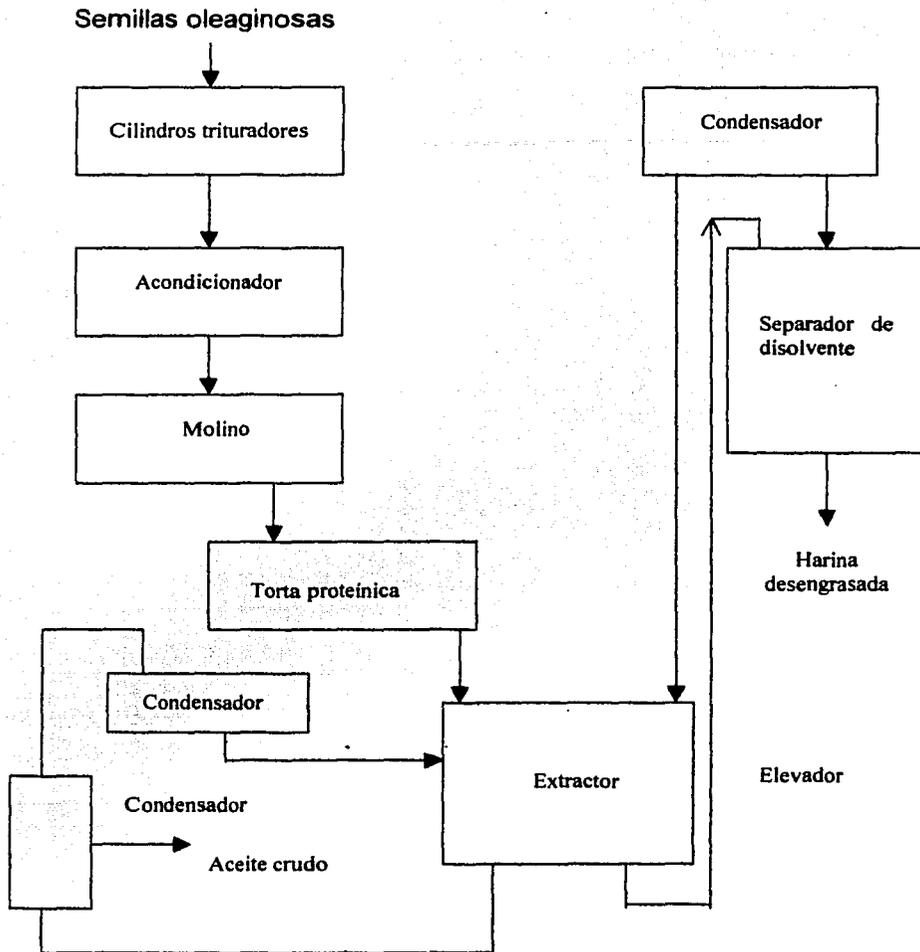


Figura 2.2 Extracción por disolventes del aceite de semillas oleaginosas.

**2.1.4.2** En el sistema de extracción por disolventes, como se muestra en la figura 2.2, se puede partir de las semillas oleaginosas o de la torta proteínica obtenida por el sistema de extracción mecánica, ya que aún contiene un 11-15% de aceite que se puede reducir al 2-4%.

Si partimos directamente de las semillas, éstas deben ser limpiadas, descascarilladas y trituradas en unos rodillos, pasando entonces a un acondicionador para homogeneizar el producto, que pasa a un molino, con lo que se divide finamente, permitiendo así una mejor extracción del aceite en el extractor, donde un disolvente de las materias grasas arrastra a éstas, siendo separadas en el evaporador, a la vez que se recupera el disolvente y vuelve al extractor.

La harina desengrasada es transportada a un separador de disolvente para eliminar trazas del mismo aún presentes en la harina. El disolvente recuperado vuelve también al extractor.

Parte importante dentro de este proceso de extracción son los solventes, existen muchos pero los más utilizados son los siguientes:

- hexano comercial;
- benceno;
- tricloroetileno
- sulfuro de carbono.

Para observar el poder extractivo de estos cuatro productos se realizaron, siempre en las mismas condiciones, una serie de pruebas que dieron los resultados que se presentan en la tabla 2.2, las condiciones de trabajo fueron:

- cantidad de semilla tratada: 100g;
- tiempo de extracción: cuatro horas;
- cantidad de solvente utilizado: 2970 cm<sup>3</sup>;
- temperatura de extracción: 45 °C.

Tiempo de extracción, 4 h	Contenido de aceite, g	Aceite residual			
		Hexano	Benceno	Sulfuro de carbono	Tricloroetileno
Soja laminada	19.69	0.40	0.44	0.32	0.18
Turtó de cacahuete	12.60	0.35	0.32	0.27	0.20
Turtó de girasol	11.90	0.51	0.58	0.47	0.31
Turtó de colza	14.55	0.78	0.72	0.51	0.27
Pepita de uva laminada	15.75	0.64	0.70	0.58	0.31
Orujo de aceituna	6.21	0.97	0.92	0.68	0.38

TABLA 2.2

De los resultados obtenidos se puede deducir:

- 1) el hexano y benceno tienen prácticamente el mismo poder solvente;
- 2) el sulfuro de carbono tiene un poder solvente mayor que el hexano y el benceno;
- 3) el tricloroetileno tiene un poder solvente casi el doble que el hexano y el benceno.

Aunque de estos datos parece desprenderse que el tricloroetileno sería el mejor solvente para la extracción del aceite de las semillas oleaginosas, hay que llamar la atención sobre otra serie de pruebas realizadas con la finalidad de ver la influencia del solvente sobre la calidad del aceite extraído.

Para estudiar la pureza de los aceites de extracción se ha determinado el contenido en productos insolubles en éter de petróleo, solvente altamente selectivo, habiéndose obtenido los datos que se recogen en la tabla 2.3.

Estos resultados indican que el mayor poder solvente va siempre acompañado de un empeoramiento en la calidad de los aceites extraídos.

En efecto, los elementos presentes, insolubles en éter, demuestran que, además del aceite, se habían extraído otros productos no deseables tales como fosfátidos, oxiácidos, etc.

Tipo de semilla	Insoluble en éter			
	Hexano	Benceno	Sulfuro de carbono	Tricloroetileno
Soja laminada	0.36	0.41	0.91	1.06
Turtó de cacahuete	0.22	0.22	0.68	0.91
Turtó de girasol	0.31	0.42	0.86	1.36
Turtó de colza	0.27	0.31	0.71	1.05
Pepita de uva laminada	0.41	0.40	0.81	1.30
Orujo de aceituna	0.68	0.61	1.10	1.78

TABLA 2.3

Debiéndose elegir el solvente más adecuado para obtener la mejor calidad de aceite, la elección debe caer sobre el hexano o el benceno, dado que hoy casi todos los aceites vegetales van destinados a la alimentación humana, lo que exige que el producto sea lo más puro posible. Por esto es por lo que hoy, en todo el mundo, se utilizan dichos solventes. Hay que precisar, sin embargo, que no es solamente el factor de calidad lo que determina la elección de estos solventes, sino que hay otros factores, de carácter físico, que es necesario tener en cuenta. Observando la tabla 2.4, que recoge las principales características físicas de los solventes, y teniendo en cuenta que la extracción por solvente es una operación que tiene lugar en forma volumétrica, se pueden obtener las siguientes conclusiones:

Tipo de solvente	Peso específico a 15 °C	Calor latente de vaporización por litro	Calor específico, Kcal por litro	Punto ebullición, °C	Límite explosión, vol.
Hexano	0.680	54	0.358	68.60	2.4-4.8
Benceno	0.700	56	0.360	80.10	2.5-4.8
Sulfuro de carbono	1.292	112	0.310	46.26	1.7-2.8
Tricloroetileno	1.469	84	0.327	87	-

TABLA 2.4

- el benceno y el hexano tienen un calor latente de vaporización mucho más bajo que el sulfuro de carbono y que el tricloroetileno;
- el sulfuro de carbono tiene una temperatura de ebullición demasiado baja, y una presión de vapor, a 20°C, demasiado alta;
- el tricloroetileno, por tener una presión de vapor baja a 20 °C, tiene una temperatura de ebullición demasiado alta.

Además de estos factores de carácter cualitativo y físico hay otros factores químicos que hacen preferible el hexano y el benceno al sulfuro de carbono y al tricloroetileno. Estos factores son fundamentalmente la acción corrosiva de estos últimos, y de sus vapores, a los materiales férricos con los que están en contacto. De hecho, el sulfuro de carbono, produce, con el tiempo, compuestos sulfurados, y el tricloroetileno produce vapores clorados. Desde el punto de vista de la toxicidad, el sulfuro de carbono es el más peligroso, porque son suficientes 32g por metro cúbico para producir un ambiente intolerable.

De todas estas consideraciones sobre estos cuatro solventes examinados se puede concluir diciendo:

- 1) los solventes más apropiados para la extracción de aceite de una semilla oleaginosa son el hexano y el benceno;
- 2) el sulfuro de carbono hay que descartarlo, por su peligrosidad y toxicidad;
- 3) el tricloroetileno podría utilizarse solamente en los casos en que es absolutamente necesario utilizar productos no inflamables y cuando la calidad del aceite no es de primordial importancia.

En la tabla 2.5 se ofrecen las características físico - químicas de los cuatro solventes.

Tipo de solvente	Peso molecular	Peso específico a 15 °C	Punto de ebullición, °C	Calor específico Kcal/Kg	Presión de vapor a 20 °C mm	Toxicidad mg/m <sup>3</sup> a 20 °C
Hexano	86	0.680	68.60	0.527	88	10,800
Benceno	78	0.700	80.10	0.527	80	10,800
Sulfuro de carbono	76	1.292	46.26	0.240	298	1,500
Tricloroetileno	131	1.469	87	0.223	70	11,000

TABLA 2.5

Además de estos solventes hay otros productos que se utilizan en casos especiales, entre los que debemos mencionar el éter de petróleo, que se utiliza en los casos en que la temperatura de ebullición no debe superar ciertos límites; la acetona, que es un solvente selectivo para la extracción del gospol en la harina de

semilla de algodón; el dicloroetileno, para la extracción de la manteca de cacao, etc.

#### **2.1.4.3 TRATAMIENTO FINAL**

Ahora bien, después de haber obtenido el aceite por cualquiera de los dos métodos antes mencionados hay que darles un tratamiento especial que consiste en los siguientes pasos:

- a) *Desgomado*
- b) *Refinación*
- c) *Blanqueo*
- d) *Deodorización*
- e) *Hidrogenación*
- f) *Enfriamiento*

a) Los aceites vegetales obtenidos por medio de prensado o extracción con solventes siempre contienen sustancias similares a la grasa, como fosfolípidos o complejos de proteína y grasa, las cuales son gomosas. Cuando se les moja con agua, estos materiales se hacen insolubles en el aceite y se separan de él. Este es un modo de obtener el fosfolípido, lecitina.

b) En tanto que el agua separa gran parte del material gomoso, el uso de una solución de álcali logra eliminar otras impurezas menores del aceite. Estas incluyen ácidos grasos libres que se combinan con el álcali para formar jabones. Se les puede eliminar mediante la filtración o centrifugación. Este tratamiento se conoce como refinación.

c) Aun después del desgomado y la refinación, el aceite de semillas contiene varios pigmentos vegetales como clorofila y caroteno. Se les puede eliminar pasando el aceite caliente sobre carbón o cualquiera de varios barros y tierras

absorbentes. Generalmente el calor en sí basta para blanquear las grasas animales.

**d)** Las grasas y los aceites naturales de semillas, carne y pescado contienen varios compuestos olorosos. Algunos de ellos son deseables, como los de aceite de olivo, la manteca de cacao, manteca de cerdo, grasa de mantequilla fresca, y grasa de pollo, y estos olores no se eliminan expresamente. Pero muchos otros aceites, como el de pescado y los de varias semillas, tienen olores desagradables. Estos se eliminan por medio de calor y vacío. Con frecuencia el calor se suministra mediante la inyección de vapor a la grasa en evaporadores de baja presión.

**e)** A fin de usar los enlaces dobles de ácido graso, se lleva a cabo el proceso de hidrogenación, batiendo el aceite caliente desaerado con gas hidrógeno y un catalizador de níquel en una vasija cerrada conocida como convertidor. En cuanto se haya alcanzado el grado de endurecimiento deseado, se extrae del recipiente el gas hidrógeno que no ha reaccionado por medio del vacío, y el catalizador de níquel por filtración.

**f)** Como se ha dicho ya, las grasas y los aceites están constituidos principalmente por una mezcla de varios triglicéridos. Los triglicéridos que contienen más ácidos grasos saturados, y los ácidos grasos de cadena más larga, tienden a separarse por cristalización cuando se enfría el aceite. En donde se desea evitar la cristalización y asentamiento en un producto refrigerado como el aceite para ensalada, se le cristaliza mediante el enfriamiento y se eliminan los cristales de grasa antes de embotellar el producto final. Esto se puede hacer simplemente colocando los barriles de aceite en un cuarto frío a una temperatura más baja que la que el aceite experimentará más tarde en el refrigerador, o bien pasándolo en una operación continua a través de cambiadores de calor regulados con mucha precisión.

**CAPITULO III**  
**MERCADO DE SEMILLAS**  
**OLEAGINOSAS**

El consumo per capita de aceite en México esta ubicado entre los diez primeros a nivel mundial, por tal motivo la industria aceitera en México es consumidor potencial de semillas oleaginosas, mismas que actualmente se importan de diferentes países del mundo. Dentro del proceso de extracción de aceite el hexano juega un papel muy importante ya que después de la semilla es el principal insumo en el proceso de extracción de aceite.

Pese a que la producción de aceite es elevada, la demanda de hexano no es a la par, lo anterior se debe básicamente a dos situaciones: la primera es que debido a la escasez de semillas en México el 73% de las aceiteras mexicanas prefieren importar el aceite crudo en lugar de llevar a cabo el proceso de extracción en sus plantas y la segunda es que los fabricantes potenciales de aceite en su mayoría exportan sus productos. Es esta última razón la que impide que dichos fabricantes consuman el hexano que produce Pemex Gas y Petroquímica Básica y esto se debe básicamente al contenido de Benceno que tiene el hexano que no cumple con los requisitos de la FDA, ya que como se sabe el benceno es cancerígeno.

Es importante destacar que en caso de que Pemex Gas decidiera producir el hexano sin benceno, habría una demanda garantizada de 2500 T / mes, por otro lado hay un proyecto del Gobierno Federal para estimular el cultivo de girasol.

Para empezar conoceremos como se encuentra la situación actual en el mercado nacional para darnos una idea de que tan importante sería producir hexano con un bajo contenido de benceno para satisfacer la demanda no atendida.

### **3.1 ANÁLISIS DEL MERCADO NACIONAL**

Para conocer cual es la demanda real es importante conocer la producción de aceite de semilla que se registró en México (*tabla 3.1 y 3.2, datos proporcionados por la Asociación Nacional de Industriales de Aceite y Mantecas Comestibles A.C.*), siendo las siguientes las principales:

<b>MOLIENDA DE SEMILLAS OLEAGINOSAS</b>				
<b>VOLUMEN EN MILES DE TONELADAS METRICAS</b>				
<b>SEMILLA</b>	<b>1996</b>	<b>1997</b>	<b>1998</b>	<b>1999</b>
<b>FRIJOL DE SOYA</b>	2406	3111	3586	3669
<b>GIRASOL</b>	60	165	127	61
<b>NABO /CANOLA</b>	510	642	400	193
<b>ALGODON</b>	194	252	221	212
<b>COPRA</b>	170	175	180	186
<b>CARTAMO</b>	114	159	136	149
<b>TOTAL</b>	<b>3453</b>	<b>4504</b>	<b>4650</b>	<b>4969</b>

TABLA 3.1

<b>PRODUCCION DE ACEITE (TON)</b>				
	<b>1996</b>	<b>1997</b>	<b>1998</b>	<b>1999</b>
<b>SOYA</b>	433,080	559,980	645,480	660,420
<b>GIRASOL</b>	22,800	62,700	48,260	23,180
<b>NABO /CANOLA</b>	193,800	243,960	152,000	263,340
<b>ALGODON</b>	32,010	41,580	36,465	34,980
<b>COPRA</b>	102,000	105,000	108,000	111,600
<b>CARTAMO</b>	41,040	57,240	48,960	53,640
<b>TOTAL</b>	<b>824,730</b>	<b>1,070,460</b>	<b>1,039,165</b>	<b>1,147,160</b>

TABLA 3.2

A continuación, en la tabla 3.3 se mostrara la tasa de crecimiento calculado tanto de la molienda de semilla como de la producción de aceite y ventas del hexano (tablas 3.4 y 3.5) para poder comparar los crecimientos que han tenido en los últimos años.

<b>MOLIENDA DE SEMILLA OLEAGINOSA</b>							
<b>MILES DE TONELADAS METRICAS</b>							
<b>1996</b>		<b>1997</b>		<b>1998</b>		<b>1999</b>	<b>T.C.</b>
3453		4504		4650		4969	
	30.43%		3.24%		6.86%		13.51%

TABLA 3.3

La producción de molienda de semilla oleaginosa tuvo un fuerte crecimiento de 1996 a 1997, de 1997 a 1998 creció 3.24% y para 1999 tuvo un crecimiento de 6.8% quedando alrededor de los 4 millones de Ton. Métricas, lo que significa un 13.51% de tasa de crecimiento.

<b>PRODUCCION NACIONAL DE ACEITES VEGETALES</b>							
<b>TONELADAS ANUALES</b>							
1996		1997		1998		1999	T.C.
824,730		1,070,460		1,039,165		1,147,160	
	29.79%		-2.92%		10.39%		<b>12.42%</b>

**TABLA 3.4**

En lo que se refiere a la producción nacional de aceites vegetales, tuvo una tasa de crecimiento del 12.42%, como se muestra en la tabla 3.4.

<b>VENTAS DE HEXANO EN EL PAIS</b>							
<b>TONELADAS ANUALES</b>							
1996		1997		1998		1999	T.C.
45,661		48,425		50,480		48716	
	6.05%		4.24%		-3.49%		<b>2.26%</b>

**TABLA 3.5**

Si se observan las tasas de crecimiento, sobre todo la relación de la producción de aceite vegetal con la de hexano, se puede ver que mientras la producción de aceite tiene un crecimiento anual promedio del 12.42% el consumo de hexano solo tiene un 2.26% (tabla 3.5).

Ahora bien de acuerdo a diferentes encuestas y datos proporcionados por los clientes tanto distribuidores como extractores de aceite, se considera que el 30% de las ventas de hexano que realiza Pemex Gas están dirigidas al mercado alimenticio, lo que representa a través de los últimos cuatro años un promedio de 15,000 toneladas anuales. Tomando datos proporcionados por algunos clientes e investigaciones de la Gerencia de Comercialización sobre la importación de hexano sin benceno, se considera que existe un mercado no atendido por Pemex en igual proporción, es decir que aproximadamente 15,000 toneladas anuales se están importando.

Ahora bien, si es importante satisfacer la demanda nacional, también lo es abrir mercado a nivel mundial, cosa que actualmente no se hace ya que Pemex Gas y Petroquímica Básica solo vende hexano a nivel nacional.

Parte del problema por el cual no se puede exportar es el contenido de benceno en el hexano, una vez reducido este problema se abre la posibilidad de la exportación para tener mejores ingresos y hacer más rentable el proyecto. Para esto daremos un vistazo a la situación actual del mercado mundial.

### **3.2 MERCADO MUNDIAL**

La producción de las siete principales semillas oleaginosas en la campaña de 1995/96 alcanzó los 255 millones de toneladas, un 3,8% menos que la cosecha récord de 1994/95. Se observó un descenso drástico de casi un 11% (14,7 millones de toneladas) en la producción mundial de soja, causado por las condiciones desfavorables del tiempo que perjudicaron los rendimientos y la producción en los Estados Unidos, China, Brasil y Paraguay. También se observó que disminuyó la producción de maní, coco y aceitunas. Sin embargo, dicha disminución se vio ampliamente compensada por una importante expansión de la producción de semillas oleaginosas de alto contenido oleícola (de casi un 4% en la semilla de algodón, un 7% en el girasol y un 13% en la colza).

La producción mundial de **soja** fue de 123.4 millones de toneladas, la segunda cosecha mayor que se haya registrado, pero inferior en casi 6 millones de toneladas a las necesidades de consumo previstas en 1995/96. En consecuencia, las existencias finales fueron inferiores en alrededor de 6 millones de toneladas a las de la campaña pasada, lo que determinó la relación más baja entre existencias y consumo desde 1979.

La producción de soja de 1995/96 en los Estados Unidos (recolectada entre septiembre y noviembre de 1995) fue de 58.6 millones de toneladas, volumen inferior a los 68.5 millones de toneladas de la campaña anterior, debido en gran medida a los daños causados por el calor que afectó a los rendimientos. La cosecha brasileña, que comenzó en marzo de 1996, fue de 23 millones de toneladas, casi 3 millones de toneladas menos que el año pasado a causa de la disminución de los rendimientos debida en parte a la sequía de fines de 1995 y al empleo limitado de insumos por parte de los agricultores. También se observó que

la producción de China (cosechada entre agosto y noviembre de 1995) descendió en 3 millones de toneladas a unos 13 millones de toneladas debido a problemas del tiempo. Esta disminución de la producción de soja también se vio en parte compensada por la producción sin precedentes de la India, donde se tuvo una cosecha que aumento en un 25% hasta alcanzar los 4.6 millones de toneladas, debido a un incremento muy grande de la superficie plantada y a unas excelentes condiciones de crecimiento.

Según los datos, en 1995/96 la producción mundial de **semilla de algodón** aumento en un 3.6% respecto a la campaña anterior a 34.8 millones de toneladas, registrándose los aumentos principalmente en la India, Pakistán, Turquía y Australia debido al incremento de la superficie plantada y a unos buenos rendimientos obtenidos gracias a las condiciones favorables del tiempo. En cambio, en la CEI (Comunidad Europea Internacional) y en China la producción se estancó, pese a un aumento muy grande de la superficie plantada.

La producción mundial de **colza** fue de 34 millones de toneladas, un 13% más que en la campaña anterior. Las excelentes condiciones de crecimiento y unos rendimientos muy buenos determinaron un aumento de la producción del orden del 25% respecto de la campaña pasada en China, del 22% en la CE (debido en parte al aumento de la superficie plantada) y de más del 3% en la India. En cambio, la producción del Canadá descendió en un 11%, debido a una disminución de la superficie sembrada y a unos rendimientos ligeramente inferiores.

Se observó que la cosecha de **girasol** superó en un 7,5% a la de la campaña anterior, alcanzando cerca de 26 millones de toneladas en 1995/96, debido sobre todo al aumento del 62% de la producción de la CEI tanto por la mayor superficie sembrada como por los mejores rendimientos obtenidos. Según las estadísticas, las cosechas de los otros tres principales productores de girasol, Argentina, la CE(Comunidad Europea) y los Estados Unidos descendieron considerablemente debido principalmente al tiempo desfavorable, mientras que la producción de China se mantuvo en el volumen de la campaña anterior.

Un decrecimiento considerable de la cosecha de **maní** en los Estados Unidos (casi un 16% menos que en la campaña anterior) y la India (un 15% menos que la producción de la campaña anterior) debido a los daños causados a los rendimientos determinaron una disminución de la producción mundial de maní a 27,2 millones de toneladas en 1995/96, casi un 6% menos que la producción récord de la campaña pasada.

La producción mundial de **copra** en 1995/96 descendió en alrededor de un 6% respecto al año anterior a 4.9 millones de toneladas en el año civil de 1996, debido a la pronunciada disminución de la producción prevista en Filipinas. El descenso de la producción de copra de Filipinas es el resultado combinado de la tendencia descendente del ciclo biológico del rendimiento de los cocoteros y el efecto retardado de la sequía registrada desde junio de 1994 a junio de 1995.

La producción mundial de **pepitas de palma** aumentó ligeramente a 4.8 millones de toneladas en el año civil de 1996, debido al incremento de la producción de Malasia.

Como consecuencia de la situación de la producción descrita anteriormente, en la campaña de 1995/96 la **producción de grasas y aceites comestibles / saponificables** descendió ligeramente a 93.7 millones de toneladas respecto a los 94.1 millones de toneladas de la campaña pasada. Para atender a las necesidades mundiales de consumo en 1995/96, que fueron algo mayores que la producción de la nueva cosecha, se tuvo que recurrir en parte a las reservas.

**La producción mundial de harinas oleaginosas**, previstas en 61.6 millones de toneladas equivalentes en proteínas en 1995/96, fue inferior en un 5% a la producción récord del año pasado. La mayor parte de la disminución se debió a la menor producción de harina de soja y harina de pescado. La disminución fue compensada sólo en parte por la mayor producción de harina de colza y una cierta expansión de la producción de harina de algodón y de girasol. La cantidad de existencias a principios de temporada, sin embargo, aseguró suficientes suministros mundiales de harinas proteicas para atender las necesidades previstas para la presente campaña.

Los precios internacionales de los productos de semillas oleaginosas se mantuvieron relativamente altos (en comparación con los comienzos de los años noventa) durante la mayor parte de la campaña 1997/98, pese a unas perspectivas mejoradas de producción. La disminución, durante las dos últimas campañas, del precio anual medio de los aceites y grasas con respecto a su nivel máximo de 1994/95 se detuvo, ya que la relación entre las existencias y la utilización de aceites y grasas descendió en 1997/98. Al mismo tiempo, como consecuencia principalmente de una cantidad relativamente buena de suministros, en 1997/98 se detuvo el constante aumento de los precios medios de las tortas y harinas, registrado durante las dos últimas campañas a raíz principalmente de la sostenida demanda causada por el alza de los precios de los cereales forrajeros en 1995/96. Aunque se observaron aumentos considerables en los precios de algunos aceites y harinas durante el primer trimestre de la campaña, este hecho no se consideró como indicativo de la campaña en conjunto.

### **3.2.1 Comportamiento de la producción de semillas oleaginosas, aceites y harinas.**

Según los pronósticos, la producción mundial de los **siete productos oleaginosos principales** alcanzó un nivel récord de casi 283 millones de toneladas en 1997/98. El aumento del 8% previsto de la producción se debió al aumento de los cultivos de soja en los Estados Unidos, Brasil y Argentina. Lo que, unido al aumento de la producción mundial de semillas de colza, semillas de girasol y semillas de algodón, debió compensar con creces la disminución de la producción mundial de maní, a raíz de la reducción de los rendimientos debida a las condiciones secas imperantes en China y de la disminución de la superficie plantada en la India.

Tomando como base las estimaciones anteriores, la producción de **aceites y grasas comestibles/saponificables** en 1997/98 superó el nivel de la última

campaña en alrededor del 4-5%, o sea 100 000 toneladas. El incremento de la producción total se debió principalmente al aumento de la producción de soja, mientras que el crecimiento del aceite de palma y de los aceites láuricos fue inferior a la media, debido fundamentalmente a los efectos climáticos negativos de El Niño. Los aceites suaves representaron el 54% de la producción mundial de aceites y grasas comestibles/saponificables (más de la mitad de los cuales será aceite de soja); las grasas y los aceites animales y aceite de palma, el 18% cada uno; los aceites láuricos el 6%, y el resto, grasas y aceites varios. Como consecuencia del aumento de la producción, los suministros mundiales de aceites y grasas comestibles/saponificables en 1997/98 superaron los de 1996/97, pese a una disminución de las existencias al comienzo de la campaña.

La producción mundial de **tortas y harinas** expresadas en equivalente de proteínas aumento en más de 70 millones de toneladas, 10% más que el nivel de 1996/97. El incremento previsto de la producción de harina de soja, y de la torta de semilla de colza y semilla de algodón compensó con creces la disminución de la producción mundial de harina de pescado, debido principalmente a las repercusiones negativas del fenómeno de El Niño en las capturas del Pacífico oriental, y el descenso de la producción de tortas de maní. Los suministros mundiales de harinas y tortas en 1997/98 superó el nivel de la campaña anterior, pese a una disminución de las existencias de apertura de ejercicio.

### **3.2.2 Consumo de aceites, grasas y harinas oleaginosas**

Pese a los precios relativamente altos, se registró un aumento en el consumo de **grasas y aceites comestibles y saponificables**, aunque a un ritmo más lento en comparación con campañas anteriores, llegando a 100 millones de toneladas. Los factores principales que respaldaron la demanda fueron las condiciones económicas en general favorables y el sostenido crecimiento de la población mundial. La crisis económica que afectó a algunos países asiáticos

(especialmente Indonesia, la República de Corea, Filipinas, Tailandia y Malasia) desde finales del año pasado no redujo notablemente su nivel de consumo de aceite, dado que los aceites y grasas son productos alimenticios básicos. Con respecto a la composición del consumo mundial, aumentó la parte de los aceites de soja, de semilla de colza y de semilla de girasol, ya que se observó que los suministros de aceite de palma y aceites láuricos cambiaron sólo marginalmente.

#### **PRODUCCION MUNDIAL DE LAS SIETE PRINCIPALES SEMILLAS OLEAGINOSAS**

Millones de toneladas	1996/97	1997/98	1998/99
Soja	125,8	132,2	150,5
Semillas de algodón	35,6	34,1	34,7
Maní (cáscara)	29,4	29,9	27,7
Semillas de girasol	26,2	24,1	25,4
Semillas de colza	34,7	30,7	33,7
Almendras de palma	5,1	5,4	5,6
Copra	4,7	5,4	5,5
<b>Total</b>	<b>261,5</b>	<b>261,5</b>	<b>282,5</b>

**FUENTE:**FAO

*Nota:* En los años emergentes se agrupan las cosechas anuales del hemisferio norte recolectadas en el segundo semestre del primer año indicado, con las cosechas anuales del hemisferio sur recolectadas en el primer semestre del segundo año indicado. Para los cultivos arbóreos, que se producen durante todo el año, se utiliza la producción del año civil del segundo año indicado.

El consumo mundial de **tortas y harinas** aumentó nuevamente en 1997/98 hasta alcanzar alrededor de 68 millones de toneladas en equivalente de proteínas. La mayor parte del incremento se produjo en China y los Estados Unidos, mientras que en los países asiáticos mencionados anteriormente el escaso crecimiento económico redujo el ritmo de expansión del consumo de carne (como producto más sensible a los ingresos y de alto valor agregado), lo que a su vez redundó en una disminución de la demanda de harinas oleaginosas. En la CE, el consumo de tortas y harinas fue afectado por el considerable aumento de los precios internacionales en las últimas campañas, el consumo se estancó en 1997/98, mientras que en los países de Europa oriental sólo hubo aumentos moderados, a causa de los problemas con que todavía contaban sus sectores ganaderos. En cuanto a las diferentes harinas, se observó un fuerte aumento del consumo de

harina de soja, mientras que el consumo mundial de tortas y harinas vegetales distintas de la harina de soja cambio un poco, y la utilización de harina de pescado disminuyó debido a la escasez de su producción.

Sobre la base de los pronósticos anteriores relativos a la oferta y la demanda en la campaña 1997/98, se observó que al final de la campaña las existencias de aceites y grasas repuntaron ligeramente con respecto al nivel inferior a la media de la última campaña, mientras que la relación entre las existencias y la utilización descendió al final de 1997/98. En consecuencia, los precios de los aceites y grasas se mantuvieron en niveles relativamente altos en 1997/98. Ulteriores aumentos en el índice de precios de los aceites y grasas comestibles/saponificables para la campaña en conjunto no se dieron, a pesar de los aumentos registrados en los precios de algunos aceites.

Casi todo el volumen de cultivos oleaginosos cultivados en el mundo se procesa con objeto de obtener aceites y grasas, destinados a la nutrición humana o a fines industriales, y tortas y harinas, utilizadas como ingredientes en la fabricación de piensos. Por lo tanto, más que hacer una referencia a las semillas oleaginosas, el análisis de la situación de mercado se realizó principalmente en función de aceites/grasas y de tortas/harinas. Por consiguiente, los datos de producción correspondientes a aceites (tortas) se refieren al aceite (torta) equivalente de aquella parte de la producción total que se puede molturar, independientemente de que esto se haga en los países productores o que los productos sean expedidos en forma no elaborada para que molturen en el país importador, mientras que los datos sobre el comercio de aceites y tortas se refieren a la suma del comercio de aceites y tortas más el comercio de semillas oleaginosas en equivalente de aceites y tortas.

**PRECIOS INTERNACIONALES DE LOS PRODUCTOS DE SEMILLAS OLEAGINOSAS**

	Indices de la FAO de precios del mercado internacional 1/		Promedio de precios del mercado internacional			
	Aceites/grasas, comest./sapon.	Tortas y harinas oleaginosas	Soja	Aceite de soja	Aceite de palma	Tortas de soja
Octubre/septiembre ( . . . 1990-92=100 . . . )			( . . . dólares EE.UU./tonelada . . . . )			
1993/94	105	97	246	452	387	207
1994/95	130	93	259	582	452	202
1995/96 - oct.-marzo	160	91	239	670	671	179
- abril-sept.	151	98	256	611	620	189
1996/97 - oct.-marzo	144	126	292	580	565	242
- abril-sept.	140	130	315	568	524	267
1997/98 - oct.-marzo	137	134	301	527	560	282
- abril-sept.	135	132	295	546	530	278

**FUENTE: FAO**

1/ A partir de esta publicación los coeficientes de ponderación del comercio y el período base de los índices de precios de la FAO han sido cambiados.

Como en 1996/97, se dio una ulterior expansión de la demanda mundial de productos de semillas oleaginosas que redundó en un aumento del comercio mundial de **productos de semillas oleaginosas** en 1997/98.

Con respecto a las **importaciones**, se dio un fuerte aumento de las compras de productos basados en semillas oleaginosas en China, que de neto exportador en 1993/94 pasó a ser uno de los mayores importadores de dichos productos. Un aumento ulterior de la brecha de la oferta/demanda interna de semillas oleaginosas, aceites y harinas, se dio principalmente por las dificultades de producción, esto llevó a las importaciones netas de aceites y grasas así como de tortas y harinas de 4.4 y 3.9 millones de toneladas respectivamente en 1996/97 a 5.6 y 5.2 millones de toneladas respectivamente en esa campaña. Se observó que el calendario y la magnitud de las compras chinas de productos basados en semillas oleaginosas constituyeron un factor importante que influyó durante 1997/98 sobre la evolución de los precios internacionales de dichos productos. Las importaciones netas de aceites y grasas aumentaron ulteriormente también en otros países importadores importantes, como la India, el Pakistán, México, Japón, la CE y la República de Corea. En cuanto a las importaciones de tortas y harinas, la prevista disminución del consumo de harinas oleaginosas en algunas partes del sudeste asiático se tradujo en una cierta disminución de las importaciones, pero

<p align="center"> <b>TESIS CON FALLA DE ORIGEN</b> </p>
--

no se observaron repercusiones importantes en la demanda mundial de importaciones.

Las **exportaciones** de aceites y grasas alcanzaron los 36 millones de toneladas, alrededor de 3% más que el nivel de la última campaña. Como sucede normalmente, los principales proveedores de aceite fueron la Argentina, el Brasil y los Estados Unidos para la soja, la semilla de girasol y sus aceites; Indonesia y Malasia para el aceite de palma y de almendro; Filipinas para el aceite de copra y de coco; y el Canadá para la semilla de colza y su aceite. La parte del aceite de soja y el aceite de palma en los envíos totales de aceites y grasas se estimó entre 32 y 28% respectivamente (lo contrario de la última campaña) seguidos del aceite de semilla de girasol (9%), aceite de semilla de colza (7%), aceite de sebo (6%) y de coco (5%). Las exportaciones netas de tortas y harinas aumentaron en 1997/98 en alrededor del 5%, posiblemente a más de 33 millones de toneladas en equivalente de proteínas. La parte correspondiente a la harina de soja en el comercio mundial de exportaciones aumentó al 80%, mientras que la de harina de pescado disminuyó a causa de la merma de la producción. No se dio una expansión significativa de los envíos de aceites y tortas de los países asiáticos exportadores (en particular Malasia, Indonesia y Filipinas). Aunque sus exportaciones se hicieron más competitivas debido a las fuertes devaluaciones de las monedas locales, el fenómeno meteorológico de El Niño perjudicó las perspectivas para la producción de dichos países, limitando de ese modo las disponibilidades exportables en 1998.

### **3.2.3 Perspectivas para 1998 y 1999**

Con respecto a la campaña 1998/99 la evolución en los mercados de todos los cultivos que compiten por la tierra con las semillas oleaginosas jugaron un papel importante en la determinación de la superficie sembrada con semillas oleaginosas en el hemisferio norte, ya que se concretizaron las previsiones relativas a la producción de las cosechas de maíz y semillas oleaginosas ya sembradas en los países del hemisferio sur, la relación entre los precios del maíz

y las semillas oleaginosas fue relativamente alta en el primer trimestre de 1998 en comparación con el mismo período del año pasado, lo cual limitó las siembras de semillas oleaginosas en la siguiente campaña. Además, la demanda mundial de ingredientes para piensos estuvo condicionada en 1998/99 por las dificultades económicas con que tropezaron los principales países del sudeste y este asiático. Aunque fue difícil determinar su efecto en el mercado de las semillas oleaginosas en conjunto, la devaluación de las monedas y el escaso crecimiento económico tuvieron a la larga un efecto negativo en el comercio mundial, particularmente de semillas oleaginosas.

Todo considerado, aunque el motor de la economía de los cultivos oleaginosos durante las dos últimas campañas fue la demanda de tortas y harinas oleaginosas, la evolución del mercado durante 1998 y 1999 estuvo determinada más equitativamente por una combinación de factores de oferta y demanda relativos a la producción de semillas oleaginosas, por un lado, y la demanda de aceites y tortas, por otro, así como a la oferta y demanda de productos que compiten por la tierra con las semillas oleaginosas. Por consiguiente, los precios de los aceites, grasas, tortas y semillas se mantuvieron a niveles relativamente altos, aunque con una mayor proporción de aceites en el valor total de las semillas oleaginosas.

Como se puede observar, después del análisis de la situación del mercado de semillas oleaginosas, las condiciones están dadas para llevar a cabo la disminución del contenido de benceno en el hexano y de esta manera satisfacer la demanda nacional y entrar a la competencia a nivel mundial con la exportación del hexano.

El siguiente paso es analizar los procesos mediante los cuales se puede lograr disminuir el contenido de benceno en el hexano, esto se llevará a cabo en el siguiente capítulo.

**CAPITULO IV**  
**PROCESOS PARA LA**  
**MINIMIZACIÓN DEL BENCENO**

Actualmente en el país existe la disposición oficial publicada en el diario oficial de la federación el 17 de Agosto de 1992, la cual faculta a PGPB(Pemex Gas y Petroquímica Básica) para la producción de petroquímicos básicos dentro de los cuales se encuentra el hexano, sin embargo la fabricación de este producto no contempla en su especificación el contenido de benceno. Por otra parte existe la norma oficial mexicana NOM – K – 577 – 1983 para la elaboración de hexano la cuál no incluye el parámetro de benceno.

Dado lo anterior la importación de hexano sin benceno se ha hecho posible ya que Pemex Gas y Petroquímica Básica no produce este petroquímico sin benceno.

Es importante conocer las propiedades del benceno para determinar porque se tiene que disminuir su contenido en el hexano que vende PGPB.

El benceno es un líquido de color amarillo claro a incoloro perteneciente al grupo químico de los aromáticos (hidrocarburos cíclicos insaturados) el cual tiene un anillo de seis carbonos tres enlaces dobles, con olor ligeramente a gasolina.

Punto de fusión 5.5°C, punto de ebullición 80.1°C, densidad relativa 0.88 a 20°C.

El benceno se utiliza en la industria generalmente como materia prima para la elaboración de diversos productos: fenol, ciclohexano para nylon 6, poliestireno, detergentes sintéticos, derivados clorados, colorantes.

*Su uso debe ajustarse a las normas y leyes vigentes de contaminación ya que es cancerígeno.*

Produce graves irritaciones, ebrionarcosis, alteración de los órganos formadores de células sanguíneas y paro respiratorio.

Como se puede observar el problema principal es que el benceno es cancerígeno, el contenido de este petroquímico en el hexano que actualmente produce el centro petroquímico La Cangrejera S.A. de C.V. es de 3000 ppm en promedio, esto es lo que impide a los clientes utilizar el hexano para producir aceites comestibles para exportación ya que la FDA(Federal Drugs Administration) pide un contenido máximo de 10 ppm.

Ahora que se conoce cual es el principal problema con el benceno se analizarán los procesos de separación mediante los cuales se puede disminuir el contenido de benceno. Para poder hablar de estos procesos tendremos que hablar primero de lo que estos son y las consideraciones que se tienen que tomar para escoger el proceso adecuado.

Las reacciones químicas de importancia industrial por lo regular forman una mezcla de productos de los cuales sólo uno o dos son de interés y éstos en cierto grado de pureza. En consecuencia, la etapa final de la mayoría de los procesos químicos incluye algún tipo de separación. De hecho, las dificultades para separar el producto deseado en un grado de pureza suficiente y a un costo lo bastante bajo pueden constituir el mayor obstáculo para la explotación comercial de un nuevo proceso.

Uno de los métodos para juzgar la importancia relativa de las etapas de reacción y separación en un proceso químico es comparar la inversión en capital para la planta en cada una de estas actividades. En un extremo del ámbito de valores se encontrarán aquellos procesos en donde las etapas de reacción son difíciles o complejas, seguidas por operaciones de separación relativamente simples para recuperar un solo producto. En el otro extremo del ámbito de valores se encuentran los procesos en que la etapa de reacción es simple y precede a una difícil separación en múltiples pasos, para la recuperación de varios productos deseados.

Además de que los procedimientos de separación en un proceso químico están sujetos a las limitaciones impuestas por las especificaciones del producto, los factores ambientales pueden dictar otros requisitos. Debido a las reglamentaciones federales y estatales, respecto a las sustancias químicas que deben de descargarse en el ambiente en cantidades específicas, los desperdicios de procesos ya no pueden tirarse simplemente al aire o a las corrientes de agua que pasan por la región en que está ubicada la planta.

Muchas de las soluciones a los problemas de separación conciernen al ingeniero químico, pero existe una gran área de interés común en que el químico y el

ingeniero deben trabajar juntos para llegar a obtener soluciones económicas y prácticas. El ingeniero químico necesita contar con un conocimiento básico de los principios de la fisicoquímica, el fundamento en que se apoyan la mayoría de los procesos de separación. Por lo que respecta al químico, éste debe tener comprensión y capacidad de relacionar los fenómenos de laboratorio a los procesos de separación en gran escala con operación económica.

#### 4.1 PROCESOS DE SEPARACIÓN

Básicamente, todos los procesos de separación se pueden representar por el diagrama esquemático que se muestra en la figura 4.1. Como se puede ver, una corriente de material se alimenta a una unidad de separación donde se divide en dos corrientes de producto que difieren en composición una de la otra. La separación se lleva a cabo por adición de un agente separador a la unidad; este agente separador puede ser otra corriente de material, o bien alguna forma de energía.

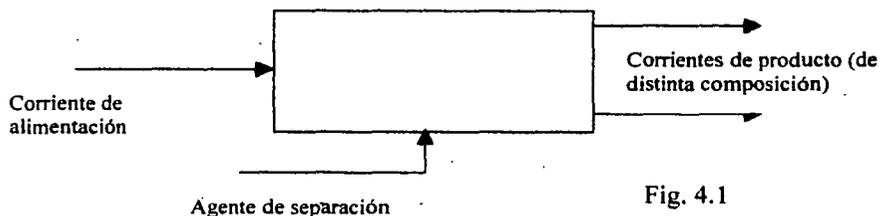


Fig. 4.1

El concepto fundamental de una separación requiere que las corrientes de producto difieran en composición; si tienen la misma composición no se ha llevado a cabo la separación. En consecuencia, los procesos de separación se deben definir como las operaciones que transforman una sola mezcla de sustancias en dos o más productos que difieren en composición uno del otro.

La mayoría de los procesos de separación comunes que se encuentran en la industria química se basan en la introducción o formación de una segunda fase de materia por medio del agente separador. Por ejemplo, en un proceso de absorción la corriente de alimentación es una mezcla de gases y el agente separador es una

corriente de líquido que de preferencia disuelve uno o más de los componentes en la mezcla de gases.

En algunos procesos de separación ya existe la segunda fase en la corriente de alimentación y la unidad de separación, junto con el agente separador, sólo sirven para separar las fases entre sí. Por ejemplo, un filtro sirve para separar las fases sólidas y líquidas de una corriente de alimentación que puede estar en forma de una suspensión de cristales finos.

En la tabla 4.1 se da una lista de algunos de los procesos de separación más importantes que se utilizan en la industria química. Junto con el nombre del proceso se anota el agente separador que se requiere, el producto de la separación y la base química en que se efectúa la separación.

**Tabla 4.1 Procesos industriales de separación**

NOMBRE	ALIMENTACIÓN	AGENTE SEPARADOR	PRODUCTOS	BASE DE SEPARACIÓN
Destilación	Líquido	Calor	Líquido y vapor	Diferencia en volatilidad
Evaporación	Líquido	Calor	Sólido o líquido y vapor	Diferencia en volatilidad
Absorción	Gas	Líquido	Líquido y vapor	Solubilidad preferencial
Extracción con disolvente	Líquido	Líquido inmiscible	Dos líquidos	Diferencias en solubilidad
Adsorción	Gas o líquido	Adsorbente sólido	Fluido y sólido	Diferencia en potenciales de adsorción
Cristalización	Líquido	Enfriamiento	Líquidos y sólidos	Diferencia en tendencias de congelación
Intercambio iónico	Líquido	Resina sólida	Líquido y resina sólida	Ley de acción de masas
Secado	Líquido - sólido	Calor	Sólido seco y vapor	Evaporación de agua
Lixiviación	Sólidos	Disolvente	Líquido y sólido	Solubilidad

**Tabla 4.1 Procesos industriales de separación (continuación)**

NOMBRE	ALIMENTACIÓN	AGENTE SEPARADOR	PRODUCTOS	BASE DE SEPARACIÓN
Flotación	Mezclas de sólidos pulverizados	Burbujas de aire ascendentes y tensoactivos	Dos sólidos	Adsorción preferencial de una de las especies sólidas sobre tensoactivos
Gelificación	Líquido	Gel sólido	Fase de gel y líquido	Diferencia en tamaño molecular
Filtración	Líquido y sólido	Medio filtrante	Líquido y sólido	Diferencia en tamaño del líquido y el sólido
Sedimentación	Líquido y sólido	Gravedad	Líquido y sólido	Diferencia de densidad
Centrifugación	Líquido y sólido	Fuerza centrífuga	Líquido y sólido	Diferencia de densidad
Separación en ciclón	Gas y sólido	Flujo	Gas y sólido	Diferencia de densidad
Precipitación electrostática	Gas y sólidos finamente divididos	Campo eléctrico	Gas y sólidos	Carga sobre las finas finamente divididos

Al estudiar la tabla 4.1 se puede ver que todos los procesos de separación que no son mecánicos implican la división o transferencia de componentes entre dos o más fases distintas. Estas fases se pueden formar por completo a partir de los componentes que se desea separar, como en el caso de la destilación de una mezcla de dos componentes. Se dice entonces que estas separaciones se basan en fenómenos de equilibrio de fases. Por lo contrario, una o ambas fases pueden estar formadas principalmente por especies químicas que no son parte de la mezcla que va a separarse, como en el caso de las separaciones por extracción con disolvente. Se dice que estas separaciones están basadas en fenómenos de equilibrio de distribución.

Las separaciones basadas en equilibrio de fases o equilibrio de distribución sólo se pueden lograr si hay una diferencia en la distribución de los componentes en las dos fases.

#### **4.1.1 SELECCIÓN DE UN PROCESO DE SEPARACIÓN**

En esta parte hablaremos de las bases para seleccionar procesos adecuados para llevar a cabo una determinada separación. Sin embargo, cabe señalar que por causa de la diversidad de los problemas de separación que se encuentran en la industria química, no existe un solo proceso de selección que se pueda aplicar a la resolución de todos los problemas. Sin embargo, es posible identificar varias reglas generales que, si se siguen, pueden ser de utilidad para definir unos cuantos procesos de separación que serían los mejores candidatos para evaluación en una situación determinada. Los factores que se deben considerar al buscar procesos de separación probables son:

- 1) Posibilidad
- 2) Selectividad
- 3) Capacidad de separación
- 4) Calidad del producto
- 5) Valor del producto

**1) La primera pregunta que debe responderse al seleccionar un posible proceso de separación es si tiene el potencial para llevar a cabo la separación de la mezcla en cuestión.** De acuerdo con esto, si se aplican en principio los requisitos que marcan las posibilidades, se pueden establecer un gran número de procedimientos de separación.

El criterio de posibilidades también se puede usar para establecer métodos de separación que requieren condiciones extremas. Es difícil establecer guías definidas para indicar qué es extremo y qué no lo es, pero en general un proceso de separación que requiere de presiones muy altas o muy bajas, o de grandes

cambios en temperatura, muy altos voltajes o corrientes, o cualquier otra condición similar, será menos deseable que otro que no requiera de estas condiciones extremas.

**2)** *La selectividad es un factor muy importante en la selección de posibles métodos para un proceso de separación; la selectividad que se requiere está determinada a su vez por la naturaleza de la mezcla.*

Al seleccionar procesos de separación probables a partir de una comparación de las propiedades moleculares, siempre se deben considerar en principio aquellos procesos que enfatizan las propiedades moleculares en que los componentes difieren en mayor grado.

**3)** *La cantidad de material que se va a separar tendrá una influencia importante en la selección de un proceso de separación. Algunos procesos de separación son ideales para separaciones de cantidades en el orden de los miligramos, pero son difíciles de llevar a mayor escala en el caso de separaciones de grandes cantidades. Por otra parte, algunos procesos de separación (por ejemplo, destilación) se pueden utilizar a escala de miligramos o bien a escala de miles de galones por día.*

**4)** *Todos los productos químicos deben cumplir con ciertas especificaciones. En el caso de algunos productos (farmacéuticos, productos químicos finos, monómeros o productos alimenticios), estas especificaciones pueden ser muy rígidas. Por otra parte, otros productos (como disolventes para limpieza) pueden tener especificaciones que permitan ligeras variaciones en propiedades y / o la presencia de pequeñas cantidades de sustancias extrañas que no van en detrimento del uso que se requiere dar al producto.*

*Estas diferencias en especificaciones de productos pueden tener un papel muy importante en la selección de un proceso de separación. Por ejemplo, los procesos de separación que requieren la adición de un agente separador de masa no se usan en el procesamiento de alimentos por causa de la posibilidad de*

contaminación por cualquier residuo de agente separador presente en el producto. Por supuesto, la contaminación significa que el producto no cumple con las especificaciones.

Muchas sustancias químicas son susceptibles de descomponerse cuando se exponen al calor. Por lo tanto, es necesario proteger al producto de daños térmicos durante las etapas de separación. El daño térmico se puede manifestar por la adquisición de un color no deseable, la reducción de la estabilidad en almacenamiento, un olor desagradable, polimerización, etc. Por supuesto que para materiales de este tipo, esto es, sensibles al calor, los procedimientos potenciales de separación no incluirán aquellos procesos que requieren de altas temperaturas. Sin embargo, con frecuencia es posible reducir el efecto térmico en este proceso de separación, diseñando el equipo de tal manera que el tiempo que el material se mantenga a temperatura elevada sea muy corto.

*5) El valor económico de un producto tendrá gran influencia en el diseño y la operación del proceso químico que se utiliza en su producción. Como se podría esperar, la selección de la etapa de separación estará muy influida por el valor económico de los productos que se aíslan. Está claro que hay muchos procesos de separación los cuales serían adecuados para sustancias de alto valor y que no se tomarán en consideración para una sustancia de menor precio. La regla general indica que mientras más bajo es el valor económico del producto, más importante será seleccionar un proceso cuyo consumo de energía sea el menor posible y elegir un proceso en que el costo por libra de agente separador agregado sea relativamente bajo.*

Después de haber analizado todos estos factores es necesario hacer énfasis en que el área de las separaciones en la industria química es un campo de estudios muy amplio y complejo. Ahora pasaremos a analizar cuales son los procesos de separación que existen para disminuir el contenido de benceno en el hexano, tomando como base los criterios antes establecidos.

## **4.2 SEPARACIÓN DE BENCENO**

En términos generales hay dos tipos de operaciones para la obtención de sustancias puras:

- 1.- Las operaciones físicas (no cambian la estructura química de las sustancias), destilación, evaporación, filtración, decantación, adsorción, extracción.
- 2.- Las operaciones químicas: son reacciones que modifican la estructura de una o más sustancias a las que se aplica.

El propósito de la separación es obtener hexano grado alimenticio con menos de 10 ppm de benceno.

Existen diferentes métodos para separar el benceno del hexano y principalmente son:

- a) Destilación
- b) Hidrogenación catalítica
- c) Adsorción

**4.2.1** La destilación es un proceso que consiste en calentar un líquido hasta que sus componentes más volátiles pasan a la fase de vapor y, a continuación, enfriar el vapor para recuperar dichos componentes en forma líquida por medio de la condensación. El objetivo principal de la destilación es separar una mezcla de varios componentes aprovechando sus distintas volatiliidades, o bien separar los materiales volátiles de los no volátiles. En la evaporación y en el secado, normalmente el objetivo es obtener el componente menos volátil; el componente más volátil, casi siempre agua, se desecha. Sin embargo, la finalidad principal de la destilación es obtener el componente más volátil en forma pura.

Si la diferencia en volatilidad (y por tanto en punto de ebullición) entre los dos componentes es grande, puede realizarse fácilmente la separación completa en

una destilación individual. El agua de mar, por ejemplo, que contiene un 4% de sólidos disueltos, se puede purificar con facilidad evaporando el agua, y condensando después el vapor para recoger el producto, agua destilada.

Si los puntos de ebullición de los componentes de una mezcla sólo difieren ligeramente, no se puede conseguir la separación total en una destilación individual. Un ejemplo importante es la separación de agua, que hierve a 100 °C, y el alcohol, que hierve a 78.5 °C. Si se hierve una mezcla de estos líquidos, el vapor que sale es más rico en alcohol y más pobre en agua que el líquido del que procede, pero no es alcohol puro.

En la mezcla simple de dos líquidos solubles entre sí, la volatilidad de cada uno es perturbada por la presencia del otro. En este caso, el punto de ebullición de una mezcla al 50%, por ejemplo, estaría a mitad de camino entre los puntos de ebullición de las sustancias puras, y el grado de separación producido por una destilación individual dependería solamente de la presión de vapor, o volatilidad de los componentes separados a esa temperatura.

**4.2.2** La hidrogenación catalítica se basa principalmente en adicionar hidrógeno a la molécula del benceno en un reactor y con un catalizador, como por ejemplo níquel, platino o paladio finamente dividido, controlar las condiciones de operación como son presiones, temperaturas, flujos, etc. para transformar finalmente esta molécula a ciclohexano, la que por sus características ya no se considera cancerígena.

De las diferentes reacciones que se pueden utilizar para la reducción de compuestos orgánicos, la reacción de un compuesto con hidrógeno en presencia de un catalizador tiene varias ventajas únicas, ya que tiene un gran campo de aplicación y una simplicidad experimental. La hidrogenación catalítica de aromáticos ha sido un tema de interés para numerosos investigadores no solo por el uso comercial de esta reacción, sino también por su utilización en la evaluación de la actividad de los catalizadores y en la determinación de mecanismos de reacción. La hidrogenación catalítica es por definición, una reacción bimolecular

donde por lo menos uno de los reactantes, la molécula insaturada, es adsorbida sobre la superficie del catalizador. El estado reactivo del hidrógeno no está muy claro, ya que puede reaccionar desde un estado adsorbido atómicamente o en un estado donde la molécula es adsorbida físicamente.

**4.2.3** La adsorción es la recolección y concentración selectiva, sobre superficies sólidas, de tipos particulares de moléculas contenidas en un líquido o gas. Los sólidos adsorbentes son, por lo general, partículas granulares porosas (< 5 mm diám.) que se utilizan en lechos fijos y en lechos fluidificados (< 0.05 mm diám.), con poros interiores de diámetro de 0.01  $\mu\text{m}$  o menos y con un volumen total que se aproxima al 50% de la partícula completa.

La adsorción se selecciona como el método más económico para tratar una corriente de fluido a escala industrial cuando se presentan las siguientes características: alta capacidad de concentración del adsorbente, con respecto a la selectividad; inestabilidad química del adsorbato (soluto), que se restringe a las temperaturas inadecuadas para otras separaciones; suministro fluctuante o intermitente de la alimentación fluida.

La adsorción, como una operación de separación, incluye comúnmente el uso de otros agentes separadores sólidos, como los filtros moleculares de aluminosilicato, ciertas sales anhidras ( $\text{CaSO}_4$  anhidro) y polímeros orgánicos homogéneos del tipo del gel amorfo, como el poliestireno o el dextrano, los cuales funcionan en la misma forma general que los adsorbentes verdaderos.

En la adsorción se encuentran dos tipos principales de tratamientos: la filtración por contacto, en donde el fluido y el adsorbente siguen trayectorias idénticas a través de los procesos con tiempos de residencia iguales sin que se presente segregación entre las dos fases; y la segregación de flujos que se lleva a cabo en dos diferentes tipos de sistemas. El contacto a contracorriente entre un sólido y gas o líquido se maneja de manera análoga a las separaciones gas – líquido y líquido – líquido, con una alimentación lateral como en las columnas de absorción. El uso de lechos fijos requiere que se cuente con una cantidad extra de

adsorbente, pero el beneficio económico global es mayor que si se usaran lechos móviles.

La regeneración, el lavado de solutos que se retienen en el lecho después de una etapa de producción y antes de comenzar la siguiente, es necesaria en todo tipo de sistema en que el adsorbente se reutilizará. Algunos adsorbentes deben eliminarse del sistema y procesarse en otro sistema separado para restaurar su actividad. El carbón activado, por ejemplo, se regenera con frecuencia por oxidación controlada entre 600 y 900 °C en un horno rotatorio. Para muchos usos, el carbón y otros adsorbentes pueden regenerarse en su sitio y a menudo la regeneración por flujo a contracorriente presenta ventajas cuando las condiciones de regeneración no son extremas.

Los sistemas más conocidos son gas / sólido y líquido / sólido. Los materiales finamente divididos o microporosos con una gran área de superficie activa son fuertes adsorbentes y se utilizan para eliminar olores, colores y componentes disueltos en la mezcla, a lo que se le puede llamar proceso de purificación, para el caso que nos ocupa sería un proceso de adsorción selectiva o preferente, debido a que lo que queremos obtener es hexano sin benceno.

En el caso del tratamiento en fase líquida, predominan los siguientes tipos de procesos: a) decoloración, secado o desgomado de las fracciones de petróleo (disolventes, combustibles, lubricantes, ceras); b) eliminación de olor, sabor y color del abastecimiento de agua; c) decoloración de aceites de origen animal y vegetal; d) decoloración de jarabes de azúcar crudos; e) clarificación de bebidas y preparaciones farmacéuticas; f) recuperación de vitaminas y otros productos de las mezclas de fermentación; g) separación de componentes aromáticos de hidrocarburos parafínicos y para la aplicación en fase gaseosa; h) recuperación de los disolventes presentes en el aire que salen de la cámara donde ocurre un proceso de evaporación como el secado de pintura, impresión de periódicos, limpieza en seco de textiles o hilatura de rayón; i) separación en fase gaseosa de hidrocarburos de bajo peso molecular (una alternativa para la adsorción rectificadora o para la destilación a baja temperatura).

Las características principales de operación de un sorbente sólido para tratar corrientes de líquidos (hexano con benceno) dependen de cuatro factores principales los cuáles deben de analizarse minuciosamente para obtener los mejores resultados.

1. La capacidad final del sorbente hacia el soluto, que puede utilizarse o no en las condiciones de operación del proceso.
2. El equilibrio de fase, que influye en la eficiencia con que se alcanza dicha capacidad y en la mayoría de los casos controla la capacidad real del sorbente.
3. El comportamiento de la velocidad y el flujo, así como el mecanismo y las resistencias que regulan (caídas de presión del equipo y del sorbente).
4. La configuración del proceso con sus consecuencias para el balance del material.

Para este tipo de operaciones se recomienda operar en forma continua de tal manera que el proceso sea rentable.

#### **4.2.3.1 Características de la operación por adsorción**

En la forma de operación más común de la separación por adsorción se utiliza un lecho fijo y una operación cíclica. A medida que la corriente húmeda de proceso entra al lecho fresco del filtro molecular, el vapor de agua se adsorbe en una longitud finita del lecho llamada zona de transferencia de masa, o sea, la longitud del lecho a través de la cual se reduce esencialmente la concentración del adsorbato de las condiciones de entrada a las condiciones de salida. A medida que el gas fluye, el lecho puede dividirse en tres zonas distintas; la zona de equilibrio dinámico con el gas de entrada, zona de transferencia de masa y la zona activa restante. En la mayoría de los sistemas de adsorción molecular, la zona de transferencia de masa se estabiliza debido a su isoterma favorable y se mueve a velocidad constante. El lecho se agota cuando la frontera de la zona de transferencia de masa alcanza el extremo de salida. La elevada capacidad

efectiva es el resultado de capacidades de equilibrio dinámico altas y zonas de transferencia de masa cortas.

La regeneración del lecho agotado elimina el adsorbato preparándolo para la siguiente etapa. Esto se lleva a cabo por cambio térmico, mediante el cual el lecho se calienta hasta una temperatura en la que la capacidad de adsorción se reduce a un nivel tan bajo que el adsorbato abandona la superficie del filtro molecular y es eliminado fácilmente.

Las variables del sistema que afectan el rendimiento de los procesos de separación adsorción son temperatura, presión, velocidad del fluido, concentración del adsorbato, fase, tamaño de partícula, grado de activación del filtro molecular y contaminantes.

#### **4.2.3.2 Materiales sorbentes**

Los adsorbentes son materiales naturales o sintéticos de estructura amorfa y microcristalina. Los utilizados en gran escala incluyen el carbón activado, la alúmina activada, el gel de sílice, la tierra de fuller, otras arcillas y las mallas moleculares.

La tabla 4.2 nos muestra las propiedades de los materiales adsorbentes.

Después de haber analizado los posibles procesos de separación que nos pueden ayudar a disminuir el contenido de benceno, la siguiente parte es analizar los resultados obtenidos en el laboratorio, para determinar cual de estos procesos es el más factible . Esto se analizará en el siguiente capítulo.

**Tabla 4.2 Propiedades físicas de los adsorbentes.**

Material y empleos	Forma de las partículas	Intervalo de diám., malla estándar U.S.	Porosidad interna, %	Densidad masiva seca, %	Diám. prom. del poro, nm	Área de la sup.	Capacidad de sorción Kg./Kg. seco
<b>Alúminas</b>							
Baja porosidad	G, S	8 - 14	40	0.70	7	0.32	0.20
Alta porosidad	G	Varios	57	0.85	4 - 14	0.25-0.36	0.25-0.33
Bauxita activada	G	8-20	35	0.85	5	.....	0.1-0.2
Mallas moleculares	S, C, P	Varios					
Tipo 3A (dehidratación)			30	0.62	0.3	0.7	0.21-0.23
Tipo 4A (dehidratación)			32	0.61	0.4	0.7	0.22-0.23
Tipo 5A (separaciones)			34	0.60	0.5	0.7	0.23-0.28
Tipo 13X (purificación)			38	0.58	1.0	0.6	0.25-0.36
Mordenita (secado ácido)			.....	0.88	0.3-0.8	.....	0.12
Gel de sílice (secado)	G, P	Varios	38-48	0.70	2-5	0.6-0.8	0.35-0.50
<b>Carbones</b>							
A base de madera	G	Varios	80	0.25	.....	0.8-1.8	0.7
A base de petróleo	G, C	Varios	80	0.45	2	0.9-1.3	0.3-0.4
<b>Polímeros orgánicos</b>							
Poliestireno	S	20-60	40-50	0.64	4-9	0.3-0.7	
Éster poliacrílico	G, S	20-60	50-55	0.65	10-25	0.15-0.4	
Resinas fenólicas	G	16-50	45	0.42	.....	0.08-0.12	0.45-0.55

Formas: C, píldoras cilíndricas; P, polvo; G, gránulos; S, esferas.

Los diám. de las mallas estándar U.S. corresponden a los siguientes diám. en mm: (3)6.73, (4)4.76

# **CAPITULO V**

## **ANÁLISIS Y PROPUESTA**

Pemex Gas y Petroquímica Básica a través de la gerencia de Comercialización de Petroquímicos Básicos es la responsable de abastecer en forma oportuna y eficiente a la industria nacional de los petroquímicos básicos y el azufre que se emplean como materias primas e insumos en diversos procesos industriales, de acuerdo a lo estipulado en la Ley Orgánica de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios, artículo 3° y la ley reglamentaria del Artículo 27 Constitucional.

*La misión de la Gerencia de Comercialización de Petroquímicos Básicos consiste en ofrecer a la industria nacional productos y servicios con oportunidad y eficiencia.*

Debido a esto y a la disminución de las ventas de hexano por parte de PGPB se tomo la decisión de enviar un cuestionario a los clientes, el cuestionario se muestra en el Anexo I, esto con el fin de recabar la información necesaria para llevar a cabo una estrategia y recuperar el mercado perdido en los últimos años.

## **5.1 ANÁLISIS**

Los resultados que arrojó el cuestionario enviado a los clientes de PGPB fueron los siguientes:

- El contenido de benceno en el hexano (3000 ppm) rebasa lo permitido por las normas de la FDA (menos de 10 ppm).
- Mientras el hexano de importación maneja un precio sin tantas variaciones el hexano de PGPB no se ha mantenido estable durante los últimos años.
- El hexano que produce Pemex no se puede utilizar para producir aceites comestibles para exportación.

- El hexano que se importa cuesta aproximadamente 10% más que el hexano que produce Pemex, pero tiene un contenido de menos de 10 ppm de benceno.
- No existe inconformidad alguna en cuanto a los tramites administrativos que se realizan para la compra y entrega del producto.

Cabe mencionar que PGPB tiene sus centros embarcadores y de distribución ubicados en Pajaritos, Veracruz y Poza Rica, Veracruz; mientras que los puertos por donde entra y se almacena el hexano de importación son Altamira, Manzanillo y Tuxpan, Veracruz.

En respuesta a esto, la gerencia de comercialización de petroquímicos básicos tiene en marcha un proyecto para obtener y producir hexano con un bajo contenido de benceno y de esta manera recuperar el mercado perdido el cual consta de los siguientes clientes:

CLIENTE	UBICACIÓN
ACEITE CASA, S.A. DE C.V.	DISTRITO FEDERAL
ACEITERA DEL GOLFO, S.A. DE C.V.	YUCATAN
ACEITERA LA HIGIÉNICA, S.A. DE C.V.	JALISCO
ACEITES Y JABONES, S.A. DE C.V.	DISTRITO FEDERAL
ADITIVOS Y PREMEZCLAS ESPECIALES, S.A. DE C.V.	ESTADO DE MEXICO
CAFECO AGROINDUSTRIAL DEL PACIFICO, S.A. DE C.V.	GUERRERO
CASA GALEANA DEL SUR, S.A. DE C.V.	GUERRERO
CASOIL DE MÉXICO, S.A. DE C.V.	DISTRITO FEDERAL
FABRICA DE JABÓN LA CORONA, S.A. DE C.V.	ESTADO DE MEXICO
HIDROGENADORA YUCATECA, S.A. DE C.V.	YUCATAN
INDUSTRIAL DE COCO, S.A. DE C.V.	GUERRERO
NEGOCIACIÓN INDUSTRIAL SANTA LUCÍA, S.A. DE C.V.	MICHOACAN
NUTRIMENTOS DORANTES, S.A. DE C.V.	YUCATAN
PRODUCTOS INDUSTRIALIZADOS DE TECOMAN, S.A. DE C.V.	COLIMA
PRODUCTOS PUENTE, S.A. DE C.V.	DISTRITO FEDERAL

Todos estos clientes se dedican únicamente a la producción de aceites comestibles y el principal problema que presentan es el alto contenido de benceno en el hexano, ya que esto les impide exportar sus productos debido a que la FDA pide un contenido máximo de benceno de 10 ppm, además de los constantes cambios en el precio.

Existe otra lista de clientes perdidos los cuales se dedican únicamente a la distribución del hexano para usos varios:

- ALCOHOLES Y SOLVENTES
- AMONAL QUIMICA MEXICANA
- CELCO
- DISTRIBUIDORA QUIM-MEX
- GRUPO PETROPOL
- INDUSTRIAS MONFEL
- INDUSTRIAS QUIMER
- PETROVAL
- QUIMISOL
- TECNOLOGIA QUIMICA ESPECIAL

Estos clientes además de tener problemas con el contenido de benceno, ya que los grandes productores de aceites comestibles no consumen el hexano que ellos venden, también son afectados por la variación en los precios del hexano, ya que las pequeñas empresas productoras de aceite, si bien no exportan sus productos ven disminuidas sus ganancias ya que la tendencia en los precios del hexano casi siempre es al alza, considerando que los precios cambian cada mes. De tal manera no pueden mantener un precio fijo hacia sus clientes.

El precio del hexano se calcula de la siguiente manera:

$$PL = PR (VAR)$$

Donde:

PR = Precio de referencia del hexano en el US GULF COAST publicado en PLATTS SOLVENT WIRE.

(VAR) = Porcentaje de variación comercial equivalente a +/- 5%.

Ante estas dos situaciones se tomaron las siguientes decisiones:

Estudiar a fondo el cambio en la formula para el calculo del precio del hexano para regular la variación de los precios y de esta manera no afectar al cliente. Esta parte solo le corresponde a la gerencia de PGPB.

Para el caso de los productores de aceite comestible se analizaron los tres procesos más importantes por los cuales se puede disminuir el contenido de benceno en el hexano, dichos procesos son:

- Destilación
- Hidrogenación catalítica
- Adsorción

Se tomo la decisión de llevar a cabo una serie de pruebas, las cuales fueron realizadas por *IDQ INDEQUIM Investigación y desarrollo Químico, S.A. de C.V.*

Tomando como base las 3000 ppm a eliminar de benceno en el hexano, los resultados que se obtuvieron fueron los siguientes:

## DESTILACIÓN

- Se llevaron a cabo varias destilaciones de hexano en el laboratorio, sin embargo los resultados no fueron satisfactorios, ya que el hexano obtenido tenía una concentración de 110 ppm de benceno, esto fue comprobado por medio de un análisis cromatográfico.

Cabe señalar que la diferencia entre los puntos de ebullición del hexano y el benceno (68.73°C y 80.1°C respectivamente) no ayuda a llevar a cabo una buena separación, esto es debido a que el vapor que sale es más rico en hexano y más pobre en benceno que el líquido del que procede, pero no es hexano puro. Por esta razón se tuvieron que llevar a cabo varias destilaciones del mismo producto.

También se hicieron pruebas con una columna empacada con trozos de tubería de vidrio, los resultados obtenidos no cambiaron mucho ya que el contenido de benceno solo se redujo a 98 ppm.

## HIDROGENACIÓN CATALÍTICA

La reacción sobre la cual se trabajó fue la siguiente:



- Las pruebas fueron realizadas con el siguiente equipo: reactor de lecho fijo, de diámetro interno igual a 0.90 cm, de acero inoxidable. Los catalizadores suministrados fueron uno de W-Ni-Pd / (TiO<sub>2</sub> – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) y otro de W-Ni / (TiO<sub>2</sub> – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ambos de forma cilíndrica. El W se encuentra como óxido, ocupando 15 – 20% en peso del catalizador, el Ni de 4 a 8% y el Pd un 0.5%. la fase activa de estos catalizadores está formada por sulfuros mixtos (NiMoS, CoMoS,

NiWS) o metales en estado reducido. Para tener efectos de dispersión axial despreciables se utilizó una relación de longitud de lecho a diámetro de partícula  $L / D_p > 350$  y para minimizar los efectos de acanalamiento se utilizó una relación de diámetro de reactor a diámetro de partícula  $D / D_p > 10$ .

La evaluación de los catalizadores utilizados en estas experiencias se realizó operando a presiones entre 400 y 700 psi y temperaturas entre 320 y 350°C. Para ambos catalizadores se observó que el aumento de presión y/o temperatura promovía satisfactoriamente la conversión de reactantes en productos, pudiendo estimar que a presiones mayores de 700 psi dejaba de ser significativo el aumento de conversión, no pudiéndose decir lo mismo con respecto a la temperatura, ya que no se pudo predecir el comportamiento del sistema a temperaturas superiores a 350°C.

La conversión máxima alcanzada a lo largo de estas pruebas fue del 85% y corresponde a las condiciones de reacción más severas (350°C y 700 psi) usando el catalizador de W-Ni-Pd / ( $Al_2O_3 - TiO_2$ ), mientras que la conversión a estas condiciones con el otro catalizador fue del 70%. El único producto de la reacción fue ciclohexano. El análisis de los productos se hizo por cromatografía en fase gaseosa.

## **ADSORCIÓN**

- La separación se llevo a cabo a través de una adsorción selectiva, utilizando un polímero orgánico, esto debido a que lo que se quería eliminar era el benceno. El sistema de estudio fue líquido / sólido. Las condiciones de operación fueron temperatura ambiente y presión atmosférica.

Se llevaron a cabo varias corridas, en las cuales no cambiaron mucho los resultados, ya que la cantidad de benceno en el hexano fue reducida hasta 8 ppm.

Se utilizaron varios polímeros para esta prueba y en la mayoría de los casos el resultado fue el mismo, la cantidad de benceno siempre estuvo en un rango de entre 8 – 15 ppm.

Los resultados fueron comprobados a través de la cromatografía de gases.

Después de observar estos resultados y aplicando cada uno de los factores para la selección de un proceso de separación se puede determinar lo siguiente:

1. Los tres procesos tienen la posibilidad de llevar a cabo la separación del benceno contenido en el hexano.
2. Dada la naturaleza de la mezcla (propiedades físicas y químicas) su separación es factible por cualquiera de los métodos propuestos.
3. Debido al volumen que se pretende manejar y a los costos de equipo los procesos que más convienen son la adsorción selectiva y la destilación.
4. Dada la calidad de producto que deseamos el único proceso que cumple con los requisitos establecidos por la FDA es la separación por adsorción.

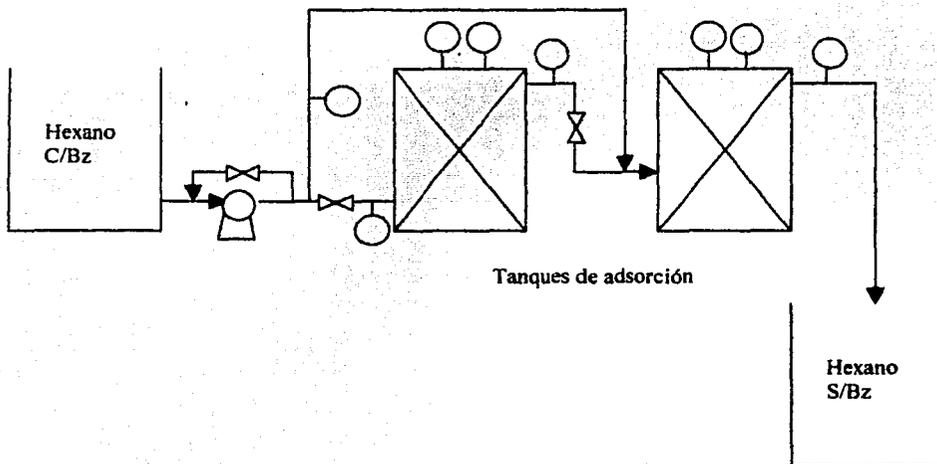
Cabe señalar que los resultados que se presentan son los estrictamente proporcionados por la Gerencia de Comercialización de Petroquímicos Básicos, debido a la política de la empresa y a que esto es un proyecto que está en desarrollo.

## 5.2 PROPUESTA

Después de el análisis hecho anteriormente quedaria lo siguiente:

CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN	2500 TON / MES
BENCENO A SEPARAR	3000 PPM
MATERIA PRIMA	SUFICIENTE (ORIGEN, PAJARITOS, VER.)
CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LOS EQUIPOS	TEMPERATURA Y PRESIONES ATMOSFERICAS
PRODUCTO A OBTENER	HEXANO CON UN CONTENIDO DE BENCENO MENOR DE 10 PPM

El siguiente diagrama nos muestra el proceso propuesto:



# CONCLUSIONES

- Dadas las condiciones del mercado y legislativas la purificación de hexano a nivel nacional es atractiva y posible, utilizando producto de Pemex, con lo que al realizar la industria de México este proceso adicional, Pemex incrementaría sus ventas y los industriales del ramo harían más rentables sus operaciones, pudiendo exportar los aceites comestibles que producen.
- Es importante mencionar que al promover una mayor articulación entre los sectores involucrados, la industria nacional contará con mayores ventajas competitivas además de minimizar el deterioro ecológico.
- El volumen probable de ventas es importante (más de 2500 ton / mes), sin tomar en cuenta que con estas condiciones (menos de 10 ppm de benceno) el hexano se podría exportar a otros países, lo que actualmente no se hace.
- Tomando en cuenta el volumen de ventas nacional probable y considerando que se concretara la exportación del hexano, el tiempo de recuperación de la inversión se estima de dos años aproximadamente.
- Ya que el mercado de semillas oleaginosas a tenido un repunte en los últimos años y a que el hexano es parte fundamental en el proceso de extracción de los aceites comestibles, la exportación de este producto se ve muy atractiva.
- De acuerdo a información obtenida por la Gerencia de Comercialización de Petroquímicos Básicos se tiene un buen precio del hexano para competir a nivel mundial, tomando en cuenta que el precio no debe aumentar demasiado después de haber disminuido el contenido de benceno y que se debe buscar la manera de estabilizar los precios.
- Dado que el hexano es considerado un Petroquímico Básico, al tener un contenido mínimo de benceno quedaría cancelada la opción de importar el

producto y al mismo tiempo se estaría atendiendo la demanda de los clientes no atendidos por Pemex.

- Al lograr obtener el hexano con una cantidad mínima de benceno y recuperar el mercado perdido se generarían más recursos para el estado, ya que ésta es la visión estratégica de PEMEX.
- El cambio en la fórmula para el cálculo del precio del hexano se sigue analizando ya que existe la posibilidad de manejar dos precios, el del hexano grado alimenticio (únicamente extracción y producción de aceites comestibles) y el del hexano grado industrial (producción de pinturas, medio de reacción para la polimerización, adhesivos, industria farmacéutica).
- Ante la negativa de los clientes de no seguir consumiendo hexano con un alto contenido de benceno, de no realizar los ajustes necesarios se corre el riesgo de perder por completo el mercado de clientes productores de aceites comestibles ya que la tendencia actual es la de exportar sus productos para competir a nivel mundial y así incrementar sus ganancias y evitar ser absorbidos por los grandes productores mundiales.

# **ANEXO I**

CUESTIONARIO PARA CLIENTES QUE CONSUMEN HEXANO DE PEMEX GAS Y PETROQUIMICA BASICA

¿Recibe oportunamente la confirmación de los pedidos mensuales?

- Sí  
 No

¿Con cuánto tiempo de anticipación requiere la confirmación o el programa de entrega del producto?

- 5 días  
 7 días  
 10 días

¿Recibe oportunamente la confirmación de las adiciones de producto?

- Sí  
 No

¿Qué propone para mejorar el servicio?

---

---

¿Recibe oportunamente la confirmación de las reprogramaciones de producto?

- Sí  
 No

¿Por lo general recibe el producto de acuerdo a lo programado?

- Sí  
 No

¿Cuál es la problemática que se presenta en caso de tener desviaciones en la entrega / recepción del producto?

- Falta de confirmación  
 El centro embarcador desconoce el programa  
 La atención en oficinas es tardía  
 Falta de producto

[  
Otra \_\_\_\_\_ ]

¿Cómo califica la elaboración de los ajustes a su facturación (notas de crédito y débito) en cuanto a oportunidad, atención y comunicación?

- Buena  
 Regular  
 Mala

ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA

¿Cuáles son sus sugerencias para brindarle un mejor servicio?

---

---

---

¿Cómo considera la calidad del hexano vendido por PEMEX?

- Buena  
 Regular  
 Mala

¿Qué requisitos no reúne el producto?

---

---

---

¿Ha importado hexano alguna vez?

- Sí  
 No

¿Cuál es la razón principal?

- Calidad  
 Precio  
 Rendimiento del producto

Respecto al precio, ¿el producto importado es más barato?

- Sí  
 No

¿Tiene referencia de precio de algún proveedor?

Nombre del proveedor \_\_\_\_\_  
Precio \_\_\_\_\_ \$ / TON

Respecto a la calidad del producto, comparando el importado con el nacional,  
¿Cuáles son las diferencias más importantes?

---

---

---

Respecto al uso, ¿existe diferencia en cuanto a rendimiento entre el nacional y el importado?

- Sí  
 No

¿Cuál es el porcentaje de diferencia?

\_\_\_\_\_ %

¿Cuál es el costo del flete del producto importado?

Origen \_\_\_\_\_

Destino \_\_\_\_\_

\$ / TON \_\_\_\_\_

¿Qué plazo de crédito ofrece la competencia (producto importado)

\_\_\_\_\_

¿Qué intereses (demora de pago) son los que ofrece la competencia?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## **ANEXO II**

## **CONTROL DE CALIDAD**

Todas las industrias dependen en mayor o menor grado de los productos de petróleo en forma directa o indirecta; estas industrias obtienen su energía a partir de los combustibles de petróleo. En todas ellas, la maquinaria de producción, el equipo auxiliar y los vehículos de reparto, requieren lubricación con productos a base de petróleo. Muchas de estas industrias utilizan en su producción, productos derivados del petróleo como materias primas o aditivos. Es necesario mantener la calidad de estos productos, para que llenen todos los requisitos. En este anexo se explicaran varios de los ensayos y pruebas que son utilizados para valorar la calidad y el rendimiento de los solventes. La siguiente tabla nos muestra el tipo de prueba que se aplica a los solventes y a otro tipo de productos.

	GASOLINA	FUEL OIL	SOLVENTES	ACEITE INDUSTRIAL	ACEITE DE PROCESO
Atrapamiento de aire				X	
Punto de anilina	X	X	X	X	X
Contenido de ceniza				X	X
Temperatura de auto-ignición	X	X	X	X	X
Número de bromo	X		X		X
Número de cetano		X			
Punto de turbidez		X			
Olor		X	X	X	X
Análisis de la comp.	X	X	X		X
Corrosión en lámina de cobre	X	X	X	X	
Resistencia dieléctrica			X		X
Dilución de los aceites para cárter					
Destilación	X	X	X		X
Punto de goteo					
Velocidad de evaporación			X		
Punto de chispa		X	X		X
Características de espumación				X	
Pruebas con cuatro bolas				X	
Densidad	X	X	X	X	X
Calor de combustión	X	X			
Tensión interfacial			X	X	X
Valor Kauri-Butanol			X		
Número de neutralización				X	X
Número de octano	X				
Estabilidad a la oxidación	X			X	X
Penetración					
Insolubles en Pentano y Benceno				X	X
Punto de fluidez		X		X	X
Factor de potencia		X		X	X
Índice de refracción			X		X
Prueba de oxidación				X	X
Cacart. anticorrosivas				X	
Ceniza sulfatada					
Azufre	X	X	X	X	X
Pruebas Timken EP				X	
Absorbencia UV	X		X		X
Presión de vapor	X	X	X		
Viscosidad		X	X	X	X
Índice de viscosidad				X	X
Arrastre de agua					

TABLA 2.1. APLICACION DE LA PRUEBA POR EL TIPO DE PRODUCTO

## PUNTO DE ANILINA

ASTM D 611 Y ASTM D 1012

Muchos de los productos de petróleo, especialmente los más livianos, son solventes efectivos para una gran variedad de otros productos. El grado de poder de dilución de un producto de petróleo varía con el tipo de hidrocarburo que contenga. Frecuentemente es deseable conocer el valor de este poder, como por ejemplo en un proceso donde la buena dilución es importante, o en otros casos donde esta característica es indeseable.

La determinación del punto de anilina es una prueba simple, fácil de llevar a cabo en equipo adecuado. *Esta prueba mide la potencia de dilución de un producto de petróleo por medio de anilina, y sustancias aromáticas. La anilina es cuando menos soluble parcialmente en casi todos los hidrocarburos, aumenta su grado de solubilidad a medida que aumenta la temperatura de la mezcla.* Cuando se llega a la temperatura de solubilidad total, la mezcla se convierte en una solución clara; por el contrario, a bajas temperaturas la mezcla se enturbia. La prueba utiliza esta característica determinando la temperatura a la cual la mezcla se enturbia. Usualmente, los hidrocarburos parafínicos presentan la menor dilución por anilina, teniendo por consiguiente los puntos de anilina más altos, por el contrario los hidrocarburos aromáticos, presentan el fenómeno opuesto mientras que los materiales nafténicos se encuentran en puntos intermedios entre los aromáticos y los parafínicos.

**Importancia de los resultados:** El punto de anilina es muy importante en los solventes, ya que es una indicación del poder de dilución. En general mientras más bajo sea el punto de anilina, más alto es este poder de dilución. Otras pruebas de laboratorio miden este poder de un producto, con el tipo específico de sustancia con la cual va a ser usado. Dos pruebas de este tipo, estandarizados y aprobados, son usados para determinar el valor Kauri-butanol y el poder de dilución nitro-celulosa. Sin embargo, estas dos últimas pruebas son mucho más

complicadas que la determinación del punto de anilina, además que los laboratorios pequeños no cuentan con el equipo apropiado para llevarla a cabo. La selección de una u otra prueba, se basa en la aplicación específica del producto.

## **TEMPERATURA DE AUTO IGNICIÓN**

### *ASTM D 2155*

Todos los productos de petróleo son inflamables y, bajo ciertas circunstancias, sus vapores se encienden con una fuerza explosiva. Sin embargo, para que esto suceda debe existir una relación límite entre los vapores del producto y del aire.

Cuando un producto de petróleo es expuesto al aire, cierta cantidad se evapora, estableciéndose cierta relación vapor-aire. A medida que aumenta la temperatura del líquido aumenta la evaporación y por consiguiente la relación vapor-aire. Si al acercar una fuente de encendido (bujía o llama), la relación vapor-aire mantiene la combustión se dice que esta temperatura es el punto de chispa del producto.

Si por el contrario ninguna fuente de encendido es colocada, y la temperatura se sigue elevando hasta que el producto se encienda espontáneamente, el valor de esta temperatura es el que determina el punto de auto-ignición del fluido.

La temperatura de auto-ignición (auto-encendido) de un producto líquido de petróleo a la presión atmosférica es determinada por la norma ASTM, método D2155 (la cual reemplaza la antigua ASTM D286, descontinuada en 1966).

**Importancia de los resultados:** La primera indicación lograda con esta prueba, es la determinación del peligro potencial de fuego y la fuerza explosiva del producto de petróleo, relacionado con un uso específico. La temperatura de auto-ignición es utilizada también como una medida para determinar el uso de uno u otro producto, a altas temperaturas. Es indispensable utilizar un producto con una temperatura de auto-ignición más alta que la de aplicación, para asegurar que no vaya a ocurrir una ignición espontánea. Por lo tanto, el valor de esta prueba es un determinante importante en la utilización de un producto.

La temperatura de auto-ignición, bajo ciertas condiciones dadas, es la temperatura más baja, a la cual la combustión de un producto de petróleo puede ocurrir en forma espontánea, sin ninguna fuente externa de ignición. No debe ser confundida con el punto de chispa, que es la temperatura más baja a la cual el producto puede mantener la combustión en presencia de una fuente externa de ignición.

Las características y condiciones del producto son un factor importante de la temperatura de ignición. Por ejemplo, esta temperatura es una función de la presión, la relación combustible, aire, el tiempo transcurrido para que ocurra la ignición y recipiente donde se encuentra el producto. Por consecuencia, la temperatura de auto-ignición puede variar considerablemente con las condiciones a las cuales se lleve a cabo la prueba.

Para un producto dado, la temperatura de auto-ignición siempre es mayor que el punto de chispa, a presión atmosférica. En efecto, como una regla general se dice que para una familia de compuestos similares, la cadena molecular más larga, tiene el punto de chispa más alto y la temperatura de auto-ignición más baja.

Sin embargo, como la temperatura del sistema se incrementa, la temperatura de auto-ignición desciende hasta cierto valor, que muchas veces es menor que el punto de chispa del producto a la presión atmosférica. Se dice como conclusión que a medida que aumenta la presión del sistema, aumenta la temperatura de auto-ignición. Las temperaturas de auto-ignición de muchos productos destilados, con rangos de ebullición similares, pueden estar relacionados con el tipo de hidrocarburo. Por ejemplo, los aromáticos tienen una mayor temperatura que los parafínicos con rangos de ebullición similares.

## **NÚMERO DE BROMO**

*ASTM D1159, D1491 Y D2710*

Muchas veces los procesos requieren aplicaciones de productos de petróleo con un bajo contenido de olefinas no saturadas. Las olefinas son olorosas, reactivas y

manchantes, por lo que en muchas aplicaciones, su presencia es indeseable. Esta prueba determina el grado en que estas olefinas se encuentran presentes.

*El número e índice de Bromo indican los constituyentes de bromo reactivo en la muestra sin identificar plenamente el tipo de los mismos. Los valores reportados incluyen el consumo de bromo mediante la adición a olefinas, así como también el bromo que reacciona con los componentes orgánicos que contienen azufre, oxígeno o nitrógeno. Además, mientras ciertos compuestos aromáticos no tienen incidencia en el número de bromo, algunos aromáticos polinucleares (como los derivados de antraceno) reaccionan en forma positiva. Sin embargo, las condiciones de la prueba y las fracciones y el tipo de petróleo analizados, son los que a la postre inciden en la medida de las olefinas no saturadas.*

*El número de bromo está definido como la cantidad de gramos de bromo que reaccionarán con 100 g de la muestra bajo las condiciones de la prueba. El índice de bromo son los miligramos de bromo que reaccionarán con la misma cantidad de muestra. Aunque estos procedimientos no son iguales en muchos aspectos (preparación del reactivo, etc.) el índice de bromo puede ser asumido como mil veces el número de bromo. Sin embargo, el índice de bromo es más confiable para determinar la cantidad de olefinas, cuando éstas están presentes en pequeñas cantidades.*

**Importancia de los resultados:** La mayor aplicación en productos de petróleo es en el uso de solventes, en los cuales el índice o número de bromo dan una indicación de la existencia o no de compuestos indeseables (especialmente olefinas). Lo más importante son las características de olor y estabilidad del solvente indicados por un bajo resultado.

## **ESCALA DE COMPARACIÓN DE COLORES**

Varias escalas son utilizadas para determinar los colores de un producto de petróleo. La conversión y comparación aproximada de las más comunes escalas de color, pueden ir acompañadas con el uso de la respectiva carta.

## **Color y sus pruebas**

Color es un término que muchas veces es mal comprendido, debido a un complejo de valores humanos y propiedades físicas. Dos personas no tienen exactamente el mismo concepto de color. El tinte, la intensidad, el tono, la pureza, la opacidad, el brillo y el grado, están todos relacionados directa o indirectamente con el color. Es en extremo difícil resumir matemáticamente todos estos factores en uno solo. La mayoría de los esfuerzos para definir un color, en sí, es uno o dos factores y cualquier discusión de esta tabla, debe estar estrictamente limitada a las dimensiones que esta tabla pueda representar.

La mayoría de las pruebas de color, basadas en estas escalas, se llevan a cabo por procedimiento similar. Un rayo de luz es transmitido simultáneamente a través de un vidrio coloreado estándar (u otro material estándar), a través de la profundidad o espesura de la muestra. Los dos rayos de luz son comparados en forma visual, ajustándolos hasta que los campos de luz sean iguales. En algunas pruebas, el volumen de la muestra es variado, hasta que los dos campos coinciden (Prueba Saybolt); en otros casos, el rayo de luz transmitido es cuadrado mediante el uso de una serie de vidrio (Prueba ASTM). Cuando el operador logra que coincidan los campos de luz, un valor de color es anotado. Este valor corresponde a un punto en la escala de color de la prueba que se está utilizando. Por definición, estas pruebas sólo reportan dos calidades de la luz transmitida: intensidad y apariencia (comparada con el estándar).

Estas dos dimensiones no son suficientes para determinar el color de la muestra, debiendo sólo ser utilizado para indicar la uniformidad y la ausencia de contaminación.

A continuación en la tabla aparece una lista de las escalas de color más comunes y las áreas en las cuales pueden ser usados:



- Colorímetro Saybolt – Aceites blancos, naftas, parafinas, combustibles, kerosene y solventes.
- Sistema platino - cobalto (APHA)- solventes para laca, diluyentes y productos petroquímicos.
- Colorímetro Tag-Tobinson- solventes parafinas, aceites industriales y de proceso.
- Escala ASTM (D1500)- la escala más común en la industria del petróleo, usada especialmente para aceites industriales y de proceso.
- Colorímetro Unión (NPA)- ha sido reemplazado por el ASTM D1500; se encuentran en publicaciones muy antiguas, etc.
- Estándar o Norma Gardner- solventes, barnices, petroquímicos muy utilizados en la industria de la pintura.
- Comparador de color Hellige- usado también en la industria de la pintura, solventes, lacas, etc.
- Tintómetro Lovibond- petrolatos USP (United States Pharmaceutic), sulfonatos, productos químicos.
- Dicromato de Potasio- hidrocarburos puros, aromáticos.

### **Como usar la carta**

Para comparar o convertir un valor dado en la carta, coloque una regla horizontal sobre el cuadro, de modo que intercepte la escala dada en un ángulo recto con el punto deseado. Las letras colocadas en los extremos del cuadro, ayudan a colocar la regla. Con la regla en su posición, los valores aproximados comparativos pueden leerse en la otra escala, en la intersección con la regla.

Los números en las escalas de color no son literalmente proporcionales a los grados de oscuridad o brillo del producto. Esto es, un color Saybolt de 8, no es dos veces más oscuro que uno de número 16, ni uno 4 en la escala ASTM es el doble de oscuro que uno de 2.

## **ANÁLISIS DE LA COMPOSICIÓN DE HIDROCARBUROS DE PETRÓLEO**

El análisis de petróleo envuelve la identificación o caracterización de los componentes del producto. Esto se realiza por medio de una gran variedad de técnicos. Si la cantidad requerida de datos es grande, el análisis puede ser extremo complejo para lograrlos. Por ejemplo, el proyecto No. 6 de la American Petroleum Institute, de una sola muestra, está siendo desarrollado por más de 25 años.

El tipo de análisis usado en el control de calidad y las inspecciones rutinarias de laboratorios, es mucho más rápido. Estos métodos rápidos pueden ser llevados a cabo por varias vías, usando diferentes procedimientos de pruebas y de instrumentos. La selección del método depende de la naturaleza de sustancias a analizar y del tipo de información requerida.

### **Tipos de Análisis**

Los métodos cortos de análisis pueden ser generalmente clasificados como del tipo carbón o del tipo molecular. El método del tipo carbón es llevado a cabo cuando la distribución de las moléculas de diferentes tamaños – indicado por el número de átomos de carbón en el núcleo – es requerido. Por ejemplo, moléculas de  $C_1$ ,  $C_2$ , etc., pueden ser determinadas en la sustancia por este método. El análisis de tipo molecular se lleva a cabo cuando el objeto es el determinar los componentes de acuerdo al arreglo químico de sus moléculas. Existen varias vías para determinar la estructura química de los hidrocarburos, pero la mayoría de las aproximaciones son llevadas a cabo por este método. Puede ser utilizado por ejemplo, para determinar los porcentajes relativos de los componentes nafténicos, parafínicos y aromáticos de un compuesto. Otros análisis sólo pueden determinar las proporciones de compuestos saturados y no saturados.

## ***Métodos Generales e Instrumentación***

El análisis de los hidrocarburos de petróleo se hace mediante el uso de una variedad de instrumentos y técnicas. Las técnicas más comunes se llaman: la cromatografía, la espectrometría de masa, análisis de absorción en ultravioleta e infrarrojo y análisis por precipitación de acuerdo con el principio físico sobre el cual se basan.

La *Cromatografía* es una técnica analítica que comprende el flujo de un gas o un líquido, junto con el material analizado, sobre un medio absorbente especial poroso e insoluble. A medida que la fase móvil pasa sobre la fase estacionaria, los diferentes componentes hidrocarbonados son absorbidos preferentemente por el medio. En ciertos tipos de cromatografía los componentes son removidos por un proceso semejante y abandonan la columna cromatográfica en porciones individuales. Estas porciones pueden ser detectadas y anotadas, mediante una interpretación apropiada, pueden constituir una manera muy segura de determinar la composición. Existe cierto número de métodos cromatográficos denominados de acuerdo con la técnica de análisis. La *Cromatografía de gas* se refiere al método general, que utiliza un gas como fase móvil o flujo; la *Cromatografía gas - líquido* es un término más específico que describe las técnicas que usan gas como fase móvil y líquido como fase estacionaria, etc.

El análisis en *silica - gel* es un método de cromatografía líquida que también comprende la separación física de los compuestos de una sustancia. La técnica está basada en el hecho de que los compuestos polares son absorbidos más frecuentemente que los no polares, por la *silica - gel*. Una muestra del material en prueba se pasa a través de una columna empacada con *silica - gel*. La muestra colocada en la parte superior de la columna, es arrastrada a través de ella por alcohol, el cual es absorbido más fuertemente que ningún otro hidrocarburo por la *silica - gel*, forzando de esta manera la salida de hidrocarburo por la parte inferior de la columna, inicialmente los saturados, luego los no saturados y por último los compuestos aromáticos. Pequeñas muestras de los compuestos que salen, son recolectadas periódicamente y medido su correspondiente índice de refracción. A

partir de esta información, los porcentajes relativos pueden ser determinados. (Análisis por greda/sílica - gel es un método diseñado para aceites de proceso del caucho, que utiliza tanto greda activada como sílica - gel para determinar la proporción de los compuestos de asfalteno, aromáticos, saturados y polares.

El análisis por *Indicador Fluorescente (FIA)* es un refinamiento del análisis con sílica - gel, en la cual una mezcla de tintes fluorescentes es colocada en una pequeña cama de la columna de sílica - gel. Los tintes separan selectivamente los componentes aromáticos, olefinicos y saturados de la muestra. Bajo luz ultravioleta los límites, entre las diferentes fases de la columna son visibles; la cantidad presente de cada tipo de hidrocarburo, puede ser determinada por el largo de cada una de las fracciones de tintes o colores.

La *Espectrometría de Masa* identifica los componentes de una sustancia aprovechando la diferencia del proceso, comportamiento mostrado por las moléculas de masa diferente, cuando son expuestos a campos eléctricos y magnéticos. Una corriente de partículas del material es ionizada en primera instancia, dirigida después de una trayectoria curva por la acción de las fuerzas magnéticas y eléctricas. Los iones más pesados, que tienen gran inercia, tienden a salir por la parte externa de la curva. La corriente de partículas es luego colocada dentro del espectrómetro de masa, las cuales son distribuidas a lo largo de la curva, de acuerdo con sus masas. Esta curva diferencial es luego pasada a través de un detector, el cual recoge los datos y los registra.

El Espectrómetro de Masa es más útil, como era de esperarse, por lo menos para análisis de hidrocarburos , en la determinación de la distribución y el número de carbonos. Sin embargo, debido al gran número de materiales que muestran distintos espectros patrones, el Espectrómetro de Masa es también utilizado en el análisis tipo molecular.

El *Análisis de Absorción Ultravioleta (UV)* es un método en el cual el patrón de la luz ultravioleta absorbida por la muestra, puede ser considerado como una característica única de cada componente. El análisis se lleva a cabo con un espectrofotómetro, el cual mide las intensidades luminosas relativas en las diferentes partes del espectro, comparando el patrón de absorción ultravioleta de

la muestra, con patrones de materiales conocidos, por este medio se pueden determinar los componentes de la muestra. El análisis por infrarrojo es similar, pero utiliza un rango de radiación diferente.

El *Análisis por Precipitación* se usa principalmente en la caracterización de los aceites para proceso del caucho. Los componentes se identifican en base a su reacción con concentraciones diferentes de ácido sulfúrico. Así los hidrocarburos son separados en asfaltenos, compuestos polares, compuestos no saturados y compuestos saturados.

## **CORROSIÓN EN LÁMINA DE COBRE**

### *ASTM D130*

Muchos equipos industriales tienen partes de cobre o de aleaciones de cobre. Es esencial que cualquier aceite que esté en contacto con estas partes, sea no corrosivo para ellas.

A pesar de que la tecnología moderna ha hecho grandes esfuerzos para eliminar los materiales dañinos, de los aceites de petróleo, la corrosión es aún una posibilidad a considerar. Ciertos derivados de azufre en el aceite, son fuente importante de corrosión. En los primeros días de la industria petrolera, la presencia de azufre activo se le atribuía a una refinación inadecuada. Hoy sin embargo, métodos prácticos han sido desarrollados para solucionar este problema, y los aceites minerales puros de alta calidad están libres de materiales corrosivos.

De otra manera, ciertos aditivos del aceite, tales como los emulsificantes y los de extrema presión (EP), contienen compuestos de azufre. En los aceites de alta calidad, incluyendo aquellos con moderadas propiedades de EP, contienen compuestos de tipo dañino para el cobre. Para las aplicaciones con condiciones más severas de EP, aditivos activos químicamente, son necesarios para prevenir la escoriación y la cisura. Aunque los aceites que mantienen estos aditivos indispensables para aplicaciones donde existan partes de acero, no deben ser

utilizados en partes de cobre o aleaciones de cobre. Los ejes traseros hipoidales de los automotores, son un ejemplo de esta aplicación.

Para evaluar las propiedades de corrosión del cobre de los aceites –también para los aditivos de EP del tipo azufre activo- la prueba de corrosión en lámina de cobre es muy utilizada. Esta prueba –descrita como ASTM D130- es aplicada también para la *determinación de las propiedades de corrosión de cobre de ciertos combustibles y solventes*. Sin embargo, no debe ser confundida con la prueba de prevención de la corrosión de los aceites. Esta prueba de lámina de cobre evalúa la tendencia del aceite de corroer el cobre y no la habilidad del aceite de prevenir la corrosión.

**TABLA 3.3 Clasificación ASTM de Lámina de Cobre**

Clasificación	Designación	Descripción
1	Mancha o tinte claro	1a Naranja claro, como el color de la misma lámina pulida
		1b Naranja oscuro
		2a Rojo claro
		2b Lila
2	Mancha o tinte moderado	2c Multicoloreada con azul lila y/o
		2d Plata mezclado con rojo claro
		2e Color oro o bronce
		3a Marca nublada sobre lámina pulida
3	Mancha o tinte obscuro	3b Multicoloreada con rojo y verde, pero sin gris
		4a Negro transparente, gris obscuro con trazos fuertes de verde
4	Corrosión	4b Color grafito o negro brillante
		4c Vidriado o negro azabache

**Importancia de los resultados:** En la lubricación de los bujes de bronce, cojinetes que contienen bronce y ruedas de bronce para unidades de reducción de engranajes helicoidales, los aceites corrosivos deben ser eliminados. Debido al uso de separadores de bronce, los fabricantes de cojinetes anti-fricción insisten en la utilización de aceites no corrosivos para sus unidades. Los aceites hidráulicos,

los aceites aislantes y los aceites para instrumentos de aviación, también deben ser no corrosivos. En el maquinado de metales no ferrosos y en las operaciones de corte, los aceites utilizados deben tener esta misma propiedad, la prueba de corrosión en lámina de cobre, ayuda a determinar la aplicación de un aceite en una situación particular. Ayuda además, a identificar componentes químicamente activos, en los aceites para aplicaciones de EP.

Esta prueba también se utiliza en las refinerías para controlar los productos terminados. También se utiliza en el análisis de solventes y combustibles para asegurar que estos productos no ataquen las partes de cobre con las que están en contacto. Existe además otro método para determinar la corrosividad; es la prueba de corrosión en lámina de plata, utilizada para los lubricantes diesel. Esta prueba es aplicada a los aceites de cárter para motores con cojinetes de plata.

En el proceso de esta prueba, existen tres variables que pueden afectar los resultados:

- 1.- Tiempo de exposición de cobre en la muestra.
- 2.- Temperatura de la muestra.
- 3.- Interpretación de la apariencia de la muestra expuesta.

Es normal esperar que estas tres variables sean aplicadas de tal forma, que reflejen las condiciones a las cuales el producto está sujeto.

## **DESTILACIÓN**

Un hidrocarburo químicamente puro, igual que otro compuesto líquido puro, ebulle a cierta temperatura cuando la presión atmosférica se mantiene constante. Sin embargo, casi todos los combustibles y solventes comerciales, contienen muchos hidrocarburos individuales diferentes, cada uno con diferente punto de ebullición. Si el producto de petróleo es calentado gradualmente, altas porciones de componentes con bajo punto de ebullición, son las que primero se convierten en

vapor y sucesivamente las de alto punto de ebullición, a medida que aumenta la temperatura.

*De este modo, para cualquier producto de petróleo, la ebullición se lleva a cabo en un rango de temperaturas, en lugar de una sola temperatura constante. Este rango es de suma importancia en las aplicaciones de combustibles y solventes, la cual es la medida de las pruebas de destilación.*

Varias pruebas ASTM son usadas para medir los rangos de destilación de los productos de petróleo. Estas pruebas son básicamente similares, diferenciándose sólo en los detalles de procedimiento, las siguientes pruebas son ampliamente usadas:

ASTM D86-67: Destilación de productos de petróleo.

ASTM D216-54: Destilación de gasolina natural.

ASTM 850-70: Destilación de hidrocarburos aromáticos industriales.

ASTM D1078-70: Rango de destilación de solventes y diluyentes de lacas.

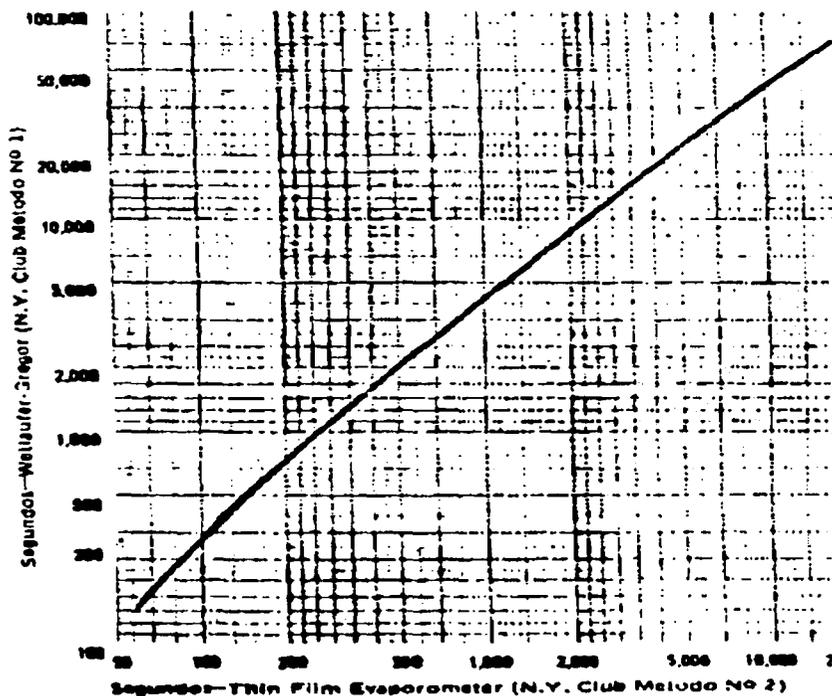
**Importancia de los resultados:** Tanto para los combustibles como para los solventes, las características de destilación son importantes.

*Solventes:* Muchas de las características de rendimiento de los solventes, están relacionados con los rangos de destilación. El punto de ebullición inicial es una medida indirecta del punto de chispa y, por consiguiente, de la seguridad de los peligros de fuego. El rango entre el IBP y el punto del 50% es un índice del comportamiento inicial, cuando es usado como solvente en caucho o pintura. El punto de 50% muestra, a groso modo, es una relación con la rapidez de evaporación; el valor de temperatura bajo en el punto de 50% para ciertos hidrocarburos, aumenta la velocidad de evaporación. Si el punto de 95% y el punto seco están muy cercanos, existe una muy pequeña o nula diferencia sobre la fracción de secado lento. También, un pequeño rango de destilación de un solvente, en el espacio entre el punto inicial de ebullición y el 5% o entre el 95% y

el punto seco final, da una indicación del rendimiento del solvente. Entre menor sea esa diferencia, más puro es el solvente.

## VELOCIDAD DE EVAPORACIÓN

Los solventes de petróleo son materiales volátiles. En la mayoría de sus aplicaciones y formulaciones, en las que están relacionadas, la solvencia es sólo necesaria como una base temporal. Después de que un solvente es utilizado, se espera desaparezca por evaporación. El tiempo requerido para esta evaporación es un factor importante en muchas de sus aplicaciones. *Además de esto, la velocidad de evaporación no es nunca constante para una mezcla de compuestos, ya que varía a lo largo de todo el proceso de evaporación, siendo su comportamiento muy importante para sus aplicaciones.*



GRAFICA 3.4 GRAFICA DE VELOCIDAD DE EVAPORACION

**Importancia de los resultados:** Aunque los datos de destilación indican la volatilidad relativa de los solventes de un mismo tipo molecular, la velocidad de evaporación indica la forma como se volatiliza un solvente, principalmente los materiales con amplia gama de corte.

Muchos solventes, siendo mezclas de varios compuestos, tienen normas de evaporación que son más lentas al final que al principio. Este efecto es usualmente aumentado en las llamadas mezclas inertes. Esta puede ser una ventaja en ciertas aplicaciones, aunque la prolongación de la evaporación final es usualmente indeseada.

En la formulación de pinturas, una rápida velocidad de evaporación disminuye el tiempo de secado, eliminando en forma más rápida los problemas que se presentan, como el de que no permanezcan marcas del pincel. Además reduce el tiempo de reparación –el periodo de tiempo en el cual una capa de pintura puede ser aplicada sobre otra capa -. Una evaporación lenta prolonga el tiempo de pintada.

Muchas formulaciones, como tintas para impresión, cemento de caucho, pulidores, limpiadores, dependen en gran parte de la velocidad específica de evaporación del solvente; generalmente se requiere que la evaporación sea rápida y completa del solvente. En contraste, ciertos solventes usados en la elaboración de productos de caucho, requieren una evaporación final muy lenta para prolongar el tiempo de pegado.

Los solventes usados en los procesos de extracción son generalmente recuperados, para ser usados nuevamente. Una evaporación total y uniforme ayuda a esta recuperación.

## **PUNTOS DE CHISPA DE ENCENDIDO - RECIPIENTE ABIERTO**

### *ASTM D92*

Tanto el punto de chispa como el de encendido de un líquido de petróleo son básicamente medidas de inflamabilidad. *El punto de chispa es la temperatura*

*mínima a la cual el líquido está suficientemente evaporado para crear una mezcla de aire y combustible, para arder si es encendida. Como su nombre lo indica, la combustión a esta temperatura sólo se mantiene por un instante. Por el contrario, el punto de encendido significa algo más; este es la temperatura a la cual el vapor es generado a una velocidad lo suficientemente constante, para mantener la combustión. En ambos casos, la combustión es solamente posible cuando la velocidad de vapor de combustible y de aire, se encuentra dentro de ciertos límites. Una mezcla que sea muy pobre o muy rica, no quemará.*

La práctica de las pruebas del punto de chispa y de encendido, fue originalmente aplicada al Kerosene para indicar su potencialidad de riesgo de fuego. Desde entonces, el objetivo ha sido ampliado para incluir aceites lubricantes y otros productos de petróleo. Aunque ha sido una costumbre indicar el punto de chispa (y algunas veces el de encendido) como datos de los lubricantes, estas propiedades no son en realidad lo que parecen ser. Solamente en condiciones especiales, el aceite lubricante tiene riesgo de encenderse. Sin embargo, las características de evaporación por estar en estrecha relación, los puntos de chispa y de encendido dan, a groso modo, una indicación de la volatilidad y de otras propiedades.

El punto de encendido de un aceite lubricante convencional está estrechamente ligado con el punto de chispa, que es usualmente eliminado de la hoja de datos. Para un producto comercial ordinario, el punto de encendido se encuentra a 50 °F por encima del punto de chispa. Sin embargo, estos dos valores no deben confundirse con la temperatura de auto-ignición, la cual es completamente diferente. Una combustión espontánea incluye, no solamente la volatilidad sino también la temperatura necesaria para precipitar una reacción química (combustión), sin una fuente externa de ignición. Aunque un producto de petróleo más volátil tiene puntos de chispa y de encendido más bajos que uno con menor volatilidad, la temperatura de auto-ignición ASTM es generalmente más alta.

**Importancia de los resultados:** Para apreciar mejor la importancia de los resultados con las pruebas del punto de chispa y el punto de encendido, se debe

tener en cuenta lo que mide la prueba. Es necesario comprender como se crea una mezcla de aire y combustible.

Para todos los propósitos prácticos, un líquido de petróleo no debe quemar, antes de ser vaporizado. La mezcla de vapores con el oxígeno del aire, y cuando se logra una concentración suficiente de vapores, una mezcla puede ser inflamada, por una bujía o una llama. La mezcla sólo puede ser encendida cuando la concentración del vapor de combustible no es menor de 1 % ni mayor de 6 % en volumen, con relación al aire. Una mezcla que tenga más del 6 % de vapor de combustible, se convierte en un peligro de explosión, a menos que sea ventilada para que admita una mayor cantidad de aire.

La importancia del punto de chispa y del punto de encendido, se contradice con la volatilidad de los productos de petróleo. Aun aquellos aceites lubricantes con viscosidades comparables, tienen variaciones apreciables en volatilidad y por consiguiente en los puntos de chispa y de encendido. Sin embargo, en general las temperaturas de almacenamiento y operación de los aceites lubricantes son lo suficientemente bajas, para prevenir cualquier riesgo de fuego. La excepción son los aceites para temple, que están en contacto con metales a altas temperaturas. Aceites para transferencia de calor, usados para calentamiento o enfriamiento, también alcanzan temperaturas cercanas al punto de chispa o al de encendido. De manera similar, un aceite para trenes de laminación, donde son aplicados en rodillos tan calientes como la lámina de metal, el peligro de fuego debe ser considerado. En muchos de estos casos, sin embargo, la temperatura de auto-ignición es de gran importancia. A la temperatura de auto-ignición, tal como determinada en pruebas, el fuego no es solamente una posibilidad sino que de hecho ocurre espontáneamente sin ignición de fuente exterior alguna.

Sin embargo, una vez que los puntos de chispa y encendido están relacionados con la volatilidad, estos ofrecen una indicación a groso modo de la tendencia del aceite lubricante a vaporizarse en servicio. Es obvio que a menores puntos de chispa y encendido, aumentan las posibilidades de pérdidas por evaporación.

## **PUNTO DE CHISPA – RECIPIENTE CERRADO**

### *ASTM D56 Y D93*

Todos los productos de petróleo queman y bajo ciertas circunstancias sus vapores se encienden con una violenta explosión. Sin embargo, para que esto ocurra, la cantidad de vapor en el aire debe estar comprendida entre ciertos límites.

Cuando un producto líquido de petróleo es expuesto al aire, algunos de sus vapores, causan una cierta concentración de vapor y aire. Cuando la temperatura del líquido es elevada, más y más vapores son producidos, aumentando la relación vapor-aire. Eventualmente, se llega a una temperatura a la cual la mezcla vapor-aire puede mantener momentáneamente una combustión, si una fuente de ignición está presente.

Esta temperatura es el punto de chispa del producto. Para los combustibles y los solventes, el punto de chispa es usualmente determinado por el método de "recipiente cerrado", en el cual es calentado en una cápsula cubierta. Esto hace que las condiciones de prueba, sean lo más parecidas posibles a los del producto en servicio. Productos que tengan puntos de chispa menores a la temperatura ambiente, deben ser enfriados antes de empezar la prueba.

Dos métodos parecidos de cápsula cerrada, son ampliamente usados. Difieren principalmente en detalles de los aparatos y en el campo específico de aplicación. Sin embargo, estas pruebas son básicamente similares y pueden ser agrupadas para efectos de la descripción. Estas dos pruebas son:

ASTM D56: Punto de chispa por medio de un probador TAG.

ASTM D93: Punto de chispa por medio de un probador PENSKY-MARTENS.

La prueba "Tag" es usada para la mayoría de los solventes y combustibles, incluyendo solventes para lacas y diluyentes con puntos de chispa bajos. El segundo (Pensky-Martens) es utilizado ordinariamente para "fuel-oils", pero

también es usado para asfaltos líquidos y otros materiales viscosos y suspensiones de sólidos.

**Importancia de los resultados:** Para un combustible o solvente de petróleo, volátil, el punto de chispa es importante como una indicación de los peligros de fuego y explosión, relacionados con su utilización.

Si fuera posible, para cualquier aplicación, seleccionar un producto cuyo punto de chispa está por encima de cualquier temperatura ambiente esperada, ninguna medida de seguridad sería necesaria. Sin embargo, la gasolina y otros solventes livianos, tiene puntos de chispa más bajos que la temperatura ambiente. Cuando esto sucede, una controlada ventilación y otras medidas son necesarias para prevenir la posibilidad de fuego o explosión.

*Se debe recordar que el punto de chispa es la menor temperatura a la cual un producto puede mantener una combustión momentánea, "si una fuente de calor está presente". De esta forma, no debe ser confundida con la temperatura de auto-ignición, la cual es la temperatura donde ocurre una combustión espontánea, "sin ninguna fuente externa de ignición".* Los productos que tienen un punto de chispa bajo, por lo general, tienen temperaturas de auto-ignición altas y viceversa.

## **DENSIDAD**

### *ASTM D287*

Prácticamente todos los productos líquidos de petróleo son manejados y vendidos en base volumétrica –por galón, barril, carro - tanque, etc. Asimismo, en muchos casos, es importante conocer el peso del producto. La Densidad es una expresión que relaciona el peso y el volumen de un producto.

Cualquier producto se expande cuando es calentado, reduciéndose por consiguiente el peso por unidad de volumen. Debido a esto, la densidad es usualmente reportada a una temperatura normal, aunque otras temperaturas

hayan sido usadas en la prueba. Existen tablas que convierten la densidad de una temperatura a otra.

La densidad puede ser expresada en dos escalas. La "gravedad específica" es definida como la relación del peso de un volumen dado a 60 °F, con el peso de un volumen igual de agua a la misma temperatura.

Sin embargo, en la industria del petróleo, la densidad API (American Petroleum Institute) es más usada. Esta es un escala arbitraria, calibrada en grados y que relaciona la gravedad específica, por medio de la siguiente forma:

$$DensidadAPI(Grados) = \frac{141.5}{GravedadEspecific(60 / 60F)} - 131.5$$

Como resultado de esta relación, entre mayor sea la gravedad específica de un producto, menor es su densidad API. Es claro que el agua, con una gravedad específica de 1.000 tiene una densidad API de 10.0 °.

La densidad es determinada por un hidrómetro que flota en el líquido, el cual indica el punto al cual el nivel del líquido intercepta la escala del hidrógeno. Algunas correcciones deben ser hechas de acuerdo con la temperatura de la muestra en el momento de la prueba.

**Importancia de los resultados:** La densidad tiene una pequeña importancia sobre el punto de vista de la calidad, aunque es utilizada en el control de las operaciones de refinería. Su importancia principal son los cálculos de peso en volumen y viceversa. Estos datos son muy útiles en los cálculos de carga de aviones y buques, eficiencia de la combustión, etc.

*En cierta forma, la densidad sirve para identificar el tipo de producto de petróleo.* Los productos parafínicos tienen gravedades específicas bajas (altas densidades API) que los productos nafténicos o aromáticos en el mismo rango de ebullición. Los valores de la densidad también pueden ser utilizados por los productores o consumidores para controlar los sucesivos baches de sus productos, como una continuidad en la composición del producto.

La densidad es importante en las aplicaciones en los procesos que dependen de las diferencias de densidad de los materiales usados. Por ejemplo, los productos de petróleo que tienen altas gravedades específicas mayores de 1.000 son necesarios en el campo de la preservación de maderas, para permitir la separación de los materiales relacionados. El rango de gravedad específica de los productos de petróleo oscila entre 0.700 a 1.050.

*La densidad es utilizada en estimados empíricos del valor térmico, usualmente en combinación con el punto de anilina. Con la excepción de las aplicaciones anteriores la densidad no debe usarse como un índice de calidad.*

## **RADIO DE DILUCIÓN EN SOLUCIONES DE NITROCELULOSA**

### *ASTM D1720*

Las mezclas de solventes para lacas de nitrocelulosa contienen tres clases de líquidos volátiles: solventes activos, solventes latentes (alcoholes) y diluentes. Los solventes activos y los latentes pueden ser agrupados bajo el término de "solventes oxigenados". Los diluentes son solventes de hidrocarburo que no tienen solvencia para la nitrocelulosa y se emplean principalmente para reducir costos sin sacrificar la calidad. La porción de solventes de hidrocarburo puede ser usada sin precipitación de las diferentes nitrocelulosas con el tipo de hidrocarburo. El test de radio de dilución determina esta porción para solventes de hidrocarburo en particular. El radio de dilución es

$$\frac{\text{volumen.de.solvente.de.hidrocarburo}}{\text{volumen.de.acetato.de.butilo}}$$

*en el punto final.*

Este radio es proporcional al contenido de aromáticos de el hidrocarburo.

El test de radio de dilución también se aplica útilmente a los solventes oxigenados. Los solventes oxigenados difieren en la cantidad de diluyente que estos pueden tolerar. Estos afectan el costo de la formulación con un solvente oxigenado en particular. Para este propósito, un diluyente simple, tolueno, es empleado, y la cantidad es variada con cada solvente oxigenado utilizado en la prueba.

## **VISCOSIDAD DE SOLUCIONES DE NITROCELULOSA**

### ***ASTM D1343***

Una de las ventajas de la nitrocelulosa en revestimientos es que produce soluciones de grados más durables que tienen alta viscosidad y, por lo tanto, bajo contenido de sólidos en una viscosidad recomendable para su aplicación. La viscosidad de una solución es afectada por el tipo de solvente o mezclas de solventes. El test ASTM para viscosidad de derivados de celulosa por el método ball – drop (D1343) es designado para determinar grados de nitrocelulosa. El test es igualmente conveniente para comparar los efectos de la viscosidad variando el tipo de solvente y conservando el tipo y la cantidad de nitrocelulosa constante.

## **VALOR KAURI - BUTANOL**

### ***ASTM D1133***

El poder solvente de un hidrocarburo es medido por varias pruebas, cada una de las cuales es aplicable, principalmente, a ciertos usos de productos. Una de éstas es el valor Kauri-Butanol, el cual es utilizado, primordialmente, en los barnices, lacas y esmaltes.

Una resina Kauri era antiguamente usada, en forma amplia, como una resina para formular barnices y esmaltes de alta calidad; fue escogida como resina patrón para determinar el poder solvente de los hidrocarburos, para estas aplicaciones.

*La resina Kauri no es muy soluble en muchos de los hidrocarburos, pero si lo es en alcohol n-butílico (butanol). La prueba Kauri-Butanol mide la cantidad de diluyente solvente que puede ser añadido a la solución patrón de resina Kauri en butanol, antes de que el poder solvente del butanol sea reducido al punto donde ocurre la precipitación de la resina Kauri. Esta cantidad es relacionada con el poder solvente de hidrocarburo. Entre mayor sea la cantidad de solvente agregada, mayor es el poder solvente, en esta prueba.*

Con el objeto de obtener una mayor uniformidad, sólo dos abastecedores son seleccionados para ser responsables de la mezcla de la solución patrón Kauri-Butanol, la cual es usada por muchos laboratorios. Esta solución es posteriormente normalizada, por el método utilizado para calcular los resultados de la prueba.

**Importancia de los resultados:** Para la formulación de barnices, lacas y esmaltes, un valor alto de Kauri-Butanol de hidrocarburo, permite la utilización de grandes cantidades de materiales sólidos en el producto terminado. Esto permite también que se logre un espesor determinado de pintura, con menos capas. Debido a la gran cantidad de resinas ahora disponibles, los valores de Kauri-Butanol sólo pueden ser aceptados, a groso modo, como una indicación de la solvencia para un ingrediente específico. Para una evaluación positiva, las mezclas del solvente particular y de los sólidos en cuestión, deben ser hechas por medio de pruebas.

## **INDICE DE REFRACCIÓN**

### **ASTM D1218**

La composición uniforme de los productos de petróleo altamente refinados es importante, especialmente en la aplicación en procesos tales como los que incluyen solventes o aceites para procesar el caucho. El índice de refracción es

una prueba usada comúnmente, ya sea sola o en combinación con otras pruebas físicas, como un indicativo de la uniformidad.

*El índice de refracción es la relación de la velocidad de una emisión de luz de longitud de onda conocida en el aire a su velocidad en la sustancia que se investiga. Cuando la luz pasa a través de diferentes líquidos de petróleo, por ejemplo, la velocidad de la luz será diferente en cada líquido. Aunque se dispone de varias fuentes de luz de longitud de onda conocida, la más usada en la línea D amarilla de sodio (5893 Å). Dado que el valor número del índice de refracción de un líquido varía con la longitud de onda y con la temperatura, se debe anotar el índice de refracción obtenido, y la longitud de onda y temperatura con las que se llevó a cabo la prueba.*

Esta prueba se hace para hidrocarburos líquidos transparentes o ligeramente coloreados con índices de refracción entre 1.33 y 1.50. Por medio de este método se puede medir el índice de refracción con una reproductibilidad de  $\pm 0.00006$ . Esta precisión no se logra con líquidos que tengan un color ASTM más oscuro que 4 (ASTM D1500) no con líquidos tan volátiles a la temperatura de prueba que la lectura no se pueda obtener antes de que comience la evaporación.

**Importancia de los resultados:** El índice de refracción se mide fácilmente y se puede repetir y reproducir muy bien. El índice de refracción es sensible a la composición. Esto hace que el método de ensayo por gotas sea excelente para la uniformidad de composición de los solventes, aceites para procesar caucho y otros productos de petróleo. Una regla general para productos de petróleo de peso molecular equivalente es: las parafinas tienen índice de refracción relativamente bajo (aproximadamente 1.37), los aromáticos tienen índice de refracción relativamente alto (aproximadamente 1.50) y los naftenos tienen índices intermedios (aproximadamente 1.44).

El índice de refracción puede ser usado en combinación con otras pruebas sencillas, para estimar la distribución de los tipos de átomos de carbono en un aceite de proceso. Han sido preparadas tablas empíricas del índice de refracción que relacionan viscosidad, gravedad específica e índice de refracción y por medio

de estas tablas es posible determinar el porcentaje de átomos de carbono nafténicos, aromáticos y parafínicos presentes. Este es un conjunto de pruebas baratas y rápidas en contraste con el análisis arcilla/silíce gelatinosa que es más elaborado y se usa para determinar la composición del hidrocarburo directamente.

## **CONTENIDO DE AZUFRE**

El azufre está presente en todos los crudos en formas y concentraciones variables. Aunque el azufre en compuestos aditivos especiales puede ser altamente benéfico –algunas veces indispensable- para algunos aceites lubricantes, la presencia de azufre en los crudos es generalmente perjudicial. Cuando se destila un crudo, los derivados de azufre tienden a concentrarse en las fracciones más pesadas dejando las fracciones más livianas con un contenido relativamente bajo de azufre. El límite de tolerancia de las concentraciones de azufre depende del tipo de compuesto y del uso final de la fracción, lo que da mayor importancia a las pruebas de contenido de azufre. Debido a que las formas de azufre y los productos de petróleo y sus aplicaciones son variables, existen varias clases de pruebas.

A continuación se menciona una de las principales pruebas de contenido de azufre.

ASTM D1266, Azufre en Productos de Petróleo por el Método de la Lámpara es un método utilizado en la investigación de gasolina, kerosene, nafta, hidrocarburos aromáticos industriales, etc., productos que se pueden quemar directamente con mecha. Una segunda sección del método tiene que ver con la investigación de gasóleos, destilados pesados, ácidos nafténicos, fenoles alkil, productos con alto contenido de azufre y otros materiales que pueden ser quemados sólo cuando han sido adecuadamente disueltos.

**Importancia de los resultados:** El contenido de azufre, determinado por la prueba, está estrictamente limitado por especificaciones en la mayoría de los productos de petróleo. Para cumplir con las especificaciones y eliminar el exceso

de azufre se requieren generalmente procesos complejos de refinación, aunque se pueden alcanzar los mismos resultados efectuando una mezcla con una base de bajo contenido de azufre.

Aunque las fracciones más ligeras de petróleo son por naturaleza de bajo contenido de azufre, las especificaciones son más estrictas. El contenido de azufre en los combustibles, gasolinas y combustibles diesel ligeros es particularmente crítico debido al efecto del azufre en la corrosión y formación de depósitos en la máquina. El azufre también conduce a la formación de gomas en la gasolina en tanques y carburadores.

Algunos motores diesel de alta velocidad son diseñados para tolerar contenidos de azufre en el combustible hasta del 1.0 % mientras que los motores más pesados de baja velocidad utilizados en aplicaciones industriales y marinas pueden tolerar contenidos de azufre de hasta el 3.0 %.

Los solventes de petróleo, especialmente los tipos más altamente refinados, requieren límites de contenido de azufre sumamente bajos. Estos productos no solamente deben ser no corrosivos y no reactivos sino que además deben estar libres de los olores que puede causar el azufre. Los solventes utilizados para lavado en seco, fórmulas cosméticas, aerosoles de uso doméstico y fabricación de pinturas deben ser del tipo "inodoro" y en el caso especial de las pinturas no deben reaccionar con otros componentes ni producir decoloración. El bajo contenido de azufre es un requisito primordial de los disolventes inertes y de los vehículos usados en la producción de organosoles y plastisoles.

## **PRESION DE VAPOR**

### *ASTM D323*

Todos los líquidos tienden a vaporizarse, esto es, volverse gases. Esta tendencia es una manifestación de la presión de vapor de los materiales, la cual es la presión ejercida por las moléculas en la superficie en su intento de escapar a la

atmósfera. Para un líquido dado, esta presión es función únicamente de la temperatura. La presión de vapor del agua, a su temperatura de ebullición (212 °F) es de 14.7, que es la presión atmosférica. Entre mayor sea la volatilidad de un líquido, mayor es su presión de vapor a una temperatura específica y por consiguiente más rápida será su vaporización. A una misma presión atmosférica y a igual temperatura del líquido, la gasolina se evaporará mucho más rápidamente que el aceite diesel.

Por lo tanto, para una temperatura dada, la presión de vapor de un líquido es una medida de su volatilidad. Esto solamente es aplicable a la presión de vapor ejercida por un *líquido*. Las presiones del vapor disociado por el líquido son funciones del *volumen*, como también de la temperatura y los cuales cubren un amplio rango de valores, relacionados en menor grado con la volatilidad. El término *presión de vapor*, significa para los ingenieros *presión de vapor de un líquido*.

Un producto de petróleo, al contrario del agua, comprende fracciones muy diferentes, cada una con una composición y una presión de vapor propias. Por lo tanto la presión de vapor del producto es un valor combinado que refleja las diferentes presiones de vapor de las varias fracciones, de acuerdo a su participación molecular. De esta forma es posible que dos compuestos totalmente diferentes, tengan la misma presión de vapor a una misma temperatura, obtenidas por la acumulación de las presiones de vapor de las fracciones de cada compuesto. Un destilado de rango estrecho, puede tener la misma presión de vapor que la de una mezcla, donde el efecto de las fracciones más pesadas es compensado por las de las fracciones livianas.

Cuando un producto de petróleo se evapora, las primeras fracciones en liberarse son las más volátiles, dejando las partes menos volátiles y de menor presión de vapor para después. Esto trae como consecuencia la elevación de la curva de destilación, donde el punto de ebullición está relacionado con la volatilidad. La destilación, la cuál es otra medida de la volatilidad, ya fue descrita anteriormente.

La presión de vapor es usualmente medida por el método ASTM D323 (Presión de Vapor Reid), la cual evalúa la presión de la gasolina y otros productos de petróleo volátiles a una temperatura de 100 °F.

### **Importancia de los resultados**

La presión de vapor Reid tiene una importancia esencial para la gasolina, la cual contiene una parte de fracciones altamente volátiles, tales como butano, pentano, etc. Estas fracciones ejercen una mayor influencia en los resultados de esta prueba. Una alta presión de vapor está relacionada con la presencia de estos compuestos de alta volatilidad, los cuales son necesarios para un buen encendido en frío. Sin la presencia de estas fracciones, sería muy difícil o casi imposible vaporizar la gasolina en la suficiente concentración para producir una mezcla combustible de aire y gasolina, a bajas temperaturas.

En cuanto mayor sea la presión de vapor de las gasolinas para automotores, y de aviación, solventes y otros productos volátiles de petróleo, mayor es la posibilidad de pérdidas por evaporación y mayor el peligro de fuego. Los recipientes cerrados que contengan productos altamente volátiles, deben ser construidos con materiales resistentes a las altas presiones internas. En las refinerías, principalmente, la prueba de presión de vapor sirve para establecer y mantener la calidad de la gasolina.

### **PUNTO FLASH**

#### *ASTM D56*

El punto flash de un líquido es la temperatura más baja a la cual la aplicación de una chispa causa en lo alto del vapor un encendido. El punto flash es indicativo del potencial de peligro de fuego. El método más común de determinación del punto flash es con el método de prueba ASTM para punto flash por el probador tag cerrado (D56) que confina el vapor hasta el instante en que la flama es aplicada.

De cualquier modo, las regulaciones de la Interstate Commerce Commission sobre el embarque de solventes flamables se basa en el método ASTM (D1310) del aparato Tag de copa abierta para punto flash de líquidos que dan valores bajos. En mezclas de solventes y en revestimientos el punto flash es sustancialmente la porción flash más baja que se presenta en una cantidad apreciable.

## **VISCOSIDAD**

*ASTM D88, D445, Redwood y Engler*

La viscosidad es probablemente la propiedad física más importante de un aceite lubricante de petróleo. Esta es la medida de las características de flujo del aceite, entre más espeso sea, mayor es su viscosidad y mayor su resistencia a fluir. El mecanismo para establecer la adecuada película de lubricante, depende en gran parte de la viscosidad.

Para evaluar la viscosidad de un aceite, numéricamente, cualquiera de las muchas pruebas estándar puede ser utilizada. Aunque estas pruebas difieren unas de otras en mayor o en menor grado, utilizan básicamente el mismo principio. Todas ellas miden el tiempo requerido por una cantidad específica de aceite, a una temperatura dada, para fluir por acción de la gravedad a través de un orificio o estrangulamiento de dimensiones especificadas. Entre más espeso sea el aceite, mayor será el tiempo requerido para que pase.

Es importante tener un control estricto de la temperatura. La viscosidad de cualquier aceite de petróleo aumenta cuando el aceite es enfriado y disminuye cuando éste es calentado. Por esta misma razón, el valor de la viscosidad de un aceite debe ir siempre acompañado por el de la temperatura a la cual fue determinado. El valor de la viscosidad, por si solo, no significa nada.

Los dos métodos más comunes para probar la viscosidad de un aceite lubricante son el Saybolt y el cinématico. De estos dos el que se encuentra más frecuentemente asociado con los aceites es el Saybolt (ASTM D88). Sin embargo, el método cinématico (ASTM D445) se considera más preciso. Existen también los

métodos Redwood y Engler, usados ampliamente en Europa, pero de muy poca utilización en los Estados Unidos. Cada una de las pruebas requiere de su propio aparato (viscosímetro).

**Importancia de los resultados:** Aunque la importancia de los resultados de las pruebas de viscosidad, ha sido considerada desde el punto de vista de los aceites nuevos, estas pruebas desempeñan un papel en la evaluación de los aceites usados.

Un incremento en la viscosidad durante el servicio puede indicar una oxidación del aceite. La oxidación de moléculas de aceite incrementa su tamaño y por consiguiente el espesamiento del aceite. Cuando la oxidación ha avanzado hasta el punto de causar un aumento sensible en la viscosidad, es una señal de una apreciable deterioración del aceite.

# BIBLIOGRAFIA

TESIS DE  
FALLA DE OBRERA

- **ASTM Manual Series; MNL 1 Sixth Edition, ASTM Publication Code Number (PCN)**
- **Base de datos de la Asociación Nacional de Industrias de Aceite y Mantecas Comestibles A. C., 1996-1999.**
- **Clausen A. Chris, "Fundamentos de Química Industrial". Ed. Limusa, México, 1985.**
- **Desrosier W. Norman, "Elementos de Tecnología de Alimentos". Compañía Editorial Continental S.A. de C.V. México, 1986. Pág. 195 – 214.**
- **Duffus Carol, "Las semillas y sus usos". AGT Editor S.A. México, 1985. Pág. 173 – 178.**
- **King C. Judson, "Procesos de separación". Ed. Repla, México D.F., 1988.**
- **Kirk E.R., "Encyclopedia of Chemical Technology". Tercera Edición, Ed. Arnold. New York, 1986.**
- **Madrid Vicente, "Manual de Industrias Alimentarias". Ediciones Madrid, 3° Ed. 1989. Pág. 552 – 565**
- **Pemex Gas y Petroquímica Básica, Subdirección de Gas Licuado y Petroquímicos Básicos, Gerencia de Comercialización de Petroquímicos Básicos.**
- **Potter N. Norman, "La ciencia de los alimentos". Ed. HARLA, México, 1983. Pág. 489 – 497.**
- **Reglamento de Seguridad e Higiene de Petróleos Mexicanos, Refinación y Petroquímica.**

#### **DIRECCIONES WEB**

- **[www.bancomext.com](http://www.bancomext.com)**
- **<http://members.tripod.com/RENDILES/SOLVENTES.html>**
- **[www.fao.org/giews/spanish/pa/pa961/pas96112.htm](http://www.fao.org/giews/spanish/pa/pa961/pas96112.htm)**
- **[www.ecp.com/capo/benceno.htm](http://www.ecp.com/capo/benceno.htm)**
- **[www.pemex.com.mx](http://www.pemex.com.mx)**

