



24  
207

**UNIVERSIDAD**  
**NACIONAL**  
**AUTONOMA DE**  
**MEXICO**

**FACULTAD DE QUIMICA**

**T E S I S**  
**M A N C O M U N A D A**

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CREACIÓN**  
**DE UNA EMPRESA PRODUCTORA DE**  
**POLIETILENO ALTA DENSIDAD**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:**  
**INGENIERO QUÍMICO**

**P R E S E N T A N:**  
**COLMENARES MALDONADO SERGIO**  
**MORGADO RODRIGUEZ ESTEBAN JAVIER**

México D.F., 1996

**TESIS CON**  
**FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON**  
**FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

A NUESTROS PADRES Y HERMANAS...

**(Universal Process Equipment)**

**49.- <http://www.hoechst.com>  
(Hoechst, AG.)**

**50.- <http://www.primerate.com>  
(Tasa "Prime-Rate")**

**51.- <http://www.newspage.com>  
(Artículos acerca de diferentes tópicos)**

**CON PROFUNDO AGRADECIMIENTO A:**

**LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**LA FACULTAD DE QUÍMICA...**

**A NUESTROS PROFESORES**

**ING. ARTURO LOPEZ T.**

**ING. CLAUDIO A. AGUILAR M.**

**Y EN ESPECIAL AL**

**ING. CARLOS GALDEANO B.**

**POR SU APOYO Y CONFIANZA...**

**A CLAUDIA J. SMITH E.**


**A NUESTROS AMIGOS**

**Jurado Asignado**

Presidente	Prof. Martínez Montes Jorge Trinidad
Vocal	Prof. Padilla De Alba José Luis
Secretario	Prof. Galdeano Bienzobas Carlos
1er. Suplente	Prof. Pérez Santana Ernesto
2do. Suplente	Prof. Rodríguez Rivera Fernando de Jesús

**Facultad de Química  
UNAM**

Asesor del tema:




I. Q. Carlos Galdeano Bienzobas

Sustentantes:



Colmenares Maldonado Sergio



Morgado Rodríguez Esteban Javier

## INDICE

INTRODUCCIÓN	1
<b>CAPITULO I.</b>	
<b>ANTECEDENTES HISTORICOS Y GENERALIDADES</b>	<b>2</b>
1.1 Antecedentes históricos	3
a) Historia del plástico	3
b) Historia del polietileno	5
1.2 Conceptos de polimerización	6
1.3 Formulación del polietileno	11
1.4 Generalidades	13
<b>CAPITULO II.</b>	
<b>ESTUDIO DE MERCADO PARA EL POLIETILENO</b>	<b>18</b>
2.1 Productos a partir de polietileno	20
2.2 Oferta de polietileno en México	24
2.3 Demanda de polietileno en México	28
a) Ventas Internas	28
b) Exportaciones e importaciones	30
c) Consumo del polietileno en México	33
d) Mercado del PEAD	35
e) Productos sustitutos	43
f) Distribución geográfica de las empresas del plástico	45
g) Especificaciones pedidas por la industria	46
2.4 Precio	52
2.5 Propuesta de la capacidad de la planta	56

<b>CAPITULO III.</b>	
<b>SELECCIÓN TÉCNICA.</b>	<b>58</b>
3.1 Producción de polietileno alta densidad	59
3.2 Descripción de los procesos	61
a) Proceso Phillips	61
b) Proceso BP Chemicals	66
c) Proceso Hoechst AG	72
3.3 Materias primas	76
a) Características de la materia prima	76
b) Disponibilidad	78
c) Presentación de la materia prima	78
d) Seguridad: manejo y almacenamiento	79
3.4 Ventajas y desventajas de los procesos analizados	80
3.5 Análisis de la zona de reacción	82
3.6 Comparación técnica	86

<b>CAPITULO IV.</b>	
<b>PROPUESTA DE UNA EMPRESA PRODUCTORA DE POLIETILENO ALTA DENSIDAD</b>	<b>95</b>
4.1 Empresa productora de PEAD	96
4.2 Requisitos para establecer una empresa de PEAD.	97
4.3 Localización de la planta	98
4.4 Proceso de fabricación del PEAD	104
a) Descripción del proceso	104
b) Diagrama de flujo de proceso	105
c) Lista de equipo	107
d) Materias primas y servicios auxiliares	110
4.5 Evaluación económica	111
a) Resultados de la evaluación económica	123
b) Análisis de sensibilidad	126
4.6 Proveedores de las materias primas	132



<b>ANEXO I</b>	
<b>Una alternativa de producción: Reciclaje de polietileno</b>	<b>133</b>
a) <b>Reciclaje a partir de desperdicios sólidos municipales</b>	<b>137</b>
b) <b>Proceso de reciclaje de PEAD</b>	<b>139</b>
c) <b>Dificultades en el proceso</b>	<b>141</b>
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>143</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>146</b>

## INTRODUCCIÓN

Los plásticos empezaron a tener una importancia considerable a partir de la década de los treinta. Su popularidad y demanda se deben a que han venido a sustituir materiales tales como los metales, vidrio, cerámica, fibras naturales, madera y hasta tejidos orgánicos del cuerpo humano. Los plásticos han penetrado con sobrado éxito tanto técnico como económico en todos los sectores de la industria, ejemplo de esto es la industria de la electrónica, de la aeronáutica y de la construcción.

En México la cadena productora de la industria del plástico tiene un desarrollo importante en la parte terminal, es decir, en la etapa en la que los productos están listos para ser presentados al consumidor.

Los plásticos, en general, son producidos a partir de la polimerización de moléculas de compuestos que parten del petróleo; los productos que se derivan directamente del petróleo, llamados petroquímicos secundarios, únicamente pueden ser producidos por Petróleos Mexicanos (PEMEX), empresa que tiene hasta el momento el monopolio de estos productos.

En el país, la demanda de estos productos petroquímicos es superior a su producción, este faltante es cubierto con la importación de polímeros. Esta solución resulta incongruente con la riqueza natural con la que cuenta México, su sabia utilización nos haría autosuficientes en productos petroquímicos.

Con la venta de las plantas petroquímicas de PEMEX y con la reclasificación de productos petroquímicos, en la que se definen claramente los productos que pueden ser producidos solo por el estado y los que pueden ser producidos por particulares sin requerir de permisos expedidos por el estado (Secretaría de Energía), quien motivará a la iniciativa privada a participar en la

producción de petroquímicos. Esto promoverá un mercado apto a una mayor competencia, lo que representa ventajas en los costos de producción ya que en el país se cuenta con las materias primas para su fabricación.

Tomando en consideración el entorno económico que priva en nuestro país como alternativa al crear nuevas empresas que realicen inversiones fuertes, logrando así el establecimiento de industrias con activos fijos (infraestructura) que produzca un margen razonable a mediano y corto plazo.

Como consecuencia se tienen beneficios de carácter social, como lo son la creación de empleos directos o indirectos. Otro de los beneficios sociales es el desarrollo de ciudades dentro de los diferentes estados de la República, la concentración de la población en las grandes ciudades se verá disminuida y el flujo de habitantes se distribuirá hacia provincia.

# **CAPÍTULO 1**

## **ANTECEDENTES HISTÓRICOS**

# **CAPÍTULO 1**

## **ANTECEDENTES HISTORICOS Y GENERALIDADES**

En este capítulo se hace una revisión de la historia del plástico y del polietileno, se presenta información respecto al descubrimiento y desarrollo de polímeros, haciendo énfasis en el polietileno y sus propiedades además de citarse algunas generalidades.

El polietileno es el termoplástico de mayor uso en el mundo. El incremento de su demanda se debe a la gran disponibilidad del monómero (etileno), que se encuentra en depósitos naturales mezclado con gas y naftas.

Algunas de las causas de la fuerte demanda de polietileno son:

- la facilidad de los procesos de polimerización, para producir este polímero,
- la producción del polímero es de, relativamente, bajo costo
- el polímero es resistente a químicos, flexible y mecánicamente resistente.

Las dos formas del polietileno más comunes son:

- PoliEtileno de Baja Densidad (PEBD)
- PoliEtileno de Alta densidad (PEAD)

La diferencia entre estas dos formas es en la estructura química; el primero (PEBD) posee cadenas de carbonos ramificadas, el segundo en cambio (PEAD) tiene cadenas de carbono lineales.

El polietileno de baja densidad es producido por la polimerización de un radical libre de etileno al estar sometido a altas presiones, mientras que el polietileno de alta densidad es producido a bajas presiones con un óxido metálico como catalizador de tipo Ziegler(3).

## 1.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS

### Historia del Plástico

Los polímeros, base de los plásticos, han estado con nosotros durante mucho tiempo. La naturaleza sintetiza polímeros como la celulosa desde tiempos anteriores a la invención de los productos sintéticos. La celulosa es el principal constituyente de las fibras de madera y de algodón. Algunos otros polímeros naturales son las proteínas, el caucho, el alquitrán, y las resinas(1).

El hombre primitivo usó los polímeros naturales para obtener herramientas y armas, pero no fue sino hasta el siglo XIX que el hombre empezó a modificar los polímeros para crear plásticos que, al principio, se obtenían modificando los materiales poliméricos naturales. El primer plástico comercial fue la nitrocelulosa. En su estado natural la celulosa no se funde y es insoluble. La nitración la hace soluble y susceptible al moldeado con calor(1).

En 1856 Alexander Parkes inventó el primer plástico llamado celuloide, una mezcla de nitrato de celulosa y alcanfor que fue usado inicialmente como sustituto del marfil en piezas pequeñas como teclas de piano, peines y bolas de billar. La alta inflamabilidad del celuloide fue el obstáculo para poder ser usado en la fabricación de productos que eran más pequeños(1).

Otra versión acerca de la fabricación del primer plástico sintético es que, en 1870, John Wallace e I. S. Hyatt introdujeron al mercado un plástico, material transparente, duro y moldeable, que se preparaba con nitrocelulosa plastificada con alcanfor de nombre celuloide. Algunas de las aplicaciones más usuales del celuloide, era la fabricación para artículos tales como cepillos, peines, películas fotográficas, pegamentos, lacas, cristales de seguridad para automóviles, entre otros(1).

Los plásticos totalmente sintéticos se introdujeron en 1908. El doctor Leo Baekeland desarrolló un material fenólico que se vendió con el nombre comercial de bakelita. Su descubrimiento se dió al calentar una mezcla de fenol con formaldehído(1).

La bakelita se convirtió en el plástico ideal para receptores telefónicos, aislantes eléctricos y asas para utensilios de cocina. Los plásticos pasaron a ser materiales de gran importancia aún cuando no se comprendía bien su química. El concepto de polímeros comenzó a ser usado al final de la década de los veinte.

Poco tiempo antes de la segunda guerra mundial un gran número de polímeros sintéticos fueron desarrollados, tal es el caso del nylon y el poliéster. El campo de los plásticos inició su proliferación al conocerse los principios de la química de la polimerización. En seguida se mencionan algunos de los plásticos más importantes junto con las fechas aproximadas de su comercialización(3):

<b>Año de comercialización</b>	<b>Producto</b>
<b>1870</b>	Celuloide (nitrocelulosa)
<b>1908</b>	Bakelita (fenólico)
<b>1919</b>	Acetato de vinilo
<b>1927</b>	Acetato de celulosa
<b>1928</b>	Ureas
<b>1931</b>	Acrílicos
<b>1936</b>	Cloruro de polivinilo (PVC)
<b>1938</b>	Acetato-Butirato de celulosa
<b>1938</b>	Poliamidas (nylon)
<b>1938</b>	Poliestireno
<b>1939</b>	Melaminas
<b>1939</b>	Cloruro de polivinilideno
<b>1942</b>	Polietileno

<b>Año de comercialización</b>	<b>Producto</b>
1942	Poliésteres
1943	Silicones
1943	Teflon
1947	Epoxi
1948	Acilonitrilo-butadieno-estireno (ABS)
1948	Policlorotrifluoroetileno (Kel-f)
1953	Poliuretanos
1957	Polipropileno
1958	Acetales
1959	Policarbonato
1964	Oxido de polifenileno
1964	Poliamida
1965	Polisulfona
1965	Polimetilpenteno (TPX)
1969	Poliéster de tereftalato de polibutileno (PBT)
1973	Polibutileno.

Desde 1950 la lista ha aumentado a una velocidad vertiginosa. Se han producido materiales, cada vez con mejores características de resistencia a la temperatura y dureza.

### **Historia del polietileno**

El polietileno fue producido por primera vez en 1933 por Edward Fawcett y Robert Gibson quienes trabajaban para la empresa "Imperial Chemical Industries, Ltd.". Ellos intentaron provocar la reacción entre el benzaldeido y el etileno a altas presiones; tenían conocimiento de que trazas de oxígeno que están presentes en la mezcla de reacción provocan la polimerización del etileno(4).



El primer catalizador para producir polietileno a nivel industrial fue inventado por el químico alemán Karl Ziegler, usando en el proceso una presión de 30,000 libras por pulgada cuadrada, este procedimiento fué patentado por la compañía I.C.I. en 1935(5). Dicho proceso representó el inicio de una nueva era en la producción de plásticos de bajo costo y, desde entonces muchas otras compañías iniciaron el uso de esta nueva tecnología.

En 1978, primer año que se produjo polietileno de alta densidad en México, este polímero era considerado aún dentro de la petroquímica básica; por esto podía ser producido únicamente en una planta petroquímica de Petróleos Mexicanos (PEMEX)(39). En ese mismo año se produjeron tres mil toneladas, utilizándose el proceso llamado "Asahi" incrementándose la capacidad de producción en casi 20 veces para 1979; llegando hasta una producción de 58 mil toneladas en solo un año de diferencia manteniéndose un aumento gradual de la producción. El incremento en la producción de polietileno de baja densidad en las plantas de PEMEX continuó hasta 1992 cuando se rebasaron las 200 mil toneladas anuales(35), insuficiente aún para satisfacer la demanda de este producto en el mercado nacional.

## **1.2. CONCEPTOS DE POLIMERIZACIÓN**

### **¿Qué es un polímero?**

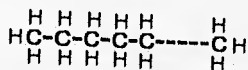
Un polímero es simplemente una molécula muy grande formada a partir de la unión de muchas moléculas más pequeñas llamadas monómeros. Los monómeros pueden presentarse en forma de gases o de líquidos(1).

Las propiedades de una molécula varían al modificar su tamaño, es decir del número de moléculas que la integran. Estas variaciones se muestran a continuación:

### Estado físico de algunos hidrocarburos(3)

No. de átomos de carbón	Nombre	Forma
1	Metano	Gas
2	Etano	Gas
3	Propano	Gas
7	Heptano	Líquido
12-14	Petróleo	Líquido viscoso
26-50	Parafina	Sólido blando
1000	Polietileno de bajo peso molecular	Sólido flexible
3.000-350.000	Polietileno de alto peso molecular	Sólido rígido y resistente

Todos estos compuestos son cadenas rectas de moléculas de Carbono e Hidrógeno:



La diferencia básica entre los hidrocarburos es la longitud de las cadenas. Las características que presentan son proporcionales al tamaño de las moléculas, es decir, entre más largas son las cadenas que forman la molécula será más alto el valor de algunas de sus propiedades, ejemplo de esto es el incremento en las temperaturas de fusión y en la resistencia mecánica(3).

El polietileno es un polímero termoplástico, pues puede fundirse o reblandecerse en su forma polimérica al aplicársele calor(1).

Los polímeros se forman haciendo reaccionar entre sí muchas moléculas pequeñas (monómeros). En algunos casos, las moléculas pueden reaccionar consigo mismas para formar homopolímeros. En otras ocasiones se requieren dos monómeros diferentes para que reaccionen uno con otro. En todos los casos, los monómeros participan en una serie de reacciones para formar una molécula más grande, el polímero(2).



## Tamaño de los polímeros

Para expresar el tamaño molecular, lo más común es usar el peso molecular. De esta manera, si un polímero de etileno contiene 1 000 moléculas de etileno por molécula de polímero, el peso molecular de polímero puede determinarse como sigue:

$$\begin{array}{ccc}
 28 & \times & 1\ 000 = 28\ 000 \\
 \text{PM del} & \text{Unidades} & \text{PM del} \\
 \text{etileno} & \text{repetitivas} & \text{polímero}
 \end{array}$$

El proceso de polimerización es desordenado y, por lo mismo, algunas moléculas crecen a tamaños mucho mayores que otras. Los plásticos son una mezcla de moléculas de tamaños diferentes. El tamaño molecular se expresa como peso molecular promedio.

Los mecanismos de la polimerización pueden clasificarse principalmente en:

### a) Polimerización por adición(2)

La polimerización por adición es la combinación de monómeros por reacción entre enlaces dobles del carbono (C=C). La mayor parte de las reacciones de adición son de tipo etilénico. Por ejemplo, un enlace doble del etileno se rompe al exponerlo a la acción de un iniciador apropiado. El resultado de este rompimiento da lugar a una serie de reacciones que finalmente forman una cadena molecular larga.

### b) Polimerización en suspensión(2)

El monómero se mezcla con el iniciador para la polimerización y se dispersa en agua; el proceso requiere de agitación para mantener en suspensión las gotas pequeñas. Con el fin de controlar la exotermia de la polimerización en

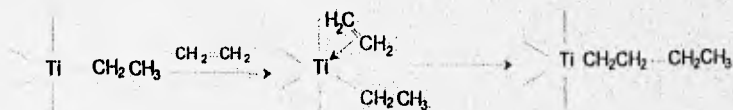
suspensión se usa agua. Al término del proceso el polímero terminado debe separarse de la fase líquida y secarse.

c) Polimerización por coordinación. (2)

Hasta 1953 casi toda la polimerización vinílica de importancia comercial se hacía por radicales libres. Desde entonces, sin embargo, la polimerización iónica ha revolucionado el campo, principalmente en la forma de polimerización por coordinación. Siguiendo los descubrimientos de Karl Ziegler (Instituto Max Planck de las investigaciones del carbón), y de Guio Natta (Instituto Politécnico de Milán), quienes recibieron conjuntamente el premio Nobel por estos trabajos en 1963, se han desarrollado catalizadores que permiten tener un control del proceso de polimerización hasta alcanzar niveles nunca antes logrados.

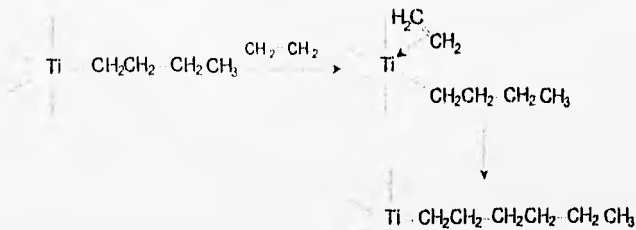
Los catalizadores Ziegler-Natta consisten en una sal de un metal de transición usualmente -el tricloruro de titanio- y un alquil metal; por ejemplo el trietilaluminio. Estos reaccionan para formar el catalizador activo: un complejo del titanio que contiene un grupo etilo.

Al introducir etileno, de acuerdo con el mecanismo generalmente aceptado, se fija al titanio mediante un enlace  $\pi$ ; la nube  $\pi$  del alqueno solapa un orbital vacío del metal. A continuación, teniendo el metal sujeto tanto al alqueno como al etilo, ocurre el primero de muchos pasos similares. Está ahora ligado al metal un grupo n-butilo, en lugar de uno etilo. El sitio de enlace en el etileno se halla nuevamente vacante,



por lo que el catalizador está preparado para actuar otra vez. El otro etileno se une al metal mediante un enlace  $\pi$  y luego se inserta entre el metal y el

alquilo para generar esta vez un grupo n-hexilo. Así, este proceso se repite una y otra vez alargándose el grupo alquilo



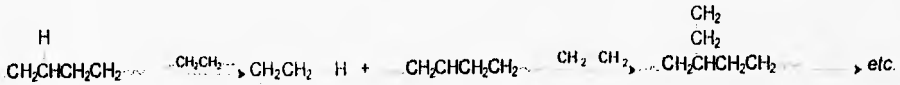
en dos carbonos por ciclo. Finalmente, mediante la inserción del hidrógeno, se separa la cadena larga del metal formándose una molécula de polietileno.

La polimerización con catalizadores Ziegler-Natta tiene dos ventajas importantes sobre la polimerización de radicales libres:

1. origina moléculas polímeras lineales,
2. permite un control estereoquímico.

El polietileno obtenido por el proceso de radicales libres tiene una estructura fuertemente ramificada debido al tipo especial de transferencia de cadenas, en la cual el agente de transferencia es una molécula de polímero. A esta elevada temperatura requerida para esta polimerización en particular, los radicales libres en desarrollo no sólo se añaden al doble enlace de un monómero sino también arrancan un hidrógeno de una cadena ya formada.

Esta separación genera un radical libre hacia el centro de la molécula, de donde ahora puede crecer una ramificación. Estas moléculas polietilénicas altamente ramificadas encajan malamente entre sí y al azar; este compuesto tiene cristalinidad baja, punto de fusión bajo y es mecánicamente débil:



Por el contrario, el polietileno hecho por el proceso por coordinación es virtualmente no ramificado. Estas moléculas lineales pueden unirse muy bien por lo que el polímero tiene un alto grado de cristalinidad, un punto de fusión más alto y una mayor densidad que el polietileno más antiguo (de baja densidad); tiene además, mucho mayor resistencia mecánica.

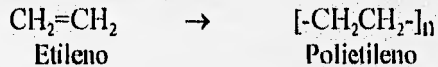
Es durante el proceso de polimerización donde se determina el uso final que tendrá el polietileno, ya sea para utilizarlo en la fabricación de productos por moldeado, soplado, extrusión (por ejemplo, películas para enpaquetamiento) o por inyección (por ejemplo, pequeños artículos contenedores).

### 1.3. FORMULACIÓN DEL POLIETILENO

La principal diferencia entre los dos tipos de polietileno es que el PEBD es más flexible, (ya que su cristalinidad es más baja), que el PEAD. Esta baja cristalinidad se debe a la presencia de ramificaciones cada 2 o 4 carbonos a lo largo de la cadena principal del polímero.

La estructura del PEAD es más compacta debido a la ausencia de ramificaciones en su molécula y estas moléculas llegan a ser menos permeables a gases.

Reacciones de polimerización del etileno(5)



Los actuales métodos comerciales de producción a altas presiones de polietileno, conocido como PEBD , utilizan presiones alrededor de 1500

atmósferas, temperaturas entre 190-210 °C y una concentración de oxígeno de 0.03% a 0.10%. El oxígeno es un radical libre e inicia la polimerización.

Como la reacción es exotérmica la polimerización se debe hacer con precaución y una alta pureza de compuestos para prevenir la formación de polímeros no deseados y violentas explosiones.

Las moléculas de PEBD son ramificadas. La mayoría de las ramás son cortas y son producidas por reacciones de transferencia de cadenas intramoleculares, algunas de estas reacciones toman lugar para encabezar la formación de largas cadenas ramificadas. Una típica molécula de PEBD debe tener cincuenta ramás cortas y una larga.

La presencia de cadenas no permite a las moléculas del polímero estar muy juntas, esto es la razón de su baja densidad. El polietileno no es químicamente reactivo (propiedad típica de los hidrocarburos), es flexible en un amplio rango de temperaturas y es un buen aislante eléctrico(3).

El etileno también puede ser polimerizado por reacciones que implican coordinación catalítica (la catálisis de Ziegler, por ejemplo, usa trietil aluminio y tetracloruro de titanio; 6-7 atm de presión; 60-70°C; y un hidrocarburo como solvente), o por reacciones catalizadas por óxidos metálicos (por ejemplo, óxido de cromo en sílica-alumina; a una presión cerca de 35 atmósferas; a 60-70°C de temperatura y un hidrocarburo como solvente). Las moléculas de polietileno producido por estas reacciones a bajas presiones son lineales y contienen menos de una cadena lateral por cada 200 átomos de carbono en la cadena principal. Las moléculas lineales están muy juntas lo que le da al polímero una alta densidad. El PEAD tiene mayor cristalinidad que el PEBD además de ser más duro y más rígido. El PEAD no es químicamente reactivo(3).

## 1.4. GENERALIDADES<sup>(2,3,5,7,8)</sup>

Formula empírica POLIETILENO	$(C_2H_4)_n$
Formula desarrollada	$[-CH_2CH_2-]_n$
Composición elemental	C 85.71%
	H 14.29%
Peso Molecular	$(28.6)*n$ g/gmol
Presentación para la venta	pellets en sacos.

Propiedad	Polietileno Baja Densidad	Polietileno Alta Densidad	Polietileno Lineal de Baja Densidad	Método	Standard
Densidad kg/m <sup>3</sup>	924.3	961.0	922.0		ASTM D1238
Cristalinidad %	40	67	40	DSC	
Temperatura máxima de fusión °C	110	131	122	DSC	
Temperatura de ablandamiento	93	127	101	5°C/h	ASTM-D1525
Ramificaciones cortas*	23	1.2	26	IR	ASTM-2238
Comonómero		Buteno	Buteno	NMR	
Masa Molecular					
$M_w$	87000**	96000	96000	SEC	
$M_n$	17000**	18000	23000	SEC	
Tensión sometido a una fuerza MPa	12.4	26.5	10.3	50 mm/min	ASTM-D638

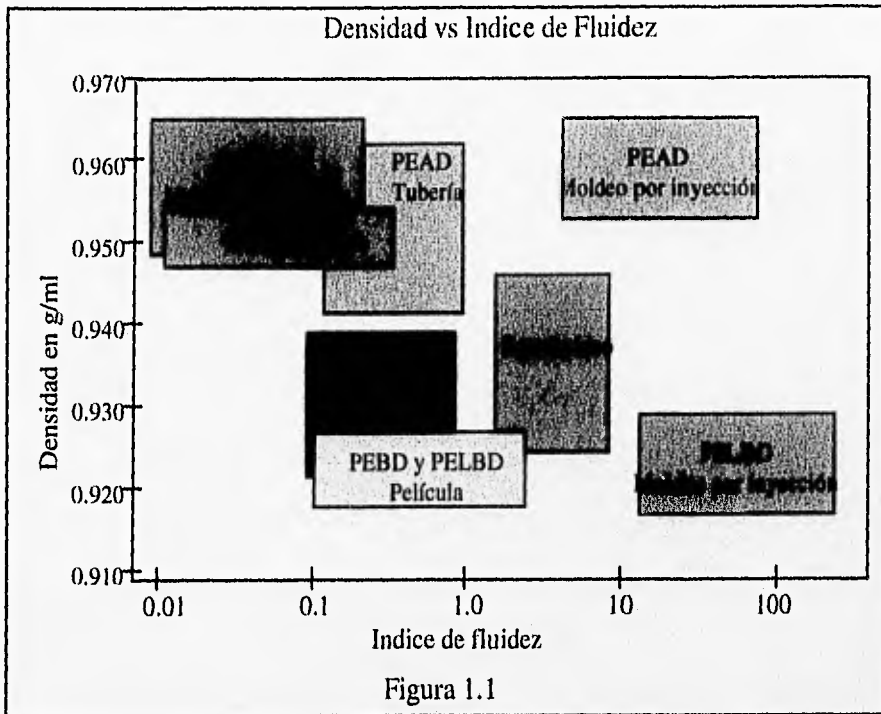


Propiedad	Poliétileno Baja Densidad	Poliétileno Alta Densidad	Poliétileno Lineal de Baja Densidad	Método	Standard
Tensión de ruptura MPa	12	21.1	25.3		
Elongación para ruptura %	653	906	811		
Índice de fluidez g/600s	1.1	1.1	0.85	190°C/2.16k g	
Resistencia a la tracción lb/in <sup>2</sup> kg/cm <sup>2</sup>	1500 105	4200 295.3	1800 127		
Modulo de Elasticidad MPa	240	885	199	flexión	ASTM-D790
Resistencia al impacto ft lb/in <sup>2</sup>	20*	4	20		
Tensión en frío	No se rompe de -70 a 70 °C	No se rompe	No se rompe a - 70°C		
Quebrado en frío	No se rompe de -70 a 70 °C	No se rompe	No se rompe a - 70°C		

\*Número de grupos metilo por cada 1000 átomos de carbono

\*\*No corregidos para efectos de ramificaciones largas

En la figura 1.1 se muestra la definición de la mayor parte de las aplicaciones del polietileno en el mercado por densidad e índice de fluidez.



Los procesos de moldeo de polietileno utilizan diferentes tipos de este polímero, las diferencias entre los polietilenos usados son la densidad y el índice de fluidez(5).

Con base en estas características se puede seleccionar el tipo de polietileno adecuado para ser utilizado como materia prima en los diferentes procesos de moldeo. Por ejemplo, el proceso de moldeo por inyección requiere de un polietileno con un alto índice de fluidez para facilitar la operación, pero además por las características que se le quieran dar al producto final puede seleccionarse polietileno de alta densidad o bien, polietileno lineal de baja densidad (PELBD).

El polietileno tiene la característica de que es un polímero que puede usarse en diferentes procesos de moldeo para la fabricación de diferentes artículos; a continuación se muestra una tabla comparativa con otros polímeros:

### Plásticos como materia prima para diferentes procesos de moldeo

Material	Extrusión	Moldeo por soplado	Fibra	Película	Espuma	Moldeo por inyección	Moldeo por compresión	Termoformado
ABS	X	X	-	-	X	X	X	X
SBR	X	X	-	-	X	X	X	X
EVA	X	X	-	X	X	X	X	-
Melamina	-	-	-	-	-	-	X	-
Nylon	X	X	X	-	X	X	X	X
Fenólico	-	-	-	-	-	-	X	-
PC	X	X	-	-	X	X	X	X
PEAD/ PEBD	X	X	-	X	X	X	X	X
PET	-	-	X	X	-	-	-	-
Acetal	X	X	-	-	X	X	X	-
Metilpenteno	X	X	-	-	-	X	X	X
PP	X	X	-	X	X	X	X	X
GPS	X	X	-	-	X	X	X	X
TFE	-	-	-	-	-	-	X	-
Uretanos	-	-	X	X	-	-	-	-
PVC	X	X	-	X	X	X	X	X
Ureas	-	-	-	-	-	-	X	-
PVC/PVA	X	X	-	X	-	X	X	X
Acrílico	X	-	X	-	-	X	X	X

Fuente: (7) Plastics Process Engineering. Thorene, James, Edit. The Society of Plastics Engineers. U.S.A., 1978.

Dentro de los plásticos se presentan tres productos con la característica de poderse moldear bajo casi todos los procesos. Estos productos son: el polietileno, el polipropileno y el policloruro de vinilo; esta cualidad (maleabilidad), se refleja en el mercado de los plásticos, siendo éstos productos citados los más consumidos como materia prima en el negocio de la industria del plástico.

## **CAPÍTULO 2**

### **ESTUDIO DE MERCADO**

## **CAPÍTULO 2**

### **ESTUDIO DE MERCADO PARA EL POLIETILENO**

Para poder realizar un proyecto financiero es necesario primero realizar un estudio de mercado. Para este proyecto específicamente, el estudio se basa en los siguientes puntos:

1. **Productos a partir de polietileno:** se mencionan los diferentes tipos de industria que utilizan polietileno de alta densidad como materia prima para realizar sus productos finales.
2. **Oferta de polietileno:** es necesario conocer la oferta existente en el mercado, y quienes son los productores que significan futuros competidores. Así también se analizan datos de producción, exportación e importación durante los últimos años para observar la tendencia del mercado del polietileno.
3. **Demanda del polietileno:** es importante conocer la demanda del producto en el mercado y esta se analizará a partir de datos de consumo aparente. En este punto se analizan los mercados donde participa el polietileno como materia prima, productos que pueden sustituirlo, así como la distribución geográfica de la industria del plástico en México.
4. **Precio:** es a partir del estudio de mercado donde se obtiene la referencia para el precio del producto. Tomando en cuenta el ya ofrecido por la competencia, que puede ser nacional o internacional, observando las tendencias del mercado, los costos de materias primas para la producción de PEAD, y de la proyección de los posibles precios hacia los próximos años.

Al realizar este estudio de mercado se compara al polietileno con otros plásticos, analizando sus ventajas y desventajas para conocer la oportunidad de competir con éxito en el mercado.

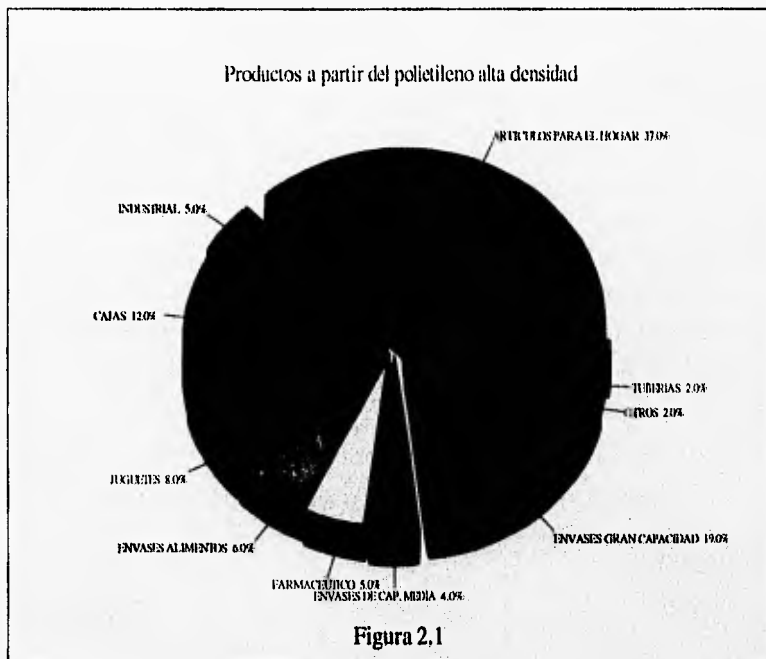
En lo que se refiere a la publicidad, deberá dirigirse principalmente a la industria, esto es, a las empresas que se dedican al moldeo de polietileno; una buena táctica para introducir o dar a conocer nuestro producto es enviar mensajes por medio de fax, de la hoja técnica del producto con el siguiente contenido:

- a) Propiedades del producto
- b) Características
- c) Aplicaciones
- d) Cumplimiento de los requerimientos de la "Food and Drug Administration" de los Estados Unidos
- e) Aditivos
- f) Presentación del producto.

## **2.1. PRODUCTOS A PARTIR DEL PEAD**

El polietileno de alta densidad se utiliza como materia prima para la fabricación de distintos productos; los cuales son usados en la industria de los alimentos, artículos para el hogar, construcción, etc. La aceptación que tiene en los distintos mercados es gracias a las propiedades físicas y químicas que ofrece como: resistencia mecánica, resistencia al ambiente, no es tóxico, ligero y puede ser reciclado(26).

Más adelante, en este estudio se hace un análisis de la participación del PEAD y la competencia que tiene con otros polímeros, haciendo un desglose por mercado o industria que lo utiliza. En el siguiente gráfico (figura 2.1), se muestra en forma general los usos más comunes del PEAD y la participación de este polímero en diferentes sectores de la industria:



Fuente: (27) Progress in Polymer Science (International Review Journal).  
Vol. 15, No. 12, 1990.

La amplia diversidad de productos hechos de plástico y las características que estos presentan son resultado de los diferentes métodos de producción como: extrusión, inyección, soplado y calandreo; las características de cada técnica permiten la fabricación de artículos muy diferentes entre sí por sus cualidades, y por ello, diferentes posibilidades de uso. Esto le da importancia al polietileno como materia prima, pues por sus cualidades puede ser utilizado en cualquier proceso de moldeo, como se muestra en el capítulo uno en el cuadro comparativo entre los plásticos más usuales como materia prima para diferentes tipos de moldeo.

En la figura 2.2 se presenta un esquema de la línea de negocio de la industria del plástico en México(38). Aquí se sigue, por medio de un diagrama de flujo la aplicación de los plásticos como materias primas a través de procesos como extrusión, inyección, soplado, etc., de los que se obtienen productos



que ingresan a diferentes mercados que van, desde la industria del envase, hasta la producción de artículos médicos, pasando por la industria de la construcción y agrícola, siendo estos solo algunos ejemplos. Se muestran también, en porcentajes, los procesos más utilizados para la transformación de los polímeros en productos finales tales como película, tubería, etc., siendo claramente el proceso de extrusión el más utilizado. Con éste proceso se obtiene lámina de plástico que se utiliza, por medio del termoformado, para fabricar envases y empaques que actualmente significan el mercado más amplio, ocupando aproximadamente el 40% de aplicación de los plásticos en México.



Figura 2.2

Fuente: (38) Instituto Mexicano del Plástico Industrial. *Mercado de la Industria del Plástico*. Edición 1995

Es importante resaltar de la figura 2.2 que el polietileno de alta densidad ocupa el segundo lugar en la tabla de materias primas más utilizadas en la industria del plástico, con un consumo aparente anual de 295,000 toneladas en 1995<sup>(38)</sup>.

Acrónimos de Plásticos que aparecen en la figura 2.2 y 2.9 a 2.16

ABS	Acrilonitrilo Butadieno Estireno
EP	Resina Epóxica
PEAD	Polietileno Alta Densidad
PEBD	Polietileno Baja Densidad
PELD	Polietileno Lineal Baja Densidad
PA	Poliámida (Nylon)
PC	Policarbonato
PET	Polietileno Tereftalato
PF	Resina Fenólica
PMMA	Polimetil Metacrilato (Acrílico)
POM	Polioxido de Metileno (Acetal)
PP	Polipropileno
PS	Poliestireno
PUR	Poliuretano
PVC	Policloruro de Vinilo
UP	Poliéster Insaturado

Clasificación : Instituto Mexicano del Plástico Industrial

## 2.2. OFERTA DEL POLIETILENO EN MÉXICO.

Para analizar la oferta del polietileno se investigaron ciertos puntos de interés acerca de los principales productores del polímero en México. En el país el único productor es PEMEX(31,38,39); a continuación se presenta en las figuras 2.3 y 2.4 la capacidad instalada para producir PEAD y PEBD en los últimos años.

Al analizar la capacidad instalada (figuras 2.3 y 2.4) para la producción de polietileno se encuentra que la capacidad en las plantas de PEMEX no ha sido incrementada sino que se ha mantenido constante durante los pasados años. El último cambio registrado fue la construcción de la planta productora de PEAD en el complejo petroquímico Morelos en 1990, llegando así a una capacidad total de producción de 200 mil toneladas de PEAD.

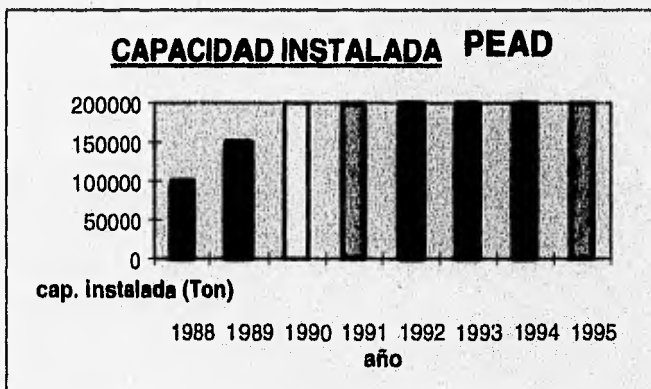


Figura 2.3

Fuente: (35)INEGI anuario estadístico de la industria química, 1995.

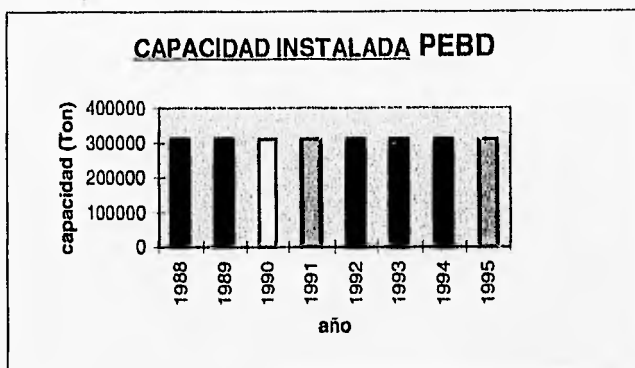


Figura 2.4

Fuente: (35)INEGI anuario estadístico de productos petroquímicos, 1995.

Con el propósito de señalar este incremento en producción con más detalle, se muestran datos sobre la producción de polietileno por año en cada planta productora. Se observan las variaciones sufridas de manera desglosada llegando únicamente hasta el año de 1993, después de este año, la producción empieza a disminuir.

**Volumen de producción por complejo según producto**

Fuente: (39)INEGI. *La industria del petróleo en México*, 1993.

1988

	<b>TOTAL</b>		<b>Escolin, Veracruz.</b>	
	82		82	
	317		56	

1991

	<b>TOTAL</b>		<b>Escolin, Veracruz.</b>		<b>Reynosa, Tamps.</b>
	213		96		0
	338		57		25

1992

PRODUCTO (Miles de Tons.)	TOTAL	Congrejera, Veracruz.	Escolin, Veracruz.	Moritas, Veracruz.	Reynosa, Tamps.
PEAD	220	0	105	115	0
PEBD	355	269	62	0	24

1993

PRODUCTO (Miles de Tons.)	TOTAL	Congrejera, Veracruz.	Escolin, Veracruz.	Moritas, Veracruz.	Reynosa, Tamps.
PEAD	197	0	87	9	0
PEBD	308	232	55	0	21

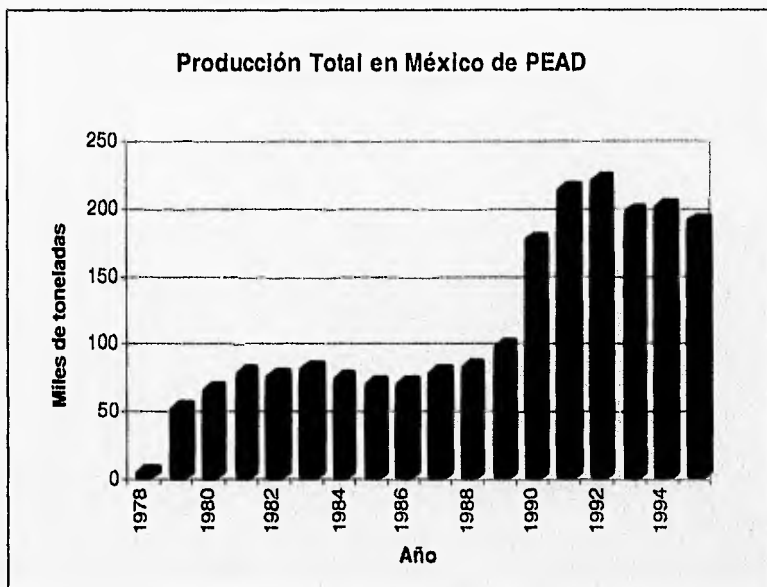
El polietileno se fabrica en México desde 1978(39), siempre en los complejos petroquímicos de PEMEX, la producción se fue incrementado paulatinamente desde 3 mil toneladas en el primer año hasta 220 mil toneladas en 1992 cuando se alcanzó la máxima producción, rebasando incluso la supuesta capacidad instalada para la producción del PEAD y sucede lo mismo con el PEBD. Esto pudo deberse a la estabilidad económica que vivía el país en esos momentos lo que permitía un ambiente propicio para el desarrollo del comercio interior fabricándose mayores productos de consumo; sin embargo en 1993 se observa una disminución en la producción, lo mismo para PEAD que para PEBD; y aunque en el siguiente año tienen ambos productos una recuperación, en 1995 la producción disminuye hasta 190 mil toneladas(40).

### Volumen de producción total

Fuente: (39) INEGI. *La industria del petróleo en México*, 1995.

(datos en miles de Toneladas)

PRODUCTO	TOTAL	Congrejera, Veracruz.	Escolin, Veracruz.	Moritas, Veracruz.	Reynosa, Tamps.
PEAD	197	0	87	9	0
PEBD	308	232	55	0	21



**Figura 2.5**

Fuente: (39) PEMEX. Memorias de labores de PEMEX, 1995.

La disminución en la producción en los últimos tres años, fue provocada por distintos factores:

- a) el primero fue la sobre valoración del peso durante el último año en el sexenio de 1988-1994 que provocó un aumento drástico en las importaciones del PEAD aproximadamente del 160 por ciento con respecto a 1993, resultando con más ventajas importarlo que producirlo en el país,
- b) a principios del presente sexenio se propuso formalmente, la venta de las plantas que producen petroquímicos considerados como secundarios, lo que provocó que PEMEX no continuará con nuevos proyectos para poner en marcha otros complejos petroquímicos(30),
- c) con el proyecto de venta de las petroquímicas secundarias, PEMEX no continuó con las inversiones normales de mantenimiento en los complejos petroquímicos, lo que ocasiona merma en la producción, en este caso de polietileno de alta densidad.(30)

A pesar de que la producción de PEAD ha disminuido después de alcanzar su máximo nivel en 1992, la producción en 1995 fué de -9.3% con base en la capacidad total instalada en el país. Al mismo tiempo que la producción, el consumo aparente del PEAD también ha disminuido pero sigue conservando un margen positivo mayor a las 100,000 toneladas por año(34).

### **2.3. DEMANDA DEL POLIETILENO EN MÉXICO**

La demanda de este polímero ha ido creciendo en proporción con la que se encuentran nuevas formas para su uso. La sensación que causaron los plásticos por sus propiedades físicas y químicas los hicieron aptos para usarlos de muchas formas distintas; por esto hoy en día, resultan indispensables para la vida cotidiana.

Los plásticos dejaron de ser solo una moda al sustituir eficientemente partes importantes de maquinaria y a algunas herramientas, que antes eran fabricadas con metales o con madera. El beneficio que implicó sustituir los materiales clásicos hasta ese entonces con plásticos fue claramente notorio, pues se adquirió ligereza en las piezas de maquinaria, disminuir los costos y en algunos casos aumentar la resistencia de dichas piezas al ser fabricadas con plásticos o polímeros como materia prima. Las herramientas utilizadas en los procesos industriales no son la única aplicación para los plásticos, también los encontramos en gran medida en objetos de uso cotidiano como son vasos, bolsas, cepillos, etc.. Todos estos productos son un mercado cautivo para los polímeros, pues invariablemente estos productos seguirán siendo fabricados con el mismo material, por todas las ventajas que representa(38).

#### **a) Ventas Internas.**

Se presenta en seguida el volumen de las ventas de PEMEX en el país para PEAD(figura 2.6) y PEBD(figura 2.7), ambos como materia prima. En las gráficas se muestra en el eje de las abcisas los años; en el eje de las ordenadas

se lee el volumen de las ventas con unidades en miles de toneladas y el valor de las ventas será leído en miles de pesos (Pesos constantes de 1993. Tipo de cambio utilizado por PEMEX: 1USD=3.1091 pesos de 1993)(39,40).



Figura 2.6 Fuente: (40)PEMEX. Memoria de Labores, 1995.

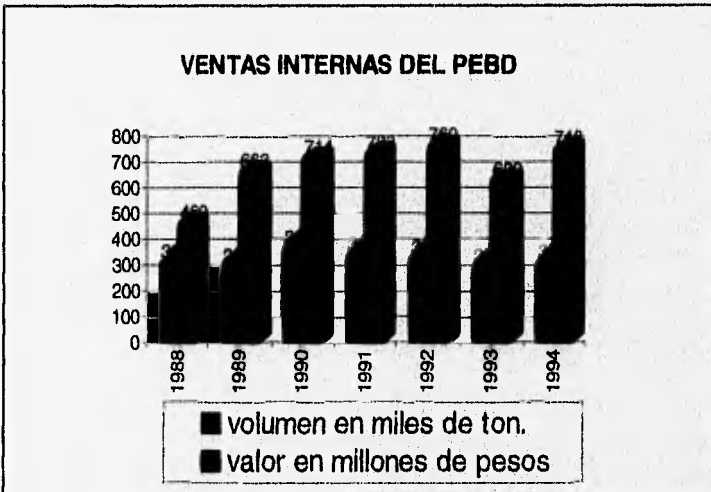


Figura 2.7 Fuente: (40)PEMEX. Memoria de Labores, 1995.



En los últimos años, la demanda del PEAD ha aumentado, esto lo indica el constante incremento en las ventas del polímero. En 1994 se alcanza el máximo volumen de ventas, aún cuando el precio del Polietileno es alto, esto indica la necesidad que tiene el mercado de esta materia prima.

### b)Exportaciones e Importaciones

Es importante conocer a cuanto ascienden las exportaciones e importaciones para conocer la demanda del PEAD producido por PEMEX en el mercado exterior. Es importante, de igual manera, conocer el volumen de la importación en el país, esto es información adicional para saber el consumo nacional aparente y la demanda total del polietileno.

Las exportaciones indican la oportunidad del PEAD mexicano en el mercado internacional, al existir las exportaciones se comprueba la competitividad del producto con respecto a otros polietilenos producidos en el extranjero. Las exportaciones de polietileno en México son hechas únicamente por PEMEX, pues esta empresa es la única en el país que produce polietileno(35,38).

Empresas de capital privado, en su mayoría distribuidores únicamente de productos petroquímicos, son las que importan el polietileno para abastecer el mercado nacional de este producto(31).

Volumen de exportación(40)  
(Miles de Toneladas)

PRODUCTO	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
	0.5	0	84	94	72	65	45	55
	0	0	0	0	0	0	31	18

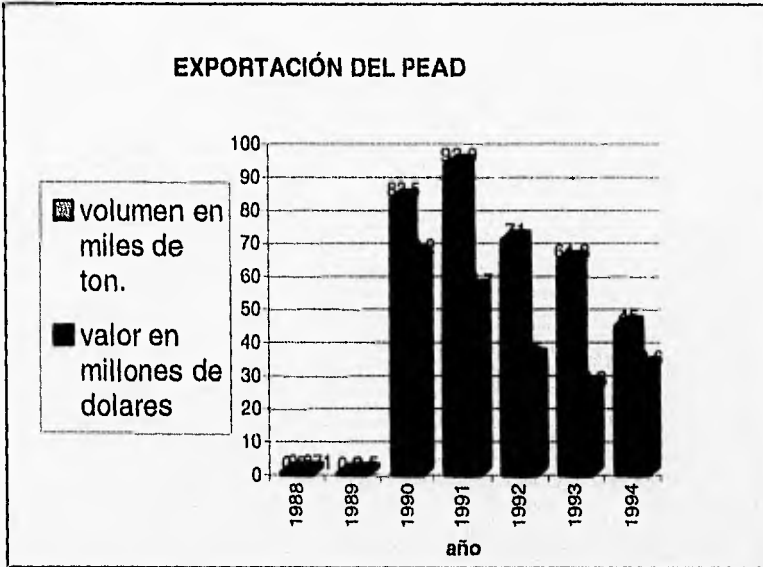


Figura 2.8 Fuente: (40)PEMEX. Memoria de Labores, 1995.

En la figura 2.8 se presentan las exportaciones hechas por PEMEX en los últimos años, es en 1990 cuando empieza a exportarse volúmenes importantes de polietileno pues en ese año y en los siguientes la producción de PEMEX aumenta de forma significativa.

Valor de las importaciones(39)  
(Millones de Dólares)

PRODUCTO	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
	88.719	57.042	37.945	50.406	80.439	119.096	

Volumen de importación(39,40)  
(Miles de Toneladas)

PRODUCTO	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
	112	106	112	116	78	203	160
	39	25	33.5	69	54.5	156	25

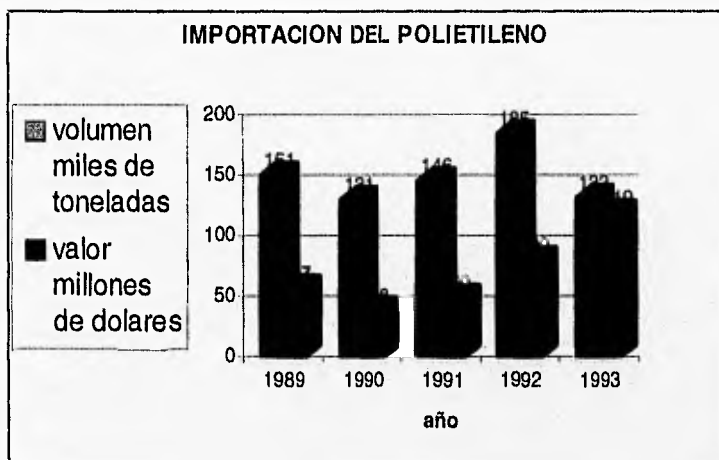


Figura 2.9 Fuente: (35)INEGI. La industria química en México, 1994.

Puede observarse en la figura 2.9 que las compañías transnacionales que distribuyen el polietileno en México, obtuvieron un alto margen de ganancias, sin embargo esta situación cambió en 1993 al aumentar el precio del polietileno en el mercado mundial(37), este precio incluso ha aumentado en 1994 y 1995. Los datos de la figura 2.9 son el total de las importaciones del polietileno, es decir, incluye el PEAD y el PEBD(35).

Los datos anteriores (tabla de volumen de ventas internas), indican que el polietileno producido por PEMEX, tiene una gran aceptación en la industria nacional, pues en el país se vende la mayor parte de esta producción. El hecho de que PEMEX exporte polietileno y otras compañías lo importen, indica que existe entre esta materia prima una calidad muy similar, esto es bueno, pues hay un estándar de este polímero aunque sea producido por empresas diferentes.

Según los datos presentados anteriormente en la tabla volumen de importación, existe en México una demanda significativa de polietileno lo que se traduce en una oportunidad de crear una empresa que produzca

polietileno cuyo objetivo sea, primero, competir para sustituir las importaciones con polietileno producido en el país para después poder crecer y abarcar otros mercados en el mundo.

### c) Consumo de Polietileno en México

En 1995 el consumo aparente del PEAD correspondió al 15.3% del mercado total del plástico, mientras que el PEBD ocupó el 16.2% de este mercado(38). Esto significa una gran participación de ambos polímeros, siendo estos los polímeros más utilizados, solo debajo de los termofijos que ocupan el 19% del mercado(38). El consumo de estos tres productos es más de la mitad del mercado de la industria del plástico en México.

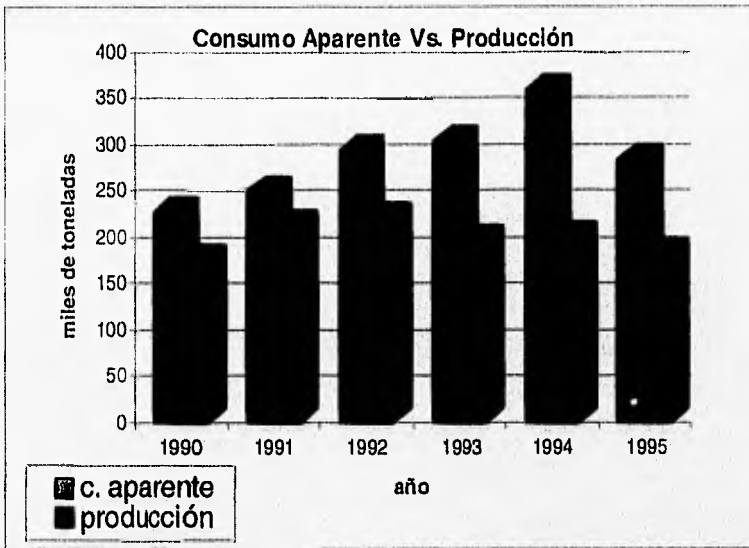
En el período que va del año 1994 a 1995 para PEAD se tuvo un ligero descenso en el consumo, se registró una baja del 0.1% y el 1.8% para PEBD(34). Uno de los factores que tuvo cierta influencia en la disminución del consumo fue la crisis económica que vivió la industria nacional en todos sus ramos en 1995(30).

En el punto 3 de este capítulo, se muestra el consumo del polietileno de alta y de baja densidad en diferentes ramos de la industria. En seguida se presentan datos de consumos aparentes comparándolos a la producción (figura 2.10), así como la variación que ha tenido este consumo aparente de 1989 a 1994.

#### Producción y Consumo Aparente de Polietileno de Alta Densidad:

año	1990	1991	1992	1993	1994	1995
Producción miles ton.	175.7	212.7	220.1	197	201.5	181.3
Consumo Aparente miles ton	226.5	250	293.4	303.8	359.2	284.2
variación del Cons.. Aparente	8.3%	10.4%	7.5%	-19.1%	65.1%	-16.6%

Fuente: (34) ANIQ. Anuario Estadístico de la Industria Química Mexicana, 1996.



Fuente: (34) ANIQ. Anuario Estadístico de la Industria Química Mexicana, 1996.

Figura 2.10

Se observa una tendencia de aumento en el consumo aparente año con año, sin embargo, la producción no ha aumentado en proporción al consumo; es decir, no se llega a satisfacer la demanda existente de polietileno en el mercado, por lo que para cubrir la falta de polietileno es necesario importarlo.

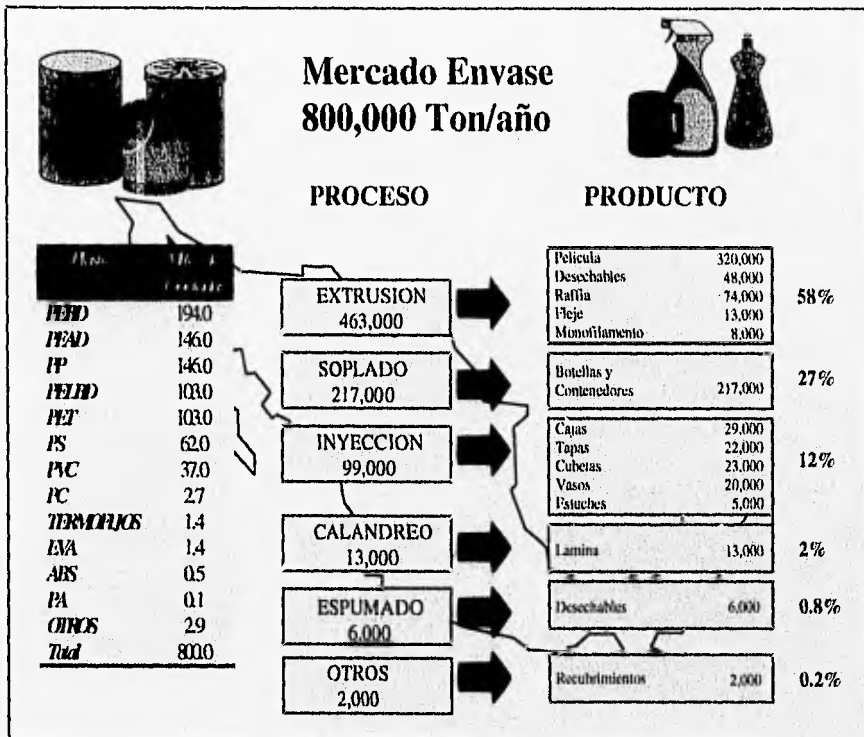
#### **d) Mercado del Polietileno de Alta Densidad (PEAD)**

Los plásticos en general, se encuentran distribuidos en diferentes proporciones dentro de una gama amplia de mercados entre los que se encuentran el del envase, médico, eléctrico - electrónico, construcción, etc(38).

El polietileno tiene una amplia participación en las industrias que utilizan plásticos como materia prima para la producción de artículos de consumo final, excepto en la industria de los muebles. Un claro ejemplo es la penetración de este producto en el mercado de los envases, su participación es del 18.25% con 146 mil toneladas, solo superado por el PEBD, el cual ocupa el primer lugar de este mercado con una participación de 194 mil toneladas(38). El mercado del envase es el que presenta un mayor consumo de plásticos al utilizar el 38.7% de PEAD del total del consumo del plástico(38).

El éxito del polietileno en los diferentes mercados, es debido, a sus propiedades físicas y en gran parte a la facilidad de este polímero a ser moldeado por diferentes métodos, en el capítulo uno se presenta una tabla comparativa de los plásticos como materia prima para diferentes procesos de moldeo.

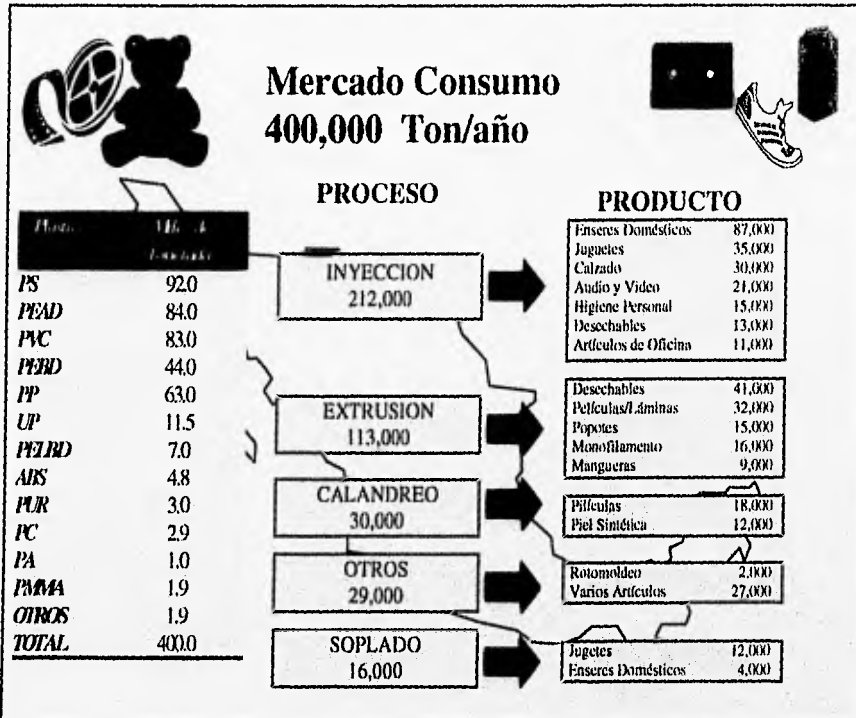
A continuación se desglosa por tipo de industria o mercado la participación de los diferentes plásticos, separándolos a su vez por proceso de moldeo y producto final.



Fuente: (38) IMPI. Mercado de la Industria del Plástico, 1995.

Figura 2.11

En el mercado del envase el proceso más utilizado es el de extrusión (figura 2.11), mediante el cual se produce película de PEAD para fabricar las bolsas de plástico, que representa el volumen más grande para un solo tipo de producto con 320,000 toneladas al año. El mercado del envase incluye botellas y contenedores que se fabrica por el método de soplado; el polietileno es un material muy apreciado para fabricar este tipo de artículos pues por no ser tóxico es muy utilizado en envases que contienen alimentos. Por el proceso de inyección se obtienen productos como cajas, cubetas, vasos, etc.; estos productos por su uso requieren de resistencia y durabilidad cualidades que el PEAD ofrece.

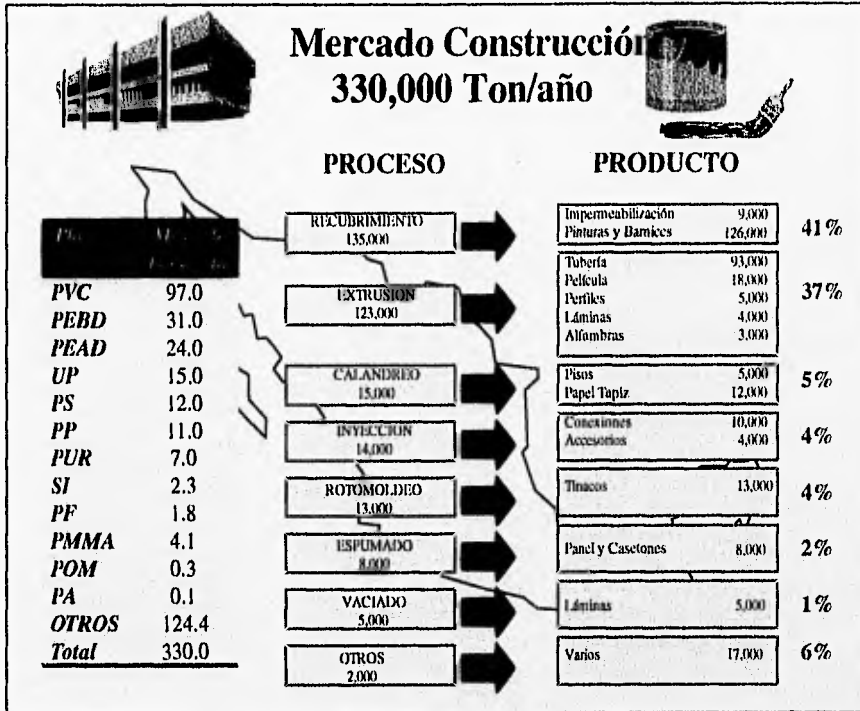


Fuente: (38) IMPI. Mercado de la Industria del Plástico, 1995.

Figura 2.12

El mercado de consumo (figura 2.12), se refiere a los artículos de plástico que son usados diariamente; estos artículos pueden ser desde popotes y artículos de higiene personal, hasta películas fotográficas. El PEAD es de los plásticos más utilizados solo debajo del poliestireno y con una competencia cercana por parte del cloruro de polivinilo (PVC). Los procesos más utilizados son el de inyección y extrusión; fabricándose con el primero, artículos de uso doméstico que son los de mayor participación en este mercado por la gran variedad de artículos que aquí se incluyen, también se fabrican por inyección juguetes, cubiertas para aparatos de audio y video. Por extrusión se obtienen artículos como popotes y otros desechables, que también participan en forma importante en el consumo de plásticos..

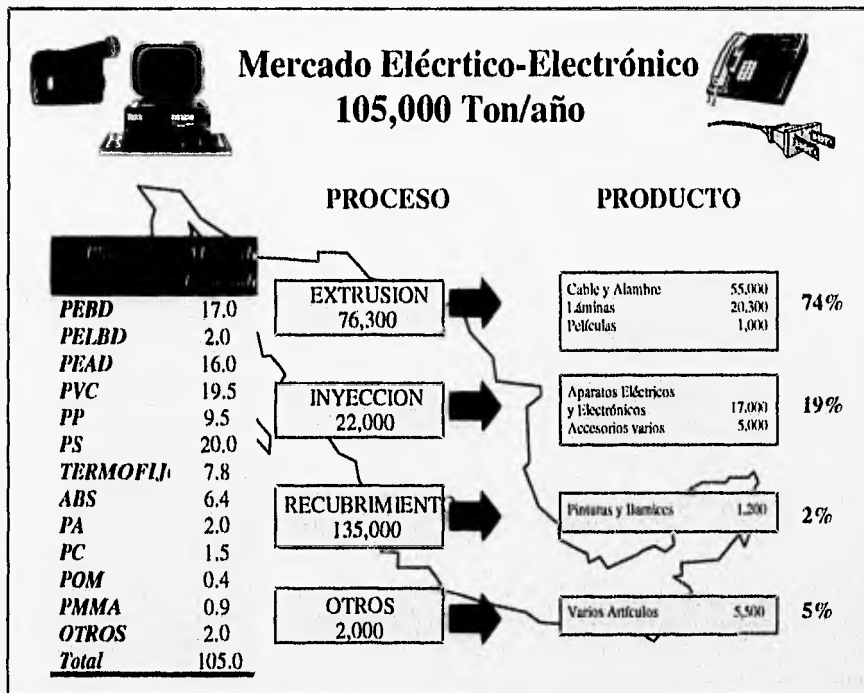




Fuente: (38) IMPI. Mercado de la Industria del Plástico, 1995.

Figura 2.13

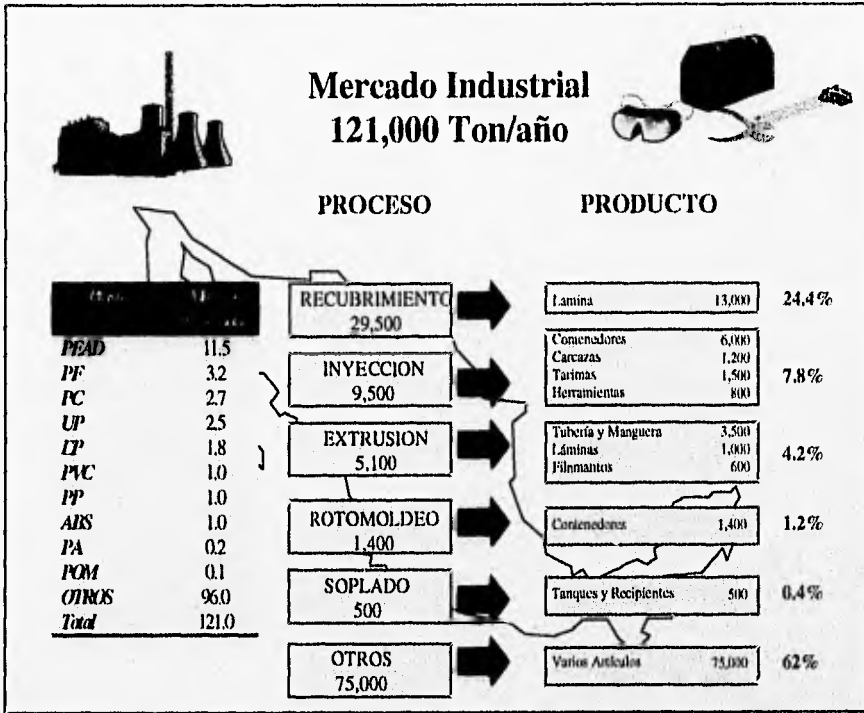
El PVC es el polímero más utilizado en el mercado de la construcción (figura 2.13), con 97 mil toneladas/año, lo que representa el 29% del total de los plásticos consumidos en este mercado. En Europa se ha prohibido el uso de PVC en construcciones ya que al quemarse, el humo que desprende contiene compuestos clorados que pueden ser mortales. El PEAD tiene una participación de 24 mil toneladas/año, el 7% del total; usándose principalmente como materia prima para la fabricación por extrusión de películas y láminas. Por inyección se obtienen artículos como conexiones y accesorios, usando como materia prima PEAD.



Fuente: (38) IMPI. Mercado de la Industria del Plástico, 1995.

Figura 2.14

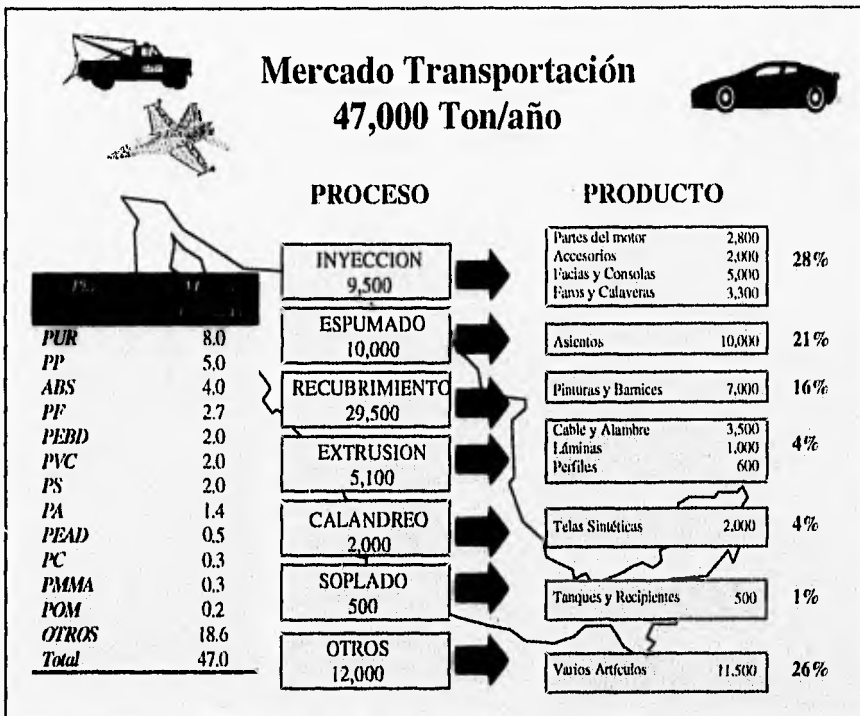
En el muy competitivo mercado eléctrico-electrónico (figura 2.14) participan fuertemente cinco plásticos: el poliestireno (19%), el cloruro de polivinilo (18%), y los polietilenos de alta densidad (15%), baja densidad (16%) y el polietileno lineal de baja densidad (19%); las cantidades entre paréntesis indican la participación de los plásticos en el mercado. El PEAD ocupa el cuarto lugar con 16 mil toneladas/año, con una diferencia de cuatro mil toneladas con respecto al de mayor demanda, el poliestireno.



Fuente: (38) IMPI. Mercado de la Industria del Plástico, 1995.

Figura 2.15

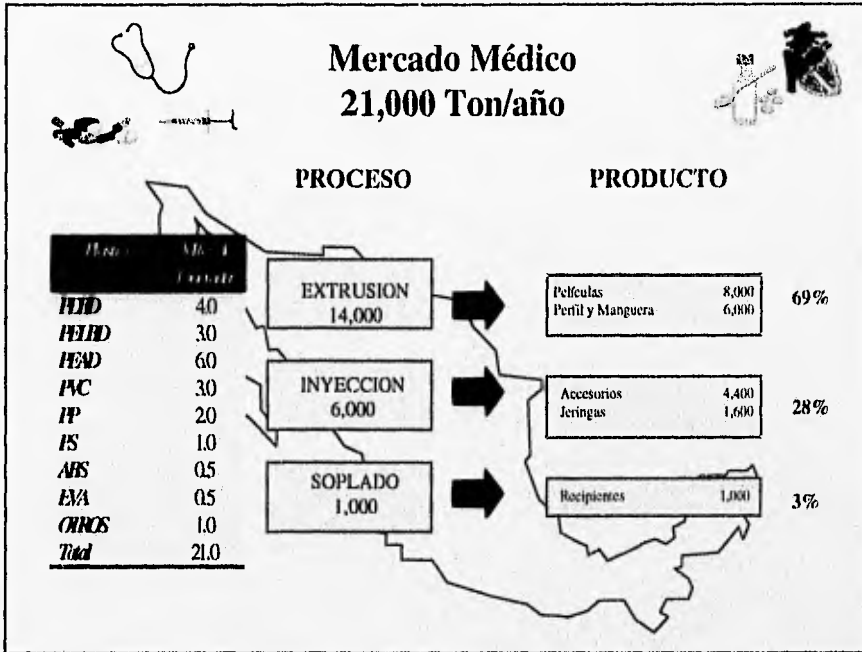
El polietileno alta densidad es el polímero con la mayor participación del mercado industrial (figura 2.13), con once mil quinientas toneladas, el 9.5% del total del mercado. El PEAD, al poder ser utilizado en los procesos de inyección, extrusión y soplado, permite fabricar con él diversos artículos: tubería, láminas, contenedores, tanques y recipientes. Esta es una razón por la que el PEAD sea el más utilizado; otros polímeros son de menor demanda en el mercado industrial, pues sus aplicaciones son más específicas.



Fuente: (38) IMPI. Mercado de la Industria del Plástico, 1995.

Figura 2.16

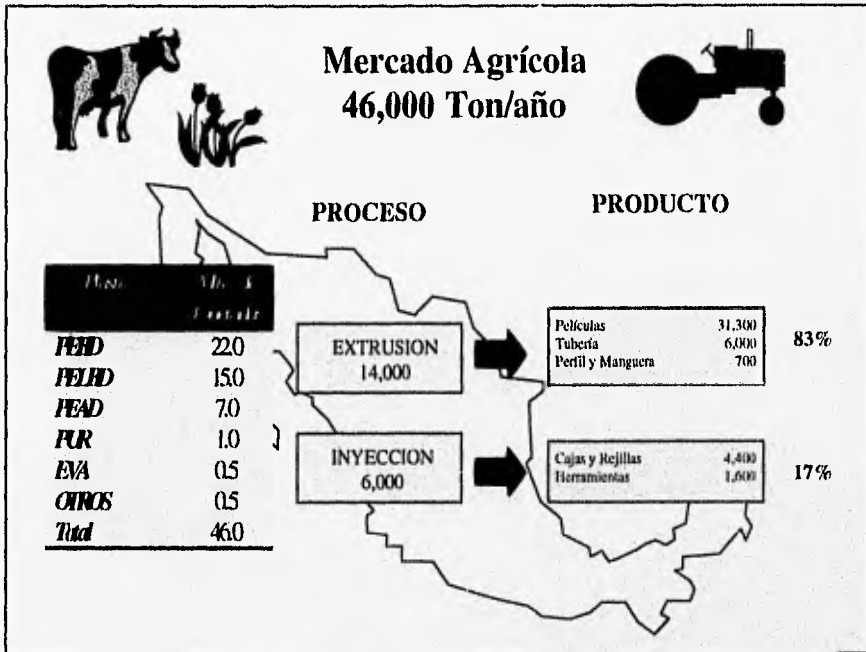
En el mercado de la transportación (figura 2.16) el PEAD tiene un participación de 500 toneladas/año, siendo el poliuretano por sus características el más utilizado con 8 mil toneladas/año. El PEAD es utilizado en la industria automotriz, por su aplicación en la fabricación de cables y defensas. Actualmente, la empresa química alemana BASF implementa el uso de PEAD como materia prima en la fabricación de tanques de combustible.



Fuente: (38) IMPI. Mercado de la Industria del Plástico, 1995.

Figura 2.17

El volumen de consumo de plásticos en el mercado médico (figura 2.17) es pequeño, tan solo de 21,000 toneladas/año, en comparación con mercados como el del envase y consumo. El polímero que representa el mayor consumo es el PEAD pues es la materia prima para la fabricación de jeringas, mangueras para suero, etc., que son de gran utilidad en este mercado. El volumen utilizado de PEAD es de 6 mil toneladas/año seguido por el polietileno de baja densidad con 4 mil toneladas; estos dos junto con el polietileno lineal de baja densidad son más del 50% del consumo de plásticos en este mercado. El PEAD tiene participación en la fabricación de todos los productos plásticos utilizados en la medicina.



Fuente: (38) IMPI. Mercado de la Industria del Plástico, 1995.

Figura 2.18

En el mercado agrícola (figura 2.18), se consume un total de 46 mil toneladas anuales de plástico, registrándose para el PEAD un consumo de 7 mil toneladas, por debajo de los polietilenos de baja densidad. Por el tipo de artículos que entran en este mercado los métodos para fabricar productos como películas, tubería, cajas y rejillas, son: extrusión e inyección. Con el proceso de extrusión se transforma el 83% de los plásticos utilizados en este mercado.

### e) Productos sustitutos

El polietileno, como muchos otros productos en el mundo, tiene una gran competencia con otros polímeros. Desde el inicio de la producción del

polietileno, se han desarrollado otros plásticos que representan una alternativa más para ser usados como materia prima de artículos que pueden cubrir necesidades de la industria en algún área en específico, ofreciendo ventajas en costos, menor grado de complejidad del proceso de obtención del producto final, o simplemente las características ideales físicas y químicas para algún producto en particular(26).

- El polietileno de baja densidad es el principal sustituto para el PEAD, ya que presentan características similares entre ellos, la más importantes es: la facilidad de ambos polímeros para poder ser moldeados por diferentes procesos porque presentan un rango similar de valores para el índice de fluidez, por lo que pueden fabricarse con ellos una variedad muy grande de artículos en distintas ramas de la industria
- El polietilentereftalato (PET), representa una competencia muy fuerte como materia prima para la producción de envases de refrescos el cual, tiene propiedades muy parecidas a las del PEAD.
- El poliestireno se utiliza al igual que el PEAD, como materia prima para la producción de piezas que requieren de un alta resistencia mecánica, como las utilizadas en el mercado eléctrico-electrónico.
- El acrilonitrilo-butadieno-estireno, compite con el PEAD en el mercado de la transportación específicamente en la fabricación de defensas y en algunas partes para tableros de automóviles.
- El cloruro de polivinilo, compite con el PEAD en México, en el mercado de la construcción para la fabricación de tubería y perfiles.

El Polietileno de Alta Densidad ofrece mayor calidad que la gran mayoría de los polímeros, siendo muy utilizado como materia prima en la fabricación de productos que requieren de alta resistencia mecánica, de un material no

tóxico como recipientes para comida y juguetes, y de una alta durabilidad como la requerida para partes automotrices(7,19).

El PEAD es el segundo polímero de más consumo como materia prima, sólo por debajo del PEBD.

#### **f) Distribución geográfica de las empresas del plástico**

El mayor número de empresas fabricantes de artículos de plástico se localizan en la región centro de la República Mexicana, tan solo en el Distrito Federal y el Edo. de México se concentran cerca de 1500 empresas, esto equivale al 60% del total de las industrias dedicadas al plástico. Los estados que ocupan el tercer y cuarto lugar en número de empresas son Jalisco, con 325, y Nuevo León, con 300(38). Las cuatro entidades federativas mencionadas anteriormente son las más industrializadas del país.

Al Este del país la industria del plástico no se ha desarrollado significativamente, a pesar de que en el Estado de Veracruz se localizan los principales complejos petroquímicos de PEMEX, los cuales producen la principal materia prima para la industria del plástico. Al Sur de la República Mexicana tampoco se observa gran desarrollo de empresas del plástico. La distribución de las empresas del plástico se presenta en la figura 2.19.





Fuente: (38) IMPI. Mercado de la Industria del Plástico, 1995.

Figura 2.19

### **g) Especificaciones pedidas por la industria para el polietileno**

A partir de hojas de datos técnicos obtenidas en la Gerencia de Evaluación e Información de PEMEX; acerca los diferentes polietilenos de alta densidad que fabrica, se pueden observar las especificaciones que requiere la industria para crear diversos productos finales.

En estas hojas técnicas se incluyen datos como: propiedades, características aplicaciones y otras.

POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD

**PADMEX 50003**

### **Moldeado por soplado**

#### **Propiedades Típicas de la Resina**

<b><u>PROPIEDAD</u></b>	<b><u>UNIDAD</u></b>	<b><u>MÉTODO</u></b>	<b><u>VALOR</u></b>
Densidad	gr/cm <sup>3</sup>	ASTM D 1505	0.95
Índice de fluidez	gr/10min	ASTM D 1238	0.3
Resistencia máxima a la tensión	Kg/cm <sup>2</sup>	ASTM D 638	250
Alargamiento máximo	%	ASTM D 638	800
Impacto IZOD (ranurado)	Kg cm/cm	ASTM D 256	10
Módulo de Flexión	Kg/cm <sup>2</sup>	ASTM D 790	11000
Dureza Shore	tipo "D"	ASTM D 1706	65
Temp. de ablandamiento (VICAT)	°C	ASTM D 1525	124
Temp. de fragilidad	°C	ASTM D 746	<-70
Resistencia ambiental (ESCR)		ASTM D 1693	12

#### **Características**

Copolímero con una distribución de peso molecular amplio, adecuado para el moldeo por soplado, tiene alto peso molecular, es particularmente excelente por su resistencia ambiental (ESCR) y rigidez.

#### **Aplicaciones**

Moldeado por soplado de botellas para detergentes líquidos, shampoos, talcos, desodorantes, recipientes para bebidas y cosméticos, recipientes para fármacos.

#### **Cumplimiento FDA**

Este material cumple con los requerimientos de la Food and Drug Administration de los Estados Unidos de América, Título 21 CFR Sección 177.1520 para artículos que estén en contacto con alimentos

#### **Aditivos**

Contiene antioxidantes primarios y secundarios. Lubricante, agente neutralizante.

#### **Presentación**

Sacos de 25 Kg. Y a Granel en autotolva.

## POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD

**PADMEX 55010**

### **Moldeo por extrusión**

#### **Propiedades Típicas de la Resina**

<b><u>PROPIEDAD</u></b>	<b><u>UNIDAD</u></b>	<b><u>MÉTODO</u></b>	<b><u>VALOR</u></b>
Densidad	gr/cm <sup>3</sup>	ASTM D 1505	0.955
Índice de fluidez	gr/10min	ASTM D 1238	1
Resistencia máxima a la tensión	Kg/cm <sup>2</sup>	ASTM D 638	250
Alargamiento máximo	%	ASTM D 638	>500
Impacto IZOD (ranurado)	Kg cm/cm	ASTM D 256	25
Módulo de Flexión	Kg/cm <sup>2</sup>	ASTM D 790	11000
Dureza Shore	tipo "D"	ASTM D 1706	66
Temp. de ablandamiento (VICAT)	°C	ASTM D 1525	125
Temp. de fragilidad	°C	ASTM D 746	<-70

#### **Características**

Copolímero grado moldeo por extrusión para monofilamento, buen balance entre resistencia tensil y elongación y gran procesabilidad, excelente tenacidad.

#### **Aplicaciones**

Moldeo por extrusión: Monofilamento, hilo cinta, bolsas tejidas, cuerdas, cables, redes, redes para pescar, arpillas para recolección y transporte de verduras.

#### **Cumplimiento FDA**

Este material cumple con los requerimientos de la Food and Drug Administration de los Estados Unidos de América, Título 21 CFR Sección 177.1520 para artículos que estén en contacto con alimentos.

#### **Aditivos**

Contiene antioxidantes primarios y secundarios.  
Lubricante, agente neutralizante.

#### **Presentación**

Sacos de 25 Kg. Y a Granel en autotolva.

## POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD

PADMEX 60003

### Moldeo por soplado

#### Propiedades Típicas de la Resina

<u>PROPIEDAD</u>	<u>UNIDAD</u>	<u>MÉTODO</u>	<u>VALOR</u>
Densidad	gr/cm <sup>3</sup>	ASTM D 1505	0.96
Índice de fluidez	gr/10min	ASTM D 1238	0.3
Resistencia máxima a la tensión	Kg/cm <sup>2</sup>	ASTM D 638	290
Alargamiento máximo	%	ASTM D 638	>900
Impacto IZOD (ranurado)	Kg cm/cm	ASTM D 256	25
Módulo de Flexión	Kg/cm <sup>2</sup>	ASTM D 790	15000
Dureza Shore	tipo "D"	ASTM D 1706	70
Temp. de ablandamiento (VICAT)	°C	ASTM D 1525	128
Temp. de fragilidad	°C	ASTM D 746	<-70
Resistencia ambiental (ESCR)		ASTM D 1693	4

#### Características

Homopolímero con una distribución de peso molecular amplia, adecuado para el moldeo por soplado a gran velocidad, alta dureza, rigidez, alto peso molecular.

#### Aplicaciones

Moldeo por soplado de recipientes de gran tamaño para productos químicos, juguetes y partes industriales.

#### Cumplimiento FDA

Este material cumple con los requerimientos de la Food and Drug Administration de los Estados Unidos de América, Título 21 CFR Sección 177.1520 para artículos que estén en contacto con alimentos.

#### Aditivos

Contiene antioxidantes primarios y secundarios.  
Lubricante, agente neutralizante.

#### Presentación

Sacos de 25 Kg. y a Granel en autotolva.

**POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD**

**PADMEX 60120**

**Moldeo por inyección**

**Propiedades Típicas de la Resina**

<b>PROPIEDAD</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>MÉTODO</b>	<b>VALOR</b>
Densidad	gr/cm <sup>3</sup>	ASTM D 1505	0.96
Índice de fluidez	gr/10min	ASTM D 1238	13
Resistencia máxima a la tensión	Kg/cm <sup>2</sup>	ASTM D 638	300
Alargamiento máximo	%	ASTM D 638	300
Impacto IZOD (ranurado)	Kg cm/cm	ASTM D 256	3
Módulo de Flexión	Kg/cm <sup>2</sup>	ASTM D 790	15000
Dureza Shore	tipo "D"	ASTM D 1706	70
Temp. de ablandamiento (VICAT)	°C	ASTM D 1525	124
Temp. de fragilidad	°C	ASTM D 746	<-70

**Características**

Copolímero con distribución de peso molecular estrecho. Es especial para el moldeo por inyección en ciclos rápidos. Excelente procesabilidad, alta rigidez.

**Aplicaciones**

Moldeo por inyección de artículos domésticos, vajillas, palanganas, cubetas, juguetes, recipientes para alimentos. Partes automotrices como defensas.

**Cumplimiento FDA**

Este material cumple con los requerimientos de la Food and Drug Administration de los Estados Unidos de América, Título 21 CFR Sección 177.1520 para artículos que estén en contacto con alimentos.

**Aditivos**

Contiene antioxidantes primarios y secundarios.  
Lubricante, agente neutralizante.

**Presentación**

Sacos de 25 Kg. y a Granel en autotoiva.

**POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD**

**PADMEX 65050**

**Moldeado por inyección**

**Propiedades Típicas de la Resina**

<b><u>PROPIEDAD</u></b>	<b><u>UNIDAD</u></b>	<b><u>MÉTODO</u></b>	<b><u>VALOR</u></b>
Densidad	gr/cm <sup>3</sup>	ASTM D 1505	0.965
Índice de fluidez	gr/10min	ASTM D 1238	5
Resistencia máxima a la tensión	Kg/cm <sup>2</sup>	ASTM D 638	300
Alargamiento máximo	%	ASTM D 638	800
Impacto IZOD (ranurado)	Kg cm/cm	ASTM D 256	5
Módulo de Flexión	Kg/cm <sup>2</sup>	ASTM D 790	17000
Dureza Shore	tipo "D"	ASTM D 1706	72
Temp. de ablandamiento (VICAT)	°C	ASTM D 1525	128
Temp. de fragilidad	°C	ASTM D 746	<-70

**Características**

Copolímero apropiado para impartir excelente dureza y la más alta resistencia al impacto en artículos moldeados por inyección que requieren alta rigidez, excelente resistencia al medio ambiente y luz solar.

**Aplicaciones**

Moldeo por inyección a productos que requieren mayor resistencia mecánica, para la fabricación de artículos de gran tamaño, cajones para transporte de envases de refresco, cerveza, jugo, juguetes y carretillas, defensas para maquinaria agrícola, recipientes para alimentos, cubetas de uso industrial tarimás, etc.

**Cumplimiento FDA**

Este material cumple con los requerimientos de la Food and Drug Administration de los Estados Unidos de América, Título 21 CFR Sección 177.1520 para artículos que estén en contacto con alimentos.

**Aditivos**

Contiene antioxidantes primarios y secundarios.  
Lubricante, agente neutralizante.

**Presentación**

Sacos de 25 Kg. y a Granel en autotolva.

## 2.4. PRECIO

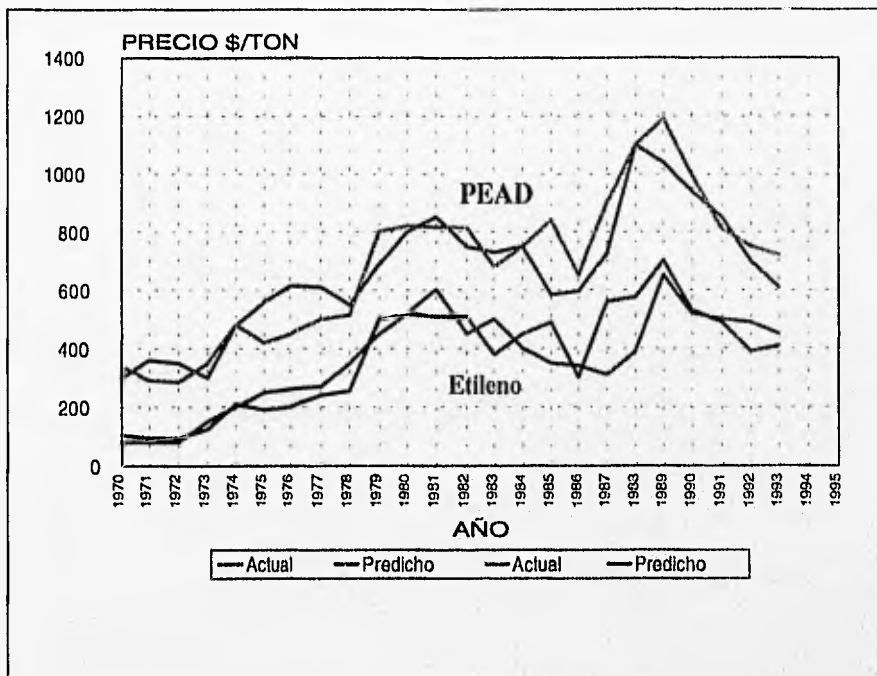
El precio del polietileno, por ser un petroquímico está en función del precio del petróleo crudo (fijado por la Organización de Países Exportadores de Petróleo), pues es la principal fuente de obtención del etileno, materia prima para obtener el polietileno. También es importante para fijar el precio del polietileno, la relación oferta - demanda. Al aumentar la oferta el precio del producto tiende a disminuir, si es que el consumo permanece constante; por el contrario, si la oferta disminuye o el consumo aumenta el precio tiende a elevarse.

En la figura 2.20 se muestran precios por tonelada de PEAD y etileno en dólares a partir de 1970 y hasta 1993(24). Se comparan precios reales con los precios previamente calculados, no se observa gran variación entre ellos, esto confirma la validez del método utilizado(PREDICT PETROCHEMICALS' BEHAVIOR SIMPLY. Chemical Engeneering Progress. Economics October,1993) permite realizar una proyección hacia los siguientes años: el método consiste en aplicar una sencilla fórmula que a partir del precio del crudo proyecta el precio esperado de la materia prima (etileno) y, a partir de este, el precio esperado del producto final (polietileno); ambos resultaron muy próximos a los reales.

- Entonces la relación es:

$$PRECIO = (A)(\text{Precio.del.Petroleo})(B) \dots\dots\dots \text{ecuación 1}$$

donde: A, es un factor determinado para cada producto petroquímico  
B, corresponde a (*costos + margen de ganancias*).



Fuente: (24) Chemical Engineering Progress. Economics, Predict petrochemicals' Behavior Simply, October, 1993.

Figura 2.20

Con esta misma ecuación, se obtiene el precio del producto final con respecto al de la materia prima. Esta ecuación es válida para petroquímicos y puede variar dependiendo de la demanda y especulación de los precios.

A continuación se muestran datos de precios del polietileno alta densidad y de la principal materia prima: el etileno, durante la presente década. Estos datos se obtuvieron de "Unidad de Documentación y Análisis de Información de Comercio Internacional" en PEMEX, donde se consultó "The Independent Chemical Information Services London Oil Reports" (The ICIS LOR Group).



<b>Año</b>	<b>Precio del etileno en USDólares/tonelada para Norteamérica</b>
1990	594.71
1991	330.39
1992	374.44
1993	275.3
1994	440.52
1995	374.44
1996	484.5

<b>Año</b>	<b>Precio del PEAD en USDólares/tonelada por tonelada para Norteamérica</b>			<b>Precio del PEAD en USDólares/tonelada para Europa</b>
	<b>Soplado</b>	<b>Inyección</b>	<b>Película</b>	
1990	1057.26	1035.24	--	1344.45
1991	792.95	748.89	--	955
1992	792.95	748.89	--	821
1993	770.92	748.89	748.89	638
1994	947.13	947.93	969.16	849
1995	991.18	969.16	991.18	994.49
1996	1101.32	1035.24	1145.37	969.16

### Proyección al año 2002

En la figura 2.21, se observa el precio del polietileno en los próximos seis años a partir de la ecuación 1:

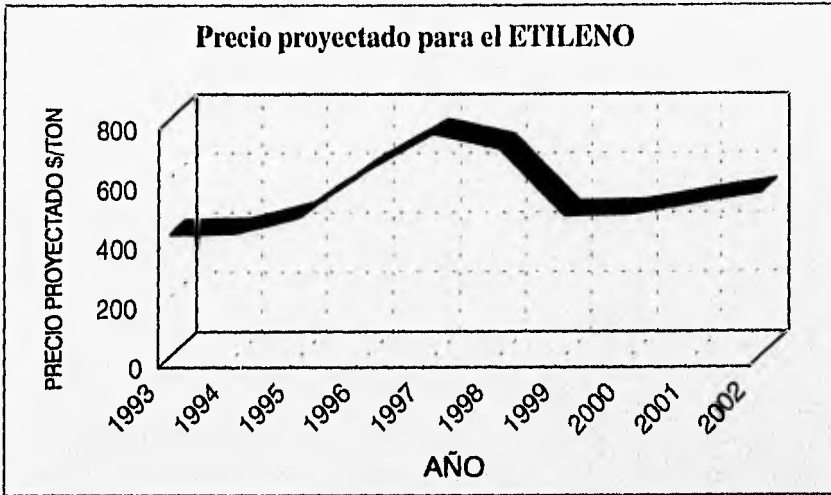


Figura 2.21

Fuente(24) Chemical Engineering Progress. Economics, Predict petrochemicals' Behavior Simply. October,1993.

Aún con los cambios de precio del etileno, el PEAD siempre mantiene un margen proporcional de ganancia con respecto a su materia prima(figura 2.20).

En la figura 2.21 se muestra que el precio del etileno mantendrá un comportamiento constante entre los años de 1999 y 2002 donde no sufrirá cambios, lo cual brinda confianza para invertir en una empresa que produzca polietileno. Con base en los resultados de estimación de precios para el PEAD de la figura 2.20, se aprecia una proporción constante entre los precios del PEAD y de su materia prima (etileno).

## **2.5. PROPUESTA DE CAPACIDAD DE LA PLANTA.**

Después de analizar la información general obtenida acerca del polietileno, se advierte que el polietileno de alta densidad es muy versátil en diversos aspectos, siendo posible transformarlo por medio de varios procesos para fabricar una amplia gama de artículos que se colocan en muchos mercados.

Como se puede observar en las hojas técnicas existen varios tipos de PEAD, cada uno de acuerdo al proceso de transformación que sea utilizado, sin embargo, las variaciones son pequeñas diferencias en el valor de la densidad lo que permite gran variedad en su comercialización.

Utilizando un proceso adecuado para la producción de polietileno es posible obtener los distintos tipos de PEAD con solo realizar ligeros cambios en los porcentajes de alimentación de las materias primas.(5,20,21)

Como conclusión de los puntos tratados con anterioridad en éste capítulo se propone una capacidad de producción de planta de 90,000 a 120,000 toneladas por año de polietileno alta densidad, buscando cubrir el diferencial que presenta el consumo aparente y la producción.(34,35) En 1995 se importaron 160,000 ton. y se produjeron en el país 181,000 ton., de las cuales 55,000 ton se exportaron consumiéndose únicamente 126,000 de PEAD(34,35). Con una nueva planta productora de PEAD en México, se podrá competir en precio y calidad con las empresas extranjeras teniendo la ventaja de reducir costo de distribución y gastos generales de ventas. Con lo anterior y teniendo un mercado de libre competencia, es posible que una nueva empresa reduzca hasta en un 50% (80,000 ton.), la necesidad de importar este polímero de otros países.

Es importante considerar la posibilidad de exportar PEAD, buscando llegar a medianos y pequeños consumidores en países en vías de desarrollo como los de Centro y Sudamérica.

## **CAPÍTULO 3**

### **SELECCIÓN TÉCNICA**

## CAPÍTULO 3

### SELECCIÓN TÉCNICA

Después de analizar el mercado del plástico, en concreto el del polietileno, es necesario evaluar los diferentes procesos para la producción del PEAD. Con base en la evaluación técnica realizada se selecciona un proceso que se ajuste de manera adecuada a los requerimientos del mercado nacional en cuanto a producción y tecnología.

Se realizó una investigación para conocer los procesos de producción de polietileno más utilizados a nivel mundial; se encontraron diagramas de flujo de proceso para la producción de PEAD, cuyas variantes principales son: materias primas requeridas, calidad de producto final, número de operaciones unitarias, método de polimerización, entre otras.

Con base en los siguientes criterios de selección se optó por tres procesos que se analizarán mas adelante.

#### 1. Información a cerca del proceso.

Datos de condiciones de operación, tipos de equipo para las diferentes operaciones unitarias que utilice el proceso, capacidad de producción, materias primas requeridas, etc.

#### 2. Complejidad del proceso.

De acuerdo a las condiciones de operación, así como la cantidad y el tipo de equipos que participan en el proceso de producción.

#### 3. Tecnología.

Se elegirá el proceso más utilizado por empresas productoras de PEAD en distintos países.

Como resultado del análisis de la información obtenida de los procesos de fabricación de polietileno se seleccionaron 3. Se continúa el análisis aplicando un estudio técnico a cada uno de ellos:

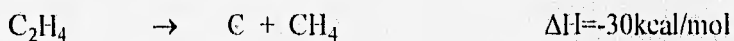
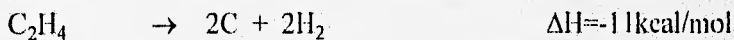
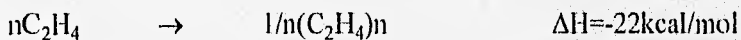
1. PROCESO PHILLIPS PETROLEUM CO.
2. PROCESO BP CHEMICALS LTD.
3. PROCESO HOECHST AG.

### 3.1. PRODUCCIÓN DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD

#### Proceso de polimerización.

La polimerización del etileno consiste en una reacción exotérmica donde se desprenden 850 cal/kg de etileno. La cantidad de calor que se desprende es muy alta, por lo tanto, es necesario contar con el método apropiado para una eficiente remoción del calor. De lo contrario el polímero se descompone a altas temperaturas en ausencia de aire, lo cual puede causar explosiones en el reactor si la temperatura no es controlada. Es por esto que hay que controlar la temperatura para evitar la producción de metano, carbono e hidrógeno, productos de descomposición.(5)

Las reacciones de polimerización que se pueden llevar a cabo en el reactor son: (5)



### **Poliétileno de alta densidad.**

Todos los tipos de PEAD son producidos a bajas presiones, en comparación con los procesos de fabricación del PEBD. Estos procesos se llevan a cabo en reactores de lecho fluidizado y el catalizador de la reacción puede ser cualquiera de los siguientes: (3.8.9)

- catalizador tipo Ziegler, un complejo formado de la unión de un álcali de aluminio y tetracloruro de titanio.
- catalizador de sílica o alúmina de sílica impregnado con una pequeña cantidad de óxido de metal usualmente entre óxido de cromo y óxido de molibdeno.

La preparación y activación del catalizador son muy importantes, pues estos pasos no solo determinan la actividad y eficiencia de la catálisis, sino también algunas de las propiedades del polímero como la densidad.

Durante el proceso de polimerización, el peso molecular del polímero final puede ser controlado introduciendo hidrógeno a la circulación del gas. El calor de reacción es removido por una circulación de gas a través de cambiadores de calor. Si se utiliza el proceso Hoechst, la recirculación del etileno y el monómero no serán necesarias para lograr la total conversión del etileno, pues el porcentaje de conversión obtenido de esta forma es del 99%.

La cantidad del catalizador empleado es pequeña y, por lo tanto, no es necesario que se remueva del polímero resultante. (20,21)

Una vez producido el polímero, este es usualmente presentado en forma de polvo o gránulos, dependiendo de la temperatura de reacción utilizada durante el proceso(5).

A una temperatura de alrededor de 130°C el hidrocarburo participa como solvente para el polímero, debajo de esta temperatura el polímero forma una suspensión. (20,21)

Los procesos como el Hoechst y el BP Chemicals requieren de un sistema de recuperación de hidrocarburos.

### 3.2. DESCRIPCIÓN DE PROCESOS

#### a) Proceso Phillips(5,20)

*·Aplicación:* Proceso de baja presión para la producción continua de polietileno.

*·Producto:* polietileno sólido de alta densidad.

*·Reacción:*  $nCH_2 = CH_2 \rightarrow (-CH_2 - CH_2 -)_n$

*·Descripción del proceso:*

En este proceso el catalizador sólido y el solvente están presentes en el reactor en suspensión. El polímero es mantenido en solución hasta que el catalizador es removido de la mezcla de reacción.

La carga de etileno gaseoso, libre de compuestos de azufre (contaminante típico en el etileno), es tratado fuera de límites de batería en una torre absorbadora de azufre, para eliminar sustancias que puedan dañar o inhibir al catalizador; tales como agua, oxígeno o bióxido de carbono. Esto se hace pasándolo por dos torres de absorción en serie.

El flujo de etileno se pasa en contracorriente con solventes de hidrocarburos (por ejemplo: hexano) dentro del reactor, pues así se tiene una mayor superficie de contacto entre el etileno y el catalizador para lograr una mayor eficiencia en el proceso.



Los solventes purificados (hexano) y el etileno son cargados al reactor a flujo constante. La alimentación de los solventes es del 5% con respecto a la alimentación del etileno.

El catalizador apropiado debe ser en gránulo como el óxido de cromo ( $\text{CrO}_3$ ), o bien, óxido de Molibdeno ( $\text{MoO}_3$ ), se hace pasar sobre un soporte de sílica-alúmina manteniendo su concentración constante, 0.5 por ciento o menos basado en el peso del solvente.

El disolvente (hexano), tiene como función diluir al polietileno y etileno para evitar que cristalicen; así se protege el crecimiento de las cadenas del polímero al evitar que se rompan, también controla la viscosidad de la solución, controla la cantidad de consumo de etileno, y sirve como un medio para disipar el calor de la reacción; de todo lo anterior resulta un polímero de buena calidad.

Para lograr las condiciones óptimas de reacción, el reactor es mantenido a una temperatura de  $90^\circ$  a  $150^\circ\text{C}$ , y a una presión de 100 a 150 psi.

El efluente del reactor es mandado a una separación en un tanque flash para remover el exceso del solvente y el etileno del polímero obtenido en el reactor. El etileno sin reaccionar es regresado al sistema de absorción. El polímero en solución, aun caliente después de la separación flash, es filtrado para remover el catalizador gastado. La solución del polímero es entonces centrifugada para limpiarla de cenizas que pudieran formarse en el reactor por acumulación de producto final.

Después el polímero se precipita en un removedor en suspensión, el precipitado es drenado y finalmente obtenido como polietileno en gránulos.

El catalizador removido de la filtración en caliente es lavado con Xileno caliente para remover resinas adheridas. Después de regenerarse en una

unidad de separación, el catalizador es rehusado alimentándose de nuevo al reactor.

*Rendimiento:* la conversión de etileno en polímero es cercana al 100%, por lo tanto el porcentaje de obtención de polímero sólido es del 98%.

*Materias primas y servicios utilizados:*

Los consumos mencionados son por tonelada de polietileno granulado.

PRODUCTO	CANTIDAD
etileno	1.007 tonelada métrica
catalizador y químicos, US\$	2.00-10.00
vapor	0,25 tonelada métrica
electricidad	350 kWh
agua de enfriamiento (recirculación)	185 m <sup>3</sup>
nitrógeno	50 Nm <sup>3</sup>

Se puede observar el diagrama de flujo de proceso en la figura 3.1

Lista de equipos principales para el proceso Phillips

Número	Nombre	Corriente	
		Entrada	Salida
I	Tanque de preparación de catalizador	3	4
II	Tanque de suspensión	4, 37	5
III	Bomba de alimentación al reactor	5	6
IV	Reactor	2, 6, 36	7
V	Tanque flash	7	8, 9
VI	Intercambiador de calor	9	10
VII	Centrifuga	10	11, 12
VIII	Filtro	11	13
IX	Agotador de ciclohexano	15	17, 18

X	Separador de polímero por flotación	17	19, 20
XI	Secador	19, 22	21
XII	Tanque de agitación	21	23
XIII	Tanque de alimentación al extrusor	23	24
XIV	Extrusor	24	25
XV	Intercambiador	18	26
XVI	Separador de fases	26	28, 27
XVII	Tanque	29	30
XVIII	Secador	30	31, 32
XIX	Torre de adsorción	32	33
XX	Torre de adsorción	33	34
XXI	Tanque de almacenamiento	34	35
XXII	Intercambiador	8	40
XXIII	Separador	40	41
XXIV	Tanque de separación	45	46, 47
XXV	Tanque de almacenamiento	38	39
XXVI	Mezclador	13, 19	15
XXVII	Mezclador	1, 48	2
XXVIII	Divisor	43, 44	42

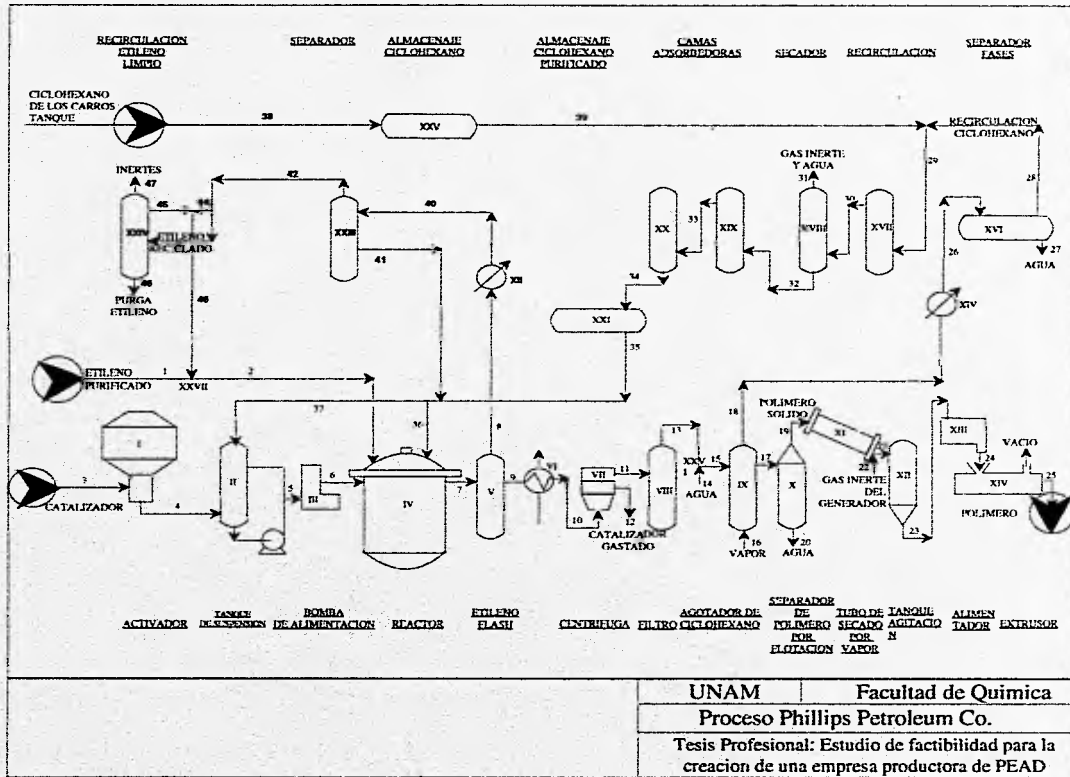


Figura 3.1

UNAM Facultad de Quimica  
 Proceso Phillips Petroleum Co.  
 Tesis Profesional: Estudio de factibilidad para la  
 creacion de una empresa productora de PEAD

## **b) Proceso BP-Chemicals Ltd. (Union Carbide) (5,21)**

*·Aplicación:* Es un proceso para obtener polietileno de alta, media y baja densidad, a partir de etileno y monómero en fase gaseosa.

### *·Descripción:*

El sistema de catálisis BP ofrece gran flexibilidad, y es posible usar un mismo catalizador para obtener una amplia variedad de productos con solo modificar las condiciones de operación para cada producto. Por ejemplo, con solo cambiar la relación de las presiones parciales, es posible obtener un intervalo mayor de densidades. También se pueden obtener diferentes pesos moleculares ajustando el flujo de entrada de hidrógeno (como se observa en las hojas técnicas con las especificaciones para la industria de los diferentes tipos de polietileno en capítulo 2).

El proceso de lecho fluidizado para la producción de PEAD fue desarrollado a finales de 1960 por la compañía Union Carbide, más tarde cambiaría a Naftachemie, actualmente BP Chemicals. A pesar de ser una tecnología innovadora, el proceso no ofrece ventajas económicas claras sobre los procesos en suspensión, sin embargo se observó, un rápido incremento en la construcción de plantas de lecho fluidizado.

Union Carbide anunció el proceso Unipol (en reactor de lecho fluidizado) para polietileno lineal de baja densidad en 1977. En este caso el proceso de lecho fluidizado compite con los procesos en solución y con los de alta presión pues presenta menores costos de operación y menos capital, principalmente en lo que corresponde a minimizar los costos de operación del reactor.

Muchas unidades de lecho fluidizado han sido construidas con un doble propósito, el de producir PEAD y PELBD, regulando su producción de acuerdo a la demanda. Los procesos de lecho fluidizado pueden producir polímeros en un amplio rango de densidades y de MFI (Índice de fluidez en fusión), debido a que está libre de diluyente a diferencia del proceso en solución.

Los intervalos de fluidez en fusión van de .01 hasta 100 en MFI y las densidades de 890 a 970 Kg/m<sup>3</sup> de polietileno.

El reactor tiene una forma característica, cuenta con una sección cilíndrica de menor diámetro, y una sección expandida de mayor diámetro de tal manera que la velocidad del gas sea reducida para permitir el ingreso de partículas al lecho. El diámetro del lecho es de 4 m. con una altura de trabajo de 10 m y una altura total del reactor de 30 m.

El nitrógeno gas entra al reactor a través de un plato distribuidor, este sirve para homogeneizar la distribución del gas en el flujo de entrada y para prevenir la caída del polvo dentro del reactor cuando el flujo del gas es detenido.

Las funciones del reactor de lecho fluidizado son parecidas a las del reactor de agitación continua, aunque presenta algunas ventajas como el tener una mejor transferencia de masa y el mantener una temperatura más homogénea en el interior del reactor.

En el proceso de lecho fluidizado, como el flujo es mayor en el centro y menor cerca de las paredes, esto ocasiona que la temperatura no sea homogénea en el interior del reactor. La temperatura de reacción oscila entre 80 y 100°C, dependiendo de la densidad del producto que se va a producir, y el rango de presión es de 0.7 a 2 MPa. Originalmente los procesos de bajas presiones utilizaban butano y hexano para permitir la condensación en la

corriente de recirculación, pero ahora se sabe que la condensación puede ser usada para incrementar el flujo de salida si sabemos que debido al elevado calor de vaporización de las olefinas líquidas, estas absorben más el calor de las partículas en polimerización.

La conversión por paso es de 2% en capacidad para polietileno de alta densidad, pero aumenta cuando se utiliza un comonomero (oleofina) en el modo condensado.

La localización del punto de alimentación del catalizador y de la salida del polímero es importante para minimizar la pérdida de partículas de catalizador.

Un filtro previene que las partículas finas de catalizador alcancen el enfriador y el compresor.

El polímero es removido del reactor utilizando una válvula programada para abrirse en intervalos de tiempo determinados dejando pasar el flujo del polímero a un ciclón removedor de polvos, ahí se recuperan y se recomprimen los residuos de monómeros. La principal corriente de recirculación contiene grandes cantidades de gas lo que ocasiona un pequeño aumento en la presión de esta corriente.

Debido a que el proceso opera cerca de la temperatura de fusión del polímero es necesario controlar la temperatura adicionando directamente el catalizador al reactor. En caso de detectarse una reacción alterna, se deberá inyectar un gas, por ejemplo el bióxido de carbono, para envenenar el catalizador.

La selección del catalizador es crucial para el éxito del proceso. La partícula del catalizador crece de 15 a 20 veces su tamaño inicial durante la polimerización. Otros factores que afectan la característica del flujo son el control de: el grado de polimerización y de grado de transferencia de calor,

ambos deben controlarse para prevenir la fusión de las partículas y evitar que se lleven a cabo reacciones alternas.

*Catalizador:* está basado en una micro esférica de sílica o  $MgCl_2$  con un tamaño de partícula cercano a los 50 micrómetros.

*Productos:* El polietileno puede tener densidades de 890 a 970  $Kg/m^3$  y con un índice de fusión de 0.05 a 100.

*Comonomeros:* Se utilizan  $C_3$ ,  $C_4$  o  $C_6$  con una familia de 4 metil penteno-1. Las características del polietileno obtenido, permiten usarlo en productos de alta resistencia, y es caracterizado por su apariencia, al igual que está libre de residuos.

Es usado en aplicaciones especiales donde la superficie fina es crítica.

*Plantas establecidas actualmente:* Una planta con producción de 40 000 ton/año, ha sido operada en Lavera (sur de Francia) desde 1975. Otra planta de 100 000 ton/año fue operada pagando regalías hasta 1985 .

*Materia prima y servicios:*

Los consumos mencionados son por tonelada de polietileno granulado.

PRODUCTOS	CANTIDAD
etileno y comonomero	1.020 tonelada métrica
catalizador	7.5 US\$
electricidad	165 kWh
vapor	0.3 toneladas
nitrogeno	50 $Nm^3$
agua de enfriamiento	4.5 $m^3$

Se puede observar el diagrama de flujo de proceso en la figura 3.2



Lista de equipos principales para el proceso BP Chemicals:

Número	Nombre	Corriente	
		Entrada	Salida
I	Tanque de preparación de catalizador	3	4
II	Reactor de lecho fluidizado	2, 20, 14	3, 12
III	Ciclón	12	15, 13
IV	Filtro	15	16
V	Filtro	5	6
VI	Intercambiador de calor	18	19
VII	Ciclón	6	8, 7
VIII	Ciclón	8	9, 10
IX	Compresor	1, 4	2
X	Compresor	17	18
XI	Válvula de suministro (Plato distribuidor)	19, 22	21
XII	Mezclador	39, 21	20
XIII	Mezclador	11, 16	17

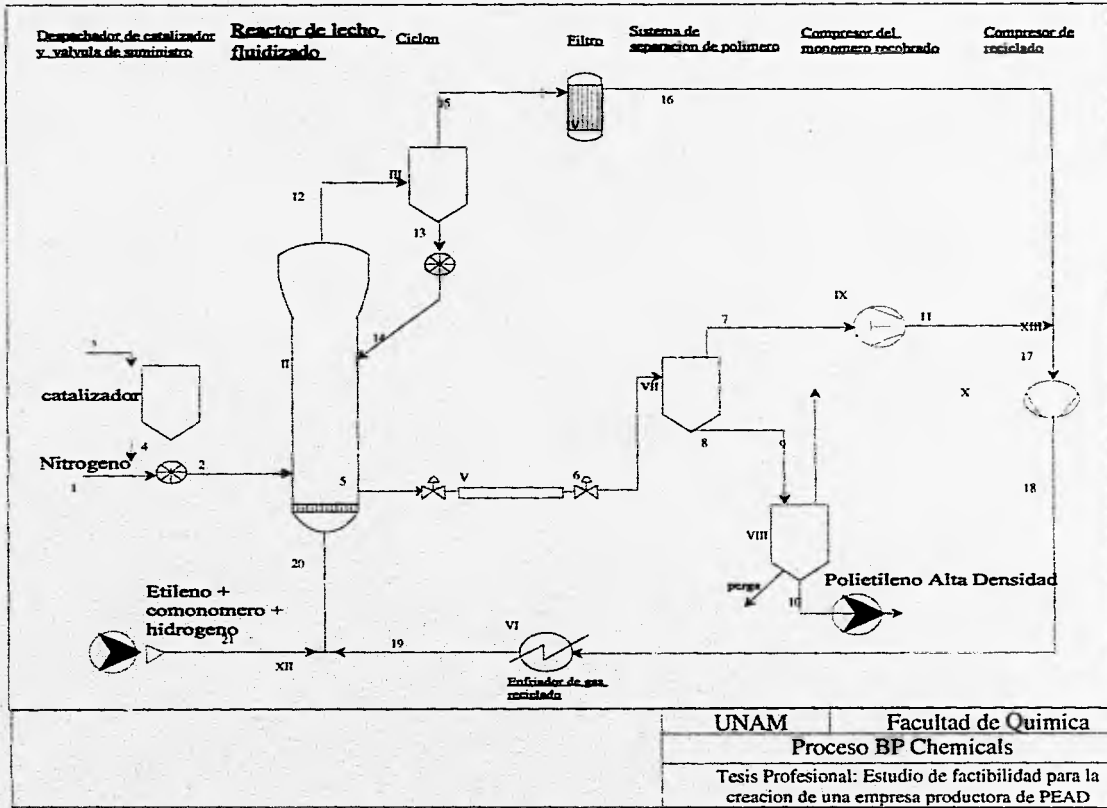


Figura 3.2

UNAM Facultad de Química

Proceso BP Chemicals

Tesis Profesional: Estudio de factibilidad para la creación de una empresa productora de PEAD

### c) Proceso Hoechst AG(5,9,21)

*·Aplicación:* Es un proceso para la fabricación de polietileno granulado de alta densidad. El proceso se realiza a baja presión utilizando como materia prima el etileno. Una de las ventajas de este proceso es que con pequeñas variaciones en el flujo de alimentación se pueden obtener diferentes tipos de PEAD.

*·Descripción:*

Este proceso tiene una eficiencia muy alta, aproximadamente del 99% de conversión.

La presión empleada en este proceso es de 0.5 a 1 MPa , esta presión es baja, lo que permite el uso de reactores de gran capacidad. La temperatura de reacción es de 80 a 90°C en el reactor. El diluyente es un hidrocarburo de bajo punto de ebullición cercano al del hexano.

El catalizador se prepara en un tanque de mezclado que contiene un álcali de aluminio con diluyente, manteniendo la mezcla en suspensión para después ser alimentada al reactor.

El volumen del tanque de alimentación debe ser calculado de manera que cumpla con los requerimientos de alimentación del reactor para la polimerización. La mezcla de reacción, se lleva a un reactor (equipo III) donde el etileno disuelto es consumido casi completamente evitando la recirculación del etileno.

Un importante parámetro del proceso es la concentración de la suspensión. Una concentración alta permite grandes salidas de polímero de acuerdo al volumen del reactor, aunque con ello se aumente la transferencia de calor que implica el uso de un sistema de enfriamiento externo y dificulta el mezclado. La máxima concentración de la suspensión depende de diversos factores, como son el tipo de solvente, la forma y el tamaño de la partícula, pero,

principalmente la densidad de las partículas del polímero en el lugar de más alta concentración de catalizador en suspensión. Las concentraciones de la suspensión varían de 15 a 45% en peso de catalizador. Muchas patentes reportan valores de 30 a 35% en peso de catalizador en un diluyente pesado.

La suspensión en la salida del reactor (equipo IV) pasa a una centrífuga para remover la mayor parte del diluyente, el cual es recirculado directamente al reactor (equipo III). El diluyente recirculado contiene álcali de aluminio y comonomero, si esta corriente tiene un flujo alto se debe considerar en la alimentación del reactor.

El polímero que sale de la centrífuga (equipo V) se pasa por un secador de lecho fluidizado, en donde por medio de una corriente de nitrógeno caliente se remueve el diluyente. Además el diluyente es condensado en el equipo VII para ser recirculado al reactor (equipo III). La corriente de nitrógeno se separa en el equipo VII, para después ser comprimido y así entrar al secador de lecho fluidizado.

Antes de entrar al extrusor donde se formaran los gránulos, se añaden aditivos que estabilizan el polietileno y eliminan residuos de catalizador. También se agregan antioxidantes.

Es conveniente tener una bomba que genere presión suficiente para la granulación. Después debe ir un extrusor que fusione el polímero. Esta combinación tiene un requerimiento bajo de energía.

*Plantas establecidas actualmente:* Se han reportado la existencia de plantas con capacidades que varían desde 45,000 hasta 900,000 ton/año. Esto muestra que el proceso ofrece una gran flexibilidad.

*Materia prima y servicios:*

Los consumos mencionados son por tonelada de polietileno granulado

PRODUCTO	CANTIDAD
etileno y comonomeros	1.015 tonelada métrica
diluyente hidrocarburo	9.0 kg
catalizador	7-8 US\$
vapor	500 kg a 5 bar
electricidad	430-600 kWh
agua de enfriamiento	165 m <sup>3</sup>
nitrógeno	35 Nm <sup>3</sup>

Se puede observar el diagrama de flujo de proceso en la figura 3.3

Lista de equipos principales para el proceso Hoechst:

Número	Nombre	Corriente	
		Entrada	Salida
I	Tanque de preparación de catalizador	3	4
II	Mezclador	1, 2	3
III	Reactor	4, 5, 14	6, 19
IV	Reactor	6	7
V	Centrifuga	7	8
VI	Secador de lecho fluidizado	8, 16	9, 13
VII	Condensador	13	14, 15
VIII	Compresor	17	16
IX	Extrusor	10	11
X	Mezclador	9, 12	10
XI	Mezclador	15, 18	17

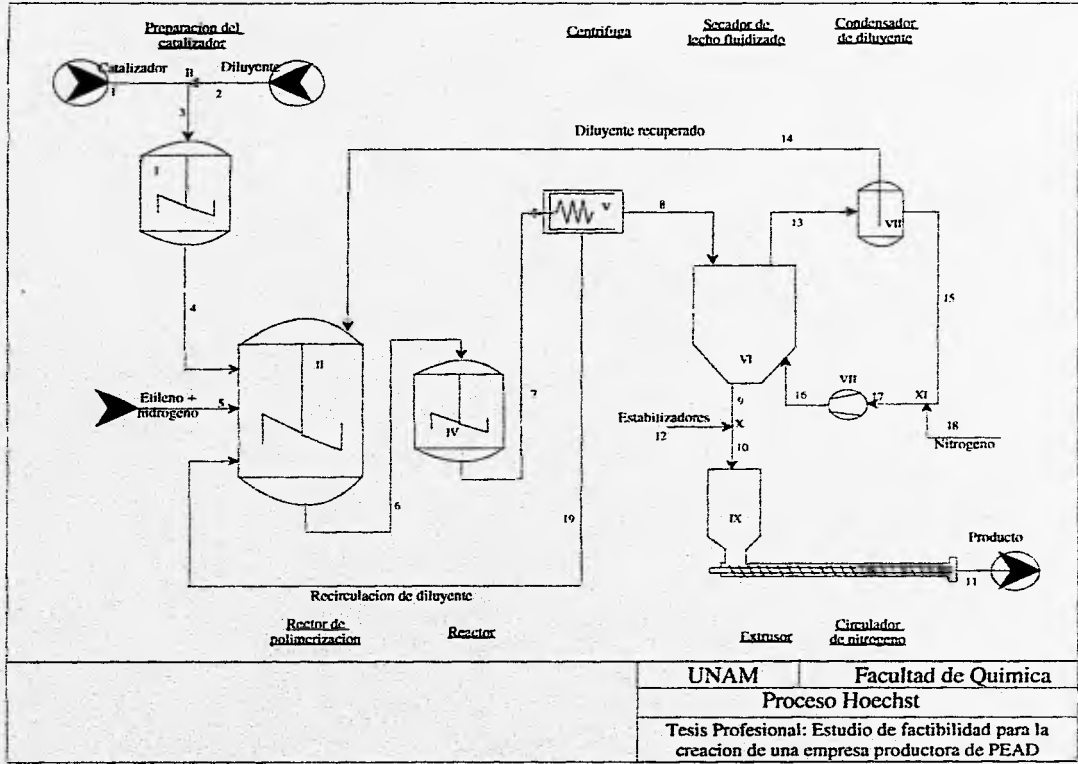


Figura 3.3

### 3.3. MATERIAS PRIMAS

Las materias primas utilizadas para los tres procesos analizados, son básicamente las mismas. Todos los procesos deben partir de etileno, las variaciones son en cuanto a las características del catalizador.

Se tienen además inertes como el nitrógeno (proceso Hoechst) y  $\text{CO}_2$  (proceso Phillips) (20,21)

#### a) Características de la Materia Prima

##### Etileno

Especificaciones de pureza del etileno para la mayoría de los procesos de polimerización. (22)

$\text{C}_2\text{H}_4$	>99.9 % en vol
$\text{CH}_4, \text{C}_2\text{H}_6, \text{N}_2$	<1000 vol ppm
Olefinas + diolefinas	<10 vol ppm
Acetileno	<2 vol ppm
$\text{H}_2$	<5 vol ppm
CO	<1 vol ppm
$\text{CO}_2$	<1 vol ppm
$\text{O}_2$	<5 vol ppm
Alcoholes (como metanol)	<1 vol ppm
$\text{H}_2\text{O}$	<2.5 vol ppm
Azufre	<1 vol ppm
Sulfuri carbónico	<1 vol ppm

Las principales impurezas para los procesos Hoechst y Phillips son aquellas sustancias que puedan envenenar el catalizador, como lo es el hidrógeno para el catalizador Phillips.

La primer planta productora de polietileno construida por ICI utilizaba etileno producido a partir de la deshidratación del etanol. La moderna producción de polietileno está basada en la reformación térmica de hidrocarburos a 850 °C. (5) Debido a la disponibilidad de materias primas en Norteamérica se utilizan corrientes de etano, mientras que en Europa se utilizan corrientes con nafta. Las plantas en la actualidad producen etileno de alta calidad. Este en muchos casos es apropiado para la polimerización sin necesidad de un proceso de purificación.

En Norteamérica y Europa los productores distribuyen el etileno, de acuerdo a los requerimientos de la industria, a través de una red de tuberías que conecta las plantas de polimerización.

En el caso de que el proceso a utilizar requiera de catalizadores muy sensibles, como el del proceso Phillips, se necesita de un proceso de purificación de etileno para asegurar que no exceda los niveles máximos permitidos de impurezas.

#### **Aditivos(4,5)**

Varios materiales son adicionados al polietileno de la corriente de salida del reactor para proteger o modificar sus propiedades, estos son llamados aditivos. El tipo y la cantidad varían ampliamente dependiendo del tipo de polietileno que se va a producir y de su aplicación.

Los antioxidantes son un tipo de aditivos que deben ser añadidos en pequeñas cantidades para inhibir o retardar la oxidación y con ello la degradación del polímero.

Fosfitos y/o estearatos pueden ser agregados para mejorar el proceso y estabilizar la temperatura.



## **b) Disponibilidad**

En México existe amplia disponibilidad de materia prima y otros productos necesarios para la producción de polietileno alta densidad. En principio, no existe la necesidad de importar la materia prima más importante, el etileno; Petróleos Mexicanos lo produce en suficientes cantidades satisfacer la demanda interna. (35,39)

Por otro lado es importante considerar que esta compañía es la única productora de etileno en México, por lo que se debe que prever la cantidad máxima de vente etileno a empresas privadas.

Para la disponibilidad de catalizadores como el óxido de cromo y el trióxido de molibdeno e incluso óxidos de titanio, en México no hay problema, también son producidos en el país por varias compañías químicas, por ejemplo ECSACROM de México. (36)

## **c) Presentación de la materia prima**

Etileno: Es ofrecido en fase líquida a  $-25^{\circ}\text{C}$  por medio de transportación criogénica. (39)

Catalizadores: ( $\text{CrO}_3$ ,  $\text{MoO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MgCl}_2$ ), en fase sólida, y entregados en costales de aprox. 50 kg., esta es la única presentación. (36)

Nitrógeno: En fase líquida y es entregado en tanques o pipas.

Diluyente: (generalmente Xileno o hexano), en fase líquida y entregado en barriles de 200 litros o bien en pipas.

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

#### **d)Seguridad: Manejo y Almacenamiento**

Etileno: es almacenado en grandes tanques criogénicos de doble pared, de ellos salen las líneas que van primero al proceso de acondicionamiento para después entrar al proceso de polimerización. Este recorrido es por medio de tuberías, y por lo tanto el etileno no está en un contacto directo con el personal. (23)

El tanque de almacenamiento debe estar en una zona en la cual esté estrictamente prohibido fumar y no deben almacenarse junto a este tanque otros productos con los cuales pudiera reaccionar violentamente.(23)

Catalizadores: deben ser almacenados en áreas bien ventiladas y protegidas. Para su manejo, los trabajadores requerirían guantes, mascarillas y lentes protectores para sus ojos.

Diluyentes: almacenados en tanques, los cuales deben estar debidamente etiquetados con la información de flamabilidad y primeros auxilios correspondiente, en un área bien ventilada y lejos de cualquier producto con el que pudieran reaccionar violentamente.

Nitrógeno: almacenado en tanques, los cuales deben estar debidamente etiquetados como gas peligroso depositados en un área ventilada y lejos de cualquier producto con el que pudieran reaccionar violentamente.

### **3.4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS PROCESOS ANALIZADOS.**

#### **VENTAJAS DEL PROCESO BP CHEMICALS**

- La presión a la que opera el reactor es de 15 a 30 bares.
- El rango de temperatura en el reactor es bajo, de 60 a 110 °C.
- Se puede obtener polietileno de alta, media y baja densidad.
- El producto sale del reactor sin contaminantes como catalizador e hidrocarburos.
- El catalizador, por ser de alta actividad, se tiene una gran homogeneidad en el lecho del reactor. Se controla mejor la temperatura.
- El sistema de catálisis BP ofrece gran flexibilidad, con algunas modificaciones en las condiciones de operación, obtener productos de diferentes densidades.
- La corriente de alimentación de etileno no requiere de un proceso de purificación muy eficiente, pues la utilización de olefinas en la corriente de etileno sirve a la vez como control de peso molecular del polímero.
- No necesita eluyentes ya que las materias primas se encuentran en fase gaseosa.
- Operación de purificación del polímero sencilla.

#### **DESVENTAJAS DEL PROCESO BP CHEMICALS**

- El producto a la salida del reactor contiene un gas asociado que hay que remover por medio de un desgasificador.
- El catalizador tiene un alto costo y difícil de conseguir.
- Difícil manejo de las condiciones de las corrientes de alimentación de la materia prima.
- La tubería y el sistema de bombeo son especiales debido a que manejan corrientes que contienen hidrógeno (altamente explosivo).
- Requiere de un sistema de recirculación para tratar el gas que es removido del polietileno alta densidad que sale del reactor.

#### VENTAJAS DEL PROCESO HOECHST AG

- La eficiencia del proceso es de 99%
- Opera a bajas presiones, aproximadamente 10 bares
- La temperatura de reactor es baja, entre 80 y 90 °C
- Los reactivos reaccionan en suspensión ayudando a controlar la temperatura y la presión
- Se utiliza un catalizador de alta actividad . Al aumentar la producción no es necesario aumentar la misma proporción en la cantidad del catalizador.
- No requiere de sistemas de recirculación de materia prima debido a su alta eficiencia.
- No se tiene un alto gasto de diluyente debido a que se recicla.
- No es necesario remover el catalizador debido a que se consume casi en su totalidad.
- Es un proceso muy flexible y permite aumentar la capacidad de producción con algunos cambios en la operación.

#### DESVENTAJAS DEL PROCESO HOECHST

- Solo produce polietileno alta densidad.
- El catalizador no se regenera, sale del proceso.
- Requiere un estricto control de temperatura en el reactor.
- El equipo de secado es muy costoso utiliza nitrógeno y necesita de un relevo cuando requiera mantenimiento.

#### VENTAJAS DEL PROCESO PHILLIPS

- El catalizador utilizado en este proceso se encuentra fácilmente en el mercado comercial.
- Los reactivos reaccionan en suspensión ayudando a controlar la temperatura y la presión
- No se tiene un alto gasto de diluyente debido a que se recicla.
- El etileno que no reacciona es recirculado.
- El manejo de las corrientes, es relativamente sencillo pues el polímero sale del reactor diluido y no se maneja el polímero en fase sólida.

- No requiere un control estricto en la alimentación, la recirculación y tratamiento de purificación de las materias primas permiten un margen de error.

#### DESVENTAJAS DEL PROCESO PHILLIPS

- Requiere de equipo especial para preparar el catalizador antes de entrar al reactor
- El producto final necesita un tratamiento para separar trazas de reactivos, por lo tanto se requiere de equipo extra con respecto a otros procesos.
- La presión necesaria para la polimerización en el reactor es alta.
- Para la recirculación del etileno que no reacciona se requiere de equipos adicionales.

### 3.5. ANÁLISIS DE LA ZONA DE REACCIÓN

Para hacer una buena elección del proceso de producción de PEAD, es necesario analizar las diferencias entre las zonas de reacción de los procesos. Para esto necesitamos conocer los diferentes tipos de reactor utilizados para la producción de polietileno.

La zona de reacción en los tres procesos que se evalúan, difieren en el estado físico de la materia prima que entra al reactor. Por ejemplo la polimerización es por suspensión en los procesos Hoechst y Phillips y en fase gaseosa en el proceso BP Chemicals. Esto influye en las características del reactor de cada proceso, es decir, si el reactor debe ser de lecho fluidizado como el usado en el proceso BP Chemicals o de flujo tubular de tres fases en sistema de suspensión como los que son usados en los procesos Hoechst y Phillips.

**Reactor de lecho fluidizado.** (12,13) En la mayoría de los reactores catalíticos de lecho fluidizado, el fluido es un gas y las condiciones normales de operación consisten en un régimen de burbujeo. En este régimen, el gas se desplaza a través del reactor de dos maneras: como "burbujas", que contienen

pocas partículas de sólidos, que se mueven con más rapidez que la velocidad promedio; y en base continua "densa" o de "emulsión" en la que la concentración de sólidos es alta. Una de las características importantes de los reactores de lecho fluidizado, es que se logra uniformidad de temperatura en casi todo el reactor, resultado del mezclado en fase emulsión. Este mezclado depende de las burbujas de gases y del área de transferencia de calor por unidad de masa del catalizador que se utilice. En este caso el catalizador tiene una gran área de transferencia de calor. Esta misma área está disponible para la transferencia de masa. Por consiguiente, las diferencias de temperatura y concentración entre el fluido y la superficie de la partícula suelen ser insignificantes.

Una característica importante de los reactores de lecho fluidificado es la casi total uniformidad de la temperatura que se logra en todo el reactor, esto se debe al mezclado en fase emulsión, causado por las burbujas de gases y a la gran área de transferencia de calor por unidad de masa de catalizador. (11) (figura 3.4)

Algunas dificultades que se presentan en los reactores de lecho fluidizado son las siguientes: (13)

- a) Formación de grandes burbujas del gas que pasa a través del lecho.
- b) Formación de canales preferenciales, lo que significa que no se logra mezclar adecuadamente el gas con el sólido.
- c) Reacción del catalizador con la consiguiente pérdida del mismo.
- d) Corrosión de los materiales de construcción del reactor y tuberías.

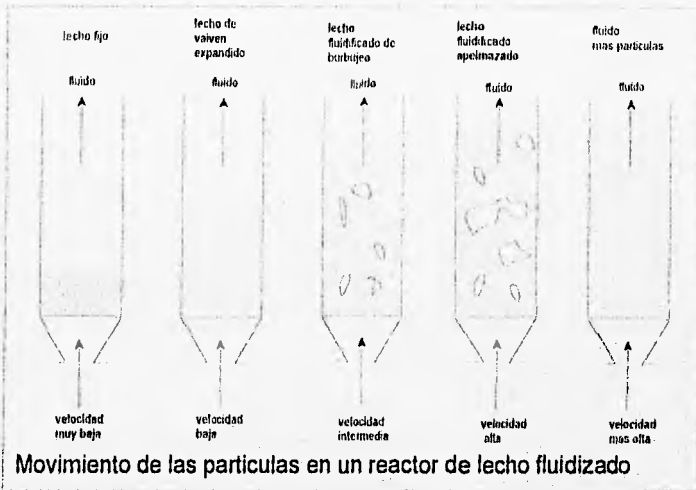
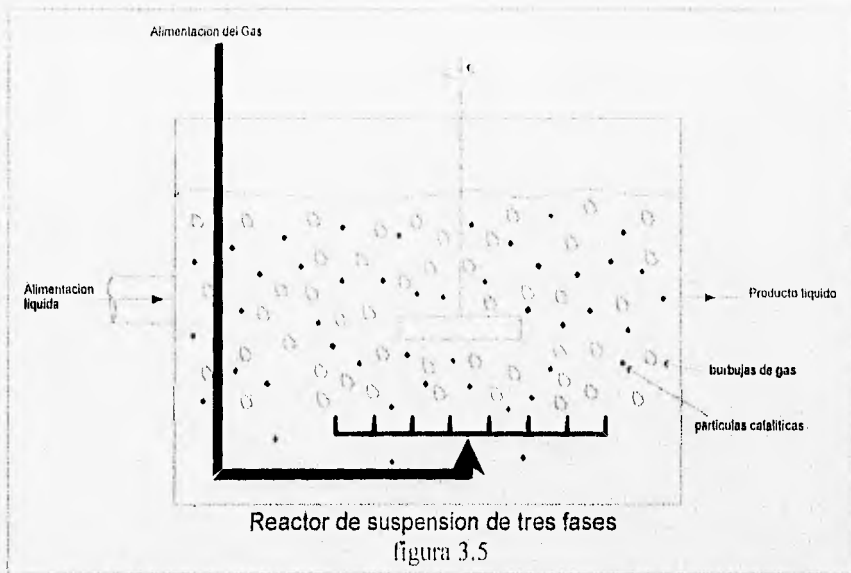


figura 3.4

**Reactor de suspensión**(12,13)(figura 3.5). Cuando existen reactantes volátiles y no volátiles, o cuando se requiere de un disolvente líquido para reactantes gaseosos, se necesitan reactores de tres fases. Un ejemplo de estos reactores es la polimerización de etileno, en una suspensión con partículas en estado sólido en ciclohexano líquido. En el reactor de suspensión de tres fases, la fase gaseosa se dispersa en forma de burbujas en el fondo de un recipiente tubular que se eleva a través de la fase líquida utilizando dispositivos para la adecuada distribución del gas. El reactor puede operar con régimen continuo como sistema de flujo estable con respecto a las fases gaseosa y líquida. La característica distintiva de un reactor en suspensión es que existen partículas pequeñas ( $\sim 100\mu$ ) de catalizador suspendidas en un líquido.



### Diferencias entre los reactores: (13)

- En el reactor de lecho fluidizado se trabaja con dos fases, sólida y gas ; la fase gas es el etileno que se alimenta con una pequeña cantidad de comonomero que puede ser propeno, y la fase sólida es el catalizador, que generalmente son de alta actividad con titanio y magnesio; el reactor catalítico de tres fases o reactor en suspensión , trabaja con el catalizador en suspensión en un diluyente como el ciclohexano, y el gas es el etileno purificado.
- La corriente de salida del reactor en suspensión contiene polietileno en polvo suspendido en el diluyente, por lo que tiene seguir un proceso de secado para eliminar el ciclohexano y purificar el polímero; mientras que la corriente de salida del reactor de lecho fluidizado contiene polietileno



en polvo acompañado de un gas, lo que implica el uso de un desgasificador.

- La diferencia principal entre los dos reactores es el poco movimiento relativo entre las partículas y el fluido en el reactor de suspensión aún cuando el fluido se agite mecánicamente para la mejor dispersión de las burbujas en el reactor.

### **3.6. COMPARACIÓN TÉCNICA**

#### **Parámetros, escalas y criterios de comparación**

La comparación técnica se realizó a través del método de evaluación horizontal - vertical, por medio de cuadros comparativos entre las variables más importantes para cada proceso. Los cuadros de resultados de la evaluación técnica se presentan a continuación con el siguiente formato:

1. Concepto (renglones). Es la variable o parte del proceso a comparar y evaluar.
2. Proceso (columnas). Es el proceso químico que se está analizando, aquí aparecen las calificaciones de cada concepto.
3. Importancia o prioridad . Se listarán los conceptos empezando por el más importante, o bien se dará un número para señalar el concepto al que debe darse mayor atención en cada proceso, el más importante se marcará número uno y así sucesivamente..
4. Escala. (calificación al concepto). Es la escala de valores que se fija para evaluar el concepto. Esta se fija de acuerdo a la importancia del concepto dentro de cada proceso. La suma de las calificaciones otorgadas a los conceptos determinará cual será el mejor proceso, que será el que obtenga una mayor puntuación.
5. Criterio. Se trata de utilizar un criterio de Ingeniería de Procesos, que implica observar todos los factores que intervienen y afectan en un proceso de obtención de un producto químico.

En los cuadros de la evaluación horizontal-vertical, se explica brevemente la importancia de los conceptos para los procesos y con base en la calificación máxima total obtenida, se elige el proceso técnicamente más factible. A continuación se explica brevemente los conceptos básicos que intervienen directamente en los procesos.

*Presión:* esta es una variable directa de proceso pues para cada uno existen diferentes requerimientos de presión, es decir, una complejidad técnica diferente y una variación en los costos de equipos. El costo de operación se incrementa considerablemente cuando se trabaja con presiones altas en el proceso de producción. Por esto es una variable importante para seleccionar el proceso.

*Temperatura:* es una importante variable termodinámica para seleccionar el mejor proceso, aunque no con tanto peso como la variable de presión. A temperatura requerida se puede obtener del calor cedido por el vapor saturado (300°F) que puede obtenerse de calderas; de manera que no se incrementan los costos de los equipos para los diferentes procesos.

*Eficiencia:* Se refiere al porcentaje de conversión de la materia prima en producto final indicando el grado de aprovechamiento de recursos. Dependiendo de este porcentaje sabremos si el producto final necesita de un tratamiento posterior para remover materia no deseada o impurezas.

*Flexibilidad del proceso:* es siempre una buena opción el contar con alternativas de producción realizando cambios mínimos en el proceso.

*Tiempo de reacción:* Los procesos evaluados son continuos, es decir, la materia prima es alimentada constantemente y, por lo tanto, al igual que la obtención del polímero del reactor también es constante.

*Fase (de manejo de la materia prima):* Es preferible, para este tipo de procesos el manejar la materia prima en estado gaseoso o líquido porque de esta manera se facilita su alimentación al reactor y es menos costoso.

*Disponibilidad:* Es sumamente importante para cualquier proceso el contar con la materia prima a tiempo y en las cantidades adecuadas para poder cumplir con la producción calculada.

*Tratamiento de la materia prima:* Lo óptimo en este tipo de procesos es que la materia prima reciba el tratamiento más corto posible antes de entrar al reactor y de preferencia, que sea nulo. La preparación de la materia prima para dejarla libre de contaminantes representa un gasto adicional no deseable.

*Tratamiento de producto:* Se refiere a la separación del producto final (polietileno) de restos de materia prima. Para esto se requiere de equipo adicional, lo que eleva el costo del producto.

*Recuperación y re-uso de la materia prima:* es importante que, de existir recuperación de materia prima, se recircule y volverse a usarse dentro del proceso.

*Cantidad total de equipos utilizados:* El criterio en éste punto es que a menor número de equipos y operaciones unitarias para obtener un producto dentro de un proceso, mejor es el proceso.

*Seguridad:* se refiere al riesgo de accidentes . Cuanto más compleja es una planta, mayor es el riesgo que se tiene en ella. Existen muchos otros factores que aumentan el riesgo de accidentes en una planta; un ejemplo son: altas presiones y temperaturas de operación, la flamabilidad y toxicidad de materias primas y productos, entre otros.

## EVALUACIÓN TÉCNICA

### DATOS TÉCNICOS

#### Reactor

presión (bar)	7--35	15-30	10
temperatura (°C)	100-150	60-100	80-90
eficiencia (%)	97	98	98
fase (manejo de materia prima)	gas-líquido	gas-sol.	gas-líquido
tiempo de reacción	continuo	continuo	continuo
tipo	Suspensión	Lecho fluidizado	Suspensión

Evaluación técnica (Horizontal-Vertical) para la materia prima.

#### Etileno (materia prima principal)

materia prima	Phillips	BP	Hoechst	Prioridad	escala	criterio :
acondicionamiento	10	10	10	1	0-10	menor tratamiento para entrar al reactor
fase	8	8	8	2	0-8	debe ser igual a como entra al proceso
disponibilidad	10	10	10	3	0-10	disponer siempre cantidad suficiente
recuperación	4	4	5*	4	0-5	recuperar el sobrante de la reacción
<b>puntos totales:</b>	<b>32</b>	<b>32</b>	<b>33</b>			

\*nota: en este proceso no es necesario recuperar etileno pues se consume en la reacción más del 99%, por lo que se le otorga la máxima puntuación. En los otros procesos se requiere de sistema de recirculación.

Evaluación técnica (Horizontal-Vertical) para los catalizadores.

**Catalizador**

materia prima	Phillips	BP	Hoechst	Prioridad	escala	criterio :
acondicionamiento	1	2	1	3	0-3	menor tratamiento para entrar al reactor
fase	0	0	0	5	0-1	debe ser igual a como entra al proceso
recuperación	3	*5	*5	2	0-5	recuperar el sobrante de la reacción
disponibilidad	10	8	10	1	0-10	disponer siempre cantidad suficiente
regeneración	2	0	0	4	0-2	volver a ser usado
puntos totales:	16	15	16			

\*nota:en este proceso no es necesario recuperar el catalizador pues se consume en la reacción, por lo que se le otorga la máxima puntuación. En el proceso Phillips se requiere de sistema de recirculación.

Evaluación técnica (Horizontal-Vertical) para el diluyente.

**Diluyente**

materia prima	phillips	BP	hoechst	Prioridad	escala	criterio:
acondicionamiento	3	2	2	4	0-3	menor tratamiento para entrar al reactor
fase	3	3	3	5	0-3	debe ser igual a como entra al proceso
disponibilidad	10	10	10	1	0-10	disponer siempre cantidad suficiente
recuperación	3	5	4	2	0-5	recuperar el sobrante de la reacción
regeneración	5	5	5	3	0-5	volver a ser usado
puntos totales:	24	25	24			

## EVALUACIÓN TÉCNICA (Horizontal-Vertical)

concepto				prioridad	escala	critério:
presión	6	8	10	1	0 a 10	menor presión en el reactor
temperatura	5	6	7	2	0 a 7	menor temperatura en el reactor
eficiencia	6	7	7	3	0 a 7	mayor eficiencia de reacción
flexibilidad del proceso	0	5	0	4	0 a 5	cantidad de productos que pudieran ser obtenidos del proceso con modificaciones mínimas
tiempo de reacción	#	#	#	5	0 a 7	*menor tiempo de reacción
fase (manejo)	2	2	3	6	0 a 3	líquido(3ptos.), gas(2ptos), sólido (1pto.)
disponibilidad(mat. prima)	7	4	5	7	0 a 5	disponer siempre de cantidad suficiente
catalizador	0	0	0	8	0 a 3	la reacción no utilice catalizador
tratamiento(mat. prima)	4	5	5	9	0 a 5	menor tratamiento antes de entrar al reactor
tratamiento (producto)	2	4	4	10	0 a 4	eliminar del producto la mat. prima sin reaccionar (es mejor sin tratamiento alguno)
recuperación y reuso (de la materia prima)	4	2	1	11	0 a 4	recuperar y reuso en el proceso de la materia prima
cantidad de equipos-utilizados (totales)	1	2	3	12	0 a 3	menor cantidad de equipos utilizados en todo el proceso
seguridad (proceso)	1	2	2	13	0 a 2	menor riesgo de accidentes
toxicología (mat. primas)	2	1	2	14	0 a 2	mat. primas menos tóxicas

nota: \* por ser un proceso continuo, no se toma en cuenta este valor.

## **Resultado de la evaluación técnica.**

A partir de las características que presenta cada proceso, se elige el proceso Hoechst por su factibilidad técnica ya que este proceso ofrece en conjunto mejores características que los otros. En seguida se presenta los resultados de la evaluación técnica:

*Presión:* En esta variable de proceso, fue Hoechst el proceso que obtuvo la mejor puntuación. Calificando más alto una presión baja en el reactor para llevar a cabo la polimerización.

*Temperatura:* Los mejores fueron Hoechst y BP Chemicals. Ambos procesos presentan las temperaturas más bajas de operación.

*Eficiencia:* Dentro de los procesos analizados, solo el proceso Hoechst no requiere de sistemas de recirculación para el etileno lo que significa que el porcentaje de conversión es muy bueno, el diluyente es recirculado porque no pierde sus propiedades por lo tanto resulta más económico. El proceso BP Chemicals tiene una recirculación del etileno por no polimerizar completamente y el proceso Phillips tiene recirculaciones tanto de etileno como de diluyente. Lo anterior indica que el mejor proceso en este concepto es el Hoechst.

*Flexibilidad del proceso:* Para el caso del proceso BP Chemicals se podría producir polietileno en sus tres tipos (alta, media y baja densidad), con solo cambiar la cantidad de catalizador y el flujo de comonómeros.

*Fase (de manejo de la materia prima):* En este punto los procesos Phillips y Hoechst manejan corrientes en fase líquida y gas, mientras que el BP Chemicals utiliza corrientes en la alimentación en fase sólida y líquida

*Disponibilidad:* Todos los procesos evaluados para la obtención de polietileno parten del etileno. El catalizador para el proceso Phillips no es

difícil de conseguir pues en México se cuenta con distribuidores de éste catalizador, los catalizadores para los procesos Hoechst y BP Chemicals, no son de uso tan común, pero si existen empresas que los distribuyan.

*Tratamiento de producto:* Los procesos BP Chemicals y Hoechst, son los que demandan menos requerimientos para la remoción de restos de materia prima, esto tiene una relación directa con la eficiencia de reacción de cada proceso.

*Recuperación y re-uso de la materia prima:* El proceso Hoechst obtiene un valor alto en calificación debido a la eficiencia en la reacción y por lo tanto no es necesario remover ni etileno ni catalizador del producto final, solo se debe remover el ciclohexano que es el diluyente; el BP Chemicals recircula el etileno que no reaccionó completamente en la zona de reacción. El proceso Phillips recircula etileno y diluyente de la corriente de salida del reactor.

*Cantidad total de equipos utilizados:* Los mejores procesos en éste aspecto son el BP Chemicals y el Hoechst.

A partir de la evaluación horizontal-vertical realizada, podemos elegir como el mejor proceso al Hoechst. Las características que presenta en la zona de reacción, que lleva a cabo la polimerización en un reactor de suspensión, que permite el manejo del catalizador y del polietileno en fase líquida facilitando su posterior manejo con operaciones sencillas tal como lo es el secado que se utiliza para separar el polietileno del diluyente después de salir del reactor.

Es importante señalar que el proceso BP Chemicals también es un proceso muy competitivo aunque no haya sido seleccionado debido a que presenta dificultades técnicas, tal como manejar un reactor de lecho fluidizado que demanda mayor atención que un reactor en suspensión.



## **CAPÍTULO 4**

### **PROPUESTA DE UNA EMPRESA PRODUCTORA DE PEAD**

## **CAPITULO 4**

### **PROPUESTA DE UNA EMPRESA PRODUCTORA DE PEAD**

En este capítulo se propone una empresa productora de polietileno de alta densidad (PEAD); con base en los datos del estudio de mercado se propondrá la capacidad de la planta. Este estudio se complementa con el estudio técnico, en el cual se seleccionó el proceso más adecuado para la producción del polímero. Se hace mención de los requisitos básicos para el establecimiento de dicha planta como unidad económica productiva, al tiempo que se listarán algunos de los principales proveedores de las materias primas y de los principales consumidores potenciales. También se tratan opciones alternas como lo es una planta de reciclaje de desechos de polietileno.

De acuerdo con los objetivos planteados al principio de esta tesis, se demostrará que es posible dar cabida a una empresa en México, lo que provocara una disminución en la importación de este producto y fomentará el uso en industrias que ya lo utilizan como materia prima aumentando la cantidad y diversidad de productos finales hacia el consumidor.

Definitivamente el polietileno tiene un amplio mercado por desarrollar, a pesar de que en México aún no se promueve en todas las personas la idea de consumir productos reciclados, por la introducción y aceptación de productos como el aluminio y el papel es conveniente no descartar definitivamente la opción de que la empresa productora de polietileno pueda reciclarlo.

#### **4.1. EMPRESA PRODUCTORA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD**

En el mercado del polietileno existen dos grandes divisiones: el mercado del polietileno de alta densidad (PEAD) y el del polietileno de baja densidad (PEBD). El polietileno de alta densidad presenta gran diversidad de uso, como materia prima se puede utilizar en la fabricación de objetos que por medio de métodos de moldeo (como son: inyección, soplado y extrusión), salen al mercado en forma de: juguetes, carreolas, recipientes para alimentos, tuberías, defensas para maquinaria agrícola, tarimas, cubetas de uso industrial, jeringas, etc.(38)

Se propone la creación de una empresa flexible en cuanto a las características del producto final, para, de esta manera lograr una mayor penetración en varios mercados pequeños a la vez, pues cada uno presenta necesidades distintas. Esta diversidad de productos se logra gracias a las bondades del proceso, entre ellas está el permitir pequeñas variaciones en la densidad del polietileno cuya ventaja es la obtención de cualidades distintas y por lo tanto productos diferentes.

Esta empresa deberá producir cinco tipos de polietileno de alta densidad partiendo de valores que van desde  $0.955 \text{ g/cm}^3$  hasta  $0.965 \text{ g/cm}^3$ . Rango que permite obtener gran variedad de productos para así abarcar la mayor parte de los mercados existentes en México para el PEAD; para lograr satisfacer esta demanda se necesita producir 100,000 toneladas por año.

La empresa que se propone producirá polietileno que es un producto petroquímico y se espera tener un mercado de libre competencia debido a la apertura que se esta dando en el mercado nacional con la venta de plantas petroquímicas por parte de PEMEX, así como facilidades de compra de la materia prima (etileno) a los futuros dueños de las petroquímicas de PEMEX, como a otras empresas que busquen incorporarse al ramo de los polímeros.

Las grandes plantas de petroquímicos de PEMEX surtían de polietileno a las empresas distribuidoras del polímero, quienes a su vez vendían la materia prima a los productores de plástico moldeado. Las grandes empresas son las primeras en recibir el polietileno, mientras que las pequeñas empresas carecen, en ocasiones, de un pronto abastecimiento además de recibir el producto (materia prima) a un precio más alto. Es precisamente este sector del mercado el que se debe cubrir, abasteciendo de polietileno a las industrias productoras de plástico.

## **4.2. REQUISITOS PARA ESTABLECER UNA EMPRESA PRODUCTORA DE PEAD**

El polietileno no entra en los petroquímicos básicos ni secundarios según la reclasificación de productos petroquímicos hecha por el Gobierno de la República, publicada el 17 de agosto de 1992 en el Diario Oficial de la Federación, los cuales pueden ser elaborados indistintamente por el sector público o privado sin requerir autorización alguna de la Secretaría de Energía. Por lo anterior, los requisitos fiscales para el establecimiento de esta empresa serán los requeridos por la Secretaría de Hacienda para una empresa química.

Se recomienda crear una Sociedad con características de Sociedad Anónima, por las ventajas que esta sociedad presenta:

1. deben existir tres socios mexicanos como mínimo, mismos que aportarán el capital.
2. Se registrarán como sociedad anónima ante un notario público el cual dará forma legal a la empresa, (tal como lo dicta la ley de sociedades mercantiles).

Así quedará estipulada la actividad empresarial que será lo mayor posible para futuras expansiones de la producción de productos petroquímicos, así como la compra-venta, exportación e importación de los mismos. Esta

empresa debe darse de alta en el municipio de la localidad correspondiente a la localización de la planta.

Una vez localizado el lugar donde se desea establecer la planta se debe hacer un estudio de impacto ambiental, que se presentará la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca para obtener el permiso de uso de suelo que se exige y una vez hecho esto, si es aprobado, la Secretaría expedirá el permiso correspondiente.

Otro de los requisitos consiste en notificar de la existencia de la planta a la Secretaría de Salud para que esta haga una revisión del lugar de trabajo y otorgue la licencia correspondiente de acuerdo con el giro de la empresa, así como cumplir con los requisitos que fije la autoridad responsable del lugar.

#### **4.3. LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA.**

Considerando que la materia prima será suministrada por Pemex, se investigó con cada una de sus plantas productoras de etileno para conocer cual de ellas ofrece el lugar más adecuado para instalar la planta de polietileno, es decir, la región que deseamos tener como mercado tomando en cuenta también los servicios con los que cuenta la región; transporte, agua, infraestructura urbana, así como con facilidades de distribución del producto final y comercialización, será el mejor lugar para el establecimiento de la planta.

Se analizaron las ventajas y desventajas de instalar la planta en zonas cercanas a las siguientes instalaciones de PEMEX:

- La Cangrejera, Ver.
- Morelos, Ver.
- Pajaritos, Ver.
- Escolin, Ver.

Cerca de estas instalaciones está el municipio de Nanchital, Veracruz; en donde se propone la construcción de la planta, con una capacidad de 100,000 Toneladas al año de polietileno. Nanchital resultó ser el lugar más adecuado por la cercanía con la planta productora de etileno (materia prima) y por la infraestructura con la que cuenta. (28,36)

Más del 50% de las empresas dedicadas a la industria del plástico se encuentran localizadas en la zona centro del país, y consideramos que la ubicación de la planta en esta zona satisface un doble propósito:

1. la cercanía de las unidades de producción de la materia prima y.
2. el fomento de nuevas empresas descentralizando la industria en México.

### **Descripción detallada del municipio de Nanchital de Lázaro Cárdenas del Río(35,36)**

#### • Localización

El municipio de Nanchital tiene acceso a entronques principales a las carreteras federales 185 y 180; hacia el norte se encuentra la ciudad de Coatzacoalcos a aproximadamente 10 Km. Esta es una de las ciudades más importantes del estado y cuenta con buena infraestructura en comunicaciones: como lo es el contar con el puerto de Coatzacoalcos cuyas rutas marítimas salen a E.U. y Europa; cuenta con un punto de unión entre las vías de ferrocarril México-Mérida y Coatzacoalcos-Salina Cruz rutas importantes para el transporte y la distribución de diversos productos.

Hacia el sureste se encuentra la ciudad de Minatitlán a una distancia de 50 Km. aproximadamente. Importante porque ahí se localiza el complejo petroquímico de PEMEX, lugar donde se produce el etileno.

#### Coordenadas geográficas:

<u>Latitud</u>	<u>Norte</u>	<u>Longitud</u>	<u>Oeste</u>
18 grados	04 minutos	94 grados	25 minutos

La altitud de este municipio sobre el nivel del mar es de 10 metros.

- Población:

El total de la población en Nanchital es de 26 723 personas, de los cuales 13 310 hombres y 13 413 mujeres.

Este municipio cuenta con instituciones educativas en los niveles de preescolar, primaria, secundaria y bachillerato.

En este municipio se tienen registradas 465 unidades económicas con ingresos totales de 79,944,300 pesos. Estas unidades económicas son empresas de diversos giros y servicios.

- Servicios

- a) Agua:

El volumen promedio de extracción de agua potable miles de es de 9.92 metros cúbicos por día, que se extrae del manto acuífero por medio de pozos profundos. (Dato obtenido de la Comisión Nacional del Agua. Gerencia Estatal; Subgerencia de Planeación y Finanzas.)

El número de tomas de agua potable domiciliarias instaladas en este municipio es:

TOTAL	Domésticas	Comerciales	Industriales
4903	4558	331	14

Se cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales, que utiliza el método de lodos activos.

- b) Electricidad:

El número de usuarios del servicio eléctrico, por tipo de usuario, en el municipio de Nanchital es de:

TOTAL	Residenciales	Industriales	Comerciales	Alumbrado público	otros
7747	6873	23	829	11	11

El volumen de ventas registrado de energía eléctrica para la industria es de 9.77 gigawatts por hora, con un valor de 1,393,000 de pesos al año.

Este municipio cuenta con una subestación de distribución con 40.000 megawatts de potencia.

- Ventajas ofrecidas por la zona (Características actuales de infraestructura):

Esta zona tiene especial relevancia en el Continente Americano por su localización geográfica, ya que es un punto de unión, por ferrocarril y por carretera, entre el Golfo de México (Atlántico) y el Golfo de Tehuantepec (Pacífico); esto es, la forma alternativa más directa, sin necesidad de cruzar el canal de Panamá, para agilizar los movimientos hacia los distintos mercados americano, europeo y asiático, principalmente, a través de la comunicación que se establece entre Coatzacoalcos, Veracruz, y Salina Cruz en Oaxaca (213 Km. en ferrocarril y 290 Km. por carretera).

Constituye el asentamiento más importante en la industria petroquímica, química y de fertilizantes del país. A través de la concentración de actividades que se realizan principalmente en el eje conurbado Coatzacoalcos-Minatitlan-Cozoleacaque, integrando una población cercana al millón de habitantes.

Dispone de medios de transporte terrestre, aéreo y marítimo, e infraestructura moderna y suficiente.

Se cuenta además con río navegable, aduana, telecomunicaciones, agua en abundancia para uso industrial y sobre todo, con una clase empresarial activa, dispuesta a las coinversiones.



a) Carreteras:

En este municipio existen tramos carreteros que tienen un movimiento que sobrepasa los 15,000 vehículos por día. La longitud total del sistema carretero en el Edo. de Veracruz rebasa los 12,000 Km , lo que representa el tercer lugar a nivel nacional. De esta red, 2,930 Km son federales, 3,316 Km estatales y 5,994 caminos vecinales o rurales.

En el transporte de carga las facilidades son abundantes debido a las necesidades que impone el movimiento de importaciones y exportaciones a través del sistema portuario. El servicio de autotransporte cubre satisfactoriamente tanto la demanda domestica como la que se relaciona con el comercio exterior. En términos de costos, el transporte de mercancías en promedio tiene una tarifa de 15.53 US dólares/ton de carga, entre las ciudades de Veracruz y México.

b) Ferrocarril:

Con una longitud de más de 1,800 Km de vías férreas, que corresponde al 6.7% del sistema nacional de ferrocarriles, esta red se conecta al sistema de transportes marítimos a través de los puertos de Tuxpan, Veracruz y Coatzacoalcos-Minatitlán. Mediante esta vía de comunicación el estado se une a la ciudad de México y al resto del país. El movimiento en el patio y la transportación de mercancías por ferrocarril, entre Veracruz y la cd. de México (471 Km), alcanza un costo promedio de 21.86 USdolares/ton de carga, incluyendo impuestos.

Con todas las características que presenta esta zona geográfica, se puede esperar una buena oportunidad de desarrollo en el municipio de Nanchital, pues ofrece ampliamente los medios para poder crear una empresa económicamente productiva.

A continuación se muestra en la figura 4.1 un mapa la localización del municipio de Nanchital en el estado de Veracruz.



Figura 4.1

#### **4.4. PROCESO DE FABRICACIÓN DEL PEAD**

De acuerdo con la evaluación técnica que se presentó en el capítulo anterior, el proceso de fabricación del PEAD(5,9,21), se basa en el proceso en suspensión utilizado por Hoechst, siendo este proceso el que más se adecua al planteamiento de la propuesta.

##### **a) Descripción del proceso**

Proceso en suspensión para la fabricación de polietileno de alta densidad.

El catalizador sólido de la corriente 2, que es un álcali de aluminio se introduce junto con ciclohexano de la corriente 3, que es el diluyente al tanque de mezclado MX-101. La corriente 4 es la salida del tanque de mezclado y la corriente 1 de etileno y comonomero son las corrientes de alimentación al reactor RE-101.

El reactor opera a una temperatura entre 80 y 90°C y a una presión que va de 0,5 a 1 MP, este es un reactor en suspensión de tres fases en el cual se hace burbujear el etileno a través del catalizador en suspensión con el diluyente. Para lograr la mejor transferencia de masa se cuenta con un agitador dentro del reactor para lograr la mejor distribución de las burbujas.

Es necesario regular la cantidad de catalizador en suspensión, a mayor cantidad de catalizador se tiene una mayor eficiencia pues aumenta la transferencia de masa, sin embargo también aumenta la temperatura dentro del reactor debido a que la reacción es exotérmica siendo necesario un sistema de remoción de calor.

La corriente 5 de salida del reactor RE-101 se introduce al reactor RE-102 en donde termina el proceso de polimerización. La corriente 6 proveniente del reactor RE-102 contiene polietileno en suspensión con el diluyente y comonomero, no contiene catalizador por lo que no es necesario recuperarlo;

esta corriente entra a la centrifuga CE-101 donde se remueve gran parte del diluyente y del comonomero y son recirculados a través de la corriente 10 que llega al reactor RE-101.

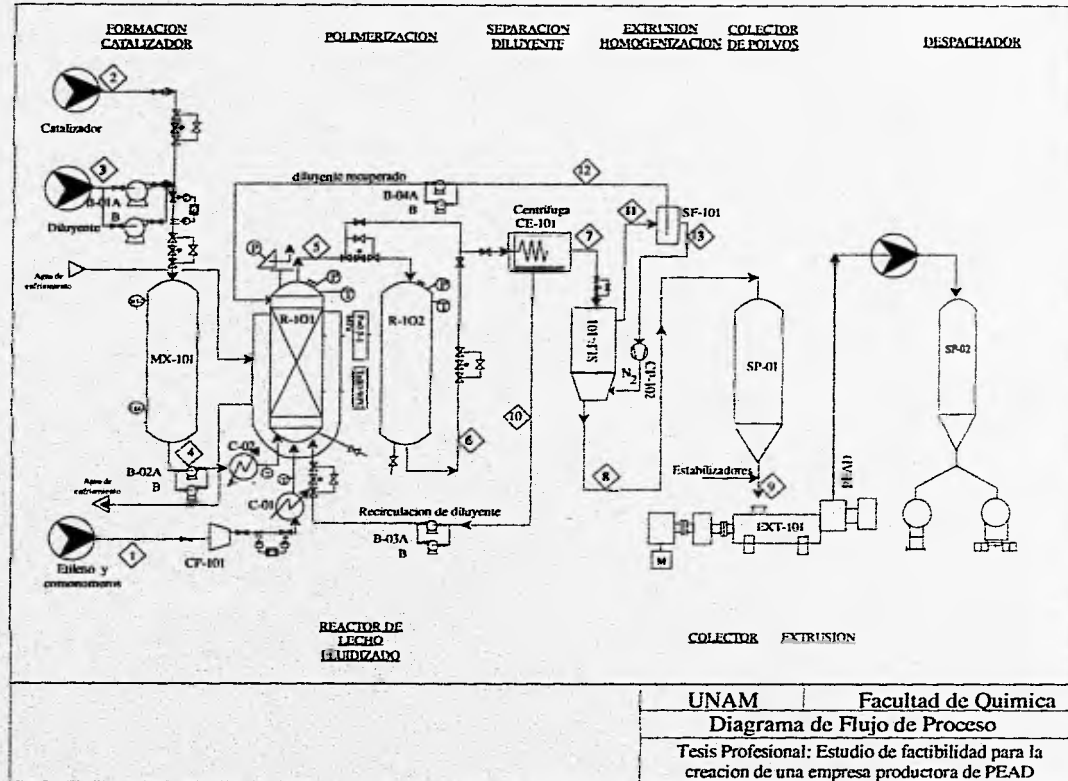
El proceso de secado termina finalmente en un secador de lecho fluidizado SLF-101 en el cual se introduce la corriente 7 que contiene polietileno y pequeñas cantidades de diluyente, el cual es removido con Nitrógeno caliente.

El secador SLF-101 tiene dos corrientes de salida, una contiene nitrógeno y diluyente (corriente 11) que llega al tanque flash TF-101 en el que se separan el diluyente que se recircula por la corriente 12 hasta el reactor RE-101, la recirculación del nitrógeno es por la corriente 13 del SF-101 al SLF-101 pasando por el compresor CP-102; la otra corriente de salida del secador es la número 8 que contiene polietileno en polvo que entra al tanque SP-01, que es un almacenador, y su función es asegurar la alimentación constante al extrusor EXT-101 por la corriente 9.

Antes de entrar al extrusor EXT-101 se adicionan estabilizadores y antioxidantes. En el extrusor se formarán los gránulos de PEAD, listos para empacarse en sacos de 25 Kg que saldrán al almacén.

#### **b) Diagrama de Flujo de Proceso**

A continuación se muestra el DFP del proceso con el nombre de los equipos y la instrumentación mínima necesaria (figura 4.2).



c) Lista de equipo

Reactores

Nombre	Tipo	Operación
RE-101	Reactor en suspensión	Polimerización del etileno
RE-102	Reactor en suspensión	Finaliza la reacción de polimerización del etileno

Tanque mezclador

Nombre	Tipo	Operación
MX-101	Tanque de mezclado con agitador mecánico	Mezcla el catalizador con el diluyente, para alimentar al reactor

Centrífuga

Nombre	Tipo	Operación
CE-101	-----	Separación del polímero sólido del diluyente, al salir del reactor.

Secador

Nombre	Tipo	Operación
SLF-101	Secador de lecho fluidizado	Separa y seca por completo el polímero de residuos del diluyente a contracorriente con gas (N <sub>2</sub> )

#### Flash

<b>Nombre</b>	<b>Tipo</b>	<b>Operación</b>
SF-101	Separador Flash de dos fases	Separa el diluyente del nitrógeno que es arrastrado desde el secador SF-101.

#### Tanque

<b>Nombre</b>	<b>Tipo</b>	<b>Operación</b>
SP-01	Tanque receptor	Recibe el polímero antes de mandarlo al extrusor, para asegurar alimentación constante
SP-02	Tanque despachador	Almacena el producto final

#### Extrusor

<b>Nombre</b>	<b>Tipo</b>	<b>Operación</b>
EXT-101	Extrusor de granulado	Recibe el polietileno en polvo, lo mezcla con estabilizadores y antioxidantes para después granularlo homogéneamente.

#### Compresores

<b>Nombre</b>	<b>Tipo</b>	<b>Operación</b>
CP-101	Compresor de pistones	Aumentar la presión en la corriente de materia prima (etileno) para poder alimentar al reactor
CP-102	Compresor de pistones	Elevar la presión en la corriente de nitrógeno para hacerla circular

### Cambiadores de calor

Nombre	Tipo	Operación
C-01	Cambiador de calor de servicio vapor media	Precalienta el etileno antes de entrar al reactor
C-02	Cambiador de calor de servicio vapor media	Precalienta la mezcla catalizador-diluyente antes de entrar al reactor

### Bombas

Nombre	Tipo	Operación
B-01A	Bombas centrífugas	Alimentar el diluyente al proceso
B-01B		
B-02A	Bombas centrífugas	Alimentar la mezcla de materia prima catalizador-diluyente al reactor
B-02B		
B-03A	Bombas centrífugas	Recircula el diluyente de CE-101 al reactor
B-03B		
B-04A	Bombas centrífugas	Recircula el diluyente recuperado de SF-101 al reactor
B-04B		

Nota: la letra A significa principal y B relevo.



#### d) Materias primas y Servicios Auxiliares

*Materia prima y servicios: (5,20,21)*

Los consumos mencionados son por tonelada de polietileno granulado

<b>PRODUCTO</b>	<b>CANTIDAD</b>
<b>etileno y comonomeros</b>	1.036 tonelada métrica
<b>diluyente hidrocarburo</b>	57 US\$
<b>catalizador</b>	9.5 US\$
<b>aditivos antioxidantes</b>	4 US\$
<b>vapor</b>	350 kg a 5 bar
<b>electricidad</b>	280 kWh
<b>agua de enfriamiento</b>	71 m <sup>3</sup>
<b>nitrógeno</b>	59 Nm <sup>3</sup>

## 4.5. EVALUACIÓN ECONÓMICA

Para determinar si el proyecto es factible económicamente se debe realizar un estudio económico con base en los costos totales (fijos y variables de producción más gastos de administración y ventas), y a los ingresos provenientes de las ventas. (14,16)

### *Determinación de la inversión*

Con el fin de tener un orden de magnitud lo más exacto posible para realizar la evaluación económica y con un análisis de sensibilidad a la variación de esta se determinó:

El costo de los equipos por pre-cotizaciones obtenidas de Universal Process Equipment, Corp. con datos preliminares de diseño de equipo. A continuación se muestran los costos para los equipos principales del proceso de producción de polietileno alta densidad en fase líquida, de una planta que produce 100,000 toneladas anuales.

### COSTO DE EQUIPOS

*Precios en dólares de octubre de 1996*

<i>Equipo</i>	<i>Simbología</i>	<i>Precio(USD)</i>
Reactor	RE-101	\$ 270,000.00
Reactor	RE-102	\$ 233,000.00
Tanque mezclador	MX-101	\$ 104,000.00
Centrifuga	CE-101	\$ 462,000.00
Secador	SLF-101	\$ 96,000.00
Flash	SF-101	\$ 46,000.00
Tanques receptores	SP-01	\$ 5,400,000.00
Tanques despachadores	SP-02	\$ 2,772,000.00
Extrusor	EXT-101	\$ 1,164,000.00
Compresor	CP-101	\$ 11,600.00
Compresor	CP-102	\$ 2,600.00

Cambiador de calor	C-01	\$ 104,000.00
Cambiador de calor	C-02	\$ 104,000.00
Bombas Centrifugas	B-01A	\$ 48,600.00
<b>TOTAL</b>		<b>\$ 10,817,800.00</b>

La inversión se determinó de acuerdo a criterios reportados en el libro, "Plant design and economics for Chemical Engineers" de Max Peters Edit. McGraw-Hill 4a. edición, para la estimación de la inversión total para el establecimiento de una planta a partir de los costos de los equipos por el método de factores "Lang", utilizando porcentajes para una planta de procesamiento sólido-fluido. (14)

### ESTIMACION DE LA INVERSION

*(Precios en dólares de octubre de 1996)*

#### Costos directos

Costo de los equipos (entregado y armado)	\$10,817,800
Instalación de equipo	\$4,218,942
Instrumentación (instalada)	\$1,406,314
Tubería (instalada)	\$3,353,518
Instalación Eléctrica (instalada)	\$1,081,780
Edificios (incluyendo servicios)	\$3,137,162
Acondicionamiento del terreno	\$1,081,780
Servicios (instalados)	\$5,949,790
Terreno	\$649,068
<b>Subtotal por costos directos</b>	<b>\$31,696,154</b>

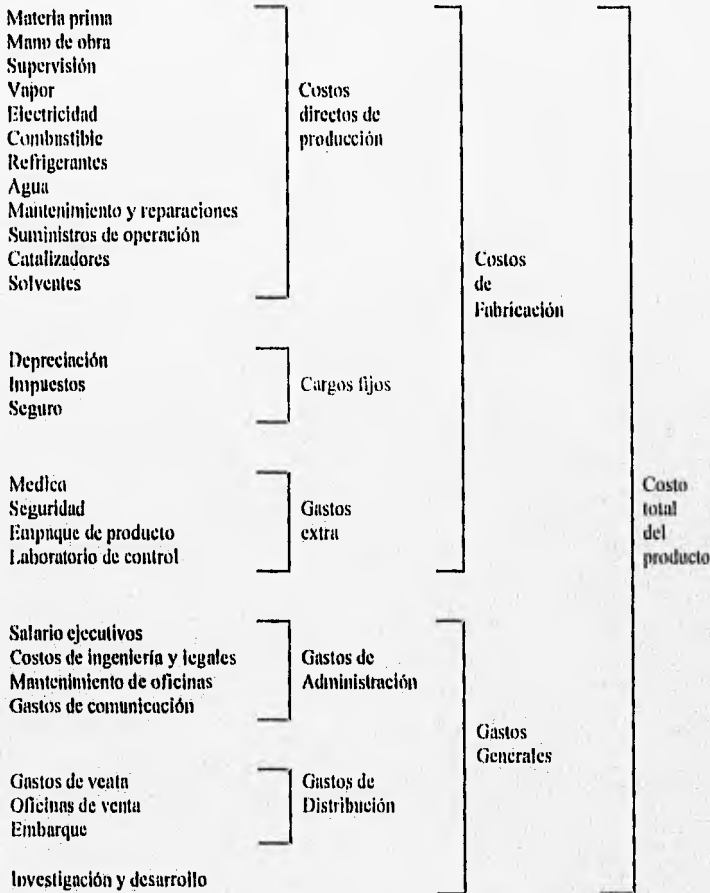
Costos indirectos

Ingeniería y supervisión	\$3,461,696
Gastos de construcción	\$3,678,052
Pago de derechos	\$1,947,204
Contingencias	\$3,894,408
<b>Subtotal por costos indirectos</b>	<b>\$12,981,360</b>

<b>TOTAL DE COSTOS DIRECTOS E INDIRECTOS</b>	<b>\$44,677,514</b>
<b>Capital de Trabajo</b>	<b>\$8,005,172</b>
<b>INVERSION TOTAL</b>	<b>\$52,682,686</b>

ESTIMACIÓN DEL COSTO DEL PEAD

Para saber cual es el costo del producto que se obtiene de nuestro proceso (PEAD), se deben tomar en cuenta los costos de fabricación y los gastos generales que sumados dan el costo total del producto. A continuación se desglosan los gastos considerados para obtener el costo del producto:



A continuación se desglosan los costos para la obtención del costo total del producto según la metodología que se propone en el capítulo "Estimación de Costos" del libro, "Plant Design And Economics For Chemical Engineers" de Max Peters. Edit. McGraw-Hill; 4a. edición.(14)

A pesar de que se producen cinco tipos diferentes de polietileno de alta densidad, la diferencia entre los costos de producción de estos no es

significativa, pues la única variable diferente es la relación de alimentación de hidrógeno como materia prima. Además el requerimiento del hidrógeno para producir el polímero es muy bajo comparado con el requerimiento del etileno, como se muestra en el cálculo de la estimación del costo del producto en el renglón de materias primas.

*Estimación del costo total del producto*

**Costos de Fabricación para un año de operación**

*Costos directos de producción*

1 Materias primas			
Materia Prima	Requerimiento por tonelada de PEAD	Costo (USD/ton)	Costo de materia prima por tonelada de PEAD (USD)
Etileno	1.035	\$463	\$479
Hidrógeno	0.001	\$6,020	\$6
	Total		\$485
	Costo total anual		\$48,470,750

2 Mano de obra			
	Número de personas	Salario por año por persona (USD)	Total (USD)
Obreros generales	16	\$3,582	\$57,314.05
Obrero especializado	8	\$5,572	\$44,577.60
Operarios	8	\$7,960	\$63,682.28
Supervisión	2	\$9,950	\$19,900.71
Total anual			\$185,475

<b>3 Servicios</b> (fuente: PEMEX Refinación Proyecto Ampliación Cadereyta 1996)			
Servicio	costo (USD/ unidad)	Requerimiento por tonelada de PEAD	Costo de servicio por tonelada de PEAD (USD)
Agua enfr. (m3)	0.0164	71	\$1.164
Vapor (Ton)	7.78	0.35	\$2.723
Electric. (Kwh)	0.036	280	\$10.080
Gas Inerte (Nm3)	0.0172	59	\$1.015
	Total		\$14.982
	Costo total anual		\$1,498,220.00

<b>4 Mantenimiento y reparaciones por año</b>	
Costo total anual (USD)	\$1,205,585.16

<b>5 Suministros de operación por año</b>	
Costo total anual (USD)	\$180,837.77

<b>6 Laboratorio de control de calidad por año</b>	
Costo total anual (USD)	\$18,547.46

<b>7 Materias primas o coproductos fijos</b>	
Materias primas	USD/tonelada de PEAD
Catalizadores	\$9.50
Aditivos antioxidantes	\$4.00
Comp.quím. miscelaneos	\$57.00
Total	\$70.50
Costo total anual	\$7,050,000.00

\* Suministros para mantener funcionando eficientemente el proceso, e.g. lubricantes, material de mantenimiento, herramientas y varios.

\*\* comprende material de laboratorio, reactivos y salario para laboratoristas.

*Cargos fijos*

<b>8 Depreciación para un año</b>	
Costo total anual (USD)	<b>\$4,402,844.60</b>

<b>9 Impuestos locales</b>	
Costo total anual (USD)	<b>\$893,550.28</b>

<b>10 Seguros</b>	
Costo total anual (USD)	<b>\$7,050,000.00</b>

<b>11 Costo de servicios extra para la planta</b>	
Costo total anual (USD)	<b>\$695,529.90</b>

**Gastos generales para un año**

<b>12 Gastos por administración</b>	
	<b>USD</b>
Secretarías (4)	<b>\$18,361.99</b>
Administrador y Contador	<b>\$24,482.65</b>
Gastos de Oficina	<b>\$12,797.75</b>
Total	<b>\$55,642.39</b>

<b>13 Distribución, publicidad y ventas</b>	
	<b>USD</b>
Distribución	<b>\$591,898.15</b>
Publicidad	<b>\$65,655.35</b>
Ventas	<b>\$525,242.80</b>
Otros	<b>\$131,310.70</b>
Total	<b>\$1,313,107.00</b>

<b>Costo total de producción por año(USD)</b>	<b>\$66,416,864.36</b>
<b>Costo por tonelada de producto(USD)</b>	<b>\$664.17</b>

\*\*\*son costos relacionados con la operación de producción para hacer un proceso eficiente, se incluyen maquinaria que no es de manufactura, servicios extra como : cafetería, protección, médico, empaque, recreación, almacenaje y otros gastos.



*Precio de venta del polietileno alta densidad*

A partir del cálculo del costo de producción del polietileno alta densidad se obtuvo que:

1 tonelada de polietileno cuesta 669.68 USD(1996).

A continuación se muestran datos obtenidos de "Independent Chemical Information Services London Oil Reports (The ICIS LOR Group)", en PEMEX Comercio Internacional. Unidad de documentación y análisis de información.

Precios del polietileno alta densidad para el 27 de septiembre de 1996 en Norteamérica.

Moldeo por soplado 1058.21 USD por tonelada  
Moldeo por inyección 1012.08 USD por tonelada

Precios en promedio por los diferentes tipos de polietileno alta densidad para el 27 de septiembre de 1996 en el Reino Unido.

1 tonelada de polietileno = 1003.98 USD

Precios en promedio por los diferentes tipos de polietileno alta densidad para el 27 de septiembre de 1996 en España.

1 tonelada de polietileno = 999.45 USD

Además se obtuvo en PEMEX el precio de venta al público promedio para los diferentes polietilenos :

1 tonelada de polietileno = 995 USD.

A partir de los datos anteriores se determinó que el precio de venta para los 5 tipos de polietileno:

<b>Producto</b>	<b>Precio de Venta USD</b>	<b>Producción (toneladas)</b>	<b>Ingresos USD</b>
PADMEX 60120	935	16,500	16,417,500
PADMEX 65050	935	38,000	37,810,000
PADMEX 60003	930	4,900	4,851,000
PADMEX 55010	928	31,600	31,284,000
PADMEX 50003	928	9,000	8,865,000
		<b>Total</b>	<b>99,227,500</b>

***Premisas para la evaluación económica.***

- Los valores serán tomados en dólares americanos (USD) con tipo de cambio de 8.10 pesos por dólar (octubre 1996).
- Escenario de análisis 10 años (Industria Petroquímica).
- Evaluación a precios constantes (no se involucra la inflación solo se toma en cuenta la generación de riqueza real a través de ganancias reales no inflacionadas).
- Se debe de construir la planta en el transcurso de tres años.
- El primer año de operación se espera un 60% de producción en promedio.
- El segundo año se incrementa la operación de la planta hasta alcanzar una producción de 80,000 toneladas lo que implica un 80% de operación.
- A partir del tercer año se espera alcanzar la capacidad máxima de operación, logrando así una producción de 100,000 toneladas para este año y los siguientes.
- Impuesto sobre la renta del 34% de la utilidad bruta (ISR máximo en México).
- Reparto de utilidades del 10% de la utilidad bruta.
- Depreciación por el método de línea recta a 10 años.

- Tasa de descuento real (sin inflación 10%). Se determina este valor por recomendaciones de negocios internacionales de la tasa líder Prime-Rate más cuatro puntos esto da un valor aproximado del 10%.
- Se consideran recursos propios, no se obtiene financiamiento a través de entidades bancarias o de fideicomisos. Sólo se tiene financiamiento interno de los accionistas sin reparto de dividendos hasta haber recuperado la inversión.
- El proceso es una propuesta de la tesis por lo tanto no está patentado y no provoca pago de regalías.
- La capitalización de inversión y utilidades es anual.
- El valor de salvamento es 10% del monto de la inversión física.
- En el último período se le debe sumar a la utilidad bruta, el valor de salvamento y la recuperación del capital del trabajo.

Para analizar la factibilidad del proyecto se calculan los siguientes conceptos, en base a los datos antes mencionados:

*Utilidad bruta.*

Se obtiene al restarle a los ingresos por ventas, los costos fijos, los costos variables y la depreciación.

*Utilidad neta.*

Al restarle a la utilidad bruta los impuestos y el reparto de utilidades, se obtiene la utilidad neta.

*Flujo de efectivo.*

Al adicionarle la depreciación a la utilidad neta se obtiene el flujo de efectivo.

*Flujo de efectivo descontado.*

Se calcula en base a la siguiente ecuación:

$$FED = \frac{FE}{(1+i)^n}$$

donde:

$i=10\%$

$n=$  período

*Flujo de efectivo acumulado.*

Es el resultado de la suma del flujo de efectivo descontado para un período  $n$  más el flujo de efectivo descontado para el período  $n-1$ .

*Valor presente neto.*

El valor presente es el resultado de la multiplicación del flujo de efectivo y un factor de descuento.

$$\text{Factor de descuento} = \frac{1}{(1+i)^n}$$

Donde:

$n=$  período

$i=10\%$

Se debe calcular el valor presente para los 10 años de operación de la planta, cada uno representado por un período ( $n$ ). El primer período ( $n=0$ ) es el año de construcción o implantación del proceso, los siguientes períodos corresponden a los años en que la planta está operando.

Periodo (n)	Flujo de efectivo estimado (pesos)	Factor de descuento $\left(\frac{1}{(1+i)^n}\right)$	Valor presente = Flujo de efectivo * Factor de descuento (pesos)
0	Inversión		
1	Inversión	0.9090	Valor presente (n=1)
2	Inversión	0.8264	Valor presente (n=2)
3	Flujo de efectivo estimado	0.7513	Valor presente (n=3)
.	Flujo de efectivo estimado		
*			
.			
10	Flujo de efectivo estimado	0.3855	Valor presente (n=10)
Total			$\Sigma$ VVP= Suma del valor presente para los 10 periodos.

La diferencia entre la  $\Sigma$ VVP, y el monto de la inversión total, es el **valor presente neto**.

#### *Tasa interna de recuperación.*

Este concepto se determina a partir de los flujos de efectivo que se tienen para cada uno de los diez años de operación de la planta.

Se calcula despejando la **tasa interna de recuperación**(TIR) de la siguiente ecuación:

$$\text{Inversión total} = \frac{FE_1}{(1+R)^1} + \frac{FE_2}{(1+R)^2} + \dots + \frac{FE_{10}}{(1+R)^{10}}$$

Donde:

FE= Flujo de efectivo

R= Tasa interna de retorno (TIR).

*Tiempo de recuperación de la inversión.*

Cuando el flujo de efectivo acumulado es positivo, se considera que la inversión es recuperada. A este momento se le conoce como *tiempo de recuperación de la inversión*.

**a) Resultados de la Evaluación Económica.**

[REDACTED]	
Valor Presente Neto (\$,1996)	58,788,680.20
Tasa Interna de Rendimiento	31.65%
Tiempo de Recuperación de la Inversión (años)	4.96

El tiempo de recuperación no pasa de 4 años, lo que se considera como mediano plazo.

Se observa que los ingresos superan a los egresos desde el primer año, aún cuando la producción de la planta es de 60,000 toneladas únicamente. A continuación se presentan tablas en las que aparecen los resultados para los 10 años de operación de la planta:

**PLANTA DE POLIETILENO ALTA DENSIDAD  
NANCHITAL, VERACRUZ  
EVALUACIÓN ECONÓMICA  
CANTIDADES EN USD DE 1996**

CONCEPTO	Año	1996	1997	1998	1999	2000
	Periodo	0	1	2	3	4
Inversión física		(11,069,250.00)	(16,748,595.00)	(18,154,909.00)		
Capital de trabajo		(8,005,172.00)				
Inversión Total		(19,074,422.00)	(16,748,595.00)	(18,154,909.00)		
% de operación					60.00	80.00
Producción					60,000.00	80,000.00
Ingresos por ventas					59,536,500.00	79,382,000.00
Costos Variables					34,211,442.00	45,615,256.00
Costos Fijos					1,865,423.00	1,865,423.00
Depreciación					5,332,885.80	5,332,885.80
Utilidad bruta					18,126,749.20	26,568,435.20
Impuestos					6,163,094.73	9,033,267.97
Reparto de utilidades					1,812,674.92	2,656,843.52
Utilidad neta		(19,074,422.00)	(16,748,595.00)	(18,154,909.00)	10,150,979.55	14,878,323.71
Flujo de efectivo				(60,750,018.70)	15,483,865.35	20,211,209.51
Flujo de efvo descontado		(19,074,422.00)	(18,800,297.89)	(22,875,298.81)	10,947,635.70	12,730,542.33
Flujo de efvo acumulado		(19,074,422.00)	(37,674,719.89)	(60,750,018.70)	(49,802,383.00)	(37,071,840.67)
Inversión recuperada				NO	NO	NO
Tiempo de recup de inv	Años				1.00	2.00
Valor presente neto	12.25%	58,788,680.20				
Tasa interna de rendimiento		31.65%				
Tiempo de recup. de la Inv.	Años	4.96				

**PLANTA DE POLIETILENO ALTA DENSIDAD  
NANCHITAL, VERACRUZ  
EVALUACIÓN ECONÓMICA  
CANTIDADES EN USD DE 1996**

CONCEPTO	2001	2002	2003	2004	2005	2006
	5	6	7	8	9	10
Inversión física						
Capital de trabajo						
Inversión Total						
% de operación	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Producción	100,000.00	100,000.00	100,000.00	100,000.00	100,000.00	100,000.00
Ingresos por ventas	99,227,500.00	99,227,500.00	99,227,500.00	99,227,500.00	99,227,500.00	99,227,500.00
Costos Variables	57,019,070.00	57,019,070.00	57,019,070.00	57,019,070.00	57,019,070.00	57,019,070.00
Costos Fijos	1,865,423.00	1,865,423.00	1,865,423.00	1,865,423.00	1,865,423.00	1,865,423.00
Depreciación	5,332,885.80	5,332,885.80	5,332,885.80	5,332,885.80	5,332,885.80	5,332,885.80
Utilidad bruta	35,010,121.20	35,010,121.20	35,010,121.20	35,010,121.20	35,010,121.20	44,598,201.40
Impuestos	11,903,441.21	11,903,441.21	11,903,441.21	11,903,441.21	11,903,441.21	15,163,388.48
Reparto de utilidades	3,501,012.12	3,501,012.12	3,501,012.12	3,501,012.12	3,501,012.12	4,459,820.14
Utilidad neta	19,605,667.87	19,605,667.87	19,605,667.87	19,605,667.87	19,605,667.87	24,974,992.78
Flujo de efectivo	24,938,553.67	24,938,553.67	24,938,553.67	24,938,553.67	24,938,553.67	30,307,878.58
Flujo de flujo descontado	13,993,924.11	12,466,747.53	11,106,233.88	9,894,195.00	8,814,427.61	9,543,156.41
Flujo de flujo acumulado	(23,077,916.56)	(10,611,169.03)	495,064.86	10,389,259.86	19,203,687.47	28,746,843.88
Inversión recuperada	NO	NO	SI			
Tiempo de recup. de inv.	3.00	4.00	4.96			
Valor presente neto						
Tasa interna de rendimiento						
Tiempo de recup. de la inv.						



## **b) Análisis de Sensibilidad.**

Debido a que en el estudio económico pueden existir variaciones (de acuerdo a datos históricos), referente al monto de la inversión total, costos de materias primas, precio del producto en el mercado, etcétera, es necesario realizar un análisis de sensibilidad con el objetivo de conocer el comportamiento de la empresa en diferentes escenarios.

Para el análisis se consideraron los siguientes escenarios:

- a) Incremento del 10% de la Inversión Total
- b) Incremento del 20% de la Inversión Total
- c) Incremento del 10% de los Costos Variables
- d) Incremento del 20% de los Costos Variables
- e) Decremento del 10% del precio del producto en el mercado
- f) Decremento del 15% del precio del producto en el mercado
- g) Incremento del 10% del precio del producto en el mercado

Los escenarios que se proponen, son los que se pueden presentar de acuerdo a datos obtenidos acerca de otras plantas productoras en el mundo.

Para observar y comparar con claridad los resultados de la evaluación económica para los escenarios que se propusieron con anterioridad, se mencionan solo tres conceptos de los calculados para cada evaluación:

1. Valor presente neto
2. Tasa interna de rendimiento
3. Tiempo de recuperación de la inversión

Se seleccionan estos conceptos debido a que son los más significativos en cualquier análisis económico. Al analizar dichos conceptos se puede saber en que casos se deberá poner especial atención si se realiza el proyecto.

#### Resultados del análisis de sensibilidad

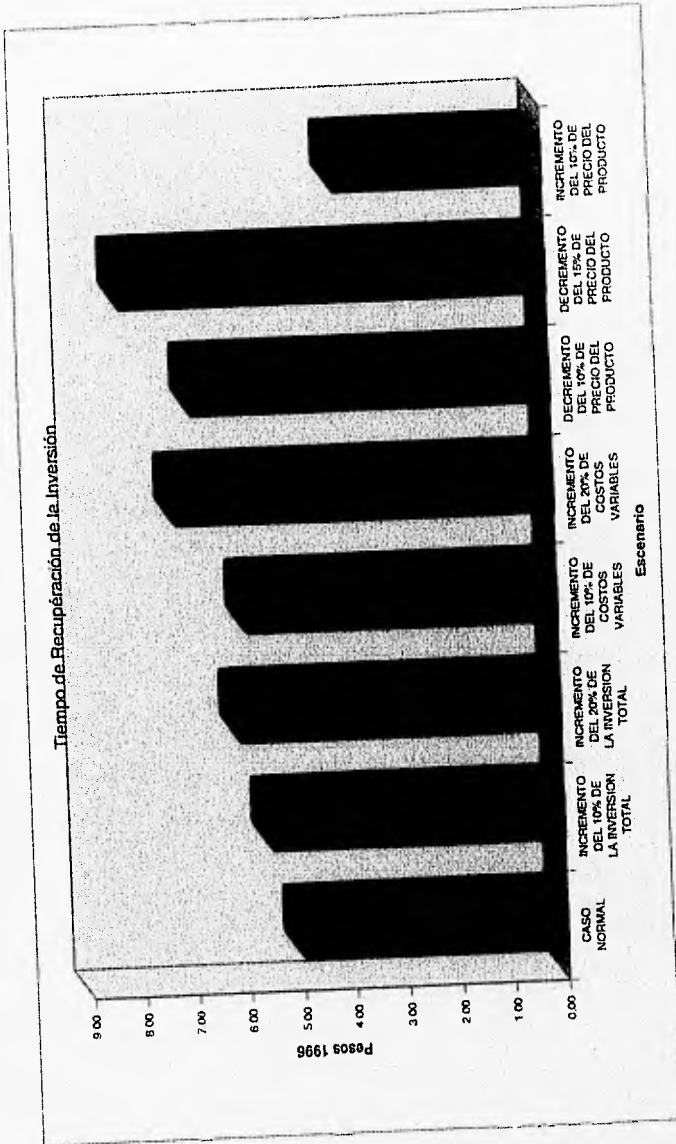
CONCEPTO	CASO NOMINAL	INCREMENTO DEL 10% DE LA INVERSION TOTAL
Valor Presente Neto	58,788,680.20	54,595,650.21
Tasa Interna de Recuperación	31.65%	28.58%
Tiempo de Recuperación de la Inversión	4.96	5.49

CONCEPTO	INCREMENTO DEL 20% DE LA INVERSION TOTAL	INCREMENTO DEL 10% DE COSTOS VARIABLES
Valor Presente Neto	50,402,620.22	44,708,940.92
Tasa Interna de Recuperación	25.93%	26.83%
Tiempo de Recuperación de la Inversión	6.02	5.84

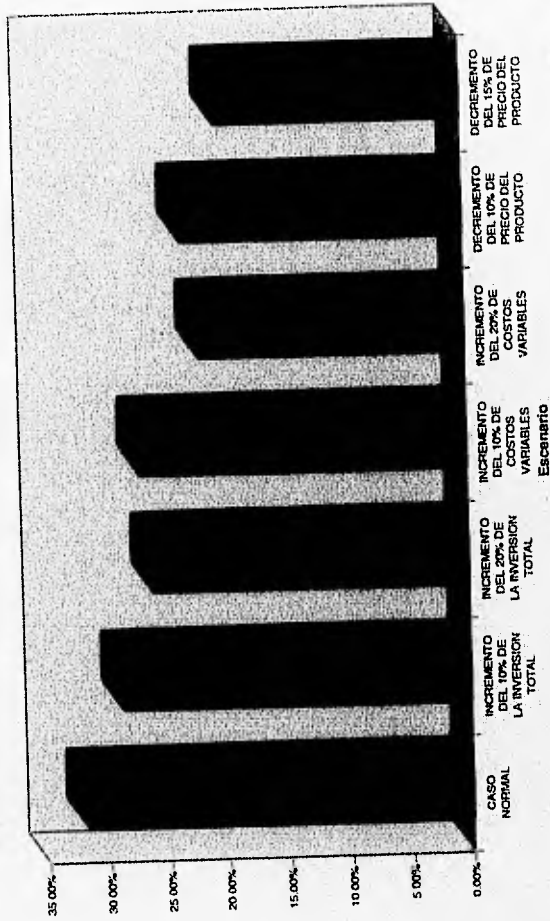
CONCEPTO	INCREMENTO DEL 20% DE COSTOS VARIABLES	DECREMENTO DEL 10% DE PRECIO DEL PRODUCTO
Valor Presente Neto	30,629,201.63	34,286,398.25
Tasa Interna de Recuperación	21.75%	23.10%
Tiempo de Recuperación de la Inversión	7.15	6.78

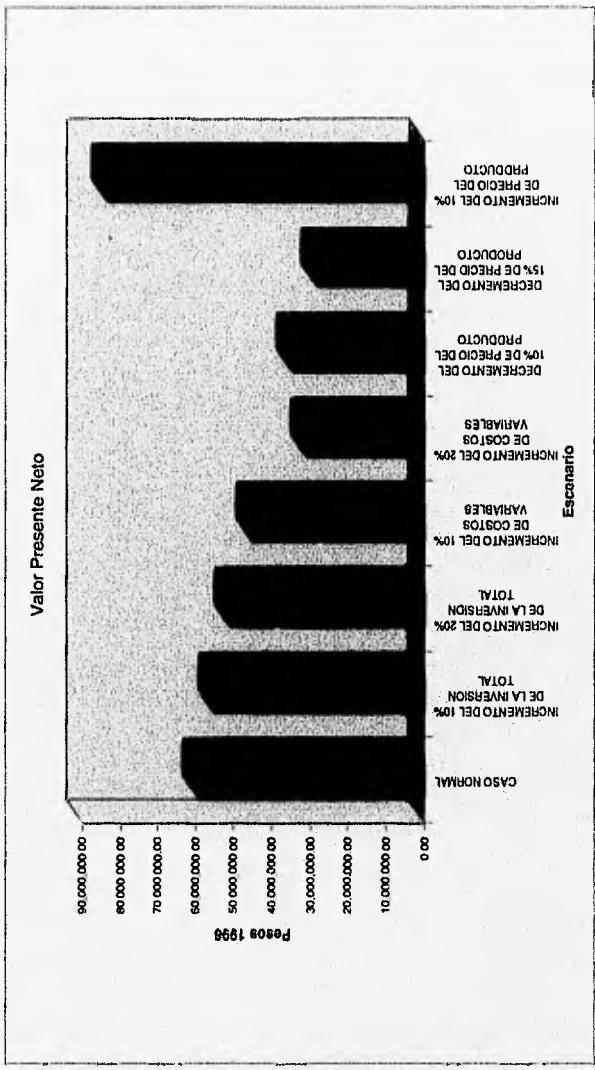
CONCEPTO	INCREMENTO DEL 10% DE PRECIO DEL PRODUCTO	DECREMENTO DEL 15% DE PRECIO DEL PRODUCTO
Valor Presente Neto	83,290,962.16	34,286,398.25
Tasa Interna de Recuperación	39.55%	23.10%
Tiempo de Recuperación de la Inversión	3.97	6.78

A continuación se muestran gráficas en las que se comparan los tres conceptos más significativos que se calcularon para cada escenario.



Tasa Interna de Recuperación





### *Análisis de resultados del análisis de sensibilidad.*

Se observa que un incremento de la inversión total no representa un cambio significativo en los resultados de la evaluación económica, lo que se puede interpretar como que no es tan importante profundizar en el estudio de precios para los equipos de la planta.

La empresa es muy sensible a las variaciones de los costos variables; esto es lo que se esperaba debido a que los costos variables representan el 85% del total de los costos de producción.

El precio del polietileno en el mercado puede sufrir un decremento, debido a diversos factores como lo son el aumento en el precio del petróleo, el desarrollo de nuevas tecnologías, la mejor distribución del producto por parte de la competencia, etc. Este decremento en el precio implica una disminución importante en los ingresos por ventas, observándose cambios drásticos en la evaluación económica.

## **4.6. PROVEEDORES DE LAS MATERIAS PRIMAS**

La materia prima principal para la producción del polietileno es el etileno, el cual será proporcionado por PEMEX.

El catalizador más sensible a la polimerización del polietileno es el óxido de cromo III (catalizador Phillips); en una base de 5 Kg. de polietileno por g. de catalizador o menos siempre y cuando tenga un contenido de 2 partes por millón de cromo; este catalizador puede ser adquirido en pequeños cantidades

## ANEXO I

### ALTERNATIVA DE PRODUCCIÓN: RECICLAJE DE POLIETILENO

Los objetos con características convenientes deben ser reciclados; en nuestros días ya no es solo una moda, es una necesidad real de reutilizar los objetos que son desechados como basura y de esta manera cumplir con dos objetivos principales: el disminuir la cantidad de desperdicio que no puede ser aprovechado de nuevo por la naturaleza y por otro lado las ventajas económicas que implica el uso de un desecho como materia prima para producir un nuevo producto.

El negocio del reciclaje, se separa en cuatro grupos principales de acuerdo con las características de los productos a reciclar. Estos productos presentan las mejores cualidades para el reciclaje, además de ser razonablemente viables por la tecnología que se utiliza y las ganancias económicas que representan; la división es la siguiente:

- papel
- aluminio
- botellas de vidrio
- contenedores de plástico

Por lo general los plásticos que son desechados a la basura, son los que ya no pueden ser utilizados de nuevo pues su función era algo específico como envoltura de comida, pequeños contenedores de líquidos, bolsas de plástico, etc. En la figura 4.6. se muestran los porcentajes de plástico utilizado para envolturas comparándose con otros materiales también utilizados con el mismo fin. También se muestra en la figura 4.7 los diferentes usos del plástico como empaque.



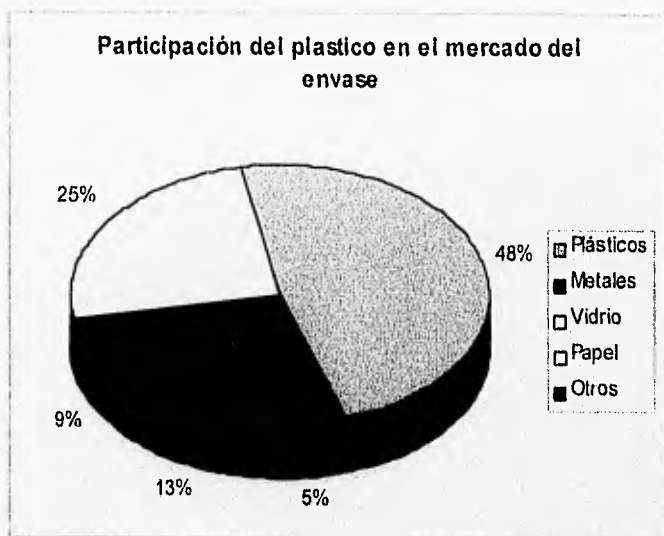


figura 4.6

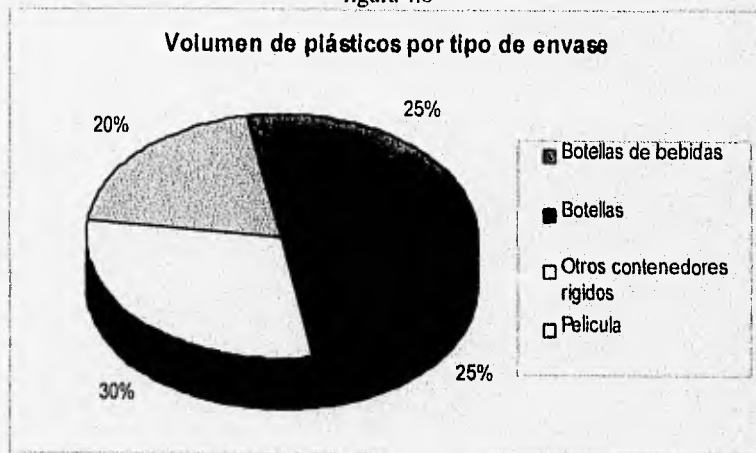


figura 4.7

Sin embargo los plásticos antes mencionados se refieren a tres tipos de polímeros que son: Polietilenterefalato (PET), Polietileno (PEAD) y en menor importancia por su volumen en desperdicios es el policloruro de vinilo

(PVC). Como es lógico deben separarse aún los productos plásticos que realmente pueden ser aprovechados de nuevo y en general son los siguientes:

PET	PEAD
Botellas suaves para bebidas	Contenedores de: leche, agua y jugo.

Los artículos que se presentan en la tabla anterior son los que más fácilmente y a menor costo pueden ser reciclados.

Es importante considerar que para que pueda competir el material reciclado con el material virgen debe tenerse presente los siguientes gastos:

- costo de recolección de los productos reciclables.
- costo de separar los productos que pueden entrar al proceso de reciclado.

Estos costos deben ser menores a los que se pagaría por la materia prima principal para producir el material virgen, la gran ventaja en este punto es que se va a producir un material nuevo a partir de un desecho.

Por otro lado, algo que influye directamente sobre la rentabilidad del negocio de reciclado de plásticos es el precio de la materia prima para producir material virgen, en nuestro caso se trata del etileno cuyo precio está en proporción directa con el del petróleo. Si el precio del material reciclado no tiene una considerable ventaja con respecto al material virgen, no podrá competir pues el consumidor final preferirá el material virgen por creer que tiene mucho mejores cualidades, aunque esto no sea verdad. Se muestra en seguida la conveniencia económica de reciclar plásticos, en función del precio del petróleo.

En la figura 4.8 se considera como precio del barril de petróleo de 20 dólares (conversión a pesos agosto 1996), como se puede observar el margen de ganancia no es muy grande. En la figura 4.9 se considera un precio del barril del petróleo de 35 dólares (conversión a pesos agosto 1996), en este caso el margen de ganancia se incrementa considerablemente. En ambas gráficas en el eje de las X se tienen distintos materiales y en el eje de las Y se muestran

precios en pesos. Fuente: Plastics Recycling Foundation. American Chemical Society, 1992.

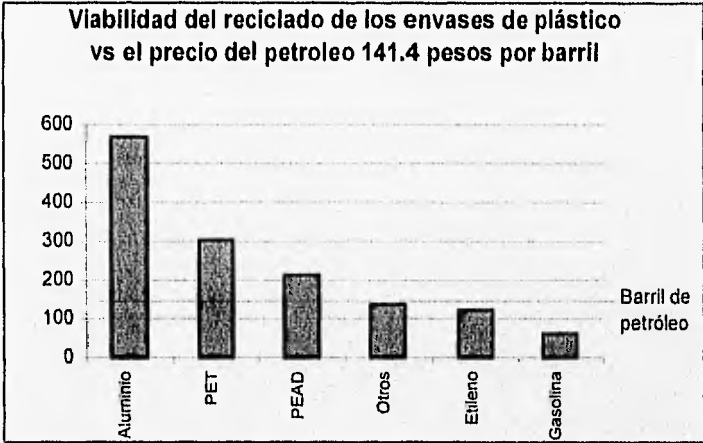


figura. 4.8

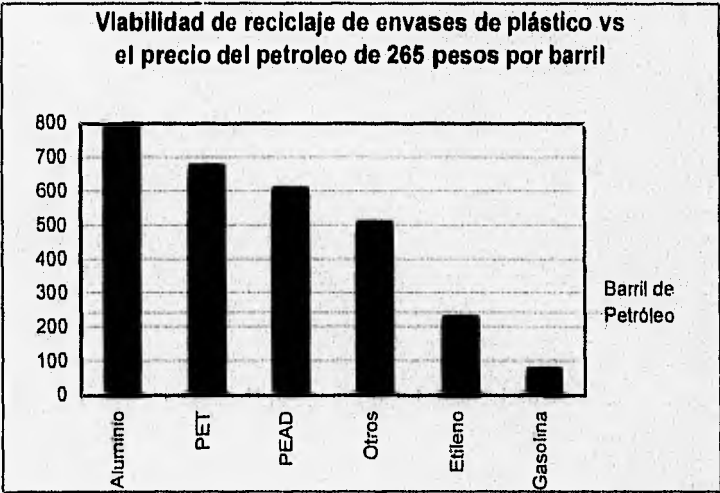


figura 4.9

## a) Reciclaje a Partir de Desperdicios Sólidos Municipales

El reciclaje requiere de cuatro elementos:

1. **Recolección.** Esta parte se refiere a la actividad propia de recoger los desperdicios sólidos de toda una comunidad.
2. **Clasificación de materiales.** Es separar estos desechos que han sido recolectados pensando precisamente en los que pueden ser utilizados de nueva cuenta, y aún separando por tipo de material, como aluminio, papel, plásticos, etc.; para los plásticos deben clasificarse según su tipo es decir termofijo o bien termoplástico. Con esta selección realizada deben escogerse los plásticos que en su constitución presenten las mejores cualidades para ingresar al proceso de reciclaje, de esta manera las dificultades técnicas que puedan presentarse serán mucho menores y al final del proceso se obtendrá un producto de magnífica calidad.
3. **Reprocesamiento.** El reprocesamiento se refiere al proceso de convertir los desperdicios, en este caso se trata del plástico el cual para su reutilización como materia prima debe pasar por estos tratamientos: trituración, eliminación de material extraño al polímero como pintura, etc. y por último a un extrusor que le da la consistencia final para ser utilizado como materia prima de nuevos objetos.
4. **Mercados para plásticos reciclados.** Es útil saber en que tipo de mercados puede competir el material que se recicla, por ejemplo para el plástico es necesario saber que en el mercado de los contenedores tiene una buena demanda por ser más económico que el polímero virgen y con muy buena calidad.

Debido a que en México no se cuenta con datos sobre el reciclaje del polietileno, ni con datos sobre la penetración del PEAD reciclado en los

diferentes mercados que lo consumen, se toma como referencia la participación que tiene en los Estados Unidos y los usos que se le da a este producto frente al polímero virgen.

Dentro de los productos hechos por el método de moldeo, se tiene que el 10% de los envases de productos químicos son hechos con material reciclado, al igual que el 10% de los juguetes. Por el método de inyección se registran los mayores avances del PEAD reciclado en especial en todo lo relacionado a contenedores, excepto los que almacenan alimentos, el porcentaje de participación es de aproximadamente el 20% del total del polímero consumido.

En la siguiente tabla se muestran los polímeros con mayor posibilidad de reciclar en una comparación de lo que se vende de ellos como polímero virgen y la cantidad que es reciclada junto con su potencial de recuperación. En la primera columna están los polímeros, el PEAD solo debajo del PET por la gran cantidad de botellas que son fabricadas con este material para la industria del refresco; en la columna de ventas se muestran los volúmenes alcanzados para cada polímero donde se observa que el PEAD es el que registra una mayor cantidad; sin embargo en la columna del material reciclado se observa que es solo el 1.8 por ciento de lo que es vendido se recupera de nuevo como materia prima; en la columna final se señala el volumen de polímero que puede ser recuperado.

Polímero	Ventas	Material Reciclado	Potencial de Recuperación
PET	1905	148 (7.8)	280 (8)
PEAD	680	63 (9.3)	190 (1)
PP	7200	5 (0.1)	495 (10)
PVC	5000	20 (0.4)	480 (8)
PB	5200		

Nota: datos de E.U., recuperación de polímeros de desperdicios sólidos en millones de libras para 1989.

Como se observa en la tabla existe un amplio margen de polímero que no es reciclado, sin embargo se ha ido incrementando año con año la cantidad de polietileno reciclado, debido a que sus costos de producción son relativamente bajos.

### **b)Proceso de Reciclaje de Pead**

Una vez que se tiene seleccionado el desperdicio plástico listo para reciclar, es decir limpio de compuestos orgánicos como restos de comida y otros como etiquetas, etc. pasa el plástico a un triturador que lo corta en pequeñas trozos para mandarlo así a un tanque con solventes para separar químicamente el PEAD de pintura y otros aditivos; es claro que para el éxito de el reciclaje obteniendo un polímero de buena calidad debe escogerse lo mejor posible el material a reciclar, se puede hacer una clara comparación con los metales pues son más valiosos cuando no se han mezclado con ningún otro metal y así conservan sus características físicas y químicas originales.

De el tanque se manda a una centrifuga donde se separan los fluidos que son los solventes con pinturas y aditivos del PEAD, este último es pasado por una corriente de aire caliente a contracorriente para secar el polímero y pasarlo a una máquina extrusora donde se formaran los gránulos de PEAD para su comercialización; justo antes de pasar por el extrusor pueden agregarse aditivos como antioxidantes y fosfatos para mejorar sus propiedades pero depende de el uso final al que este destinado el polímero.

Puede verse el diagrama de flujo del proceso de reciclaje en la figura.4.10

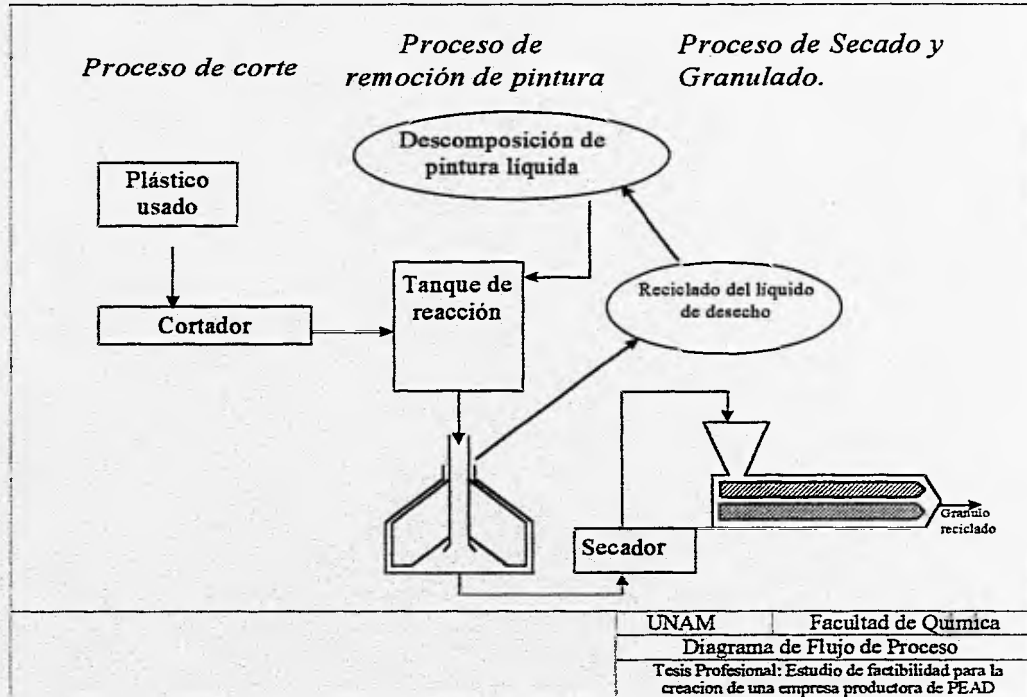


Figura 4.7

### **c) Dificultades en el Proceso**

El principal problema dentro del proceso del reciclaje del polietileno se presenta en la parte donde se separa el polímero de sus contaminantes como pinturas, etc.; pues pueden ocurrir aquí cambios en la estructura química del PEAD pues en su estructura química como polímero la forma de polimerizar para conservar su característica de alta densidad con las propiedades físicas que esto implica, es una polimerización sin ramificaciones. Cambios en la forma de ordenarse las moléculas pueden ocurrir en esta parte del proceso que se refleja en cambios de las propiedades físicas como cambios en el punto de fusión que afecta en el proceso de moldeo para la fabricación de nuevos productos plástico hechos con este material. Para compensar estos cambios que pudieran darse, se agrega generalmente estabilizadores que corrigen estos cambios en las propiedades físicas.

**Estabilizadores.** Los fosfatos son conocidos como los que mejor cumplen con la función de corregir imperfecciones en las propiedades del polietileno de alta densidad. No es necesario agregar grandes cantidades de estabilizadores, de hecho con cantidades muy pequeñas es suficiente de entre 500 y 1000 partes por millón. Con esta adición es posible lograr estupendos resultados en el proceso de extrusión y moldeo pudiéndose repetir estos procesos con el mismo material hasta cuatro veces.

El estabilizador más usados es: (2,4-di-ter-butilfenil)fosfato. A continuación se muestra en la tabla algunos estabilizadores y sus concentraciones para PEAD reciclado.



Estabilizadores y concentraciones utilizados en varias etapas de reciclaje

Etapas	Estabilizador	Concentración utilizada
Secado	Antioxidante	>250 ppm
Almacenamiento	Antioxidante	<250ppm
Granulado	Antioxidante + fosfitos	500-1000 ppm 500-1000 ppm.
Fabricación	Igual que en granulado	
Para uso:		
A baja tensión	Igual que en granulado	1000-2000 ppm
A alta temperatura	Antioxidante+ thiosynergist+ fosfitos	1000-2000 ppm 500-1000 ppm
En medio ambiente	Antioxidante+ fosfitos+ aminas+ absorbedor de ultravioleta	0-1000 ppm 500-1000 ppm 0-1000 ppm 0-1000 ppm

Los resultados obtenidos con PEAD reciclado se muestran en la siguiente tabla , lo que indica que es competitivo frente al polímero virgen como materia prima para la fabricación de contenedores y cable.

Densidad de PEAD reciclado para diferentes usos.

	Clasificación	Densidad (kg m <sup>-3</sup> )
<b>Contenedores</b>	grado transparente	950-955
	colores oscuros	955-965
	(negro, azul, verde)	
	colores claros (amarillo,	970 o más
	naranja)	
<b>Cable y cubierta</b>	varios colores	950-960
<b>para cable</b>		

## CONCLUSIONES

- La producción de polietileno de alta densidad en México se realizó por primera vez en 1978 con tres mil toneladas para ese año, incrementándose hasta doscientos mil toneladas por año para 1991. Desde entonces no se presenta un incremento en la producción de este polímero a pesar de que el aumento en el consumo aparente es del 60% de 1991 a 1995; esta necesidad del producto es cubierta por las importaciones especialmente de los Estados Unidos, siendo que México es un país productor de petróleo y cuenta con la infraestructura necesaria para fabricar este producto en cantidad suficiente para cubrir la demanda nacional; de ahí la importancia de crear nuevas empresas que produzcan PEAD.
- A partir del estudio de mercado se puede observar la amplia gama de usos del polietileno de alta densidad que van desde aplicaciones en la medicina como jeringas, sondas, etc. hasta cualquier tipo de contenedores y envases. El polietileno es materia prima para todos los procesos de moldeo. La diversidad de productos es debido a la facilidad de poder fabricarlos por diferentes métodos como el soplado, inyección y extrusión. Esto permite incursionar en mercados que antes estaban dominados por otros polímeros. El mercado del polietileno es muy amplio, sin embargo no se han descubierto todas sus aplicaciones como producto sustituto de metales; por ejemplo la producción de tanques de gasolina para automóviles hechos con polietileno de alta densidad que sustituyen a los hechos con acero inoxidable.
- El proceso que mejor se adapta a los requerimientos de producción y de materias primas, es el proceso en suspensión que utiliza Hoechst para producir polietileno de alta densidad que utiliza un catalizador con disponibilidad en México. El proceso BPCchemicals es también factible pues es capaz de producir polietileno tanto de alta como de baja densidad; este proceso utiliza un reactor de lecho fluidizado que opera en dos fases (gas-sólido) siendo menos eficiente que el reactor en suspensión de tres fases. El

proceso Phillips es un proceso que utiliza al igual que el proceso Hoechst un reactor en suspensión de tres fases sin embargo utiliza un catalizador que provoca menor eficiencia en la producción y se necesitan recirculaciones de materia prima para lograr un consumo total de las mismas. El proceso seleccionado es el Hoechst que aventaja a los procesos anteriores en eficiencia y no requiere de recirculaciones, por lo tanto no se requiere un gran número de equipos para el proceso.

- Se propone una planta productora de polietileno que utilice un proceso en suspensión de tres fases con una capacidad instalada de 100,000 toneladas por año, que representaría sustituir el 65% del volumen de las actuales importaciones de polietileno de alta densidad por un producto nacional.
- Con esta capacidad instalada de producción se espera recuperar la inversión en 4.96 años; desde el año uno los ingresos son mayores a los egresos operando al 60% de la capacidad instalada, la tasa interna de rendimiento es de 31.65% que se considera un porcentaje bueno. La empresa es sensible a las variaciones que puedan registrarse en el mercado internacional del precio etileno y del precio del polietileno.
- La mayor concentración de las industrias productoras de artículos de plástico se encuentran en el centro de la República Mexicana principalmente en el Estado de México y el Distrito Federal, en los que se encuentran 1425 empresas de un total de 2500 existentes en el país. Es importante impulsar el desarrollo en los estados mas pobres de México por ejemplo el Estado de Veracruz que cuenta con la infraestructura necesaria que requiere el desarrollo industrial y por lo tanto el económico. Tomando en cuenta las ventajas que ofrece en específico la zona de Coatzacoalcos-Minatitlán y teniendo como antecedente el establecimiento de complejos petroquímicos de PEMEX, se propone localizar la empresa en Nanchital de Lázaro Cárdenas del Río que se encuentra en esta zona.

- El reciclaje es una alternativa de producción que no se puede descartar por las ventajas que representa, siempre y cuando el petróleo tenga un precio alto para que se tenga un buen margen en las utilidades por reciclar el polietileno de alta densidad además de una fácil colocación en especial en el mercado que representan los contenedores y envases. El polietileno de alta densidad junto con el polietilentereftalato, son los plásticos con más posibilidades de éxito en lo que se refiere al reciclaje por las facilidades que ofrecen sus características físicas y químicas pues no se requiere de una gran inversión en lo que a tecnología se refiere.

## BIBLIOGRAFIA

### LIBROS

#### 1.-LOS PLASTICOS.

Rangel, N. C.  
edit. SEP/UNAM.  
págs 17-19

#### 2.-QUÍMICA ORGÁNICA.

Morrison, T. Robert.; Boyd, N. Robert.  
edit. Addison-Wesley Iberoamericana, S.A.  
EUA, 1994.  
págs. 1112 y 1233.

#### 3.-FROM HYDROCARBONS TO PETROCHEMICALS.

Hatch, F. Lewis; Matar, Sam.  
págs. 172-176.

#### 4.-INDUSTRIAL CHEMICALS.

Faith.; Keyes. ; Clark.  
págs. 624-630.

#### 5.-ENCICLOPEDIA TECNICA ULLMAN'S

Vol. A21. 1992.  
págs. 488-518.

#### 6.-PERRY'S CHEMICAL ENGINEERS' HANDBOOK.

Perry; Green.  
Sixth edition.  
USA, 1991

**7.-PLASTICS PROCESS ENGINEERING.**

Throne, James.  
Edit. The Society of Plastics Engineers.  
U.S.A., 1978.  
págs. 1-60.

**8.-PETROCHEMICAL MANUFACTURING AND MARKETING GUIDE**

Volume 2: Olefins, Diolefins and Acetylene  
Robert B. Stobaugh Jr.  
Edit. Gulf Publishing Company  
USA, 1968  
págs. 49-58

**9.-SHREVE'S CHEMICAL PROCESS INDUSTRIES.**

Austin, T. George.  
págs. 656-658.

**10.-SAX'S DANGEROUS PROPERTIES OF INDUSTRIAL MATERIALS.**

Lewis, J. Richard, Sr.  
edit. Van Nostrand Reinhold.  
8th, edition. Vol. I y II  
New York, 1992.

**11.-INGENIERIA DE LA CINETICA QUÍMICA**

J.M. Smith.  
edit. CECSA.  
Primera edición en español  
México, 1986.  
págs. 479-485 y 691-705.

12.-INTRODUCCION A LA TEORIA DE LOS REACTORES QUÍMICOS.

Denbigh, K.G.;TURNER, J.C.R. Turner.

edit. Limusa.

Primera edición.

México, 1990.

págs 203-232.

13.-DISEÑO DE REACTORES QUIMICOS.

Blanco, A.J.; Linarte, L.R.

Edit. Trillas

México, 1978.

págs. 96-98.

14.-PLANT DESIGN AND ECONOMICS FOR CHEMICAL ENGINEERS.

Peters, S. Max; Timmerhaus D. Klaus.

Edit. Mc Graw-Hill International Book Company.

3rd. edition.

EUA, 1986.

15.-PROCESS PLANT ESTIMATING, EVALUATION AND CONTROL

Guthrie, M. Kenneth.

Edit. Craftsman Book Company of America.

EUA, 1974.

16.-INTRODUCCIÓN A LA ADMINISTRACIÓN FINANCIERA

Solomon E. y Pringle J.J.

Edit. Diana

Primera edición.

México, 1984.

Tercera parte

**17.-EVALUACIÓN DE PROYECTOS**

Baca Urbina, Gabriel.  
Edit. MacGraw-Hill  
3ra. Edición  
México, 1975.

**18.-INGENIERIA ECONÓMICA**

Blank, T. Leland y Tarquin, J. Anthony.  
Edit. McGraw-Hill  
3ra. Edición  
México, 1992.

**19.-EMERGING TECHNOLOGIES IN PLASTICS RECYCLING**

Edit by American chemical Society.  
USA, 1992.  
págs 2-84, 134-142, 182-183 y 258-265.

**PUBLICACIONES PERIODICAS**

**20.-HYDROCARBON PROCESSING**

Petrochemical Handbook'91.  
Vol. 70; No. 3; march 1991.  
págs. 170-171.

**21.-HYDROCARBON PROCESSING**

Petrochemical Handbook'85.  
Vol. 64, No. 11; november 1985.  
págs. 159-161.



22.-HYDROCARBON PROCESSING

Achema'94 Perspective.

World Polymers Market Outlook.

Vol. 73; No. 5; may 1994.

págs. 57-59.

23.-HYDROCARBON PROCESSING

Loss Prevention.

Learn From The Phillips Explosion.

Vol. 70; No. 3; march 1991.

págs. 83-84.

24.-CHEMICAL ENGINEERING PROGRESS.

Economics.

Predict Petrochemicals' Price Behavior Simply.

Vol. 89; No. 10; october 1993.

págs. 61-66.

25.- CHEMICAL ENGINEERING (a publication of the Macgraw-Hill Companies).

Equipment: finding the true cost.

Vol. 102, No. 8; august 1995.

pags. 68-76.

26.- CHEMICAL ENGINEERING (a publication of the Macgraw-Hill Companies).

- Materials of construction: Take the guesswork out of plastics selection.

Vol. 110, No. 10; october 1994.

pags. 84-97.

- How to evaluate projects and estimate costs.

Vol. 110, No. 10; october 1994.

pags. 108-117.

27.-PROGRESS IN POLYMER SCIENCE.(An international Review Journal)  
The influence Of Abiotic and Biotic Enviroments On The Degradation Of  
Polyethylene  
Vol. 15; No. 12; 1990.  
págs. 177-191.

28.-CHEMICALWEEK (special suplement to Global news and analysis for  
the industry).  
Mexican Chemicals, and industry review.  
June 16, 1993.

29.-CHEMICALWEEK (special suplement to Global news and analysis for  
the industry).  
Mexico, signs of strength after a tough year.  
June 15, 1994.

30.-CHEMICALWEEK (special suplement to Global news and analysis for  
the industry).  
Mexico, Into the era of privatization.  
June 14, 1995.

31.-ANUARIO ANIQ 1992  
Anuario Estadístico de la Industria Nacional Química.  
México 1992.  
pág. 83 y 195.

32.-ANUARIO ANIQ 1993  
Anuario Estadístico de la Industria Nacional Química.  
México 1992.  
pág. 90 y 205.

33.-ANUARIO ANIQ 1994

Anuario Estadístico de la Industria Nacional Química.  
México 1992.  
pág. 94 y 196.

34.-ANUARIO ANIQ 1995

Anuario Estadístico de la Industria Nacional Química.  
México 1992.  
pág. 101 y 208.

35.-LA INDUSTRIA QUIMICA EN MEXICO

INEGI. Edición 1994.  
págs. 93-128.

36.-ANUARIO ESTADISTICO DEL ESTADO DE VERACRUZ.

INEGI. Edición 1995.  
pags. 45-53 y 96-115.

37.-THE ICIS-LOR GROUP.

Publicación mensual de precios del PEAD en el mundo. Biblioteca de PEMEX.  
De Julio de 1994 a Marzo 1996.

38.-MERCADO DE LA INDUSTRIA DEL PLÁSTICO

IMPI. Edición 1995.

39.-LA INDUSTRIA DEL PETROLEO EN MEXICO.

INEGI. Edición 1993.  
págs 570-573.

**40.-MEMORIAS DE LABORES DE PEMEX.**

PEMEX, edición 1995

**41.-CAPEM AND OXFORD ECONOMIC FORECASTING**

Análisis y proyecciones de la economía mexicana.

Volumen II, Número 4.

Diciembre de 1995

págs. 50-86 y 169

**42.-THE NATIONAL TRADE DATA BANK (The Export Connection).**

US Department of Commerce Economics and Statics Administration Office of Business Analysis.

May, 1996.

**DIRECCIONES EN INTERNET**

43. <http://www.pemex.com>

(Petróleos Mexicanos)

44. <http://www.imp.mx>

(Instituto Mexicano del Petróleo)

45. <http://www.aniq.com.mx>

(Asociación Nacional de la Industria Química, A.C.)

46. [http://www.yahoo.com/Science/Petroleum\\_Engieneering](http://www.yahoo.com/Science/Petroleum_Engieneering)

(Artículos referentes al tema)

47. <http://www.altavista.com>

(Buscador de información en web)

48. <http://www.upe.com>

(Universal Process Equipment)

49.-<http://www.hoechst.com>  
(Hoechst, AG.)

50.- <http://www.primerate.com>  
(Tasa "Prime-Rate")

51.- <http://www.newspage.com>  
(Artículos acerca de diferentes tópicos)