



2
22j
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

EFICIENCIA Y COMPETITIVIDAD EN LA FABRICACION
DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE :

INGENIERO QUÍMICO

P R E S E N T A :

Rubén Aguilar Hernández



México, D. F.

1991

FALLA DE ORIGEN



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 está 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.

**EFICIENCIA Y COMPETITIVIDAD EN LA FABRICACION
DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD**

INDICE

	PAG
CAPITULO I. INTRODUCCION	1
CAPITULO II. GENERALIDADES	7
II.1 Antecedentes	8
II.2 Identificación del producto	14
II.3 Estructura química, física y propiedades	15
II.3.1 Estructura química	15
II.3.2 Estructura física	17
II.3.3 Propiedades	22
II.3.3.1 Permeabilidad y fragilidad	22
II.3.3.2 Formación de Bloques ("Blocking")	23
II.3.3.3 Propiedades eléctricas térmicas y fallas a esfuerzos	24
II.4 Resistencia Química	27
II.5 Estabilización del plástico	27
II.5.1 Estabilización a la fotooxidación	28

II.5.2	Estabilización de la oxidación térmica	28
II.6	Usos y aplicaciones del polietileno	28
CAPITULO III.	MERCADOS NACIONALES E INTERNACIONALES DEL PEAD	30
III.1	Mercado Internacional	31
III.2	Distribución del Consumo Internacional	36
III.3	Empresas Fabricantes Nacionales	36
III.4	Capacidad Instalada en el país	37
III.5	Producción	38
III.6	Importaciones	43
III.7	Consumo Aparente en México	45
III.8	Pronóstico y Perspectiva del Mercado Nacional	48
CAPITULO IV.	PROCESOS PARA LA FABRICACION DEL POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD	49
IV.1	Procesos para la fabricación del PEAD	50
IV.1.1	Polimerización en Solución	50
IV.1.2	Polimerización en Suspensión	51
IV.1.3	Polimerización en fase gaseosa	53
IV.2	Procesos industriales usados en la producción de PEAD	54
IV.2.1	Proceso Union Carbide	54
IV.2.2	Proceso Mitsubishi Petrochemical Co., LTD	57
IV.2.3	Proceso Phillips Petroleum Co.	60

IV.2.4	Proceso Naphthachimie	63
IV.2.5	Proceso de BP Chemicals LTD	67
IV.2.6	Proceso Hoechst AG.	71
IV.2.7	Proceso Asahi	74
IV.2.8	Proceso Chemische Werke Huls AG.	78
IV.2.9	Proceso Montedison S. p. A.	82
IV.2.10	Proceso Dupont	85
IV.2.11	Copolimerización catalítica de etileno con monómero reciclado	86
IV.2.12	Proceso de reciclado del PEAD	87
IV.2.12.1	Aspectos económicos del reciclado	90
IV.2.12.2	Métodos generales de separación del PEAD de otros plásticos	92
CAPITULO V. SELECCION DEL PROCESO PARA LA FABRICACION DEL POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD		94
V.1	Parámetros de selección del proceso	95
V.2	Selección del proceso	96
V.2.1	Proceso seleccionado	100
CAPITULO VI. RESULTADOS		102
CAPITULO VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		111
BIBLIOGRAFIA		118

I. INTRODUCCION

A partir de la crisis petrolera de 1973, surge la necesidad de un cambio estructural, en la industria de los países desarrollados; esta transformación está fundamentada en una Revolución Tecnológica, y para favorecerla se requiere una serie de cambios en la base industrial que afectan la regulación total de la economía.

La modernización no implica sólo adopción o inversión en nuevas tecnologías, sino que trae consigo transformaciones: en los procesos industriales para aumentar la eficiencia de la producción (dada como una medida del uso de las técnicas productivas, valorando la utilización de los recursos en términos de costo), en el financiamiento y en las relaciones laborales.

Dentro de este marco y como respuesta hacia la escasa competitividad (considerada como la capacidad de competir en la producción, aseguramiento de calidad, costos técnicos, ingeniería, mantenimiento y desarrollo de productos y procesos) de las plantas productivas, en algunos países desarrollados surge la "Reconversión Industrial", este proceso puede ocurrir en dos formas, según lo dicten las fuerzas del mercado, o coordinado por

el Gobierno y aplicado a los sectores industriales.

En México, los esfuerzos de modernización de la planta productiva ocurren según el último proceso.

La Industria Mexicana ha quedado lastimada por los años de crisis y la poca inversión, que ha llevado al deterioro de mucha maquinaria y equipo. Los cambios en la paridad cambiaria han ido enseñando al industrial a depender menos del extranjero y tratar de exportar más.

El problema más grande de la industria es probablemente la baja utilización de su capacidad, 60 % del tiempo que se programa y paga para trabajar se desperdicia por fallas técnicas, humanas o de falta de materiales o herramientas^I, lo que traduce en una baja productividad (se entiende como el producto de la eficiencia por el rendimiento), y se debe a una baja eficiencia.

En el caso de materias primas derivadas de la petroquímica, la programación de la producción resulta muy difícil debido a los paros por falta de materias primas, que son fabricadas e importadas por PEMEX.

El desarrollo y la problemática por la que atraviesa la industria petroquímica básica y secundaria, se caracteriza por los factores anteriores y la apertura de fronteras para el libre comercio, creandose nuevos retos de competencia en el mercado

nacional e internacional.

Esta situación, las circunstancias y cambios que prevalecen en el mercado son las causas principales que motivaron a la realización de esta tesis, por lo cual se seleccionó el polietileno de alta densidad (PEAD), por ser uno de los productos petroquímicos más importantes en nuestro país, debido a su gran variedad de aplicaciones como producto final y por ser uno de los plásticos de ingeniería más importantes a nivel mundial.

Los plásticos de ingeniería son aquellos que combinan la ligereza y la resistencia a la corrosión, manteniendo un equilibrio en sus propiedades de rigidez y dureza. Estos se dividen en 2 grandes grupos: el primero y más importante es el de los termoplásticos y el segundo es el de los termofijos.

El PEAD es un termoplástico, su consumo aparente es de 258,500 ton anuales, la capacidad instalada de PEMEX es de 200,000 ton/año, pero sólo cubre el 41 % de la demanda, es decir, existe un déficit de 152,500 ton, por lo que se hacen necesarias las importaciones a fin de satisfacer la demanda total de este producto, lo que se traduce en una falta de productividad a lo largo de toda la cadena productiva que usa este producto petroquímico.

Debido a que la industria petroquímica nacional tiene un carácter prioritario, por la oportunidad que representa para

aprovechar recursos naturales disponibles, generar divisas y fortalecer la integración del país dentro del esquema de modernización, establecido en el Plan Nacional de Desarrollo 1988-1994.

A fin de implementar las estrategias de este Plan apareció el decreto del 15 de Agosto de 1989, en el que se clasifican los productos petroquímicos, en petroquímicos básicos y secundarios.

El PEAD en este decreto es considerado como producto petroquímico secundario surgiendo el interés por estudiar la factibilidad técnico-económica para establecer plantas productoras, que satisfagan el déficit del mercado nacional y eventualmente permitieran la exportación de este producto y competir en el mercado mundial.

En marco de referencia de la modernización, este trabajo comprende un estudio de mercado a nivel nacional e internacional así como una descripción de los procesos de fabricación disponibles del PEAD en la actualidad, que permitan evaluar la competitividad de la industria del polietileno. Se incluye también un ejemplo del proceso de selección del proceso de fabricación y generalidades sobre la tecnología para el reciclado de este producto y su situación en México.

Si se desea competir a nivel internacional con este producto, es necesario buscar procesos que sean altamente

productivos o en su caso realizar los estudios pertinentes a fin de modificar y elevar la eficiencia de los procesos existentes actualmente, ya que los precios nacionales son más altos que los internacionales.

Por lo anterior, los objetivos de esta tesis son:

- 1) Realizar un estudio de los mercados internacional y nacional del polietileno de alta densidad (PEAD) a fin de conocer sus diferencias y similitudes en su comportamiento, y nos indiquen la competencia que existe.
- 2) Describir los procesos para fabricación de PEAD existentes y conocer cual es el estado del arte en esta tecnología, para evaluarlos y compararlos con el proceso nacional.
- 3) Conocer cuál será la eficiencia de la reconversión en la industria nacional del PEAD.
- 4) Presentar una alternativa para la sustitución de importaciones de polietileno virgen, mediante el reciclado para los usos que lo permitan.
- 5) Proponer una metodología para seleccionar el proceso para fabricación de PEAD.

II. GENERALIDADES

II.1 Antecedentes

En la Revolución Industrial¹ se distinguen diferentes etapas que corresponden a tres períodos históricos.

La 1ª. Revolución Industrial ocurrió en el período (1760-1830) y representa la aplicación sistemática de la ciencia al proceso de la producción y que permitió el descubrimiento de nuevas materias primas, el uso de maquinaria, etc.

La actividad económica se especializó y la fábrica se constituyó en una nueva organización del trabajo, que generó los mercados. Para esta Revolución fueron condiciones esenciales, el capital, la mano de obra y el progreso de la tecnología.

A finales del siglo XIX ocurrieron profundos cambios en el sistema económico industrial provocados por el uso de nuevos energéticos como el vapor, el motor de combustión interna, etc.

Es también en esta etapa cuando aparecen los primeros estudios sistemáticos que buscaban la eficiencia y la productividad en la producción. Este es el período conocido como

la segunda Revolución Industrial.

En los años 40's se inicia la tercera Revolución Industrial caracterizada por su enfoque logístico e impactada por el descubrimiento y uso de la Energía Nuclear y la aparición de la electrónica. En esta etapa, las grandes compañías se transforman debido a la competencia internacional.

Los procesos de producción se automatizan aceleradamente como consecuencia de los avances de la electrónica y microelectrónica, haciendo hincapié en la productividad y la innovación.

En este período es donde aparecen los esquemas de Reconversión Industrial y Modernización, representados por un conjunto de transformaciones en los procesos productivos, debidos al uso de nuevos equipos, instrumentos, materiales y fuentes de energía.

Esta transformación conduce a cambios profundos en el sistema productivo, al promover y dinamizar nuevos sectores industriales y generar una nueva estructura en las relaciones sociales, políticas y económicas.

El concepto de Reconversión Industrial surge y se desarrolla en el mundo de los "shocks" petroleros y financieros de la década de los 80's cuyos efectos favorecen a cambios industriales

importantes. La crisis del Golfo Pérsico es un ejemplo de estas situaciones.

La rápida elevación de los precios del petróleo² favoreció el establecimiento de programas de ahorro y diversificación de fuentes de energía.

En la tabla N° 1 se muestran los precios internacionales del petróleo, tomando como referencia el de Arabia Saudita y comparado con los crudos Mexicanos; Maya, Istmo y Olméca.

Los problemas financieros a nivel mundial obligaron a instrumentar programas de sustitución de importaciones e intensificar la investigación y el desarrollo tecnológico de nuevos procesos y productos, con el propósito de buscar una mejor posición en el cada vez más competido mercado mundial.

La reconversión industrial es un proceso mediante el cual una economía, que sufre desajustes macroeconómicos internos, el impacto de tecnologías innovativas y la intensa competencia internacional, favorece la reorientación de su patrón de industrialización a través de ajustes productivos, tecnológicos, administrativos y financieros en sectores industriales en crisis y la promoción de nuevas industrias acordes con el cambio tecnológico y orientadas a las necesidades del mercado ³.

TABLA N° 1
Precios Internacionales del petróleo
Promedio Anual¹
(Dóls/barril)

	Arabia Saudita ²	Maya ³	Istmo	Olmecca ⁴
1979	15.97	21.50	19.55	-
1980	28.00	28.64	33.24	-
1981	32.50	31.01	35.93	-
1982	34.00	25.23	32.81	-
1983	29.50	23.96	29.54	-
1984	29.00	25.33	29.00	-
1985	28.00	24.09	27.19	-
1986	15.11	10.56	13.48	-
1987	18.37	15.11	17.52	-
1988	14.96	11.08	13.85	14.22
1989	17.07	8.94	11.43	12.37
1990 ^P	23.00	16.00	18.00	20.00

FUENTE: Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal.

¹ Para 1989, se refiere a precios de exportación.

² A partir de 1987 se toma como referencia el precio del petróleo tipo Brent.

³ Su exportación se inicia en el último bimestre de 1979.

⁴ Su exportación se inicia en el segundo bimestre de 1988.

^P Datos preliminares

En la industria nacional la modernización debe constituirse en una transición hacia nuevas estructuras que le permitan elevar tanto su eficiencia de producción, su capacidad competitiva, así como su flexibilidad ante los cambios del mercado internacional.

En materia de tecnología debe promoverse su adaptación, teniendo en cuenta la disponibilidad de la mano de obra y la asimilación de la tecnología, que permitan el fortalecimiento de la planta industrial, la innovación y cambio de los equipos en operación, a fin de ajustarlos a las características y necesidades de cada sector industrial.

Al modernizar la planta productiva se busca optimizar los recursos con que se cuenta, para lograr elevar la producción y los niveles de calidad, así como lograr precios y calidad competitivos en el mercado internacional.

El decreto del 13 de Octubre de 1986^{3,4,5}, expedido por el Gobierno Federal dentro del marco de la Reversión Industrial, establece que es prioritario para el país, el incremento de las inversiones productivas, a fin de aumentar la producción de productos petroquímicos básicos y secundarios que requiere la industria nacional, para satisfacer la demanda interna, promover la integración de cadenas productivas de exportaciones no petroleras de productos de alto valor agregado, definiendo la resolución de los productos que mantienen su carácter de básicos

y secundarios.

En esta clasificación, el polietileno de alta densidad queda comprendido dentro de los productos petroquímicos básicos y por lo tanto sólo PEMEX u Organismos subsidiarios Estatales podrán fabricarlo.

El decreto del 15 de Agosto de 1989⁶, continuando con la estrategia del Programa Integral de Fomento a la Industria Petroquímica de 1986, reduce a 20 productos, los productos petroquímicos básicos y el resto pasa a ser considerado como petroquímicos secundarios y por tanto susceptibles de ser fabricados por otras empresas⁷ diferentes de PEMEX.

El polietileno de alta densidad objeto de estudio de este trabajo, es un producto que cambió de petroquímico básico a secundario y dentro del marco de la reconversión, permitirá la introducción de nuevas tecnologías o el desarrollo de tecnologías propias debido a su importancia económica y tecnológica.

Dado que existe una infraestructura productiva para este producto, el desarrollo o asimilación de nuevas tecnologías permitirá buscar la eficiencia productiva y los estudios de la demanda interna, precios, tamaño de planta, estos permitirán conocer cuales son las oportunidades para competir en mercados internacionales.

II.2 Identificación del producto

El polietileno es un termoplástico de peso molecular comprendido entre 10,000 y 40,000 u.m.a. y es el producto de la polimerización de etileno con densidad igual o mayor a 0.941 g/cm^3 *, incluyendo el homopolímero y el copolímero de etileno con altas alfa-olefinas.

Por sus propiedades eléctricas, flexibilidad, resistencia química y peso ligero es un material apropiado para una gran cantidad de aplicaciones o productos terminados.

El polietileno de alta densidad (PEAD) se vende comercialmente en costales de 25 kg., en forma de pallets, de cristalinidad variable de acuerdo a la densidad, como se describirá posteriormente.

* De acuerdo a la clasificación del ASTM D 1248 el polietileno es del tipo III y IV.

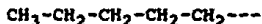
II.3 Estructura química, física y propiedades

II.3.1 Estructura química

La fórmula general para el polietileno es $(CH_2)_n$ y su composición analítica es: C: 85.7 % y H: 14.3 %.

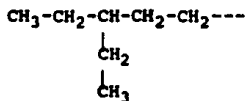
La estructura de un polietileno, tiene una cadena ramificada⁸ y contiene grupos olefinicos de tres tipos principalmente: $RCH=CH_2$, $RCH=CHR'$ y $RR'C=CH_2$.

El control de estas ramificaciones es uno de los parámetros moleculares más importantes. Por ejemplo, cuando se usa etileno como único monómero, la molécula de polietileno formada, es una cadena lineal:

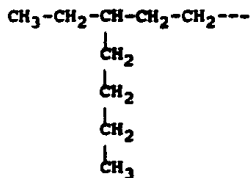


Para la copolimerización pueden ser usadas otras olefinas secundarias y caer dentro de la clasificación general de polietileno. Estos comonómeros pueden ser propileno ($CH_2=CH-CH_3$), buteno ($CH_2=CH-CH_2-CH_3$), hexeno ($CH_2=CH-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$), etc.

Por ejemplo, si se utiliza buteno como comonomero el producto es un polietileno ramificado con cadenas de etilo como se muestra en la figura 1a. Con hexeno se obtienen ramificaciones de cadena de butilo, como se puede ver en la figura 1b.



(a)



(b)

Figura 1. Estructura del polietileno ramificado.

Dependiendo del monómero y comonomero usado para la manufactura del polietileno, las ramificaciones de cadenas cortas pueden ser controladas aproximadamente de 1 a 4 por cada 1000 átomos de carbono⁹.

II.3.2 Estructura física

La estructura de un polietileno puede ser descrita en función de tres factores:

- a) Distribución de ramificaciones en un tipo de cadena.
- b) Configuraciones espaciales que pueden darse en la cadena como las ramificaciones.
- c) Distribución del peso molecular.

La característica más importante de la estructura física del polietileno es la cristalinidad. Este polímero es un material altamente cristalino ($\geq 72 \%$), propiedad debida a las ramificaciones. Por ejemplo, un aumento en las ramificaciones de cadenas cortas reduce la cristalinidad y consecuentemente la densidad también se reduce.

En la tabla Nº 2 se muestra el comportamiento de la cristalinidad y la densidad según el número de ramificaciones del PEAD.

Algunas propiedades físicas son afectadas por los cambios en la densidad, el número y el tipo de

ramificaciones del polímero.

TABLA N° 2

Ramificación de la cadena y cristalinidad del PEAD

Ramificación, CH ₃ por 100 CH ₂	Densidad a 20° C	Cristalinidad, %
0 (polimetileno)	0.99	95
1	0.96	80
2	0.94	72
3	0.92	60
4	0.91	55

FUENTE: Enciclopedia de tecnología Química V.XII

En la tabla N° 3 se mencionan algunas de las modificaciones en las propiedades por un incremento en la densidad.

TABLA N° 3

Cambios en las propiedades al variar la densidad del PEAD

PROPIEDADES QUE SE INCREMENTAN	PROPIEDADES QUE DISMINUYEN
- Resistencia a la tensión hasta el punto de deformación permanente	- Elongación
- Temperatura de ablandamiento	- Impacto a baja temperatura
- Resistencia Química	- Permeabilidad
- Dureza	- Esfuerzo, fatiga ambiental

FUENTE: Boletines Técnicos de Phillips 66 Co.

El peso molecular es otra variable independiente que puede ser controlada durante la síntesis de polímeros, ya que no todas las moléculas son del mismo tamaño. El tamaño de esta variación depende del proceso de polimerización.

El polietileno se caracteriza por el promedio numérico (M_n) y el peso promedio (M_w), que son valores promedio^{8, 9}.

El promedio numérico representa la distribución del peso de todas las moléculas presentes y el peso promedio es la distribución por tamaño y peso de las moléculas que forman el polímero.

$$M_n = \frac{\text{Peso total de todas las moléculas}}{\text{Número total de moléculas}} \quad (1)$$

$$M_w = \frac{\sum (\text{Peso total de las moléculas de cada tamaño} \times \text{los respectivos pesos})}{\text{Peso total de todas las moléculas}} \quad (2)$$

Los valores de los pesos moleculares promedio están influenciados fuertemente por las fracciones de pesos molecular alto, es decir, un cambio pequeño en una cantidad de las cadenas muy largas puede cambiar significativamente el valor M_w .

El peso molecular del polietileno se determina por ebulloscopia¹⁰, osmometría¹¹, crioscopia¹² y por la viscosidad intrínseca^{10,13}. En la industria se utiliza comúnmente el índice de fusión⁹ (MI) que es una medida arbitraria de la fluidez del polietileno.

Este índice establece el grado de flujo y la viscosidad y el peso molecular promedio. La norma ASTM D1248 define los rangos de flujo en 5

categorias. En la tabla N° 4 se muestran los rangos de flujo del PEAD.

Tabla N° 4

Categoría del PEAD de acuerdo al flujo nominal

Categoría	Razón de flujo nominal g/10 min
1	> 25
2	> 10 hasta 25
3	> 1.0 hasta 10
4	> 0.4 hasta 1.0
5	0.4 máx.

FUENTE: ASTM D 1248, Boletines Técnicos de Phillips 66 Co.

El polietileno es una mezcla de especies moleculares que abarca un amplio intervalo de pesos moleculares; ésta no es una variable independiente, como es la copolimerización y peso molecular, pero si depende de las condiciones y procesos de manufactura.

La amplitud de esta distribución es importante porque afecta las propiedades mecánicas como la resistencia a la tracción, la fragilidad, la

temperatura de reblandecimiento, la resistencia al agrietamiento por el esfuerzo y la facilidad de elaboración 8, 9, 14.

II.3.3 Propiedades

II.3.3.1 Permeabilidad y fragilidad

Una propiedad importante del polietileno es su baja permeabilidad^{15, 16} al vapor de agua (4×10^{-9} g/cm² por mm Hg) y por el contrario tiene una alta permeabilidad a los vapores orgánicos y al oxígeno. En la tabla N° 5 se muestra la permeabilidad del PEAD expuesto a diferentes gases.

Tabla N° 5

Constantes de permeabilidad del PEAD para diferentes gases

	N ₂	O ₂	CO ₂	H ₂ O
Polietileno ($\delta=0.922$ g/cm ³)	20	59	280	800
polietileno ($\delta=0.954$ g/cm ³)	3.3	11	43	180

FUENTE: Revista Panorama Plástico 1987

En la tabla N° 6 se muestran algunas de las propiedades del PEAD ¹⁰.

Tabla N° 6

Propiedades físicas, térmicas, eléctricas y mecánicas del PEAD

Propiedades	Alta linearidad	Bajo Grado de ramificaciones
Físicas		
Densidad g/cm ³	0.962-0.968	0.950-0.960
Indice de refracción n(293 K,D)	1.54	1.53
Térmicas		
Punto de fusión K	401-408	398-405
Capacidad calorífica KJ (Kg.K)	1.67-1.88	1.88-2.09
Conductividad térmica W/(m.K)	0.46-0.52	0.42-0.44
Calor de combustión KJ/g	46.0	46.0
Eléctricas		
Constante dieléctrica a 1 MHz	2.3-2.4	2.2-2.4
Resistividad de volumen $\Omega \cdot m$	$10^{17}-10^{18}$	$10^{17}-10^{18}$
Resistividad de superficie Ω	10^{15}	10^{15}
Intensidad dieléctrica KV/mm	45-55	45-55
Mecánicas		
Punto de cedencia MPa	28-40	25-35
Módulo de tensión MPa	900-1200	800-900
Resistencia a la tensión MPa	25-45	20-40
Fuerza de flexión MPa	25-40	20-40
Elongación % en el punto de cedencia	5-8	10-12
de rompimiento	50-900	50-1200

 NTE: Encyclopedia of Polymer Science and Engineering. Vol. 6

II.4 Resistencia Química

El polietileno es resistente al agua y a soluciones acuosas diluidas. Por ello, no se observan cambios en sus propiedades de aislante eléctrico u otras de tipo físico, en una atmósfera de gran humedad o inmersión.

Los ácidos sulfúrico y nítrico concentrados, así como otros agentes de oxidación, atacan lentamente el plástico. Se considera en general, que el polietileno es resistente a los solventes comunes a temperaturas inferiores a los 333 K. A temperaturas superiores a 343 K es atacado con mayor intensidad por hidrocarburos alifáticos, aromáticos y clorinados ^{8, 9, 14, 15}.

II.5 Estabilización del plástico

Los polímeros son hidrocarburos y por lo tanto, sufren oxidación por calor y luz. Cantidades pequeñas de antioxidantes son adicionadas al plástico durante la manufactura para protegerlo.

A continuación se presentan algunos de los estabilizadores más empleados para el polietileno (PEAD) ^{8, 14, 15}.

II.5.1 Estabilización a la fotooxidación

El más usado es el negro de humo, este compuesto debe disipar la energía absorbida en forma tal que no degrade al polímero.

También pueden usarse absorbedores de radiación ultravioleta que protegen el polietileno, por su habilidad para absorber esta radiación que lo daña, otros estabilizadores usados son hidrazones, arilamidinas y éteres aril-amido.

II.5.2 Estabilización de la oxidación térmica

Se usan aminor secundarias para la estabilización del polietileno, y compuestos fenólicos como el 2,2 tío bis (4 metil-6 terbutil fenol) y el negro de humo.

II.6 Usos y aplicaciones del polietileno

Por su facilidad de fabricación con equipo convencional de procesamiento de plásticos, su amplio rango de propiedades y bajo costo, se ha incrementado el número de las aplicaciones del polietileno^{16, 17}.

La industria del empaque lo usa en diversos productos, por ejemplo, en la fabricación del "tetra pak", bolsas protectoras contra la humedad, contenedores para productos alimenticios pareceros, etc. En la industria de la construcción y la agricultura es utilizado como protector de materiales de construcción, para disminuir transmisión de humedad en pisos. En la agricultura para preservar sembradíos y en la fabricación de invernaderos.

Otras aplicaciones son embalaje, aparatos domésticos, comunicaciones, medicina, filamentos, instalaciones químicas, juguetería, usos eléctricos y automotrices, etc.

La gran diversidad de aplicaciones del polietileno, impone restricciones de procesamiento del material. A continuación se presentan diferentes tipos de procesamiento del PEAD:

Extrusión

Tubos y tubería

Recubrimiento de alambre y cable

Película

Termografiado

Moldeo por soplado

Moldeo por inyección

Moldeo rotacional

III. MERCADOS NACIONALES E INTERNACIONALES DEL PEAD

III.1 Mercado Internacional

La capacidad total instalada para la producción de PEAD a nivel mundial^{16, 17} es del orden de los 13.2 millones de toneladas *, correspondiendo el 38.6 % a Estados Unidos, el 27.6 % a Europa Occidental y 7.9 % a Japón.

En la tabla Nº 7 muestra el consumo aparente del PEAD a nivel internacional en el período 1981-1990. En estos datos se observa un crecimiento constante en el período estudiado 1981-1990.

La demanda del PEAD^{18, 19, 20, 21} se ha incrementado durante los últimos años a una tasa promedio anual de 7.2 % en Canadá, 8.6 % en Estados Unidos, de 5.0 % en Japón y 9.0 % en Europa Occidental.

* Datos publicados hasta 1989.

TABLA N° 7
Poliétileno de Alta Densidad
Consumo Aparente
(Miles de Toneladas)

AÑO	EUROPA			
	OCCIDENTAL	E.U.A.	JAPON	CANADA
1981	1,365	1,919	524	172
1982	1,372	1,976	581	163
1983	1,527	2,139	587	207
1984	1,639	2,384	690	218
1985	1,819	2,628	680	237
1986	2,019	2,778	692	233
1987	2,312	3,305	732	254
1988	2,566	3,383	809	- *
1989	2,649	3,314	881	- *
1990 ^e	2,835	3,387	966	- *

 FUENTE: Anuario Estadístico de Plásticos 1988, 1990 IMPI

^e Datos estimados

* No reportado

El aprovechamiento de la capacidad instalada, ha declinado en la mayoría de los países productores²², excepto en Estados Unidos donde se incrementó la producción y los tiempos muertos de operación disminuyeron, trabajando hasta en un 97 % durante 1986, en la producción de polietileno de alta densidad.

En la tabla N° 8 se listan las plantas de polietileno que existen en el mundo así como sus capacidades instaladas. En esta misma tabla se señalan las plantas que están actualmente en construcción y que incrementarán próximamente la capacidad de producción.

Estas plantas están utilizando nuevas tecnologías o modificaciones a procesos ya existentes ^{23, 24, 25}.

TABLA Nº 6

Plantas de Polietileno en el Mundo

País	Compañía	Lugar de la planta	Capacidad	Costos		Estado	Licenciador	Ingeniería	Contratista
				Estimados	de la planta				
USA	Quantum Chem Corp	Cloritor	18 Mt/año	-		EB9	-	John Brown	John Brown
USA	Allied Signal Inc	Baton Rouge	By 43 Mt/año	-		C	-	-	-
USA	Cain Chemical Inc	Key City	Ex 181 Mt/año	-		EP0	-	John Brown	John Brown
USA	Chevron Chemical Co	Baytown	220 Mt/año			US1	Ba Chem	Fluor Daniel	Fluor Daniel
USA	Exxon Chem Americas	Baytown	Ex	100,0		EP0	-	NES	Brown & Root
USA	Exxon Chem Americas	Mont Selevieu	120 Mt/año	-		EP0	Nitsui P	NES	-
USA	Dry Chem	Montgomery	By 181 Mt/año	-		UP0	Nissan Chem	John Brown	Becon
USA	Phillips 66 Co	Pasadena	By 47 Mt/año	-		C	-	S & B	Zachry
USA	Phillips 66 Co	Pasadena	By 124 Mt/año	-		UP0	Phillips	Kellogg	Brown & Root
USA	Quantum Chem Corp	Deer Park	90 Mt/año	-		UP0	Quantum	Fluor Daniel	Fluor Daniel
USA	Solvay Polymer Corp	Deer Park	By 136 Mt/año	-		UP0	Solvay	Fluor Daniel	Fluor Daniel
Canada	Petrobrant Inc	Warenes	200 Mt/año	-		P	UEC	-	-
Brazil	Petrobrás Petroquímica	Trucão	By 60 Mt/año	43,0		UP9	Hoechst	UPE	-
México	PEPET	Merida	100 Mt/año	-		UP5	Psatis	Asahi	Staff
Francia	Solvay & Co	Barralbe	By 25 Mt/año	-		UP9	Solvay	Combric	-
Escocia	Ba Chem Ltd	Graysmouth	By 100 Mt/año	-		UP5	-	FM	FM
España	Repsol Química	Puertollano	70 75 Mt/año	-		UP0	-	-	-
España	Repsol Química	Tarragona	70 140 Mt/año	-		UP9	-	Instec/Sener	-
Alemania	Petrochemie GmbH	Burgasheim	80 Mt/año	-		EP0	Nitsui P	Lurgi	-

Indonesia	INA Petrochemical Co.	Denpasar	80 M/año	70.0	PP2	-	-	-
Libia	Alcoa's Oil Ref.	Farafra	51 M/año	-	F	-	-	-
Irak	Natl Petrocheml Co	Amak	50 M/año	55.0	EP1	Hoecnst	Udde	Udde
Turquia	Petkim Petrochemicals	Manisa	20 M/año	-	EP1	Ritsui P	-	-
India	Indian Petrocheml Co	Madras	30 M/año	1,025.0	PP2	Phillips	Bernal-Linde	Engr India
India	Indian Petrocheml Corp	Nagthane	150 M/año	-	UB9	BF Chemt	Technip	Technip
India	Reliance Ind Ltd	Hydra	60 M/año	-	EP1	Du Pont Can	Lumus Crest	Lumus Crest
Japón	Jike Ind Ltd.	Osaka	51 M/año	-	FB9	BF Chemt	Staff	Staff
Japón	Shimizu Denka	Osaka	28 M/año	-	C	Shimizu Denka	Staff	Staff
Corea	Hyundai Petrocheml Co	Cheonan	100 M/año	-	EP1	Phillips	Chiyowa	Staff
Corea	Hyundai Petrocheml Ind	Ulsan	100 M/año	15.0	EP9	-	Chisso Engr	-
Taiwan	Plastic Corp	Taipei	140 M/año	-	E	Stam Carton	Staff	Staff
Tailandia	Thai Polyethylene Co	Rayon	30 M/año	-	UB9	Ritsui P	NES	NES

FUENTE: Investigación Prosiag datos de Hydrocarbon Processing's

Notas:

- Pr Incremento a la Capacidad
 - To Capacidad total después de construcción
 - Pe Modernización, Reparación
 - Ex Expansión no clasificada
 - Mi Nuevas torres
 - P Planeación
 - E Ingeniería
 - U En construcción
 - C Terminación
 - BF Los dos últimos números indican la estimación de la terminación de la construcción.
- Costos Estimados (Costos en millones de dólares U.S.)

III.2 Distribución del Consumo Internacional

El PEAD ha ido incrementando sus mercados^{16, 17} en Europa Occidental principalmente en tubería y película, pasando del 17.3 % en 1981 al 24.1 % en 1987. En Japón la aplicación del PEAD en película pasó del 25.2 % en 1981 a 41.1 % en 1987. Por otra parte, el procesamiento del polímero por soplado e inyección disminuyeron del 20.2 % al 17.5 % y del 23 % al 15.51 % respectivamente durante el mismo período.

III.3 Empresas Fabricantes Nacionales

Actualmente la fabricación del polietileno de alta densidad, en México, sólo la realiza Petróleos Mexicanos, hasta 1985 también importaba las cantidades faltantes para cubrir la demanda nacional.

Como se mencionó anteriormente, en la nueva reclasificación de productos petroquímicos (Decreto del 15 de Agosto de 1989), el polietileno corresponde a la clasificación de petroquímico secundario, por lo que cualquier empresa previo permiso de la Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal, podrá fabricar dicho polímero.

III.4 Capacidad Instalada en el país

En la actualidad, el polietileno (PEAD), se fabrica en dos plantas: una se encuentra ubicada en Poza Rica, Veracruz^{26,27} (Complejo de Escolín) con una capacidad nominal de 100,000 Toneladas anuales, y que entró en operación en 1978; La otra se encuentra en Veracruz²⁸ (Complejo Morelos) con una capacidad nominal de 100,000 Toneladas anuales, entrando en operación en 1989 *.

Otra más se encuentra en planeación^{16,29}, a instalarse probablemente en Lázaro Cárdenas, Michoacán, con una capacidad nominal de 180,000 Toneladas anuales de producción.

A la fecha no se sabe como será el régimen de propiedad de la planta, pero sólo pueden haber tres alternativas:

- a) Sólo tendrá la participación de PEMEX.
- b) Participará PEMEX con alguna otra compañía del mismo sector.
- c) Será propiedad de la industria privada.

* Estas plantas actualmente no operan a su máxima capacidad.

A la fecha SEMIP no ha reportado, ningún permiso petroquímico otorgado a industrias del sector petroquímico estatal o privado, para la manufactura del PEAD.

Sin embargo, con la reciente apertura para la producción de este polímero por el sector privado¹⁷, cuenta dentro de los proyectos, más viables los planeados por Union Carbide Mexicana, S.A. y probablemente el correspondiente a Química Hoechst de México, S.A. de C.V.

III.5 Producción

El polietileno es una de las principales materias primas usadas en la industria de los plásticos, debido primordialmente a sus excelentes propiedades para moldearse por soplado e inyección.

En la tabla N° 9 se muestran los diferentes tipos de polietileno comercial³⁰ que se fabrica en México, así como propiedades y aplicaciones.

TABLA N° 9

Diferentes tipos de polietileno que produce PEMEX

Tipo	PADMEX 50003	PADMEX 60003	PADMEX 55010	PADMEX 65060	PADMEX 60120
Densidad g/cm ²	0.950	0.960	0.955	0.965	0.960
Indice de fluidez g/10 min	0.3	0.3	1.0	5.0	12.0
Dureza Shore D	65	70	66	72	72
Temperatura de ablandamiento K	397	401	395	401	401
Temperatura de fragilidad K	343	343	343	343	343
Resistencia al impacto Kg ² .cm/cm	20	25	25	10	7
Resistencia a la tensión en el punto de deformación permanente Kg/cm ²	250	290	250	310	300
Alargamiento %	500	900	1000	900	700
Módulo de flexión Kg/cm ²	11000	15000	11000	17000	16000
APLICACIONES	Moldeo por soplado	Moldeo por soplado	Cintilla, por monofila- mento	Moldeo por inyección	Moldeo por inyección

FUENTE: Investigación Directa; Subdirección General de Ventas PEMEX

La producción de PEAD^{27, 28, 31, 32} desde 1979, no ha sido suficiente para abastecer la demanda del mercado interno, teniendo que recurrir a las importaciones para satisfacer el déficit existente.

La tabla N° 10, muestra que la producción ha ido en aumento desde que se inició la producción hasta 1983. En 1984 hubo un descenso en la fabricación del 7.2 %. En 1985 la producción decreció en 11.1 % con respecto a 1984, pero volviéndose a incrementar la producción en los siguientes años.

La gráfica N° I muestra la producción de PEAD durante el período 1978-1990.

TABLA N° 10
Polietileno de Alta Densidad
(Toneladas)

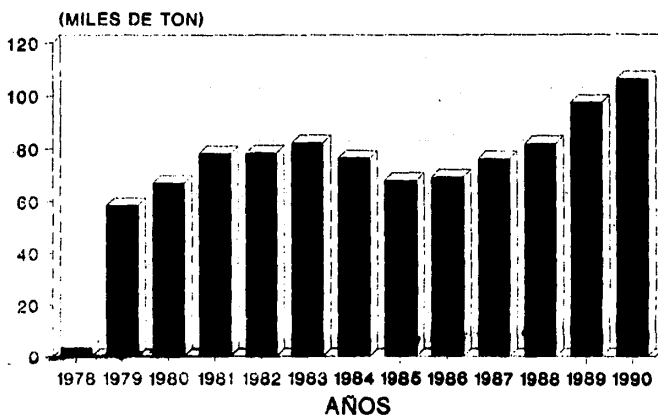
AÑO	CAPACIDAD		VARIACION %		CONSUMO	VARIAC %
	INSTALADA	PRODUCC	PRODUCC	IMPORTACION	APARENTE	C. AP.
1976	-	-	-	38,472	38,472	6.6
1977	-	-	-	46,054	46,054	19.7
1978	100,000	3,266	-	54,327	57,593	25.1
1979	100,000	58,432	-	14,097	72,529	25.9
1980	100,000	66,853	14.4	26,043	92,896	28.1
1981 ^a	100,000	78,058	16.8	18,689	96,747	4.1
1982	100,000	78,327	0.3	25,738	103,975	7.5
1983	100,000	82,202	4.9	63,735	145,937	40.4
1984	100,000	76,289	(7.2)	40,088	116,377	(20.3)
1985	100,000	67,815	(11.1)	47,405	113,652 ^b	(2.3)
1986 ^c	100,000	69,075	1.9	72,450	141,525	24.5
1987	100,000	75,990	10.0	68,350	134,745 ^d	-
1988	100,000	81,720	7.5	75,955	157,175 ^e	16.6
1989	200,000	97,135	18.8	105,870	203,005	29.2
1990 ^e	200,000	106,000	9.2	152,500	258,500	27.3

FUENTE: Anuario estadístico de PEMEX, SECOFI, SEMIP, Banco de México, ANIQ

- ^a A partir de 1981 se incluyen los volúmenes enviados a maquilar por PEMEX, en el rubro de importaciones.
- ^b Se realizaron exportaciones por 1361 toneladas.
- ^c A partir de 1986 los datos se obtuvieron de SECOFI, debido a que PEMEX dejó de importar sus Déficit
- ^d Se realizaron exportaciones por 9,595 toneladas
- ^e Datos estimados
- ^f Se realizaron exportaciones por 500 toneladas

GRAFICA N° I

PRODUCCION DE PEAD DE 1978 A 1990



FUENTE: INVESTIGACION PROPIA (PEMEX)

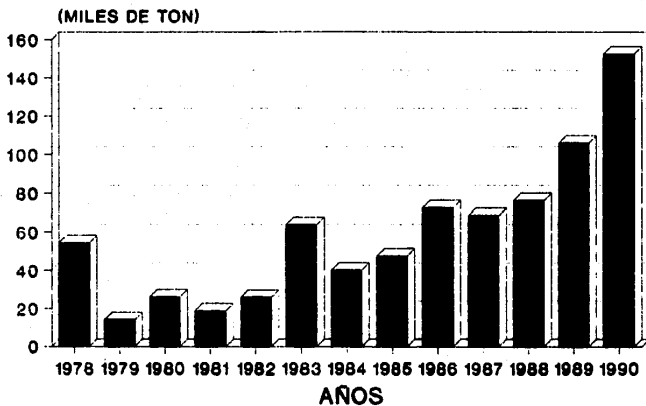
III.6 Importaciones

El PEAD registra un aumento en el rubro de importaciones^{27, 28, 31, 32, 33, 34}, dado que el consumo se ha intensificado y diversificado en el país y la producción nacional es insuficiente hasta este momento. En la gráfica N° II se presentan las importaciones del PEAD para el período 1978-1990.

Durante los años de 1979 a 1982 las importaciones de PEAD representaron el 23 % de la demanda interna, mientras que en el período 1983-1987 se incrementó en un 43 %. En 1986 la importación fue del 51 % debido a que en ese año no se había puesto todavía en operación la planta del complejo Morelos, como se observa en la tabla N° 10.

En la actualidad se continúa con las importaciones de PEAD debido a la falta de la capacidad de las plantas. La de Poza Rica, Ver. (Complejo Escolín) trabaja a un 80 % de su capacidad promedio, y la otra en Veracruz (Complejo Morelos), entró recientemente en operación, por lo que tampoco opera a su máxima capacidad.

GRAFICA N° II IMPORTACION DE PEAD DE 1978 A 1990



FUENTE: INVESTIGACION PROPIA (PEMEX)

III.7 Consumo aparente en México

El consumo de este plástico en los últimos años no ha sido estable, mostrando grandes incrementos debido a la gran variedad de aplicaciones que tiene.

El período de 1983 y 1986¹⁶, 17, 32 muestra una demanda creciente en tanto que para el período 1984-1987 se presenta una disminución, que se explica por las exportaciones realizadas entre 1984-1985, según se observa en la tabla N° 10.

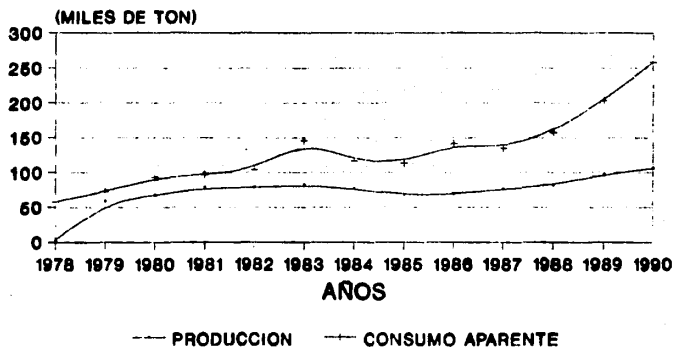
En la gráfica N° III se presenta el comportamiento de la producción y la demanda para el período 1978-1990, observándose un déficit variable para cada año del período estudiado.

El PEAD se utiliza en México principalmente para fabricar artículos para el hogar, juguetes, botellas para detergentes y líquidos industriales, cajas para transportar envases de refresco, de leche, tarimas, tapas, filamento, película y rafia .

El consumo principal del PEAD es en artículos para el hogar, botellas y envases, por lo que se emplean los procesos de moldeado por soplado e inyección.

GRAFICA N° III

PRODUCCION Y CONSUMO DE PEAD DE 1978 A 1990



FUENTE: INVESTIGACION PROPIA (PEMEX)

En la tabla N° 11 se muestra la tendencia de polietileno en México 16, 17, 32 durante el período 1981-1987.

TABLA N° 11
Polietileno de Alta Densidad
Tendencia del consumo en México
(Porcentaje)

Aplicación	1981	1983	1987	1990 ^e	Tendencia
- Cajas para refrescos y envases industriales	43	22	13	7	-
- Botellas y envases	20	36	42	45	+
- Artículos para el hogar	14	23	27	27	+
- Tubería y perfiles	8	8	8	8	Estable
- Recubrimiento de alambre y cable	8	2	2	2	Estable
- Juguetes	7	8	8	8	Estable
Total	100	100	100	100	

 FUENTE: Anuario estadístico 1988, 1990 Instituto Mexicano de Plásticos Industriales

^e Datos estimados

III.8 Pronóstico y Perspectiva del Mercado Nacional

Actualmente existe una gran demanda de PEAD, como se observa en la gráfica N° III. El consumo estimado es de 258,500 toneladas ^{17, 32, 33, 34} para fines de 1990. Por lo cual la capacidad de PEMEX es insuficiente como hasta ahora lo ha sido. Trabajando las dos plantas al 100 % de capacidad, existiría todavía un déficit de 60,000 toneladas, para este año.

Si las plantas operan al 80 % de su capacidad, se obtendrá una producción aparente de 160,000 toneladas en tanto que el consumo será de 258,500 toneladas. Por lo que se tendrán que importar 98,500 toneladas ^{16, 17}, es decir, el 38.1 % del consumo aparente nacional.

**IV. PROCESOS PARA LA FABRICACION DEL POLIETILENO
DE ALTA DENSIDAD**

IV.1 Procesos para la fabricación de PEAD

En los diferentes métodos para la fabricación del PEAD, existe una etapa importante del proceso; la polimerización, debido a que se puede controlar el peso molecular y otras propiedades mediante esta operación, permitiendo el buen control de las especificaciones del producto.

La polimerización de etileno* comúnmente se realiza en tres formas: solución, suspensión y fase gaseosa, presentando cada una de ellas ventajas y desventajas 9, 14.

IV.1.1 Polimerización en solución

Se realiza agregando solventes como ciclohexano, hexano, etc., que forman un medio de reacción. Se realiza agregando disolventes como ciclohexano, hexano, etc., que forman un medio de reacción, y el polímero formado se disuelve, la mezcla

* En la fabricación de PEAD se usa etileno como materia prima

disolvente-polietileno se envía a un separador, posteriormente se alimenta a un calentador para aumentar la solubilidad del polímero y pasar a través de un filtro o centrifuga para separar las partículas de catalizador, y por último se flashea a la solución (cámara de expansión) donde precipita el polietileno.

La desventaja principal de este proceso se debe a que la viscosidad de la solución se incrementa en el peso molecular, lo que dificulta el procesado y el control de las propiedades mecánicas.

Ofrece en cambio ventajas, como el uso de un reactor relativamente pequeño, tiempos cortos de residencia, y el fácil control de las propiedades no mecánicas del polietileno.

Un proceso industrial de este tipo es el Dupont.

IV.1.2 Polimerización en suspensión

En este tipo de polimerización se utiliza un disolvente inerte (hidrocarburos ligeros) donde son suspendidos el catalizador y las partículas del

polímero. El polietileno se obtiene usando al catalizador como elemento de nucleación.

Este tipo de proceso usa reactivos muy puros y un catalizador muy activo, de tal manera que los rendimientos del polímero sean suficientemente altos como para agotar la actividad del catalizador y evitar recuperarlo. Cuando esto no se logra, la suspensión se envía al recuperador del solvente.

Posteriormente se pasa a etapas de separación, purificación y secado de los componentes de la mezcla polímero-solvente.

Entre las ventajas que presenta este tipo de polimerización se encuentran la de producir un amplio rango de grados y tipos de polietileno de alta densidad de bajo, medio y ultra altos pesos moleculares.

La polimerización en suspensión la utilizan procesos como el Phillips Petroleum⁹ Co., Hoechst, Chemishe, Montedison, Mitsui y Solvay.

IV.1.3 Polimerización en fase gaseosa

La polimerización en fase gaseosa se realiza en un reactor en donde la materia prima entra en fase gaseosa, y el producto obtenido es en forma de pelusilla, no se utiliza medio de disolución por lo que se elimina equipo de separación y purificación del disolvente.

Este tipo de proceso se ha extendido debido a los bajos costos de operación y requerimientos para el proceso, además de que utiliza diferentes catalizadores para la polimerización y una relativa baja presión. Los catalizadores utilizados son sólidos y se utiliza comonomeros ligeros en fase gaseosa.

Algunos procesos con polimerización en fase gaseosa son Union Carbide, Naphtachimie, British Petroleum y Amoco.

IV.2 Procesos industriales usados en la producción de PEAD.

IV.2.1 Proceso Union Carbide

Este proceso se efectúa a baja presión y en fase gaseosa. Se puede producir polietileno de baja y alta densidad. El producto obtenido son partículas secas en forma granular con diámetro promedio de 0.5-1 mm.

Etileno gaseoso es utilizado como comonomero y un catalizador son alimentados a un reactor de lecho fluidizado, en éste aumentan las partículas del polímero y opera a una presión de 20 Kg/cm² y temperatura de 373 K. El gas de reacción pasa a través de una compresora centrífuga hacia el reactor, que contiene los materiales para la reacción de polimerización, disipando el calor de reacción al hacer pasar el gas através de un cambiador de calor.

El flujo del producto granular es descargado en un tanque, el cual separa el gas del producto, este es recirculado hacia el reactor. Los hidrocarburos residuales con el producto son eliminados purgando con nitrógeno.

La densidad del polímero es controlada entre 0.915-0.97 g/cm³, y la distribución del peso molecular depende del tipo de catalizador, el índice de flujo MI puede ser variado de 0.1 hasta 50.

Las instalaciones comerciales que cuentan con este proceso son 14 plantas instaladas con capacidad de 25,000-120,000 ton/año. Adicionalmente tienen ocho nuevas líneas de reactores en construcción y seis mas en diseño ^{35, 36}.

El diagrama de flujo del proceso se muestra en la figura N° 2.

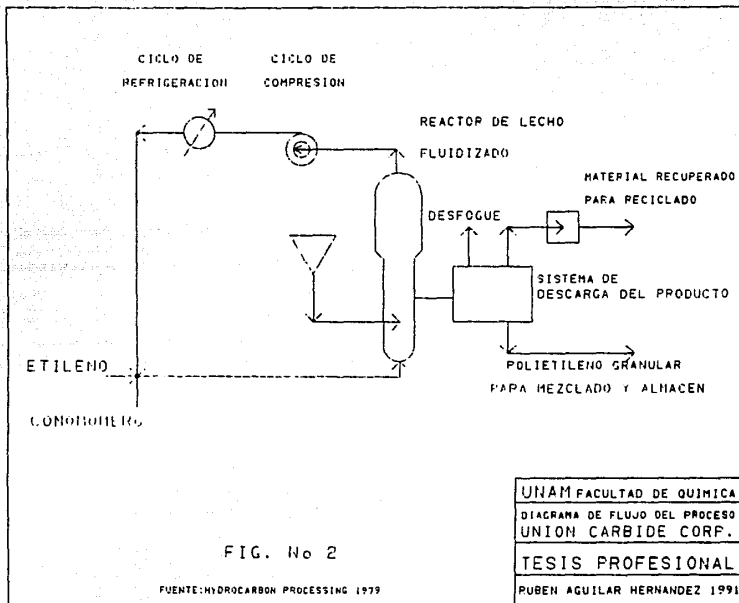


FIG. No 2

FUENTE: HYDROCARBON PROCESSING 1979

UNAM FACULTAD DE QUIMICA
DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO
UNION CARBIDE CORP.
TESIS PROFESIONAL
PUBEN AGUILAR HERNANDEZ 1991

IV.2.2 Proceso Mitsubishi Petrochemical CO., LTD.

Este proceso se usa para la producción de polietileno de media y alta densidad por una polimerización de etileno a baja presión en presencia de solventes hidrocarbonados. El etileno (o mezcla de etileno y comonómero) es polimerizado en la presencia de un solvente a una presión de 10 Kg/cm² y una temperatura entre 333-363 K.

El producto del reactor (polímero), es enviado a centrifugación, para separar el polímero y el solvente; posteriormente se envía a secado, y el solvente recuperado es alimentado nuevamente al reactor.

La distribución del peso molecular puede ser controlada por las condiciones de polimerización.

Ajustando la cantidad de comonómero y la concentración de hidrógeno, se puede tener un amplio rango de media y alta densidad y grados de flujo

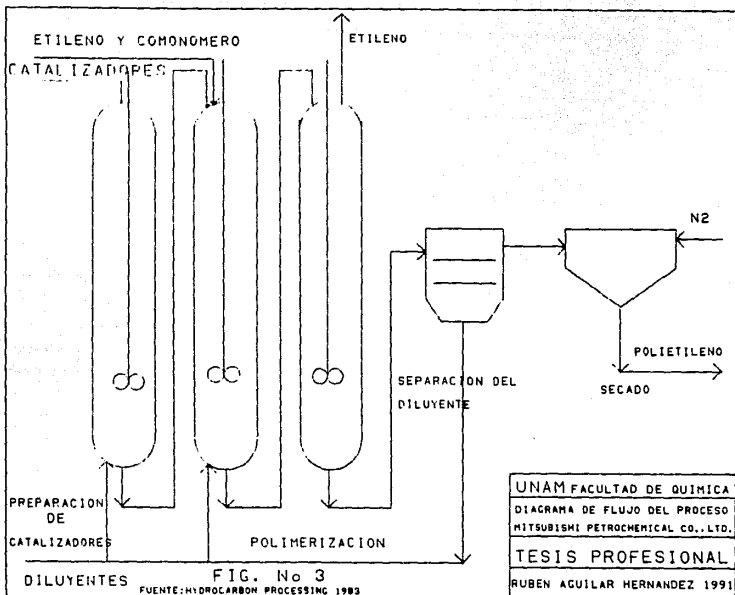
para ultra altos pesos moleculares.

Los consumos de materiales y servicios por tonelada de polímero producido son:

Etileno y comonomero	1,015 Kg
Solventes	10 Kg
Catalizadores	1300
Vapor	300 Kg
Agua de Enfriamiento	100 m ³
N ₂	40 Nm ³
Energía Eléctrica	100 Kwh

Las instalaciones comerciales existentes en este proceso son la planta comercial de Mitsubishi Petrochemical Co. Ltd³⁶ y otras plantas en construcción.

El diagrama de flujo del proceso se presenta en la figura N° 3.



IV.2.3 Proceso Phillips Petroleum Co.

Es un proceso para la producción continua de polietileno a baja presión utilizando etileno de 99 % de pureza.

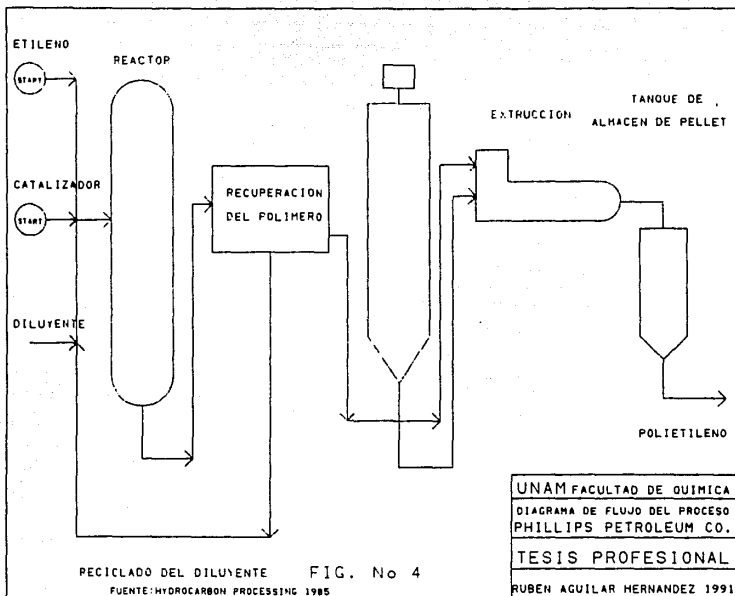
El polímero en forma de polvo es alimentado a un equipo de extrucción para formar pellets. La temperatura y presión en el sistema se mantienen constantes y al variar cambian las propiedades finales del polietileno, la recuperación del diluyente es reciclado hacia el reactor, la conversión del etileno es 97 % aproximadamente.

El proceso por su simplicidad y seguridad puede operarse fácilmente además de no requerir fuertes inversiones en servicios auxiliares lo que da por resultado un factor de servicio alto. El producto obtenido tiene una densidad entre 0.93-0.96 g/cm³ y es útil para todo el mercado de aplicaciones.

Las plantas industriales que operan bajo este proceso son: Soltex, Deer Park, Texas Allied Chemical Corp., Baton Rouge, La National Petrochemicals Corp., Deer Park, Texas; Phillips

Petroleum Co. Pasadena, Texas; Union Carbide Corp. Seadrift, Texas; Chemdex Co., Clinton, Iowa and Gulf Oil Corp., Orange Texas. Teniendo licencia en Inglaterra, Bélgica, Brasil, Francia, Alemania, Italia, España, Japón, Yugoslavia, Noruega, Iraq y Singapore 35, 37.

El diagrama de flujo se presenta en la figura N° 4.



IV.2.4 Proceso de Naphthachimie

Es un proceso para la manufactura de polietileno de alta y media densidad, a partir de etileno en fase gaseosa con catalizadores de tipo Ziegler de alta eficiencia.

El etileno es polimerizado por reacción con catalizadores en un reactor de lecho fluidizado con una temperatura de 333 a 373 K y presión de 15 a 30 Kg/cm². El calor de reacción es removido por recirculación del gas a través de un cambiador de calor, posteriormente se comprime para ser reciclado hacia el reactor.

El polímero sobre el catalizador es inyectado en el lecho y es descargado en un tanque separador de gas donde el monómero residual (menor que el 3 % en peso) se recupera y es reciclado. Para los grados comerciales de polietileno, es introducido hidrógeno en el sistema de circulación del gas para controlar

el peso molecular.

Los catalizadores utilizados en este proceso son soportados en titanio y magnesio, el polímero es de un flujo libre, el cual es alimentado directamente a las máquinas de proceso. Un amplio intervalo de densidades del polímero se alcanza con la gran variedad de los catalizadores de tipo Ziegler disponibles que permiten obtener una amplia distribución de pesos moleculares.

Las densidades media o alta son consecuencia del promedio de los largos de las cadenas y del ramificado de la polimerización. Los valores de flujo MI del proceso son altos o bajos controlados por medio del peso molecular, (ajustando el contenido de hidrógeno durante la reacción).

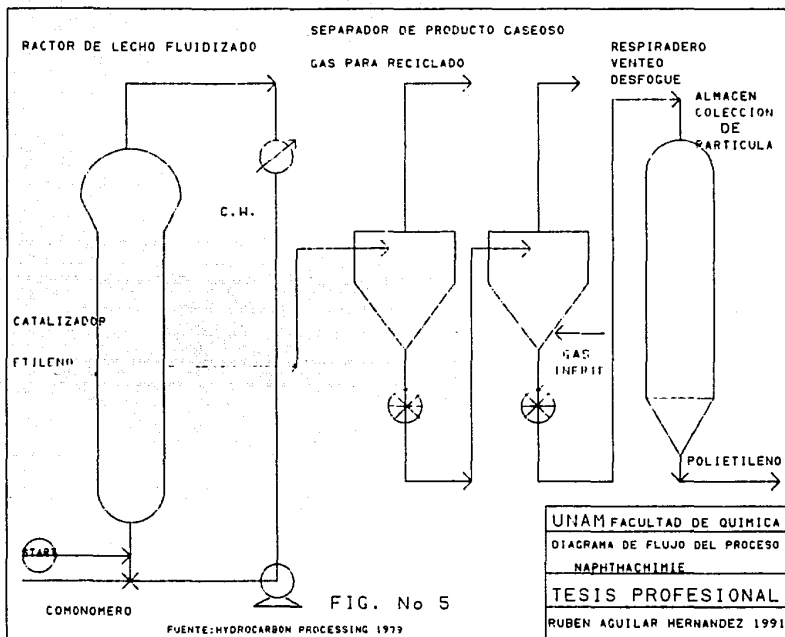
El polietileno producido con este proceso tiene densidades entre $0.935-0.965 \text{ g/cm}^3$ obteniéndose amplias o pequeñas distribuciones del peso molecular.

Los materiales y servicios por ton de polietileno son:

Etileno	Kg	1,005-1,020
Comonomero	Kg	20-0
Catalizadores		No reportado
Electricidad	Kwh	210
Vapor	Ton	0.3
Gas inerte (nitrógeno)	Nm ³	40
Agua de enfriamiento	m ³	4.5

La planta comercial que existe actualmente en operación está ubicada en Lavera, Francia, con una capacidad de 100,000 ton/año y es la única para aplicación de este proceso ³⁵.

En la figura N° 5 se presenta el diagrama de flujo de este proceso.



UNAM FACULTAD DE QUIMICA
DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO
NAPHTHACHIMIE
TESIS PROFESIONAL
RUBEN AGUILAR HERNANDEZ 1991

IV.2.5 Proceso de BP Chemicals LTD

Es un proceso para la manufactura de polietileno de alta, media y baja densidad a partir de etileno y comonomero en fase gaseosa usando una única familia de catalizadores de tipo Ziegler de alta eficiencia.

La copolimerización del etileno puede hacerse bajo condiciones de temperatura 333-373 K y presión entre 15 y 30 Kg/cm² en un reactor de lecho fluidizado con una alta actividad de los catalizadores introducidos. Las partículas del polímero presente en el reactor son mantenidas en el fluido haciéndolas pasar por una corriente de gas que contiene etileno y otras olefinas para la producción de copolímeros e hidrógeno para el control del peso molecular del polímero.

La corriente de gas sale del reactor y es enfriada en un cambiador de calor, removiendo el calor de reacción, y se recicla hacia el reactor a

través de un compresor. La composición de la corriente del gas es constante y su análisis asegura la calidad constante en el polímero.

El polietileno granular sale del reactor en una corriente arrastrando otros productos, por lo que es separado del gas y se transporta para su almacenaje y pelletización, removiendo los catalizadores en un paso de purificación previo.

La familia de catalizadores de titanio y magnesio usadas en este proceso están diseñadas especialmente para asegurar homogeneidad en el lecho fluido y controlar eficientemente la temperatura.

Los sistemas de catalizadores utilizados en este proceso tienen un alto grado de flexibilidad lo que permite obtener una gran variedad de productos por modificaciones simples como son cambios de catalizadores y condiciones de operación. Con pequeños cambios en la presión parcial de etileno y el comonomero es posible para cubrir todo el rango de densidades, en algunos casos el peso molecular del polímero es ajustado por el contenido de hidrógeno.

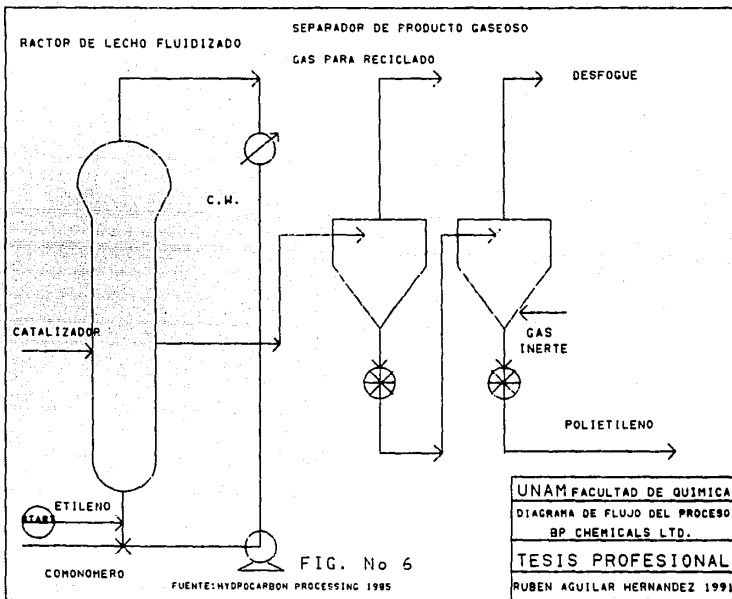
El polietileno obtenido tiene una densidad entre 0.916-0.965 y un índice de flujo de 0.05-100. Los Comonomeros usados son C₃, C₄ o C₆ con una familia de 4 metil penteno -1 co- y ter polímero.

Las materias primas y servicios auxiliares requeridos para la fabricación de 1 ton de PEAD son:

Olefinas (Etileno y comonomero)	Kg	1,020
Catalizadores		No reportado
Energía Eléctrica	Kwh	165
Vapor (3 bars)	ton	0.1
Gas Inerte (Nitrógeno)	Nm ³	50
Agua de Enfriamiento	m ³	4.5

Con este proceso existe una planta de 40,000 ton/año, operando en Lavera (Sur de Francia) desde 1975. Otra planta de 100,000 ton/año entró en operación en 1985. Bajo licencia de Usi Chevron Chemical Co. (USA) ³⁷.

La figura N° 6 presenta el diagrama de flujo del proceso.



IV.2.6 Proceso de Hoechst AG.

Este proceso se usa en la manufactura de pellets de polietileno de alta densidad a baja presión a partir de etileno.

El etileno y cantidades prefijadas de comonomero se alimentan continuamente con catalizadores y diluyentes hidrocarbonados en el reactor de polimerización. La polimerización normalmente se efectúa a presiones de 10 Kg/cm² y temperaturas entre 353 y 363 K.

Los catalizadores usados en la reacción son de alta actividad, y para la fabricación a gran escala se adicionan grandes cantidades a fin de no removerlos. Cuando se completa la conversión de etileno este se recicla y se recupera el monómero.

El diluyente hidrocarbonado removido se recupera por centrifugación y es secado en un

reactor de lecho fluidizado con nitrógeno, una parte del diluyente es directamente reciclado después del proceso de centrifugación, posteriormente se realiza el pelletizado, coloreado o se modifica según las especificaciones.

Los materiales y servicios requeridos para producir una ton de PEAD son:

Etileno y comonomero	Kg	1,015
Hidrógeno	Kg	0.6
Diluyente Hidrocarbonado	Kg	9.0
Vapor (5 bar)	Kg	500
Agua de Enfriamiento	m ³	165
Electricidad	Kwh	430-600
Nitrógeno	Nm ³	15
Refrigerante	MJ	300

Las plantas comerciales con este proceso^{35, 36, 37} tienen una capacidad de 900,000 ton/año y 120,000 ton/año.

En la figura Nº 7 se presenta el diagrama de flujo del proceso.

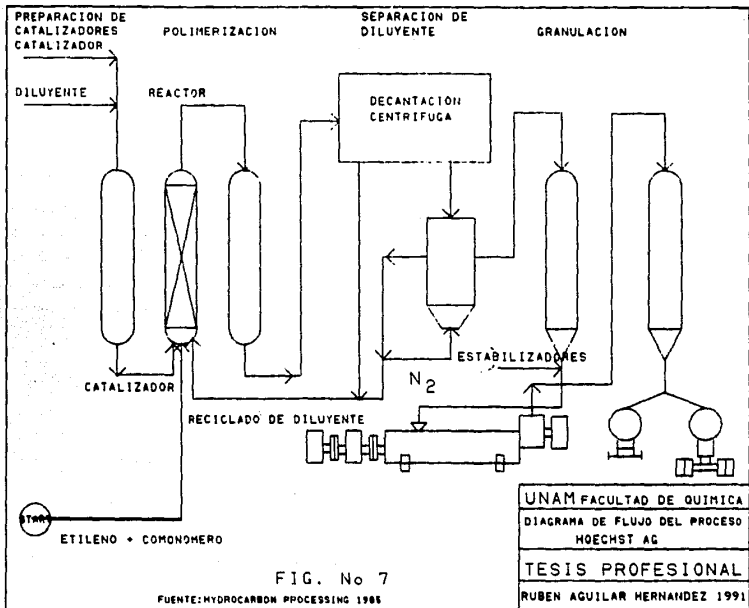


FIG. No 7

FUENTE: HYDROCARBON PROCESSING 1986

IV.2.7 Proceso Asahi

Este proceso es usado para la fabricación de polietileno de alta densidad. Utiliza etileno, comonómero, hexano e hidrógeno. El reactor se alimenta de etileno a una presión de 10 Kg/cm² y una temperatura de 356 K.

El reactor de polimerización es del tipo Kettle provisto con equipos simples de agua de enfriamiento para controlar la temperatura del reactor y un agitador mecánico para homogenizar la mezcla.

Al agregar el hexano como medio de reacción (solvente) se forma una pasta, ya que previamente se obtiene el polímero en forma de talco, se flashea la mezcla que sale del reactor en un recipiente de depresurización, donde se separa el etileno gaseoso que no reaccionó y la pasta del polímero.

El etileno que no reaccionó se recicla hacia el reactor pasando por un pequeño compresor. En este

proceso se utilizan catalizadores de dos tipos, de acuerdo al grado de PEAD que se elabore. Los catalizadores usados son: tetracloruro de titanio ($TiCl_4$) y trietil de aluminio ($AlEt_3$). El catalizador en exceso en la pasta del polímero, es desactivado mediante la adición de pequeñas cantidades de un agente desactivante.

Esta mezcla es alimentada a una centrifuga en donde el hexano es separado, la pasta así obtenida pasa a un secador en donde se seca para obtener el "talco" de PEAD. Este polvo se mezcla con estabilizadores y se manda a un extrusor en donde se forman los pellets del polietileno de alta densidad, que se almacenan en silos de polietileno.

El solvente recuperado en la sección de filtrado y secado, se purifica mediante una destilación y posteriormente se recicla al reactor 26, 29.

Las condiciones típicas de operación de este proceso son las siguientes:

Temperatura	343-363 K
Presión	10.0 Kg/cm ²

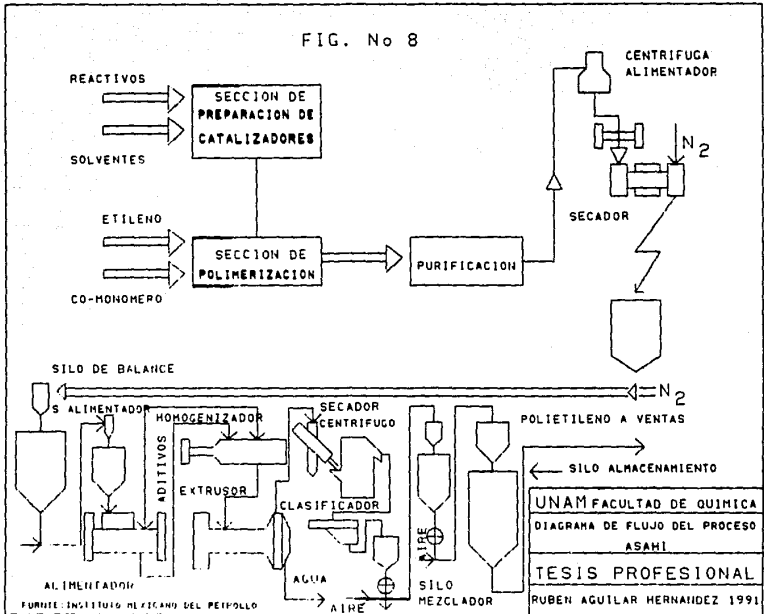
El control del proceso se realiza por medio de:

Control de peso molecular: Es controlado por la presión parcial del H_2 dentro del reactor de polimerización.

Control de la gravedad específica: Es controlada por cantidades de comonomero como Propileno o 1-Buteno.

En la figura N° 8 se presenta el diagrama de flujo del proceso.

FIG. No 8



UNAM FACULTAD DE QUIMICA
 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO
 ASAMI
 TESIS PROFESIONAL
 RUBEN AGUILAR HERNANDEZ 1991

IV.2.6 Proceso Chemische Werke Huls AG

De este proceso se obtiene polietileno de alta densidad, de bajo y alto peso molecular, a partir de etileno usando catalizadores organometálicos del tipo Ziegler.

Los catalizadores de alta actividad se mezclan en la estación de catalisis y se presurizan en el reactor con una fracción de nafta de alta pureza a una temperatura entre 333-353 K.

Se alimenta etileno en presencia de pequeñas cantidades de propileno o butileno al reactor, donde es polimerizado en suspensión. La temperatura de polimerización en el reactor es entre 343-363 K y la presión del reactor de 25 a 40 Kg/cm². La suspensión se despresuriza dentro de un tanque flash y se separa el etileno que no reaccionó reciclandolo hacia el reactor.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

La suspensión pasa a una centrífuga para separar la nafta y el producto pasa a secado en una atmósfera de nitrógeno. El polímero obtenido pasa a granulación para ser llevado a los silos.

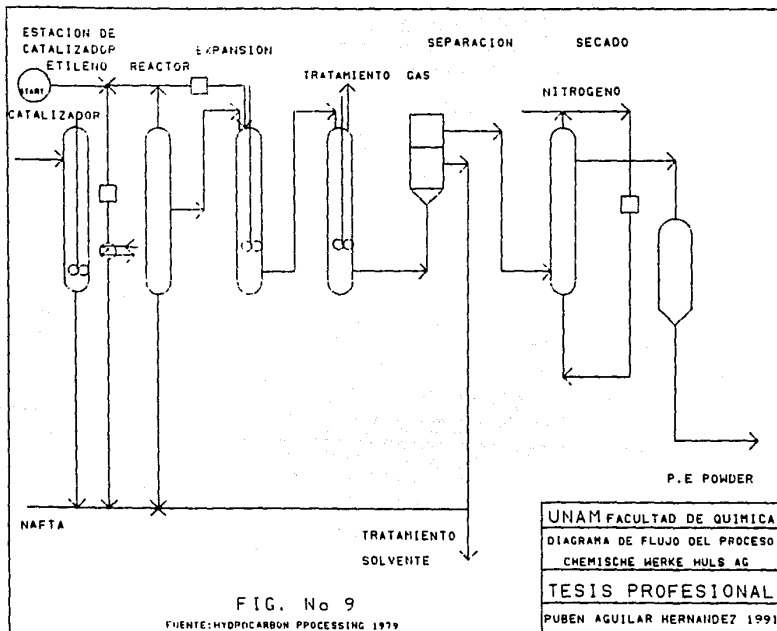
Este proceso usa cantidades muy pequeñas de catalizadores. El solvente recuperado se envía directamente al reactor, pasando por un tratamiento a fin de que su función no disminuya, en este paso se recupera también polietileno de bajo peso molecular.

Los materiales y servicios utilizados en el proceso para la producción de 1 ton de PEAD son:

Etileno	Kg	1,035
Nafta	Kg	25
Catalizadores		No reportados
Energía Eléctrica	Kwh	440
Agua de Enfriamiento	m ³	140
Vapor	Ton	0.9
Nitrógeno	Nm ³	60

Las instalaciones comerciales pertenecen a: Ueba-Chemie AG y está operando 4 plantas (1 planta de 20,000 ton/año y 3 plantas con 40,000 ton/año) con el proceso descrito ³⁵.

El diagrama de flujo se presenta en la figura N° 9.



IV.2.9 Proceso Montedison S. p. A.

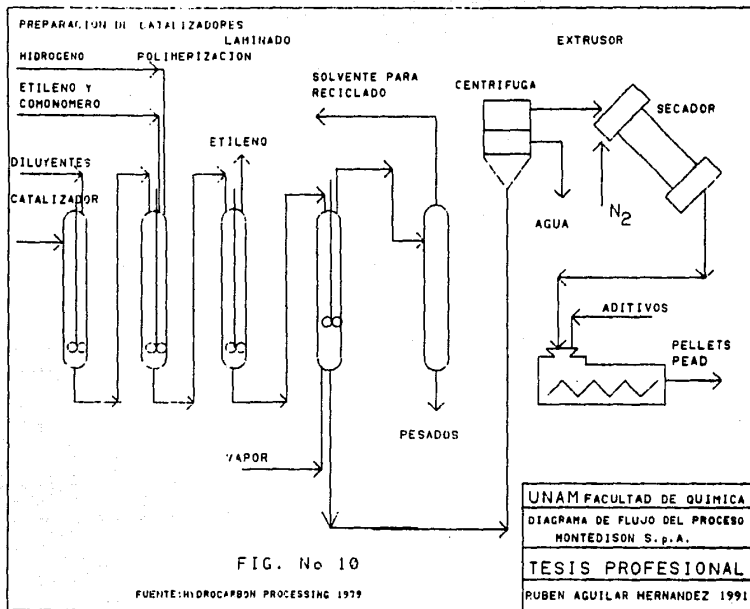
Este proceso produce polietileno de alta densidad utilizando catalizadores de alta eficiencia fabricados por Montedison. En el reactor se alimenta etileno, comonomero, catalizadores, hidrógeno e hidrocarburos alifáticos, como diluyentes, operando el reactor a una presión de 2-12 Kg/cm². El hidrógeno es utilizado para regular el peso molecular. El polímero que sale del reactor es flasheado en un tanque para remover el diluyente, que se recupera y se envía al reactor nuevamente. Posteriormente el producto se centrifuga separando el producto al que se agregan estabilizadores y se envía extrucción para la formación del pellet.

Los consumos de materia y Servicios son los siguientes, para la producción de 1 ton de polímero:

Etileno	Kg	1,015
Hidrógeno	Kg	1.50
Diluyente (Hexano)	Kg	10
Catalizadores		No reportado
Agua desmineralizada	Kg	2,000
Vapor	Kg	1,500
Energía Eléctrica	Kwh	500
Agua de Enfriamiento	m ³	250

En Brindisi Italia existe una planta que produce 200,000 ton/año, en dos líneas con este proceso ³⁵.

El diagrama de flujo se presenta en la figura N° 10.



IV.2.10 Proceso Dupont

Este proceso se usa para fabricar polietileno de alta densidad, mediante una polimerización en solución.

Se alimenta continuamente etileno, ciclohexano como solvente, catalizadores e hidrógeno a un reactor a una presión de 8 Kg/cm^2 y una temperatura de 423 K.

La solución de polimerización sale del reactor para ser enviado a un tanque flash, donde el solvente es vaporizado, para posteriormente reciclarlo al reactor.

Las instalaciones comerciales existentes con este proceso son la planta comercial de Dupont en la India con una capacidad de 60 Mt/año.

IV.2.11 Copolimerización catalítica de etileno con monómero reciclado

A partir de etileno es polimerizado con 5-50 % de comonómero a una temperatura de 423-623 K y una presión de 100-320 MPa, posteriormente el copolímero y monómeros que no reaccionan se separan a temperaturas entre 423-523 K y presiones de 18-50 MPa, posteriormente se separan los componentes en la misma etapa a una temperatura en el intervalo de 293-323 K y en etapas posteriores a temperaturas entre 303-333 K lográndose recuperar el monómero que es reciclado directamente al inicio del proceso.

Este proceso está en pruebas a nivel planta piloto y por tanto no se ha reportado en la literatura información detallada^{38, 39}.

IV.2.12 Proceso de reciclado del PEAD

En la actualidad, existen grandes problemas que afecta a toda la sociedad, provocados quizá por tecnologías industriales poco adecuadas, por ejemplo la producción de residuos que dañan el medio ambiente.

El constante aumento de residuos, demanda tanto a nivel industrial como urbano, nuevos modelos de desarrollo que deberán basarse en métodos de fabricación sin residuos o pocos residuos, aunado a ello una política de desarrollo de procesos para la recuperación de desperdicios permitiendo resolver simultáneamente problemas de contaminación y de escasez de recursos naturales y energía.

El PEAD usado es un "contaminante" muy controvertido, ya que por su uso en productos domésticos se generan grandes cantidades de desechos que resultan un problema de manejo, sin embargo el reciclado de este tipo de desperdicio es posible y

se incluye la experiencia de Estados Unidos para reciclado de PEAD 40, 41, 42.

En los E. U. en 1987 se produjeron 1.7 millones de ton de resinas reciclables que se encuentran apiladas en basureros, de los cuales se recuperaron 2.4 % de PEAD provenientes principalmente de contenedores moldeados por inyección y soplado. Como se muestra en la tabla Nº 12.

Lo que demuestra que existe un gran potencial de suministro de PEAD de postconsumo.. para ser reciclado y ser recuperado en forma de "granza", pellets de alta porosidad.

Para la reutilización, se deben tomar en consideración factores como:

- a) Combinación de colores en las mezclas formadas
- b) Compatibilidad de material dentro de la mezcla
- c) Características y necesidades del producto final transformado

TABLA Nº 12

LAS RESINAS RECICLABLES ALCANZAN UN TOTAL DE 3.4 BILLONES DE LBS
DESCARTANDO EL HDPE

RECIPIENTES MOLDEADOS A PARTIR DE HDPE EXISTENTES EN EL MERCADO	VENTAS EN 1987 (Millones de Lbs*)	RECUPERACION POST-CONSUMO En 1987 (Millones de Lbs*)
Inyeccion y soplado, Botellas para zumos*	740	20
Botellas para otros alimentos	278	0
Productos botaitos* para el hogar	295	15
Productos farmaceuticos y cosmeticos	184	2
Bidones (de más de 15 gal)	110	0
Recipientes para combustibles	54	0
Cubetas	78	2
TOTAL	2,339	39
MOLDED POR INYECCION:		
CONTENEDORES (INDUSTRIALES)		
De uso diario	61	0
Otros usos	139	2
Cubetas	410	4
EMBALAJES DE CONSUMO DIARIO		
Tuberia	147	0
Vasos para helados	82	0
Botellas para bebidas*	124	35
Recipientes para alimentos	47	0
Recipientes para pinturas	35	2
TOTAL	1,046	43
SUMA TOTAL	3,385	82

* Datos de Modern Plastics.

* Datos de Modern Plastics en base a datos proporcionados por las industrias excluyendo 50-60 millones de lbs. del plástico pegado a las etiquetas el cual no se recicla internamente.

* Incluidos recipientes de leche, zumos y agua.

* Incluidos recipientes para abeja de color, recipientes químicos, detergentes y blanqueadores.

* Según las fuentes industriales consultadas, el 25 % de PET que éstas consumen, está destinado

IV.2.12.1 Aspecto económico del reciclado

Al estudiar las posibilidades económicas del reciclado de plástico se debe tener en cuenta dos factores:

- a) Costos directos e ingresos, en estrecha relación con la tecnología necesaria para llevar a cabo el reciclado.
- b) Limitaciones o reservas, tanto técnicas como institucionales.

Por ejemplo, para la fabricación de tubería rígida de PEAD, normalmente se paga 0.43 Dll/Lb de polímero virgen. El margen de ahorro que tendría con la utilización de material de reciclado es de aproximadamente 0.18 Dll/Lb.

Hasta la fecha la Society of Plastics Industry no ha registrado cambios importantes respecto a la normalización⁴³ en la producción de PEAD, por lo que el material reciclado puede satisfacer las especificaciones para ciertos usos y son

TABLA N° 13
POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD

PROPIEDADES	NORMA ASTM	ALTA DENSIDAD
DENSIDAD (gr/cm ³)	D 792	0.94-0.97
MECANICAS		
RESISTENCIA A LA TENSION (kg/cm ²)	D 638	220-390
RESISTENCIA AL IMPACTO (Kg-cm/cm)	D 256	n.d.
RESISTENCIA A LA FLEXION (Kg/cm ²)	D 790	2.7-109
RESISTENCIA A LA COMPRESION (Kg/cm ²)	D 695	200-300
DUREZA SHORE DA	D 785	65-72
TECNICAS		
CONDUCTIVIDAD (10 ¹ cal/seg-cm ² /°C-cm)	C 177	11-12.4
EXPANSION (10 ⁵ /°C)		1100-1300
RESISTENCIA (°C)	D 1525	115-125
RIESGOS		
FLAMABILIDAD (cm/min)	D 635	2.3-2.9
ELECTRICAS		
CONTANTE DIELECTRICA 60 Hz	D 150	2.2-2.4
FACTOR DE DISIPACION (10 ³), 60 Hz	D 150	3-4*
QUIMICAS		
RESISTENCIA QUIMICA	D 543	
ACIDOS FUERTES		MR
BASES FUERTES		R
SOLVENTES ORGANICOS		MR

FUENTE: Principles of polymer Engineering

* No incluye resinas: epóxicas fenolnovolaca y cicloalifáticas.
R Resistente.
MR Media Resistencia.

comparables con las del material virgen, como se observa en la tabla N° 13, siempre y cuando cumplan con lo establecido por la Environmental Protection Agency (EPA) para el uso particular escogido.

IV.2.12.2 Métodos generales de separación de PEAD de otros plásticos

La mayor parte de los plásticos son incompatibles entre sí, de acuerdo a las formaciones de las que provienen y se pueden separar por 3 métodos:

- a) Flotación: Por este método se utilizan soluciones acuosas alcohólicas y salinas aprovechando la propiedad de diferencia de densidades.

- b) Tensión superficial: Aunque los plásticos son en general hidrofóbicos, se puede seleccionar su capacidad de humectación, agregando agentes tensoactivos.

c) Extracción con disolventes: Cuando se utiliza un disolvente común para los plásticos, no se mezclan y forman fases separadas, debido a la incompatibilidad entre los distintos polímeros.

Actualmente existen en los E.U. sistemas para el reciclado de PEAD, algunos de ellos son: Union Carbide, Japan Steel Works Ltd., Mitsubishi Petrochemical.

A nivel nacional no existe ninguna compañía registrada para el reciclado del PEAD, sin embargo se sabe que hay establecimientos trabajando en este sector, pero por causas ajenas a tecnología no aparecen reportes confiables.

**V. SELECCION DEL PROCESO PARA LA FABRICACION
DEL POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD**

V.1 Parámetros de selección del proceso

En la actualidad, la publicación de artículos sobre ingeniería de proceso para la fabricación de polietileno ha sido poca y las descripciones de los últimos métodos es muy general, especialmente en lo que se refiere a la acción del catalizador en el proceso.

Con la información general recopilada, se establecerán las características y etapas de proceso más importantes para la selección tecnológica de los métodos de manufactura.

En la fabricación del polietileno de alta densidad son importantes 3 etapas del proceso y son las siguientes:

- a) Preparación del catalizador
- b) Polimerización
- c) Purificación del producto

Se escogieron estas etapas por estar en relación directa con las operaciones unitarias requeridas para la polimerización y purificación del producto con su correspondiente inversión en equipo, servicios auxiliares, etc.

La selección del catalizador resulta también importante, ya que de éste depende el rendimiento de la reacción por lo que se seleccionan catalizadores con alta eficiencia y bajo costo.

V.2 Selección del Proceso

En los procesos de manufactura del polietileno estudiados, se puede observar que los materiales utilizados son el monómero, comonómero, las condiciones de operación del proceso y los principales servicios auxiliares necesarios para la producción del PEAD y en la tabla N° 14 se muestran estos requerimientos.

La comparación de procesos es limitada, debido a la información disponible, pero como se mencionó anteriormente, los criterios de selección propuestos y con información necesaria permitirá realizar el estudio correspondiente al inversionista que busque nuevas oportunidades de inversión en

TABLA No 14
Materiales y Servicios utilizados en los procesos

Cond. de Operación y Servicios	Union Carbide Corp.	Mitsubishi Petrochemical Co. LTD	Phillips Petroleum Co.	Naphthaciale	Sy Chemicals LTD	Heuchel AG	Ashli	Chemische Werke Huils AG	Rantellon S.p.A.	Dupont
Materiales										
Materia prima:	Etileno	Etileno	Etileno	Etileno	Etileno	Etileno	Etileno	Etileno	Etileno	Etileno
Productos obtenidos:	PEAD, PEBD	PEAD, PEBD	PEAD	PEAD	PEAD, PEWD, PELIB	PEAD	PEAD	PEAD, PEBD	PEAD	PEAD
Condiciones de Operación:										
T. polimerización (K)	373	333-363	-	333-373	333-373	333-363	343-363	343-363	-	423
P. reactor (kg/cm ²)	20	10	-	15-30	15-30	10	10	25-40	2-12	8
Materiales utilizados para 1 ton de PEAD										
Materia prima (kg)	-	Et. 1,015	Et. 1,000-1,000	Et. 1,005-1,000	Et. 1,02	Et. 1,015	-	Et. 1,035	Et. 1,015	-
Coordinero	-	-	-	-	-	-	Propileno o i-Buteno	-	-	-
Catalizador	-	-	-	-	-	-	TiCl ₄ , AlEt ₃	-	-	-
Diluyente (kg)	-	10 de Hcs.	-	-	-	9 de Hcs.	-	25 de Nafta	10 Hexano	-
Energía eléctrica (kWh)	-	100	300	210	165	420-600	-	440	500	-
Agua de enfriamiento (m ³)	-	100	-	4,5	4,5	165	-	140	250	-
Vapor (ton)	-	0,3	-	0,3	0,1	0,5	-	0,9	1,5	-
N ₂ (m ³)	-	40	-	-	50	35	-	40	-	-

petroquímica secundaria.

A manera de ejercicio, se propondrá un proceso de fabricación de PEAD, analizando la actividad de los materiales usados en cada uno de los procesos, las condiciones de operación óptimas, la antigüedad del proceso, por su experiencia en este sector y los parámetros establecidos anteriormente.

El proceso de polimerización seleccionado para la fabricación del PEAD, de acuerdo a los criterios anteriores es el de Union Carbide, ya que es el más eficiente en cuanto que tiene menor número de operaciones unitarias, y es comparable en este punto con los procesos de polimerización en fase gaseosa. Otros procesos que podrían ser adecuados son el Naphtha Chimie y el B.P. Chemical Ltd.

Si se compara el proceso Union Carbide con el proceso Asahi, utilizado por PEMEX, se observa que existe una diferencia en las condiciones de operación, por ejemplo, la temperatura es más alta en el método Union Carbide (≈ 10 K) y en la presión de 10 Kg/cm^2 , es decir, es el doble de la presión que requiere el proceso Asahi.

En cuanto a las operaciones unitarias en proceso, existe un mayor número en el proceso Asahi, por el tipo de

polimerización que usa.

Lo que hace pensar en la necesidad de evaluar cuidadosamente los procesos a fin de seleccionar la tecnología apropiada para producir el PEAD, con especificaciones internacionales, que permitan cambiar el déficit en la demanda nacional y al mismo tiempo favorezca la exportación de excedentes de este material.

Si se analiza la eficiencia, los catalizadores y materiales usados en cada uno de los métodos para la fabricación del polímero, las condiciones de operación y la antigüedad del proceso, se encuentra que el proceso Hoechst AG es el óptimo.

A este proceso se le han realizado varias modificaciones a fin de optimizar etapas o modificar las plantas, lo que hace que sea uno de los procesos más actualizados para producir material virgen y al mismo tiempo pionero entre los procesos que incluyen reciclado.

La comparación de los procesos no es definitiva, ya que como se mencionó anteriormente, la falta de información completa es una limitante.

Sin embargo, el inversionista deberá realizar un estudio detallado de la factibilidad tecnológica y económica del

proceso, tomando en cuenta los parámetros propuestos en esta sección.

V.2.1 Proceso seleccionado

La polimerización del proceso de Hoechst AG es realizada en un solvente inerte (suspensión), como se vio en capítulos anteriores.

En este proceso se utiliza hexano como diluyente, etileno como monómero, catalizadores e hidrógeno, estos son alimentados continuamente a un reactor, esta suspensión pasa a una centrifuga donde se separa el polímero sólido, el cual se seca y es extrusado para la formación de los pellets, el hexano recuperado de la centrifugación es purificado y reciclado.

Los catalizadores utilizados son de alta actividad, soportados en una base de titanio, el peso molecular es controlado por la adición de hidrógeno al reactor.

En comparación con el proceso que utiliza PEMEX (proceso Asahi), éste realiza su polimerización en

suspensión y existen diferencias en las condiciones de operación, la temperatura es 10 K más alta que la del proceso Hoechst AG y aunque en la presión no hay diferencia.

Respecto a los materiales y servicios auxiliares, no se puede hacer una comparación debido a la falta de datos. Hoechst AG ha otorgado licencias a varios países para la utilización con algunas variaciones a este proceso. México es el único que utiliza el proceso Asahi.

VI. RESULTADOS

La Reconversión Industrial de la Industria Petroquímica secundaria es muy importante, porque está condenada a desaparecer debido a las condiciones que prevalecen actualmente en el mercado internacional, estas condiciones están basadas en control de calidad muy estrictas y en los procesos de fabricación dando como resultado la eficiencia y productividad en las estructuras productivas de esta industria.

Además, la iniciativa privada deberá tener una mayor participación en la producción de productos petroquímicos secundarios, en el precio y oportunidad de oferta, siendo estos factores indispensables para abastecer y defender el mercado nacional así como competir en el exterior, dadas las políticas nacionales en materia económica y en especial por los Tratados de Libre Comercio con Estados Unidos y Canadá ya que establece la posibilidad de exportar al mercado más grande del mundo y con países de Centro America.

La capacidad instalada para la fabricación del PEAD en México es de 200,000 ton anuales, misma que se ampliaría a 380,000 ton por año tomando la posibilidad de la construcción de

la planta en planeación a instalarse en Lázaro Cárdenas, Michoacán, en fecha desconocida.

A pesar de que la capacidad de producción Nacional del PEAD se incrementaría, de todas maneras existiría un déficit de 49.5 % en la demanda nacional y de todas maneras sería necesaria la importación, lo que se traduce en fuga de divisas especialmente a uno de los grandes productores, Estados Unidos.

Los datos reportados en materia de importaciones por INEGI, SEMIP, Banco de México y PEMEX difieren de manera significativa, por lo que para el análisis de precios internacionales y nacionales del PEAD se tomaron los de SEMIP en virtud de que estos son los más consistentes con los precios reportados por PEMEX.

La tabla N° 15 presenta las importaciones y los precios nacionales e internacionales del PEAD para el período 1983-1990. En ella se observa que mientras que los precios internacionales presentan una tendencia a la baja el precio del PEAD de fabricación nacional se incrementa, situación que persiste hasta Julio de 1990. En el período 1983-1989 los precios están referidos a precios de 1989.

TABLA N° 15

Importaciones del PEAD para 1983-1990

AÑO	Miles Ton	Millones U.S.DLLS	Precio Internacional	Precio Nacional
			del PEAD U.S.DLLS/Ton	PEAD U.S.DLLS/Ton
1983	63735	50320	789.5	514.9
1984	40088	30058	749.8	779.6
1985	47405	29230	616.6	581.8
1986	72405	39514	545.4	557.9
1987	68350	31953	467.5	605.3
1988	75955	51862	682.8	744.2
1989	105870	140743	1329.4	933.9
1990 ^P	152500	174826	1146.4	738.0

FUENTE: Investigación Propia con datos de SEMIP

P: Datos preliminares

Sin embargo, debido a la crisis del Golfo Pérsico en Agosto de 1990 el precio internacional del PEAD se incrementó y actualmente es de 1146 U.S. Dll/Ton; el precio del PEAD de fabricación nacional es de 738 U.S. Dll/Ton, lo que significa un ahorro del 64.4 % pero una vez terminado el conflicto es de esperarse que el precio internacional disminuya y por tanto vuelva a presentarse el comportamiento de los precios anteriormente descrito.

Por otro lado, la demanda nacional de este producto presenta una tendencia creciente pero en la misma proporción crece la demanda insatisfecha razón por la cual resulta interesante estudiar como posibilidades de inversión a este y otros productos petroquímicos secundarios.

En la fabricación del PEAD se usa etileno, este producto petroquímico básico es fabricado por PEMEX y su producción es suficiente para abastecer la demanda nacional actual y futura aún considerando el establecimiento de una planta adicional de PEAD.

En 1990 la producción de etileno* era de 1,258,934 ton anuales y su demanda es creciente a pesar de los otros usos del etileno, en aplicaciones diferentes a la fabricación del PEAD, la capacidad productiva de esta materia prima está en exceso y no se presentaría un desabasto, de acuerdo a las proyecciones actuales.

El precio internacional del etileno es de 505 U.S. Dll/Ton y el valor agregado a esta materia prima para producir el PEAD representa un 55.7 % lo que permite observar una oportunidad de competitividad para el PEAD de fabricación nacional, considerando la integración en cadenas productivas existentes.

* Datos estimados ANIQ

En los Estados Unidos la producción de PEAD y las ventas a mercados cautivos en toneladas es prácticamente la misma lo que significa que existe una adecuada planeación entre la oferta y la demanda^{39, 44} del producto y que debe ser considerada por los productores nacionales si se desea competir con este producto internacionalmente.

Las especificaciones de calidad del PEAD dependen del proceso de fabricación y su control por lo que la selección de la tecnología resulta ser un factor muy importante para complementar los estudios del mercado.

La tecnología que existe en México para la fabricación de PEAD es el Proceso Asahi* que polimeriza en suspensión y México es el único país en el mundo que opera con este proceso. Este hecho es importante remarcarlo en virtud de que Japón, país licenciataria de esa tecnología, utiliza en sus plantas el proceso Phillips^{20, 35} que también polimeriza en solución lo que significa que el proceso Asahi (1984) es probablemente una modificación de ese proceso y por las regulaciones legales internacionales ningún otro país lo ha utilizado, según lo reportado en la literatura.

* Según Fuentes Literarias: Hydrocarbon Processing

La metodología propuesta en este trabajo para la selección de la tecnología comprenden un análisis de los procesos existentes en las plantas que se encuentran en planeación, construcción y remodelación reportadas.

En los procesos estudiados las operaciones comunes principales son polimerización, preparación de materia prima y catalizadores, separación, purificación y finalmente separación del producto.

Desde este punto de vista se debe tener en cuenta la gran cantidad de catalizadores que existe en el mercado, el suministro de hidrógeno y comonomeros ya que como se mencionó anteriormente son factores que afectan las propiedades del polímero.

La industria del procesado del PEAD exige un polietileno cada vez más especializado y especificado por la gran variedad de aplicaciones que se obtienen por los procesos de inyección y de soplado principalmente y la calidad más estricta para sus productos terminados ya que el consumidor de los años 90's exige calidad y precio. Asimismo, en el diseño de síntesis o desarrollo de nuevos procesos deben tomar en consideración aspectos relacionados con el reciclaje de PEAD como son el comportamiento de su ciclo de vida, los ciclos de uso abiertos o cerrados, los consumos energéticos, etc.

Como consecuencia de todo esto la eficacia de la reconversión industrial en nuestro país, no es notable, debido a que a menos de un año de haber dado nueva resolución a la clasificación de productos petroquímicos, no se han publicado oficialmente las compañías que obtendrán permiso petroquímico para la fabricación del polietileno de alta densidad.

Sin embargo, se debe considerar las especificaciones del producto, para hacer una buena selección de la tecnología para la manufactura del polímero y ofrezca al mismo tiempo una buena gama de los diferentes tipos y grados de polietileno, sin que tenga que haber horas desperdiciadas por el cambio de producción por el diferente polímero.

A esto hay que considerar el tipo de polimerización, operación fundamental para la obtención del polímero, y que ofrece a la tecnología ventajas. Por ejemplo en el proceso Asahi, sólo se pueden fabricar 5 tipos de polietileno, en cambio con el proceso Phillips Co. 66, se frabrican 7 tipos diferentes y grados de polietileno pero para el tipo de procesamiento de material como: moldeo por inyección, por película, por soplado, etc.

Esto permite a la compañía tener un amplio mercado, por la oferta de su producto cada vez más especializado.

Esto nos hace pensar, en la posibilidad de adaptar o modificar la tecnología, con lo que se trabaja, a fin de ampliar más los diferentes tipos de PEAD.

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Es indispensable que la industria petroquímica, como la de cualquier sector nacional entre a la Reconversión Industrial, de lo contrario tendrá serios problemas económicos, debido a que los grandes grupos industriales están modernizando sus plantas, aumentando la eficiencia de los sistemas productivos para competir en el mercado con precio y calidad de sus productos.

Para esto se analizó el caso de la industria para la fabricación del Polietileno de alta densidad, este es un termoplástico, considerado como uno de los plásticos de ingeniería más importantes a nivel mundial y por su gran diversidad de aplicación como producto final.

Algunos de los parámetros moleculares importantes, que se establecen en el mercado para el procesamiento del polietileno son: La estructura ramificada debido a que la cristalinidad y propiedades físicas se encuentran en función de esta, el peso molecular porque no todas las moléculas son del mismo tamaño y la distribución del peso depende de las ramificaciones.

Otras características como la permeabilidad es de gran interés para la aplicación en empaque, la resistencia química por

la aplicación en envases y contenedores ya que sustancias como hidrocarburos alifáticos, aromáticos y clorinados podrían afectar sus propiedades.

Propiedades como las eléctricas, térmicas y fallas a esfuerzos son fundamentales por su uso en productos distintos. Por ejemplo se utiliza en la industria del empaque, de la construcción, embalaje, aparatos domésticos, comunicaciones, medicina, instalaciones químicas y eléctricas.

Estos son algunos de los parámetros indispensables del polietileno, para poder competir en el mercado del plástico, ya que las fabricas que utilizan este producto como materia prima, exigen cada vez más estrictos controles en las especificaciones del polímero, para garantizar su producto e incursionar en el En el caso ámbito internacional.

La oferta de polietileno a nivel mundial, la denominan 3 grandes productores que son: E.U., Japón y Europa Occidental, siendo estas regiones junto con Canadá el mercado internacional más grande, la demanda mundial del polímero presenta una tendencia creciente, lo que provoca a los industriales a modernizar y utilizar la capacidad instalada más eficientemente y aún la construcción de nuevas plantas para aumentar la producción del PEAD.

En el caso de México, sólo Petroleos Mexicanos fabrica el polietileno en sus plantas instaladas, su producción no ha sido suficiente para abastecer la demanda nacional, teniendo que recurrir a importaciones para satisfacerla.

El consumo se ha ido incrementando, debido a la gran variedad de aplicaciones que tiene, principalmente para empaque y embalaje, botellas y envases diversos, artículos para el hogar, tubería y recubrimientos de conductores eléctricos.

El incremento en el consumo nacional del polímero, hace pensar en el establecimiento de una nueva planta, siendo del sector privado o del gobierno, permitiendo cubrir la demanda nacional y por los requerimientos económicos de operación de las plantas a nivel industrial exportar los excedentes.

Sin embargo para abatir dichas importaciones, deberán establecerse programas dirigidos a utilizar más eficientemente la capacidad instalada, mientras se comience la construcción de la planta en planeación de Lázaro Cárdenas, Michoacán.

En lo que respecta al etileno, como materia prima utilizada para la fabricación del PEAD, se cuenta con una capacidad instalada que sobreapa la demanda de los procesos de fabricación de PEAD y otros que también la utilizan, lo que garantiza el suministro de este petroquímico básico, para la planta que

eventualmente se establecerá.

Al establecer una nueva planta, se debe de pensar en las diferentes tecnologías para la fabricación del polímero, y es importante señalar, el tipo de polimerización en los diferentes procesos, esta operación es de gran importancia porque se puede tener un buen control en las propiedades del producto final.

Esta polimerización se realiza en tres formas: solución, suspensión y fase gaseosa, habiendo diez procesos que se encuentran trabajando a nivel industrial, con algún tipo de de la clasificación anterioro, existen otros procesos que son alguna modificación de alguno de estos como es el caso de Naphtachimie y B.P. Chemical y probablemente esta modificación permita ser el proceso más competitivo y eficiente que el original.

Otra área de interés es el reciclado del PEAD, en nuestro país es un dato desconocido, ya que la mayoría de las plantas que se dedican a esta actividad son pequeños y no existe información reportada que sea confiable. Sin embargo es un factor que hay que considerar para el establecimiento de nuevas plantas, ya que el reciclado podría constituirse en una fuente de materias primas, de costo más bajo para aquellos casos en que sea posible utilizarse.

Para que sea viable el reuso de material de postconsumo se deberá grabar en moldes y materiales el código internacional para

reciclado y hacer estudios de los ciclos abiertos y cerrados que sigue el material en su recuperación y posterior reciclado.

Con los datos e información expuestos en esta tesis, se hace notar la gran importancia de la reconversión de las plantas industriales, sobre todo en este sector de carácter prioritario, viendo la eficacia de la reconversión en años no muy lejanos.

El análisis de la modernización industrial en la fabricación de polietileno de alta densidad, sólo corresponde a una de las vertientes de la Reconversión Industrial, el de la introducción de nuevas tecnologías para aumentar la capacidad de producción, disminuir los déficits que existen actualmente y eliminar las restricciones a la exportación, como el hecho de que sólo se fabrican cinco tipos de polietileno.

Por todo lo anterior, se recomienda que al establecer un programa para la modernización industrial deberá evaluarse el deterioro de la industria, para desarrollar un proceso viable de reconversión, en cualquiera de los aspectos que se presente.

En la selección de tecnología para la fabricación de PEAD, deberá asegurar el proceso la manufactura del polietileno deseado en términos de calidad, costo, cantidad y tiempo de entrega.

Para aumentar la eficiencia, en las plantas en operación, deberá programarse adecuadamente la producción, porque afecta la

utilización real de la capacidad instalada, los constantes cambios de producción de los distintos tipos de polietileno, provocan que las pérdidas de tiempo sean grandes, con la consecuente absorción reducida de costos fijos y con la producción de niveles más bajos.

Al realizar estudios técnicos-económicos para el establecimiento de plantas para la fabricación de PEAD, se deberán tener en consideración, la competencia con el mismo polietileno reciclado, ya que podría alcanzar un buen mercado, por los grandes desarrollos que ha alcanzado en otros países.

Y se deberá tener cuidado, en la información publicada por las diferentes instituciones, sobre producción, importación, precios y consumo nacional, para tener una información confiable.

BIBLIOGRAFIA

- I. Giral Barnés, J. La crisis mexicana. Análisis y posibles soluciones. Reportes de conferencias del Club Tecnológico de Texel, S. A. de C. V. México., D.F. Marzo (1989)

1. Hocquenghem, G. H. and Cardona F. Industrial (revolución). Gran Larousse Universal, Tomo XX1. Plaza and Jones, S. A., Barcelona, Esp., p.p. 6691-6695 (1982)

2. Salinas de Gortari, C. Primer informe de Gobierno de México 1989. Reportes de informes presidenciales de la Secretaría de Programación y Presupuesto. México, p.p. 107-109 (1989)

3. La petroquímica, ¿"Caballo de Troya"? El Universal (México) 1^a Sección, 22 de Octubre (1989)

4. Secretaría de Energía Minas e Industria Paraestatal. Resolución que clasifica los productos petroquímicos dentro de la petroquímica básica o secundaria. Diario Oficial de la Federación. México, D. F. p.p. 5-16, 13 de Octubre de 1986

5. Secretaría de Energía Minas e Industria Paraestatal. Programa integral de fomento a la industria petroquímica. Mercado de Valores. (México) 46 [42] 984-994 (1986)

6. Secretaría de Energía Minas e Industria Paraestatal. Nueva resolución que clasifica los productos petroquímicos en básicos y secundarios. Diario Oficial de la Federación. Mexico, D. F. p.p. 22-23, 15 de Agosto de 1989
7. Soria, V. M. Privatización de la petroquímica secundaria. Excelgior (México) Sección metropolitana. 10 de Octubre de 1989
8. Kirk E., R. y Othmer F. D. Polietileno. Enciclopedia de tecnología química. Vol. XII. UTEHA. México, D. F. p.p. 845-877 (1987)
9. Phillips 66 Co. Avances y desarrollos en el procesamiento del PEAD. Boletines técnicos de Phillips 66 Co. (México) 18 [16] 1-32 (1984)
10. Harris, I. Manufacturing and Characteristics of Plastics. Journal Polymer Sci. 8 [3] 353 (1952)
11. Pinner, S. H. and Stabin, J. V. Molecular weight is obtained by osmometry. Journal of Polymer Sci. 9 [2] 575 (1952)
12. Ashby, C. E. Physical Properties of Polymers. Advances in chemistry series 189 de American Chemical Society, Dallas, Texas., Abril (1956)

13. Duch, E. and Kúchler, L. Melt viscosity in polymers. Electrochem, U.S.A. 60-218 (1956)
14. Mark F. H. and Bikales M. N. Higt density polyethylene. Enciclopedia of polymer science and engineering. Vol. 6, 2^a. Ed. 454-484 (1986)
15. Reporte especial de plásticos. Panorama plástico 14 [Enero/Febrero] 9-22 (1989) 9-22 (1989)
16. Polietileno de alta densidad. Anuario Estadístico del plástico. Instituto mexicano del plástico industrial S.C. 1988. México, D. F. p.p. 155-161 (1988)
17. Polietileno de alta densidad. Anuario Estadístico del Plástico 1990. Instituto mexicano del plástico industrial S.C. México, D. F. p.p. 131-129, 263-270 (1990)
18. Morris D. G., Platics 1990. Chemical Week 145 [25] 18-80 (1989)
19. Cain Gordon, A. Acquisitions: Cain aims for petrochemical empire. Chemical Engineering News. 65 [19] 4 (1987)
20. Greek F. B. Tightening Supplies Push Up Ethylene Price. Chemical Engineering News 65 [39] 9-10 (1987)

21. Gross, Sidney and Winton M. J., Plastics prepare for a brighter future. Chemical Week 141 [25] 22-49 (1987)
22. Special Report: Materials '86. Modern Plastics International 17 [1] 20-24 (1987)
23. Petrochemical Handbook '89
Hydrocarbon Processing 68 [11] 109 (1989)
24. HPI Construction Boxcore update
Hydrocarbon Processing 68 [2] 68-96 (1989)
25. HPI Construction Boxcore update
Hydrocarbon Processing 68 [10] 3-45 (1989)
26. Planta de polietileno de alta densidad. Folleto del complejo petroquímico Escolin. Subdirección de transformación industrial. Instituto Mexicano del Petroleo. México, D. F. p.p. 15-18 (1986)
27. Transformación industrial: petroquímica básica. Memoria de labores de Petroleos Mexicanos. Gerencia de Evaluación e información. México, D. F. p.p. 9-25 (1987)

28. Refinación y Petroquímica. Anuario estadístico de Petroleos Mexicanos. Gerencia de evaluación e información de Petroleos Mexicanos. México, D. F. p.p. 63-68, 109-116 (1987)
29. Subdirección de transformación industrial de Petroleos Mexicanos. Encuesta personal. Julio (1990)
30. Subdirección general de ventas de Petroleos Mexicanos., encuesta personal. Noviembre (1990)
31. Escenario Económico de México: Perspectivas de desarrollo para ramas seleccionadas 1981-1985. Petroquímica básica. Dir. General de análisis de ramas económicas. Secretaría de Programación y Presupuesto. México, D. F. p.p. 231-247 (1986)
32. Polietileno de alta densidad. Asociación nacional de la industria química. Anuario estadístico de la industria química mexicana. México, D. F. p.p. 161 (1988)
33. Polietileno de alta densidad. Secretaría de comercio y fomento industrial. Reportes de fracciones arancelarias (3901.2001, 3901.2002) México, D. F. (1989, 1990)

34. Polietileno, Indicadores económicos de México. Banco de México. México, D.F. 1989
35. Petrochemical Handbook '79
Hydrocarbon Processing 59 [11] 221, 223, 225, 227 (1979)
36. Petrochemical Handbook '83
Hydrocarbon Processing 62 [11] 135-136, 183 (1983)
37. Petrochemical Handbook '85
Hydrocarbon Processing 64 [11] 160-161 (1985)
38. Savage, P., An LBO for Du Pont's HPDE
Chemical Week 140 [6] 10 (1987)
39. Housley, C. and J. Wilson., L. Polymer Research Fuels Fibers
Chemical Week 140 [21] 15 (1987)
40. B. Seymour, R. El reciclado del PEAD
Revista de plásticos modernos 58 [401] 720-727, 794 (1989)
41. B. Seymour, R. La reutilización de los plásticos.
Revista de plásticos modernos 58 [402] 929-934 (1989)
42. Leaversuch, R. El HDPE de reciclado: Un gran volumen esperando una oportunidad. Revista de Plásticos Modernos 58 [401] 715-744 (1989)

43. Mc. Crum N. G., and Buckley C. P. Physical properties. Principles of Polymer engineering. Oxford science publications. U.S.A. p.p. 323-327 (1988)

44. Special report: Plastic's 90's. Chemical Marketing Reporter 237 [7] 22-26 (1990)

45. Klefer M., D., Profits up sharply as producers reap benefits of restructuring. Chemical Eng. News 65 [50] 26-28 (1987)