

Nº 44
251



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Química

T E S I S

ASPECTOS ECONOMICOS DEL RECICLADO DE
POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD

Que para obtener el Título de
INGENIERO QUIMICO
p r e s e n t a

GERARDO GONZALEZ ZAMUDIO



México, D. F.

1992

**TESIS CON
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.

I N D I C E

	Pág.
CAPITULO 1	
INTRODUCCION	1
CAPITULO 2	
GENERALIDADES DEL PEAD	5
2.1	
Identificación del producto	5
2.2	
Estructura química, física y propiedades	5
2.2.1	
Estructura química	5
2.2.2	
Estructura física	7
2.2.3	
Propiedades	10
2.2.3.1	
Permeabilidad y fragilidad	10
2.2.3.2	
Propiedades eléctricas, térmicas y fallas a esfuerzos	11
2.3	
Resistencia Química	14
2.4	
Estabilización del plástico	14
2.4.1	
Estabilización a la fotooxidación	14
2.4.2	
Estabilización de la oxidación térmica	15
2.5	
Usos y aplicaciones del PEAD	15
2.6	
Procesos para la fabricación de PEAD	16
2.6.1	
Polimerización en solución	16
2.6.2	
Polimerización en suspensión	17
2.6.3	
Polimerización en fase gaseosa	18
2.7	
Procesos industriales usados en la producción de PEAD	18
2.7.1	
Proceso Union Carbide	18

2.7.2	Proceso Mitsubishi Petrochemical Co., LTD.	21
2.7.3	Proceso Phillips Petroleum Co.	24
2.7.4	Proceso Naphthachimie	27
2.7.5	Proceso de BP Chemicals LTD	30
2.7.6	Proceso Hoechst AG.	33
2.7.7	Proceso Asahi	36
2.7.8	Proceso Chemische Werke Huls AG.	39
2.7.9	Proceso Montedison S.P.A.	42
2.7.10	Proceso Dupont	44
2.7.11	Copolimerización catalitica de etileno con monómero reciclado	44
CAPITULO 3	ASPECTOS ECONOMICOS DEL PEAD	45
3.1	Tendencias de la industria del plástico en los años 90's a nivel internacional	45
3.2	Tendencias de la industria del plástico en los años 90's a nivel nacional	46
3.3	Situación actual del PEAD en el Mundo	49
3.3.1	Capacidad instalada	49
3.3.2	Empresas productoras	50
3.3.3	Consumo aparente	53
3.3.4	Segmentación del consumo	54
3.3.5	Participación y tendencia por aplicación	57
3.3.6	Proyectos y perspectivas	59
3.4	Situación actual del PEAD en México	61

3.4.1	Capacidad instalada	62
3.4.2	Empresas productoras	64
3.4.2.1	Producción	64
3.4.2.2	Importación	68
3.4.2.3	Exportación	68
3.4.3	Consumo aparente	69
3.4.4	Segmentación del consumo	71
3.4.5	Participación y tendencia por aplicación	72
3.4.6	Proyectos y perspectivas	73
CAPITULO 4	EL MERCADO DE PEAD RECICLADO	75
4.1	Producción de desperdicios en el Mundo	75
4.2	Producción de desperdicios en México	79
4.3	Problemas de recolección y acopio	83
4.4	El Mercado del PEAD reciclado	85
4.4.1	El Mercado del PEAD reciclado en el Mundo	87
4.4.2	El Mercado del PEAD reciclado en México	97
CAPITULO 5	LOS PROCESOS DE RECICLADO DE PEAD	101
5.1	Sistema para tratamiento de Basura	101
5.1.1	Relleno Sanitario	101
5.1.1.1	Relleno Sanitario Mecánico	102
5.1.1.2	Relleno Sanitario Rústico	103
5.1.2	Pepena	103
5.1.3	Compactación	104
5.1.4	Incineración	105

5.1.5	Composteo	105
5.1.5.1	Terminación Natural	106
5.1.5.2	Fermentación Acelerada	106
5.1.6	Químico	106
5.1.7	Degradabilidad	107
5.1.7.1	Fotodegradación	109
5.1.7.2	Biodegradación	109
5.2	Tecnologías para reciclado de plásticos	111
5.2.1	Plásticos de la misma especie	112
5.2.1.1	Molienda	114
5.2.1.1.1	Molienda Criogénica Vs. Molienda Normal	119
5.2.1.2	Limpieza	119
5.2.1.3	Compactación	120
5.2.1.4	Pelletización	121
5.2.1.5	Modificación con Aditivos	121
5.2.1.6	Líneas completas de Reciclado	122
5.2.2	Plásticos Mezclados	123
5.2.2.1	Cloruro de Polivinilo (PVC)	125
5.2.2.2	Polietilen Tereftalato (PET)	125
5.2.2.3	Poliestireno	126
5.3	Niveles de Inversión	126
5.4	Aplicaciones	127
CAPITULO 6	ANÁLISIS DE RESULTADOS	128
6.1	Aspectos Políticos y Legales	128
6.1.1	Legislación	129

6.1	Aspectos Políticos y Legales	128
6.1.1	Legislación	129
6.1.2	Informar y Motivar a la Población	129
6.1.3	Actuar	129
6.2	Sistema de Codificación para Envases Plásticos	130
6.3	Ciclo de Vida del PEAD	133
6.4	Volumen de Desperdicios por Tipo de Plástico	134
CAPITULO 7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	136
BIBLIOGRAFIA		138

1.0 Introducción

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 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 solo cubre el 41 % de la demanda, es decir, lo que se traduce en una falta de productividad a lo largo de toda la cadena productiva que 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.

Además de estos problemas, la industria del PEAD enfrenta el problema ecológico por la generación de desperdicios ya que los tiempos de utilización de los productos fabricados de este material, son pequeños con respecto a su ciclo de vida que es largo, por ejemplo botellas de leche, etc. Este tipo de desechos es un factor que afecta la competitividad de los plásticos frente a otros materiales como el vidrio.

Sin embargo este problema no lo generan los plásticos por si mismos, sino que son consecuencia de las tecnologías desarrolladas sin tener en cuenta el entorno ecológico.

La cantidad de residuos que produce cada habitante es un índice que se relaciona directamente con el nivel de vida de la comunidad a la que pertenece y al grado de industrialización del lugar de donde proviene.

El ritmo comercial de nuestra sociedad, la continua conquista de nuevas metas tecnológicas y la errónea creencia de que los recursos naturales son inagotables, son algunos de los factores que contribuyen a la actual producción de residuos en las sociedades de consumo.

Ante esta problemática han surgido ideas que han servido para desarrollar tecnologías que buscan reciclar los desperdicios plásticos recuperando parte de la energía incorporada ó bien desarrollar nuevas tecnologías amigables con el medio ambiente.

Para abatir el problema de la contaminación se han desarrollado diferentes alternativas tecnológicas para el tratamiento y disposición de residuos plásticos, estas alternativas persiguen dos objetivos: Protección al ambiente mediante el tratamiento de desechos e implementación de tecnologías menos contaminantes; el segundo objetivo es contribuir a la conservación de recursos no renovables compensando la creciente escasez de materias primas.

El presente trabajo tiene como objetivo estudiar los aspectos económicos y el mercado potencial del Polietileno de Alta Densidad reciclado.

Se enfoca hacia el tratamiento y disposición del PEAD porque este es uno de los plásticos más importantes desde el punto de vista económico, comprende el 25% de participación en el mercado de los termoplásticos en México. Debido a que sus aplicaciones, sobre todo en película que representa el 70% del consumo total de PEAD.

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 pequeñas 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 que 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.

Este trabajo se ha dividido en varios capítulos. En el capítulo de generalidades se considera la identificación del producto, sus propiedades y los procesos industriales usados en su manufactura.

En el siguiente capítulo se analizan los datos de la evolución de la industria del plástico a nivel nacional e internacional, así como la estructura del mercado de este plástico, su segmentación y aplicaciones. Se incluyen datos de importaciones y exportaciones de PEAD virgen.

En el capítulo 4 se presentan datos acerca de la producción de desperdicios de este plástico y los problemas de recolección y acopio. Se analiza el mercado del PEAD reciclado en México y en el Mundo.

En capítulo 5 se describen los procesos para tratamiento de Basura, como: relleno sanitario, compactación, incineración, composteo, terminación natural, fermentación acelerada, degradabilidad, fotodegradación y biodegradación. También se describen los procesos aplicables al reciclado de PEAD; sus ventajas y desventajas, como: molienda, compactación, pelletización, modificación con aditivos.

El capítulo 6 contiene el análisis de resultados y se proponen algunas alternativas de solución. La información y motivación a la población, así como el sistema de codificación para envases plásticos y el volumen de desperdicios por tipo de plástico.

El capítulo 7 contiene las conclusiones y recomendaciones.

2.0 Generalidades del PEAD

2.1 Identificación del Producto

El PEAD es un termoplástico de peso molecular comprendido entre 10,000 y 40,000 una y es el producto de la polimerización de etileno con densidad igual o mayor a 0.941 g/cm^3 . De acuerdo a la Norma ASTM D-1248 el polietileno se clasifica en Tipos III y IV, incluyendo el homopolímero y el copolímero de etileno con altas α -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 PEAD se vende comercialmente en costales de 25 Kg., en forma de pellets, de cristalinidad variable de acuerdo a la densidad.

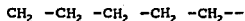
2.2 Estructura química, física y propiedades

2.2.1 Estructura química

La fórmula general para el polietileno es $(\text{CH}_2)_n$ y su composición analítica es: C: 85.7% y H: 14.3%.

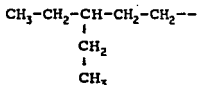
La estructura de un polietileno, tiene una cadena ramificada ⁽¹⁾ y contiene grupos olefinicos de tres tipos principalmente: $\text{RCH}=\text{CH}_2$, $\text{RCH}=\text{CHR}'$ y $\text{RR}'\text{C}=\text{CH}_2$.

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:

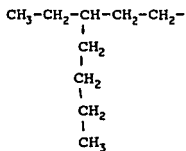


Para la copolimerización pueden ser usadas otras olefinas secundarias y caer dentro de la clasificación general de polietileno. Estos comonómeros pueden ser propileno ($\text{CH}_2=\text{CHCH}_3$) Buteno ($\text{CH}_2 = \text{CH}-\text{CH}_2$) y Hexeno ($\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$).

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



(a)



(b)

Figura N° 1. Estructura del polietileno ramificado

Dependiendo del monómero y comómero usado para la manufactura del polietileno, las ramificaciones de las cadenas cortas pueden ser controladas aproximadamente de 1 a 4 por cada 1000 átomos de carbono ⁽²⁾.

2.2.2 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 especiales que pueden darse en la cadena como las ramificaciones.
- c) Distribución del peso molecular.

Las características más importantes de la estructura física del polietileno es la cristalinidad. Este polímero es un material altamente cristalino (> 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 N° 1 se muestra el comportamiento de 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 en las propiedades por un incremento en la densidad.

TABLA N° 1 Ramificación de la Cadena y Cristalinidad

Ramificación CH ₂ por 100 CH ₂	Densidad 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° 2 se presentan algunas de las modificaciones en las propiedades por un incremento en la densidad.

TABLA N° 2 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 perm.	Impacto a baja temperatura
Temperatura de Ablandamiento	Permeabilidad
Resistencia Química	Esfuerzo
Dureza	Fatiga ambiental
Elongación	Resistencia

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. Este depende del proceso de polimerización.

El peso molecular del polietileno se determina por ebulloscopia [3], osmometría [4], crioscopia y por la viscosidad intrínseca. En la industria se utiliza comúnmente el índice de fusión que es una medida arbitraria de la fluidez del polietileno.

Este índice establece el grado de flujo, la viscosidad y el peso molecular promedio. La Norma ASTM D-1248 define los rangos de flujo en 5 categorías. En la Tabla N° 3 se muestran los rangos de flujo del PEAD.

**TABLA N° 3 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 máximo

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, la resistencia al agrietamiento por el esfuerzo y la facilidad de elaboración ^[1,2,5].

2.2.3 Propiedades

2.2.3.1 Permeabilidad y Fragilidad

Una propiedad importante del polietileno es su baja permeabilidad ^[6,7] 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° 4 se muestra la permeabilidad del PEAD expuesto a diferentes gases.

**TABLA N° 4 Constantes de Permeabilidad del PEAD para
diferentes gases**

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

FUENTE: Revista Panorama Plástico 1987

Esta propiedad es importante en aplicaciones como la de empaque, puesto que deberán buscarse las condiciones de permeabilidad que hagan viable la aplicación del producto para un uso determinado.

En el procesado del polietileno, los cambios sufridos influyen en la textura cristalina del polímero, que va desde que éste es dúctil. Por ejemplo si el polietileno se ha sometido a los cambios de temperatura, éste será más frágil.

Cuando la densidad del polietileno disminuye, su fragilidad también se reduce. Es por esto que una variación en la densidad del polietileno tendrá repercusiones importantes en las propiedades, y se manifiestan en polietilenos altamente cristalinos.

2.2.3.2 Propiedades Eléctricas, Térmicas, y Fallas a Esfuerzos

Las propiedades eléctricas muestran que el polímero es aislante y se compara favorablemente con las de cualquier otro material aislante eléctrico.

La conductividad térmica para el polietileno está en el intervalo [0.0011 a 0.0014] y es directamente proporcional a la densidad del plástico. Esta propiedad indica la cantidad de calor que va a ser conducida a través de una capa de un espesor dado.

La exposición del material al medio ambiente produce fallas que se manifiestan como "estrellamientos" externos e internos. Las fallas también son originadas por factores térmicos, fatiga, disolventes o compuestos oxidantes, que se caracterizan por la incidencia de fracturas de apariencia vidriosa.

En la Tabla N° 5 se muestran algunas de las propiedades del PEAD ⁽³⁾.

**TABLA N° 5 Propiedades Físicas, Térmicas, Eléctricas y
Mecánicas del PEAD**

Propiedades	Alta Linealidad	Bajo Grado de R.
Físicas		
Densidad g/cm ³	0.962-0.968	0.950-0.960
Indice de refracción	1.54 n(293 K,D)	1.53 n(293 K,D)
Térmicas		
Punto de fusión (°K)	401-408	398-405
Capacidad calorífica	1.67-1.88KJ (Kg.K)	1.88-2.09KJ (Kg.K)
Conductividad térmica	0.46-0.52 W/(m.K)	0.42-0.44 W/(m.K)
Calor de Combustión	46.0 KJ/g	46.0 KJ/g
Eléctricas		
Constante dieléctrica	2.3-2.4	2.2-2.4
Resistividad de vol.	10 ¹⁷ -10 ¹⁸	10 ¹⁷ -10 ¹⁸
Resistividad de sup.	10 ¹⁵	10 ¹⁵
Intensidad dieléctrica	45-55 KV/mm	45-55 KV/mm
Mecánicas		
Punto de cedencia	28-40 MPa	25-35 MPa
Modulo de tensión	900-1200 MPa	800-900 MPa
Resistencia a la T.	25-45 MPa	20-40 MPa
Fuerza de flexión	25-40 MPa	20-40 MPa
Elongación % en		
el punto de cedencia	5-8	10-12
el punto de rompimi.	50-900	50-1200

**FUENTE: Encyclopedia of Polymer Science and
Engineering. Vol. 6**

2.3 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 disolventes comunes a temperaturas inferiores a los 333 °K. A temperaturas superiores a 343 °K es atacado con mayor intensidad por hidrocarburos alifáticos, aromáticos y clorados (1,2,5,6).

2.4 Estabilización del Plástico

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

A continuación se presentan algunos de los estabilizadores más empleados para el polietileno (PEAD) (1,5,6).

2.4.1 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 hidrazonas, arilamidas y éteres aril-amido.

2.4.2 Estabilización de la Oxidación Térmica

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

2.5 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 ^(7,8).

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 perecederos, 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 sembrados y en la fabricación de invernaderos.

Otras aplicaciones son embalaje, aparatos domésticos, comunicaciones, medicinas, 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 presenta el procesamiento por extrusión del PEAD.

2.6 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, se realiza comúnmente en tres formas: solución, suspensión y fase gaseosa, presentando cada una de ellas ventajas y desventajas ^(2,5).

2.6.1 Polimerización en solución

Se realiza agregando disolventes como ciclohexano, hexano, etc., que forman un medio de reacción, y el polímero formado se disuelve, la mezcla 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 centrífuga para separar las partículas de catalizador, y por último se evapora 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 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 ^[2,5].

Un proceso industrial de este tipo es el de Dupont.

2.6.2 Polimerización en suspensión

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

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

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 solución la utilizan procesos como el Phillips Petroleum Co. ^[2].

2.6.3 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 ^(2,5).

2.7 Procesos Industriales usados en la producción de PEAD

2.7.1 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.

El etileno gaseoso es utilizado como comonomero y un catalizador son alimentados a un reactor de lecho fluidizado, en este aumentan las partículas del polimero 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 a través 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.

Las instalaciones comerciales que cuentan con este proceso son 14 plantas instaladas con capacidad de 25,000 a 120,000 ton/año. Adicionalmente tienen ocho nuevas líneas de reactores en construcción y seis más en diseño ^(9,10).

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

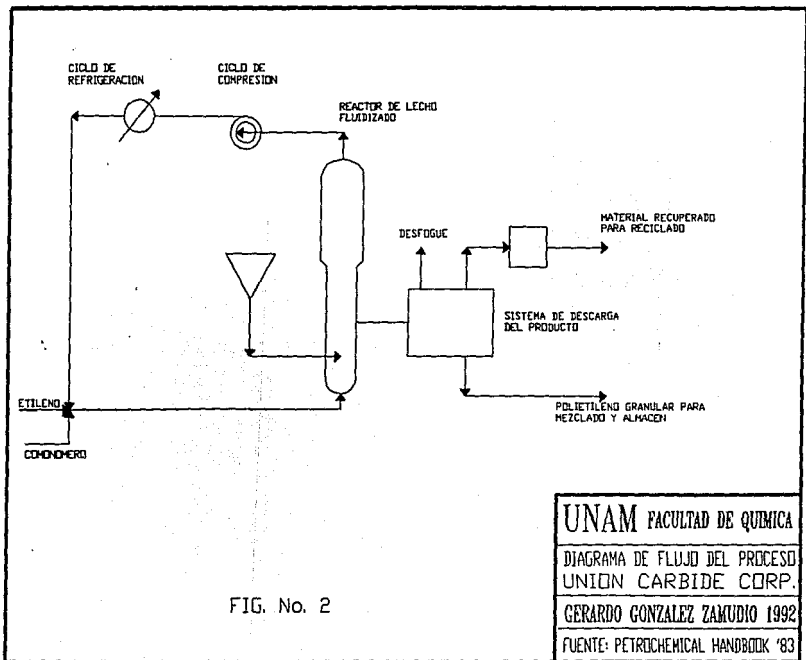


FIG. No. 2

UNAM FACULTAD DE QUIMICA

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO
UNION CARBIDE CORP.

GERARDO GONZALEZ ZAMUDIO 1992

FUENTE: PETROCHEMICAL HANDBOOK '83

2.7.2 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 disolventes hidrocarbonados. El etileno (o mezcla de etileno y comonomero) es polimerizado en la presencia de un disolvente 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 disolvente; posteriormente se envía a secado, y el disolvente recuperado es alimentado nuevamente al reactor.

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

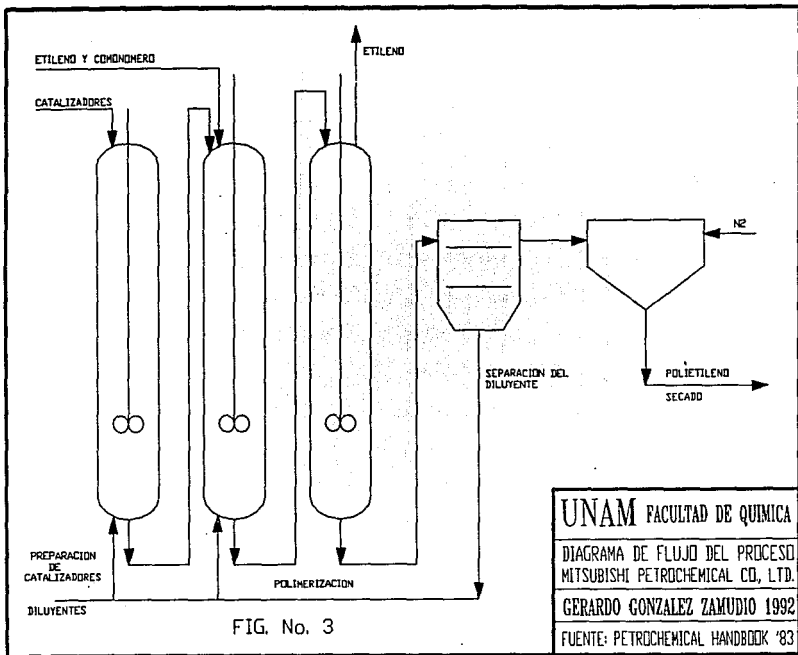
Ajustando la cantidad de comonomero y la concentración de hidrógeno, se puede tener un amplio rango de media y alta densidad y grados de flujo para ultra altos pesos moleculares.

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

Etileno y comonomero	1,015 Kg
Disolventes	10 Kg
Catalizadores	1,300
Vapor	300 Kg
Agua de Enfriamiento	100 m ³
Nitrógeno	40 Nm ³
Energía Eléctrica	100 Kwh

Las instalaciones comerciales existentes en este proceso son la planta comercial de Mitsubishi Petrochemical Co., LTD ⁽¹⁰⁾ y otras plantas en construcción.

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



UNAM FACULTAD DE QUIMICA

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO
MITSUBISHI PETROCHEMICAL CO., LTD.

GERARDO GONZALEZ ZAMUDIO 1992

FUENTE: PETROCHEMICAL HANDBOOK '83

2.7.3 Proceso Phillips Petrolaum 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 extrusión 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 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.

Los consumos de materiales y servicios son los siguientes para la producción de 1 Ton. de polímero.

Etileno	Kg	1,020-1,000
Catalizador		No reportado
Vapor		Muy poco
Electricidad	Kwh	300
Agua de Enfriamiento		Insignificante
Nitrógeno	Nm ³	50

Las instalaciones comerciales que cuentan con este proceso son 14 plantas instaladas en el mundo cuentan con una capacidad de 25,000 a 120,000 ton/año. Adicionalmente tienen ocho nuevas líneas de reactores en construcción y seis mas en diseño.

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 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 Singapur ^(9,11).

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

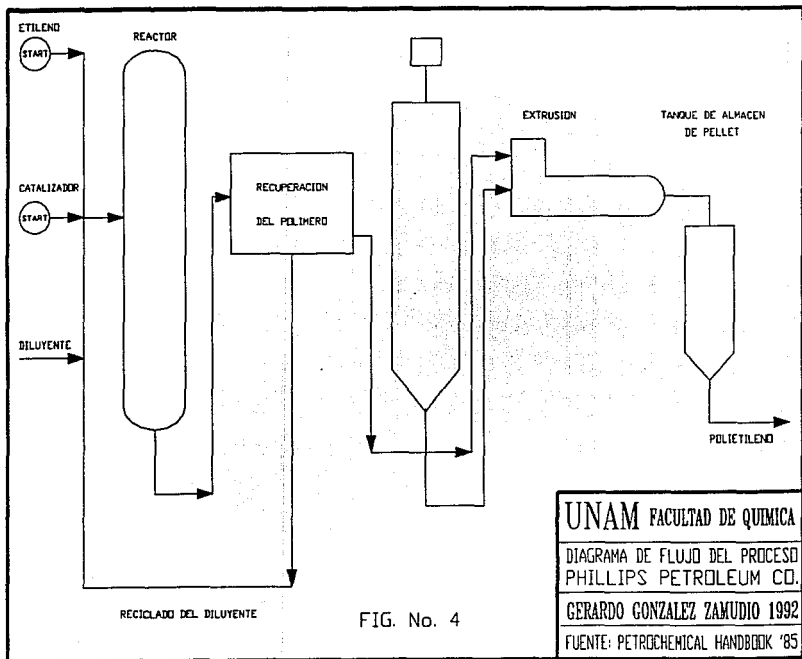


FIG. No. 4

UNAM FACULTAD DE QUIMICA
DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO PHILLIPS PETROLEUM CO.
GERARDO GONZALEZ ZAMUDIO 1992
FUENTE: PETROCHEMICAL HANDBOOK '85

2.7.4 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 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.

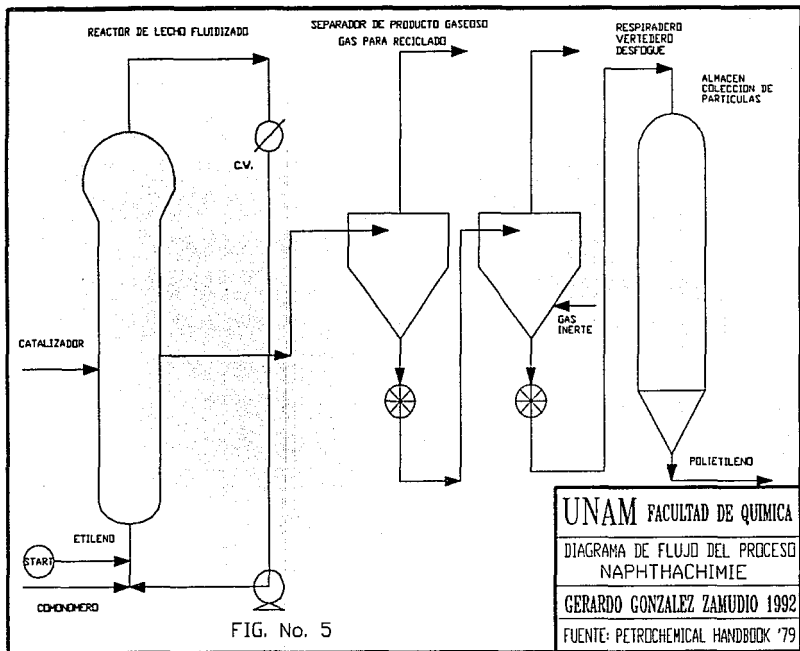
El polietileno producido con este proceso tiene densidades entre 0.935-0.965 g/cm³ obteniéndose amplias o pequeñas distribuciones del peso molecular.

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
Agua de Enfriamiento	m ³	4.5
Nitrógeno	Nm ³	40

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 ⁽⁹⁾.

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



2.7.5 Proceso de BP Chemical 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 de 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 a 0.965 y un índice de flujo de 0.05-100.

Los comonomeros usados son C_3 , C_4 o C_6 con una familia de 4 metil penteno -1 co- y ter polímero.

Las materiales 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	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) ⁽¹¹⁾.

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

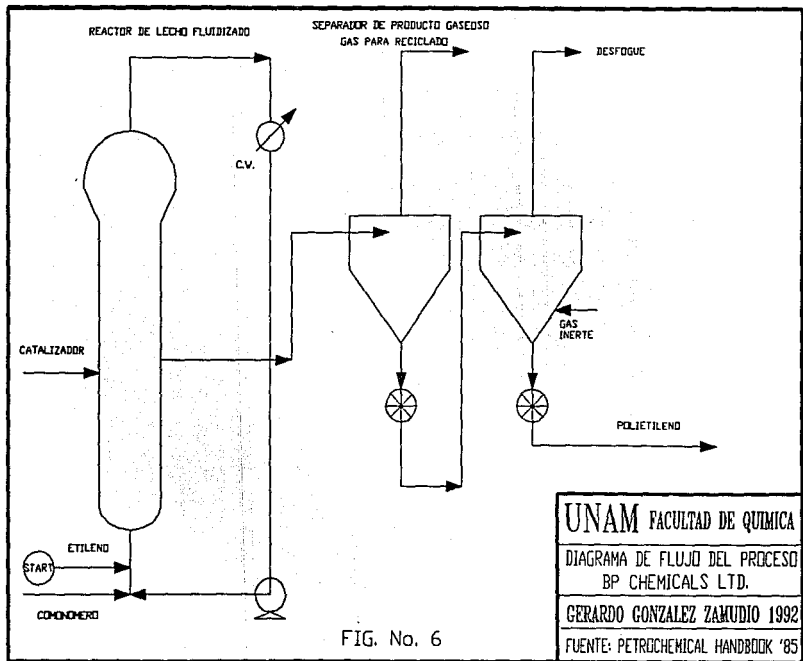


FIG. No. 6

2.7.6 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 1 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	35
Refrigerante	MJ	300

Las plantas comerciales con este proceso ^(9,10,11) tienen una capacidad de 900,000 ton/año y 120,000 ton/año.

En la Figura N° 7 se presenta el diagrama de flujo del proceso.

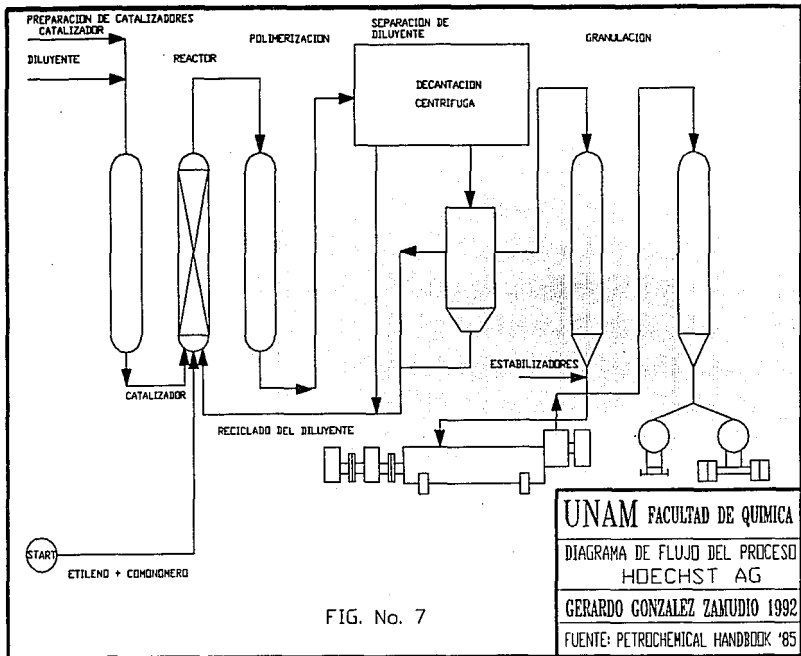


FIG. No. 7

2.7.7 Proceso Asahi

Este proceso es usado para la fabricación de polietileno de alta densidad. Utiliza etileno, comonomero, 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 el tipo Kettle provisto con equipos simples de agua de enfriamiento para controlar la temperatura del reactor y un agitador mecánico para homogeneizar la mezcla.

Al agregar el hexano como medio de reacción (disolvente) se forma una pasta, ya que previamente se obtiene el polímero en forma de talco, se evapora 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 (TiCl₄) y trietil de aluminio (AlEt₃). 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 centrífuga en donde el hexano es separado, la pasta así obtenida pasa a un secador en donde se forman los pellets del polietileno de alta densidad, que se almacenan en silos de polietileno.

El disolvente recuperado en la sección de filtrado y secado, se purifica mediante una destilación y posteriormente se recicla al reactor ^[12,13].

Las condiciones típicas de recuperación 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:

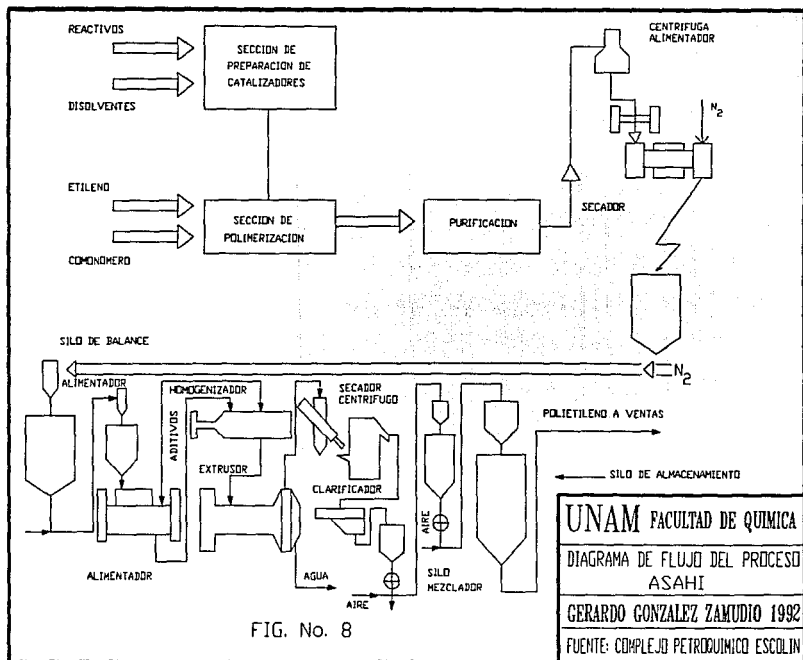
Control de peso molecular:

Es controlado por la presión parcial del H₂ 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.



2.7.8 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 catálisis 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 de evaporación instantánea y se separa el etileno que no reaccionó reciclandolo hacia el reactor.

La suspensión pasa a una centrifuga 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 disolvente 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.

Las materiales primas y servicios auxiliares requeridos para la fabricación 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 [9].

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

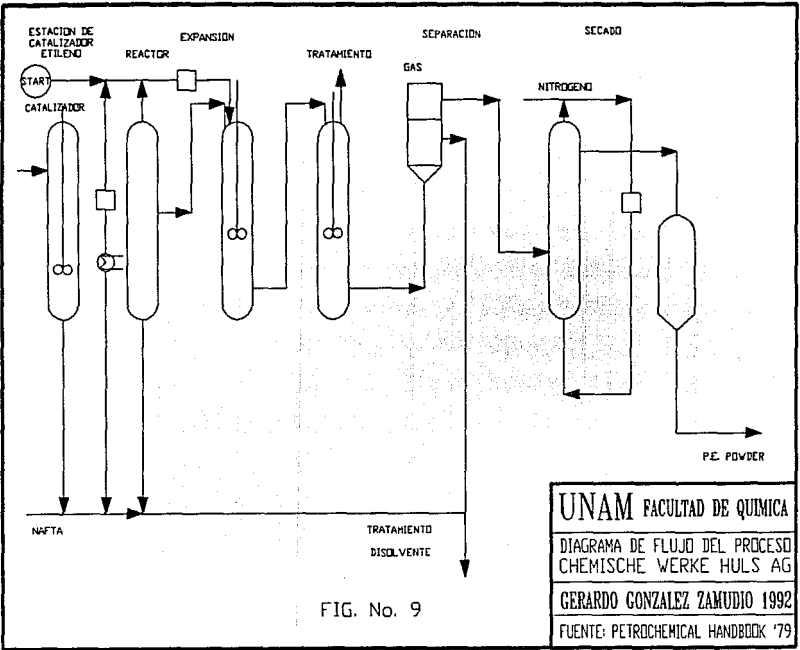


FIG. No. 9

UNAM FACULTAD DE QUIMICA
DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO CHEMISCHE WERKE HULS AG
GERARDO GONZALEZ ZAMUDIO 1992
FUENTE: PETROCHEMICAL HANDBOOK '79

2.7.9 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 evaporado 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 extrusión para la formación del pellet.

Las materiales primas y servicios auxiliares requeridos para la fabricación de 1 Ton. de PEAD son:

Etileno	Kg	1,035
Hidrógeno	Kg	1.50
Diluyente (Hexano)	Kg	10
Catalizadores		No reportados
Energía Eléctrica	Kwh	500
Agua de Desmineralizada	Kg	2,000
Vapor	Kg	1,500
Agua Enfriamiento	m ³	250

En Brindisi Italia existe una planta que produce 200,000 ton/año, en dos líneas con este proceso ⁽⁹⁾.

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

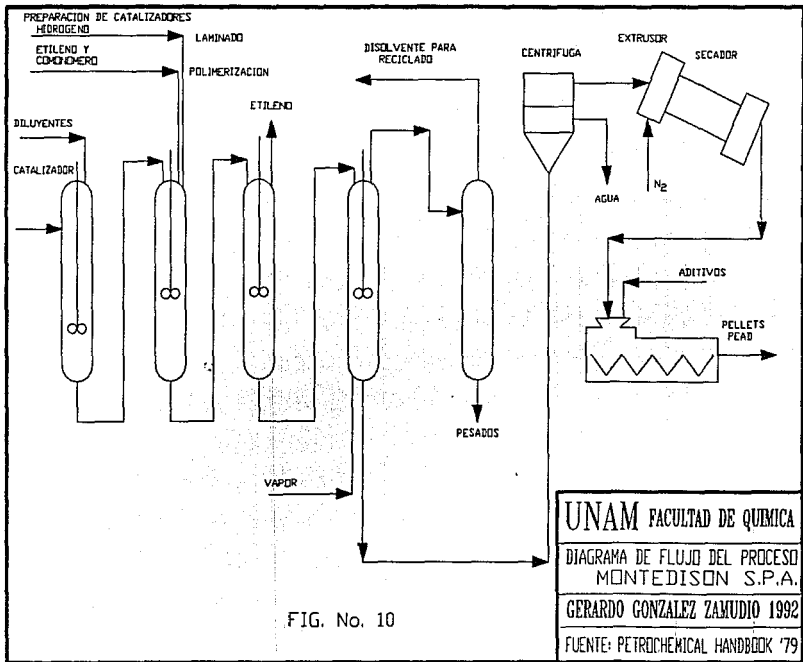


FIG. No. 10

UNAM FACULTAD DE QUIMICA
 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO
 MONTEDISON S.P.A.
 GERARDO GONZALEZ ZAMUDIO 1992
 FUENTE: PETROCHEMICAL HANDBOOK '79

2.7.10 Proceso Dupont

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

Se alimenta continuamente etileno, ciclohexano como disolvente, catalizadores e hidrógeno a un reactor a una presión de 8 Kg/cm² y una temperatura de 423 °K.

La solución de polimerización sale del reactor para ser enviado a un tanque de evaporación instantánea, donde el disolvente 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 ^[2,5].

2.7.11 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 prueba a nivel planta piloto y por lo tanto no se ha reportado en la literatura información detallada ^[14,15].

3.0 Aspectos Económicos del PEAD

3.1 Tendencias de la Industria del Plástico en los años 90's a Nivel Internacional

Las sociedades modernas imponen formas de vida en las que el consumo de materias primas se incrementa peligrosamente, especialmente, materias primas plásticas, todo esto debido al afán de vivir más "cómodamente" sin tomar conciencia de que se está terminando con los recursos naturales de la Tierra.

La industrialización y venta de toda clase de productos, muchas veces innecesarios, ha traído como consecuencia la generación de desperdicios y la contaminación del medio ambiente.

Por otro lado, durante los últimos años, se ha hecho cada vez más evidente que las materias primas provenientes de los hidrocarburos no son inagotables. Este hecho incide cada vez más sobre la necesidad de economizarlas, convirtiéndose en el objetivo primordial.

Debido a la recesión mundial, al igual que la mayoría de los sectores económicos, la industria de los plásticos no está en su mejor periodo.

La tendencia de demanda para muchos materiales plásticos es a la baja y refleja la recesión de la economía, que ocurre después de un periodo, en el que la demanda de plásticos se había incrementado un poco, a partir de 1988.

Las proyecciones para la década de los 90's señalan que continuará el descenso en la demanda para la mayoría de resinas termoplásticas.

Las ventas de 1991 reflejan un crecimiento de 9 por ciento de las resinas, en los sectores de construcción, y las nuevas aplicaciones especiales en electrónica y partes de automóvil (16,17).

A partir de todo lo anterior, desde que se descubrió el primer plástico se han desarrollado 1500 variedades y solo en 1987, en Estados Unidos se descubrieron 3500 nuevas mezclas. Así se muestra el gran presente y futuro de esta rama en un mundo donde la mecánica, electrónica, robótica, diseño, hacen que el plástico le gane terreno a los materiales tradicionales como el metal, vidrio, madera y papel.

3.2 Tendencias de la Industria del Plástico en los años 90's a Nivel Nacional

En los últimos 25 años la industria del plástico ha incrementado su penetración dentro del contexto productivo del país, involucrando cada vez más aspectos tecnológicos, de calidad, aprovechamiento de capacidad instalada y recursos humanos.

Por sus características, la industria del plástico está llamada a jugar un papel de gran importancia en el desarrollo industrial de nuestro país, ya que satisface necesidades de productos básicos para nuestra población e industria en muy

diversas áreas como: alimentos, salud, agricultura, construcción y viviendas, pesca, vestido, calzado, transporte, telecomunicaciones y electrodomésticos, entre otras.

El 70% de la producción de manufacturas plásticas en nuestro país, proveen a industrias como la química, farmacéutica, automotriz, de la construcción, etc. Debido a que estos productos sustituyen materiales tradicionales por su economía, funcionalidad, belleza y comodidad en sus aplicaciones.

Además de cumplir la función de satisfacer necesidades de la población, el desarrollo de la industria del plástico, permite dar un mayor valor agregado a nuestros recursos naturales.

El sano desarrollo de la industria del plástico constituye también un factor importante para contribuir a la lucha contra la inflación, ya que a través del desarrollo de productos o manufacturas más competitivas, con mejor calidad y por lo tanto con un mejor comportamiento en relación a su uso, se contribuye a apoyar la economía de la población.

La industria del plástico en México presenta una serie de ventajas potenciales que, adecuadamente explotadas y reforzando los puntos débiles que actualmente presenta, puede consolidarla como una industria de competitividad internacional.

México es uno de los pocos países en el mundo que posee una sólida cadena productiva que se inicia desde el petróleo, la petroquímica básica secundaria hasta las manufacturas

plásticas. Actualmente cuenta con una planta industrial amplia y diversificada, compuesta por 3000 empresas de manufacturas plásticas.

Así mismo, existen energéticos y mano de obra calificada y competitiva. Sin embargo, se requiere continuar los esfuerzos de capacitación, adiestramiento y formación de recursos humanos en este campo.

México tiene una ubicación estratégica para el mercado internacional, debido a la cercanía geográfica con el país más industrializado del mundo y el mayor mercado mundial de plásticos, lo que representa un gran atractivo comercial; además, el mercado interno tiene un potencial de gran importancia. Baste señalar que el consumo per cápita en México es actualmente de 7 a 10 veces inferior al de los países industrializados, siendo en éstos de alrededor de los 112 kilogramos; sin duda se ha alcanzado la era del plástico, la cual, de acuerdo a ciertas estimaciones, crecerá pronunciadamente en lo que resta del presente siglo. La participación, en este sentido, de los plásticos de gran volumen (commodities) como son polietileno, polipropileno, PVC, poliestireno y poliuretano seguirían creciendo, aunque a tasas moderadas; sus mercados de consumo preferencialmente serán en los países en vías de desarrollo, que necesitaran satisfacer necesidades básicas e inmediatas de una población creciente (16,17).

Este tipo de plásticos, en los países desarrollados, alcanzarán un consumo anual casi estático; sin embargo, se consumirán masivamente los plásticos de ingeniería.

En México existen algunas áreas atendidas insuficientemente que presentan enormes potenciales de desarrollo, tal es el caso de la agricultura, la salud, los alimentos, la vivienda y la telecomunicación, entre otras.

El incremento del consumo per cápita de manufacturas plásticas, el crecimiento de la población en nuestro país y las amplias expectativas de exportación de nuestros productos son la base para que este sector cuente con una brillante expectativa de desarrollo, ya que se estima que se incrementará el consumo actual de resinas plásticas, que en la actualidad es poco más de un millón de toneladas anuales. Ante estas perspectivas, este sector industrial ha mostrado interés por llevar a cabo acciones que le permitan avanzar en el logro de los niveles de competitividad internacionales ^[16,17].

3.3 Situación actual del PEAD en el Mundo

3.3.1 Capacidad instalada

La capacidad instalada en el mundo fue aproximadamente de 12.7 millones de toneladas en 1990, localizada primordialmente en Estados Unidos, Europa Occidental, la región de Asia-Pacífico y en Japón.

El 84% de esa capacidad se encuentra bien definida como plantas de PEAD y el 16% restante se obtiene de plantas con producción conjunta de PEAD/PEBD lineal.

El aprovechamiento de la capacidad instalada a nivel mundial fue en 1990 del orden del 86% en promedio.

En la Tabla N° 6 se indica la distribución de la capacidad productiva en el mundo ^(8,17).

TABLA N° 6 Capacidad Instalada 1991
Distribución Mundial

REGION	(M TON.)
ESTADOS UNIDOS	3772
EUROPA OCCIDENTAL	2915
ASIA Y JAPON	1310
JAPON	1100
EUROPA DEL ESTE	650
LATINOAMERICA	596
CANADA	228
AFRICA	86
TOTAL MUNDIAL	10657

FUENTE: Anuario Estadístico del Plástico 1991, IMPI

3.3.2 Empresas Productoras

La empresa productora de Polietileno de alta densidad con mayor capacidad instalada en el mundo es Quantum, USI DIV.

En Estados Unidos el 76% de la planta productiva de esta resina corresponde a cinco empresas: Quantum, Oxychem, Allied-Signal, Soltex y Union Carbide.

En la Tabla N° 7 se muestra a las principales empresas productoras en Estados Unidos.

**TABLA N° 7 Productores de PEAD en
Estados Unidos**

EMPRESA	(M TON.)
QUANTUM, USI DIV	773
OXYCHEM	614
ALLIED-SIGNAL	546
SOLTEX	528
UNION CARBIDE	420
CHEVRON	261
DOW CHEMICAL	220
HOECHST CELANESE	160
EXXON	150
MOBIL	100
TOTAL	3772

FUENTE: Anuario Estadístico del Plástico 1991, IMPI

Por su parte, en Europa Occidental el 73% de la capacidad corresponde a ocho empresas, siendo las cinco más importantes Hoechst, Petrofina, Neste, Enichem y Solvay.

Los países con mayor capacidad de producción de PEAD dentro de esta región son: Alemania, Bélgica, Italia, España y Francia.

En la Tabla N° 8 se muestra a las principales empresas productoras en Europa Occidental.

TABLA N° 8 Principales Productores de PEAD en Europa Occidental

EMPRESA	(M TON.)	PRINCIPALES PLANTAS
HOECHST	490	ALEMANIA
PETROFINA	300	BELGICA
NESTE	270	SUECIA, PORTUGAL
ENICHEM	235	ITALIA
SOLVAY	235	FRANCIA, ITALIA
STATOIL	230	NORUEGA
R O W	210	ALEMANIA
C.W. HÜELS	160	ALEMANIA
BP CHEMICALS/EC	150	REINO UNIDO
D O W	150	BELGICA, ESPAÑA
REPSOL QUIMICA	140	ESPAÑA
D S M	110	PAISES BAJOS
TARRAGONA QUIMICA	100	ESPAÑA
OTROS PRODUCTORES	135	
TOTAL	2915	

FUENTE: Anuario Estadístico del Plástico 1991, IMPI

Con respecto a la capacidad en el resto del mundo, destacan Japón, China y Rusia. En la Tabla N° 9 se muestran algunas de las principales empresas localizadas en estas regiones ^(8,17).

**TABLA N° 9 Principales Productores de PEAD en el
Resto del Mundo**

EMPRESA	(M TON.)	UBICACION PLANTAS
SINOPEC	550	CHINA
PARAESTATAL	378	U.R.S.S.
MITSUMI PETROCHEMICAL	250	JAPON
PETROLEOS MEXICANOS	200	MEXICO
NOVACOR CHEMICAL	160	CANADA
FORMOSA PLAST.	150	TAIWAN
KOREA PETROCHEMICAL	150	KOREA DEL SUR
PARAESTATAL	150	RUMANIA
SHOWA DENKO	150	JAPON
NIPPON PETROCHEMICAL	125	JAPON
ALTONA PETROCHEMICAL	110	AUSTRALIA
HONAM PETROCHEMICAL	100	KOREA DEL SUR
OTROS PRODUCTORES	1497	
TOTAL	3970	

FUENTE: Anuario Estadístico del Plástico 1991, IMPI

3.3.3 Consumo aparente

Los altos índices de crecimiento mostrado por el polietileno de Alta Densidad durante el periodo 1985-1987 disminuyeron drásticamente en los últimos dos años pasando de 9.5 a 10.5 millones de toneladas de 1987 a 1989 con un crecimiento mundial en el consumo del 5% anual.

Estados Unidos, Europa Occidental y Japón representan actualmente el 66% del consumo mundial (6.9 millones de toneladas).

El crecimiento del consumo mostrado en Estados Unidos durante el periodo 1985-1989 fue de 6% anual, en Japón 6.7% y Europa Occidental con 9.8%.

Los países con mayor consumo en Europa Occidental son Alemania, Italia, Reino Unido, Francia y España.

En la Tabla N° 10 se muestra el consumo aparente de tres regiones en el mundo ^(6,17).

TABLA N° 10 Consumo Aparente de PEAD (M TON.)

AÑO	ESTADOS UNIDOS	EUROPA	JAPON
1981	1919	1365	524
1982	1976	1372	581
1983	2139	1527	587
1984	2384	1639	690
1985	2628	1819	680
1986	2778	2019	692
1987	3305	2312	732
1988	3383	2566	809
1989	3314	2649	881
1990	3356	2706	890
1991	3380	2784	913

FUENTE: Anuario Estadístico del Plástico 1991, IMPI

3.3.4 Segmentación del consumo

Los principales sectores de consumo del Polietileno de Alta Densidad a nivel mundial son actualmente Envases y Empaque 65%, Construcción 8%, Bienes de Consumo Doméstico 7%, Compuestos y Mezclas 7%, Artículos de Recreación y Juguetes 4%

El crecimiento del consumo mostrado en Estados Unidos durante el período 1985-1989 fue de 6% anual, en Japón 6.7% y Europa Occidental con 9.8%.

Los países con mayor consumo en Europa Occidental son Alemania, Italia, Reino Unido, Francia y España.

En la Tabla N° 10 se muestra el consumo aparente de tres regiones en el mundo ^(8,17).

TABLA N° 10 Consumo Aparente de PEAD (M TON.)

AÑO	ESTADOS UNIDOS	EUROPA	JAPON
1981	1919	1365	524
1982	1976	1372	581
1983	2139	1527	587
1984	2384	1639	690
1985	2628	1819	680
1986	2778	2019	692
1987	3305	2312	732
1988	3383	2566	809
1989	3314	2649	881
1990	3356	2706	890
1991	3380	2784	913

FUENTE: Anuario Estadístico del Plástico 1991, IMPI

3.3.4 Segmentación del consumo

Los principales sectores de consumo del Polietileno de Alta Densidad a nivel mundial son actualmente Envases y Empaque 65%, Construcción 8%, Bienes de Consumo Doméstico 7%, Compuestos y Mezclas 7%, Artículos de Recreación y Juguetes 4%

y Automotriz 2% principalmente como tanques para gasolina y recipientes para agua del sistema de enfriamiento y limpia parabrisas.

Los cuatro principales sectores constituyen un estándar en la segmentación del consumo en las tres regiones de mayor demanda.

En la Tabla N° 11 se muestra la segmentación del consumo en los Estados Unidos.

TABLA N° 11 Segmentación del Consumo
Estados Unidos 1991

SECTOR	(M TON.)	%
ENVASE Y EMPAQUE	2332	69
MEZCLA Y COMPUESTOS	338	10
CONSTRUCCION	237	7
BIENES DE CONSUMO	101	3
ARTICULOS DE RECREACION	67	2
ELECTRICO-ELECTRONICO	66	2
AUTOMOTRIZ	70	2
OTROS	169	5
TOTAL	3380	

FUENTE: Anuario Estadístico del Plástico 1991, IMPI

La Tabla N° 12 presenta el consumo segmentado en Europa Occidental.

TABLA N° 12 Segmentación del Consumo

Europa Occidental 1991

SECTOR	(M TON.)	%
ENVASE Y EMPAQUE	1921	69
MEZCLA Y COMPUESTOS	140	5
CONSTRUCCION	334	12
BIENES DE CONSUMO	83	3
ARTICULOS DE RECREACION	55	2
ELECTRICO-ELECTRONICO	28	1
AUTOMOTRIZ	56	2
OTROS	167	6
TOTAL	2784	

FUENTE: Anuario Estadístico del Plástico 1991, IMPI

La segmentación del consumo en Japón se muestra en la Tabla N° 13 ^(8,17).

TABLA N° 13 Segmentación del Consumo

Japón 1991

SECTOR	(M TON.)	%
ENVASE Y EMPAQUE	584	64
MEZCLA Y COMPUESTOS	54	6
CONSTRUCCION	55	6
BIENES DE CONSUMO	36	4
ARTICULOS DE RECREACION	27	3
ELECTRICO-ELECTRONICO	18	2
AUTOMOTRIZ	30	3
OTROS	109	12
TOTAL	913	

FUENTE: Anuario Estadístico del Plástico 1991, IMPI

3.3.5 Participación y tendencia por aplicación

En los países más industrializados se observa una disparidad significativa en cuanto a los procesos de transformación del PEAD, principalmente en Japón, país en el cual el 56,6% de los productos obtenidos son por extrusión, lo que denota una mayor participación de la resina para la fabricación de empaques, contraria a la presentada en Estados Unidos y Europa Occidental en que la mayor producción es de envase y cuerpos huecos. Estas diferencias se observan en la Tabla N° 14.

**TABLA N° 14 Distribución por Procesos de
Transformación (%)**

PROCESO	ESTADOS UNIDOS	EUROPA	JAPON
SOPLADO	40.3	43.0	15.8
INYECCION	21.1	25.5	16.2
EXTRUSION	24.6	30.5	56.6
ROTOMOLDEO	1.7	1.0	1.7
OTROS	12.3	n.d.	9.7

FUENTE: El Mundo de los Plásticos, IMPI

En Europa Occidental las aplicaciones que han incrementado su participación en el consumo, son los productos obtenidos por soplado para envase, que pasaron del 41.9% en 1987 al 43% en 1989. La película para empaque creció del 13.3% al 13.6% durante el mismo período.

Sectores que se han mantenido y continúan en el corto plazo con esa tendencia creciente son los usos de tubería, ducto eléctrico y recubrimiento de alambre y cable.

Los productos obtenidos por el proceso de inyección han disminuido su participación del 26.8% en 1987 al 25.5% en 1989. Japón por el contrario muestra una tendencia hacia disminuir la utilización de esta resina en procesos de soplado para envases pasando del 17.1% en 1987 al 15.6% en 1989.

La película extruida también disminuyó, del 39.3% al 34.4% durante el periodo señalado. En contraparte las aplicaciones de alto crecimiento fueron tubería y ducto eléctrico principalmente, seguida de productos obtenidos por inyección y la fabricación de flejes.

La utilización de PEAD como resina para la elaboración de mezclas y compuestos se ha incrementado significativamente en todas las regiones del mundo y se considera que el futuro cercano continuará con esa tendencia. Con respecto a Estados Unidos las aplicaciones con tendencia positiva claramente definida son la fabricación de recipientes y tanques automotrices, película para empaque y la elaboración de mezclas y compuestos. Las aplicaciones que han perdido participación del mercado son principalmente en artículos domésticos, artículos de recreación, tubería, ducto eléctrico y con una ligera disminución durante los últimos cinco años el uso para envase. (8,17).

Este comportamiento se indica en la Tabla N° 15.

**TABLA N° 15 Participación y Tendencia de los Sectores
de Consumo Estados Unidos (%)**

SECTOR	1987	1988	1989	1990	1991	TENDENCI
ENVASE	55.1	54.2	53.5	52.2	51.0	NEGATIVA
PELICULA	12.0	13.7	14.7	15.3	16.1	POSITIVA
MEZCLA Y COMP.	9.3	9.5	10.0	10.5	11.2	POSITIVA
TUBERIA	7.8	7.2	6.8	6.4	6.1	NEGATIVA
ARTICULOS DOM.	4.2	3.9	3.3	3.1	2.8	NEGATIVA
ARTICULOS REC.	2.3	2.3	2.2	2.0	1.7	NEGATIVA
ALAMBRE-CABLE	1.5	1.7	2.1	2.3	2.7	POSITIVA
TANQUE AUTO.	0.9	1.0	1.3	1.6	2.0	POSITIVA
OTROS	6.9	6.5	6.4	6.8	6.6	

FUENTE: Anuario Estadístico del Plástico 1991, IMPI

3.3.6 Proyectos y perspectivas

La capacidad productiva actual para abastecer la demanda del mercado mundial durante los próximos tres años es prácticamente insuficiente tomando como base una tasa de crecimiento en el consumo a nivel mundial del 4.5% anual de 1989 a 1992 y considerando hasta un 90% de utilización de la capacidad instalada actual.

Adicionalmente a estos proyectos se cuenta con aproximadamente 500,000 toneladas adicionales de ampliación y construcción de menor capacidad a realizarse durante el mismo período.

Por lo anterior y siendo una resina aún con crecimientos interesantes, existen varios proyectos nuevos y de ampliación en todas las regiones del mundo ^{10,17}.

A manera ejemplificativa se enlistan en la Tabla N° 16 los proyectos más importantes a realizarse en el periodo 1990 a 1992.

TABLA N° 16 Proyectos PEAD

EMPRESA	LOCALIZACION	(M TON.)
STRAWROPOL POLYMER	U. R. S. S.	300
PHILLIPS 66	ESTADOS UNIDOS	273
FORMASA PLASTIC C.	TAIWAN	200
PETROMONT	CANADA	200
FORMOSA PLASTIC C.	ESTADOS UNIDOS	182
OXYCHEM	ESTADOS UNIDOS	182
LUZON PETROCHEMICAL	FILIPINAS	140
SOLTEX	ESTADOS UNIDOS	136
PETROFINA	BELGICA	130
SOLVAY	BELGICA	110
BP CHEMICALS INTNL.	ESCOCIA	100
POLISUL/HOECHST	BRASIL	100
QUANTUM CHEMICAL	ESTADOS UNIDOS	90
DOW CHEMICAL	ESTADOS UNIDOS	82
O M V	AUSTRIA	80
REPSOL QUIMICA	ESPAÑA	65
STATOIL	NORUEGA	50
SHOWA DENKO CO.	JAPON	20
TOTAL		2460

FUENTE: Anuario Estadístico del Plástico 1990, IMPI

Algunos de los principales proyectos de PEAD/PEBD lineal que contribuirán a la producción de PEAD pero de los que se desconoce el porcentaje que destinarán a esta resina son los que se presentan en la Tabla N° 17.

TABLA N° 17 Proyectos PEAD/PEBD

EMPRESA	LOCALIZACION	PEAD/PEAD (M TON)
MOBIL	ESTADOS UNIDOS	320
CHEVRON	ESTADOS UNIDOS	200
UNION CARBIDE	ESTADOS UNIDOS	136
ATOCHEM	FRANCIA	110
EXXON CHEMICAL	ESTADOS UNIDOS	109

FUENTE: Anuario Estadístico del Plástico 1990, IMPI

Estos proyectos incrementarán la capacidad mundial en 1992 respecto a 1989 en 21% y con lo cual se considera que la oferta será adecuada a la demanda durante este periodo.

3.4 Situación actual del PEAD en México

La producción nacional de resinas sintéticas para plásticos se remonta escasamente a 42 años, es decir que nos encontramos ante una industria joven, que ha evolucionado en forma acelerada y normalmente a índices superiores al mostrado por el Producto Interno Bruto Nacional y el sector manufacturero, al cual pertenece la transformación de plásticos.

La demanda en constante expansión, ha originado en muchos casos la necesidad de ampliar la planta productiva en todos los aspectos; desde la Petroquímica Básica hasta la infraestructura de la empresa transformadora.

El interés y demanda por los plásticos de ingeniería, especialidades y aleaciones crece año con año, como resultado de los avances y tendencias tecnológicas a nivel mundial, las exigencias internas de calidad originada por la importación de productos muchas veces competitivos y la necesidad de exportar manufacturas con cierto valor agregado.

La apertura comercial iniciada hace 5 años, ha favorecido la existencia de un enorme número de distribuidores en todos los ámbitos y que satisfacen la demanda interna, contribuyendo en cierta forma al crecimiento del sector plásticos.

3.4.1 Capacidad Instalada

El nivel de capacidad instalada creció entre 1970 y 1980 a una tasa del 15% promedio anual alcanzando un volumen de 525,000 toneladas. De 1980 a 1984 el incremento fue del 50% y de ese año a 1991 la capacidad se ha duplicado significando un potencial de producción de 1.6 a 1.8 millones de toneladas-año (12,17).

Adicionalmente a esta capacidad se cuenta con aproximadamente 20,100 máquinas instaladas, en su mayoría para obtener productos por los procesos de inyección y extrusión, suficiente para atender la demanda interna dado su aprovechamiento actual del 40 al 50%.

Así mismo procesos como soplado, rotomoldeo y calandreado principalmente, muestran un potencial aún no explotado racionalmente pero con claras tendencias de crecimiento.

La capacidad instalada nacional corresponde exclusivamente a Petróleos Mexicanos y se encuentra localizada en el Estado de Veracruz.

LOCALIZACION PLANTAS	(TON.)
MORELOS, VERACRUZ	100,000
POZA RICA, VERACRUZ	100,000

La primera planta inició operaciones durante 1978 en Poza Rica, Ver., año en el cual la demanda interna era del orden del 58% de la capacidad productiva de dicha planta.

La segunda planta de Petróleos Mexicanos compuesta de 2 trenes, fue terminada a mediados de 1989, iniciando operaciones en uno de ellos en Diciembre de ese mismo año.

El nivel de aprovechamiento de la capacidad durante 1989 sin considerar la planta de Morelos fue del 97%, prácticamente saturada.

Con respecto a la producción aquí analizada como ventas interiores de PEMEX, ésta pasó de 78,060 Toneladas al más bajo volumen de la década en 1985 de 67,815 toneladas, lo que significó una disminución del 13.1% durante el período, mientras que en los siguientes cuatro años la recuperación se realizó a una tasa anual del 5.3 globalizando un incremento del 22.9%.

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

3.4.2 Empresas Productoras

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.

En la nueva reclasificación de productos (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.

3.4.2.1 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 ^(17,19).

En la Tabla N° 18 se muestran los diferentes tipos de polietileno comercial que se fabrica en México, así como propiedades y aplicaciones.

**TABLA N° 18 Diferentes tipos de Polietileno que
produce PEMEX**

Tipo	PADMEX 50003	PADMEX 60003	PADMEX 55010	PADMEX6 5060	PADMEX 60110
Densidad (g/cm ³)	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	65	70	66	72	72
Temperatura de ablandam.	397	401	395	401	401
Temperatura de Fragil.K	343	343	343	343	343
Resistencia al Impacto Kg ² *cm/cm	20	25	25	10	7
Resistencia a la tensión Kg/cm ²	250	290	250	310	300
Alargamiento %	500	900	1000	900	700
Aplicaciones	Moldeo por soplado	Moldeo por soplado	Cintill a, morfi lamento	Moldeo por inyec.	Moldeo por inyec.

**FUENTE: Investigación Directa; Subdirección General
de Ventas PEMEX**

La producción de PEAD 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° 19, 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 7.3%. En 1985 la producción decreció en 11.1% con respecto a 1984, situación aplicable por la etapa más difícil de la crisis económica pero se volvió a incrementar la producción en los siguientes años.

TABLA N° 19 Polietileno de Alta Densidad
(Toneladas)

AÑO	CAPACIDAD INST.	PRODUCCION	IMPORTACION	CONSUMO
1980	100,000	66,850	26,040	92,900
1981	100,000	78,060	18,690	96,750
1982	100,000	78,330	25,740	104,070
1983	100,000	82,200	63,735	145,935
1984	100,000	76,290	40,090	116,380
1985	100,000	67,815	47,405	113,860
1986	100,000	69,075	72,450	141,525
1987	100,000	75,990	68,350	134,745
1988	100,000	81,870	75,955	157,825
1989	200,000	97,135	105,870	203,005
1990	200,000	106,000	152,500	258,500
1991*	200,000	113,000	175,300	285,700

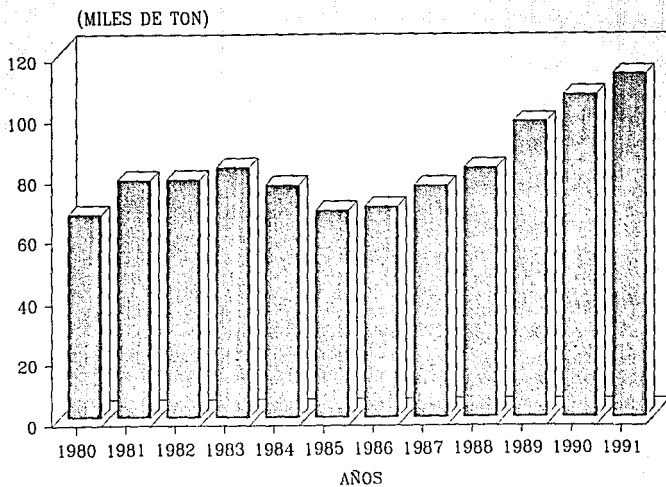
FUENTE: Anuario Estadístico de PEMEX, SECOFI, SEMIP,

Banco de México, ANIQ

* DATOS ESTIMADOS

La Gráfica N° 1, muestra la producción de PEAD durante el período 1980-1991.

GRAFICA No.1
Producción de PEAD de 1980 A 1991



FUENTE: INVESTIGACION PROPIA (PEMEX)

En la medida en que la producción nacional se incrementó, las importaciones disminuyeron. Así en el periodo 1982-1990 la importación disminuyó a niveles entre 40-55 % del consumo.

3.4.2.2 Importación

Las importaciones de PEAD han seguido una tendencia de aumento sostenido. En 1978 el volumen adquirido en el exterior representó el 94% de la demanda interna. A partir de 1982 y hasta 1989 se ha requerido importar PEAD en niveles del 40 al 55% del consumo ^(17,19).

Con la operación de la planta de Morelos se estima que los volúmenes importados disminuyan durante 1990 y 1991 al orden del 10 al 15% de la demanda interna. En 1990 las importaciones de esta resina disminuyen drásticamente al orden de 25 a 30,000 toneladas en este año.

3.4.2.3 Exportación

El rubro de exportaciones ha sido poco importante, se reportan volúmenes enviados al exterior básicamente en 1985, 1987 y 1988 ^(17,19).

Sin embargo, durante el último año Petróleos Mexicanos mantuvo en almacén un inventario de aproximadamente 11,300 toneladas, lo que representa el 11.6% de lo producido en 1990. Esta cantidad podría haberse consumido disminuyendo el volumen importado. Aun considerando lo anterior y llevando la planta productiva al máximo de su capacidad, se estima que PEMEX no podrá exportar por los déficit del mercado interno.

3.4.3 Consumo Aparente

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.

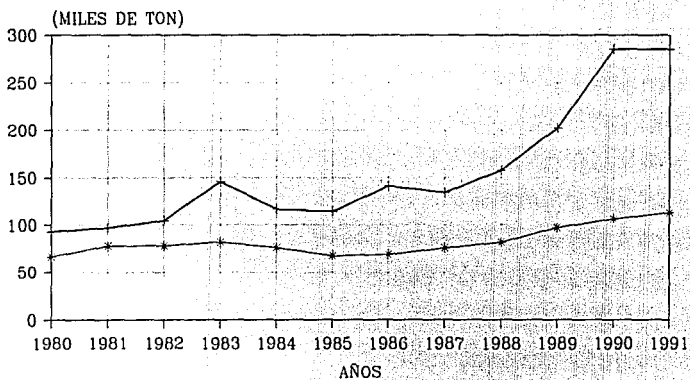
El período de 1983 y 1986 muestra una demanda creciente en tanto que para el período 1984-1987 se presenta una disminución, que se explica por las exportaciones realizadas entre 1984-1985.

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.

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

En la Gráfica N° 2 se presenta el comportamiento de la producción y la demanda para el período 1980-1991, ^(17,19) observándose un déficit variable para cada año del período estudiado.

GRAFICA No.2
Producción y Consumo de PEAD
de 1980 a 1991



—*— PRODUCCION —+— CONSUMO APARENTE

FUENTE: INVESTIGACION PROPIA (PEMEX)

3.4.4 Segmentación del Consumo

El sector transformador de plásticos ha destinado tradicionalmente su planta productiva a la elaboración de manufacturas de elevado volumen y con gran competencia en el mercado, dejando a una minoría de empresas oportunidad de incursionar en los nichos de productos con alta rentabilidad y bajos volúmenes, como se observan en la Tabla N° 20 que muestra la segmentación del consumo en México ^(17,19).

TABLA N° 20 Segmentación del Consumo

México 1991

SECTOR	(M TON.)	%
ENVASE Y EMPAQUE	137.14	48
MEZCLA Y COMPUESTOS	25.71	9
CONSTRUCCION	25.71	9
BIENES DE CONSUMO	34.28	12
ARTICULOS DE RECREACION	8.57	3
ELECTRICO-ELECTRONICO	8.57	3
AUTOMOTRIZ	28.57	10
OTROS	17.15	6
TOTAL	285.70	100

FUENTE: Anuario Estadístico del Plástico 1991, IMPI.

Dentro de estos sectores las áreas de aplicación interesantes en el corto plazo son principalmente el de partes y accesorios para el sector automotriz que ha mostrado altos índices de recuperación en los pasados dos años a niveles del 10 al 14% anual.

La industria transformadora, al introducir el diseño de moldes lograría penetrar con mayor eficiencia en estos mercados, aunado a la facilidad actual de importar materias primas muchas de ellas de excelente calidad y precio competitivo con lo cual incluso se abrirían oportunidades de exportación.

3.4.5 Participación y Tendencia por Aplicación

La participación de los diversos sectores de aplicación del PEAD ha variado significativamente durante los últimos 8 años, las aplicaciones mayoritarias a inicios de la presente década se centraban en envases industriales, botella, cajas para transportación de artículos varios y productos del sector doméstico.

Tomando como referencia el comportamiento histórico y la tendencia existente a nivel mundial en los usos de esta resina se considera que los segmentos de mercado que continuarán creciendo serán el de película, las mezclas de resinas y en menor medida el de envase y recubrimiento de alambre y cable.

Cabe señalar que una aplicación importante del Polietileno de Alta Densidad en la elaboración de tanques para gasolina utilizado en los vehículos automotores, en México está creciendo en forma significativa ^(17,19).

En la Tabla N° 21 se puede observar la variación en la participación de los diversos sectores de consumo durante los últimos 10 años.

**TABLA N° 21 Participación y Tendencia de los Sectores
de Consumo México (%)**

SECTOR	1981	1985	1989	1991	TENDENCIA
ENVASE	25	34	45	48	POSITIVA
BIENES DE CONSUMO	14	17	20	23	POSITIVA
EMPAQUE	4	5	8	10	POSITIVA
ACCS. TRANSP.	30	18	6	5	NEGATIVA
TUBERIA	8	8	6	6	ESTABLE
ARTICULOS REC.	7	7	5	6	ESTABLE
ALAMBRE Y CABLE	8	4	2	2	NEGATIVA
TANQUE AUTO.	0	1	2	3	POSITIVA
OTROS	4	6	6	7	

FUENTE: Anuario Estadístico del Plástico 1991, IMPI

3.4.6 Proyectos y perspectivas

La capacidad instalada por Petróleos Mexicanos no será suficiente para suministrar el total de la demanda interna, que se estima se incremente a una tasa anual durante los próximos 3 años del 6 al 8% y para lo cual se requerirá continuar con altos volúmenes de importación.

Hasta hace dos años Petróleos Mexicanos contaba dentro de su cartera de proyectos en planeación, la construcción de una planta para elaborar Polietileno de Alta Densidad de 120,000 toneladas/año. Sin embargo, parece que no se ha considerado nuevamente esa posibilidad ^(17,19).

Por su parte el sector privado con la reciente apertura para la producción de esta resina, ha elaborado varios proyectos, entre los más viables se encuentran los de Union Carbide Mexicana, S.A. y el de Química Hoechst de México, S.A. de C.V.

4.0 El Mercado de PEAD Reciclado

4.1 Producción de Desperdicios en el Mundo

La basura no es solo un problema por la contaminación que produce ó por ser fuente de enfermedades diversas. También es una carga para toda la Sociedad por el costo económico que representa.

La producción mundial de desechos plásticos a nivel mundial se presenta en la Gráfica N° 3, observándose que los países altamente industrializados son los productores de gran parte de los desechos ^(19,20,21).

En el mundo, el total de basura producida es de 775 millones de toneladas por año, siendo los países más industrializados y las ciudades de mayor explosión demográfica. Los mayores aportadores tienen una generación per cápita por día que va de 0.5 kilogramos, en países poco desarrollados a 2 kilogramos en los países altamente industrializados, Gráfica N°4 ^(19,20,21).

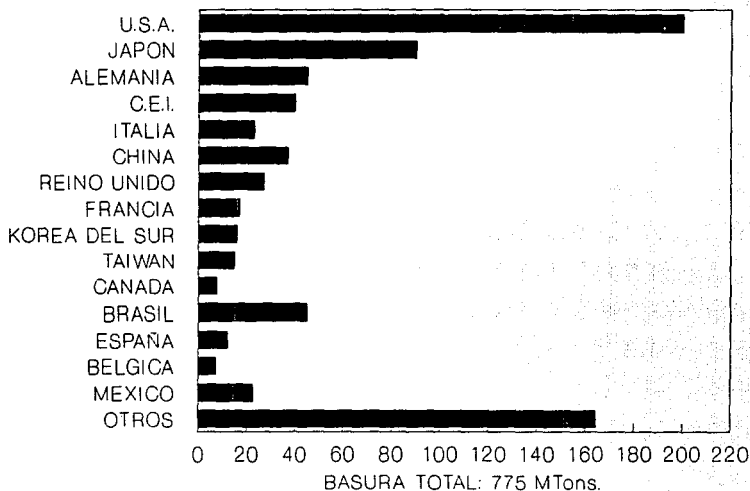
La generación per cápita de basura difiere en su composición, dependiendo de factores como son el estrato social, costumbres de la población, ubicación geográfica, sistemas de servicio de limpia y principal actividad económica.

En la Gráfica N° 5 se presentan los diferentes métodos de tratamiento aplicados a los desechos sólidos en los diferentes países del mundo ^(19,20,21).

GRAFICA No.3

Producción de Desechos Plásticos

Mundial 1990 Millones de Toneladas

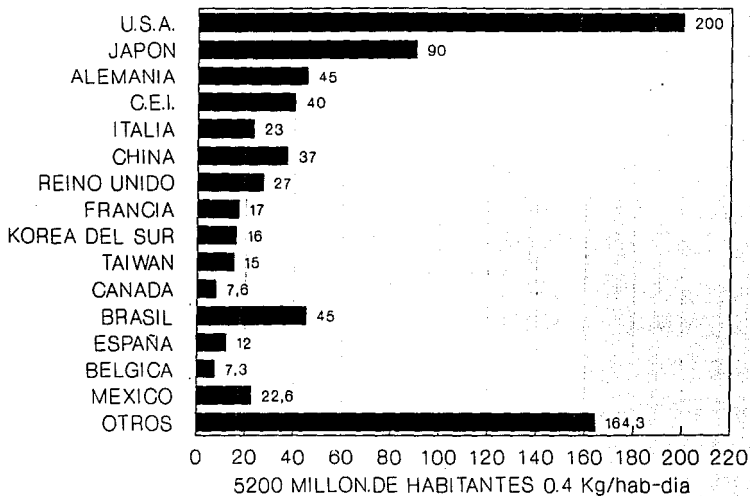


FUENTE: SEMINARIO LA ERA DEL PLASTICO, IMPI

GRAFICA No.4

Producción de Basura Mundial 1990

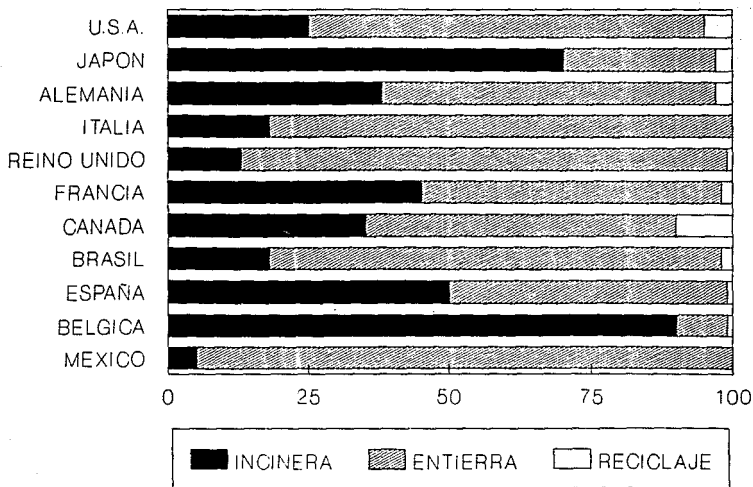
Millones de Toneladas



FUENTE: SEMINARIO LA ERA DEL PLASTICO,IMPI

GRAFICA No.5

Tratamiento de Desechos Solidos Mundial 1990



FUENTE: SEMINARIO LA ERA DEL PLASTICO, IMPI

4.2 Producción de Desperdicios en México

En México como en el resto del mundo, no solo se produce maquinaria, bienes de capital y de consumo, sino también residuos y desechos, que producen el desequilibrio ecológico, y la escasez de recursos renovables y no renovables, ya que muchos de los satisfactores producidos se usan momentáneamente y después pasan a formar grandes cantidades de basura.

Las causas de la acumulación de basura son diversas, como incultura, hábito, flojera ó simplemente irresponsabilidad. A la fecha ni en México ni en ningún otro país se ha dado la solución efectiva.

La Gráfica N° 6 muestra que alrededor del 30% de la basura que se genera en la República Mexicana se produce en el área metropolitana de la Ciudad de México. El volumen promedio por mes es de 3 millones de metros cúbicos y en todo el país se producen 10 millones de metros cúbicos mensuales.

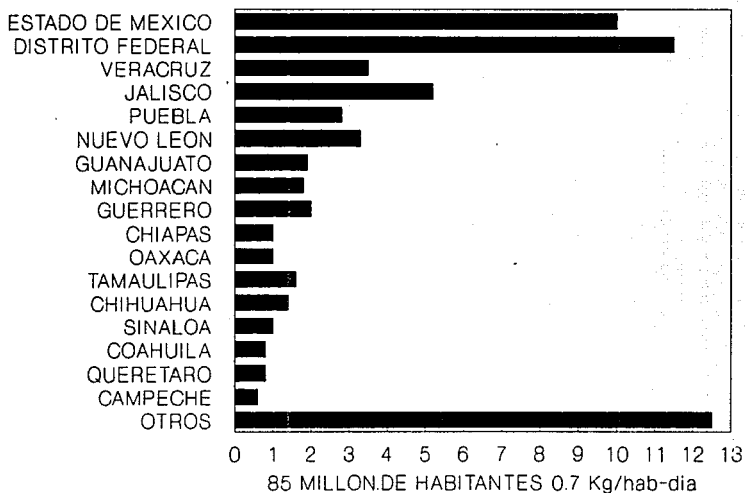
En 1982 por ejemplo, se produjeron aproximadamente 48,000 toneladas diarias de basura en México, en 1990 fueron 62,000 toneladas diarias y para el año 2000 se estima serán 100,000 toneladas/día. Este comportamiento se puede apreciar en la Gráfica N° 7 ^(19,20,21).

En la Gráfica N° 8 se presenta la composición de la basura sólida en México, los plásticos representan menos de 7% en la basura y equivocadamente se piensa que son los materiales más peligrosos para el medio ambiente, olvidando los beneficios que han aportado en todos los sectores industriales.

GRAFICA No.6

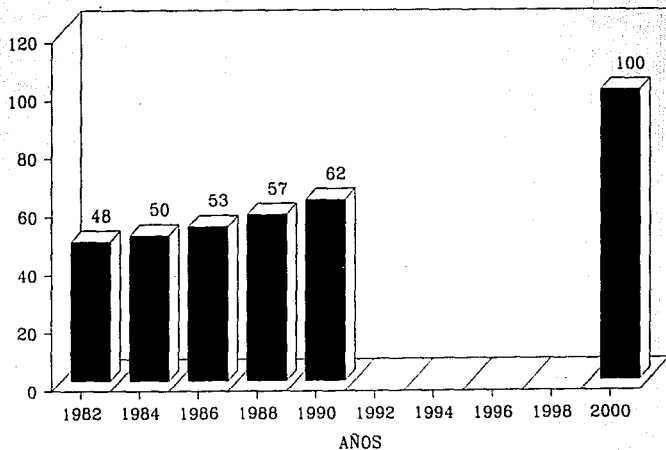
Produccion de Basura por dia MEXICO 1990

Millones de Toneladas



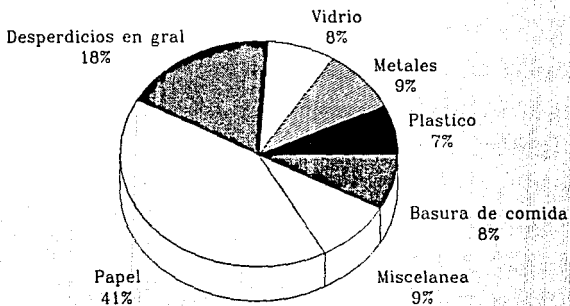
FUENTE: SEMINARIO LA ERA DEL PLASTICO, IMPI

GRAFICA No.7
Producción de Basura Por Dia (MEXICO)
Millones de Toneladas



FUENTE: SEMINARIO LA ERA DEL PLASTICO, IMPI

GRAFICA No.8 Composición de la Basura Solida En MEXICO 1990



FUENTE: SEMINARIO LA ERA DEL PLASTICO, IMPI

Si bien es cierto que los desechos plásticos provenientes de envases como bolsas, botellas, películas, vasos desechables, jeringas, causan problemas en el manejo de la basura por ocupar grandes volúmenes debido a su baja densidad, también es muy cierto que si estos se separan, representan una valiosa fuente de materias primas, que a su vez, presentan una gran oportunidad para el desarrollo de nuevas industrias para su reciclamiento puesto que los plásticos son materiales "reciclables" y este tipo de negocios son altamente rentables.

El hecho de que sean termoplásticos nos permite fundirlos nuevamente y reutilizarlos como materia prima que, con un ligero acondicionamiento, puede ser reciclado. El reciclado representa, una alternativa para ahorrar material y energía.

En México se ha desarrollado una nueva tecnología para la reutilización de la película plástica (polietileno). Se reprocesa en industrias ubicadas en Toluca y en Guadalajara.

Los productos finales que se pueden obtener son variados, entre los que se cuentan vasos ligeros, platos sencillos, utensilios para cocina y similares ^[19,20,21].

4.3 Problemas de recolección y acopio de materiales reciclables

Los desechos generan una economía, ilegal o subterránea, ya que en la cadena de reciclaje de los subproductos hay enormes sumas de impuestos que se evaden.

Costos por limpieza. Es un absurdo pagar un altísimo precio por la limpieza, recolección y disposición final de desechos que se considera un servicio público y que genera otros problemas todavía más graves como la contaminación de acuíferos subterráneos.

Las condiciones actuales y los vicios y mafias existentes alrededor de la basura, no permiten recuperar una mayor cantidad de subproductos inorgánicos, que son los que más fácilmente se comercializan, los que no se alcanzan a pepenar se entierran.

Si se recuperara el 80% de las 7,500 toneladas diarias, se obtendrían 6,000 toneladas al día de residuos inorgánicos, se recuperarían 1000 millones de pesos diarios en la venta de materiales recuperados.

La inutilización del 100% de la materia orgánica que se lleva a tiraderos o a rellenos sanitarios.

La basura es un gran negocio, aunque sólo para unos cuantos; entonces su manejo implica el control sobre las posibilidades de comercialización.

De esta forma el Sindicato de Limpia y Recolección de la Ciudad de México, conjuntamente con los pepenadores "acaparan la basura" y si sienten peligro de perder aunque sólo sea una parte, inmediatamente toman represalias, que consisten simplemente en no recoger la basura en la zona que les cause problemas ^[20,21,22].

4.4 El Mercado del PEAD Reciclado

En la actualidad, existen grandes problemas que afecta a toda la sociedad, provocados quizá por tecnologías industriales poco adecuadas. El constante aumento de residuos, demanda nuevos modelos de desarrollo tanto industrial como urbano, 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 a su vez generan un problema de manejo.

Sin embargo el reciclado de este tipo de desperdicio es posible y existe la experiencia de Estados Unidos y otros países para reciclado de este material.

Cada vez será más necesaria la recolección y reutilización de los desechos plásticos generados por las industrias fabricantes y transformadoras así como por el consumidor final.

Para que la industria del reciclado de materiales plásticos prospere es necesario un fuerte apoyo del público consumidor, la creación de grupos de investigación enfocados a resolver problemas que no han sido suficiente estudiados.

La industria debe encontrar otras formas para el reciclado de materiales poliméricos utilizados en aplicaciones específicas.

Mangueras opacas, recipientes para reactivos químicos, botellas para aceite de motor, recipientes para detergentes y blanqueadores, así como para productos químicos utilizados en la agricultura, entre otros representan, una gran fuente potencial en la recuperación del PEAD. Menos de un 5% de los recipientes de PEAD están fabricados por co-extrusión o bien llevan un tratamiento superficial, lo que los hace más difíciles de reciclar. Además, la corta longitud de las cadenas moleculares de PEAD presenta una ventaja adicional en el reciclado sobre los otros materiales plásticos.

Existe un gran potencial de suministro de PEAD de postconsumo para ser reciclado y recuperado en forma de pellets de alta porosidad.

Para la reutilización, se deben tomar en consideración los siguientes factores :

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

Al estudiar las posibilidades económicas del reciclado de plástico se deben tomar en cuenta dos factores:

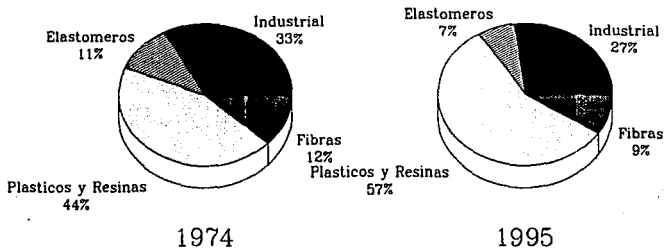
- a) Costos directos e ingresos, en estrecha relación con la tecnología necesaria para llevar a cabo el reciclado.
- b) Limitaciones o reservas, tanto técnicas como institucionales [25,29,30,31].

4.4.1 El Mercado del PEAD Reciclado en el Mundo

En la Gráfica N° 9 se muestra la importancia comparativa del consumo de plásticos y resinas en Estados Unidos, que es un fabricante y consumidor importante de este tipo de material.

GRAFICA No.9

Incremento de la Importancia de los Plásticos en Petroquímica, Estados Unidos



Fuente: Referencia Bibliografica N° 23

El reciclamiento, presenta algunos obstáculos que necesitan ser superados, uno de ellos es la recolección del material bruto. Algunas proposiciones sugieren que los carros de la basura deben realizar varios viajes o tengan varios compartimientos para recolectar basura separada. Los depósitos de basura industriales, presentan otro tipo de problemas y se están buscando alternativas.

La Tabla N° 22 muestra la estimación de los costos del proceso de reciclado. No existe costo para el plástico usado como materia prima pero, si un reciclador tiene que pagar por el plástico para ser reciclado, este debe ser sumado al costo total.

**TABLA N° 22 Datos Económicos del Reciclado de
Plásticos 1990**

Costos	Cents.USD/Lb
Costo del material bruto	0
Recolección del plástico	5-6
Clasificación por tipo de plástico	2-3
Molienda (Pulverización)	4-6
Lavado y secado	6-10
Costo de reciclado	= 17-25
Reciclado Beneficio	3-6
Pelletización	= 20-31
Precio en el mercado (hojuela de resina)	8
Entrega en Bolsas y sacos	2
Costo en el mercado por gránulo reciclado	= 30-41

FUENTE: REFERENCIA BIBLIOGRAFICA N° 29.

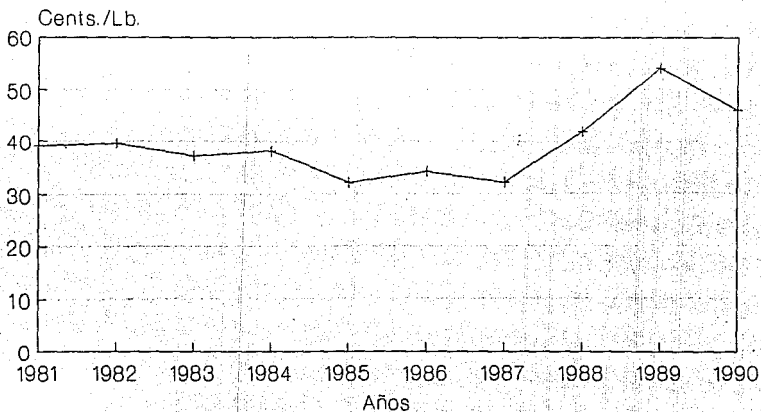
Estos costos son independientes del costo del material bruto que se emplea dentro de la elaboración de plásticos. Las recicladoras locales que usan plásticos lo obtienen de la misma planta que recicla la basura, lo que presenta un mayor beneficio en el reciclado, pelletización y baja de costos.

Los costos totales están en el rango de 17 a 25 centavos US dolar por libra (527 a 775 pesos por kilogramo), si los desperdicios están previamente clasificados se reducen los costos en 2 ó 3 centavos US dolar por libra (62 a 93 pesos por kilogramo).

La comparación entre el costo del PEAD reciclado y la resina virgen, se presenta en la Gráfica N° 10.

GRAFICA No.10

Costo de reciclado vs Material Virgen Estados Unidos



—+— PEAD

Fuente: Referencia Bibliografica N°.29

Los compradores consideran que el material debe ser vendido con un descuento de 10 centavos US dolar por libra (110 pesos por kilogramo) por debajo del material virgen, ya que existen diferencias en la calidad del producto final, debido a que la materia prima presenta en algunos casos suciedad o el color puede ser ligeramente opaco. Puede que haya impurezas en los productos del reciclado que no se encuentran en el material virgen. Estos factores inciden en que el material no cumpla con los estándares para aplicaciones en el contacto de alimentos.

En la Tabla N° 23 se presentan las estimaciones del material a reciclar.

Tabla No.23 Proyecciones de Reciclado de PEAD

Mercado al Mayorero (Millones Lb.)	1987			1993 Proyección	
	Ventas	Potencial % Reciclado	Volumen Reciclado	Ventas	Potencial Reciclado
MOLDEO POR GOLPEO					
BOTELLAS					
LECHE	740	0	0	1,111	0
AGUA	277	0	0	417	0
OTROS	10	100	90	1,332	130
TOTAL	827	0	0	2,860	0
OTROS	110	0	0	155	0
OTROS	54	0	0	91	0
OTROS	70	100	40	105	100
OTROS	70	0	0	60	0
OTROS	45	0	0	60	0
OTROS	25	0	0	30	0
TOTAL	2,663		105	4,035	160
EXTRUSION					
CAFES	42	0	0	63	0
PELICULAS ((12 mil.))					
MECANICAS EN BOLSAS	152	0	0	243	0
OTROS	10	0	0	15	0
OTROS	70	0	0	114	0
OTROS	0	0	0	132	0
OTROS	1	0	0	20	0
OTROS	96	0	0	144	0
TOTAL	152	25	38	220	57
TEJES					
REPRODUCTION DE GAS & ACEITE	56	0	0	114	0
INDUSTRIA/MINERIA	54	0	0	81	0
OTROS	110	50	21	177	200
OTROS	55	0	0	83	0
OTROS	210	10	25	315	300
OTROS	124	10	4	186	0
TOTAL	1,557		84	2,337	125
MOLDEO POR INYECCION					
CONTENEDORES PLASTICOS					
OTROS	61	10	6	93	5
OTROS	139	10	14	203	21
OTROS	410	10	41	615	62
CONTENEDORES EN BOLSAS					
OTROS	26	0	0	39	0
OTROS	63	0	0	95	0
OTROS	147	0	0	221	0
OTROS	124	50	60	186	90
OTROS	17	10	4	25	0
OTROS	36	10	4	54	0
OTROS	24	0	0	36	0
OTROS	34	10	4	51	0
OTROS	30	10	25	45	100
TOTAL	1,711		156	2,505	234
ROTOMOLDEO	122	10	12	183	19
EXPORTACION	915	0	0	1,373	0
OTROS	830	10	83	1,246	125
GRAN TOTAL	7,824		441	11,742	662

Fuente: Referencia Bibliografica No.30

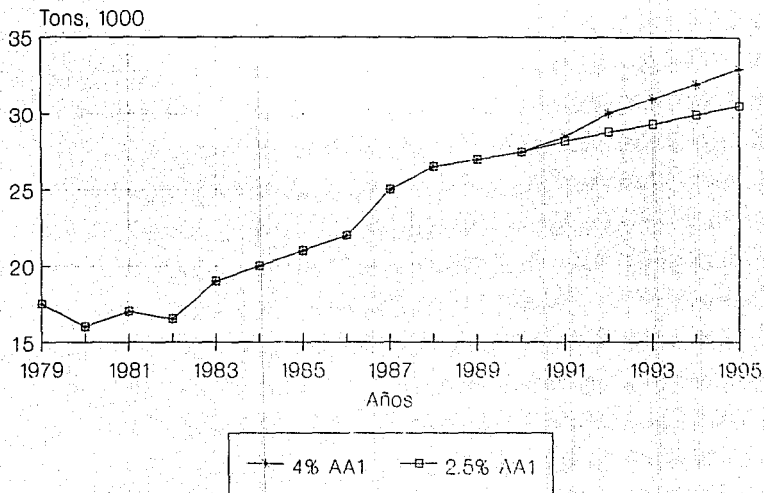
La Gráfica N° 11 presenta las ventas totales de plástico en Estados Unidos de 1979 a 1989, y en el período de 1989 a 1990 con un crecimiento de 4% por año. Este crecimiento en 1995, las ventas totales serán 33.4 millones de toneladas. 8% de estas ventas es 2.7 millones de toneladas, el crecimiento por producción de plásticos vírgenes puede declinarse a 2.56% por año. Los polímeros que habrán de reciclarse serán PET, PEAD, PEBD, Poliestireno, y PVC.

El crecimiento en la demanda de estos productos caerá 1.5% a 2% por que el reciclado desplaza al material virgen. Este comportamiento se aprecia en la Gráfica N° 12 (26,29,30,31).

GRAFICA No.11

Ventas de Plásticos

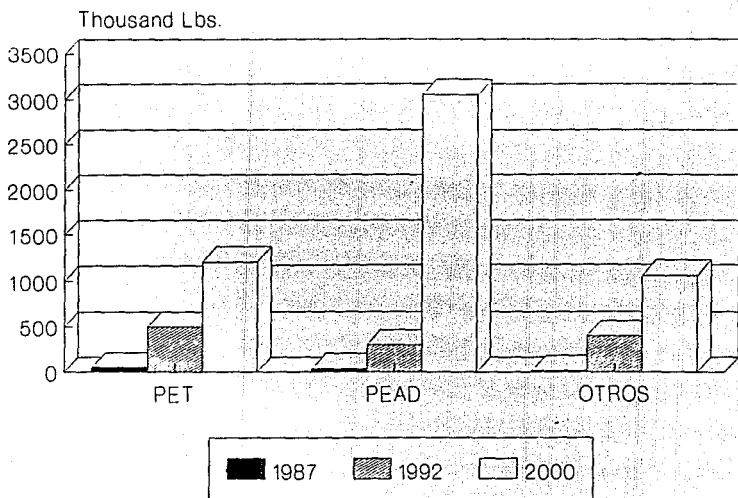
Estados Unidos



Fuente: Referencia Bibliografica N° 29

GRAFICA No.12

Crecimiento del Mercado de Reciclado de Plástico, Estados Unidos



Fuente: Referencia Bibliografica N°.24

4.4.2 El Mercado del PEAD Reciclado en México

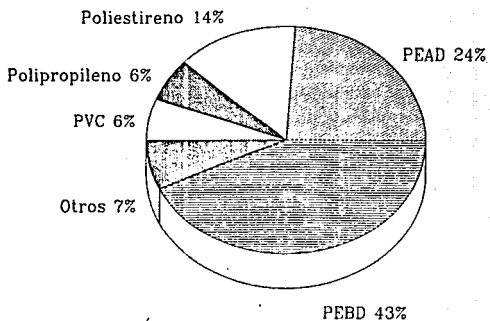
La mayoría de los plásticos que se utilizan en México son susceptibles a reciclarse, en la Gráfica N° 13 se presentan los plásticos más usados, y el porcentaje de uso.

En la Gráfica N° 14 se presentan los diferentes usos de los plásticos en México.

Los ahorros de costos materiales obtenidos por utilizar plásticos reciclados también es una fuerza para acelerar el crecimiento de la industria del reciclado.

Cabe destacar que el PEAD y el PEBD son de los más usados.

GRAFICA No.13
Tipos de plásticos mas usados
México

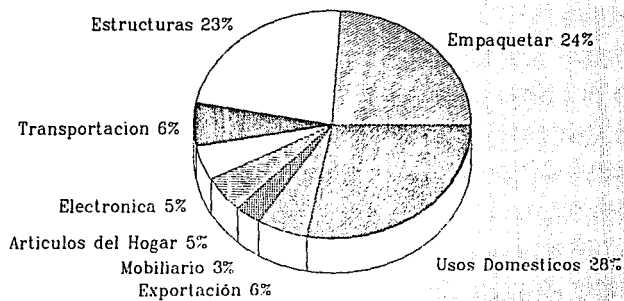


Fuente: Referencia Bibliografica N° 25

GRAFICA No.14

Usos de los Plásticos

México



Fuente: Referencia Bibliografica N°25

En México el reciclado de materiales es una actividad que se realiza desde hace tiempo. Se inició con los materiales de uso común como son: papel, aluminio, metales, y recientemente con el plástico. La industrialización de desperdicios de PEAD la realizan empresas localizadas en Toluca, Guadalajara, y en las inmediaciones de la Ciudad de México, en la zona industrial de Cuautitlán Izcalli.

Debido a que la industrialización de desechos está en sus inicios, es necesario realizar estudios previos para la posible construcción de nuevas plantas y se comienza a concientizar a la población para que no tire sus desechos en una forma desorganizada, sino que los agrupe y los lleve a los centros de acopio que existen actualmente en cada Delegación de la Ciudad de México ^[26,29].

El reciclado no cuenta con legislación en nuestro país.

En la actualidad se comienza a investigar y a elaborar planes de nuevos desarrollos que favorezcan una mayor comunicación con los consumidores y productores.

Las instituciones encargadas de seguir los procesos está elaborando estudios tanto de mercado como de impacto ecológico, de las plantas de reciclado, pero aún no se desglosado el costo del reciclado por kilogramo de resina ^[26,29].

5.0 Procesos de Reciclado de PEAD

5.1 Sistemas para Tratamiento de Basura

Primeramente se debe tomar en cuenta que BASURA son dos ó más desperdicios que al ponerlos juntos producen contaminación, enfermedades, hedor, y etc. y ningún método ha sido efectivo para controlarla. Debido a que los mismos sistemas experimentados se basan en el tratamiento en conjunto de la misma, resultando más contaminantes y costosos.

En la actualidad en México y en el mundo entero padecemos de enfermedades y contaminación de nuestras aguas, aire y suelo debido al tratamiento inadecuado que se le da a los grandes volúmenes de basura que diariamente producimos.

Atendiendo estos problemas y buscando la forma de aprovechar al máximo los recursos disponibles se analizan las técnicas aplicadas a la disposición final de residuos sólidos, así como las ventajas y desventajas que presenta cada una (20,21,27,28).

5.1.1 Relleno Sanitario

En un lugar legalmente autorizado se depositan las basuras municipales después de la clasificación ó selección de las mismas para su posterior entierro.

La realidad es que debido a la gran existencia de tiraderos incontrolados es seguramente el principal origen de la degradación ambiental sobre todo en la periferia de las ciudades y a través de las aguas subterráneas puede recorrer

miles de kilómetros, lo cuál significa que lo que sucede en un país no va a detenerse en las fronteras trazadas por el hombre.

Existen dos tipos de relleno sanitario:

- a) Relleno sanitario mecánico
- b) Relleno cubierto rústico

En ambas formas de relleno los residuos se distribuyen en capas de 20 a 30 cms. de grueso y se compactan formando una celda que deberá recubrirse con una capa de tierra entre 15 y 20 cm., esparcida y compactada igual que los residuos, por lo menos una vez al término de la jornada de trabajo.

En caso de que el terreno destinado para relleno se sature, se deberá cubrir la superficie con una capa de tierra de 40 a 60 cm, la cual llamamos cubierta final; esto se hace con el fin de:

- Soportar el tránsito de vehículos
- Permitir la siembra de vegetación
- Facilitar la instalación de canales superficiales
- Permitir la realización de nivelaciones del terreno con el paso del tiempo.

5.1.1.1 Relleno Sanitario Mecánico

A través de este relleno se deposita la basura en un área determinada con ayuda de maquinaria y equipo mecánico, reduciendo su volumen, posteriormente se cubre con capas de tierra procurando la recuperación de áreas inundables, la construcción de áreas recreativas, la utilización de aquellas que están inactivas en una forma higiénica y económica.

Para el buen funcionamiento de un relleno sanitario es necesario conocer la capacidad del sitio, para determinar su vida útil; el material disponible que se utilizará en la cubierta de residuos, las limitaciones y características del suelo, y de los residuos sólidos, los líquidos que originan estos; el drenaje del mismo relleno, las pendientes, la cubierta final, que no resulte erosionada por las lluvias; y programar las actividades de acuerdo al régimen de lluvias, vientos dominantes, humedad y temperaturas extremas.

5.1.1.2 Relleno Sanitario Rústico

Este consiste en el acomodamiento de los residuos en el terreno para el relleno, cubriéndolos con capas de tierra diariamente ó a la mayor frecuencia posible, dependiendo de la disponibilidad del área y tierra.

El relleno sanitario rústico es una forma de controlar la disposición final de residuos, ya que su aplicación no necesariamente requiere la utilización de maquinaria costosa, sino simplemente con palas, ó bien con tractor que por lo menos una vez cada 15 días compacte los residuos dispersos.

Esta forma de relleno se justifica en poblaciones pequeñas, donde las cantidades de residuos sólidos no son mayores de 50 toneladas/día.

5.1.2 Pepena

La pepena es un sistema de clarificación mecánica y/o manual de la basura en sus diferentes componentes, tales como vidrio, metales, plásticos y otros; realizada en los llamados

tiraderos a cielo abierto.

Esta técnica requiere de grandes equipos, de un camión recolector que no compacte la basura para poder seleccionar fácilmente, y otro para transportar los desperdicios clasificados a las industrias recicladoras; además de un área que puede quede inutilizada por mucho tiempo y que no se encuentre lejos de los centros de producción.

La pepena no es una técnica eficiente debido a que en 30% de la basura producida se queda en barrancas, ríos, calles, etc. Del 70% que llega a los tiraderos y que con esta técnica deberían ser recuperados sólo el 40% se aprovecha debido a que el otro 30% no se pueden separar por ser materiales destruidos y en vías de putrefacción ^[20,21,26].

5.1.3 Compactación

Es un método de tratamiento de residuos sólidos que reduce el volumen que estos ocupan, con la aplicación de altas presiones ejercidas sobre ellos.

Este sistema de compactación a alta presión en la elaboración de tabique de construcción a partir de materiales reciclados no ha dado resultado porque con el tiempo se ha observado que estructuralmente falla a la compresión y que con el tiempo la degradación de materiales va rompiendo el mismo tabique ^[20,21,22,27].

5.1.4 Incineración

Es una técnica de tratamiento que consiste en eliminar la mayor parte del volumen de los residuos mediante su combustión a través de la cual se transforman los desechos en gases, cenizas y escorias, con el fin de reducir el volumen y aprovechar la energía producida en ésta.

La eliminación de residuos por esta técnica requiere de una planta de tratamiento adecuada a la cantidad producida. Su costo es elevado por lo que solo se recomienda a industrias farmacéuticas y hospitales ya que las bacterias e insectos se destruyen en forma rápida, así como otras materias que funcionan como combustible del proceso.

Las fases de una incineración completa son: recepción del material adecuado, quemado de este y extracción de cenizas y escorias, así como depuración de los gases de combustión (20,21,25,27).

5.1.5 Composteo

Mediante la fermentación de las materias orgánicas contenidas en los residuos sólidos, se produce la composta, en presencia de aire por la acción de gran cantidad de bacterias ofreciendo propiedades para la agricultura.

La composta tiene carácter de abono, ya que es un producto que contiene diversos elementos fertilizantes como Nitrógeno, fósforo, potasio, que aunque en porcentajes bajos, existen en una proporción equilibrada; además representa un buen elemento regenerador de suelos (20,21,22,24).

Existen dos procedimientos para producción de composta, que son:

- a).- Terminación Natural
- b).- Fermentación acelerada

5.1.5.1 Terminación Natural

Después de molidos y regados con agua, los residuos se colocan en pilas de dos metros de altura durante tres meses. Durante el primer mes se remueven cada diez días y una sola vez al mes durante los dos meses siguientes.

5.1.5.2 Fermentación Acelerada

Los residuos se almacenan en torres ó cilindros donde se inyecta aire y los residuos se ponen en movimiento. Con la aplicación de este proceso, la fase de fermentación se reduce a 15 días.

5.1.6 Químico

PIROLISIS: Se llama así a la descomposición de los elementos orgánicos contenidos en los residuos sólidos, realizado a altas temperaturas y en ausencia de oxígeno, durante el proceso de descomposición la materia orgánica se convierte en líquidos, gases y demás residuos que representan la mitad del volumen inicial.

La ventaja de esta técnica es que posibilita el control de gases emitidos además de la recuperación de los subproductos que es posible obtener.

La pirólisis se emplea para producir carbón sintético, para la recuperación de metanol, ácido acético y turpentina de madera. Su proceso requiere de reactores diseñados especialmente para tratar los residuos ^(20,21,26,27).

5.1.7 Degrabilidad

En la actualidad, en muchas comunidades el principal método utilizado en el tratamiento de basuras es el relleno sanitario ó entierro y una opinión común es que si el plástico fuera degradable éste simplemente desaparecería y minimizaría el problema de los desechos sólidos. Solamente se trata de una suposición.

Estudios recientes en Estados Unidos y Alemania muestran que más del 60% del material que se deposita en los rellenos sanitarios, es considerado como degradable, ya que incluyen desechos de comida, desechos orgánicos, papel y madera. Las películas plásticas representan menos del 4% del total separado de desechos sólidos generados, por lo tanto es difícil de creer que el problema de los desechos sólidos se resolvería haciendo degradables a los plásticos ^(20,21,26).

La degradación, es un proceso complejo y lento y para que este se lleve a cabo, la materia degradable debe estar expuesta a la luz, calor, aire, agua y bacterias.

Bajo las condiciones de los rellenos sanitarios, muchos de los materiales genéricamente considerados como degradables, como son las láminas de acero de latas y productos de papel, sufren un deterioro lento ó inclusive incompleto.

La descomposición de la película de celulosa del papel es significativamente retardada si esta ha sido teñida ó fuertemente impresa.

Por ejemplo, los encabezados del periódico pueden ser fácilmente leídos después de 10 años de haber sido enterrado en un relleno sanitario.

A causa de la ignorancia se considera también que los tiraderos son un problema causado por los plásticos, más que por la misma acción de los consumidores.

Las envolturas plásticas son ciertamente una parte visible en los tiraderos y las envolturas degradables pueden ser de gran ayuda para reducir el problema de los tiraderos.

Como resultado de esto se han impuesto diversas legislaciones para el desarrollo de plásticos degradables, principalmente en algunos países de Europa y Estados Unidos lo cual a su vez a propiciado el desarrollo de tecnologías para la fabricación de plásticos degradables y ahora, los científicos que durante mucho tiempo han trabajado arduamente con el objetivo de incrementar la durabilidad del plástico, tienen ahora el reto de hacer algunos plásticos degradables.

Los resultados obtenidos actualmente se basan en la adición de ciertas sustancias al plástico que provoquen su desintegración distinguiéndose de acuerdo al medio que la ocasiona, de tal forma que existen dos tipos de degradación:

5.1.7.1 Fotodegradación

Se apoya en la luz ultravioleta del sol, la cual rompe la estructura química del plástico.

Los aditivos utilizados son sustancias altamente oxidantes y denominadas fotoactivas, algunos ejemplos son:

- * Sales de Cobre
- * Copolímeros de Monóxido de Carbono
- * Copolímeros de Carboxil Cetona

Algunas compañías que fabrican master batch de estos aditivos, son:

- * AMPACET
- * PLASTIGON
- * SHULMAN
- * ECOPLASTIC

Para que la fotodegradación ocurra con mayor facilidad se recomienda el uso de pigmentos oscuros para incrementar el rango de absorción de radiaciones. Se utilizan en proporciones del 5 al 10% en la formulación.

5.1.7.2. Biodegradación

Implica el rompimiento y consumo del material plástico mediante organismos vivos.

Los plásticos biodegradables se clasifican en dos tipos:

- Sistemas basados en aditivos
- Polímeros de origen natural

Los aditivos para los primeros están basados en sustancias como glucosa y almidones los cuales logran el rompimiento de la estructura cuando son consumidos por los microorganismos. El principal proveedor de estos aditivos es: ECOPLASTIC y la marca comercial es ECOSTAR.

Los polímeros de origen natural actualmente tienen un alto costo de fabricación, sin embargo, existen algunos desarrollos por parte de la compañía ICI con su material denominado "Biopol".

Se deben tener muchas precauciones con ambos métodos de degradación. En los envases para productos alimenticios puede provocarse contaminación al producto a causa de una degradación prematura durante su comercialización ó consumo.

La fotodegradación y biodegradación de los plásticos dependen de la luz solar y/o humedad. La humedad debe estar presente en los rellenos sanitarios, para que los microorganismos penetren el material plástico y destruyan su estructura química. El almidón ha sido propuesto como un aditivo biodegradable en plásticos, particularmente para bolsas de plástico y envolturas de alimentos de rápido consumo. Algunos de los problemas técnicos del sistema por almidón es que se pueden sobrepasar los niveles de fragilidad, teniéndose problemas mecánicos, especialmente si los productos son expuestos a altos niveles de humedad, con la posibilidad de que el almidón ayude al crecimiento de microorganismos por sí mismo.

Por otro lado, los plásticos degradables pueden detener el reciclado, y el medio ambiente prefiere una solución directa al problema de la crisis de los desechos sólidos. Muchas de las aplicaciones del reciclamiento de plásticos, dependen de la dureza y durabilidad de los materiales, propiedades que no son tomadas en cuenta para los productos degradables en términos prolongados de uso.

Los plásticos biodegradables ó fotodegradables, no podrán ser mezclados con plásticos sin un tratamiento preciso para el reciclamiento, para que las propiedades del plástico final reciclado no se vean afectadas. Los métodos para el tratamiento de plásticos degradables son de mayor importancia en relación a las necesidades del desarrollo del reciclamiento, pero al final, ambas solo incrementarán el costo de reciclado, bloqueando el crecimiento.

La investigación y desarrollo en el campo de los plásticos degradables deben continuar. Sin embargo, esta claro que ni los plásticos fotodegradables o biodegradables son los remedios para la crisis de los desechos sólidos, sólo son auxiliares (20,21,26,28).

5.2 Tecnologías para el Reciclado de Plásticos

Existen diversas tecnologías para el reciclado de plásticos las cuales se definen de acuerdo al estado general de los desperdicios que deberán transformarse:

* Plásticos de la misma especie

* Mezclas de plásticos

5.2.1 Plásticos de la misma especie

Cuando se tienen desperdicios con un alto grado de limpieza es aplicable con una gran rentabilidad el proceso de granulado para termoplásticos ^[20,21,27,29].

Para que este sistema tenga buenos resultados se requiere seguir las siguientes reglas básicas para el manejo de desperdicios dentro de la industria que los genere.

- a) Los desperdicios deben tener un lugar especial dentro del ciclo de producción. Los desperdicios deben ser manejados por expertos. Desafortunadamente muchas compañías delegan este trabajo a empleados sin experiencia lo que da como resultado mezclas, materiales contaminados que ya no pueden reciclarse.
- b) Elimina la palabra "SCRAP" para los desperdicios ya que significa substancia inservible.
- c) Mantener limpios los desechos, esto es, libres de contaminación de materiales diferentes como metal, papel, vidrio, otros plásticos, ó substancias extrañas. Los desperdicios mezclados y sucios pierden inmediatamente su valor.

- d) Clasificar los desperdicios por tipo de plástico y tamaño, debido a que cada uno presenta propiedades particulares como punto de fusión, fluidez, densidad y estructura química, lo que significa que cuando se mezclan presentan incompatibilidad y dificultad de reciclado.
- e) Instalar aspiradoras para limpieza de la planta. No utilizar aire para soplar sobre el lugar de trabajo para evitar la contaminación por polvo.

Cuando se llevan a cabo correctamente las reglas anteriores, se obtienen desperdicios adecuados para regranularse y reincorporarse al ciclo de producción que los genero o bien para la fabricación de otros productos que no requieran especificaciones de alta calidad.

Los desperdicios obtenidos de la recolección diferenciada también requieren ir libres de contaminación por ejemplo, aceites, detergentes, y azúcar. Estos generalmente requieren de un proceso de lavado posterior a la molienda para lograr un regranulado de buenas características.

El proceso de regranulado consiste básicamente en los siguientes pasos:

- 1.- MOLIENDA
- 2.- LAVADO/SEPARACION
- 3.- COMPACTACION
- 4.- PELLETIZACION
- 5.- MODIFICACION CON ADITIVOS

5.2.1.1 Molienda

Las piezas de gran tamaño, tortas de material fundido, cuerpos huecos, madejas de hilo, exige según el tipo de material y la forma, la utilización de instalaciones de corte y molienda especiales. Las fábricas de maquinaria de este sector, ofrecen instalaciones adecuadas para cada caso.

Existen diversos factores que se deben tomar en cuenta para la elección de un molino:

- a) Tipo de Plástico
- b) Estado de Material:
 - Piezas de inyección
 - Cuerpos huecos
 - Piezas compactadas
 - Rebabas
 - Coladas
 - Masas fundidas
- c) Dimensiones del material a triturar
- d) Humedad media
- e) Granulometría final requerida
- f) Densidad del plástico
- g) Contaminación por cuerpos extraños
- h) Tipo de Alimentación
- i) Producción

Las principales firmas en el mundo y con representantes en México de molinos son las siguientes:

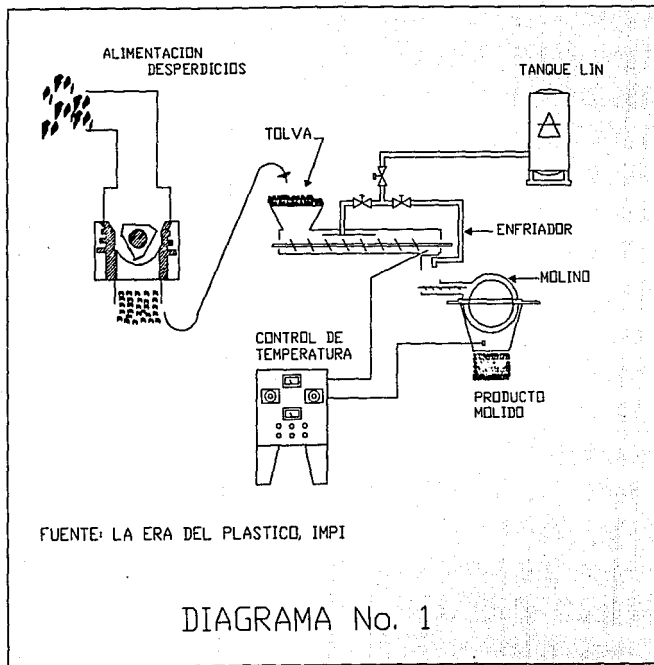
<u>FIRMA</u>	<u>TECNOLOGIA</u>
LESSONA LATINOAMERICANA	ITALIANA
PLATIMAC, Sp.A	
MATEU & SOLE, S.A.	ESPAÑOLA
PALLMANN MASCHINENFABRIK	ALEMANA
WEDCO, INC	
ALPINE	ITALIANA

Existe un novedoso sistema recientemente desarrollado para alcanzar tamaño de partícula ideales para una posterior pelletización y mejor incorporación de aditivos denominado MOLIENDA CRIOGENICA.

El principal propósito de la molienda criogénica es el obtener polvos con tamaño de partícula adaptables a revestimientos, rotomoldeo, mezclas secas, soluciones de polímeros y reciclado de trozos.

Para reducir eficazmente el tamaño de los polímeros, la molienda criogénica emplea un compuesto refrigerante. Normalmente, es un gas licuado con una temperatura de ebullición inferior a -78°C lo que proporciona una excelente transferencia de calor. La mayoría de los polímeros más recientes presentan temperaturas de transición por debajo de -78°C y, por lo tanto, requieren de enfriamiento con Nitrógeno líquido.

El ciclo de reciclado criogénico involucra una serie de etapas esquematizadas y ordenadas como se ve en el Diagrama N°1



De acuerdo al tipo de material se requiere consumir de diferentes cantidades de nitrógeno líquido. Este sistema proporciona diferentes tamaños de partícula ^(20,21,25,27).

La Tabla N° 24 muestra el consumo de nitrógeno líquido por algunos plásticos, kg de plástico/kg CO₂, temperatura de Fragilidad y mallaje del polvo obtenido.

TABLA N° 24 Valores Físicos de Diferentes Plásticos

Material	Consumo LIN	Kg/Kg CO ₂	Temperatura de Frag.°C	Tamaño de Part.mesh
PEBD	2.5-3.5	0.75-1.05	-56	80
PEAD	1.0	0.3	-45	40
PP	1.2	0.36	-51	40
ABS	0.5	0.15	-65	20
PVC	0.7	0.21	-45	40
PA	2.0	0.6	-73	80
PC	1.5	0.45	-101	40
PET	1.0	0.3	-60	40

FUENTE: Seminario: La Era del Plástico. IMPI

En la Tabla N° 25 se presentan los resultados de operación de planta para molienda criogénica. Siete muestras con diferente presentación.

TABLA N° 25 Resultados de operación de planta para molienda criogénica PEAD

N°Muestra	Material Molido (Kg)	Tiempo Molienda (min)	Velocidad de producc. (Kg/min)	Consumo LIN (M.m./Kg)
1	11	25	0.44	7.6
2	26	45	0.58	5.2
3	21	120	0.32	7.6
4	100	297	0.07	4.5
5	139	477	8.09	5.2
6	85	378	9.26	6.5
7	1	180	21.26	116

FUENTE: García, L.E. Hernández, R.A. Recycling of HPDE, ICI Jahrestagung, Julio 1992.

A nivel mundial fabrican equipo de molienda criogénica las siguientes compañías:

- PALLMANN PULVERIZERS Co, Inc.
- WEDCO, Inc.
- AIR PRODUCTS AND CHEMICALS, Inc.

Es importante hacer la aclaración, que también existe la molienda en frío, la cual difiere de la Molienda Criogénica en que no se desarrollan temperaturas tan bajas lo que reduce el consumo de nitrógeno y tiene como objetivo aumentar la calidad del producto al conseguir tamaños de partícula más uniformes con menor costo y mayor producción que cuando se analiza temperatura ambiente.

5.2.1.1.1 Molienda Criogénica vs. Molienda Normal

- El tamaño de partícula obtenida es homogéneo y mínimo, aún cuando se alimenten materiales diferentes.
- Se recomienda para molido de termoplásticos debido a que no existe calor que los puede degradar.
- Para hules es el único proceso que existe para su micropulverización.

5.2.1.2 Limpieza

A partir de los desperdicios de material plástico, que se producen de una forma continua y clasificada, se puede obtener por medio de un procedimiento de limpieza una materia prima secundaria, que desde el punto de vista de las propiedades de la pieza acabada, es comparable con la materia prima virgen (20,21,26,28).

Sin embargo, se requiere que la limpieza se realice en dos fases. En la primera fase se separa la suciedad poco adherida, por ejemplo, arena o piedras, en tinas llenas de agua y por medio de agitadores mecánicos, esto, después de la molienda del material.

La suciedad fuertemente adherida, como tinta, etiquetas de papel, incluidos adhesivos, no se eliminan en el proceso de lavado y es por ello que generalmente se tienen que eliminar en forma manual antes de la trituration.

El material molido, lavado y seco se filtra en estado fundido en la segunda fase de limpieza, la cual se lleva a cabo dentro del extrusor granulador por medio de sistemas de mallas o tamices intercambiables colocadas dentro del cilindro del extrusor.

5.2.1.3 Compactación

Se aplica a los desperdicios de película, fibras y materiales espumados, los cuales por su baja densidad aparente requieren equipos especiales que funcionan a elevadas velocidades dando como consecuencia un aumento en la temperatura de molienda ocasionando a su vez aglomeración de material. Los compresores se ofrecen generalmente formando parte de una instalación combinada formada por un molino antepuesto al compactador [20,21,25,26].

5.2.1.4 Pelletización

La pelletización consiste básicamente en un proceso de extrusión con un dado especial a base de un plato perforado con orificios de aproximadamente 2 mm y por ellos sale fundido y homogeneizado el plástico para posteriormente ser cortado.

Cuando el corte se realiza por medio de cuchillas a la cabeza del dado se denomina "pelletizado en caliente" y cuando se forman tiras que se enfrían en tinas de agua y posteriormente se cortan se denomina "pelletizado en frío".

La tecnología de pelletizado difiere principalmente en el tipo de diseño de husillos de extrusión y prácticamente todas las firmas que fabrican extrusores ofrecen líneas para pelletizado ^[20,21,25,29].

5.2.1.5 Modificación con Aditivos

El empleo de aditivos para restablecer, ó en muchos casos mejorar, el comportamiento de los plásticos recuperados es de vital importancia para el éxito de las operaciones de reciclado.

La clave para lograr un beneficio en el reciclado de plásticos es hacer productos con un valor agregado a partir del desecho.

Los aditivos que pueden utilizarse para reformular plásticos reciclados son los siguientes:

- Cargas
- Fibras de vidrio

- Agentes de acoplamiento
- Antioxidantes
- Estabilizadores de luz U.V.
- Modificadores de Impacto
- Agentes Nucleares
- Desactivadores de Metales
- Agentes Desmoldantes
- Retardante a la flama

Con tales reformulaciones, los residuos de plásticos, están en posición de competir algunas aplicaciones de alta tecnología industrial ^(20,21,22,24).

5.2.1.6 Líneas completas de Reciclado

Existen en el mundo diversas empresas especializadas en la fabricación de líneas completas para el reciclado de plásticos, las cuales incluyen todos los pasos del proceso descrito anteriormente y que diseñan sus equipos a la medida de las necesidades de cada tipo de desperdicio ⁽²⁰⁾.

Algunas de estas firmas son:

EMPRESA	TECNOLOGIA
SIKOPLAST	ALEMANA
SOREMA	ITALIANA
EREMA	AUSTRIACA
WEISS GMBH	ALEMANA
PREALPINA	ITALIANA
FBM	ITALIANA

MIOTTO
TECNOVA

BRASILEÑA
ITALIANA

5.2.2 Plásticos Mezclados

Cuando se tienen mezclas de distintos materiales plásticos las cuales resultan difíciles de separar física y económicamente, se han desarrollado métodos especiales para su reciclamiento para obtener barras, placas y diversos productos moldeados.

El proceso consiste básicamente en las siguientes etapas:

- 1.- Fragmentación de los desperdicios.
- 2.- Las fracciones ligeras como películas son automáticamente compactadas en la base de trituración alcanzándose 8 mm de malla.
- 3.- La mezcla puede ser pre-lavada si ésta contiene un alto nivel de contaminación de materia orgánica.
- 4.- El material es alimentado a un silo perforado cuya función es mezclar y almacenar; aquí el material es secado y homogeneizado. En esta fase pueden agregarse los aditivos por ejemplo pigmentos y el silo está rotando continuamente para prevenir el apelmazamiento del material.
- 5.- La mezcla es descargada desde el mezclador a una tolva intermedia dispuesta con un separador magnético de metales y que alimenta directamente al extrusor.

- 6.- El extrusor ó plastificador es manejado hidraulicamente para lograr altas velocidades que calienten a la mezcla de 200 a 300°C por fricción durante un corto período de residencia dentro del cilindro para evitar su degradación. Posteriormente la mezcla es llevada por compresión hacia los moldes.
- 7.- El corto período de residencia dentro de la máquina y el diseño de la misma evita la posibilidad de que se liberen sustancias volátiles.
- 8.- Diez ó veinte moldes montados rotativamente se van llenando en forma sucesiva frente a la salida de la mezcla fundida del extrusor para que después en un baño de agua se lleve a cabo su enfriamiento y finalmente se retire la pieza moldeada.
- 9.- Las piezas recién desmoldeadas se colocan en estantes aereados horizontalmente durante 8 a 10 horas para alcanzar el enfriamiento del centro y la estabilización total del producto.

Debido a que algunos plásticos resultan ser incompatibles entre sí en estado fundido, existen dificultades durante el proceso y esto no permite la obtención de productos de buena calidad. Por esta razón, se requiere una clasificación previa de los desechos de tal forma que uno de los plásticos componentes de la mezcla ocupe más del 50% este plástico generalmente es polietileno.

A pesar de que las tecnologías desarrolladas permiten amplias tolerancias en la composición de la mezcla se presentan ciertas recomendaciones que deben tomarse en cuenta referentes a las cantidades presentes de PVC, PET y Poliestireno en la mezcla ^(20,22,25,26).

5.2.2.1 Cloruro de Polivinilo (PVC)

La inestabilidad térmica de este polímero puede ocasionar dificultades durante el proceso de moldeo a causa del desprendimiento de gases. Estos problemas pueden eliminarse grandemente cuando no se sobrepasan niveles del 10% en la mezcla ó bien agregando un estabilizador al calor, con lo cual el sistema puede tolerar niveles de PVC de hasta 50%, por ejemplo el desperdicio de cable, sin ningún riesgo de emisión de gases ⁽²⁰⁾.

5.2.2.2 Polietilen Tereftalato (PET)

El índice de fluidez de este plástico es considerablemente más grande que cualquiera de los demás incluidos en la mayoría de las mezclas probables y que ocupan mayor porcentaje.

El PET debe primero ser granulado finamente de tal forma que actúe como una carga en los productos moldeados para proporcionar tenacidad, la mezcla no debe exceder el 20% del PET ⁽²⁰⁾.

5.2.2.3 Poliestireno

Los grandes modificados al impacto proporcionan a la mezcla características de tenacidad, sin embargo, los grados de uso general ó cristal causan irregularidades en la superficie de las piezas moldeadas y el poliestireno expandible tiene muy baja densidad para el proceso. El PS deberá limitarse al 10% en la mezcla.

El proceso presenta grandes tolerancias referentes al contenido de sustancias no plásticas. Un ejemplo de material son las laminaciones de plástico con aluminio o papel las cuales previamente a incluirse a la mezcla estas deben ser finamente granuladas ^[20].

5.3 Niveles de Inversión

Este sistema fue creado originalmente en Japón por la empresa Mitsubishi. Posteriormente la empresa Advanced Recycling Technologies desarrolló sobre ésta mejores y patentó la Tecnología de extrusión ET/I con la cual se tienen actualmente operando más de 20 empresas en Europa y Rusia.

En Estados Unidos la primera planta fue instalada en Michigan por la empresa Processed Plastics una División de Summint Steel.

La unidad completa tiene un costo de 250 000 US dólares, y su producción es de 50 ton/mes en promedio.

Los moldes adicionales varían entre los 2000 y 4000 US dólares ^[20,25,29].

5.4 Aplicaciones

En Europa y Japón los bloques de plásticos de material reciclado llamados también "madera plástica" han encontrado gran variedad de aplicaciones en el sector agrícola, marino y construcción de carreteras.

Aunando a las ventajas de disminuir la tala de bosques, el uso de estructuras de madera plástica en Europa ha resuelto otro problema que era el robo de artículos urbanos de madera para usarse como combustible en invierno ^[20,26].

6.0 Análisis de Resultados

6.1 Aspectos Legales y Políticos

Después de analizar las ventajas y desventajas de los métodos que se han utilizado para el tratamiento y manejo de la basura, se llega a la conclusión que la única solución es "no hacer basura", para lo cual algunas ciudades como Estados Unidos, Japón, Alemania, Canadá e Italia han implementado diversos sistemas de reciclado con éxito, basándose en la recolección diferenciada y separación de materiales reciclables como son el vidrio, el papel, metales y plásticos para transformarlos en productos útiles nuevamente.

Reciclar significa que todos los desechos y desperdicios que generamos en nuestras vidas se vuelven a integrar a un ciclo natural, industrial ó comercial mediante un proceso cuidadoso que permita llevarlo a cabo de manera adecuada y limpia ^[20,21,25].

La problemática de la recuperación de los materiales aprovechables de las basuras en México y en particular de los plásticos contenidos en las mismas, ha de abordarse mediante la íntima colaboración del Gobierno a través de sus Secretarías (SEDUE, SECOFI, SSA, DDF) con asociaciones de fabricantes de Materias Primas, de Transformadores y Escuelas y Universidades quienes deberán tomar medidas sobre los puntos siguientes:

6.1.1 Legislación

Se deben actualizar y/o crear las normas y leyes existentes sobre recolección, aprovechamiento y eliminación de basuras urbanas para adecuarlas a las existentes en países desarrollados. En México la privatización de la recolección de basura, podría ser una opción para eliminar los vicios y practicas inadecuadas que limitan el reciclado ^(20,21,25,29).

6.1.2 Informar y Motivar a la Población

Mediante la utilización de todos los medios educativos, de comunicación y publicitarios, se debe conseguir la comprensión y colaboración de toda la población, la infancia, para aprender a clasificar y separar los diferentes desperdicios ^(20,21,25,29).

6.1.3 Actuar

- a) Instalando centros de acopio y recolección diferenciada de los domicilios.
- b) Crear Empresas especializadas en reciclado de materiales.
- c) Controlar los tiraderos a cielo abierto.
- d) Instalar plantas incineradoras exclusivamente para desechos no reciclables y de control sanitario.

El reciclado de materiales no representa una tarea fácil en su etapa inicial sin embargo, en el caso de los plásticos, se puede ser completamente optimista, ya que además de que se contribuye en gran escala a la reducción del volumen de la basura se convierte en una oportunidad para la creación de

negocios de alta rentabilidad.

Para que un negocio de reciclado de plásticos sea factible se requieren de los siguientes 4 factores:

- 1.- Abasto
- 2.- Líquidez
- 3.- Tecnología de Vanguardia
- 4.- Mercado

El reciclado de plásticos esta se encuentra en su etapa de inicio en países como México y otros de América Latina, pero ya existen experiencias exitosas en este campo en Alemania, Japón y Estados Unidos.

Para asegurar el abasto de materiales plásticos lo más limpios posibles y de la misma especie facilitando su recolección y reciclaje, en Estados Unidos y en la mayoría de los países Europeos ha sido adoptado un Sistema de codificación para envases desarrollado por la Sociedad de la Industria del Plástico SPI, Inc. (USA) ^[20,21].

6.2 Sistema de codificación para envases Plásticos

Este sistema ayuda a identificar en los envases, botellas, contenedores y recipientes, en general, el tipo de plástico usado para su fabricación.

El sistema basado en una simbología simple permite a los seleccionadores durante el proceso de recolección y reciclaje, identificar y separar los diferentes productos.

Se compone de tres flechas que forman un triángulo con un número en el centro y letras en la base.

Con base a investigaciones realizadas por la industria del reciclaje en otros países, se ha encontrado que el símbolo propuesto es simple y fácil de distinguir de otras marcas tradicionalmente colocadas en los envases por sus fabricantes.

El triángulo de flechas (símbolo universal del reciclaje) fue adoptado para aislar o distinguir el código numérico de otras marcas en el envase. El número y las letras indican la resina usada para la fabricación del envase, según la siguiente precisión:

- 1.- PET (Polietileno Tereftalato)
- 2.- PEAD (Polietileno de Alta Densidad)
- 3.- PVC (Cloruro de Polivinilo)
- 4.- PEBD (Polietileno de Baja Densidad)
- 5.- PP (Polipropileno)
- 6.- PS (Poliestireno)
- 7.- Otros

El código es moldeado mediante un inserto o grabado en el fondo, o lo más cerca de éste, de la botella o del envase, según lo permita la geometría del artículo. El tamaño mínimo recomendado es de 2.5 cms. (1 pulgada), para lograr su reconocimiento rápido. Envases con bases pequeñas pueden llevar el símbolo en un tamaño proporcional.

De acuerdo con la experiencia de otros países, la meta es que los fabricantes de productos plásticos decidan voluntariamente utilizar el sistema a corto plazo en:

- Artículos nuevos:

Colocar el código en todos los moldes

- Moldes existentes:

En seis meses el 30%

En doce meses la totalidad

Si un envase es fabricado en un nuevo modelo y con resinas diferentes a las tradicionalmente empleadas, es responsabilidad del transformador o productor de los envases cambiar el código (inserto) para identificar la materia prima usada. También, corresponde al transformador utilizar el código adecuado según la resina con que se elabore el envase.

El procedimiento de insertos en los moldes permite un fácil cambio de los códigos, de acuerdo con el tipo de resina utilizada.

El código indica únicamente la resina de que esté hecho el envases y no tiene relación alguna con el tamaño, contenido o apariencia del mismo (20, 21, 27, 29).

- Artículos nuevos:

Colocar el código en todos los moldes

- Moldes existentes:

En seis meses el 30%

En doce meses la totalidad

Si un envase es fabricado en un nuevo modelo y con resinas diferentes a las tradicionalmente empleadas, es responsabilidad del transformador o productor de los envases cambiar el código (inserto) para identificar la materia prima usada. También, corresponde al transformador utilizar el código adecuado según la resina con que se elabore el envase.

El procedimiento de insertos en los moldes permite un fácil cambio de los códigos, de acuerdo con el tipo de resina utilizada.

El código indica únicamente la resina de que esté hecho el envases y no tiene relación alguna con el tamaño, contenido o apariencia del mismo [20,21,27,29].

6.3 Ciclo de vida del PEAD

El PEAD es un plástico cuyas aplicaciones tienen un promedio de vida útil medio, ya que sus principales aplicaciones son las de envase, cajas, artículos del hogar, tubería y alambre, constituyendo problemas de generación y acumulación de los residuos plásticos que llegan finalmente a formar parte de los residuos urbanos.

La Tabla N° 26 muestra el porcentaje de vida útil de diferentes plásticos.

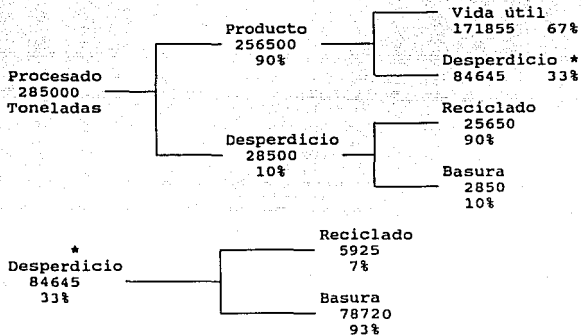
TABLA N° 26 Vida Util de los Termoplásticos

Resina	% Vida Util	% Recuperado	% Basura
PEAD	67	11	22
PEBD	7	19	74
PVC	60	15	25
PS	71	17	12
PP	34	15	51

FUENTE: Instituto Mexicano de Plástico Industrial

El porcentaje de recuperación se refiere a la reutilización de los desperdicios generados en el proceso de manufactura.

El Diagrama N° 2 muestra cantidades estimadas de la generación de desperdicios del PEAD, en 1990, en México.



FUENTE: Instituto Mexicano de Plástico Industrial

6.4 Volumen de Desperdicios por tipo de Plástico

Debido a que el consumo de plásticos esta orientado en México principalmente al sector de envase que consume el 47%, de la producción y por su período de utilización muy corto, menos de un año, en la actualidad es donde se enfrentan los mayores problemas.

En México, como en otras partes del mundo la principal fuente de desechos plásticos son las familias que generan el 70%, el segundo lugar lo ocupan las industrias con un 20% y finalmente los comercios e instituciones con el 10% lo que da un total de 625,000 Toneladas.

Analizando el consumo total de plásticos, que es de 1'270,000 Ton. se puede observar que el 49% de este se convierte en basura y solo el 51% se reincorpora nuevamente al ciclo de vida útil en aplicaciones de los sectores de la construcción, Eléctrico-Electrónico, Muebles, Automotriz, etc.

En 1990 únicamente se registró un reciclaje general de materiales plásticos de 140,000 toneladas, que equivale al 11% del consumo total y cuyas fuentes principalmente provienen de los propios transformadores de plásticos.

En general, los desperdicios plásticos están básicamente formados por Polietileno de Baja Densidad, Polietileno de Alta Densidad, PVC, Polipropileno, Poliestireno y PET ^(20,21).

7.0 Conclusiones y Recomendaciones

Los residuos de materiales plásticos constituyen un problema creciente desde el punto de vista económico y ecológico. Los desechos plásticos representan una fuente potencial de materias primas, en un mundo que enfrenta problemas de escasez de recursos.

Generar cero residuos plásticos o sustituir productos plásticos por otros materiales es una solución pero a un plazo no predecible. El mejor camino para el aprovechamiento máximo de los residuos es la reincorporación de los mismos al proceso productivo.

Para que sea posible el reciclado es necesaria la plena identificación del PEAD mediante sus propiedades y procesos de elaboración.

El estudio de mercado de la producción de la resina virgen es necesario como etapa previa al estudio de factibilidad del proyecto de reciclado del material.

Los residuos a procesar pueden mejorar sus propiedades al agregarseles aditivos y se obtiene un producto final de mayor calidad si se mezcla con plástico virgen.

Existen diversos sistemas para el tratamiento de residuos plásticos de los que destacan; relleno sanitario, compactación, incineración, composteo, degradabilidad y reciclado.

El proceso más recomendado es el reciclado por ser una alternativa tecnológica poco contaminante, sencilla y que permite la reutilización de los residuos.

El método de reciclado más empleado es la molienda criogénica; ya que trabaja con residuos de películas plásticas, reduce costos de materias primas, se encuentran en operación a nivel industrial.

La falta de información confiable sobre el mercado nacional, de PEAD reciclado es un problema, ya que la mayoría de las plantas que se dedican a esta actividad son pequeñas y no registran la producción y el costo del reciclado de la resina.

El reciclado de plástico en nuestro país es una actividad que se inicia, por lo que es necesario crear una conciencia ecológica tanto en los consumidores como en los empresarios, sobre todo los industriales, para promover y fomentar la recolección, el procesamiento y la reutilización de productos plásticos.

Por lo anterior, se recomienda el establecimiento de un programa de recolección y acopio en las grandes ciudades, con incentivos económicos para la población para poder lograr el éxito buscado, ya que podría alcanzar un buen mercado, como el grande desarrollo que ha alcanzado en otros países.

Bibliografía

1. Kirk E., R. y Othmer F.D. Polietileno. Enciclopedia de Tecnología Química. Vol. XII. UTEHA. México, D.F. p.p. 845-877 (1987).
2. Phillips 66Co. Avances y desarrollos en el procesamiento del PEAD. Boletines Técnicos de Phillips 66 Co. (México) 18 [16] 1-32 (1984).
3. Harris, I. Manufacturing and Characteristics of Plastics Journal Polymer Sci. 8 [3] 353 (1952).
4. Pinner, S. H. and Stabin, J. v. Molecular Weight is Obtained by Osmometry. Journal of Polymer Sci. 9 [2] 575 (1952).
5. Mark F. H. and Bikales M. N. High Density Poliethylene. Encyclopedia of Polymer Science and Engineering. Vol. 6, 2ª Ed. 454-484 (1986).
6. Reporte Especial de Plásticos. Panorama Plástico 14 [Enero/Febrero] 9-22 (1989).

7. Polietileno de alta densidad. Anuario Estadístico del Plástico. Instituto Mexicano del Plástico Industrial S.C. México, D.F. p.p. 155-161 (1988).
8. Polietileno de alta densidad. Anuario Estadístico del Plástico. Instituto Mexicano del Plástico Industrial S.C. México, D.F. p.p. 129-131, 263-270 (1990).
9. Petrochemical Handbook '79
Hydrocarbon Processing 59 [11] p.p. 221, 223, 225, 227 (1979).
10. Petrochemical Handbook '83
Hydrocarbon Processing 62 [11] p.p. 135-136, 183 (1983).
11. Petrochemical Handbook '85
Hydrocarbon Processing 64 [11] p.p. 160-161 (1985).
12. Planta de polietileno de alta densidad. Folleto del complejo petroquímico Escolin. Subdirección de Transformación Industrial. Instituto Mexicano del Petróleo. México, D.F. p.p. 15-18 (1986).
13. Subdirección de Transformación Industrial de Petróleos Mexicanos. Encuesta personal. Marzo (1992).

14. Savage, P., An LBO for Du Pont's HDPE
Chemical Week 140 [6] p.p. 10 (1987).
15. Housley C. and J.Wilson, L.Polymer Research Fuels Fibers
Chemical Week 140 [21] p.p. 15 (1987).
16. Special Report: Plastic's 90's. Chemical Marketing Reporter 237 p.p. 22-26 (1990).
17. Polietileno de alta densidad. Borrador del Anuario Estadístico del Plástico. Instituto Mexicano del Plástico Industrial S.C. México, D.F. p.p. 145-153, 286-297 (1991).
18. ANIPAC (Asociación Nacional de Industrias del Plástico, A.C.) Boletines ANIPAC, Enero - Mayo 1992.
19. ANIQ (Asociación Nacional de la Industria Química)
Cifras Preliminares (1991), Resinas Sintéticas p.p. 9.
20. Seminario: La Era del Plástico. Instituto Mexicano del Plástico Industrial S.C. México, D.F. (1991).
21. Deffis, C. A. La basura es la solución. Editorial Concepto S.A. p.p. 9-277 México, D.F. (1989).

22. Girny, C. Especial de Desechos. Ciencia y Tecnología de Francia. Interface 37 p.p. 3-25 (Febrero, 1991).
23. Basta, N. and MacKerron C. Plastics recycling grows up Chemical Engineering [96] No.17 p.p. 22-27 (Noviembre, 1987).
24. Basta, N. and Johnson E. Plastics recycling picks up momentum. Chemical Engineering [96] No.7 p.p. 30-33 (Julio, 1989).
25. Leaversuch, R. Polietileno de alta densidad reciclado: esperando una gran oportunidad. Revista de Plásticos Modernos. N°401 p.p. 722-728 (Noviembre, 1989).
26. H. Kline, C. Plastic's Recycling Takes off in the USA. Chemistry & Industry N°14 p.p. 440-442 (Julio, 1989).
27. Ferrone, C. No es una utopía la recolección diferenciada para el reciclaje. Tecnología del plástico N°22 p.p.6-15 (Enero, 1989).
28. Witwer, E. D. Plastics: From Pellets to products. Chemical Engineering [96] No.9 p.p. 123-128 (Septiembre, 1989).

29. Kuhlke, C. W. Recycle your plastics waste. Hydrocarbon Processing [70] No.5 p.p. 89-90 (Mayo, 1990).
30. Market Research on Plastics Recycling. Plastics Recycling Foundation. Center for Plastics Recycling Research. Technical Report N°31 p.p. 1-8 (1989).
31. Plastics Recycling: From Vision to Reality. Plastics Recycling Foundation. Center for Plastics Recycling Research. p.p. 1-10 (1990).