

Nº 112  
2E1



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD ECONOMICA PARA EL  
RECICLADO DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD  
POR EL METODO DE MOLIENDA CRIOGENICA

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**INGENIERA QUIMICA**

**P R E S E N T A :**

**MARIA DEL CARMEN SANCHEZ MORALES**



MEXICO, D. F.

1992

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

Todo el material contenido en esta tesis 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.



EXAMENES PROFESIONALES  
FAC. DE QUÍMICA

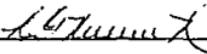
**Jurado Asignado:**

Presidente	Prof. :	JOSE FRANCISCO GUERRA RECASENS
Vocal	Prof. :	RAMON ARNAUD HUERTA
Secretario	Prof. :	LAURA ESTHER GARCIA CHAVEZ
1er. Suplente	Prof. :	CARLOS GUZMAN DE LAS CASAS
2do. Suplente	Prof. :	CARLOS GALDEANO BIENZOBAS

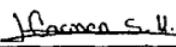
Sitio donde se desarrolló el tema:

Universidad Nacional Autónoma de México  
Facultad de Química  
División de Estudios de Posgrado

Asesor del Tema

  
M. en C. LAURA ESTHER GARCIA CHAVEZ

Sustentante

  
MARIA DEL CARMEN SANCHEZ MORALES

## INDICE

		Página
Capítulo 1	Introducción	1
Capítulo 2	Generalidades	4
2.1	Breve historia de los plásticos	4
2.2	Conceptos básicos	6
2.2.1	Definición de polímero	6
2.2.2	Definición de plástico	6
2.2.3	Composición del plástico	7
2.2.4	Clasificación del plástico	8
2.3	Desechos plásticos	11
2.3.1	Concepto de residuo	12
2.3.2	Clasificación de los residuos plásticos	12
2.4	Ciclo del plástico y sus residuos	14
Capítulo 3	Tecnología disponible para el tratamiento de residuos plásticos	18
3.1	Análisis de tendencias tecnológicas del procesamiento de desperdicios plásticos	19
3.2	Incineración	19
3.2.1	Descripción del proceso de incineración	21
3.2.1.1	Manejo de materiales	21
3.2.1.2	Incineración	22

3.2.1.3	Tratamiento de efluentes	26
3.3	Pirólisis	30
3.3.1	Despolimerización de polímeros	30
3.3.2	Mecanismos de degradación térmica	34
3.3.2.1	Polietileno	34
3.3.3	Parámetros que afectan el proceso de pirólisis	34
3.4	Composteo	41
3.5	Relleno sanitario	45
3.5.1	Tiraderos al aire libre	45
3.5.2	Relleno sanitario	46
3.5.3	Comportamiento de los plásticos en el relleno sanitario	51
3.6	Degradación	52
3.6.1	Biodegradación	52
3.6.1.1	Plásticos cargados con almidón	52
3.6.1.2	Pruebas para biodegradación	53
3.6.1.3	Métodos para determinar la magnitud de la biodegradación	55
3.6.1.4	Parámetros que afectan la biodegradación	56
3.6.1.5	Desventajas de la biodegradación	58
3.6.1.6	Ventajas de la biodegradación	59
3.6.2	Fotodegradación	59
3.7	Reciclado	61
3.7.1	Clasificación del reciclado	61
3.7.1.1	Reciclado primario	61
3.7.1.2	Reciclado secundario	62
3.8	Tratamiento y disposición final de los residuos urbanos en el Distrito Federal	70

<b>Capítulo 4</b>	<b>Poliétileno de baja densidad</b>	<b>73</b>
4.1	Ciclo de vida del polietileno	73
4.2	Propiedades experimentales del PEBD reciclado	75
4.3	Características comerciales	83
<b>Capítulo 5</b>	<b>Estudio de factibilidad económica</b>	<b>90</b>
5.1	Estudio Técnico	90
5.1.1	Procesos de reciclado de PEBD	90
5.1.1.1	Regranulado	90
5.1.1.2	Proceso directo	94
5.1.1.3	Molienda criogénica	96
5.1.2	Selección del proceso	99
5.1.3	Descripción del proceso	101
5.1.4	Lista de equipo de proceso	109
5.1.5	Especificaciones del equipo	110
5.1.6	Balance de materia y energía	112
5.1.7	Localización de la planta	114
5.2	Estudio de mercado	116
5.2.1	Producto	116
5.2.2	Consumo	119
5.2.2.1	Panorama internacional	128
5.2.3	Promoción	132
5.2.4	Precio	133
5.2.5	Distribución	136
5.3	Estudio macroeconómico y microeconómico	137

5.3.1	Programas de estabilización	137
5.3.2	La apertura comercial	140
5.3.3	Crecimiento económico	145
5.3.4	Sector externo	154
5.3.5	Entorno económico internacional	156
5.4	Estimación de costos	158
5.4.1	Capital de inversión	159
5.4.2	Capital de trabajo	165
5.4.3	Costo de producción	168
5.5	Estudio Financiero	179
5.6	Análisis de Sensibilidad	180
Capítulo 6	Conclusiones	188

#### Apendice

- A. Propiedades del polietileno de baja densidad
- B. Separación de residuos plásticos

#### Bibliografía

## 1.0. Introducción

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 por 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 la viabilidad económica del proceso de molienda criogénica para reciclar Polietileno de Baja Densidad.

Se enfoca hacia el tratamiento y disposición del PEBD porque este es uno de los plásticos más importantes desde el punto de vista económico, comprende el 30% de participación en el mercado de los termoplásticos en México. Debido a que sus aplicaciones, sobre todo película que representa el 78% del consumo de PEBD, tienen ciclos de vida útil muy cortos generando y acumulando una gran cantidad de residuos plásticos y convirtiéndose en un problema de contaminación ambiental por los largos ciclos de vida del polímero.

La alternativa de solución seleccionada para este problema es el reciclado porque de las alternativas planteadas es la menos contaminante. Se trata de un proceso relativamente sencillo, ya que algunas de las alternativas propuestas, por ejemplo la pirólisis, muestra un grado de complejidad aun mayor que el proceso de fabricación de los materiales que se obtienen en ese proceso, el reciclado además permite la reutilización de los residuos reciclados.

Un proceso muy atractivo, sobre todo para el tipo de residuo a reciclar, películas plásticas, que es el método de molienda

criogénica que presenta ventajas sobre los demás procesos tales como:

- Bajo deterioro de las propiedades mecánicas del polímero.
- Reduce los costos de materia prima, ya que el material reciclado es compatible para procesarlo con material virgen.
- Permite fabricar productos con ciclos de vida útil más largos aprovechando la energía y otros recursos incorporados en el material reciclado.

Una vez que se han analizado las diferentes alternativas y se ha elegido una de ellas, fundamentándose en criterios técnicos, es necesario determinar las consecuencias cuantificables de la alternativa, y evaluar el proyecto de inversión distinguiendo los resultados relevantes.

Los métodos utilizados para evaluar la inversión son el Valor presente neto y la Tasa interna de recuperación, ambos métodos consideran el valor del dinero en el tiempo y nos proporcionan los criterios adecuados para determinar la viabilidad económica del proyecto. Además esto lo complementamos con un estudio de sensibilidad del proyecto a algunos de sus factores de mayor relevancia para determinar posibles riesgos o aumento de rentabilidad.

Este trabajo se ha dividido en varios capítulos. En el capítulo de generalidades se considera la historia de los plásticos así como la inclusión de algunos conceptos básicos en relación a los plásticos y a los residuos generados por los mismos, además de su ciclo.

En el siguiente capítulo se describen los procesos tecnológicos con los que se cuenta para el tratamiento de los residuos plásticos, como son; incineración, pirólisis, composteo, relleno sanitario, degradación y reciclado.

En el capítulo 4 se presentan algunas de las propiedades mecánicas del polietileno de baja densidad reciclado y las características comerciales del PEBD.

El capítulo 5 comprende el estudio de factibilidad económica, el que para ser obtenido requiere de la realización de los siguientes estudios; estudio técnico, estudio de mercado, estudio macroeconómico y microeconómico, estimación de costos, estudio financiero y un análisis de sensibilidad.

El capítulo 6 contiene las conclusiones de este estudio. Por último cuenta con dos apéndices en los que se incluyen las propiedades del PEBD como plástico virgen y algunos de los procesos de separación de los residuos plásticos.

## 2.0 Generalidades

### 2.1 Breve historia de los plásticos

El hombre comenzó a aprovechar racionalmente los elementos de la naturaleza en el Paleolítico, al usar piedras y otros materiales naturales, con formas determinadas y cumpliendo diferentes funciones, como utensilios de caza, de defensa y para muchas otras actividades. Desde entonces y hasta nuestros días la manufactura de los materiales ha sufrido muchos cambios.

Por mucho tiempo la mayoría de las necesidades humanas fueron cubiertas con materiales de origen natural, como celulosa, almidones y resinas, extraídas de la madera, pieles, algodón, lana, seda, hule, aceites, pinturas, cera, semillas, fibras, etc.

Pero en el siglo XIX nace y se desarrolla la industria basada en la química orgánica. Esta no sólo se limitó a transformar las sustancias por simples procesos físicos o por reacciones químicas sencillas como oxidación o reducción, sino que se encaminó al desarrollo de toda una serie de procedimientos químicos radicalmente nuevos para la obtención de materiales sintéticos a partir del carbón mineral, el petróleo o los productos agrícolas.

Los plásticos son probablemente el material de ingeniería con el crecimiento más espectacular de la historia. En un tiempo relativamente corto estos versátiles materiales han desplazado a los metales y a la madera en una gran variedad de aplicaciones.

A fines de 1800 la reacción del fenol con aldehídos centró el interés académico. Las investigaciones en esta área condujeron al desarrollo de los plásticos de fenol-aldehído. En un tiempo muy corto estos plásticos fueron utilizados en un gran número de aplicaciones. En 1940 la producción anual de resinas fenólicas fue alrededor de 175,000 toneladas. El éxito comercial de las resinas fenólicas estimularon las investigaciones subsecuentes y por lo tanto el desarrollo en el área de los plásticos.

Alrededor de 1930 I. G. Farben en Alemania produce poliestireno y Dow Chemical inicio los trabajos para la comercialización de este producto. La primera patente de la polimerización del cloruro de polivinilo fue hecha en 1912, pero tomo cerca de quince años más introducir comercialmente este producto. En 1931 el polietileno fue producido accidentalmente por ICI, ocho años más tarde la primera planta de polietileno fue puesta en marcha. El polimetacrilato de metilo fue desarrollado antes de la Segunda Guerra Mundial y usado en esta como vidrio de naves aerreas.

La guerra motivo el avance en la investigación y desarrollo de materiales duros que sustituyeran a los obtenidos de materiales naturales. El nylon desarrollado por Du Pont, en 1930 sólo fue usado para fabricar fibras, los primeros compuestos moldeados de nylon son introducidos cerca de 1940. Los nuevos mercados creados por la guerra dieron lugar a un crecimiento rápido en la producción de plásticos. Al final de la guerra los plásticos ya tenían un lugar seguro en el mercado. Desde entonces las industrias dedicaron todos sus esfuerzos a mejorar las propiedades de los plásticos. En 1950 Ziegler y Phillips prepararon el polietileno de alta densidad y posteriormente se inicio su comercialización, poco después fue descubierto el Polipropileno. Por esta epoca aparecen también las llamadas " resinas de ingeniería " como los acetales, policarbonatos y polisulfonas.

Al mismo tiempo tuvo un gran crecimiento la industria de los aditivos, ya que fueron desarrollados un gran número de ellos, como los estabilizadores ultravioleta, antioxidantes, agentes antiestáticos, pigmentos, etc. Las investigaciones se encaminaron entonces a la obtención de fibras cristalinas y de plásticos reforzados teniendo como resultado el crecimiento de estas industrias. En nuestros días la búsqueda tiende al desarrollo de nuevos procesos de obtención de plásticos con conversiones más

altas, compuestos nuevos y más especializados basados en los polímeros ya existentes.

La historia de los plásticos puede presentarse a través de la evolución que han tenido sus procesos de manufactura tomando en cuenta las materias primas utilizadas para la obtención de los mismos. Los plásticos fueron hechos de carbón y productos naturales como la celulosa y la melasa. A partir de la Segunda Guerra Mundial se tiene un drástico cambio en el uso de los materiales naturales para dicha manufactura, los cuales fueron desplazados por productos derivados del petróleo. Actualmente los plásticos se elaboran principalmente a partir de esta materia prima.

## 2.2 Conceptos Básicos

### 2.2.1 Definición de polímero

Un polímero, es una serie de macromoléculas orgánicas naturales, artificiales o sintéticas que están constituidas, mediante enlaces químicos, por varias unidades más simples llamadas monómeros que en elevado número y en un determinado orden, se repiten en la agrupación macromolecular. <sup>(1)</sup>

### 2.2.2 Definición de plástico

Existen varias definiciones con respecto a lo que es un plástico de las cuales podemos destacar las siguientes:

" Los plásticos son polímeros orgánicos moldeables, en múltiples formas funcionales por efecto del calor, la presión y la catálisis. "

<sup>1</sup> Morrison R. y Boyd r.; Química Orgánica ; 2a. ed ; Ed. Addison-Wesley Iberoamericana ; Massachusetts; p g. 437.

De esta definición lo más importante de resaltar son los diferentes procesos mediante los cuales se lleva a cabo la polimerización para la obtención del plástico.

" Un plástico es un material que contiene como ingrediente esencial una o más sustancias poliméricas orgánicas de gran peso molecular, es sólido en su estado final, aunque en alguna fase de su fabricación o procesamiento en artículos finales es líquida. El hule, los textiles, adhesivos y pinturas los cuales en algunos casos coinciden con esta definición no son considerados plásticos. " (2).

" Material total o parcialmente compuesto de combinaciones de carbono, oxígeno, hidrógeno, nitrógeno y otros elementos orgánicos e inorgánicos y que aunque sólida en su estado final se hace líquida en alguna fase de su fabricación y por consiguiente puede recibir diversas formas, casi siempre mediante la aplicación separada o conjunta de calor y presión." (3).

### 2.2.3 Composición del plástico

Los plásticos comerciales generalmente están constituidos por los siguientes elementos:

- Monómero. Es la unidad básica de formación del plástico.
- Aglomerante. Permite que el compuesto se mantenga unido.
- Colorante. No es necesario en todos los casos sobre todo en los compuestos transparentes. Su función es dar color al compuesto.

2 " Definición estándar de términos relacionados con plásticos ", ASTM D883-86-b American Society for Testing and Materials, Philadelphia 1986.

3 The Society of the Plastics Industry Inc. New York.

- Acelerador o Inhibidor. Se usa con los plásticos termofijos para incrementar o disminuir el tiempo de curado. Controla la velocidad de reacción.
- Plastificante. Determina las características de flujo del compuesto.
- Lubricante. Previene que se pegue o adhiera el material a la maquinaria o a los moldes, no se requiere para todas las aplicaciones.

#### 2.2.4 Clasificación del plástico

Los plásticos se clasifican según su estructura química en dos grandes grupos: termoplásticos y termofijos.

Termoplásticos. Son polímeros, constituidos u organizados en cadenas largas ya sea lineales o ramificadas, que se ablandan con la aplicación del calor y se endurecen al ser enfriados de esta forma se pueden moldear los plásticos ininidad de veces.

El desarrollo de los termoplásticos es atribuido a las atractivas propiedades de este producto como son: ligero peso molecular, resistencia a la corrosión química, fácil manipulación en cuanto al moldeo de los mismos, solubles en sus monómeros líquidos o en disolventes altamente polares y presentan una combustión total. La tabla No.2.1 lista algunos plásticos de este grupo.

Además de estas propiedades existen fundamentalmente dos factores económicos que favorecen el crecimiento de la industria de los termoplásticos:

a ) Los costos de los artículos hechos de plástico son competitivos y menores que los hechos de materiales de origen natural.

b ) Hay limitaciones en el suministro de materiales de origen natural.

NOMBRE Y CODIGO ASTM DEL PLASTICO.		FAMILIA
POLIETILENOS	PE	POLIOLEFINAS
POLIPROPILENO	PP	POLIOLEFINAS
CLORURO DE POLIVINILO	PVC	VINILIVA
ACETATO DE POLIVINILO	PVA	VINILICA
POLIESTIRENO	PS	ESTIRENICA
ACRILONITRILO-BUTADIENO-ESTIRENO	ABS	ESTIRENICA
ACRILONITRILO-ESTIRENO	SAN	ESTIRENICA
POLIMETACRILATO DE METILO	PMMA	ACRILICA
POLICAPROLACTAMA	NYLON6	POLIAMIDA
POLIHEXAMETILENDIAMIDA	NYLON66	POLIAMIDA
POLIETILENTEREFTALATO	PET	POLIESTER
POLIBUTILENTEREFTALATO	PBT	POLIESTER
POLICARBONATOS	PC	POLIESTER
POLIACETALES		POLIESTER

Tabla No. 2.1. Principales Plásticos termoplásticos

Termofijos. Son polimeros de red espacial que poseen muchos enlaces cruzados, formando estructuras tridimensionales. Podemos pensar en una muestra de este material como una sola molécula gigante. Las moléculas de los plásticos termofijos estan unidas por enlaces covalentes por lo que al ser calentado, este material, no se ablanda incluso este calentamiento puede generar más enlaces cruzados provocando un endurecimiento mayor de dicho material, este endurecimiento es irreversible ya que al pretender fundir a los plásticos termofijos se descomponen. Esta característica determina las propiedades de los termofijos que son infusibles, insolubles, incombustibles e imputrescibles. La tabla No.2.2 presenta algunos plásticos importantes de esta familia.

El consumo de los plásticos termofijos es mucho menor que el de los termoplásticos y tienen un mercado muy específico.

NOMBRE DEL PLASTICO.	CODIGO ASTM	FAMILIA
POLIURETANO	PU	ESTER - AMIDA
RESINAS ALQUIDICAS		POLIESTER
POLIESTERES INSATURADOS	UP	POLIESTER
RESINAS EPOXICAS		POLIETER
FENOL - FORMALDEHIDO	PF	FENOLICA
UREA - FORMALDEHIDO	UF	UREA
MELAMINA - FORMALDEHIDO	MF	MELAMINA

Tabla No. 2.2. Principales Plásticos Termofijos

### 2.3 Desechos plásticos

Los materiales plásticos se introdujeron a consecuencia de sus múltiples aplicaciones y de su gran rentabilidad en todos los sectores de la vida cotidiana.

Considerando que desde los más simples métodos de envase y empaque hasta los más avanzados sistemas de comunicación utilizan este material y analizando el vertiginoso desarrollo que la industria del plástico ha tenido en un período de tiempo relativamente corto, se puede decir que es el material de nuestra Era, ya que prácticamente se encuentra en todas las áreas de producción y consumo de nuestra sociedad.

El plástico ha superado cinco veces el consumo del cobre y aluminio, es similar al consumo del vidrio, tres veces mayor que el del caucho, la mitad del consumo de madera y aproximadamente un noveno del consumo del acero. Pero con la diferencia de que la producción y consumo de los materiales citados anteriormente permanece prácticamente estable, el de los materiales plásticos se encuentra en continuo crecimiento.

Sin embargo no todo lo referente a los plásticos refleja un panorama tan satisfactorio, ya que en la gran mayoría de las aplicaciones su vida útil no es la misma que su ciclo total de vida efectiva, creando problemas de acumulación de este tipo de material en los residuos urbanos y degradando de esta manera la calidad del medio ambiente, no por si mismos sino en combinación con otros tipos de desperdicios.

Conceptos básicos en relación a los residuos plásticos y su clasificación.

### 2.3.1 Concepto de residuo

Se define tradicionalmente a los residuos como: " Materiales originados en cualquiera de las actividades de producción, transformación y consumo, que no alcanzan aisladamente en el contexto en que son generados ningun valor económico." (4)

### 2.3.2 Clasificación de los residuos plásticos

Una de las clasificaciones más simples en cuanto a los desechos plásticos generados es la siguiente:

- Desperdicios plásticos recuperables. Es el residuo susceptible de ser reprocesado para formar un producto plástico comercialmente aceptable.
  
- Desperdicios plásticos no recuperables. Este tipo de residuo no puede ser reprocesado bajo las condiciones tecnológicas actuales.

Otra clasificación se basa en el origen de los residuos plásticos. Por lo que es más específica e incluye los siguientes grupos.

#### - Residuos industriales

Este tipo de desecho es probablemente el de mayor facilidad de reprocesamiento o tratamiento, ya que no presenta problemas de contaminación o mezcla con otras resinas. Se origina tanto en la industria productora de resinas, como en la transformadora de las mismas. Estos residuos son regularmente aprovechados en el lugar de su generación, combinándolos con materia prima virgen o vendiéndolos como producto de segundo grado. Por lo que, aunque se produzca en grandes cantidades no constituye un problema primordial de contaminación.

- Residuos procedentes de aplicaciones agrícolas

Debido al mejoramiento de las técnicas de cultivo se generan una gran diversidad de residuos plásticos en el campo por aplicaciones como: sistemas de riego, acolchados, invernaderos, drenajes, embalses, etc., que originan el problema de la eliminación de estos materiales una vez cumplida su función.

- Residuos de " basuras salvajes "

Proceden fundamentalmente de aplicaciones en el campo del envase y su acción contaminante en el aspecto ecológico no es debido al material sino a la costumbre de los consumidores de arrojarlos en lugares no propios. Su recolección y reutilización no posee viabilidad económica.

- Residuos urbanos

Son producidos por los consumidores tanto a nivel doméstico como empresarial o de oficina. Este tipo de desechos presenta un gran problema de disposición final de los mismos, así como también son los más interesantes por su contenido.

La composición de estos residuos es fundamentalmente metales, vidrio, tierra, cenizas, papel, plásticos, madera, textiles, gomas, cueros, y materia orgánica. La tabla No 2.3 presenta la composición física de la basura urbana del Distrito Federal.

Este tipo de residuos será estudiado en este trabajo ya que por la gran cantidad en que se producen generan problemas de tratamiento de los mismos, conduciendo a un problema de contaminación ambiental.

ELEMENTO	PORCENTAJE
Materia orgánica	44.14
Panal desechable	5.04
Carton	4.91
Residuos de jardinería	4.32
Vidrio transparente	3.97
Fibra vegetal	3.28
Plástico	3.09
Papel	18.91
Otros	12.43

Tabla No.2.3 Composición Física de la Basura del D.F. 1988

Fuente: Departamento del Distrito Federal

#### 2.4 Ciclo del plástico y sus residuos

El estudio de los residuos, no sólo debe incluir su clasificación y composición, sino que también se requiere conocer el ciclo del plástico, así como el estudio de los residuos generados en cada una de sus etapas.

El flujo de producción de las aplicaciones plásticas, así como de la generación de sus desechos se observa en la figura No 2.1.

El ciclo consta de las siguientes etapas:

- Fabricante de resinas. Este abastece de materias primas al procesador y al formulador. En esta etapa sólo se obtiene el polímero sin darle una aplicación determinada. La cantidad de residuos producidos en este paso depende de factores como: la complejidad del proceso de polimerización,

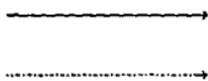
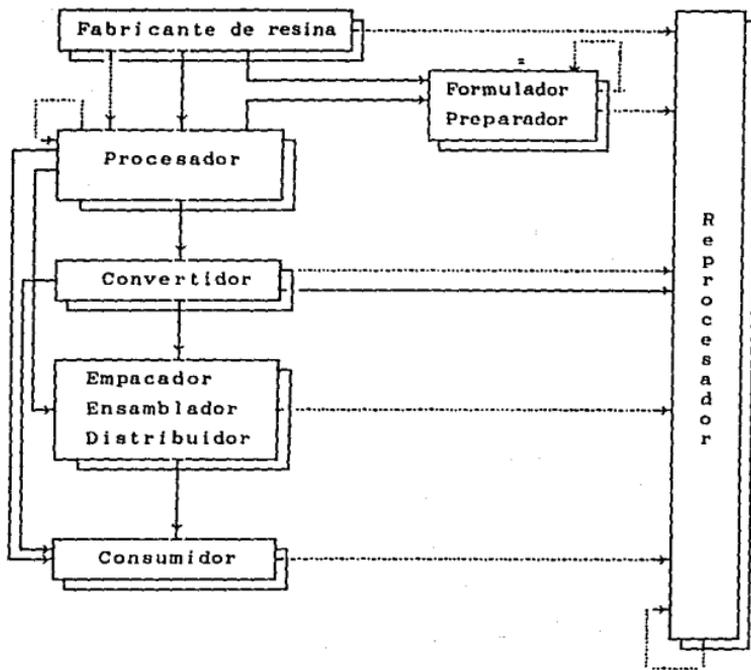


Figura No. 2.1. Ciclo del Plástico

el número de pasos en la fabricación. Por ejemplo el polietileno es de las resinas que generan menor cantidad de residuos no así en la fabricación del PVC. Este tipo de residuo puede ser reprocesado en la misma planta o venderse como material de segunda calidad.

- **Procesador.** El procesador vende su producto al convertidor, empacador, ensamblador o directamente al consumidor. Aquí la resina es sometida a procesos de moldeo, extrusión dependiendo de cual va a ser su aplicación final. Los desperdicios generados se deben fundamentalmente al arranque del equipo y purgas de los mismos. Muchos de estos residuos plásticos están relativamente limpios y pueden ser fácilmente reprocesados.
  
- **Formulación o preparación.** Esta etapa puede quedar incluida dentro de cualquiera de las dos anteriores, ya que sólo se trata de incorporar a la resina virgen, los aditivos necesarios para distribuirla posteriormente al procesador. Los residuos generados por purgas o pruebas en ocasiones alcanza hasta un 10% pero este tipo de desechos pueden ser procesados en la misma planta o vendidos para el mismo fin.
  
- **Convertidor.** Este compra el producto plástico semiterminado como por ejemplo la película plástica y lo lleva a la etapa de producto terminado. En algunos casos sólo decora la aplicación. Los residuos generados en forma de trozos o de producto terminado son más difíciles de reprocesar que los generados en las etapas anteriores, aunque al igual que estos son limpios. Una alternativa es regresar este residuo al fabricante para regranulación y mezclado con resina virgen. Pero en caso de que sea producto acabado se debe vender al reprocesador directamente.

- **Empaque, ensamble y distribución.** El producto terminado del procesador sufre necesariamente las etapas del empaque y / o ensamble y por último se vende al consumidor, aun cuando no necesariamente en forma directa. En esta etapa los desechos no son recuperables, sólo por el reprocesador.
- **Consumidor.** En este paso los residuos son los que forman los llamados residuos urbanos que constituyen un problema de la contaminación ambiental.

### 3.0 Tecnología Disponible Para el Tratamiento de Residuos Plásticos

La evolución de las tecnologías para la obtención de plásticos con mejores propiedades se ha presentado al mismo tiempo que el interés en los sistemas de proceso para la eliminación o tratamiento de residuos plásticos. Las tendencias internacionales de este tipo de sistemas se fundamentan en factores ecológicos y de conservación de recursos.

#### Factores Ecológicos

Consideran la necesidad de disponer de tecnologías menos contaminantes. Así como el tratamiento y la posible eliminación de los residuos plásticos, ya que una de las inquietudes de la sociedad contemporánea es la protección de su hábitat. Aún cuando los residuos plásticos no contaminan directamente, como residuos sólidos, sólo atentan contra el sentido de la vista. Sus consecuencias, sin embargo son mucho más graves, ya que en combinación con los demás tipos de residuos se convierten en activadores directos de la contaminación del agua, del aire y del sitio donde se encuentran depositados.

#### Factores de Conservación de Recursos

Surgen a raíz de la crisis energética mundial. El elevado costo de las materias primas y la dependencia de la supervivencia humana en el uso racional de los recursos disponibles como materias primas.

Existe una controversia, entre la búsqueda, extracción, transformación y elaboración de materias primas frente a su destrucción después de una primera utilización.

Por lo que resulta muy importante considerar los residuos sólidos urbanos como posible fuente de diversas materias primas.

### 3.1 Análisis de Tendencias Tecnológicas del Procesamiento de residuos Plásticos

Las técnicas aplicadas para el reprocesamiento de desperdicios plásticos, deben tener las siguientes características:

- Ser capaces de eliminar y disminuir el impacto ambiental que generan los desperdicios plásticos, evitando que la tecnología de procesamiento pueda ocasionar otros riesgos ambientales.
- Poder procesar los desperdicios plásticos al mismo ritmo que se generan, lo que implica, por lo general, capacidad para procesar altos volúmenes y flexibilidad para absorber fluctuaciones en la cantidad de desperdicios plásticos diarios producidos, así como, en su composición.
- Ser rentables económicamente.

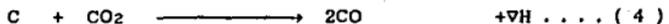
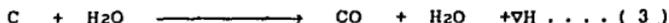
Las soluciones actuales para aprovechar los desperdicios plásticos contenidos en la basura doméstica se presentan a continuación.

#### 3.2.0 Incineración

Se define como la reducción de residuos combustibles a residuos inertes, mediante combustión controlada a altas temperaturas. Esta técnica reduce el volumen de los residuos y su peso en un intervalo que va del 80 al 90%.

Las reacciones involucradas en la combustión de residuos son:

MATERIA ORGANICA  $\longrightarrow$  GASES + LIQUIDOS + CARBON ( 1 )



La incineración puede llevarse a cabo con o sin recuperación de calor. La incineración sin recuperación de energía se emplea cuando no se cuenta con las instalaciones adicionales para aprovecharla o cuando la cantidad de desperdicios a incinerar es pequeña.

La incineración con recuperación de energía puede tomar los siguientes caminos.

- a) La Incineración de residuos para la producción de vapor, el cual puede ser utilizado para aire acondicionado de procesos industriales o en la producción de electricidad.
- b) Incineración de residuos para equipo de intercambio de calor, por ejemplo usándola como complemento del combustible en calderas.
- c) Hidrogenación. Los residuos pueden ser convertidos en aceites pesados por calentamiento bajo presión en ausencia de monóxido de carbono y vapor.
- d) Digestión anaerobia. En este proceso la fracción orgánica de los residuos es descompuesta en ausencia de oxígeno. Teniendo una producción potencial de Metano que puede ser utilizado como sustituto del gas natural.

### 3.2.1 Descripción del Proceso de Incineración

El proceso de incineración para desperdicios plásticos está compuesto regularmente de las siguientes etapas: manejo de materiales, incineración y sistema de tratamiento de los efluentes para evitar la contaminación ambiental. La figura No. 3.1 presenta el diagrama de bloques del proceso de incineración.

#### 3.2.1.1 Manejo de Materiales

El objetivo de esta operación es el de poder disponer adecuadamente del desecho, de tal forma que pueda ser cargado al incinerador. Esta etapa consta de las siguientes operaciones:

- a) Sistema de pesada. Son usados para determinar el peso de la alimentación permitiendo un mayor control del proceso y una mejor planificación de la incineración, esta operación puede ser manual en las plantas pequeñas pero totalmente automatizada en las plantas de grandes proporciones.
- b) Area de almacenamiento. Estos depósitos deben contar con una serie de características, deben ser areas cerradas evitando la exposición de los desperdicios al medio ambiente. De acuerdo al tipo de proceso de incineración (batch o continuo) se determina el tamaño de esta área, siendo de menor dimensión para el proceso continuo.
- c) Gruas. En muchas plantas de incineración son necesarias ya que el área de almacenamiento se encuentra alejada de los mecanismo de carga al incinerador. El número y tipo de gruas depende de la capacidad de incineración.
- d) Mecanismos de carga. Las unidades de incineración pequeñas son cargadas en forma semicontinua. En las unidades de alimentación continua los residuos son introducidos

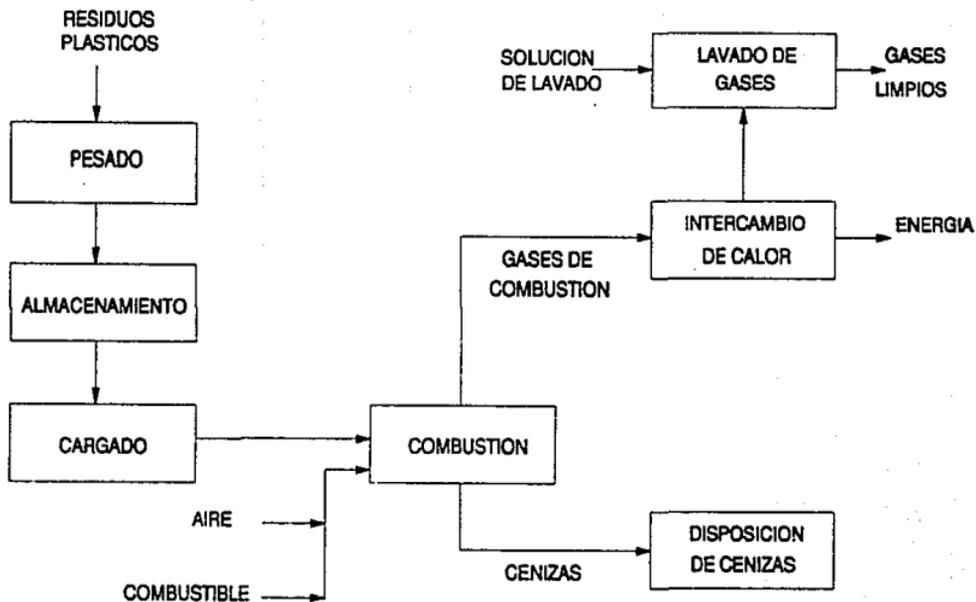


Figura No. 3.1. Diagrama de bloques, Incineración.

directamente en la cámara de combustión, usualmente a través de un conducto vertical o inclinado en el cual se precalienta con aire. La alimentación continua tiene la ventaja de minimizar irregularidades en el proceso de combustión y de disminuir el choque térmico causado por la adición de alimentación fría, así como de permitir un mejor control sobre la operación.

### 3.2.1.2 Incineración

Esta etapa está definida por el equipo donde se lleva a cabo la combustión de materiales de desecho.

Entre los incineradores exclusivamente para plásticos se encuentran los de multietapa utilizados en procesos de incineración bacht. En este tipo de horno, los desperdicios plásticos, son depositados sobre una parrilla de ignición. El gas de ignición del techo del horno se mezcla primero con aire, estos gases contienen partículas y compuestos parcialmente oxidados, por lo que pasan a una cámara secundaria de combustión donde esta se lleva a cabo totalmente; este incinerador auxiliar es utilizado, si la temperatura de los gases es baja. La figura No. 3.2 muestra un diagrama de este tipo de horno.<sup>(1)</sup>

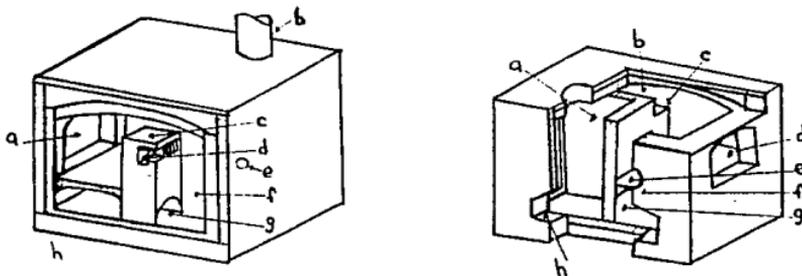


Figura No.3.2 Incinerador Multietapa

1 Leidner J.; *Plastics waste-recovery of economic value*, pp. 320-325

1.- Partes que constituyen la vista frontal:

- a ) Puerta.
- b ) Chimenea.
- c ) Salida de la flama.
- d ) Entrada secundaria de aire.
- e ) Abertura secundaria de combustión.
- f ) Camara de mezclado.
- g ) Parrilla.
- h ) Camara de ignición.

2.- Partes que componen la vista de perfil:

- a ) Camara secundaria de incineración.
- b ) Camara de mezclado.
- c ) Paso de la flama.
- d ) Puerta para limpieza.
- e ) Parrilla.
- f ) Abertura para incineración primaria.
- g ) Entrada secundaria a la parrilla.
- h ) Puertas de alimentación.

Fuente: Leidner J. Plastics Waste-Recovery of Economic Value;  
Dekker. N.Y. 1981 pp 320 - 322

Mitsubishi Heavy Industries, desarrolla un incinerador multietapa rotatorio, la incineración se realiza primero en una cámara de combustión rotatoria, este tipo de horno cuenta con un incinerador auxiliar el cual es usado para precalentar la alimentación. La incineración se realiza en una camara secundaria de combustión de tipo estacionario. La figura No. 3.3 presenta este tipo de incinerador.<sup>(1)</sup>

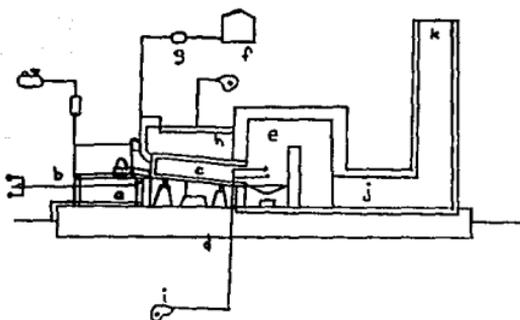


Figura No.3.3.Incinerador Multietapa Rotatorio ( Mitsubishi )

1.- Partes constituyentes del incinerador:

- a ) Caja de alimentación.
- b ) Transportador de la alimentación.
- c ) Horno rotatorio.
- d ) Unidad de manejo para el horno rotatorio.
- e ) Camara de reincineración.
- f ) Tanque de combustible.
- g ) Bomba para combustible.
- h ) Incinerador para combustible.
- i ) Aire comprimido.
- j ) Ducto de gases.
- k ) Chimenea.

Fuente: Leidner J. Plastics Waste-Recovery of Economic Value;  
 Dekker. N.Y. 1981 pp 320 - 322

Otro tipo de horno son los que cuentan con circulación de aire y que trabajan a elevadas presiones, utilizan un horno horizontal para llevar a cabo la combustión y uno vertical para completar dicha operación. Cuenta con dos adiciones suplementarias de aire durante el proceso mejorando el grado de mezclado y turbulencia. La figura No. 3.4 esquematiza a este equipo. <sup>(1)</sup>

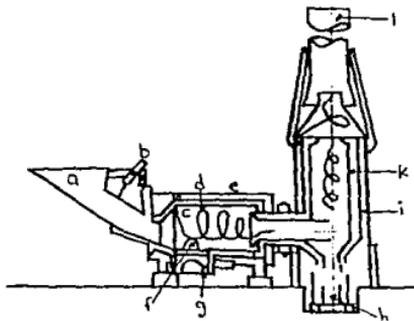


Figura No. 3.4. Incinerador con Circulación de Aire

1.- Partes que componen al incinerador:

- a ) Tolva de alimentación.
- b ) Valvula de presión de dos etapas.
- c ) Incineración auxiliar.
- d ) Corriente secundaria de aire ( en forma espiral ).
- e ) Horno primario.
- f ) Parrilla.
- g ) Corriente primaria de aire.
- h ) Caja para disposición de cenizas.
- i ) Horno auxiliar para la post-incineración.
- j ) Corriente terciaria de aire.

- k ) Horno secundario.
- l ) Torre de ventilación.

Fuente: Leidner J. Plastics Waste-Recovery of Economic Value;  
Dekker. N.Y. 1981 pp 320 - 322

Los incineradores para desperdicios plásticos cuentan con las siguientes ventajas dadas sus características específicas: buena combustión, disminución de la formación de hollín, las paredes y el fondo del horno soportan elevadas temperaturas desarrolladas en la combustión de los plásticos, constan de equipos que permiten aportar de 2.5 a 3.0 veces más aire de la cantidad teórica, están diseñados de tal forma que permiten mantener la temperatura por debajo de 1150 O C, tienen un diámetro de chimenea mayor que el de los incineradores convencionales y empleo de precalentadores para subsanar la presencia de plásticos autoestingibles.

### 3.2.1.3 Tratamiento de Efluentes

Los gases efluentes del proceso de incineración deben ser previamente tratados removiendo las partículas mediante colectores mecánicos (centrífugas), precipitadores electrostáticos y filtros. Cuando la incineración se lleva acabo sin recuperación de calor, antes de remover las partículas se deben enfriar los gases. Para esta operación se hacen circular los gases de combustión en sentido contrario a la alimentación y posteriormente se inyecta aire frío en la corriente de salida del extractor de partículas.

### Factores y Parámetros que Caracterizan la Combustión de Residuos Plásticos

a ) En general los plásticos tienen mayores poderes caloríficos y temperaturas de flama que la basura común y por tanto requieren

mayores cantidades de aire y combustibles para completar la combustión. Estas características fisicoquímicas se muestran en la tabla No. 3.1.

NOMBRE	PODER CALORIFICO ( BTU/lb)	<u>MOL O<sub>2</sub></u> lbm COMP.	TEMPERATURA DE FLAMA C
PE alta densidad	20050	3.0	2120
PE baja densidad	20020	3.0	2120
Polipropileno	20030	4.5	2120
Polibutileno	20150	6.0	2130
Hule natural	19490	7.0	2190
Poliestireno	17850	10.0	2210
Floruro de polivinilo	9180	2.8	1710
PVC	7720	2.8	1960
Oxido de PE	11470	2.5	2120
Oxido de PP	13400	4.0	2100
Policarbonato	13310	18.0	2190
Poliacrilonitrilo	13860	3.8	1860

Tabla No.3.1 Temperatura de Flama Teórica

Fuente: Leidner J. Plastics Waste-Recovery of Economic Value;  
Dekker. N.Y. 1981 pág 298.

b) Los problemas asociados con la incineración de los desperdicios plásticos están relacionados con los efectos ambientales negativos de algunos productos secundarios generados por el proceso, como los siguientes.

- Dioxinas y Furanos. Son compuestos orgánicos sintéticos que han demostrado su relación con la aparición de defectos en los nacimientos, cáncer y fallas del sistema inmunológico. La forma en que se producen estos compuestos en el proceso de incineración aun no está totalmente determinada pero algunas investigaciones sugieren que un factor causante es la combustión incompleta de la materia a incinerar y su combinación con el cloro. De ahí que la incineración de residuos plásticos clorados represente un peligro ambiental potencial.
- Metales pesados como el plomo y el cadmio, utilizados en la fabricación de aditivos de diversos polímeros están presentes tanto en los gases de combustión como en las escorias. El Cadmio se considera como cancerígeno potencial. El Plomo ha sido relacionado con deterioros neurológicos y del sistema reproductor. Estos residuos son eliminados en los vertederos donde los metales pesados presentan una tendencia a filtrarse en las aguas subterráneas. Existe además un movimiento hacia el escalonamiento limitado de algunos aditivos conteniendo metales pesados se ha hecho evidente en las formulaciones de los productos.
- Gases Ácidos. El 10% de los plásticos presentes en este tipo de residuos contribuyen a las emisiones de gases ácidos. En este grupo se incluye el cloruro de polivinilo, (relacionado con las emisiones de ácido clorhídrico), nylon y poliuretanos (óxidos de nitrógeno). Estos gases están identificados como elementos contribuyentes a la formación de

lluvia ácida y a los problemas de corrosión presentes en el incinerador, si los residuos contienen agua.

- Hollín. La combustión imperfecta de los plásticos conducen a la formación de hollín. Los plásticos requieren de 3 a 10 veces más aire que la basura común, si son incinerados en un horno convencional tendrán una deficiencia de oxígeno.
- Eliminación de agua. Cuando hay producción de ácido clorhídrico en el proceso de incineración este se elimina con absorción con agua o por medios químicos. El agua acidificada no puede ser eliminada sin un tratamiento previo.
- Daños causados por el exceso de calor. Las temperaturas generadas durante la combustión de plásticos son muchas más altas que las que se alcanzan durante la combustión de la basura común causando así daños al incinerador.

Existen otra serie de inconvenientes, además de los ya mencionados para la incineración. La escasa densidad de los materiales plásticos hacen que estos ocupen un gran volumen, tanto en la fosa del horno como en el sistema de alimentación lo que reduce la capacidad de la instalación. La incineración es una tecnología costosa que requiere de personal calificado, de mantenimiento continuo del equipo y de una operación muy cuidadosa con el fin de evitar daños al medio ambiente en general. Por estas características, esta tecnología no debe usarse en áreas donde se carece de una infraestructura capaz de evaluar de manera confiable y continua la calidad del medio, apoyada por la legislación correspondiente.

### 3.3.0 Pirólisis

En la década de los 70's, la crisis energética mundial se agrupo a la problemática de los residuos plásticos, y se vio a la pirólisis como la vía de aprovechamiento ideal para este tipo de residuos en general, y de películas en particular. La pirólisis consiste en el calentamiento de las fracciones de plástico a altas temperaturas en ausencia de aire y a la obtención de componentes reciclables o utilizables como combustibles, incluso para el propio proceso de pirólisis. En este proceso se efectúan las siguientes reacciones:

- Despolimerización a monómeros
- Fragmentación de las cadenas, dando lugar a materiales de bajo peso molecular
- La formación de compuestos insaturados, entrecruzamientos, etc.

La figura No. 3.5. presenta el diagrama de bloques del proceso de pirólisis.

#### 3.3.1 Despolimerización de Polímeros

Entre los polímeros que se despolimerizan a sus monómeros de partida, se encuentran el polimetacrilato de metilo, poliestireno, polietileno y teflón. El primero presenta rendimientos del 100% mientras que los restantes exigen condiciones de mayor control para obtener altos rendimientos como se muestra en la tabla No. 3.2. Los mecanismos de polimerización y despolimerización son similares, pero estos últimos requieren de energía. Si representáramos las constantes de rapidez de ambos procesos en función del inverso de la temperatura,  $1/T_{emp}$ , temperatura absoluta, ambas líneas se cortan en un punto cuya temperatura corresponde a aquella por encima de la cual tiene lugar la despolimerización.

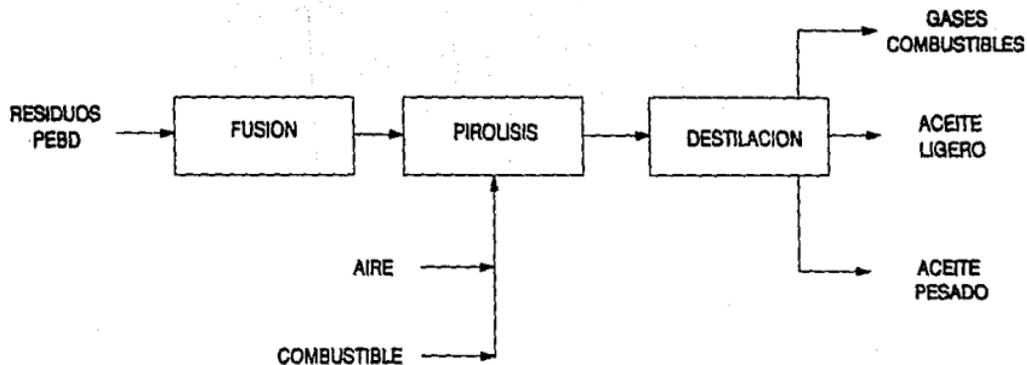


Figura No. 3.5.

Diagrama de bloques, Pirólisis.

Los polímeros que se descomponen en sus monómeros son mostrados en la siguiente tabla.

POLIMERO	% DE MONOMERO OBTENIDO
POLIMETACRILATO DE METILO	100%
POLIESTIRENO	40% DE MONOMERO A 300 - 400 C. EL % AUMENTA A MAYOR $P_{M2}$ FRAGMENTA POR DEBAJO DE 500 C Y ES MAS ALTA A MAYOR $P_{M2}$ .
POLIETILENO	APARICION DE FRAGMENTOS A 400 C
POLITETRAFLUOROETILENO	95% DEL MONOMERO A 500 C 16% A 600 C Y P. ATMOSFERICA APARICION DE FRAGMENTOS 1200 C Y BAJA PRESION.

Tabla No.3.2 Polímeros que dan Lugar a Monómeros

Fuente: Zerlaut y Stake A.M.; " Chemical Aspects of Plastic Waste Management "; Recycling and Disposal of Solid Waste; Ann Arbor Science Publishers 1974.

El comportamiento cinético de los polimeros durante la degradación térmica ocurre entre los siguientes limites.

- a) La degradación térmica ocurre con una gran producción inicial de compuestos gaseosos y una lenta disminución del peso molecular del polímero.
- b) La producción de gases es pobre pero la disminución del peso molecular del polímero es rápida, debido a la ruptura de la cadena polimerica en puntos al azar, como sucede con el PE.

Dependiendo del diseño del proceso de pirólisis, el producto resultante puede estar constituido por un monómero, polímero de bajo peso molecular o una mezcla de varios hidrocarburos.

La figura 3.6 muestra los productos principales de la descomposición térmica del polietileno, poliestireno y cloruro de polivinilo. (2).

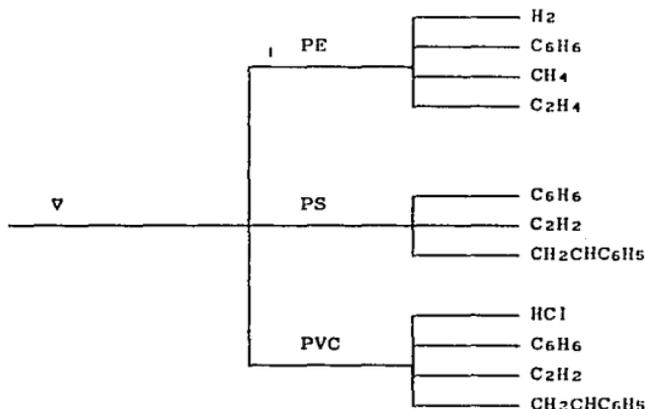


Figura No. 3.6 Productos de la pirólisis del PE, PS y PVC

2 Banks M.E.; New Chemical Concepts for Utilization of Waste Plastics; Report SW-1GC for the U.S. E.P.A. 1971

### 3.3.2 Mecanismos de degradación térmica

#### 3.3.2.1 Polietileno

Los productos de reacción de la degradación térmica del polietileno están constituidos fundamentalmente por parafinas de bajo peso molecular (hasta 50) en lugar del monómero. Esta reacción que ocurre entre 600 y 710 K es de orden cero en un amplio intervalo de peso molecular. Una vez iniciado el proceso, el mecanismo probablemente consiste de un rompimiento en cadena de grandes fragmentos moleculares.

La figura No. 3.7 muestra la cinética del producto de formación de la descomposición térmica del polietileno. La figura 3.8 muestra la ruta de reacción más viable así como las especies obtenidas. La figura No. 3.7., se complementa con las tablas No. 3.3 , 3.4 y 3.5 que muestran la cinética de descomposición del polietileno a 635 K, 650 K y 673 K respectivamente.

El resultado del equilibrio muestra la formación de Benceno ( a 733 K y 1 atm). Las reacciones intermedias dan productos como etano, propano, etilbenceno y orto, meta, paradimetil benceno.

#### 3.3.4 Parámetros que Afectan el Proceso de Pirólisis

El rendimiento del proceso de pirólisis depende fundamentalmente del tiempo de residencia, la temperatura, el tamaño de partícula alimentado al pirólizador y la atmósfera utiliza (oxígeno, aire y vapor, etc.). Su influencia se observa en el siguiente diagrama.

# PIROLISIS DEL POLIETILENO

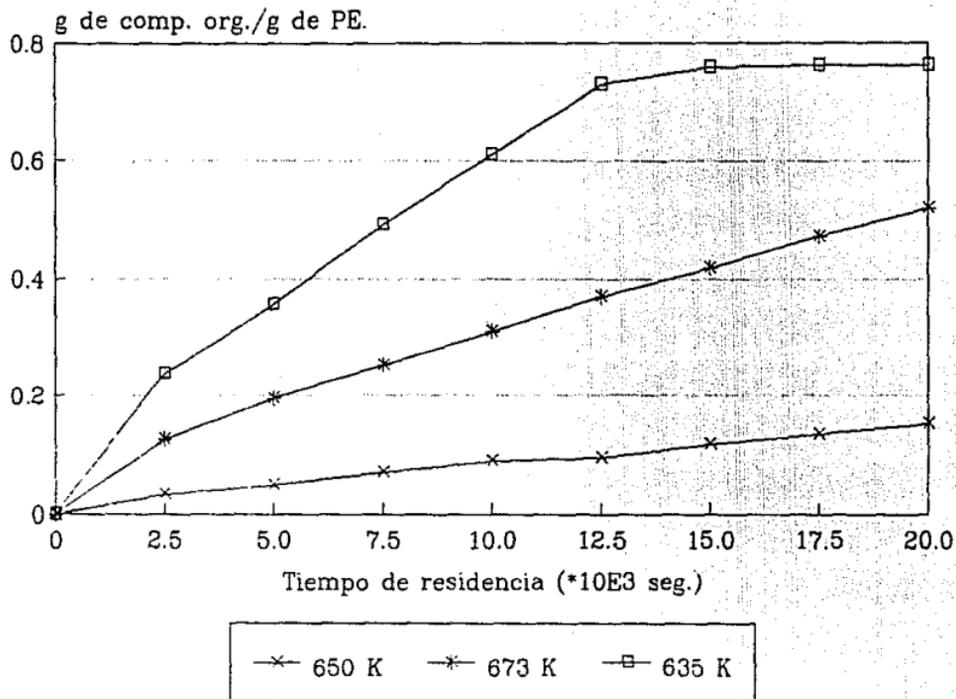
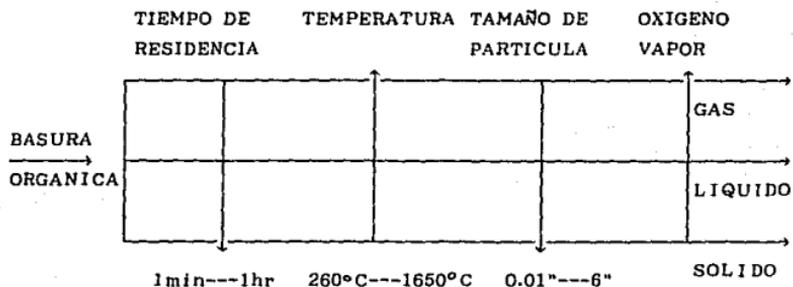


Figura No. 3.7.

Diagrama de Parámetros que Influyen en la Pirólisis



X	Y
204.385	0.020433
1322.115	0.138200
1706.731	0.168270
2283.654	0.198320
2932.692	0.250000
5000.000	0.352160
10000.000	0.608170
12043.269	0.713940
12524.039	0.740400
12884.615	0.750000
13485.577	0.761418
14326.923	0.765625
15000.000	0.768029
20000.000	0.774038

Tabla No. 3.3. Cinética de la Pirólisis del Polietileno, 635 K  
Fuente: Report SW-1GC Environmental Protection Agency, 1971

Nota:

X = tiempo de residencia en segundos.

Y = gramos de producto / gramos de PE.

X	Y
673.077	0.024038
5000.000	0.049279
10000.000	0.087740
15000.000	0.123798
20000.000	0.156250

Tabla No. 3.4. Cinética de la Pirólisis del Polietileno, 650 K  
Fuente: Report SW-1GC Environmental Protection Agency, 1971

X	Y
432.692	0.018028
1250.000	0.072115
2283.654	0.111780
3605.769	0.156250
5000.000	0.192307
7235.577	0.250000
10000.000	0.310096
15000.000	0.418270
20000.000	0.530050

Tabla No. 3.5. Cinética de la Pirólisis del Polietileno, 673 K  
Fuente: Report SW-1GC Environmental Protection Agency, 1971

ENERGIA LIBRE  
DEL SISTEMA

PRODUCTOS

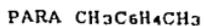
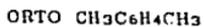
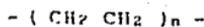
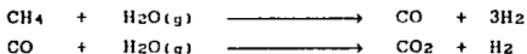


Figura No. 3.8. Descomposición Térmica del Polietileno

Un aumento en la temperatura de la pirólisis produce los siguientes efectos en el rendimiento del producto:

- 1.-) Disminuye los residuos sólidos pero también se incrementa la conversión de carbono en productos gaseosos.
- 2.-) La cantidad de agua decrece, así como sus reacciones con metano y monóxido de carbono.



- 3.-) La cantidad de aceites ligeros condensados disminuye, así como las reacciones de desintegración, las cuales dan productos de bajo peso molecular.
- 4.-) El rendimiento de gas y su poder calorífico aumenta con la temperatura.

La preparación del flujo alimentación es un parámetro importante ya que si se tiene una alimentación constituida de partículas pequeñas y uniformes. La operación del proceso es más fácil de controlar con parámetros como temperatura, tiempo de residencia y medio de calentamiento.

Entre las ventajas de la pirólisis para aprovechamiento de residuos plásticos se pueden mencionar:

- Es un tratamiento economicamente viable para la mayoría de los residuos sólidos urbanos.
- Permite reducir el volumen de los residuos en un 90% o más.

- Produce energía en forma de gas, aceites, carbón, etc.
- Presenta la posibilidad de recuperar compuestos químicos.
- Como apenas produce oxidación podemos recuperar los compuestos metálicos, después de que se ha producido la pirólisis de los productos orgánicos.
- Baja contaminación, si se tiene un control eficiente del proceso.
- Flexibilidad en cuanto al lugar de instalación de la planta, ya que el transporte de materia prima tiene un costo relativamente bajo.

Algunas de las desventajas más relevantes de la pirólisis son:

- La necesidad de operar en grandes unidades para obtener rendimientos aceptables.
- La necesidad de trabajar con composiciones uniformes de la alimentación para poder controlar adecuadamente las variables del proceso.
- La dificultad en la separación de las mezclas gaseosas que son generalmente más complejas que las que se obtienen en la descomposición térmica del petróleo.
- La generación de gases residuales peligrosos, por su toxicidad, corrosividad y en muchas ocasiones fuertemente reactivos con posibilidades de producir mezclas explosivas.

### 3.4.0 Composteo

Es una técnica que permite reutilizar buena parte de los residuos sólidos y se clasifica en: composteo lento y composteo acelerado.

El composteo lento se realiza al aire libre y el composteo acelerado se lleva a cabo en reactores fermentadores. Su aplicación es relativamente fácil y puede efectuarse en plantas pequeñas, sin embargo su desarrollo ha disminuido debido a las frecuentes dificultades que existen para vender la composta ( compuesto de abono obtenido a partir de la basura ).

El propósito del composteo es convertir la basura biodegradable en composta útil para la agricultura, mejoradores de suelos. Este proceso controla la fermentación aerobia de la basura, lo que ocurre naturalmente por la acción de los microorganismos, el tiempo de duración del proceso depende del tipo de composteo de que se trate, el lento dura de uno a tres meses mientras que en el acelerado dura de dos a ocho días. En el primero se necesita de un área mayor, mientras que en el segundo de una mayor inversión.

El proceso de composteo lento consiste en separar el material no fermentable, para posteriormente triturar la fracción fermentable apilándola en patios al aire libre o en covertedizos, dependiendo de las condiciones climatológicas. Las pilas de composta se revuelven al menos, tres veces durante el proceso, la primera entre el tercero y el decimo día, la segunda entre el décimo y el vigésimo y la tercera entre el día cuadragésimo y el nonagésimo . El primer volteo se realizará hasta que la temperatura interna del material alcance la temperatura de 65°C y el último cuando está se estabilice.

Finalmente, la composta se depura mediante un tamizado fino. Los productos que se separan ( plásticos, vidrio, metales, etc. ) a menudo se venden o se envían a un relleno sanitario. El rechazo de materiales en el composteo generalmente es de menos del 50% del peso inicial de la basura.

En el proceso de composteo por fermentación acelerada, una vez separada y molida la materia, se introduce a un reactor en el que se agregan agua y aire en cantidades óptimas requeridas para la fermentación, manteniendo la carga en constante agitación. Con un monitoreo adecuado se obtiene una composta de alta calidad en un lapso corto. El producto se depura al igual que en el proceso lento y se deposita finalmente en un sitio llamado de maduración, en el cual la fermentación continúa lentamente hasta alcanzar el punto requerido.

Las figuras No. 3.9. y 3.10. presentan el diagrama de bloques del composteo para la fermentación rápida y lenta.

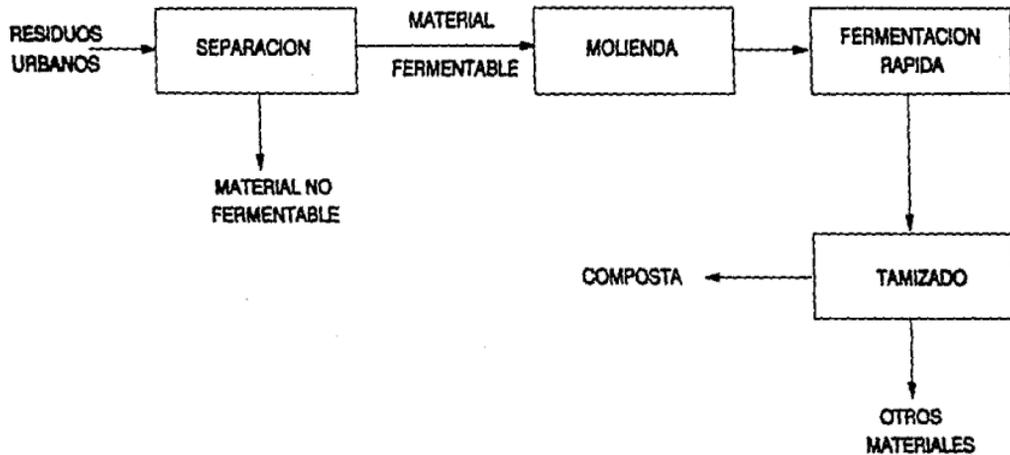


Figura No. 3.9.

Diagrama de bloques, Composteo por Fermentación rápida.

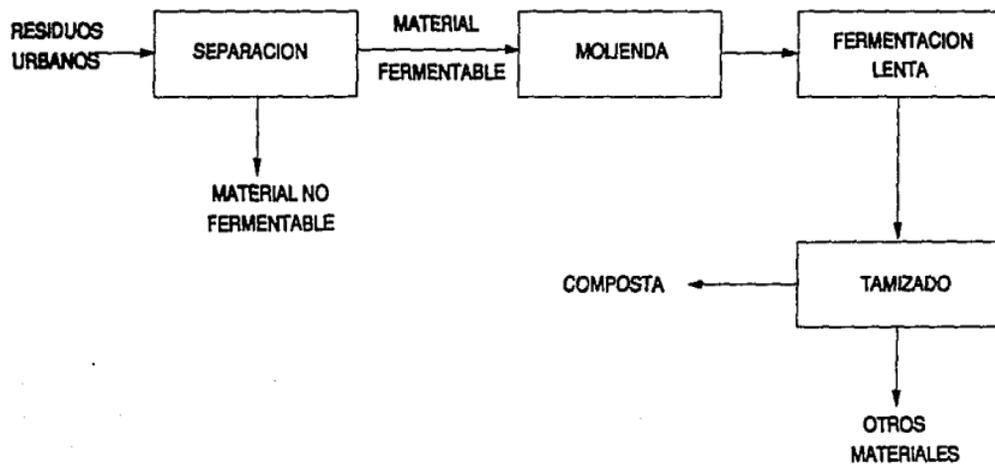


Figura No. 3.10.

Diagrama de bloques, Composteo por Fermentación lenta.

### 3.5.0 Relleno Sanitario

El relleno sanitario es el método más común para el tratamiento de residuos urbanos y también es el método de eliminación final de los desechos. En este proceso un gran número de componentes con valor potencial se pierden. Existen dos técnicas para el relleno: tiraderos al aire libre y relleno sanitario.

#### 3.5.1 Tiraderos al Aire Libre

Fue el método más usado para la eliminación de residuos. Por este método los residuos son depositados en áreas abiertas donde se lleva a cabo el proceso de descomposición de la basura. Presenta como única ventaja el bajo costo para la eliminación de los residuos y en contraparte presenta varias desventajas:

- 1.-) Mal olor debido a que la fermentación de la basura se desarrolla lenta y descontroladamente, involucrando los procesos anaerobios y aerobios. Resultando la formación de compuestos mal olientes que gracias al viento se perciben a grandes distancias.
- 2.-) Proliferación de roedores, Encuentran en el tiradero un lugar ideal para vivir; sin embargo no permanecen en el tiradero sino que emigran a zonas aledañas a éste, trayendo consigo enfermedades como la malaria, la amibiasis, la rabia, la tifoidea, etc.
- 3.-) Gérmenes patógenos. Se originan de los residuos de los hospitales y de rastros ( los cuales frecuentemente se mezclan con los desechos domésticos ) y al estar en el tiradero pueden ser diseminados por el aire, mediante insectos o roedores provocando graves riesgos a la salud.

- 4.-) Incendios y contaminación del aire. Al descomponerse la basura puede alcanzar temperaturas entre 40 y 60 C aunado a esto está la producción de metano, resultando muy alta la probabilidad de incendios prolongados ocasionados por la lenta combustión de la basura, incrementando de esta forma la contaminación atmosférica.
- 5.-) Contaminación de aguas. Debido a la pésima planeación en cuanto a ubicación de tiraderos frecuentemente se les localiza cerca de ríos, arroyos y lagunas contaminando las aguas. Otro efecto es que al llover, el agua se infiltra a través de la basura en fermentación arrastrando diferentes compuestos solubles, formando soluciones corrosivas e inestables que al seguir infiltrándose por el suelo contamina los mantos freáticos.
- 6.-) Contaminación del suelo y degradación del área. Es un resultado de que los tiraderos ocupen una gran extensión de terreno y de que muchos residuos no sean degradables, el terreno se inutiliza para cualquier otro fin y también el suelo es afectado por la infiltración de lixiviados.

Aun se utiliza este método para la disposición de residuos pero su importancia esta disminuyendo.

### 3.5.2. Relleno Sanitario

Esta es una técnica que utiliza operaciones muy simples debido a lo anterior, su costo es bajo y su uso está muy extendido por todo el mundo y continuará siendo el más utilizado, mientras haya terreno disponible. Aún cuando se apliquen otros métodos para el tratamiento de dichos residuos, es necesario contar con un relleno para disponer los residuos improcesables ( por ejemplo : cenizas de un incinerador o material no biodegradable ).

También se usa como una solución alterna en caso de paro o mal funcionamiento del método empleado.

El relleno sanitario consiste en depositar y cubrir en la tierra los desechos de acuerdo con una localización previamente estudiada y principios de operación definidos, de modo que se elimine cualquier riesgo a la salud y al medio ambiente. Requiere de poca inversión pero de gran cantidad de material de cubierta: arena, arcilla y otros. El relleno sanitario se lleva a cabo en cuatro operaciones básicas:

- a.-) Los residuos sólidos son depositados de manera controlada en el área preparada.
- b.-) Los residuos sólidos son extendidos y compactados en capas finas.
- c.-) Los residuos sólidos son cubiertos diariamente o más frecuentemente si es necesario, con capas de tierra.
- d.-) El material cubierto es compactado diariamente.

El relleno sanitario puede clasificarse en : convencional, con alta compactación o con molienda previa.

En el primero la basura se distribuye en capas de 2 a 3 metros de espesor, cada tramo nuevo que se deposita se cubre diariamente con una capa de material de cubierta con un espesor no menor de 40 centímetros. En esta forma se reducen olores y se evita la propagación de las larvas de moscas, así como la infestación de roedores; también se previene posibles incendios y la degradación del medio ambiente.

El relleno sanitario con compactación la basura se distribuye en capas sucesivas que se compactan enseguida. El espesor de la capa después de la compactación no debe exceder 2.5 metros. Al igual que en el relleno anterior se debe cubrir diariamente con una capa de material inerte por las razones ya mencionadas. En este tipo de relleno se requiere de equipo pesado reduciendo así la necesidad del material de cubierta.

En el relleno sanitario con molienda previa, la basura se tritura hasta que cada pieza no exceda un tamaño de 5 a 8 centímetros, posteriormente se transporta al relleno y se distribuye en capas delgadas, generalmente de 50 cm. de espesor. Por este camino se evita compactar los desechos y así se agiliza su fermentación en contacto con el aire, sólo se puede depositar una capa de basura una vez que se ha estabilizado lo anterior, lo cual tarda alrededor de tres meses. El equipo necesario comprende de un sistema triturador compuesto por molinos y cribas pero de menos material de cubierta.

Cualquiera que sea el tipo de relleno sanitario se requiere un mínimo de 60 cm. como cubierta final.

Otro tipo de clasificación, dependiendo del tipo de colocación del residuo en el relleno, es la siguiente: método de trinchera, de área y de rampa.

- El método de trinchera. Consiste en la excavación de una o varias trincheras con dirección normal a los vientos dominantes de la región, una vez terminada la zanja se deposita la basura en ella y se compacta para luego cubrirla con una capa de tierra que de hecho es la tierra de excavación de la misma zanja. Aquí se dispone de grandes cantidades de material de recubrimiento, ya que la cantidad excavada es

mucho mayor que la utilizada.

El fondo de las trincheras debe tener una ligera pendiente que permita un drenaje adecuado de las celdas; la misma precaución debe tomarse con la cubierta para evitar la entrada de agua por la superficie. Este método es adecuado para terrenos más o menos planos, generalmente se usa cuando el nivel de agua subterránea es bajo y la capa de tierra en el suelo tiene un espesor mayor de 2 metros.

- Método de área. Consiste en esparcir los desechos conforme van siendo descargados, compactados contra la base de los taludes naturales o artificiales que se tengan y posteriormente cubrirlos con una capa de tierra, que puede obtenerse en el sitio o ser traída de algún lugar cercano. Este método es utilizado cuando se tienen taludes naturales o artificiales, hondonadas, barrancas, depresiones, excavaciones para banco de material y un nivel alto de aguas freáticas. Las celdas formadas deben compactarse al máximo con el fin de tener una alta resistencia a los escurrimientos producidos por las lluvias y disminuir la cantidad de lixiviado. Ofrece la ventaja de poder acomodar grandes volúmenes de basura.
  
- Método de rampa. Se usa de preferencia en terrenos con pendiente o rampa natural, ondulados y también en lugares pantanosos y de alto nivel freático. La basura se vuelca en la pendiente, se compacta y se recubre con una capa de tierra, se continua con este procedimiento avanzando sobre el terreno conservando la rampa. Combina características de los dos métodos descritos anteriormente.

Se pueden utilizar uno o combinar estos métodos en el mismo sitio de relleno.

Cualquiera que sea el tipo de relleno sanitario debe de reunir las siguientes características:

Antes de instalar un relleno, se realiza un estudio geológico en el sitio proyectado, ya que la composición y la estructura del estrato geológico tiene que ser capaz de evitar cualquier riesgo de contaminación de agua subterránea, también se debe estudiar el posible daño debido a escurrimientos. En algunas ocasiones es necesario tomar medidas especiales de protección, como sellar el fondo del relleno, construir drenajes y proveer el tratamiento de lixiviados entre otras cosas.

Debe existir vigilancia dentro del relleno para prevenir posibles incendios y evitar las labores de pepenadores. La entrada y salida del sitio deben estar claramente señalados.

El relleno debe estar alambrado en el área de trabajo y contar con barreras de arboles que impidan su visibilidad desde carreteras o lugares cercanos habitados.

Al final de su vida útil, el relleno debe cubrirse con una capa de tierra cuyo espesor fluctúa entre 20 cm y 3 m, dependiendo del uso final previsto para el sitio.

Por ultimo el relleno sanitario puede ser usado como parque, campo deportivo, para agricultura o fines comerciales, lo más común es el uso recreativo.

Esta técnica presenta la ventaja de ser relativamente simple en cuanto a equipo utilizado y al desarrollo en si del proceso. No se esta hablando de una rentabilidad económica ya que sólo se esta solucionando el problema de los residuos sólidos sin obtener otro tipo de beneficio adicional.

Este proceso sólo debe utilizarse para residuos improcesables porque se estaría enterrando prácticamente materia prima para otro tipo de tecnologías en pleno desarrollo.

### 3.5.3. Comportamiento de los Plásticos en el Relleno Sanitario

Existen diversas opiniones acerca del comportamiento de los residuos plásticos en el relleno sanitario, como por ejemplo, la que sostiene que los plásticos reducen la eficiencia del proceso de tratamiento, ya que son más voluminosos que otros materiales y básicamente la misma cantidad requiere un espacio de disposición más grande. También se descomponen muy lentamente y alargan el tiempo para reusar el sitio del relleno. Por otro lado se dice que los plásticos no reducen la efectividad del proceso de tratamiento y que bajo el peso del equipo de compactación, los plásticos son comprimidos a la misma densidad que los otros materiales. Además los plásticos no son solubles en agua y se descomponen lentamente en productos usualmente inertes y por lo que no hay contaminación de los mantos acuíferos.

Desafortunadamente hay muy pocos datos disponibles acerca del comportamiento de los plásticos en el relleno sanitario. Por lo que no es posible confirmar o rechazar cualquiera de estos dos puntos de vista. Sin embargo se sabe que los plásticos en el relleno sanitario se descomponen por la combinación de factores como oxidación, hidrólisis, ataque por microorganismos, rompimiento por tensión, etc. pero también es conocido que se trata de un proceso lento.

### 3.6.0. Degradación

Las aplicaciones tradicionales de los polímeros están basadas en que son relativamente inertes a la biodegradación, comparados con macromoléculas naturales, como celulosa y proteínas. Anteriormente se estudiaba la degradación para hacer más resistentes a los polímeros a ataques por bacterias, insectos, roedores, etc. pero ahora como su consumo se ha extendido de forma acelerada, el incentivo más importante para el estudio de la biodegradabilidad del polímero es llevar a cabo de una manera más sencilla la eliminación de éstos, después de haber finalizado su ciclo de vida útil.

Sin embargo al hablar de degradación debemos abarcar dos de las más importantes la biodegradación ya mencionada y la fotodegradación.

#### 3.6.1. Biodegradación

Podemos definir la biodegradación como la degradación y asimilación que sufren algunos polímeros, por ejemplo plásticos, por la acción de organismos vivos, los principales organismos son hongos y bacterias, la degradación se facilita con frecuencia, por el rompimiento oxidativo e hidrolítico del polímero debido a la exposición ambiental. Se considera la parte más representativa de la degradación ambiental. En la actualidad constituye el objeto de numerosas investigaciones por parte de los científicos, industriales y ecologistas por el problema anteriormente planteado.

##### 3.6.1.1. Plásticos Cargados con Almidón

El método que incorpora almidón como aditivo para ayudar a llevar a cabo la biodegradación de plásticos, es uno de los más

difundidos e investigados a nivel mundial. En algunos casos el almidón es de superficie modificada mostrando caracter hidrofóbico, para asegurar su compatibilidad con el plástico ( almidón de tipo Ecostar ).

El almidón es biodegradado por bacterias y hongos que pueden conducir al desencadenamiento de la rotura de la matriz del plástico, abriéndola de esta forma a ataques químicos y biológicos.

El almidón ( de tipo Ecostar ) se ha incorporado incluso en niveles de 50% en películas de poliéster en Inglaterra. Dando como resultado una película microporosa y transpirable, la cual es utilizada en varios productos higiénicos, donde se requiere una velocidad de degradación elevada.

Otro tipo de almidón modificado es el Degrastar especialmente utilizado para películas de acolchado y abono y la ventaja que presenta con respecto al anterior es una mayor velocidad de degradación. Gerry Griffin, del Instituto de Investigación de Materiales Ecológicos ( Inglaterra ) ha desarrollado fórmulas que no presentan el problema de la pérdida de resistencia de los plásticos cargados con esta clase de almidón. Las nuevas formulaciones dan un período de inducción controlable, más sensible a la temperatura, este almidón sólo ha alcanzado un nivel de carga entre 15 y 25%.

### 3.6.1.2. Pruebas para Biodegradación

#### 3.6.1.2.1. Inhumación

Es un método tradicional para probar la biodegradación de muestras, ya que tendría similitud con las condiciones de los depósitos, rellenos sanitarios, de basura. Desafortunadamente no

es un método reproducible porque es difícil controlar factores climatológicos y la existencia de varios sistemas biológicos.

El procedimiento consiste en enterrar las muestras en el suelo por un lapso comprendido hasta de dos años, al final de este período se estudian los cambios en propiedades tales como peso, resistencia mecánica, forma, etc. Este método sólo proporciona información cualitativa de biodegradación, y constituye un principio para promover más métodos de prueba.

#### 3.6.1.2.2 Resistencia de plásticos a los hongos ( ASTM G21-70 )

Es un método adoptado por muchos centros y asociaciones de investigación. En esta prueba los microorganismos se colocan en un medio deficiente de carbón. El medio y las muestras son incubadas por tres semanas. Dependiendo del polímero involucrado se registra o no un crecimiento en el cultivo. Al término de las tres semanas se examina la muestra y se le asigna un código con respecto al crecimiento del cultivo.

ESCALA	CARACTERISTICAS
0	Sin crecimiento visible.
1	10% de la superficie muestra crecimiento.
2	10-30% ( Crecimiento ligero ).
3	30-60% ( Crecimiento mediano ).
4	60-100% ( Crecimiento denso ).

Para el mismo propósito también se puede utilizar el método ASTM 22-76, en el cual la única variante es que se usan bacterias en lugar de hongos.

Los resultados obtenidos en estas pruebas no son concluyentes ya que no se ha determinado si el crecimiento de microorganismos se

debe al carbón del plástico o a los aditivos del mismo. Sin embargo para el obtener la prueba negativa nos muestra que el plástico no puede ser atacado por microorganismos por lo tanto no es biodegradable.

### 3.6.1.3. Métodos para Determinar la Magnitud de la Biodegradación

#### 3.6.1.3.1. Método del Plato Petri

Una muestra del polímero se deposita en el Plato Petri, secado y pesado previamente, junto con un solvente para moldear. Los nutrientes del agar son vertidos sobre el polímero, el cual queda listo para ser incubado, en un período que comprende de 3 a 4 semanas, después del cual el agar y el cultivo son lavados se seca el plato y se pesa para determinar pérdida de peso. Haciendo la medición de las propiedades físicas correspondientes. (3).

#### 3.6.1.3.2. Método de zona clara

El polímero se pulveriza finamente y se suspende en un medio nutriente sobre un Plato Petri, al término del tiempo de incubación si hay aparición de zonas claras alrededor de la colonia implica que el plástico se degrada. (4).

#### 3.6.1.3.3. Método de placa

El polímero es finamente dividido y se suspende en un caldo

<sup>3</sup> Fields, 1973 pp. 1244

<sup>4</sup> Fields, 1973 pp 1247

nutriente en un frasco de agitación el cual contiene bacterias, que presentan un crecimiento regular al ser incubadas. Esta prueba se realiza en presencia de otras fuentes de carbon y aun así muchos plásticos no se degradan en presencia de estos microorganismos. En algunos casos éstos mejoran la hidrólisis de los grupos funcionales a lo largo de la cadena polimérica.<sup>(5)</sup>.

#### 3.6.1.3.4. Método del carbono radiactivo

Este es uno de los estudios más recientes, por lo que toca a la biodegradación de plásticos, se utiliza el carbono 14 como indicador de la rapidez de la biodegradación.

Se ha realizado con muestras de polietileno. Mediante comparación de la radiactividad del polímero marcado, se determina el porcentaje en peso de carbón que fue descompuesto. Esta prueba no sufre interferencias por aditivos o impurezas pero si es sensible a la presencia de moléculas poliméricas de bajo peso molecular marcadas dentro de la muestra.

#### 3.6.1.4. Parámetros que Afectan la Biodegradación

Los parámetros implican fundamentalmente al plástico y al cultivo de microorganismos. En cuanto al plástico los principales factores son su estructura, morfología y peso molecular.

##### 3.6.1.4.1 Estructura del polímero

La mayoría de los polímeros sintéticos, biodegradables presentan

5 Jean - Hdo, 1961 pp 317

uniones hidrolizables a lo largo de la cadena polimérica, como por ejemplo uniones de amidas, enaminas, ester, urea, etc. Otro factor a estudiar es la estereoquímica del polímero, fueron sintetizados ester-ureas monoméricas y poliméricas el resultado obtenido fue que el L-isómero puro fue degradado mucho más rápido que el D,L-isómeros. Como la mayoría de las reacciones enzimáticas se llevan a cabo en medio acuoso, el carácter hidrofílico o hidrofóbico del polímero es un factor importante, al parecer los polímeros que contienen segmentos con ambos comportamientos se degradan más fácilmente que las que presentan una estructura hidrofílica o hidrofóbica exclusivamente. Además el polímero sintético para ser degradado por catálisis enzimática su cadena debe tener la suficiente flexibilidad para caber en el sitio activo de la enzima. Los polímeros aromáticos rígidos son considerados generalmente inertes. <sup>(6)</sup>.

#### 3.6.1.4.2. Morfológico

Los polímeros generalmente tienen unidades pequeñas de repetición a lo largo de su cadena y así regularmente aumentar su cristalización haciendo inaccesibles los grupos hidrolizables a la enzima. En polímeros semicristalinos, su región amorfa es degradada primero que la cristalina, esto se relaciona con el menor orden de arreglo de la primera área lo que permite el acceso de la enzima.

#### 3.6.1.4.3. Peso molecular

Existen muchos estudios acerca de como afecta la variación del peso molecular a la degradación del polímero pero esto depende marcadamente del tipo de polímero del que se trate.

<sup>6</sup> Nykvist, 1973, pp 13 - 16

En cuanto al cultivo de microorganismos los factores implicados son temperatura, pH, humedad y disponibilidad de nutrientes.

Los microorganismos difieren en cuanto a sus requerimientos de pH, temperatura y oxígeno. Por ejemplo los hongos necesitan oxígeno, pH mayor de 4 y temperatura en un intervalo de 20 a 45 C para reproducirse y crecer; las levaduras requieren condiciones similares pero mayor cantidad de carbohidratos. Las bacterias en cambio pueden ser aerobias o anaerobias, pH de 5 a 7.

Como la degradación microbiana se debe a acción enzimática, la temperatura es un factor fundamental ya que al incrementar ésta la rapidez de las reacciones catalizadas por enzimas se ven favorecidas.

En el caso de los plásticos, su degradación es influida por los aditivos que contiene, como antioxidantes, plastificantes, lubricantes, colorantes, etc. Algunos de ellos pueden ser biodegradables pero otros no, y como parte del plástico se deben tener en consideración. (7).

#### 3.6.1.5. Desventajas de la Biodegradación

- El proceso aún no es perfectamente conocido y por lo cual aún no es controlable, por estar en etapa de investigación.
- Posible toxicidad y efectos colaterales indeseables ( en el envase y contenido ) de los aditivos necesarios para lograr un material degradable.
- Falta del control del fenómeno, tanto para precisar el inicio de la degradación como los problemas subsecuentes.

7 Nykvist, 1973, pp 13 - 16

- Alteración o eliminación de propiedades y características inherentes a los plásticos convencionales. Transformar propiedades de color, consistencia, elasticidad, resistencia, versatilidad de uso, disponibilidad, etc. del polímero en decremento de su calidad.
- Posibles problemas de carácter técnico en la elaboración del plástico degradable como la modificación del proceso en equipos e instalaciones, conduciendo a incrementar los costos de producción.
- Falta de viabilidad económica del proceso.

#### 3.6.1.6. Ventajas de la Biodegradación

- Se presenta como una alternativa para la eliminación de los residuos plásticos.
- En la agricultura facilita la eliminación de películas plásticas e incluso puede ser posible que llegue a incidir en las mejoras del cultivo.
- La vía más apropiada para la eliminación de residuos que no puedan volver a ser aprovechados o que su separación de otros materiales sea difícil y costosa.

#### 3.6.2. Fotodegradación

Se define como la degradación que sufren los compuestos orgánicos, sustancias poliméricas, cuando son expuestas a la luz solar y otras fuentes intensas de luz.

Al igual que la biodegradación, primero despertó interés la manera de evitarla en plásticos de uso externo, razón por la cual se impulsó el desarrollo de estabilizadores que absorbieran la luz ultravioleta o antioxidantes principalmente.

Pero debido a la acumulación de plásticos las investigaciones se encaminaron a obtener aditivos que fragilicen al material después de un período posterior a su utilización.

Se han desarrollado aditivos a base de complejos metálicos, por medio de los cuales se logra la fotooxidación del plástico. La cadena polimérica se rompe, y cuando su peso molecular alcanza un cierto nivel, comienza otra degradación ( en este caso bioquímica ), reduciendo finalmente el polímero a componentes químicos básicos como  $CO_2$  y agua. Estos aditivos no presentan problemas relacionados con el medio ambiente.

La fotodegradación depende marcadamente de la presencia de grupos funcionales fotoquímicamente activos, de factores físicos como la temperatura, el grosor de la película, la intensidad de la radiación ultravioleta y frecuentemente de la morfología del polímero.

La eficiencia de la degradación depende del mecanismo involucrado en la foto degradación, de la naturaleza de los plásticos y de la intensidad de la fuente luminosa.

### 3.7.0. Reciclado

Los terminos reuso y reciclado son utilizados casi siempre como sinónimos. Sin embargo reuso indica que los artículos de plástico son usados de nueva cuenta en su forma original como por ejemplo, las botellas de plástico retornables. En tanto que reciclado implica que el material plástico es reprocesado para darle de nuevo la misma, ó producir una nueva aplicación, dependiendo del tipo de reciclado que se involucre.

#### 3.7.1. Clasificación del reciclado

Se fundamenta en el número de plásticos presentes en el proceso y a la utilización final del producto obtenido.

##### 3.7.1.1. Reciclado primario

En el reciclado primario se utilizan residuos plásticos no contaminados con otro tipo de resinas o de residuos para su transformación en productos acabados. Generalmente el producto obtenido se mezcla con material virgen, en diversas proporciones. Este tipo de reciclado se puede llevar a cabo aún dentro de la fábrica generadora de los residuos o fuera de ella ya que el desperdicio se puede vender a terceros. Los residuos procesados dan lugar a un producto igual o de tipo similar al que les dio origen, sólo que sus especificaciones son inferiores a la aplicación inicial.

### 3.7.1.2. Reciclado secundario

Consiste en el reprocesamiento de residuos plásticos en un producto con una menor exigencia en sus especificaciones finales. Puede utilizar un solo plástico o mezclar varios plásticos. Los residuos plásticos que pueden ser considerados como una alimentación potencial para este tipo de proceso son:

- Los residuos urbanos.
- Los embalajes retornables.
- Mezcla de residuos industriales.

El reciclado secundario ha sido desarrollado en países donde los productos competitivos son relativamente caros. Los procesos tecnológicos para el reciclado secundario con que se cuenta en la actualidad son:

- 1.-) Reprocesar. Utilizando equipo de proceso estandar, presentando la ventaja de la disponibilidad de equipo y la inconveniencia de un producto de bajas propiedades. <sup>(8)</sup>.
- 2.-) Reprocesar utilizando equipo especial, de esta forma se tiene una producción rápida y un producto de propiedades mecánicas aceptables, pero se debe de invertir, tanto en investigación como desarrollo, del nuevo equipo. <sup>(8)</sup>.
- 3.-) Modificación química de la mezcla de residuos plásticos lo que da como resultado un producto con buenas propiedades mecánicas con la desventaja que el costo del material se incrementa aún sin haber sido reprocesado. <sup>(8)</sup>.
- 4.-) En la utilización de residuos plásticos combinados con resina virgen ( en una estructura de emparedado ) se obtienen productos de bajo costo, pero con la limitación que solo cierto tipo de residuos plasticos, no contaminados, pueden ser usados para este fin. <sup>(8)</sup>.

- 5.-) El uso de los residuos plasticos como relleno de materiales plásticos o no plásticos . En este caso el material de residuo es usado para ofrecer un producto más costoso pero la aplicación de este tipo de materiales es limitada. <sup>(8)</sup>

De este grupo de métodos solo el segundo y los dos ultimos son comerciales. Los procesos y los equipos diseñados para la reutilización directa de mezclas de plásticos más importantes son los siguientes:

#### 3.7.1.2.1. Revertidor Mitsubishi

En este sistema es útil para residuos formados por mezcla de PVC, PE, Nylon. Puede manejar desechos contaminados con piezas de cobre, botellas con papeles, ropa, arena, vidrio y otros contaminantes. La figura No 3.11. muestra el diagrama de bloques de este proceso.

El proceso consiste basicamente de la preparación de la materia prima, extrusión y moldeo. Los residuos plásticos son pulverizados en un molino y transportados neumáticamente al almacén. Aquí el material es sacado para reducir el contenido de humedad por abajo de 5%. De esta etapa el material es transportado al Revertidor Mitsubishi el cual consiste de una extrusora de 90 KW de potencia, que maneja un tornillo de cerca de 25 cm de diámetro con una relación L/D de 3.75. La zona de dosificación es de sección cónica, con un diámetro de 43cm.

El material funde y se homogeniza rapidamente. La velocidad de cizalladura puede ser ajustada usando tres anillos de fricción para variar la distancia entre la pared del cilindro y el cono, porque con una rápida fusión la descomposición del material se

<sup>8</sup> Leidner J. Recovery of the Value from Post-consumer Plastics Waste; Polym. Plast. Technol. Eng. 10(2), 1978.

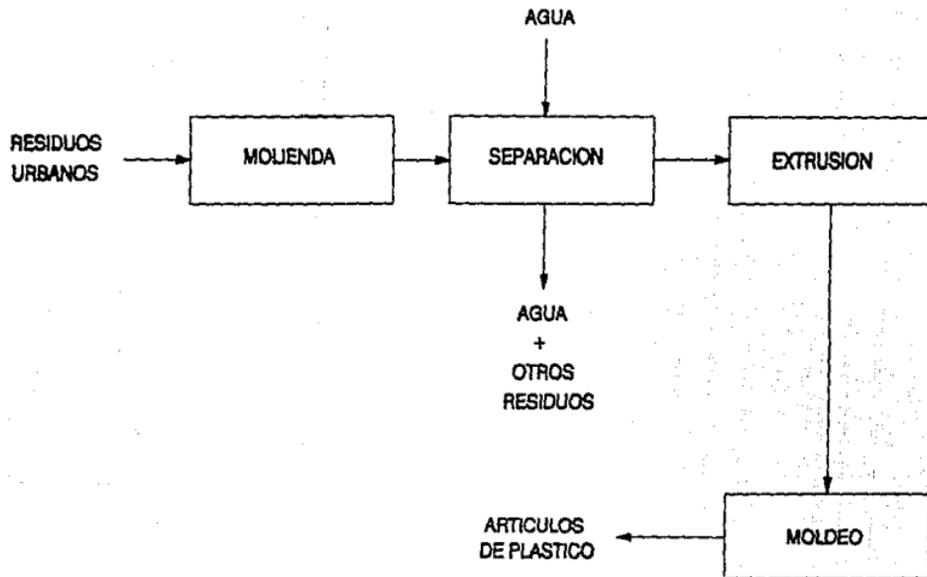


Figura No. 3.11.

Diagrama de bloques, Reciclado secundario, revertidor Mitsubishi.

minimiza. El material fundido pasa dentro del acumulador el cual esta equipado de tal forma que pueda eliminar los componentes volátiles. Un tornillo vertical descarga el material a la etapa de moldeo.

Durante el moldeo el material fluye continuamente del extrusor, el sistema de transferencia sólo acumula material durante el cambio y descarga del molde.

Los productos finales pueden ser formados mediante moldeo por intrusión, compresión y extrusión.

El moldeo por intrusión es el más utilizado, porque se emplea baja presión, moldes baratos. Después de llenar los moldes, estos son transportados dentro de un tunel donde se enfrían al ser rociados con agua para posteriormente llegar a la estación de descargado donde el producto es removido, los moldes vacíos son regresados al revertidor para ser llenados de nueva cuenta. El rendimiento del sistema del revertidor depende de las propiedades de flujo de la alimentación, el tamaño de partícula después del granulado y el tamaño del producto. El rendimiento promedio de este proceso se sitúa entre 4 y 6 toneladas por día, con dos turnos, o entre 7 y 11 toneladas métricas por día, con tres turnos.

Algunas limitaciones de este sistema son:

- a) El contenido de poliestireno debe ser menor de 20% para mantener dureza aceptable.
- b) El contenido de PVC rígido debe ser menor de 50% para prevenir descomposición.
- c) Si hay uretanos no puede haber PVC rígido en cualquier relación superior a 50%.

Como aplicaciones finales tenemos objetos de sección pesada que pueden remplazar aplicaciones de la madera o el concreto con un costo inferior y presentando una resistencia superior al medio ambiente, por ejemplo: postes verticales, banderales horizontales,

estacas para agricultura, canales de drenaje, carretes para cables, bloques para pavimentación etc. (9).

#### 3.7.1.2.2. Reciclador Klobbie

Es similar a una extrusora, y maneja varios tipos de residuos plásticos incluso de baja densidad. La tolva de carga contiene un alimentador mecánico que mezcla el material y le obliga a pasar a la zona de alimentación del tornillo. El material se homogeniza y plastifica a alta velocidad ( aproximadamente 350 rpm ) en extrusión adiabática. El extrusor no requiere calentamiento externo ya que es suficiente al calor generado por la acción cizallante del tornillo. Una velocidad alta del tornillo dá como resultado un buen mezclado del material que es bombeado a los moldes, montados sobre una torreta de eje horizontal. Para minimizar los costos de enfriamiento, el agua se utiliza para este proposito. Este sistema es usado para fabricar productos como : pilotes para puertos, elementos de protección contra la erosión en costas y canales, cercas para ganado, postes señalizadores en carreteras etc. (10).

#### 3.7.1.2.3. Máquina FN

La máquina, , usa un tornillo chico de relación L/D igual a 5 con un final en ángulo recto respecto al eje. El material plástico es compactado en la pared del cilindro y despues fundido para ser sometido al cizallamiento. Existen dos ventajas, en cuanto a la plastificación, por este método 1) El material esta en estado fundido durante un período de tiempo corto. 2) Se tiene un control automático de la viscosidad del fundido, ya que las partículas con

9 " The Reverzer " REHSIF Bulletin, No. 300.

10 Smith, The Recycling of Mixed Thermoplastics Waste; Polim. Plast. Technol. Eng. 12(2), 1979.

una viscosidad mayor que el promedio están sometidas a una mayor cizalla que da lugar a un aumento de la temperatura, lo cual a su vez disminuye la viscosidad del material fundido. Este proceso produce pellets que pueden ser convertidos en productos finales en equipo de procesos estándar. <sup>(11)</sup>.

#### 3.7.1.2.4. Sistema Flita

El sistema Flita utiliza un mezclador de rodillos montados excéntricamente en una cámara cilíndrica de mezclado. El material es fundido por aplicación externa de calor y homogenizado por cizallamiento contra la pared de la cámara de mezclado. Los productos son fabricados mediante moldeo por compresión en un proceso por separado. <sup>(11)</sup>.

#### 3.7.1.2.5. Máquina Remaquer

Esta máquina fue desarrollada en Alemania, son unidades pequeñas de moldeo por intrusión para reciclado de residuos plásticos relativamente limpios. La máquina consta de un tornillo especial de plastificación con espigas, que gira dentro de un bastidor también con espigas, trabaja con una gran variedad de residuos plásticos, para fabricar productos comerciales se utiliza PE, PP, ABS y PS de tipo flexible o rígido correspondientemente. Aun mezclas de botellas de plástico con varios tipos de decoración han sido exitosamente recicladas por la unidad. Pero debido a que el tiempo de residencia es largo en el cilindro de calentamiento se tienen problemas en el manejo de las mezclas que contienen PVC. El proceso se lleva a cabo a baja presión y el material requerido para la construcción de la unidad no es costoso. Los mejores resultados se obtienen con objetos pesados, espesores de pared de

11 Frederix, Recycling of Mixed Plastics Wastes Through Plastification; Kunstatoffe 68(5), 1978.

gran sección y partes que no requieren demasiada precisión en sus dimensiones. (12).

#### 3.7.1.2.6. Convertidor Regal

El diseño de equipo para reciclado de residuos plásticos contaminados puede ser considerablemente simplificado si la necesidad de mezclar y homogenizar el material fundido es eliminada. Esta consideración se utiliza en el convertidor diseñado por Regal Packaging.

El proceso acepta residuos termoplásticos mezclados y contaminados. Los desechos son alimentados al granulador donde son granulados en forma de virutas relativamente uniformes. Un sistema neumático las transporta al convertidor sobre una cinta transportadora de acero que pasa por un horno, donde el material funde conjuntamente y a continuación pasa a través de un arreglo de rodillos donde se compacta formando una lámina continua que va de 2 a 20 mm de espesor y que puede ser producida a velocidades de 1 m/min. Esta lámina caliente se transfiere a una prensa hidráulica en donde el producto final es formado entre dos platos fríos. Es posible también formar una estructura tipo emparedado que conste de resina virgen / residuo plástico / resina virgen. Los productos son impermeables y pueden ser utilizados para la construcción de cercas, cajas, etc. (13).

#### 3.7.1.2.7. Recuperador Tufbord

Es similar al proceso Regal. En este sistema la alimentación se realiza con dos tipos de materiales, residuos de película y

12 ASTM 533, 1916 Race Street, Philadelphia, PA, 19103.

13 " Waste Plastic Regeneration by the Regal Converter ",  
Technical Brochure, Plastic Recycling Ltd.

residuos sólidos plásticos. En el primer caso la película plástica se pulveriza y se densifica para formar pequeños grumos los cuales son mezclados con negro de humo en un extrusor equipado con una unidad de granulado. Los granulos son depositados en una cinta transportadora en la que funden.

El segundo material de alimentación es también granulado y depositado en la misma cinta. Los dos materiales se combinan para formar una lámina cuya superficie esta hecha de material de la película reciclada y un nucleo formado por el plástico sólido. Las placas son unidas en una prensa hidráulica sobre la misma cinta, de tal forma que la cinta se detiene mientras se lleva a cabo el prensado. Se obtienen láminas continuamente de 1.2 m a 9 m con 12 mm de espesor. El producto presenta buena resistencia al impacto y no absorbe agua, su superficie negra da la apariencia de uniformidad y protege al producto de los efectos de la radiación ultravioleta. Las aplicaciones incluyen cercas, paneles, etc. (14)

#### 3.7.1.2.8. Sistema Kabor

El desarrollo de este sistema esta limitado, ya que sólo fue diseñado para formar láminas de polietileno contaminado con papel. Este sistema fue principalmente dirigido para el mercado de las granjas. La aplicación incluye paneles para granjas, recubrimientos de suelos.

#### 3.7.1.2.9. Sistema Japan Steel Works Limited

El sistema muestra capacidad de procesar cerca de 10 toneladas de residuos por semana. Los residuos plásticos son separados domesticamente y enviados a la planta por camion. Las bolsas que contienen los desechos son descargadas automáticamente y se alimentan a una cinta transportadora que lo lleva a un molino el cual corta el material en trozos de aproximadamente 5 cm. Para

14 " Tufford ", Technical Brochure, Reclamat Int. Ltd.

proteger el molino de piezas metálicas grandes, cada bolsa con residuos plásticos se pesa, si el peso es superior a 0.9 Kg son rechazados. A continuación los residuos se lavan para posteriormente pasar a un clasificador de aire, la siguiente etapa es un molino en donde los residuos se convierten en partículas pequeñas que son sometidas a la acción de un separador magnético para eliminar metales. Se realiza un nuevo lavado del material con una solución de agua y detergente, después se seca para formar la alimentación asignada al turbomolino en el que el material se tritura hasta un tamaño de partícula muy fino, para finalmente ser conducidos a un extrusor donde se producen los granulos.

Los granulos tienen una composición aproximada de: 40% PEBD, 10% PEAD, 10% PP, 15% PS, 15% PVC y 8% de resinas termoestables, lo que resta son materiales no plásticos. Las propiedades mecánicas de la mezcla son muy pobres. La resistencia a la tracción es sólo 2.5 Kg / cm<sup>2</sup>, el material es usado para hacer macetas mediante moldeado por inyección.

Existen varios procesos para el reciclado secundario, sin embargo a pesar de la urgente necesidad de reciclar los residuos plásticos, su desarrollo es muy lento, debido a que:

- 1.-) Los residuos plásticos tienden a estar altamente contaminados con sustancias no plásticas ( metales, arena, etc. ) lo que afecta el funcionamiento del equipo de proceso.
- 2.-) Varios plásticos presentes en la mezcla de residuos pueden ser mutuamente incompatibles, dando como resultado un producto de propiedades mecánicas pobres.
- 3.-) No siempre se puede tener un flujo de alimentación con una composición consistente y reproducible.

4.-) Para ser viable económicamente, se debe trabajar con grandes cantidades de residuos.

### 3.3.0. Tratamiento y Disposición Final de los Residuos Urbanos en el Distrito Federal

En cuanto a la disposición final de los residuos sólidos urbanos en el Distrito Federal se contempla la clausura de tiraderos a cielo abierto. En 1982 existían siete tiraderos y actualmente sólo uno. De los tiraderos más importantes se destaca el de Santa Cruz Meyehualco de 150 hectáreas de extensión y que por más de 40 años constituyó el sistema del manejo de los residuos sólidos y representó uno de los principales focos de contaminación del ecosistema urbano.

La clausura del tiradero de San Lorenzo Tezonco se efectuó en 1985, este ocupaba el tercer lugar en importancia en la ciudad ya que en él se depositaban 2,000 toneladas al día de basura incrementando además los problemas ambientales y sociales, como la pepena. El tiradero de Santa Fé con una antigüedad de más de 35 años fue cerrado en 1987 y en 1988 se clausuró el tiradero de Santa Catarina que posteriormente se convirtió en relleno sanitario.

Después del proceso de cierre del tiradero, se inicia su regeneración, mediante su conversión en áreas verdes y parques recreativos. De forma paralela se conforma la infraestructura de la disposición final, mediante el uso de los rellenos sanitarios. En 1985 y 1987 se empiezan a operar los primeros rellenos sanitarios que dan servicio a la Ciudad ubicados en el Bordo Poniente del Vaso de Texcoco y en Prados de la Montaña que en total suman una superficie de 258 hectáreas con una vida útil aproximada de 15 años. En 1988 se inicia la operación del relleno

sanitario de Santa Catarina con una superficie de 30.2 hectáreas y una vida útil de 5 años.

En estos sitios se recibe actualmente el 100% de la basura generada en el Distrito Federal.

Por lo que respecta al tratamiento de los residuos, que es el proceso mediante el cual estos son reincorporados al proceso productivo, sólo se cuenta con una planta industrializadora en San Juan de Aragón, la que tiene una capacidad instalada de 700 toneladas por día. Si bien esta planta funciona, también presenta graves problemas y deficiencias, entre éstas pueden citarse los problemas que generan los plásticos. Con los desperdicios tratados se trata de obtener fertilizantes pero estos son de baja calidad. los problemas manifiestos para esa planta son los plásticos.

Lo anteriormente expuesto hace patente la necesidad de contar con tecnologías alternativas para la disposición y tratamiento de los residuos sólidos urbanos, El plástico por su baja degradabilidad, si se usa en los rellenos sanitarios se están enterrando recursos potenciales. Por tanto se debe buscar la posibilidad de que esa basura genere una serie de subproductos útiles para el país. Además el reciclado de varios materiales plásticos permitiría la planeación de rellenos sanitarios, para los residuos improcesables, de menor tamaño y de vida útil más larga y que fungiera sólo como un sitio de disposición final y no como la única técnica de tratamiento de los residuos urbanos. (15).

De las alternativas anteriormente propuestas se ha elegido el reciclado por ser una técnica de tratamiento de los residuos que además de resolver el problema de contaminación incorpora materiales al proceso de producción ayudando así a la conservación de los recursos energéticos del país.

15 Manejo de los Desechos Sólidos: El Caso del Distrito Federal; Departamento del Distrito Federal; México 1988.

#### 4.0.0. Polietileno de Baja Densidad

##### Plástico Reciclado, Propiedades

#### 4.1.0. Ciclo de vida del PEDB

El PEDB es un plástico cuyas aplicaciones tienen un promedio de vida útil relativamente corto, constituyendo problemas de generación y acumulación de los residuos plásticos que llegan finalmente a formar parte de los residuos urbanos.

La siguiente tabla muestra el porcentaje de vida útil de diferentes plásticos. Tabla No.4.1.

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

Tabla No. 4.1. Vida Util de los Termoplásticos

Fuente: Instituto Mexicano del Plástico

De lo anterior se concluye que el plástico causante de los mayores problemas de acumulación como residuo es el PEDB ya que sus aplicaciones con vida útil larga son escasas, como se observa en la tabla No. 4.1. ya que la mayoría de sus aplicaciones se encuentra en el segmento de mercado de película y envase.

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

La figura No. 4.1. muestra cantidades estimadas de la generación de desperdicios del PEBD, en 1990, en México.

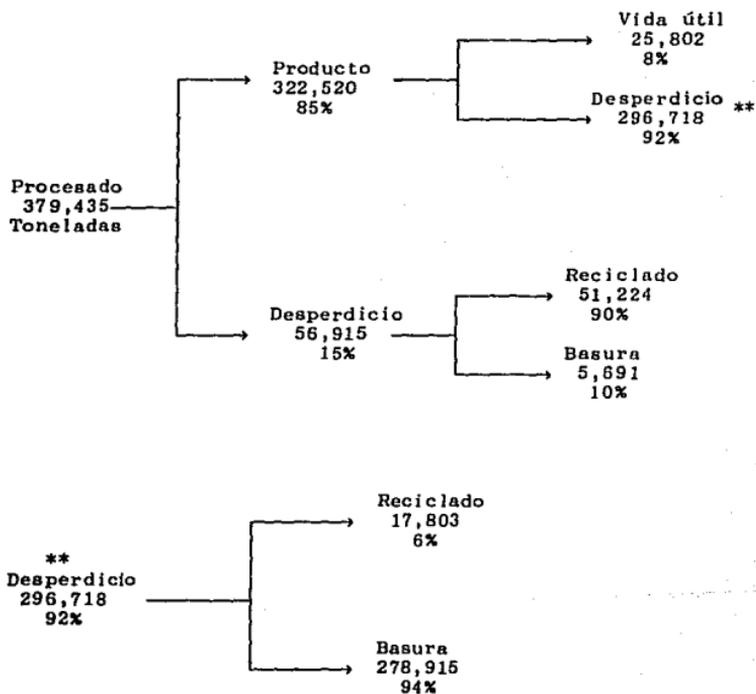


Figura No. 4.1. Estimación de Generación de Desperdicios de PEBD en 1990.

Fuente: Instituto Mexicano del Plástico

#### 4.2.0. Propiedades experimentales de PEBD reciclado

Las mezclas más comunes de polímeros en los residuos domésticos están compuestas de PEBD, en mayor proporción, y Poliestireno, estas mezclas muestran propiedades mecánicas pobres debido a la incompatibilidad de ambos polímeros. Las mezclas con las que se trabaja en este experimento <sup>(1)</sup>, son un intento para reproducir las condiciones reales del PEBD como residuo, a fin de medir el efecto de deterioro en las propiedades mecánicas producidas por su exposición al medio ambiente y contaminación con otros residuos.

Para evaluar las propiedades mecánicas de este tipo de mezclas se recurrió a la realización de pruebas en productos obtenidos de los procesos de inyección y moldeo por compresión.

En el primer proceso, la mezcla de polímeros ( PEBD y PS ) es alimentada a un extrusor seguido de una etapa de granulación. Los pellets obtenidos de la mezcla se introducen a una máquina de inyección para producir un molde especialmente diseñado para la subsecuente evaluación de algunas propiedades mecánicas ( resistencia a la tensión y % de elongación ).

En el segundo proceso los residuos plásticos se someten a una etapa de moldeo por compresión, a fin de obtener láminas y a este producto realizarle las pruebas mencionadas.

Las tablas No. 4.2 y 4.3 muestran los resultados del experimento realizado con residuos de PEBD de  $.922 \text{ g / cm}^3$  de densidad, principalmente en forma de película contaminado con Poliestireno.

<sup>1</sup> Narkis M.; " Reuse of Plastics from Solid Wates."; Polym. Eng. and Science, April 1977, Vol. 17, No. 4.

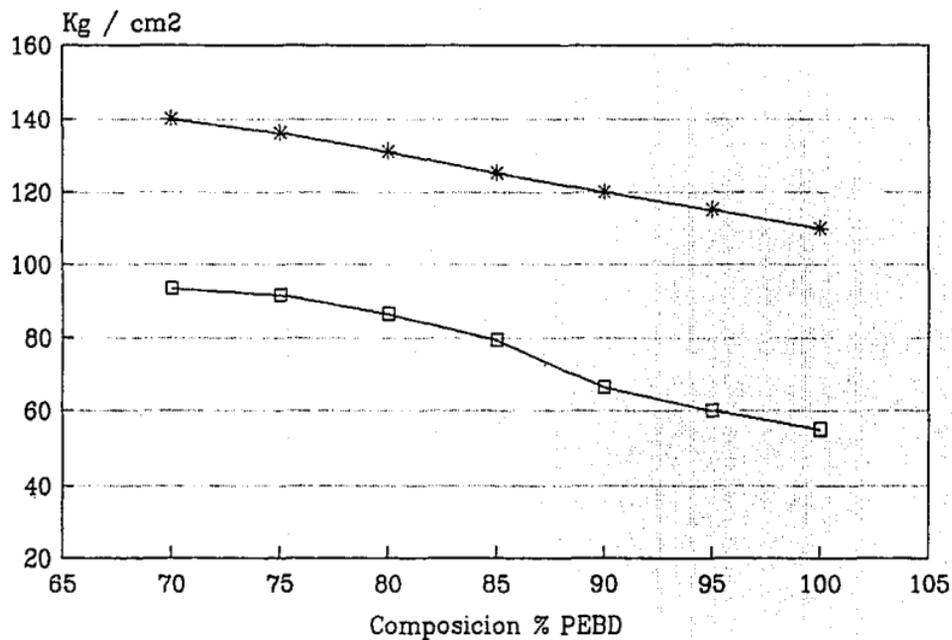
COMPOSICION % PEBD	PROCESOS	
	MOLDEO POR COMPRESION	INYECCION
100	93.5	140
95	91.5	136
90	86.5	131
85	79.5	125
80	66.5	120
75	60.0	115
70	55.0	110

Tabla No. 4.2. Resistencia a la Tensión ( Kg / cm<sup>2</sup> )

COMPOSICION % PEBD	PROCESOS	
	MOLDEO POR COMPRESION	INYECCION
100	100.0	234.8
95	84.8	169.56
90	69.6	126.1
85	57.4	82.6
80	47.8	58.6
75	39.1	44.8
70	32.6	34.8

Tabla No. 4.3. % de Elongación

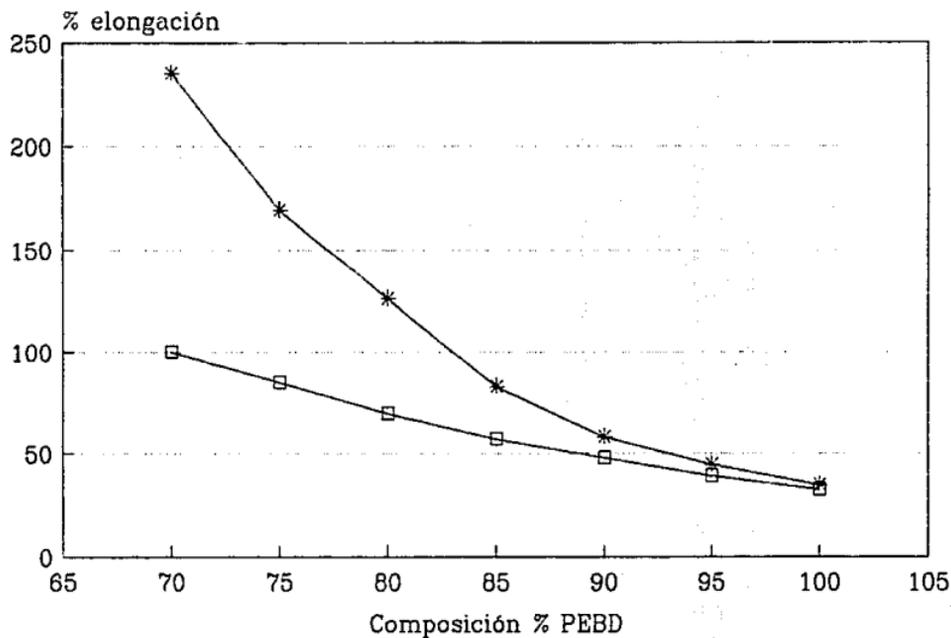
## RESISTENCIA A LA TENSION



—□— Moldeo    —\*— inyección

Figura No. 4.2.

## ELONGACION



—□— Moldeo    \*— Inyección

Figura No. 4.3.

La resistencia al ataque por los solventes es otra de las propiedades que resultan afectadas, al tener PEBD contaminado con otros polímeros o deteriorado por el uso. La tabla No. 4.4 refleja los resultados de experimentar con solventes, tales como, Acetona y Benceno.

% DE PESO PERDIDO EN:		
% PEBD	ACETONA 25°C 24 hrs después	BENCENO 70°C 24 hrs después
0	100	100
25	12.6	70.7
50	1.3	42.8
75	0.9	3.0
100	0.0	( 4.0 )

Tabla No. 4.4. Ataque por Solventes, Mezcla de PEBD con PS

Para mejorar las propiedades mecánicas del PEBD reciclado se utilizan aditivos, tales como, Acetato de vinil-etileno ( EVA ), VA bajo, ICI, Epcar 847, hule butadieno-estireno. Los resultados obtenidos fueron utilizaron de 7.5 a 10 porciento de aditivos a fin de que la resistencia a la tensión se incrementa de 6 a 18 porciento y la resistencia al impacto aumentara gradualmente de 37 a 100 porciento.

Otra opción para aumentar las propiedades del plástico reciclado es usarlo mezclado con material virgen, los resultados de este experimento se muestran en las tablas No. 4.5 y 4.6.

% Elongación	% Plast. virgen
575	0
571	20
585	40
588	60
590	80
588	100

Tabla No. 4.5. % de Elongación del PEBD, Mezcla de Material Virgen y Reciclado

Resistencia a la tracción $10^3$ psia.	% Plast. virgen
2.00	0
2.06	20
2.12	40
2.18	60
2.24	80
2.30	100

Tabla No. 4.6. Resistencia a la Tracción, Mezcla de Material Virgen y Reciclado

## % DE ELONGACION PEBD RECICLADO

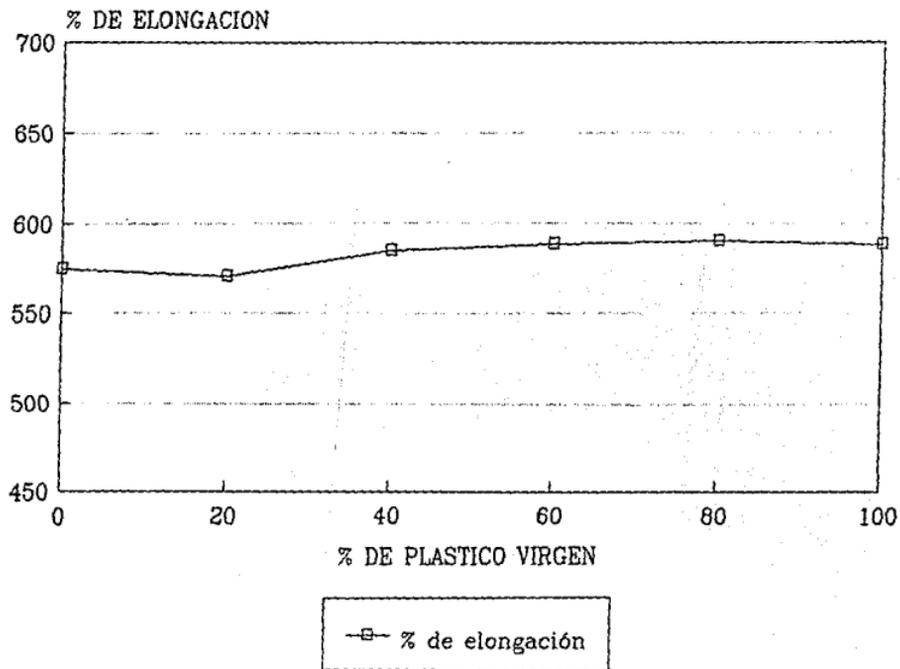
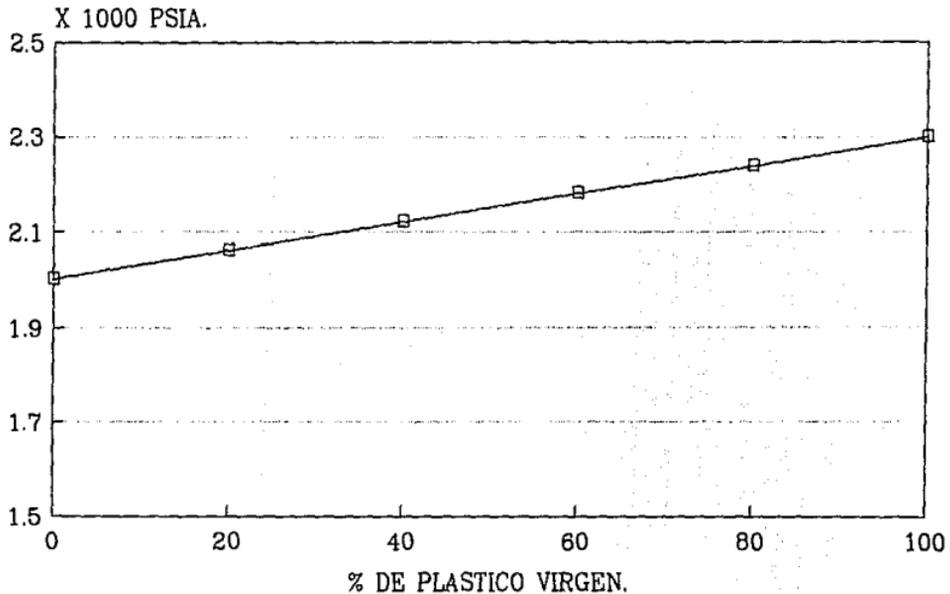


Figura No. 4.4.

## RESISTENCIA A LA TRACCION PEBD RECICLADO



—□— Resist.a la tracción

Figura No. 4.5.

#### 4.3.0 Características comerciales

En México el principal productor de PEBD es PEMEX por lo que las tablas No. 4.7, 4.8, 4.9, 4.10 y 4.11 presentan las propiedades del PEBD comercializado que es caracterizado de acuerdo a su uso en la industria.

En estas tablas se observa que las propiedades del PEBD virgen son bastante superiores a las mostradas por el PEBD reciclado, por lo que este último se destina a aplicaciones más específicas acordes a su decremento de propiedades.

PROPIEDAD	UNIDADES	VALOR
Peso específico	$g / cm^3$	0.910 - 0.925
Índice de refracción	$n_D^{25}$	1.51
Resistencia a la tracción	psi	600 - 23000
Alargamiento	%	90 - 800
Módulo de tracción	$10^5$ psi	0.14 - 0.38
Resistencia al impacto	ft-lb/in de talladura	> 16
Temperatura de flexión térmica	°F, 246 psi	90 - 105
Constante dieléctrica	1000 ciclos	2.25 - 2.35
Pérdida dieléctrica	1000 ciclos	< 0.0005
Absorción de agua	Varilla 1/8 24 horas, %	< 0.015
Velocidad de combustión	----	Muy lenta
Efecto de luz solar	----	Necesita protección
Efecto de ácidos y bases	----	Resistente
Efecto disolventes org.	----	Resistente a T < 80
Transparencia	----	Opaco

Tabla No. 4.7. Polietileno de Baja Densidad, Propiedades

Pruebas	Método	Unidad	Especificación
Indice de fluidez	ASTM-D-1238	g/10min.	1.70 - 2.50
Densidad 23°C	ASTM-D-1505	g/cm <sup>3</sup>	0.921± 0.002
Película ( 1m. de película)	Alkatene-68	-	A
Corte ( en 120g. de muestra.)	Alkatene-48	-	A
Contaminación ( muestra 600g )	Alkatene-48	-	A
Color	Visual	-	Característico
Aditivos:	-	-	-
Deslízante	-	-	Contiene
Antibloqueo	-	-	Contiene
Antioxidante	-	-	Contiene

Tabla No. 4.8. Polietileno de Baja Densidad, Especificación:  
20020-P, No. 576 A-3. 1991.

Este tipo de polietileno presenta adecuado balance de propiedades mecánicas y buenas características de procesabilidad, uniformidad y estabilidad térmica.

Pruebas	Método	Unidad	Especificación
Indice de fluidez	NOM-E-113	g/10min.	1.70 - 2.40
Densidad 23°C	NOM-E-166	g/cm <sup>3</sup>	0.921 ± 0.002
Película ( 1m. de película)	NOM-E-139	Defecto	10 máximo
Corte ( en 120g. de muestra.)	NOM-E-139	-	A
Granulos ( muestra 600g )	NOM-E-139	-	A
Color ( muestra 120g )	NOM-E-139	-	Blanco
Partículas extrañas ( muestra 120g )	NOM-E-139	-	A
Nebulosidad	NOM-E-140	%	10 máximo

Tabla No. 4.9. Polietileno de Baja Densidad

Uso \* A \* PX-20020-X.

Especificación: No. 576-A ó NOM-E-141-1986.

El polietileno de baja densidad denominado para uso A indica que estos polímeros pueden ser utilizados para: fabricación de películas transparentes, envases y juguetes.

Pruebas	Método	Unidad	Especificación
Indice de fluidez	NOM-E-113	g/10min.	0.30 - 0.50 0.55 - 0.80
Densidad 23°C	NOM-E-166	g/cm <sup>3</sup>	0.922 ± 0.002
Película ( 1m. de película)	NOM-E-139	Defecto	10 máximo
Corte ( en 120g. de muestra.)	NOM-E-139	-	A
Granulos ( muestra 600g )	NOM-E-139	-	A
Color ( muestra 120g )	NOM-E-139	-	Blanco
Partículas extrañas ( muestra 120g )	NOM-E-139	-	A
Nebulosidad	-	-	-

Tabla No. 4.10. Polietileno de Baja Densidad

Uso \* B \* PX-22004 Y PX-22007 P.

Especificación: No. 576-B ó NOM-E-141-1986.

La denominación para uso \* B \* indica que estos polímeros pueden ser utilizados para: fabricación de sacos industriales, envases resistentes a la abrasión, película para uso industrial, perfiles, tubería y monofilamento.

Pruebas	Método	Unidad	Especificación
Índice de fluidez	NOM-E-113	g/10min.	3 - 5 6 - 9
Densidad 23°C	NOM-E-166	g/cm <sup>3</sup>	0.9175±0.0015
Película ( 1m. de película)	NOM-E-139	Defecto	10 máximo
Corte ( en 120g. de muestra.)	NOM-E-139	-	A
Granulos ( muestra 600 g )	NOM-E-139	-	A
Color ( muestra 120 g )	NOM-E-139	-	Blanco
Partículas extrañas ( muestra 120 g )	NOM-E-139	-	A
Nebulosidad	NOM-E-140	-	-

Tabla No. 4.11. Polietileno de Baja Densidad

Uso \* C \* PX-17070 L.

Especificación: No. 576-C 6 NOM-E-141-1986.

La denominación para uso \* C \* indica que estos polímeros pueden ser utilizados para: laminación, rotomoldeo e inyección.

La letra **\*\* A \*\*** en todas las tablas significa:

En granulos:

- Máximo 1 oxidado.
- Máximo 3 coloreados.
- Exentos de partículas metálicas.

En partículas extrañas:

- Máximo 7 partículas.

En corte:

- Máximo 0.3g de granulos mayores a 12 mm y menores a 25 mm.
- Exento de granulos mayores a 25 mm.
- Exento de aglomeraciones de 4 ó más granulos.

## 5.0. Estudio de Factibilidad Económica

### 5.1.0 Estudio Técnico

#### 5.1.1. Procesos de Reciclado de PEBD

El proceso de recuperación del PEBD se ubica dentro del reciclado primario, ya que se pretende recuperar un sólo material de los residuos. Este proceso tiene un grado de dificultad mayor que el reciclado de otro tipo de termoplástico, debido a que el PEBD es una película y por su baja densidad.

Entre los procesos exitosos para el reciclado de PEBD se encuentran:

- Regranulado.
- Proceso directo.
- Molienda criogénica.

##### 5.1.1.1. Regranulado

Se utiliza para reprocesar desperdicios plásticos, hasta alcanzar el tamaño de partícula del termoplástico virgen. Para este propósito se utilizan los regranuladores, que pueden ser de varios tipos dependiendo de los requerimientos de tamaño, de las piezas a granularse y de la forma física de los residuos plásticos ( películas, tubos, etc. ).

Los granuladores constan de una tolva, cámara de cortado ( de rotor con cuchillas ), una criba y un motor.

La tolva es diseñada en función de las formas específicas de la alimentación y puede estar equipada con rodillos para manejar películas plásticas, además la tolva debe tener una inclinación específica y contar con deflectores, cortinas o mallas para evitar que el material salga despedido.

La cámara de cortado es donde se lleva a cabo la granulación, ésta está construida de material muy resistente, acero. En esta parte del equipo es de suma importancia la geometría de la entrada de la alimentación. Algunos tipos de geometrías óptimas se mencionan a continuación:

a)Entrada de caída directa: El residuo es capturado por el golpe inferior del rotor y cortado a continuación. La principal desventaja es que los residuos pueden ser arrojados hacia el exterior, lo que implicaría un peligro al operar el equipo, pero este riesgo se puede minimizar alargando la torre de la tolva.

b)Entrada de rotor vertical: la alimentación al rotor axial es vertical. Los residuos son alimentados por la parte superior, un cuchillo rotatorio ayuda a llevar al material dentro de la cámara.

c)Entrada tangencial.

Otro punto importante en el diseño del equipo es el montaje de los cuchillos que a continuación se describen:

a)Forma tangencial: se utiliza para cortado de materiales blandos que requieren cortado ligero, en el cual un cortado perpendicular reduce la generación de calor.

b)Forma radial: se emplea para materiales más rígidos, y da como resultado un rompimiento del material mas que una acción de cortado.

Los cuchillos se colocan en rotores abiertos o en rotores sólidos. En cuanto al número de cuchillos montados, que con el aumento de estos también se incrementa la velocidad de operación, pero

disminuye el volumen efectivo de la cámara, el número de cuchillos más común es de dos o tres. Otro parámetro muy importante del diseño de la cámara de granulación es el arreglo que presentan los cuchillos, como por ejemplo:

- Cuchillos paralelos.
- Con un cuchillo rotatorio inclinado.
- Arreglo simple en V.
- Arreglo doble en V.

El granulador cuenta con un área de cribado que varía en el intervalo de magnitud del diámetro de 1/4 a 3/8 de pulgada, y equipo de seguridad que impide el acceso a la cámara de cortado mientras el rotor este funcionando.

El proceso de regranulación se presenta en la figura No. 5.1

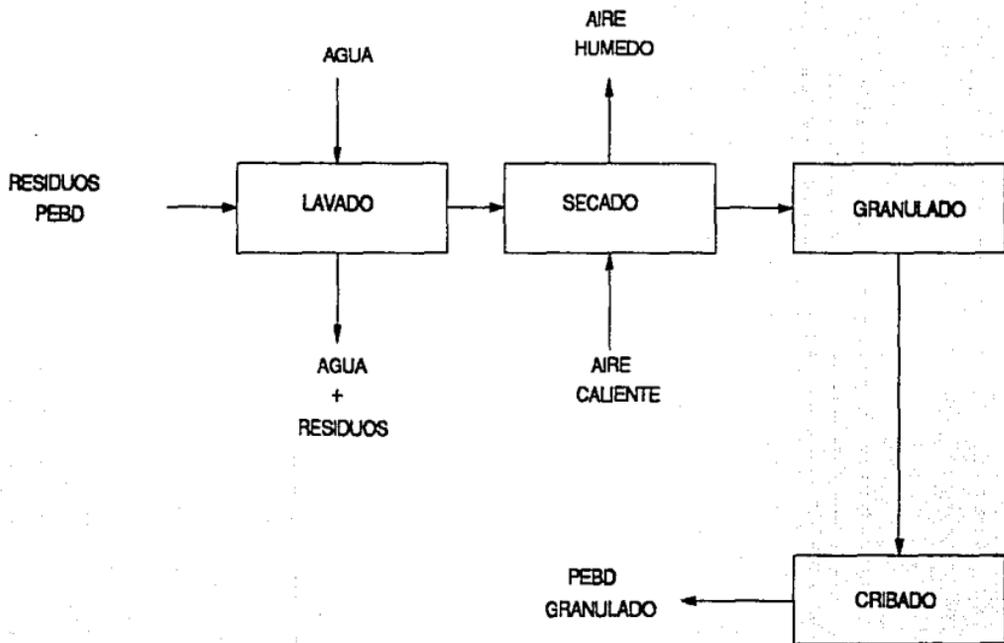


Figura No. 5.1. Diagrama de bloques, granulado.

### 5.1.1.2. Proceso Directo

Los residuos plásticos como películas, fibras o espumas pueden ser reprocesados directamente en un equipo de extrusión especial ya que el equipo de proceso estándar es diseñado para procesar pellets plásticos o con menor frecuencia polvos, lo que es una limitante para materiales de baja densidad que no pueden ser procesados con eficiencia en este tipo de equipos.

Sin embargo existe una solución para este problema, mediante la utilización de tolvas de relleno que pueden ser de tipo embolo y de tipo tornillo. El objetivo de esta parte del equipo es comprimir el material para impartirle la densidad necesaria y hacer de esta manera más eficiente la operación del extrusor.

La compactación de la alimentación de material de baja densidad puede también ser realizada en la sección de alimentación del extrusor, en donde el diámetro de la sección ya mencionada es más grande que el resto del tornillo.

De la etapa de compresión se pasa a la de extrusión. La aplicación principal de este proceso es en residuos continuos, generalmente industriales, los cuales se alimentan directamente a la línea de reciclado para posteriormente reincorporarlos a la línea de transformación original. Muchas veces en lugar de obtener granulos, se enfocan directamente a la obtención de un producto que puede ser nuevamente película, perfilera, tubería, etc.

El reciclado por proceso directo se presenta en la figura No. 5.2.

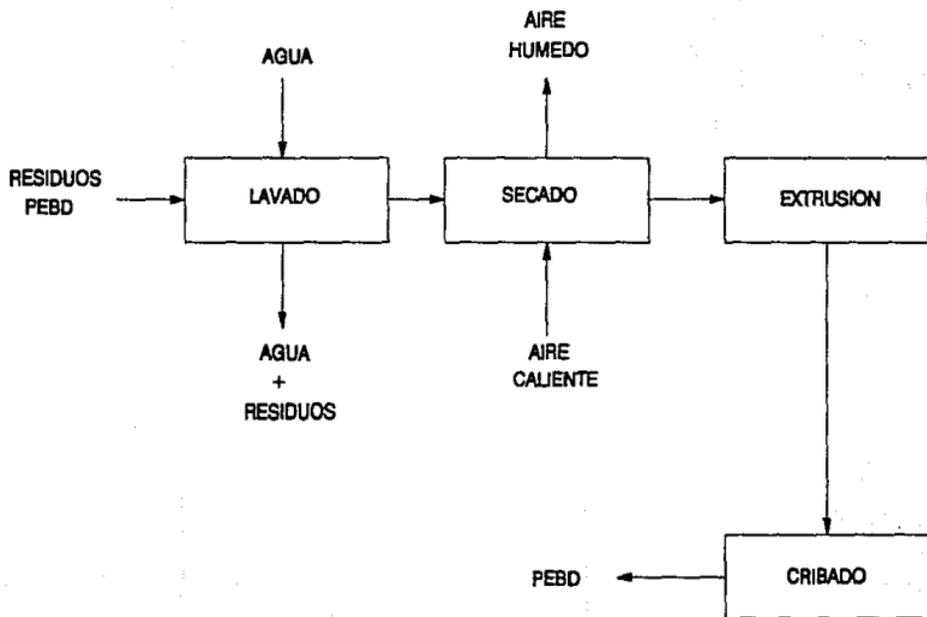


Figura No. 5.2.

Diagrama de bloques, Proceso directo.

### 5.1.1.3. Molienda Criogénica

Este proceso surge por las deficiencias en los granuladores convencionales, sobre todo al procesar material de baja densidad ( espumas, películas, fibras, etc ) o con material que presente problemas especiales debido a sus propiedades de elasticidad o su bajo punto de fusión.

La técnica fue introducida a principios de los años 60's y es utilizada para desperdicios plásticos donde se requiere un granulado fino o casi pulverizado.

La molienda criogénica se basa fundamentalmente en la temperatura de transición vítrea,  $T_g$  del material. Ahora bien, como ya se vio en secciones anteriores el PEBD muestra una estructura parcialmente cristalina y amorfa, dependiendo del grado de ramificación del polímero. La estructura amorfa, a temperaturas suficientemente bajas, presenta las características de los vidrios, incluyendo la dureza, rigidez y fragilidad. Una propiedad asociada con el estado vítreo es un bajo coeficiente de expansión volumétrico.

En los polímeros parcialmente cristalinos, como el PEBD, la temperatura de transición vítrea es independiente del grado de cristalinidad, pero en polímeros altamente cristalinos,  $T_g$  es difícil de determinar, debido a que como ya se menciona es una función de la estructura.

La temperatura de transición vítrea se determina en forma experimental mediante:

- Propiedades másicas. Mediante la determinación del coeficiente de expansión volumétrico, la entalpia, el índice de refracción, la rigidez y la dureza.

- Movimiento molecular. Se determina  $T_g$  al inicio del movimiento molecular de las cadenas poliméricas, con métodos que incluyen la medida de la fricción interna, la pérdida dieléctrica, etc.
- Otros experimentos tales como ensayos de impacto determinando el comienzo de la fragilidad, y mediante ensayos térmicos de diversos tipos que cuantifican el reblandecimiento de los polímeros amorfos.

En el estado vítreo no hay un movimiento molecular a gran escala. El análisis de la dependencia con la temperatura, del número de conformaciones disponibles para la molécula del polímero, conduce a concluir que la cadena completamente extendida es la conformación de mínima energía y que tiende a ser adoptada más frecuentemente al descender la temperatura. Como resultado de lo anterior las moléculas se estiran, el volumen libre disminuye haciendo el flujo más difícil y el material se comporta como un sólido duro, vítreo. Para el PEBD la  $T_g$  es de  $-120\text{ }^\circ\text{C}$ . <sup>(1)</sup>

En el método de molienda criogénica se enfría el material por debajo de su temperatura de transición vítrea favoreciendo que se torne quebradizo. Existen tres formas comunes de enfriar los residuos plásticos antes de ser granulados:

- a) Refrigeración mecánica.
- b) Nitrógeno líquido.
- c) Dióxido de carbono.

La refrigeración mecánica no es un proceso comercial. El uso de  $\text{CO}_2$  presenta temperaturas de  $-80\text{ }^\circ\text{C}$  en tanto que el nitrógeno líquido alcanza temperaturas más bajas,  $-196\text{ }^\circ\text{C}$ . La figura No.5.3. presenta el diagrama de bloques de la molienda criogénica.

<sup>1</sup> Properties Comparison Chart PPO, General Electric Polymer Products, Operation CDX-2A, Agosto 1965.

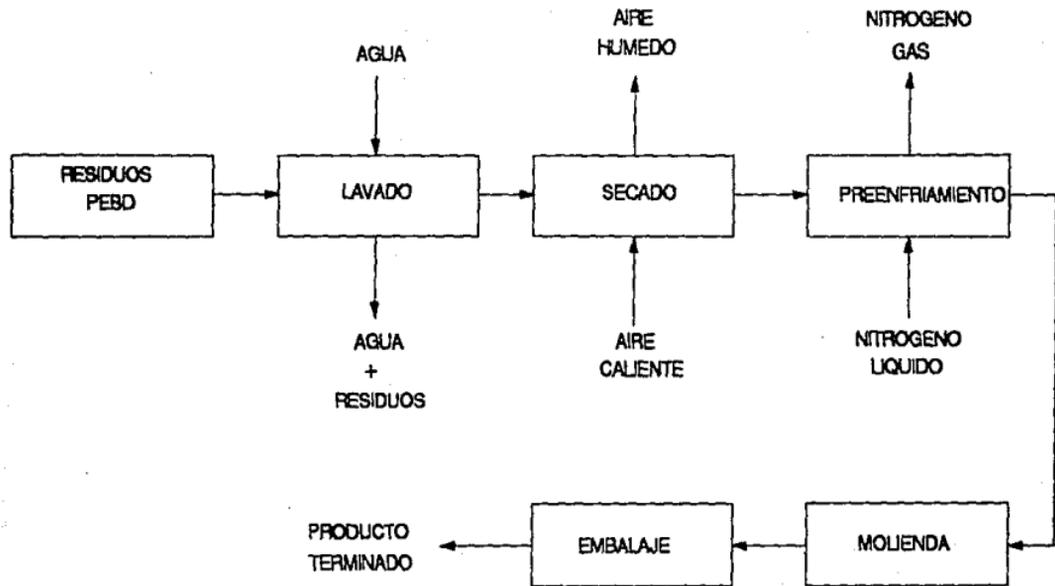


Figura No. 5.3. Diagrama de bloques, molienda criogénica.

### 5.1.2 Selección del Proceso

Para proceder a comparar las tres alternativas debemos fijar una escala de evaluación en base a ciertos criterios como son:

- Identificación de la alternativa

A = Regranulado

B = Proceso directo

C = Molienda criogénica

- Los criterios de evaluación son:

a) Presión. Se preferirán los procesos que trabajen a presión atmosférica, por encima de los que trabajan a una presión más elevada o más baja.

b) Temperatura. El criterio de evaluación se centra en elegir la temperatura ambiente como escala máxima, evitando trabajar a alta o baja temperatura.

c) Eficiencia. Se considerará el 100% de eficiencia como escala máxima por ser este el dato ideal.

d) Tiempo de proceso. Al no tener un tiempo perfectamente calculado de los tres procesos el criterio se basará en la obtención del menor número de fallas que retarden el proceso de producción.

e) Propiedades. Se centra en prever la mínima degradación del material, la escala máxima la obtiene el proceso donde se genere menos calor.

Solo se han incluido las características más relevantes. También se podría haber incluido criterios tales como:

THE UNIVERSITY OF CHICAGO  
DIVISION OF THE PHYSICAL SCIENCES  
DEPARTMENT OF CHEMISTRY  
5708 S. UNIVERSITY AVENUE  
CHICAGO, ILLINOIS 60637

disponibilidad de materia prima y de mano de obra calificada, pero al presentar dificultades su cuantificación no son un buen criterio de comparación.

Concepto	Procesos			Escala	Criterio
	A	B	C	de evaluación	
Presión	10	10	10	0-10	P atm.
Temperatura	7	5	2	0-9	T amb
Eficiencia	4	2	6	0-7	100%
Tiempo de proceso	4	2	6	0-5	Sin fallas
Propiedades	5	4	8	0-10	Degrad=0
Total	30	23	32		

Tabla No. 5.1. Estudio Técnico

En la tabla No. 5.1 se observa que el proceso de mayor puntuación es el C = Molienda criogénica, pero no está muy alejado del del proceso de regranulado. Este estudio se enfocará hacia el proceso criogénico dándole una mayor importancia a la conservación o poca disminución de las propiedades del PEBD.

La elección basada en la preservación de las propiedades del PEBD se realizó considerando los principales problemas de los otros dos procesos.

Los problemas que se presentan tanto en el regranulado a temperatura ambiente, como en el proceso directo son:

- Degradación del material, debido al nuevo ciclo de procesado.
- Contaminación del plástico reprocesado.

La degradación de los plásticos durante su procesado a estas temperaturas se manifiesta a través de:

- Cambios en la viscosidad del fundido
- Cambios en las propiedades físicas
- Variaciones de color
- Disminución de su resistencia química

Estos cambios obedecen a modificaciones en su estructura por:

- Reducción del peso molecular por ruptura de cadenas poliméricas.
- Aumento del peso molecular por entrecruzamiento.
- Formación de insaturaciones o ciclos, por reacciones de cadenas laterales.

Este tipo de problemas inciden directamente en la calidad del producto obtenido, haciendo que decrezcan. En el proceso de molienda criogénica no ocurren estos problemas.

### 5.1.3. Descripción del Proceso

El proceso de molienda para residuos plásticos está compuesto regularmente de las siguientes etapas: cortado del material, lavado, secado, compactado, preenfriamiento y molido del material, como se ve en la figura No. 5.4.

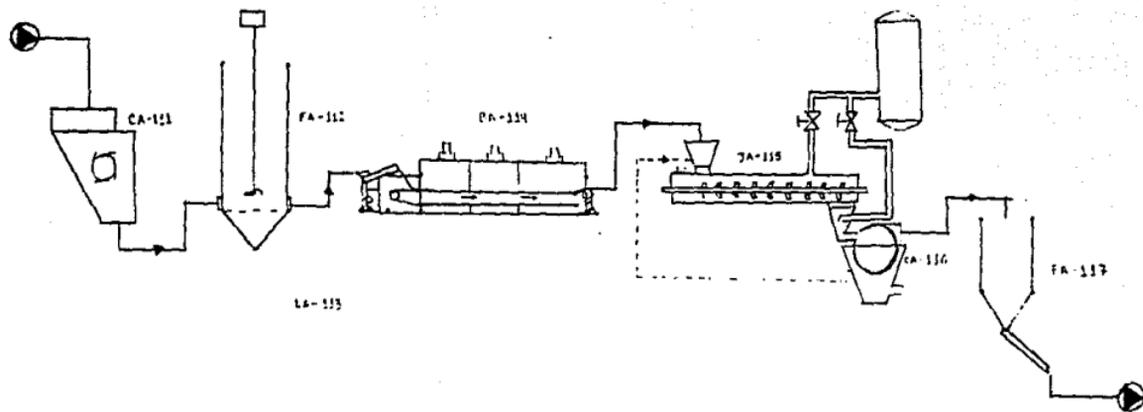


Figura No. 5.4 Diagrama de flujo de proceso, molienda criogénica

### **Cortado.**

**Equipo: CA-111 Cortadora rotatoria**

El proposito de esta etapa es dar el tamaño requerido a los residuos plásticos ( Polietileno de Baja Densidad, Película ) y de esta manera acondicionarlos para poder pasar a la siguiente etapa.

El cortado de material se lleva a cabo en una cortadora rotatoria ya que en este tipo de materiales resulta más efectivo ejecutar varias operaciones de corte sobre los residuos de Polietileno de baja densidad en lugar de ejercer una presión o un choque, que daría lugar a la producción de calor redundando en las propiedades del plástico.

La estructura usual del equipo comprende un rotor con cuchillas uniformemente espaciadas sobre la periferia. La recepción del material de alimentación se realiza a través de una tolva. En general se especifican cinco cuchillas de rotor y estas se colocan a un ángulo ligero en relación al eje, a fin de asegurar cortes en cizalla con una dirección inversa a la de las cuchillas alternas

### **Lavado.**

**Equipo: FA-112 Tanque de lavado**

Esta etapa es necesaria para asegurar propiedades adecuadas en el producto final, el equipo utilizado para la realización de esta etapa es un tanque con agitación ya que permite trabajar con altas capacidades de producción.

En el tanque se lleva a cabo la limpieza del PEBD y trabaja normalmente con agua como medio de lavado adicionada con un agente tensoactivo para la eliminación de contaminantes tales como mugre, lodo, etc.

Esta operación esta basada en la acción del agente tensoactivo ( detergente ), ya que el agua por si sola no es capaz de disolver estas sustancias hidrófobas, en cambio el detergente, con una parte polar y otra hidrofobica, la primera se orienta hacia la parte acuosa y la segunda hacia la fase orgánica con lo que se forma una emulsión estable de aceite y agua que puede separarse de la superficie que se esta lavando.

El funcionamiento a grandes rasgos de este equipo es el siguiente; la mezcla de residuos plásticos, PEBD sucio, con el medio de lavado, agua y detergente, es alimentada al tanque cilindrico vertical, el cual esta constituido por agitadores montados sobre un eje vertical, la agitación tiene la función de aumentar la eficiencia de la operación de lavado porque hace que el agua con el detergente entre en contacto con la mayor parte de la superficie sucia del plástico.

Terminado este paso, que toma en promedio un tiempo de 20 minutos para los 330 Kg / hr, se procede al drenado de la solución para lo cual el cilindro cuenta con un fondo falso que hace las veces de un filtro separando de esta forma el PEBD del agua. En caso de ser necesario se procede a una segunda operación de lavado.

Secado.

Equipo: BA-114 Secador horizontal de transportador de criba

Una buena parte del agua que esta en contacto con los residuos plásticos de PEBD se elimina en el drenado pero los residuos quedan aun con una humedad muy alta para ser alimentados al preenfriador lo que hace necesario una etapa de secado antes de llegar a este.

El equipo usado es un secador horizontal de transportador de criba.

Su funcionamiento se basa en el principio de soplado de aire caliente a través de un lecho del material mojado. Las velocidades de secado son mayores por contar con una amplia superficie de contacto.

El PEBD es transportado formando una capa de 3 pulgadas sobre un manto horizontal perforado o de malla mientras se hace pasar aire caliente en sentido ascendente.

El secador consta de un ventilador y de varios serpentines colocados en serie que constituyen una cubierta o tunel a través del cual se mueve la malla transportadora. El aire se expulsa continuamente mediante un ventilador de escape. El secado por circulación directa necesita que el material húmedo presente de pequeñas a medianas dimensiones para que el aire caliente pueda soplarlo fácilmente a través de él.

Compactado y preenfriamiento.

Equipo: JA-115 Transportador helicoidal

La etapa de compactación tiene la finalidad de aumentar la densidad aparente del PEBD, además de ser una medida preventiva para evitar atascamientos en el transportador del material, que es la siguiente etapa.

La compactación ocurre cuando se aplica una fuerza a un sistema, dentro de un espacio confinado. El éxito de la operación depende en parte del aprovechamiento y la transmisión eficiente de la fuerza externa aplicada y en particular de las propiedades físicas del termoplástico.

Esta operación se practica en dos clases de equipo que son los dispositivos confinados a presión en los que el movimiento y el esfuerzo cortante de las partículas son incidentales a su

consolidación en moldes cerrados o entre dos superficies. El otro dispositivo son los de extrusión: en los que el material sufre un esfuerzo cortante y específico y es prensado por medio de un troquel. La etapa de compactación se llevará a cabo en una tolva de relleno de tipo embolo que se encuentra implementada en el transportador.

La parte del preenfriamiento se realiza en un transportador helicoidal, este transportador consiste de un sistema de aspas helicoidales ( helices laminadas a partir de una barra plana de acero ) montadas en una tubería o en un eje que gira. La potencia del transporte se transmite a través del eje de la tubería y se limita por el posible tamaño de sus piezas.

El transportador se utiliza para operaciones de transferencia de calor, mediante el uso de tornillos huecos o sistemas de rocío, además es posible asegurar una eficiente transferencia de calor porque el transportador es sellado, con el fin de evitar fugas al aire libre, repercutiendo en la operación de transferencia de calor y en la seguridad del personal responsable del manejo del equipo.

Funciona a velocidades de rotación bajas y los requerimientos de potencia se dividen en dos componentes, uno para impulsar el tornillo vacío y el que se requiere para el desplazamiento del material, el primero es una función de la longitud del transportador, la velocidad de rotación, y el segundo del peso total del PEBD transportado por unidad de tiempo, la longitud del recorrido.

El medio de enfriamiento, nitrógeno líquido, es aplicado por inyección directa al transportador para así tener mayor eficiencia en el enfriamiento. El nitrógeno líquido a  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$  es directamente rociado al plástico compactado, que va a ser molido, y se evapora

rápidamente absorbiendo calor del plástico. Los vapores de nitrógeno viajan en contra del movimiento del material.

En esta etapa de preenfriamiento se ha hecho referencia al nitrógeno líquido el cual debe estar contenido en recipientes apropiados para esas temperaturas de  $-196^{\circ}\text{C}$ . Se pueden usar aceros inoxidable ( serie 300 ).

Se incrementa la eficiencia del preenfriamiento si se cuenta con una recirculación de los gases de nitrógeno que va de la descarga del molino a la tolva de alimentación al transportador helicoidal.

Molido de material.

Equipo: CA-116 Molino de martillos

En esta parte del proceso el material es granulado, a pesar de que el material ya esta preenfriado se realiza una inyección adicional de nitrógeno líquido, para prevenir que al ser molido el PEBD genere calor.

Para realizar el granulado se emplean los molinos de martillos que pulverizan y desintegran a altas velocidades, el eje del rotor puede ser horizontal o vertical predominando el primero. El eje sostiene a los martillos que son elementos en forma de T. El rotor funciona dentro de un recipiente que contiene un revestimiento de molienda. La finura del producto esta determinada por el espacio abierto que se conserva entre el revestimiento y el rotor, y se puede regular cambiando la velocidad del rotor, la velocidad de la alimentación o la abertura entre los martillos y la placa de molienda, así como también cambiando el tipo y la cantidad de martillos utilizados.

La descarga del molino cuenta con una criba o rejilla que sirve como un clasificador interno. Este tipo de molino se utiliza para

el procesado de materiales suaves, de tipo no abrasivo con durezas de 1.5 o menor.

Para la molienda de residuos plásticos el equipo usado es el Micko-Pulverizer que es un molino de martillos de alimentación controlada, sellada, abertura angosta y alta velocidad.

Las velocidades, tipos de martillo, dispositivos de alimentación, variedad de armazones y las perforaciones de las cribas o pantallas pueden alterarse para satisfacer aplicaciones específicas.

Las puntas de los martillos están provistas de inserciones de carburo de tungsteno para proveerlos de mayor resistencia al desgaste.

A estos molinos se les adapta una gran variedad de cribas, del tipo de perforaciones huecas, ranuras transversales o en forma de espiga, en un extenso intervalo de tamaños de orificio. En este proceso se utilizará la criba de orificios redondos ya que es la más fuerte y se recomienda para los plásticos.

#### Descarga

Equipo: FA-117 Tolva de descarga

Esta etapa es para asegurar el empaque del PEBD reciclado bajo un control estricto y automático. El empaque se realiza en bolsas con un contenido final de 50 Kg de PEBD.

#### 5.1.4. Lista de Equipo de Proceso, Molienda Criogénica

CA-111	Cortadora rotatoria
FA-112	Tanque de lavado
LA-113	Bomba
BA-114	Secador horizontal de transportador de criba
JA-115	Transportador helicoidal
CA-116	Molino de martillos
FA-117	Tolva de descarga

### 5.1.5. Especificaciones del Equipo

#### CA-111 Cortadora rotatoria

Capacidad: 330 Kg / hr

Potencia: 5 HP

Material de construcción: Acero inoxidable 304

Rotor de 5 cuchillas

Características: longitud de cuchillas 12 pulg.

Material de manejo: PEBD, película

Condiciones de operación: P y T ambientes

#### CA-112 Tanque de lavado

Forma: cilindro vertical

Capacidad: 3 m<sup>3</sup>

Motor de agitación

Potencia: 3 HP

Agitadores: montados sobre el eje vertical

Material de construcción: Acero inoxidable 304

Característica: fondo falso

Material de manejo: PEBD, agua y detergente

Condiciones de operación: P y T ambientes

#### CA-114 Secador horizontal de transportador de criba

Capacidad: 300 kg / hr

Longitud: 5 metros

Díámetro: 1 metro

Potencia: 3 HP

Profundidad del lecho: 3 pulg.

**JA-115 Transportador helicoidal**

Capacidad: 300 kg / hr

Longitud: 3 metros

Diámetro: 0.60 metros

Potencia: 3 HP

Material de construcción: acero inoxidable 304

material que maneja: PEBD, nitrógeno líquido

Condiciones de operación: P atmosférica y T = -196°C

**CA-116 Molino de martillos**

Capacidad: 300 kg / hr

Potencia: 5 HP

Material de construcción: acero inoxidable 304

Característica: 20 pares de martillos

Material que maneja: PEBD, nitrógeno líquido

Condiciones de operación: P atmosférica y T = -196°C

**FA-117 Tolva de descarga**

Capacidad: 1000 kg / hr

Sistema automático

Condiciones de operación: P y T ambientes

### 5.1.6. Balance de Materia y Energía

#### CA-111 Cortadora rotatoria

Material	Entrada	Salida
PEBD	330 Kg / Hr	330 Kg / Hr
Eficiencia = 0.95%		297 Kg / Hr

#### FA-112 Tanque de lavado

Material	Entrada	Salida
PEBD	297 Kg / Hr	330 Kg / Hr
		$Y_1 = 0.1111$
Agua	500 Kg / Hr	467 Kg / Hr

#### BA-114 Secador horizontal de transportador de criba

Material	Entrada	Salida
PEBD	330 Kg / Hr	300 Kg / Hr
	$Y_1 = 0.1111$	$Y_2 = 0.0204$
Aire	1334.28 Kg / Hr	
	$Y_1 = 0.01$	$Y_2 = 0.035$

#### B. ENERGIA

PEBD	$T_e = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_s = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$
	$\Delta H_1 = 55,394\text{ J / Kg}$	$\Delta H_2 = 58,058\text{ J / Kg}$
Aire	$\Delta H_1 = 121,264\text{ J / Kg}$	$\Delta H_2 = 120,646\text{ J / Hr}$

#### JA-115 Transportador helicoidal

Material	Entrada	Salida
PEBD	300 Kg / Hr	300 Kg / Hr
N <sub>2</sub>	292.4 Kg / Hr	292.4 Kg / Hr

#### B. ENERGIA

PEBD	$T_e = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_s = -120\text{ }^{\circ}\text{C}$
	$\Delta H = -23,925\text{ cal / Kg}$	
N <sub>2</sub>	$T_1 = -196\text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_2 = -40\text{ }^{\circ}\text{C}$
	$\Delta H = 23,925\text{ cal / Kg}$	

**CA-116 Molino de martillos**

<b>Material</b>	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>
<b>PEBD</b>	<b>300 Kg / Hr</b>	<b>300 Kg / Hr</b>

**FA-117 Tolva de descarga**

<b>Material</b>	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>
<b>PEBD</b>	<b>300 Kg / Hr</b>	<b>300 Kg / Hr</b>

### 5.1.7. Localización de la Planta

Los factores que se consideran para determinar la localización de la planta son los siguientes:

- 1.- Parques industriales donde gubernamentalmente este permitida la instalación de plantas químicas.
- 2.- Disponibilidad de materias primas consistente en la ubicación de los centros de acopio y tratamiento de los residuos urbanos.
- 3.- Disponibilidad de servicios auxiliares.
- 4.- Localización de clientes.

Tomando en cuenta que el volumen manejado por la planta no es muy grande, la extensión del terreno para la instalación de la planta será de 1200 m<sup>2</sup>. Por disposición gubernamental tanto en el area metropolitana como en el Distrito Federal no se permite la instalación y operación de nuevas plantas químicas.

Las zonas en las que se permite la instalación de la planta y resultan atractivas para el proyecto son:

- a) Parque industrial de Guadalajara.
- b) Parque industrial de Querétaro.
- c) Parque industrial de San Luis Potosi.

Estos tres parques industriales se encuentran en la zona 1.

Tomando en cuenta los puntos anteriormente expuestos se considero instalar la planta química en el parque industrial de Querétaro por ser de las áreas mencionadas la de mayor cercanía al Distrito Federal, tomando en cuenta la disponibilidad de materia prima, cuenta con todos los servicios auxiliares además de ser un lugar

apropiado para establecer los correspondientes canales de distribución del producto.

El apoyo crediticio a la micro y pequeña empresa hacia esta zona se canaliza a través de NAFIN mediante, el Programa para la micro y pequeña empresa, promueve financieramente la creación y desarrollo de este tipo de empresa vinculando la integración y fortalecimiento de cadenas productivas.

Este proyecto se clasifica dentro de la pequeña industria ya que genera menos de 100 empleos y su volumen de ventas no rebasa los 1,115 salarios mínimos.

Monto de los créditos ( MDP )

Tipo de crédito                      Tamaño de la empresa      ( Años )

---

	Micro	Pequeña	Amortización
Habitación o avío	150	1,500	3
Refaccionario	150	1,500	10
Hipotecario industrial	80	800	7
Monto máximo	400	4,000	

El destino de los recursos comprende: a) Habitación o avío: materia prima, sueldos, salarios y otros, b) Refaccionario: maquinaria y equipo, instalaciones físicas, c) Hipotecario industrial: pago de pasivos.

Si la adquisición o construcción de la nave se realiza dentro de la zona 1, el solicitante podrá obtener apoyos con recursos del PROMYP ( Programa para la micro y pequeña empresa ), hasta el 100% del valor total del inmueble, sin exceder el monto máximo para este tipo de crédito.<sup>(2)</sup>

( 1 ) Nacional Financiera, Oferta crediticia de NAFIN al sector industrial, Programas de apoyo, Sucursal regional Querétaro.

## 5.2.0. Estudio de Mercado

Las variables mercadotecnicas del proyecto son:

- Producto.
- Promoción.
- Precio.
- Distribución.

Todas estas variables pueden ser predecibles basandose en series históricas. Posteriormente se llevara a cabo un análisis de estas variables y una vez ya estudiadas se conocera en forma global el mercado que se puede cubrir, por tanto la capacidad tentativa de la planta así como la localización de la misma.

### 5.2.1. Producto

Las propiedades físicas y químicas del PEBD se presentan en el apéndice número uno.

Petróleos Mexicanos es el productor y distribuidor más importante de polietileno de baja densidad en México. La capacidad instalada se encuentra distribuida como se presenta en la tabla No. 5.2.

Además de PEMEX en el mercado mexicano existen las siguientes empresas:

- Dow Química Mexicana S.A.
- Grupo Plástico Nova, S.A de C.V.
- Pellets Distribuidora Técnica de Plástico.
- Polian, S.A.
- Union Carbide Mexicana S.A.

Petróleos Mexicanos produce el polietileno de baja densidad bajo las especificaciones que se presentan en las Tablas del capítulo número cuatro. Sólo se analizarán las características del polietileno fabricado por PEMEX por ser el productor más importante.

Localización de la planta	Toneladas
La Cangrejera Ver.	240,000
Poza Rica Ver.	81,000
Reynosa, Tam.	18,000
Total	339,000

TABLA No. 5.2. Distribución de la Capacidad Instalada, Petróleos Mexicanos

La tabla No. 5.3 presenta la participación y tendencia de la segmentación del mercado de PEBD en México.

De esta tabla se desprende que en el mercado mexicano, en el sector de artículos plásticos, el PEBD se presenta como el termoplástico de más alto consumo, sobre todo en las empresas dedicadas a la fabricación de material de empaque y embalaje ( películas y envase ).

Aplicación	1981	1985	1990	Tendencia
Película	78	81	77	Variable
Art. del hogar	4	4	6	Positiva
Alambre, cable	8	5	4	Negativa
Envase	4	4	4	Estable
Juguetes	2	2	4	Positiva
Otros*	4	4	5	Positiva

Tabla No. 5.3. Participación y Tendencia de la Segmentación de Mercado PEBD ( México )

Fuente: Instituto Mexicano del Plástico

Nota: Otros\* incluye mezclas y ducto eléctrico

De acuerdo a lo anterior y al estudio hecho en el capítulo número cuatro se puede concluir que el PEBD reciclado, puede cumplir con los requisitos del mercado actual, ya que se cuenta con la tecnología adecuada para producirlo y de acuerdo a su calidad puede ser usado con el siguiente grado de confiabilidad. La tabla No. 5.4 muestra las aplicaciones para PEBD reciclado agrupadas en forma creciente de confiabilidad.

Aplicaciones	Confiabilidad
1.-Aislante eléctrico	
2.-Película transparente	
3.-Contenedores rígidos	
4.-Película de uso general	
5.-Tubería	
6.-Moldeo	

TABLA No. 5.4. Aplicaciones del Polietileno de Baja Densidad Reciclado

#### 5.2.2. Consumo

En México los plásticos juegan un papel muy importante ya que participan prácticamente en toda la cadena productiva. Más del 80% del mercado de los plásticos corresponde a los termoplásticos, destacando en éstos, el polietileno de baja densidad, el polietileno de alta densidad, el policloruro de vinilo, el poliestireno, el polipropileno y los poliuretanos.

El PEBD, en los últimos siete años ha tenido un 30% de participación relativa en el mercado de los termoplásticos. Como se observa en las tablas No. 5.5 y 5.6. mostrándonos al PEBD como el termoplástico de más alto consumo en el mercado y por tanto uno de los más importantes. Estas tablas se complementan con la figura No. 5.5, en donde no se aprecian fluctuaciones de gran relevancia, mostrando una tendencia a mantenerse constante.

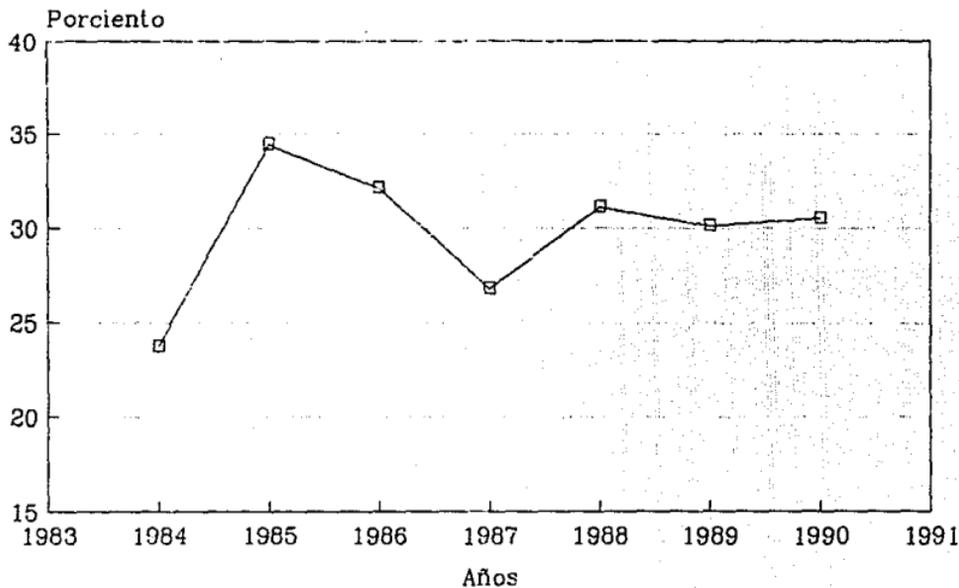
Producto / Año	1988	1990
Copolímero VCM-VAM	0.4	0.3
PVC	11.9	11.8
PS	8.0	8.2
PET	0.5	0.7
PEAD	14.4	16.6
PEBD	31.1	30.5
PP	10.3	10.3
Total	76.6	78.0

Tabla No. 5.5. Participación Relativa en el Mercado de los Termoplásticos ( México )

Año	Porcentaje
1984	23.8
1985	34.4
1986	32.1
1987	26.8
1988	31.0
1989	30.1
1990	30.5

Tabla No. 5.6. Participación del PEBD en el Mercado de los Termoplásticos ( México )

## PARTICIPACION DEL PEBD EN EL MERCADO DE LOS TERMOPLASTICOS



—□— % participación

Figura No. 5.5.

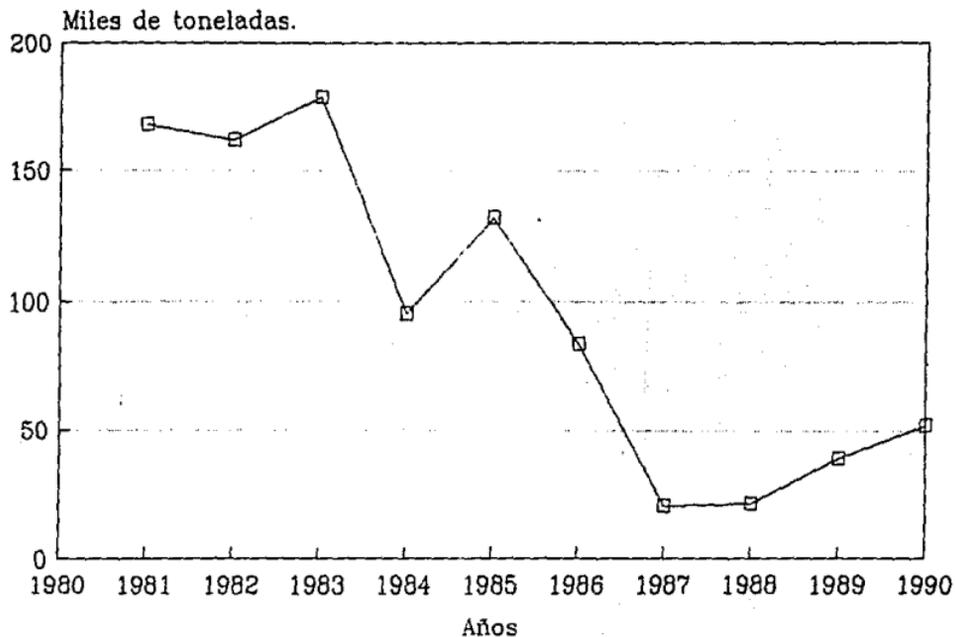
La Tabla No.5.7. presenta la información relativa de las importaciones globales por año así como el porcentaje de variación con respecto al año anterior.

Año	Importación	% Variación
1981	167,795	---
1982	161,795	(3.58)
1983	178,830	10.53
1984	95,148	(43.21)
1985	132,421	39.17
1986	84,251	(36.38)
1987	20,550	(76.61)
1988	21,302	3.66
1989	39,380	84.87
1990	52,325	32.87

TABLA No. 5.7. Volumen de Importación PEBD ( Toneladas )

En la figura No. 5.6. se observa que hay tres decrementos en las importaciones drásticos debido a que Petróleos Mexicanos aumento su capacidad instalada en 1983, de 99,000 toneladas a 179,000 toneladas en 1984. Sin embargo este aumento no fue suficiente para satisfacer la demanda de 1985 que fue de 259,000. En la actualidad la capacidad instalada es 339,000 toneladas . Es evidente que el aumento de las importaciones en los últimos años es consecuencia del aumento en el consumo del plástico y a que la capacidad instalada del máximo productor se ha mantenido constante.

## IMPORTACION DE PEBD.



—□— Importación

Figura No. 5.6.

La tabla No. 5.8. presenta el consumo aparente del PEBD.

Año	Consumo Aparente	% Variación
1981	259,040	19.50
1982	255,140	(1.50)
1983	267,125	4.70
1984	230,668	(13.64)
1985	292,417	26.80
1986	326,417	11.60
1987	262,104	(19.70)
1988	338,403	29.10
1989	379,435	12.10
1990	428,762	13.00

TABLA No. 5.8. Consumo Aparente PEBD ( Toneladas )

En la Tabla No. 5.9. presenta la proyección a futuro del consumo aparente de PEBD. Se puede analizar que existe un incremento favorable a futuro del consumo aparente de PEBD, lo cual se puede apoyar además con los datos obtenidos de las importaciones y sus porcentajes de variación.

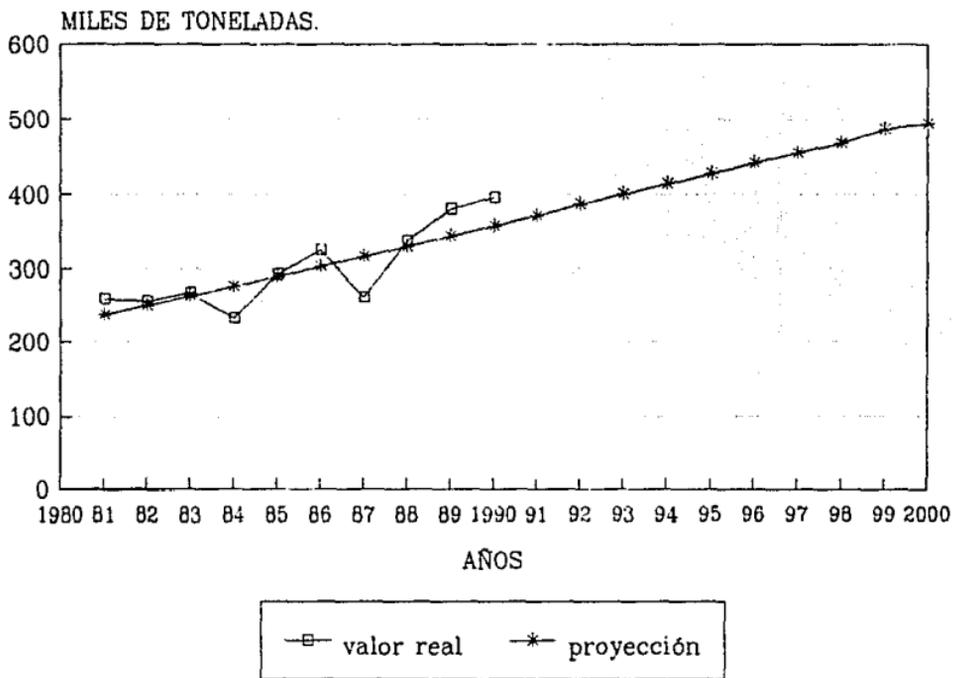
La interpretación de estos datos debe ser cuidadosa, por los factores que se muestran a continuación.

Año	Valor real	Valor proyectado
1981	259,040	235,612
1982	255,140	249,229
1983	267,125	262,847
1984	230,668	276,465
1985	292,417	290,083
1986	326,417	303,701
1987	262,104	317,319
1988	338,403	330,701
1989	379,435	344,555
1990	395,604	358,173
1991		371,791
1992		385,409
1993		399,027
1994		412,645
1995		426,263
1996		439,881
1997		453,498
1998		467,116
1999		486,734
2000		494,352

Tabla No. 5.9 Proyección del Consumo Aparente PEBD ( Toneladas )

La tendencia de crecimiento del consumo aparente tiene como consecuencia una mayor generación de desperdicios y la necesidad de ser reciclados, debido a las medidas más estrictas para el control de la contaminación ambiental.

## CONSUMO APARENTE DE POLIETILENO PROYECCION



ANUARIO ESTADISTICO ANIQ  
Figura No. 5.7.

La Tabla No. 5.10. descubre el comportamiento de la producción y exportación de este material. Observandose que en la actualidad la producción se consume en su totalidad en el país y sólo hay un antecedente de exportación.

Año	Producción	Exportación
1981	91,245	0
1982	93,345	0
1983	88,295	0
1984	135,520	0
1985	159,996	0
1986	242,166	0
1987	256,836	15,282
1988	317,101	0
1989	340,101	46
1990	360,245	32

Tabla No. 5.10 Producción y Exportación de PEBD ( Toneladas )

La distribución geográfica del consumo del PEBD se muestra en la Tabla No. 5.11.

Area	% Consumo
D.F. y Area metropolitana	55
Guerrero, Jalisco, Colima Michoacán, Guanajuato.	20
Zona Norte	20
Zona Sur	5

Tabla No. 5.11 Distribución Geográfica del Consumo PEBD

Esta distribución corresponde a zonas industrializadas con tasas demográficas crecientes y por tanto generadoras de desperdicios.

#### 5.2.2.1. Panorama Internacional

La capacidad instalada mundial para la fabricación del PEBD se presenta en la tabla No. 5.12 destacandose Europa y Estados Unidos.

Región	M. de toneladas	Porcentaje
Europa Occidental	5730	36
Estados Unidos	3598	23
Europa del Este	2013	13
Latinoamerica	1216	8
Asia y Pacífico	1240	8
Japón	1200	8
Canadá	405	2
Africa y Oriente Med.	403	2
Total mundial	15805	100

Tabla No. 5.12. Capacidad Instalada a Nivel Mundial, PEBD, 1990.

El consumo aparente para Europa Occidental, Estados Unidos y Japón se muestran en la tabla No. 5.13. La segmentación del mercado a nivel mundial se distribuye en forma general como se representa en la tabla No. 5.14.

Año	Europa Occidental	Estados Unidos	Japón
1982	3,433	2,369	828
1983	3,531	2,374	795
1984	3,764	2,639	854
1985	3,862	2,878	1063
1986	3,953	2,935	1090
1987	4,403	3,011	1075
1988	4,765	3,452	1143
1989	4,979	4,111	1216
1990	5,074	3,978	1294

Tabla No. 5.13. Consumo Aparente de PEBD ( M. Toneladas )

APLICACION	PORCENTAJE
Empaque y envase	80
Mezcla y compuesto	6
Sector: eléctrico, construcción tubería y bienes de consumo	13

Tabla No. 5.14. Segmentación de Mercado Mundial, Presentación General

En forma más específica se presenta la segmentación del consumo en las tablas No. 5.15, 5.16 y 5.17. De esas tablas se concluye que la principal aplicación del PEBD es el envase y el empaque.

Sector	M. Toneladas	Porcentaje
Envase y empaque	4,220	83
Eléctrico	195	4
Construcción	174	4
Mezcla y compuestos	170	3
Bienes de consumo	150	3
Art. de recreación	45	1
Otros	120	2
Total	5,074	100

Tabla No. 5.15. Segmentación del Consumo, Europa Occidental

Sector	M. Toneladas	Porcentaje
Envase y empaque	2,886	73
Eléctrico	154	4
Construcción	143	3
Mezcla y compuestos	450	11
Bienes de consumo	190	5
Art. de recreación	72	2
Otros	83	2
<b>Total</b>	<b>3,978</b>	<b>100</b>

Tabla No. 5.16. Segmentación del Consumo, Estados Unidos

Sector	M. Toneladas	Porcentaje
Envase y empaque	910	70
Eléctrico	80	6
Construcción	20	2
Mezcla y compuestos	165	13
Bienes de consumo	66	5
Art. de recreación	15	1
Otros	38	3
<b>Total</b>	<b>1,294</b>	<b>100</b>

Tabla No. 5.17. Segmentación del Mercado, Japón

De la tabla No. 5.18., la cual muestra los procesos de transformación del PEBD utilizados en Europa Occidental, Estados Unidos y Japón, podemos concluir que el proceso más usado es el de extrusión.

Proceso	Europa Occidental		Estados Unidos		Japón	
	1985	1990	1985	1990	1985	1990
Extrusión	86.4	88.0	77.1	74.7	74.3	72.6
Inyección	6.5	6.4	8.2	9.5	7.0	7.9
Soplado	2.4	2.2	0.7	1.0	4.0	4.0
Rotomoldeo	N.D.	N.D.	1.6	2.8	N.D.	N.D.
Otros	4.7	3.4	12.4	12.0	14.7	15.5

Tabla No. 5.18. Procesos de Transformación del PEBD, Europa Occidental, Estados Unidos y Japón

### 5.2.3. Promoción

Después de determinar las características del producto y la dimensión del mercado existente, así como las condiciones de la competencia, es indispensable establecer que tipo de promoción se utilizará para comercializar nuestro producto, fundamentada en dos factores como es el precio y la distribución.

El PEBD es una materia prima para los procesos de fabricación de artículos de plástico. Para su venta el material se envasará en sacos de 50 kg de capacidad, que pueden ser almacenados en un lugar con buena ventilación y bajo contenido de humedad, además se contará con un folleto el que dará información detallada sobre las especificaciones del producto.

La forma de llevar a cabo la promoción sera mediante la visita personal al departamento de compras de las empresas dedicadas a

nuestro sector de interés, principalmente a aquellas que se dedican a importarlo.

#### 5.2.4. Precio

Esta determinado por el mercado y sirve para que el producto pueda ser competitivo dentro del mercado, tratándose de un producto con características ligeramente inferiores a las del plástico virgen, no es posible establecerlo en un precio elevado, ya que la consecuencia lógica sería no poder tener la oportunidad de colocar nuestro producto en el mercado y un precio demasiado bajo, además de acarrear bajas utilidades, desequilibra el mercado existente.

El precio se debe basar en el precio de venta de la competencia, tipo de consumidores, la reacción de los competidores, etc.

Ahora bien para poder introducir nuestro producto al mercado, el precio que debemos fijar debe ser flexible y menor al de la competencia, pero acorde a nuestros costos de producción.

El precio fijado es de 2500 \$ / kg de PEBD reciclado. Como se muestra en la tabla No. 5.19., 5.20. y la figura No. 5.3.

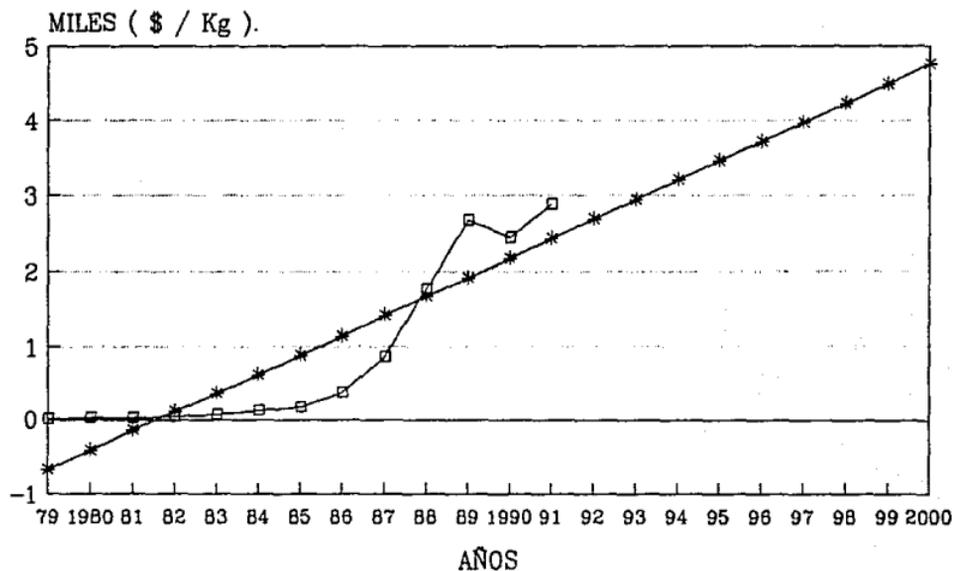
Año	Valor ( \$/Kg )	Año	Valor ( \$/Kg)
1979	14.57	1986	384.45
1980	15.80	1987	868.35
1981	16.46	1988	1767.67
1982	32.09	1989	2668.67
1983	70.50	1990	2441.34
1984	130.19	1991	2870.09
1985	175.18		

Tabla No. 5.19 Precios Unitarios ( \$ / Kg ) PEBD, Pesos Corrientes

Año	Valor ( \$/Kg )
1979	-665.84
1980	-407.99
1981	-150.15
1982	107.69
1983	365.53
1984	623.38
1985	881.22
1986	1139.06
1987	1396.91
1988	1654.75
1989	1912.59
1990	2170.43
1991	2428.28
1992	2686.12
1993	2943.96
1994	3201.80
1995	3459.65
1996	3717.49
1997	3975.33
1998	4233.17
1999	4491.02
2000	4748.86

Tabla No. 5.20 Proyección del precio Unitario ( \$ / Kg ), PEBD,  
Pesos Corrientes

PRECIO UNITARIO DEL PEBD ( \$ / Kg ).  
PESOS CORRIENTES.



FUENTE: PEMEX.  
Figura No. 5.8.

### 5.2.5. Distribución

La distribución contribuye en forma vital a la mezcla de mercadotecnia porque aun cuando contemos con el producto conveniente, a un precio adecuado y una buena publicidad lo anterior es de poco valor si no se encuentra en el lugar adecuado y en el momento apropiado.

Ya se describio en que tipo de empaque para distribuir el PEBD reciclado, la forma de la distribución va a ser directa, ya que aun cuando los volúmenes a manejar sean grandes la presencia de distribuidores mayoristas o minoristas aumentarían el precio del plástico. Por lo que el mercado será del productor al usuario industrial en forma directa.

Este canal es de los más simples, y se corre el riesgo de cubrir menos mercado, pero el beneficio que se obtiene es un mayor control sobre el producto a distribuir y reduce los costos de distribución.

### 5.3.0 Estudio Macroeconómico y Microeconómico

El estudio macroeconómico se utiliza para conocer el entorno económico que rodea al proyecto industrial y de que manera lo afecta y es necesario realizarlo para conocer las posibilidades de instalar una planta industrial.

Los puntos que se tocaran en este estudio seran:

- Programa de estabilización
- Crecimiento económico
- Apertura comercial
- Sector externo
- Entorno económico internacional

En cuanto al estudio microeconómico su análisis se incluire en cada uno de los puntos del estudio macroeconómico, analizando el sector de actividad de los artículos plásticos.

#### 5.3.1 Programas de Estabilización

En México se ha implementado una política de rentas que consiste básicamente en restricciones directas en precios y salarios. El objetivo macroeconómico perseguido es reducir el índice medio de precio, la inflación, que afecta al país en general.

La política económica en México de precios concertados se inició con el Pacto de Solidaridad Económica ( P.S.E. ) en 1988 y estuvo sustentado en los siguientes puntos

- La concertación entre el Estado y los sectores campesino, obrero y empresarial para abatir la inflación, lo que se busco con una reducción en la demanda y con medidas como el control de precios de los básicos, de los salarios y del tipo de cambio.

- El saneamiento de las finanzas públicas enfocados a atacar el origen del aumento de los precios. La disminución del déficit público a través del decremento y racionalización de subsidios, venta de empresas paraestatales, reducción de egresos públicos por aumento de precios de gasolina, electricidad, transporte, etc.
- La restricción crediticia.
- La apertura económica, que representa un cambio para consolidar el control de la inflación y el asentamiento de bases para el crecimiento económico.

Los resultados del P.S.E. fueron positivos en el control de la inflación porque se logro reducirla de 131% en 1987, 51.7% en 1988 a solo 19.7% en 1989. El éxito en la reducción de la tasa de inflación se debio a varios factores tales como la reducción del déficit público como proporción del PIB de 11.3% en 1988 a 6.3 en 1989.

Otro elemento favorable es la apertura económica que creo un elemento de disciplina para el control de precios a través de una mayor competencia representada por productos importados.

En 1990 se establece el Pacto de Estabilidad y Crecimiento Económico ( P.E.C.E. ) ya que con una economía en etapa de recuperación es recomendable proseguir con un sistema de concertación para la desrregulación ordenada de precios.

El P.E.C.E. se basa en los siguientes puntos:

1.- Finanzas públicas

- Ley de ingresos y presupuestos para:
  - a) abatir la inflación.
  - b) sentar las bases para la recuperación

2.- Precios

- Sector público: congelación de los precios pagados por los consumidores y elevación de los precios pagados por la industria y el comercio.
- Sector privado.

- Precio de garantía.
- 3.- Política cambiaria
  - Deslizamiento del peso.
- 4.- Apertura comercial.
- 5.- Regulación económica.
- 6.- Reducción de endeudamiento externo
- 7.- Aumento de salarios mínimos.

El P.E.C.E. mantiene como principal objetivo la reducción del índice inflacionario además de ser esto el resultado más sobresaliente de la estrategia de la concertación entre las autoridades y los sectores de la sociedad. La última negociación del pacto preve su alcance hasta el 31 de Enero de 1993. Algo que resulta evidente es que se debe continuar el proceso de estabilización de forma gradual y no como política de choque que se presentó en 1988 y 1989.

Para 1992 se espera que la inflación se reduzca a 9.7%, en base a las perspectivas de inversión se preve un aumento del PIB ( 4% ) por cuarto año consecutivo, mayor al incremento de la población. Este proceso ha traído un cambio profundo en el sector productivo, ha mejorado el clima para los negocios que ahora se caracteriza por una competencia intensa y márgenes precio-costo más estrechos, también se refleja en el aumento de demanda de crédito provocada por la limitación de liquidez y la disminución del tipo de interés. No obstante, la respuesta de los industriales ante estos retos ha sido positiva y se muestra en la recuperación de la inversión como anticipo a mayores ventas esperadas a mediano y largo plazo.

En base a lo anteriormente expuesto instalar en este período de recuperación una empresa dedicada al reciclado de plástico es no sólo conveniente sino necesario para aprovechar todos los factores de producción, trabajo, capital y recursos naturales ( residuos plásticos ).

### 5.3.2 La Apertura Comercial

El nuevo ambiente económico plantea retos a la industria del país que exige diseñar políticas gubernamentales encaminadas a favorecer su desarrollo. En el pasado el Estado adoptó medidas proteccionistas, dedicadas a crear mercados cautivos a la incipiente industria nacional y a sustituir las importaciones tanto como fuera posible, abaratar artificialmente el uso del capital, al mismo tiempo que apoyo sectores que por algún motivo consideró estratégicos.

Estas medidas en sus inicios promovieron el desarrollo de la industria pero después la hicieron incapaz de competir en los mercados internacionales ante la tendencia de globalización de los mercados que conduce a los países a explotar sus puntos fuertes, a innovar tanto en productos como en procesos y en general adaptarse a un entorno donde la tecnología y los gustos de los consumidores cambian con rapidez.

En base a lo anterior México decide incorporarse a esa globalización y ésta se ha desarrollado de la siguiente manera: en 1982 nada se importaba sin permiso previo y el arancel ascendía hasta el 100%, en 1985, el 90% de las fracciones se libera y el arancel promedio es del 11%. Para el siguiente año, 1986, México ingresa al GATT y el máximo arancel es del 45%, al iniciarse los 90's ya sólo una porción de los productos importados requieren de un permiso previo y arancel máximo del 20%.

Hay mayor libertad para adquirir productos extranjeros, pero surge el problema de aprender a importar, buscar al proveedor con mejor precio, servicio, acceso al crédito, distribución oportuna y tecnológicamente más avanzado.

La apertura comercial tiene un doble significado. Primero, modifica nuestras relaciones con otros mercados y segundo, estimula cambios en el aparato productivo incorporando avances tecnológicos y pone en relieve defectos y ventajas de sectores completos.

Sin embargo la apertura comercial de México ha tenido tanto impactos favorables como desfavorables, en muchos sectores de nuestra economía, se puede citar el aumento de las importaciones y de las empresas importadoras que va de ocho mil en 1986 a más del doble en 1988, las importaciones se incrementaron más del 50% de 1987 a 1988. Esto es la respuesta a que algunas negociaciones no pueden enfrentar la competencia de bienes extranjeros y por tanto se dediquen a la comercialización y distribución de esos bienes. Esto puede llegar a ser una situación grave para el país.

De las ventajas más importantes de la apertura comercial, es la estimulación de la actividad económica ya que ofrece mas y mejores productos trayendo como consecuencia la necesidad de aumentar la eficiencia y la calidad de la producción para lograr competir, además las importaciones funcionan como un regulador del mercado y moderador de precios. Para la industria la apertura ofrece las ventajas de facilidad de importación de equipos, materiales e insumos en muchos casos a costos moderados y que no se fabrican en el país o no existe con la calidad adecuada, además de facilitar la operación industrial da pie a que la industria desarrolle nuevos productos tanto para el consumo interno como para exportar en condiciones convenientes.

Mencionando las desventajas encontramos que las más importantes son, el no saber importar y traer artículos de baja calidad y alto precio solo por ser novedosos, esto se refleja en la creciente economía subterránea que compite de forma desleal con el sector productivo formal de la economía nacional, la baja productividad laboral debido a la legislación correspondiente que parece equilibrarse con el bajo costo de la misma.

México desarrolla actualmente las negociaciones del Tratado de Libre Comercio con Estados Unidos y Canada.

Revisando las formas de asociación de comercio internacional

tenemos:

- Club de comercio preferencial. Se intercambian entre sus miembros algunas tarifas preferenciales y en sectores previamente determinados, por ejemplo la Comunidad Británica.
- Area de libre comercio. Se suprimen todos los impuestos de importación y todas las restricciones cuantitativas sobre el comercio mutuo de los bienes, excepto los servicios de capital, pero se conservan los aranceles originales frente al resto del mundo. El ejemplo lo tenemos con el Acuerdo Europeo de Libre Comercio, en el que participan siete países.
- Uniones aduaneras. Bajo el mismo esquema del área de libre comercio se adopta un arancel externo común sobre las importaciones de bienes provenientes del resto del mundo.
- Mercado común. Unión aduanera en la que se permite el libre movimiento de todos los factores de la producción.
- Unión económica. Es la mas completa de las integraciones, es un mercado común entre dos o más países que proceden a unificar sus políticas fiscales y monetarias. Los de la Comunidad Económica Europea realizan esfuerzos para lograrlo.

México evalua diferentes alternativas, especialmente como ya se menciona con Canada y Estados Unidos, al darse cuenta del fracaso de la ALADI ( la Asociación Latinoamericana de Libre Comercio ) como bloque comercial.

Actualmente México realiza aproximadamente el 70% de sus operaciones comerciales con esos dos países como podemos observar en la tabla No. 5.25.

Zona económica	Porcentaje
Estados Unidos - Canada	70.0
Comunidad Económica Europea	13.1
Japón	5.3
ALADI	3.1
Asociación Europea de Libre Comercio	1.6
Mercado Común Centroamericano	1.1
Europa Oriental	0.3
Mercado Común del Caribe	0.2
Otros	5.4

Tabla No. 5.25. Comercio Exterior de México

Si se quiere aprovechar la integración de México en el mercado norteamericano precisa con anterioridad satisfacer algunos requisitos de los que destacan los de indole económica.

- Consolidar la estabilidad para crecer de manera sostenida sin presionar el nivel general de precios. El saneamiento de las finanzas públicas es clave en el programa de estabilización implementado. La desincorporación de algunas empresas paraestatales que tiene como fin liberar recursos para la producción encaminado al desarrollo de una economía de mercado y además implementar un mejor sistema fiscal que concuerde con el de las otras dos naciones.
- Eliminar la doble paridad y el control del tipo de cambio, con el proposito de suprimir las distorsiones que provocan, para conseguirlo se debe contar con reservas internacionales que resistan cualquier movimiento especulativo. La paridad cambiaria debe determinarse en el mercado.

Los beneficios que se obtienen de un tratado de este tipo son, acceso a mercados más amplios, mejoras en la eficiencia del comercio y de los servicios, disciplina y congruencia en la política económica. En contraparte las desventajas potenciales son: las economías tienen el riesgo de especializarse en lo que resulta más eficiente en el momento de la integración, lo que reduce su fuerza ante los competidores y en lugar de ser uno de ellos solo se convierte en un consumidor, otro inconveniente es la imposibilidad de la pequeña y mediana industria para competir con las grandes empresas transnacionales llevando este proceso a lesionar e incluso eliminar a las primeras y se debe de resaltar que la pequeña y mediana industria son la base del sistema productivo del país.

Con las condiciones anteriormente mencionadas es necesario que cada empresa defina sus planes para enfrentar el entorno de comercio internacional, así como someterse a una evaluación de sus alcances y limitaciones, para elegir las medidas de corrección adecuadas a su realidad y posibilidades.

Con el Tratado de Libre Comercio la industria del plástico se enfrentará a grandes dificultades, necesitando mejorar y crecer, ofreciendo precios competitivos y productos de alta calidad y por ende aumentando la inversión en este ramo.

Porque el valor comercial del mercado de plástico en el país representa solo el 1% en el mundo mientras que Estados Unidos representa el 25%, por otra parte Canadá también es uno de los líderes en la industria del plástico, tanto en tecnología, producción y comercialización.

Por tanto México debe enfrentar sus deficiencias en tecnología aplicada, productividad, costos de producción, mano de obra capacitada, investigación y desarrollo con respecto a la industria del plástico.

### 5.3.3. Crecimiento Económico

En el modelo de desarrollo de México a fines de los 60's ya se identificaban excesos y omisiones. Entre los primeros, un crecimiento desmedido de la economía-ficción. Entre los segundos, el relativo abandono de la agricultura y una orientación de la planta industrial hacia el mercado interno, volviéndola incapaz para competir en los mercados foráneos.

En la década de los 70's es evidente la necesidad de una nueva orientación dependiente del sector productivo generador de divisas y del sector público. Sin embargo este período se caracterizó por sucesivas etapas de aceleración y ajuste, uso desmedido de recursos internos y externos, rápido avance de la deuda externa, déficit público creciente, destapamiento de la inflación y con ella la desconfianza lo que trajo consigo la fuga de capitales. En esta etapa, deslumbrados por un crecimiento económico altísimo además de anormal, se realizaron grandes inversiones y gastos públicos así como privados, sin apreciar los límites de una realidad caracterizada por recursos escasos que había que cuidar y hacer producir con la mayor eficiencia.

Para la década de los 80's la política económica presentada fue de correcciones, se busco implantar varios programas de estabilización, que lograron exitos en la balanza de pagos, no así en el desequilibrio interno de los precios, enmarcado por factores como la recesión económica mundial que trae como consecuencia la caída del precio del petróleo ( además del exceso de oferta del mismo ). Las medidas del gobierno; el Pacto de Solidaridad Económica ( PSE ) y el Pacto de Estabilidad y Crecimiento Economico ( PECE ). Estas medidas tanto fiscales, monetarias, cambiarias y comerciales estan consiguiendo abatir la inflación, favorecer la estructura productiva de México creando una economía menos sensible a cambios externos, han dado lugar al surgimiento de un sector exportador y la reanimación gradual de la actividad.

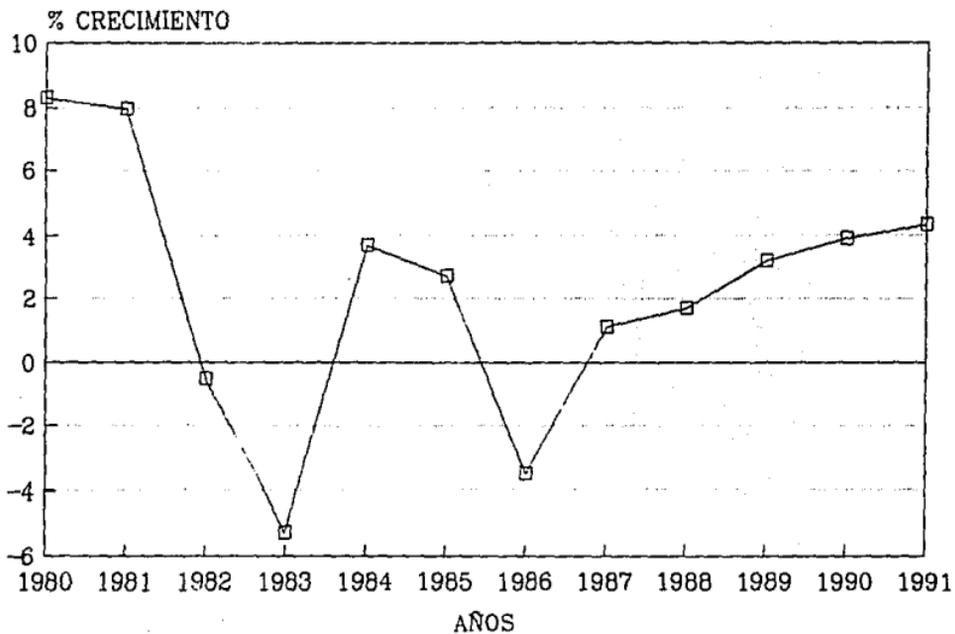
La economía mexicana esta orientada de una manera más firme y solida con la posibilidad de crecimiento permanente y estable. Para esta década se reafirma la recuperación gradual del crecimiento económico gracias a la política económica establecida, como se observa en la tabla No. 5.21 que se complementa con la figura No. 5.9, correspondiente

Año	Crecimiento económico %	Inflación promedio
1980	8.32	28.70
1981	7.94	26.69
1982	-0.54	58.49
1983	-5.27	96.28
1984	3.67	61.74
1985	2.69	54.40
1986	-3.50	77.12
1987	1.10	131.00
1988	1.70	51.70
1989	3.21	19.70
1990	3.88	29.90
1991	4.30	19.80

Tabla No. 5.21. Crecimiento Económico e Inflación

En estos momentos, siguiendo una política de libre mercado, los niveles de incertidumbre son menores a los existentes en la década pasada, lográndose tendencias a largo plazo de variables macroeconómicas, como la inflación, que tiende a estabilizarse y a disminuir gradualmente en los últimos años, lo que se muestra en la tabla No. 5.21 y en la figura No. 5.10.

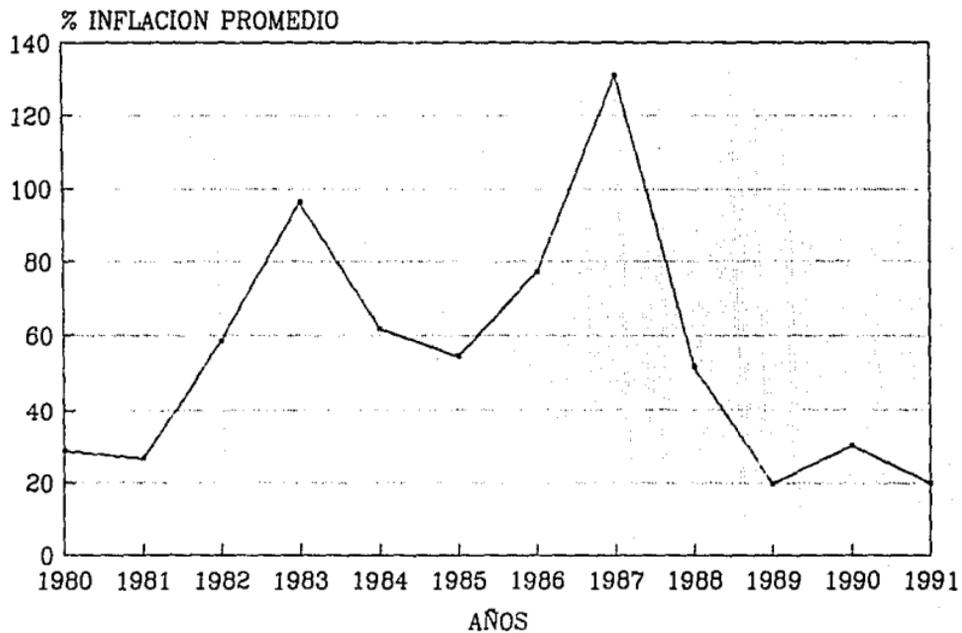
# CRECIMIENTO ECONOMICO ( % )



—□— % CRECIMIENTO

Figura No. 5.9.

## INFLACION PROMEDIO



— INFLACION PROMEDIO

Figura No. 5.10.

El proceso de recuperación y crecimiento económico es cada vez más palpable. La desregulación de actividades como, transporte, petroquímica secundaria y minería, la desincorporación de paraestatales y el clima de confianza creado para la captación de inversión extranjera y a la diversificación de nuestro aparato productivo.

Dentro del sector de actividad que involucra a nuestra empresa, artículos de plástico, en este termino se engloban industrias como:

- Envases y laminados de plástico.
- Laminados, perfiles, tubos y similares de plástico.
- Envases, envolturas y películas de plástico.
- Otros productos de plástico moldeado.
- Moldeado de calzado y juguetes de plástico.
- Moldeado de artículos de plástico.

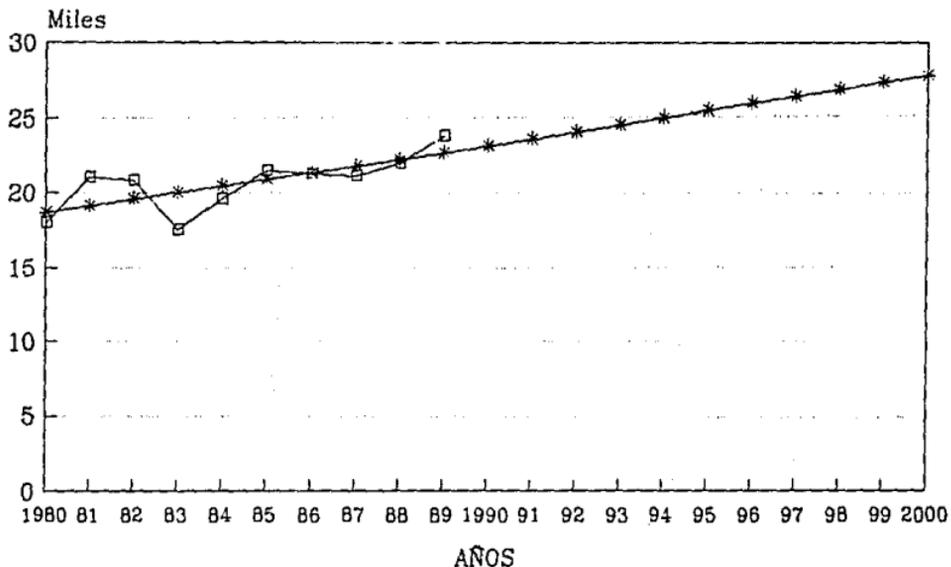
En la tabla No. 5.22 se muestran los valores en pesos constantes de 1980 del producto interno bruto P.I.B. para el sector de artículos de plástico donde se aprecia que esta industria tuvo problemas durante el período de 1982-1984, debido a la recesión económica que afecto el crecimiento del sector industrial. Sin embargo el congelamiento de los precios petroleros durante 1988 fue causa destacada de la consolidación de sustancias químicas y petroquímicas, sus costos no se incrementaron y aumentaron su margen bruto de producción, otro factor es la apertura comercial ya que implica disponibilidad de insumos importados, más baratos por baja de aranceles y el tipo de cambio, lo cual permitió una expansión de las ventas. A lo anterior se debe el crecimiento del P.I.B. del sector de artículos de plástico además de ser el reflejo del inicio de la recuperación económica del país.

Año	Valor Real
1980	17,948
1981	21,038
1982	20,791
1983	17,505
1984	19,529
1985	21,503
1986	21,284
1987	21,141
1988	22,008
1989	23,833

Tabla 5.22. Producto Interno Bruto, Sector Artículos de Plástico  
Millones de Pesos ( Pesos Constantes de 1980 ).

Por lo que respecta al producto interno bruto total, se puede observar la depresión causada por la crisis económica del país. Sin embargo se aprecia un crecimiento gradual de éste, por lo que se puede esperar una proyección con tendencia hacia el crecimiento económico en los próximos años, esto se observa en la tabla No. 5.23. que tiene como complemento la gráfica correspondiente.

# PRODUCTO INTERNO BRUTO. ARTICULOS DE PLASTICO.



—□— VALOR REAL    \*— PRONOSTICO

FUENTE: BANCO DE MEXICO.  
Figura No. 5.11.

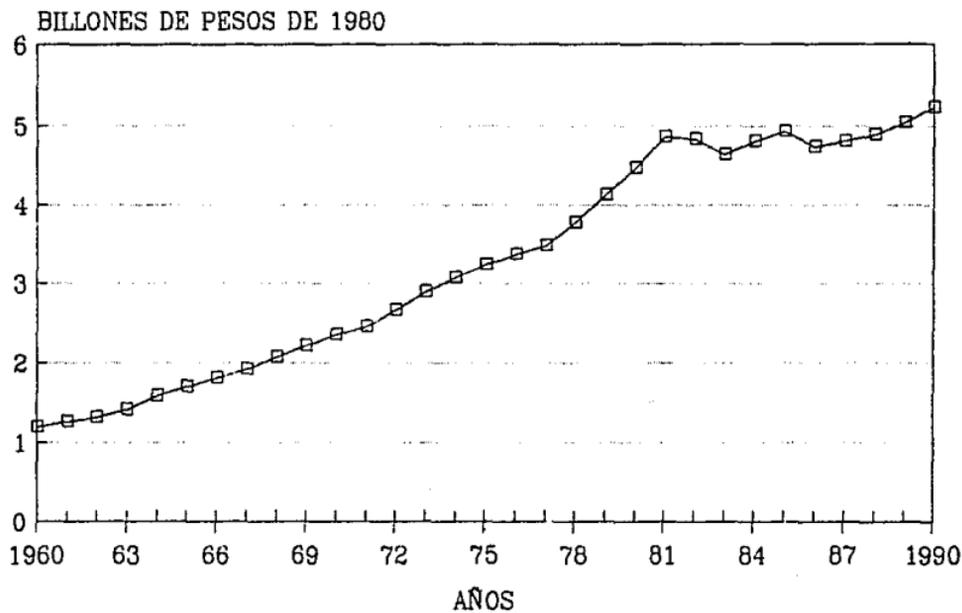
Año	Valor	Año	Valor
1960	1,197,081	1975	3,238,848
1961	1,256,095	1976	3,376,136
1962	1,314,783	1977	3,492,368
1963	1,419,817	1978	3,780,482
1964	1,585,837	1979	4,126,576
1965	1,688,675	1980	4,470,077
1966	1,805,726	1981	4,862,219
1967	1,918,943	1982	4,831,689
1968	2,075,062	1983	4,628,937
1969	2,206,285	1984	4,796,050
1970	2,358,991	1985	4,920,430
1971	2,457,395	1986	4,732,150
1972	2,665,975	1987	4,802,394
1973	2,890,158	1988	4,884,242
1974	3,066,769	1989	5,040,866
		1990	5,236,337

Tabla No. 5.24. Producto Interno Bruto Total, Millones de Pesos  
( Pesos Constantes de 1980 )

El Instituto Mexicano de Investigación Tecnológica señala que la demanda y la producción de plástico a nivel mundial esta deprimida como consecuencia de la recesión económica internacional, la disminución de exportaciones y por la creación de una conciencia ecológica especificandose un 1 % de decremento. En esta caída los termoplásticos son la excepción, ya que en 1991 incrementaron sus ventas en un 7.2% a nivel mundial, según datos proporcionados por la Society of Plastic Industry.

A pesar del panorama poco alentador para 1992 en México se espera un crecimiento del 33% en el sector de plásticos.

# PRODUCTO INTERNO BRUTO TOTAL



—□— P.I.B.

FUENTE: BANCO DE MEXICO  
Figura No. 5.12.

#### 5.3.4. Sector Externo

En la política económica mexicana el sector externo es uno de los puntos más débiles. Pero en 1990 después de catorce meses de intensas gestiones, México concluye su negociación con tres importantes fuentes de débito externo: el Club de París, que comprende los préstamos que tenemos con los gobiernos; los organismos multilaterales, Fondo Monetario Internacional ( FMI ), Banco Mundial y la banca comercial. En los primeros casos, los arreglos contemplan tanto un nuevo calendario de pagos cuanto dinero adicional los próximos tres años. En el último, el acuerdo es trascendental, porque, además de programarse los pagos del principal, que hasta ahora se hacen mensualmente, a uno solo en el año 2018.

Acerca de la disminución de recursos que salen al exterior, deben considerarse los efectos directos e indirectos sobre los recursos disponibles para inversión y, por tanto, sobre la capacidad productiva en el futuro. Los primeros consisten en tener recursos que pueden destinarse a aumentar la formación de capital. Los segundos aparecen cuando México vuelve a ser un país más seguro para los inversionistas. Son factibles la repatriación de capitales y la venida de inversión extranjera directa. Es posible bajar la tasa de interés y lograr más reducciones del déficit público. Todo ello significa mayor disponibilidad de fondos para la inversión y también mayor crecimiento a mediano plazo.

Por otra parte hay cambios en la política cambiaria tales como la reducción del deslizamiento del tipo de cambio, permitiendo bajar la inflación. Esto es factible gracias a la evolución favorable de la economía, la competitividad del aparato productivo y el superávit de la balanza de pagos, que a su vez se derivan de la entrada de recursos foráneos. La tabla 5.24. muestra la Balanza de Pagos de México así como el porcentaje de crecimiento de algunos

rubros de la misma. La reducción del deslizamiento del tipo de cambio permite anticipar menores tasas de interés y facilita la ampliación de los plazos de maduración del ahorro y la inversión. El desequilibrio en el exterior obedece a endeudamientos de las empresas para incrementar su capacidad productiva, ya no al déficit público.

Criterio	1990	1991	Crecimiento %	
			1990	1991
Importaciones	28,507.5	31,574.0	21.8	10.8
Exportaciones	26,030.1	27,523.8	17.4	5.7
No petroleras	17,132.2	19,085.0	15.1	11.4
Petroleras	8,897.9	8,438.8	23.3	(5.2)
Balanza Comercial	(2,477.4)	(4,050.2)	99.0	63.5
Cuenta Corriente	(4,994.6)	(6,134.0)	(8.3)	22.8
Deuda externa	1,906.0	2,700.0	--	--

Tabla No. 5.26. Balanza de Pagos, Criterios de Política Económica 1991, Millones de Dolares.

### 5.3.5. Entorno Económico Internacional

Dentro de este ambiente se observa que la actividad económica de los países industriales ha mantenido una tendencia creciente durante los últimos años, teniendo una tasa media de crecimiento de 4.5% en 1988, 3.5% en 1989 , pero sin embargo existe el peligro de un repunte de la inflación, ya que la intensificación de las presiones inflacionarias en 1989 se debió a factores transitorios.

Por lo anterior se pueden proponer algunos escenarios para la economía internacional. Uno de ellos sería que para los agentes del mercado externo los desequilibrios de la balanza de pagos de los tres grandes países industriales fuera insostenible si no se aplican nuevas medidas o varían los tipos de cambio. De lo que resultaría a mediano plazo una disminución del producto de los países industriales y una reducción efimera de los desequilibrios de la balanza en cuenta corriente y una disminución de la inversión en los Estados Unidos, así como el aumento de la carga de la deuda de los países en desarrollo muy endeudados y la disminución de su tasa de crecimiento económico.

En un segundo escenario, se toma como supuesto básico que el gobierno norteamericano llevo a cabo medidas encaminadas a reducir su déficit fiscal, esta medida puede deteriorar temporalmente el crecimiento económico de Estados Unidos ( con sus respectivos efectos sobre México ). Sin embargo la inversión aumentaría con la disminución de la tasa de interes y el déficit de la balanza en cuenta corriente de Estados Unidos, considerando además que se presentaría una tasa de inflación más baja.

Para México existen dos factores externos de gran relevancia, uno de ellos es el comportamiento del mercado petrolero mundial. En 1990 se presentó una volatilidad extrema en el mercado petrolero internacional, tanto por factores internos como externos, sobresaliendo en ambos casos el conflicto desencadenado en el Oriente Medio por la invasión de Irak a Kuwait y las consecuencias de esta.

El comportamiento del mercado, previo a la invasión iraquí, se caracterizó por la amplia disponibilidad de crudo en el mercado y en forma de inventarios comerciales, que llegaron a cifras nunca antes registradas. Tales niveles de oferta mundial condujeron al mercado a una situación donde la colocación de excedentes se basó en una competencia de precios. A raíz del conflicto del Oriente Medio el mercado petrolero experimento un cambio estructural de grandes magnitudes, se dejó de contar con un volumen equivalente de 4 MMBD lo que llevo a que se consumieran aceleradamente los altos inventarios y ante la posibilidad de sufrir un corte en el suministro de crudo el mercado se vio impulsado a pagar un sobreprecio del valor real del petróleo. Con volatilidad similar, las cotizaciones se vieron desplomar al final del año, pero el precio se situó por encima del prevaleciente antes del conflicto.

El segundo elemento es la incorporación del bloque de los países socialistas hacia una economía más libre, lo que trae como consecuencia que un importante monto de las inversiones de los países industriales que se tenían destinados hacia los países endeudados se invierta en el bloque antes socialista. Por lo que los países en vías de desarrollo deben buscar su crecimiento económico sostenido por medio del ahorro interno y exportaciones. Lo anterior se traduce en un marco de desbeneficio para los países deudores.

#### 5.4.0. Estimación de Costos

Para poder determinar la factibilidad económica del presente estudio es necesario llevar a cabo la estimación de costos, conociendo así en forma preliminar la trayectoria de la empresa.

La estimación de costos se realizó a pesos constantes de 1991, eliminando de esta manera las fluctuaciones inflacionarias incidentes en el proyecto.

Los factores a considerar en la evaluación del proyecto son:

- 1.- Se cuenta con el capital necesario para la instalación de la planta.
- 2.- La evaluación del proyecto abarcará un período de 10 años.
- 3.- Se considera un año cero en el que se instalará la planta y se realizarán pruebas y tramites.
- 4.- En el primer año de operación se trabajará al 80% de la capacidad instalada.
- 5.- Durante el segundo año de operación la producción se elevará hasta el 90% de su capacidad.
- 6.- Del tercero al décimo año se producirá al 100% de su capacidad
- 7.- Se considera un 80% de eficiencia del proceso.

Esto se realizará con vistas a obtener primero una posición dentro del mercado y en los años siguientes llevar a cabo una expansión en nuestra producción.

#### 5.4.1.- Capital de Inversión

La inversión en capital esta compuesta por las operaciones corrientes que se realizan durante su etapa de instalación y que se utilizan a lo largo de la vida util del proyecto.

##### 5.4.1.1 Costo del equipo ( C.E. )

La tabla No. 5.27 muestra en forma detallada el costo del equipo principal para la producción de PEBD reciclado. El costo del equipo es de \$ 469,060,000 M.N.

##### 5.4.1.2 Costo de instalación ( C.I. )

La tabla No. 5.28 contiene el costo de instalación de cada uno de los equipos. El costo de instalación es \$ 103,622,000 M.N.

$$C.I. = \$ 103,622,000$$

##### 5.4.1.3 Costo de tubería de proceso ( C.T. )

Considerando que se manejan sólidos y líquidos se destina a este rubro el 13% del costo total del equipo

$$469,060,000 * 0.13$$

$$C.T. = \$ 60,978,000$$

##### 5.4.1.4 Costo de instrumentación ( C. Ins. )

La instrumentación en esta planta es sencilla por lo que se tomará el 5% del costo total del equipo

$$469,060,000 * 0.05$$

$$C. Ins. = 23,453,000$$

No. de unidades	Equipo	Costo ( millones )
1	Cortadora rotatoria	43.40
1	Tanque de lavado	15.22
1	Secador	103.31
1	Transportador y	
1	Molino	260.10
1	Tolva de llenado	17.30
1	Ventilador y campana	5.725
1	Bomba de lobulos	24.00
TOTAL		469.06

Tabla No. 5.25. Costo del Equipo Principal

Equipo	% instalación	Costo ( millones )
Cortadora rotatoria	10	43.40
Tanque de lavado	20	15.22
Secador	50	103.31
Transportador y		
Molino	15	260.10
Tolva de llenado	15	17.30
Ventilador y campana	10	5.725
Bomba de lobulos	10	24.00
TOTAL		103.622

Tabla No. 5.26. Costo de Instalación del Equipo

#### 5.4.1.5 Costo de aislamiento ( C.A. )

Los requerimientos de aislamiento de la planta se considerarán como un 5% del costo total del equipo.

$$469,060,000 * 0.05$$

$$C.A. = \$ 23,453,000$$

#### 5.4.1.6 Costo de instalación eléctrica ( C.I.E. )

Para la instalación eléctrica se considerará el 6% del costo total del equipo.

$$469,060,000 * 0.06$$

$$C.I.E. = 28,143,600$$

#### 5.4.1.7 Costo del terreno ( C.Te )

El terreno donde se localiza la planta se encuentra en el estado de Querétaro. Se tiene un área total de 1200 m<sup>2</sup>, en Querétaro el precio por metro cuadrado es de \$ 60,000 M.N.

$$60,000 * 1200$$

$$C.Te. = 72,000,000$$

#### 5.4.1.8 Costo del edificio de proceso y bodega para almacenaje ( C.E.P. )

El lugar donde se fabrica nuestro producto es el edificio de proceso, este costo incluye la bodega tanto para producto terminado así como para la recepción de materia prima, se estima en un 25% del costo total del equipo.

$$469,060,000 * 0.25$$

$$C.E.P. = 117,265,000$$

5.4.1.9 Costo del edificio para oficina ( C.E.O. )

Se considerará tomar el 5% del costo total del equipo

$$469,060,000 * 0.05$$

$$\text{C.E.O.} = 23,453,000$$

5.4.1.10 Costo de equipo auxiliar y complementario ( C.E.A.C. )

El costo del sistema de procesamiento de aguas residuales se destinará el 5% del costo total del equipo.

$$469,060,000 * 0.05$$

$$\text{C.E.A.C.} = 23,453,000$$

El Costo Físico de la Planta es:

CONCEPTO	CANTIDAD ( \$ )
Costo del equipo	469,060,000
Costo de instalación	103,622,000
Costo de tubería	60,978,000
Costo de instrumentación	23,453,000
Costo de aislamiento	23,453,000
Costo de instalación eléctrica	28,143,600
Costo del edificio de proceso	117,256,000
Costo del edificio para oficina	23,453,000
Costo del terreno	72,000,000
Costo del procesamiento de aguas residuales	23,453,000
<hr/>	
Costo físico de la planta	944,871,600

#### 5.4.1.11 Costo de servicios auxiliares ( C.S.A. )

Además de la energía eléctrica son necesarios servicios tales como vapor, por lo que se tomará como el 10% del costo físico de la planta. Este valor incluye el costo del equipo y la instalación del mismo.

$$944,871,600 * 0.10$$

$$\text{C.S.A.} = 94,487,000$$

#### 5.4.1.12 Costo de vehículos ( C.V. )

Se requiere para el abastecimiento de materia prima 2 camiones de 17 toneladas de carga, el costo por unidad es de \$ 170,946,000.

$$170,946,000 * 2$$

$$\text{C.V.} = 341,892,000$$

La inversión fija esta compuesta por:

CONCEPTO	CANTIDAD ( \$ )
Costo físico de la planta	944,871,600
Costo de servicios auxiliares equipo e instalación	94,487,000
Vehículos	341,892,000
<hr/>	
Inversión fija total	1,381,250,600

### Inversión diferida

La inversión diferida se constituye por el costo de los estudios de preinversión y de ingeniería de detalle, así como de los gastos de arranque de la planta

#### 5.4.1.13 Ingeniería de detalle y supervisión

Se destina a este concepto un 10% del costo físico de la planta  
 $944,871,600 * 0.10$

$$\text{C.I.D.S.} = 94,487,000$$

#### 5.4.1.14 Imprevistos

Los imprevistos son difíciles de estimar, por la amplia gama de posibles sucesos dentro de una planta, un valor aproximado es considerar el 10% de la inversión fija directa

$$1,381,520,600 * 0.10$$

$$\text{Imp.} = 138,125,000$$

La inversión fija total es:

CONCEPTO	CANTIDAD
Inversión fija	1,381,250,600
Ingeniería de detalle y supervisión	94,487,000
Imprevistos	138,125,000
<hr/>	
Inversión total fija	1,613,862,000

#### 5.4.2.- Capital de Trabajo

El capital de trabajo es el capital para atender las operaciones de producción, distribución y venta de los productos elaborados. Para estimar el capital de trabajo se debe considerar el costo de materia prima, costo de producto en proceso, costo de producto terminado en inventario, costo de refacciones y accesorios, costo de mano de obra, cuentas por cobrar y cuentas por pagar.

##### 5.4.2.1 Costo de materia prima en inventario ( C.M.P.I. )

El inventario de esta es normalmente de 1 a 3 meses, en caso de ser importada de lugares lejanos el período se extiende hasta 6 meses, considerando que se tendrá un abastecimiento regular de residuos de PEBD se tomará sólo un mes de inventario.

Material	Cantidad requerida ( Kg )			Precio unitario
	hr	día	mes	
residuos plásticos	300	4800	144,000	\$ 450

$$144,000 * 450$$

$$\text{C.M.P.I} = 64,800,000$$

##### 5.4.2.2 Costo de materia prima en proceso ( C.M.P.P. )

Debido a que el tiempo de residencia del material en el proceso es mínimo se considera un día de materia prima en inventario.

$$4,800 * 450$$

$$\text{C.M.P.P.} = 2,160,000$$

#### 5.4.2.3 Costo de producto terminado en inventario ( C.P.T.I. )

El PEBD es el único producto que se obtiene y para este cálculo se tomarán 7 días de operación. La producción diaria de PEBD es de:

$$300 \text{ kg/ hr} * 2500 \text{ \$ / kg} * 7 \text{ días}$$

$$\text{C.P.T.I} = 67,200,000$$

#### 5.4.2.4 Cuentas por cobrar ( C.C. )

Es el cálculo de la inversión necesaria como consecuencia de vender a crédito, depende de las condiciones de crédito y del tiempo promedio de cobranza que suponemos de 45 días ( promedio de 30 - 60 días ).

$$\text{Cuentas por cobrar} = ( \text{ventas anuales} / 360 ) * 45$$

$$\text{C.C.} = ( 3168 / 360 ) * 45$$

$$\text{C.C.} = 396,000,000$$

#### 5.4.2.5 Efectivo en caja ( E.C. )

Para este proyecto se considerará como un mes de materias primas en inventario

$$\text{E.C.} = 64,800,000$$

#### 5.4.2.6 Costo de mano de obra ( C.M.O. )

Se toma el monto de un mes del costo de mano de obra directa e indirecta:

$$( \text{mano de obra directa} + \text{mano de obra indirecta} ) / 12$$

$$( 161,280,000 + 174,720,000 + 80,693,400 ) / 12$$

$$\text{C.M.O.} = 34,725,000$$

#### 5.4.2.7 Cuentas por pagar ( C.P. )

Esta relacionado directamente con el inventario de materia prima, en general se tiene de 1 a 2 meses del costo de la materia prima en inventario.

C.P. = 64,800,000

El capital de trabajo se resume:

CONCEPTO	CANTIDAD ( \$ )
Costo de materia prima en inventario	64,800,000
Costo de materia prima en proceso	2,160,000
Costo de producto en inventario	67,200,000
Cuentas por cobrar	396,000,000
Efectivo en caja	64,800,000
Costo de mano de obra	34,725,000
Costo de insumos y servicios	7,490,000
<b>Total</b>	<b>637,175,000</b>

Al costo total se le deben restar las cuentas por cobrar

637,175,000 - 64,800,000

Capital de Trabajo = 572,375,000

#### 5.4.3.0 Costo de Producción

Los costos de producción de una planta están conformados de la siguiente manera:

##### Costos de Fabricación

Costos directos de fabricación

Costos indirectos de planta

Costos fijos

##### Gastos Generales

Gastos de administración

Gastos de distribución y mercadeo

Gastos de investigación y desarrollo

#### 5.4.3.1 Costos directos de producción ( C.D.P. )

##### 5.4.3.1.1 Materia prima ( C.D.M.P. )

Material	Cantidad ( kg )		Costo ( millones )
	hr	año	
Residuos PEBD	330	1,742,400	784.08

El precio unitario de la materia prima es estimado ya que abarca dos orígenes de los residuos de PEBD, industriales y urbanos. En el segundo caso el precio unitario es cero y en el caso de los residuos industriales este fluctúa entre 450 y 800 \$ / kg, se toma el precio de 450 ya que los residuos plásticos que se reciclarán con mayor incidencia serán los urbanos. Valores proporcionados por la bolsa de residuos industriales.

C.D.M.P. = 784,080,000 \$ / año

5.4.3.1.2. Costo de mano de obra ( C.D.M.O.)

Para la operación de la planta se requieren los siguientes elementos:

CONCEPTO	No. de personas	Sueldo mensual	
		Total	
Jefe de producción	2	2.0	4.0
Operadores	8	0.8	6.4

Total	10	10.40	
	Prestaciones ( 40% )	4.16	
	Total mensual	14.56	
	Total anual	174.72	

$$\text{C.M.O.D.} = 174,720,000 \text{ \$ / año}$$

5.4.3.1.3. Costo de mantenimiento ( C.M. )

Incluye tanto el mantenimiento preventivo y correctivo que precise la planta dependiendo de su tamaño y características, este costo abarca un porcentaje de 3 a 10% de la inversión fija tomando en cuenta que es una planta pequeña se propone un 5%.

$$1,613,868,000 * 0.05$$

$$\text{C.M.} = 80,693,400$$

5.4.3.1.4. Costo de materiales para mantenimiento ( C.M.M. )

Una estimación es considerar el 15% del costo de mantenimiento

$$80,693,400 * 0.15$$

$$\text{C.M.M.} = 12,104,010$$

5.4.3.1.5 Costo de insumos y servicios auxiliares ( C.I.S.A. )

MATERIAL	CANTIDAD ANUAL	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Nitrógeno	3056.5 m <sup>3</sup>	7368.2 \$/m <sup>3</sup>	22,523,069
Agua de proceso y ser. grales.	5280.0 m <sup>3</sup>	1300.0 \$/m <sup>3</sup>	6,864,000
Detergente	5280.0 kg	1500.0 kg	7,920,000
Eléctricidad	173253.5 kw	217.0 kw	37,596,010
Total			74,903,079

Tala No. 5.27. Costo de Insumos y Servicios Auxiliares  
C.I.S.A. = 74,903,079 \$ / año

El costo directo de producción esta compuesto por:

CONCEPTO	CANTIDAD ( \$ )
Costo de materia prima	784,080,000
Costo de mano de obra	174,720,000
Costo de mantenimiento	80,693,400
Costo de materiales para mantenimiento	12,104,010
Costo de insumos y sev. auxiliares	74,903,079
<b>TOTAL</b>	<b>1,126,500,489</b>

C.D.P. = 1,126,500,489 \$ / año

5.4.3.1.5.1 Costo del nitrógeno ( C.N. )

MATERIA	CONSUMO ( M <sup>3</sup> )			COSTO ( \$ )
	Hr	Día	Año	Año
Nitrógeno	0.362	5.792	1910.5	14,076,918
<b>Total</b>				<b>14,076,918</b>

Considerando la eficiencia de la transferencia de calor se tendrá un exceso del 60% en el consumo del nitrógeno.

$$14,076,918 * 1.60$$

$$\text{C.N.} = 22,523,069 \$ / \text{año}$$

5.4.3.1.5.2. Costo del agua ( C.A. )

MATERIA	CONSUMO ( M <sup>3</sup> )			COSTO ( \$ )
	Hr	Día	Año	Año
AGUA				
De proceso	0.50	8.0	2640	3,432,000
De servicios generales	0.50	8.0	2640	3,432,000
<b>Total</b>	<b>1.00</b>	<b>16.0</b>	<b>5280</b>	<b>6,864,000</b>

Costo unitario del m<sup>3</sup> de agua es \$ 1,300.

### 5.4.3.1.5.3 Costo de energía eléctrica

CONCEPTO	UNIDADES	POTENCIA ( HP )
Cortadora rotatoria	1	5
Tanque con agitador	1	3
Secador	1	3
Transportador	1	3
Molino	1	5
Tolva de llenado	1	1
Bomba	1	5
Ventilador	1	3
TOTAL		28
Imprevistos ( 20% )		5.6
Total		33.6
Otros servicios e iluminación ( 20% )		6.7
Total		40.3

$$40.3 \text{ HP} * 0.746 \text{ KW} / \text{Hr} = 30.08 \text{ KW}$$

$$30.08 * 16 \text{ Hr} / \text{Día} * 30 \text{ Días} / \text{Mes} * 12 \text{ Meses} / \text{Año}$$

$$= 173,253 \text{ KW} / \text{Año}$$

$$173,253 * 217 \text{ \$} / \text{KW-Hr} = 37,596,010 \text{ \$} / \text{Año}$$

#### 5.4.3.2 Costos indirectos ( C.I. )

##### 5.4.3.2.1. Laboratorio ( L. )

En el laboratorio se revisarán las especificaciones del producto terminado y de los residuos plásticos, además se realizarán pruebas en cuanto a innovaciones en el producto. Se estima un 15% del costo de mano de obra para determinar el costo de laboratorio.

$$416,693,400 * 0.15$$

$$L = 62,504,000$$

##### 5.4.3.2.2. Gastos diversos. ( G. D. )

Se encuentran constituidos por los gastos generados en otros departamentos que influyen directamente en la producción, tales como: departamento técnico, departamento de compras, departamento de proyectos, por ser una planta pequeña los gastos directos no son altos, se considerará un 80% del costo de mano de obra directa.

$$174,720,000 * 0.80$$

$$G.D. = 139,776,000$$

##### 5.4.3.2.3 Costo de empaque ( C.E. )

Para el costo de empaque tomar un 10% del costo directo de producción, nos conduce a un resultado aproximado.

$$1,126,500,489 * 0.10$$

$$C.E. = 112,650,049 \$ / año$$

5.4.3.2.4 Costo de mano de obra directa ( C.M.O.I.)

( Millones \$ )

CONCEPTO	No. de personas	Sueldo mensual	
		Total	
←Supervisor de servicios generales	2	1.5	3.0
Almacenista	2	0.7	1.4
Chofer	4	0.7	2.8
Intendente	6	0.4	2.4
<b>Total</b>	<b>14</b>		<b>9.6</b>

Prestaciones ( 40% ) 3.84

Total mensual 13.44

Total anual 161.28

C.M.O.I = 161,280,000 \$ / año

El costo indirecto de producción sera:

CONCEPTO	CANTIDAD
Laboratorio	62,504,000
Gastos diversos	139,780,000
Costo de empaque	112,650,049
Costo de mano de obra indirecta	161,280,000
<b>TOTAL</b>	<b>476,214,049</b>

#### 5.4.3.3 Cargos fijos de producción ( C.F.P. )

##### 5.4.3.3.1 Seguro de planta ( S.P. )

El seguro de planta es necesario para protección del empresario se considera tomar 1.0% de la inversión fija total.

$$1,613,868,000 * 0.010$$

$$S.P. = 16,138,680$$

##### 5.4.3.3.2. Depreciación ( D )

Se hace una depreciación lineal, , tomando los siguientes periodos de depreciación:

CONCEPTO	PERIODO
Equipo instalado	10 años
Vehículos	5 años
Obra civil	20 años

CONCEPTO	MONTO	DEPRECIACION ANUAL
Equipo instalado	572.682	57.27
Vehículos	341.892	68.38
Obra civil	140.709	7.04
Monto total		132.69

Tabla No. 5.28. Depreciación

$$D = 132,690,000$$

Los cargos fijos estan compuestos por:

CONCEPTO	CANTIDAD ( \$ )
Seguro de planta	16,138,680
Depreciación	132,690,000
<b>TOTAL</b>	<b>148,828,680</b>

#### 5.4.3.4 Financiamiento

El programa de financiamiento considerará un crédito total de 114,536,400 \$ ( 20 % del valor del equipo ) a una tasa de interés de CETES a 28 días mas 6, que se obtiene del programa para la micro y pequeña industria ( PROMYP ) implementado por Nacional Financiera. Amortizando la inversión fija en 10 años

Crédito = 114,536,400

Tasa de interés =  $15.16 + 6 = 21.16 \%$

A O	INTERES	SALDO INICIAL	AMORTIZACION CAP. FIJO	PAGO FINAL	MONTO
1	24.2	138.8	11.5	35.7	103.1
2	21.8	124.9	11.45	33.3	91.6
3	19.4	111.0	11.45	30.8	80.2
4	16.9	97.1	11.45	28.4	68.7
5	14.5	83.3	11.45	26.0	57.3
6	12.1	69.4	11.45	23.6	45.8
7	9.7	55.5	11.45	21.1	34.4
8	7.3	41.6	11.45	18.7	22.7
9	4.8	27.8	11.45	16.3	11.5
10	2.4	13.9	11.45	13.9	00.0

( millones de \$ )

Tabla No. 5.29. Financiamiento

#### 5.4.3.5 Gastos generales ( G.G. )

##### 5.4.3.5.1. Gastos de administración

Los parámetros incluidos en los gastos de administración son los sueldos de:

( Millones \$ )

CONCEPTO	No. de personas	Sueldo mensual	
		Total	
←Administrador	1	3.0	3.0
Contador	1	1.5	1.5
Secretaría	2	1.0	2.0

Total 6.5

Prestaciones ( 40% ) 2.6

Total mensual 9.1

Total anual 109.2

##### 5.4.3.5.2 Gastos de ventas ( G.V. )

Abarcan los sueldos de:

( Millones \$ )

CONCEPTO	No. de personas	Sueldo mensual	
		Total	
←Jefe de ventas y compras	1	1.8	1.8
Auxiliar	1	1.0	1.0

Total	2.8
Prestaciones ( 40% )	1.12
Total mensual	3.92
Total anual	47.04

Además incluye los gastos de promoción que se consideran el 50% de los costos indirectos.

$$476,214,049 * 0.50 = 238,107,025$$

$$G.V. = 238,107,025 \$ / \text{año}$$

#### 5.4.3.5.3 Gastos de investigación ( G.I. )

Representarán el 20% del costo indirecto de producción.

$$476,214,049 * 0.20$$

$$G.I. = 95,242,810 \$ / \text{año}$$

El total de gastos generales es:

CONCEPTO	CANTIDAD
Gastos de administración	109,200,000
Gastos de ventas	238,107,025
Gastos de investigación	95,242,810
<b>Total</b>	<b>442,549,835</b>

$$G.G = 442,549,835$$

#### **5.5.0. Estudio Financiero**

Este estudio esta constituido por los precios de venta de las materias primas y de los productos finales, los costos anuales de producción, el balance general, el estado de resultados proforma y el estado de origen y aplicación de los recursos.

La finalidad de este estudio es tener un riguroso control sobre cada uno de los recursos y las obligaciones de la empresa, también despliega en forma clara las transacciones que la empresa efectúe en el ejercicio fiscal.

Este tipo de estudio sirve de apoyo en la planeación de la empresa, son una de las herramientas para prever el futuro de la misma, además de presentar la situación financiera del negocio.

Se realizó una proyección abarcando un periodo de 10 años.

COSTOS ANUALES DE PRODUCCION ( MILLONES DE PESOS ) DIC. 1991

	1 1992	2 1993	3 1994	4 1995	5 1996	6 1997	7 1998	8 1999	9 2000	10 2001
<b>COSTO DIRECTO</b>	954.69	1040.54	1126.49	1126.49	1126.49	1126.49	1126.49	1126.49	1126.49	1126.49
MATERIA PRIMA	627.26	705.67	784.08	784.08	784.08	784.08	784.08	784.08	784.08	784.08
MANO DE OBRRA	174.72	174.72	174.72	174.72	174.72	174.72	174.72	174.72	174.72	174.72
MANTENIMIENTO	80.69	80.69	80.69	80.69	80.69	80.69	80.69	80.69	80.69	80.69
MATERIALES PARA MTO.	12.10	12.10	12.10	12.10	12.10	12.10	12.10	12.10	12.10	12.10
INGENIOS Y SER. AUX.	59.92	67.41	74.90	74.90	74.90	74.90	74.90	74.90	74.90	74.90
<b>COSTO INDIRECTO</b>	463.68	464.95	476.21	476.21	476.21	476.21	476.21	476.21	476.21	476.21
LABORATORIO	62.50	62.50	62.50	62.50	62.50	62.50	62.50	62.50	62.50	62.50
MANO DE OBRRA	161.28	161.28	161.28	161.28	161.28	161.28	161.28	161.28	161.28	161.28
ENERGIA	90.12	101.39	112.65	112.65	112.65	112.65	112.65	112.65	112.65	112.65
GASTOS DIVERSOS	139.78	139.78	139.78	139.78	139.78	139.78	139.78	139.78	139.78	139.78
<b>CARGOS FIJOS</b>	148.83	148.83	148.83	148.83	148.83	148.83	148.83	148.83	148.83	148.83
SEGURO DE PLUMITA	16.14	16.14	16.14	16.14	16.14	16.14	16.14	16.14	16.14	16.14
DEPRECIACION	132.69	132.69	132.69	132.69	132.69	132.69	132.69	132.69	132.69	132.69
<b>AMORTIZACION Y GASTOS FINANCIEROS</b>	36.00	33.00	31.00	28.00	26.00	24.00	21.00	19.00	16.00	14.00
<b>GASTOS GENERALES</b>	375.88	409.22	442.55	442.55	442.55	442.55	442.55	442.55	442.55	442.55
ADMINISTRACION	109.49	109.49	109.49	109.49	109.49	109.49	109.49	109.49	109.49	109.49
VENTAS	190.49	214.30	238.11	238.11	238.11	238.11	238.11	238.11	238.11	238.11
INVESTIGACION	76.19	85.72	95.24	95.24	95.24	95.24	95.24	95.24	95.24	95.24
<b>COSTO ANUAL DE PRODUCCION</b>	1969.08	2096.58	2225.08	2222.08	2220.08	2218.08	2215.08	2213.08	2210.08	2208.08



## ESTADO DE RESULTADOS PROFITAB ( MILLONES DE PESOS DIC. DE 1991 )

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
VENTAS NETAS	2534	2851	3168	3168	3168	3168	3168	3168	3168	3168
COSTO DIRECTO	902	1014	1127	1127	1127	1127	1127	1127	1127	1127
COSTO INDIRECTO	381	428	476	476	476	476	476	476	476	476
CARGOS FIJOS	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
DEPRECIACION	133	133	133	133	133	133	133	133	133	133
UTILIDAD BRUTA	1103	1259	1416	1416	1416	1416	1416	1416	1416	1416
GASTOS DE OPERACION	354	399	443	443	443	443	443	443	443	443
UTILIDAD DE OPERACION	749	861	973	973	973	973	973	973	973	973
AMORTIZACION Y GASTOS FINANCIEROS	36	33	31	28	26	24	21	19	16	14
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS	712	828	942	945	947	949	952	954	957	959
IMPUESTOS SOBRE LA RENTA	249	290	300	301	301	302	303	304	305	306
UTILIDAD DESPUES DE IMPUESTOS	463	538	612	614	616	617	619	620	622	623
REPARO DE UTILIDADES	71	83	94	95	95	95	95	95	96	96
UTILIDAD NETA	392	455	518	520	521	522	524	525	526	527

## ESTADO DE ORIGEN Y APLICACION DE RECURSOS ( MILLONES DE PESOS DE DIC. 1991 )

	0 1991	1 1992	2 1993	3 1994	4 1995	5 1996	6 1997	7 1998	8 1999	9 2000	10 2001
SALDO INICIAL EN EXCESO	0	0	413	910	1470	2095	2723	3354	3990	4629	5272
UTILIDAD NETA	0	392	465	518	520	521	522	524	525	526	527
RESERVA DE DEPRECIACION	0	133	133	133	133	133	133	133	133	133	133
OTROS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EFFECTIVO GENERADO	0	525	1001	1561	2123	2749	3378	4011	4648	5288	5932
APORTACIONES DE CAPITAL FINANCIAMIENTO BRANCHARIO	1475 139	0 0									
TOTAL DE INGRESOS	1614	926	1001	1561	2123	2749	3378	4011	4648	5288	5932
PRD DE PASIVO BRANCHARIO	0	36	39	31	28	26	24	21	19	16	14
INVERSIONES ACT. FIJAS/OTR	1614	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
INVERSION CAP. DE TRABAJO	0	477	58	60	0	0	0	0	0	0	0
OTROS INVERSIONES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL DE EGRESOS	1614	513	91	91	28	26	24	21	19	16	14
SALDO FINAL EN EXCESO	0	413	910	1470	2095	2723	3354	3990	4629	5272	5918

FLUJO NETO DE EFECTIVO ( MILLONES DE PESOS DE DIC. 1991 )

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
<b>INGRESOS</b>											
UTILIDAD NETA	0	392	455	518	520	521	522	524	525	526	527
DEPRECIACION	0	133	133	133	133	133	133	133	133	133	133
INCREMENTO EN											
CAPS. POR PAGAR	0	46	6	6	0	0	0	0	0	0	0
FINANCIAMIENTO	139	-36	-33	-31	-28	-26	-24	-21	-19	-16	-14
<b>TOTAL DE INGRESOS</b>	139	535	561	626	625	628	631	636	639	643	646
<b>EGRESOS</b>											
INVERSION	1381	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FLUJO	233	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DIFERIDA											
INCREMENTO EN											
CAPITAL DE TRABAJO	0	477	58	60	0	0	0	0	0	0	0
<b>TOTAL DE EGRESOS</b>	1614	477	58	60	0	0	0	0	0	0	0
<b>INGRESOS - EGRESOS</b>	-1475	58	503	566	625	628	631	636	639	643	646
<b>FLUJO NETO</b>	-1475	58	503	566	625	628	631	636	639	643	646

### 5.6.0 Análisis de Sensibilidad

Para cuantificar el riesgo que se corre al invertir en algun proyecto es necesario realizar un análisis de sensibilidad, determinando que factores en mayor o menor medida afectan al proyecto.

Al llevar a cabo la selección de estos factores se procede a determinar los posibles porcentajes de cambio completando el análisis de cada uno de los factores, teniendo un estudio de cada uno de ellos.

Se recurre a la representación gráfica para contar con una imagen más fácil de analizar.

Los factores elegidos seran referidos a dos métodos:

Valor presente neto  
Tasa interna de recuperación

Valor presente neto

Este método es un de los criterios económicos más ampliamente utilizados en la valuación de proyectos de inversión. Consiste en determinar la equivalencia en el tiempo cero de los flujos de efectivo futuros que genera un proyecto y comparar esta equivalencia con el desembolso inicial. Cuando dicha equivalencia es mayor que el desembolso inicial, entonces es recomendable que el proyecto sea aceptado.

La siguiente ecuación muestra como se calcula el valor presente neto.

$$V.P.N. = \sum F.N.E.j * \frac{1}{(1+i)^n}$$

Donde:

V.P.N = Valor presente neto

F.N.E.j = Flujo neto de efectivo j ésimo

i = Tasa de recuperación mínima atractiva

La tasa de recuperación mínima atractiva debe de considerar no solo el interés bancario sino un porcentaje más elevado para compensar por riesgo de inversión. Se tomo el 15%

La tabla No 5.30 muestra los flujos de efectivo para cada año y el cálculo del valor presente neto.

El valor presente neto para este proyecto es de 1060.75 ( millones de pesos de dic. de 1991 )

La tasa interna de recuperación

La tasa interna de rendimiento es un índice de rentabilidad ampliamente aceptado. Está definida como la tasa de interés que reduce a cero el valor presente de una serie de ingresos y egresos.

Se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$= \sum F.N.E.j * \frac{1}{(1+i)^n} = 0$$

Donde:

F.N.E.<sub>j</sub> = Flujo neto de efectivo del año j ésimο

i = Tasa interna de recuperación

Se emplea este método de cálculo debido a que no se tendran inversiones posteriores.

La tasa interna de recuperación calculada para el proyecto es de 28.614%

#### Tasa Interna de Recuperación

A O	FLUJO	V.P.N
0	(1475)	(1475)
1	58	50.43
2	503	380.43
3	566	372.15
4	625	357.35
5	628	312.23
6	631	272.80
7	636	239.10
8	639	208.89
9	643	182.72
10	646	159.68

V.P.N. = 1060.75

Tabla No. 5.30. Flujo Neto de Efectivo

i	V.P.N.
25%	206.56
28%	32.37

$$T.I.R. = T1 + ( T2-T1 ) * V.P.1 / ( V.P.1 - V-P-2 )$$

$$15 + ( 28-15 ) * 1060.75 / ( 1060.75 - 32.37 )$$

$$T.I.R. = 28.614 \%$$

Para el calculo del V.P.N. se toma una tasa mínima atractiva de recuperación del 15%

Los factores seleccionados para realizar el análisis de sensibilidad son: ventas netas, costo de materia prima y variación de la inversión. Este análisis se muestra en las tablas No. 5.31, 5.32 y 5.33.

PORCENTAJE	V.P.N.	T.I.R
-20	- 601.52	6.100
-10	230.07	18.120
0	1060.75	28.614
10	1891.26	38.420
20	2722.77	47.900

Tabla No. 5.31. Variación en las Ventas Netas

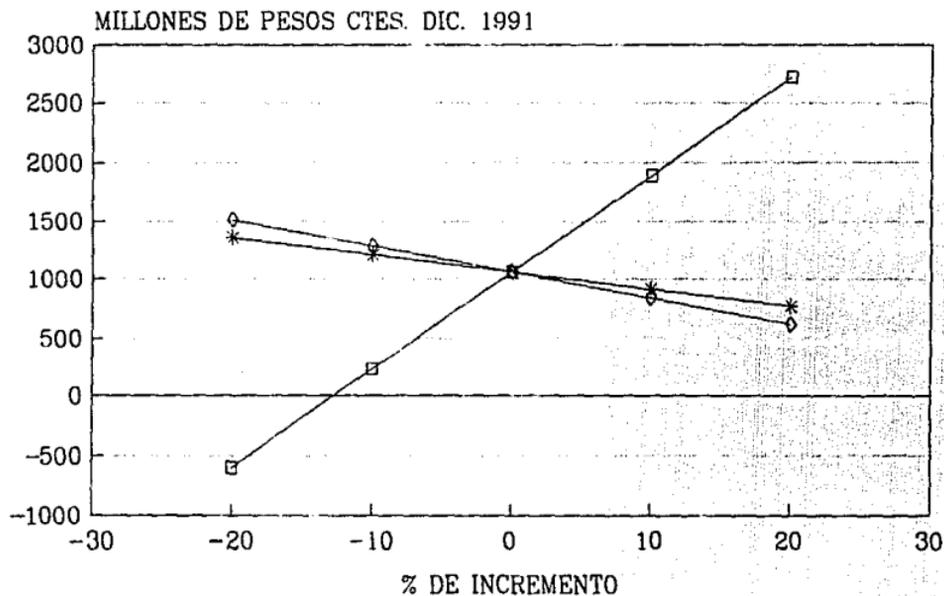
PORCENTAJE	V.P.N.	T.I.R
-20	1510.81	33.980
-10	1288.79	31.355
0	1060.75	28.614
10	835.20	25.850
20	609.24	23.030

Tabla No. 5.32. Variación en el Costo de Materia Prima

PORCENTAJE	V.P.N.	T.I.R
-20	1355.75	35.334
-10	1207.75	31.680
0	1060.75	28.614
10	912.75	25.960
20	765.75	23.650

Tabla No. 5.33. Variación en la Inversión

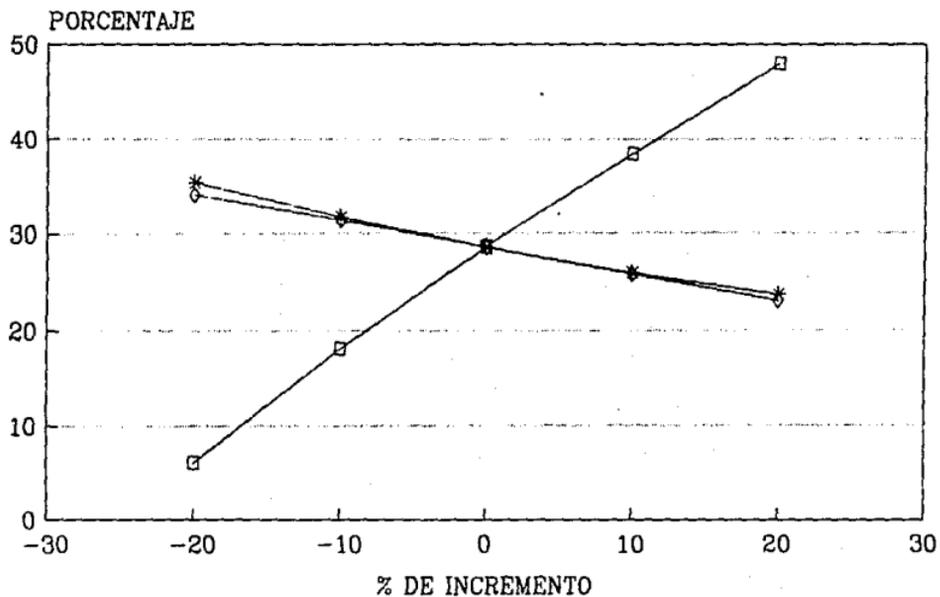
# ESTUDIO DE SENSIBILIDAD VALOR PRESENTE NETO



—□— VENTAS NETAS    —◇— MATERIA PRIMA    —\*— INVERSION

Figura No. 5.13.

# ESTUDIO DE SENSIBILIDAD TASA INTERNA DE RECUPERACION



—□— VENTAS NETAS    —◇— MATERIA PRIMA    —\*— INVERSION

Figura No. 5.14.

## Comentarios

Como se muestra en las gráficas el proyecto presenta riesgo frente a los factores analizados, ventas, materia prima e inversión.

Las variaciones en la inversión y en el costo de la materia prima siguen una tendencia similar y observamos que un incremento en la inversión o en el precio de las materias primas da pie a una desviación, con la que el proyecto aun muestra una buena rentabilidad, por otra parte si el valor de estos factores disminuye el proyecto resultaría bastante rentable.

En el caso de la variación en el precio del producto el proyecto es aún mucho más sensible, si se incrementa el precio el proyecto muestra una rentabilidad muy grande pero si el precio se controla o baja el proyecto estará destinado al fracaso.

## 6.0. Conclusiones

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.

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 diversas alternativas tecnológicas para el tratamiento de residuos plásticos de las que destacan; incineración, pirólisis, composteo, relleno sanitario y reciclado.

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

El método de reciclado por molienda criogénica permite: trabajar con residuos de películas plásticas, existe bajo deterioro de las propiedades mecánicas del PEBD, reduce costos de materias primas y se puede utilizar para fabricar productos con ciclos de vida útil más largos.

El proceso de reciclado de PEBD por el método de molienda criogénica es factible económicamente, como lo muestran los resultados obtenidos en el análisis financiero. La Tasa interna de recuperación es 17.15% y el Valor presente neto es 185.8 millones de pesos constantes de 1991.

Es un proyecto que presenta alta sensibilidad y bastantes riesgos ante variaciones en el precio del producto, inversión y materia prima.

Es necesario en trabajos posteriores evaluar la factibilidad económica de algunas de las alternativas tecnológicas planteadas en este trabajo como; la incineración y la pirólisis, para ampliar las opciones de la selección.

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.

## Apendice A

### Propiedades del Polietileno de Baja Densidad

#### Plástico Virgen

El polietileno es un polímero de alto peso molecular de fórmula  $(-\text{CH}_2 \text{CH}_2-)_n$ , para un producto comercial varia de 500 a 50,000. Muestra una estructura parcialmente cristalina y amorfa dependiendo del grado de ramificación del polímero.

Es conveniente establecer primero la clasificación del polietileno en cuanto a densidades, y la más común es la presentada por la ASTM.

#### CLASIFICACION ASTM DE POLIETILENOS

TIPO	DENSIDAD, ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )
I .- baja densidad	0.910 - 0.925
II .- baja densidad	0.926 - 0.940
III.- alta densidad copolímero	0.941 - 0.959
IV .- alta densidad homopolímero	$\geq 0.960$

Este ordenamiento es muy general ya que no permite hacer diferencias entre el tipo I y el tipo II, polietileno fabricado en procesos a alta o baja presión. Basándose en este tipo de clasificación regularmente se define a un polietileno de baja densidad (PEBD) como aquél que posee densidad menor de  $0.940 \text{ g}/\text{cm}^3$ .

El PEBD es un material claro y translucido que muestra una combinación única de propiedades tales como: dureza, alta resistencia al impacto flexibilidad, baja temperatura de fragilidad, procesabilidad, transparencia en sus películas, resistencia química (especialmente a compuestos polares), baja

permeabilidad al agua, estabilidad y excelentes propiedades eléctricas. Los factores que determinan principalmente estas propiedades son: peso molecular, distribución del peso molecular, tipo y tamaño de las cadenas ramificadas así como la distribución de la ramificación. Estos factores se pueden controlar o variar de acuerdo a las condiciones del proceso involucrado, incluyendo iniciador y agentes de transferencia.

#### Procesos de Obtención de PEBD

Existen dos principales procesos para la producción de polietileno de baja densidad a alta presión. Se denomina proceso de alta presión debido a que las condiciones en el reactor están comprendidas en el intervalo de 1000 a 1500 Atmósferas y temperaturas de 100 a 300 °C.

- Reactores Tubulares. Consiste de un gran número de secciones en forma de una espiral alargada. En este reactor se utiliza como iniciadores de reacción oxígeno, peróxido o la combinación de ambos. El etileno fresco y recirculado se comprimen a 2720 atmósferas en un compresor de tipo reciprocante, parte del etileno comprimido se precalienta hasta 117°C mientras el resto se alimenta al reactor tubular directamente, la reacción es altamente exotérmica por lo que se requiere de un medio de enfriamiento externo para así mantener un control adecuado de la temperatura ( 320°C ) y de la velocidad de reacción. El tiempo de residencia es de 40 segundos aproximadamente logrando una conversión del 20 al 30%. El Etileno que no reacciona se recircula al proceso mientras tanto el polímero fundido se extruye y granula, los pellets obtenidos se secan con aire o N<sub>2</sub> para eliminar monómero residual. Se obtiene una distribución de pesos moleculares estrecha, con pocas ramificaciones, por lo que la calidad del PEBD para transformarse es mejor y presenta menores problemas.

- Reactores de Autoclave. El proceso de autoclave puede ser de una sola etapa o multietapas, la polimerización del etileno se realiza con una mezcla de peróxido orgánico y con etileno de alta pureza la reacción se inicia a 150 °C, logrando la descomposición de los peróxidos, de tal manera que al realizarse la polimerización se obtiene una conversión del 8 al 20%. Las resinas producidas mediante este método tiene una extensa distribución de peso molecular, mostrando una alta ramificación.

### Propiedades Químicas

El PEBD es un material de naturaleza parafínica, de alta estabilidad y relativamente inerte. A continuación se analiza su comportamiento frente a diferentes compuestos químicos.

Agua: El PEBD muestra una excelente resistencia al agua sin embargo esta se ve alterada por la temperatura, ya que a altas temperaturas se favorecen reacciones de oxidación. Además por otra parte tenemos que la absorción del agua por el PEBD es baja, al experimentar con un disco de 1 cm de espesor realizando una inmersión del mismo en agua durante un año la absorción presentada fue sólo de 0.5% en peso.

Soluciones acuosas: Este tipo de compuestos que comprenden sales inorgánicas, no atacan al PEBD en general.

Halógenos: Los halógenos tanto en estado líquido como gaseoso reaccionan con el PEBD, esta interacción se hace más palpable conforme se incrementa la temperatura, ya que el ataque es suave en frío pero más drástico a altas temperaturas. La manifestación de este es que causa decoloración al plástico y algunos cambios en las propiedades.

Además de la resistencia a compuestos químicos es importante mencionar otro tipo de propiedades como son: oxidación, solubilidad y permeabilidad.

**Oxidación:** este plástico presenta reacciones de este tipo con soluciones concentradas de químicos oxidantes tales como peróxido de hidrógeno y permanganato de potasio. Al igual con los ácidos fuertemente oxidantes muestra este comportamiento especialmente a elevadas temperaturas. Aunque el PEBD generalmente es resistente a soluciones acuosas ácidas y alcalinas.

**Solubilidad:** esta propiedad depende marcadamente de la temperatura, la densidad del PEBD y de la polaridad de los solventes así como del soluto. Por lo cual, encima de 500 °C, el PEBD es bastante soluble en hidrocarburos e hidrocarburos halogenados y muestra una solubilidad parcial en líquidos polares tales como alcoholes, ésteres, aminas y fenoles, si se aplica un enfriamiento a una solución formada por PEBD y cualquiera de los disolventes mencionados anteriormente, se obtiene una suspensión de PEBD finamente dividido. Además tenemos que a temperaturas inferiores a 40 °C el PEBD absorbe ligeramente a los solventes. Otras sustancias que pueden ser utilizadas como solventes para PEBD son los aceites vegetales, animales y minerales que también sufren el fenómeno de absorción con la diferencia que ésta aumenta considerablemente con la temperatura. El azufre y algunos compuestos químicos que contienen azufre son absorbidos ligeramente por el PEBD afectándolo en sus propiedades eléctricas.

**Permeabilidad:** la permeabilidad es la función directa de la densidad del PEBD y de la polaridad del líquido o gas a permear. El PEBD se puede utilizar como una excelente barrera

para líquidos polares, sin embargo los líquidos relativamente no polares como éter, hidrocarburos clorinados y algunos aceites esenciales son permeables a gran velocidad. El efecto de la densidad sobre la permeabilidad se desarrollo de la siguiente manera, si se aumenta la densidad de 0.92 a 0.94 g/cm<sup>3</sup> la permeabilidad disminuye aproximadamente un 50%.

Es importante, considerar este tipo de propiedades químicas, ya que individualmente o en conjunto contribuyen a fallas y deterioro del material.

Las siguientes tablas contienen ejemplos de permeabilidad y absorción para PEBD de 0.92 g/cm<sup>3</sup> de densidad.

Líquidos	g/d ( 1.6m <sup>2</sup> )
HCl 36%	1.32
Metanol	1.86
Aceite de limón	6.20
Acetona	10.50
Ciclohexano	389.00
Diétiléter	485.00

Tabla No. A-1 Permeabilidad PEBD a 20°C.

Gases	cm <sup>3</sup> (NPT)/(KPa S)
Nitrógeno	1.60
Oxígeno	5.20
Hidrógeno	9.00
Dióxido de carbono	21.00
Oxido de etileno	215.00
Vapor de agua	0.045

Tabla No. A-2 Permeabilidad PEBD a 20°C.

Líquidos	% incremento de peso
Tetracloruro de carbono	42.00
Benceno	15.00
Acetona	1.20
Aceite de ballena	0.10
Aceite de maní	0.10
Aceite de transformador	5.00

Tabla No. A-3 Absorción Después de 30 Días, PEBD

## Propiedades Eléctricas

Estas propiedades fueron la base para su incipiente comercialización inicial, ya que es conocido como un material dieléctrico. Las propiedades eléctricas están definidas por su constante dieléctrica, la disipación del factor de potencia y la resistencia dieléctrica.

La constante dieléctrica. El valor de esta constante es bajo por tratarse de un material no polar, aun y cuando las ramificaciones posiblemente introduzcan una pequeña polaridad. Uno de los factores más importantes para la modificación de la constante dieléctrica es la variación de densidades, están ligadas en una relación directa sin embargo cantidades significantes de aditivos u otros rellenos causan divergencias en la relación. Y varía pero no en forma significativa con la temperatura. A densidades (  $\text{g/cm}^3$  ) de 0.918 a 0.951 el valor de la constante es 2.273 a 2.338 respectivamente.

El factor de disipación de potencia o factor de pérdida dieléctrica. Este factor depende fundamentalmente de la frecuencia. Sin embargo también es sensible a la presencia de rellenos e impurezas de carácter externo, aditivos y estructuras químicas polares que forman parte de la molécula del PEBD durante el proceso de fabricación. El factor de disipación de potencia se ve afectado con el incremento de la densidad aparente como consecuencia de que a mayores ramificaciones se aumenta en pequeña proporción la polaridad de la matriz de la resina.

La resistencia dieléctrica. Se define como el voltaje que el material resiste antes de que falle, se ubica en un intervalo de 1600-2400 V/mm por la ASTM. Depende de la configuración,

impurezas y temperatura. La literatura reporta un valor de 80 KV/mm para la resistencia dieléctrica intrínseca del PEBD si los efectos de impurezas se eliminan cuidadosamente, lo cual resulta materialmente imposible de aplicar en la práctica. Para el PEBD la resistencia dieléctrica disminuye conforme se va incrementando la temperatura.

Un aumento en la rigidez, la cristalinidad y la densidad trae como consecuencia un aumento en la resistencia a la avería. Un alto punto de fusión mejora el funcionamiento del material a alta temperatura.

#### Propiedades Térmicas

Estas propiedades son sumamente importantes tanto para el proceso de fabricación del polímero como para el estudio de estabilidad o degradación térmica que pueden sufrir las aplicaciones del plástico.

En principio se tiene que los parámetros que sirven para el proceso de manufactura del plástico son la relación del PEBD y el calor específico, la conductividad térmica y la densidad, estas propiedades dependen fundamentalmente de la temperatura.

Por medio de gráficas que representan estos tres parámetros se observa que la fusión de los cristales abarca un intervalo de 70 a 110 °C en la curva de calor específico. Todas estas curvas muestran una cerrada relación con la fusión endotérmica y entre ellas están íntimamente ligadas, ya que de hecho la curva de calor específico representa la constante de tiempo de la derivada inversa de la densidad o de la curva de la conductividad térmica.

Otro punto importante que implica las propiedades termicas es la degradación del plástico. El PEBD exhibe mejor estabilidad térmica que muchos otros polimeros. La degradación puede ser oxidativa y ocurre a velocidades significativas en un gran intervalo de temperaturas, haciendose más patente a altas temperaturas, otros factores que afectan la estabilidad del plástico a la oxidación son los fragmentos residuales de degradación, insaturación y estructuras debilmente oxigenadas. Pero además la degradación se puede presentar en ausencia de oxígeno, este fenómeno parece estar más relacionado con la energía de enlace del polímero. Un ejemplo de este tipo de degradación es la pirólisis del PEBD, la cual se inicia con una disminución del peso molecular del polímero que finalmente se hace constante, la cantidad de etileno obtenida por este proceso es insignificante. La degradación del PEBD puede ser inhibida por antioxidantes.

#### Propiedades Reológicas

Se analizarán las propiedades reológicas del PEBD en estado líquido.

Viscosidad. El PEBD es altamente viscoso y ésta a cualquier temperatura depende del peso molecular promedio, de la distribución del peso molecular ( particularmente del grado de ramificación ) y de velocidad de cizalladura.

El PEBD puede ser clasificado como un fluido pseudoplástico ya que su viscosidad aparente se caracteriza por un descenso gradual al aumentar la velocidad de cizalladura, independientemente del tiempo. Contrariamente a lo que pasa con un fluido Newtoniano en el cual la viscosidad aparente es relativamente independiente de la velocidad de cizalladura.

En el caso de la resina en estudio, la relación entre estos dos parámetros es una función de la ramificación que afecta la distribución del peso molecular. A condiciones prácticas de extrusión la viscosidad del PEBD, cuando la velocidad de cizalladura es alta, por lo que esta resina puede ser extruida a baja temperatura y a alta velocidad con un bajo consumo de energía.

La relación de la viscosidad aparente y la velocidad de cizalladura es modificada por el tipo de proceso de obtención del polímero. El PEBD obtenido por el proceso de autoclave es más sensible a la velocidad de cizalladura que uno de reactor tubular, por las diferencias en cuanto al grado de ramificación, visto con anterioridad.

Elasticidad. Tanto en estado líquido como sólido el PEBD exhibe propiedades elásticas en un amplio intervalo de temperaturas. La elasticidad se define como que al aplicar una tensión al material inmediatamente aparece una deformación que es proporcional a la tensión aplicada y permanece constante, al desaparecer la tensión la energía almacenada se libera y éste recupera su forma inicial. El aumento y disminución de dimensiones es una muestra del comportamiento viscoelástico del PEBD aunque no presenta un comportamiento ideal como el descrito con anterioridad. Esta se considera una variable importante en los procesos de fabricación del plástico.

### Propiedades Físicas

Estas propiedades las podemos dividir en tres grandes grupos.

Propiedades de tensión. El PEBD es dúctil en un amplio intervalo de temperatura. Esto es mostrado por la elongación

obtenida a condiciones de baja carga, normalmente la resistencia a la flexibilidad aumenta con la densidad pero la elongación decrece, esto se debe a que la densidad es un indicativo de la cristalinidad, además la resistencia a la flexión depende de la temperatura y es dependiente de la velocidad de deformación conforme la temperatura disminuye.

**Fragilidad.** Un termoplástico es considerado duro si el deterioro esta acompañado por una deformación grande y permanente y frágil si hay un flujo de plástico permanente aunque sea pequeño. El PEBD es un material duro ya que muestra una buena resistencia al impacto en un extenso intervalo de temperaturas, el PEBD tiene una temperatura de fragilidad en un intervalo de valores tan bajos como  $-118^{\circ}\text{C}$ , esta temperatura depende de factores como el peso molecular, las ramificaciones presentadas, un incremento en estos dos parámetros disminuye el valor de dicha temperatura. La resistencia al impacto del PEBD no es determinada con la prueba de impacto, ASTM 256, porque las muestras normalmente no son rotas, son determinadas por el método ASTM-D-1709, la resistencia al impacto medida en este tipo de espesores,  $\text{g}/25 \mu\text{m}$ , se ve disminuida cuando la densidad y el índice de fusión aumentan. La máxima dureza se obtiene con alto peso molecular y baja densidad.

**Resistencia al rompimiento por fatiga.** Puede llevarnos un período relativamente largo para que ocurra un rompimiento por fatiga de este plástico, que son ocasionados por esfuerzos de tensión, esta propiedad aumenta cuando el peso molecular y la temperatura también lo hacen y la densidad disminuye. El rompimiento por fatiga puede ser acelerado por factores ambientales, solventes tales como el tolueno, y oxidantes, muchos de estos factores no tendrían importancia si no

estuvieran acompañados por la tensión . Para evitar este tipo de problemas existen los aditivos tales como el acetato de vinilo que aumenta la resistencia a la fatiga por parte del PEBD.

## **Apéndice B**

### **Separación de Residuos Plásticos**

Los métodos usados para separar los componentes individuales de una mezcla de residuos plásticos están basados en sus diferentes propiedades físicas como las siguientes:

- Tamaño de partícula
- Densidad
- Electromagnéticas
- Color

Estas propiedades son la base de los siguientes métodos de separación:

**Separación manual.** Es la técnica de separación más vieja pero que aún se usa, pero cuya importancia va decreciendo en las modernas plantas de separación. Este método es algunas veces utilizado si se cuenta con el personal adecuado y los componentes de la alimentación de residuos plásticos son fácilmente separables.

**Separación por color.** Es una separación óptica basada en la apariencia y el color del plástico.

**Separación por gravedad.** El equipo utilizado para este tipo de separación son: mesas vibratorias, transportadores inclinados y separadores de lecho fluidizado.

**Clasificación mediante aire.** Los tres parámetros básicos utilizados en esta clasificación son: tamaño, densidad y forma. El equipo que se usa son columnas en zigzag. Opera de la siguiente forma, el aire es suministrado por el fondo de la columna y el material a separar por la parte media, una serie

de columnas de diferente geometría produzcan varios grados de material, la fracción ligera es colectada en la parte superior mediante un separador ciclónico mientras que el aire es recirculado a la columna. La clasificación mediante aire es la técnica más usada en el proceso de separación de residuos plásticos.

**Separación magnética.** Este método es virtualmente usado en todos los sistemas que estén contaminados con metales ferrosos por mecanismos tales como poleas magnéticas, tambores de separación.

**Separación electrostática.** Es similar a la separación magnética pero con referencia a las mezclas de plástico con papel. La mezcla de papel y plástico es alimentada a un separador mediante un alimentador vibratorio, el material cae dentro de un tambor rotatorio conectado a tierra y pasa por entre el electrodo y el tambor. El papel es atraído hacia el electrodo mientras que el plástico se adhiere al tambor, a medida que va girando el tambor, el plástico se dirige hacia el fondo. Se puede obtener una buena separación con tiras de material de 1 hasta 3 pulgadas. Una de las variables importantes a controlar de este proceso es la humedad ya que de los datos reportados en la literatura se observa que con una alimentación que tenga más del 50% de humedad se obtiene una separación completa del plástico, ver Tabla No. B-1.

**Separación por solventes.** Es frecuente tener en los desperdicios plásticos industriales y de post-consumidor mezclas de grupos de plásticos cuyos tres principales componentes son: Poliolefinas, PVC y Poliestireno, los cuales tienen diferentes densidades, esta diferencia puede ser usada como base de separación utilizando como equipo un separador de flotado/sumergido. La figura No. B-1 muestra el diagrama de

bloques de este proceso. La separación se logra utilizando cuatro medios líquidos: agua ( $\rho = 1 \text{ g / cm}^3$ ), dos mezclas de alcohol- agua ( $\rho = 0.93$  y  $0.91 \text{ g / cm}^3$ ) y una solución salina acuosa ( $\rho = 1.2 \text{ g / cm}^3$ ).

Los polímeros de alto peso molecular raramente son solubles unos en otros, cuando dos polímeros químicamente diferentes se mezclan usualmente forman fases separadas. Aún cuando se use un solvente común para disolver los plásticos, tales soluciones no serán miscibles. Si una mezcla de plásticos es disuelta en un solvente, las diferentes fases formadas contendrán soluciones de componentes casi puros.

Otra variante al proceso de separación es la utilización de diferentes solventes como por ejemplo mediante la utilización de una mezcla de ciclohexanona y xileno se puede conseguir un sistema de disolventes bastante eficiente. La Tabla No. B-2 muestra resultados experimentales de estas pruebas.

La mayoría de los procesos mencionados con anterioridad son hasta el momento experimentales o sólo utilizados en pequeña escala. En este campo es donde se debe fomentar la investigación y desarrollo de tal forma que se puedan implementar estos procesos a nivel industrial y contribuyan así a la obtención de beneficios tanto ambientales como económicos.

Humedad ( % )	Conc. plástico %		Conc. papel %	
	Plástico	Papel	Plástico	Papel
0	12.0	88.0	00.0	0
10	68.3	31.7	100.0	0
20	88.1	11.9	100.0	0
40	98.7	1.3	100.0	0
50	99.8	0.2	100.0	0
55	100.0	0	100.0	0

Tabla No. B-1 Efecto de la Humedad en la Eficiencia del Proceso

Fuente: Grubbs M.R. " Recovery Plastics from Urban Refuse by Electrodynamic Techniques " ; Technical Progress Report 63, U.S. 1972

% Peso						Capas		
						PO	PS	PVC
PEBD	PEAD	PS	PVC	% Ciclo- hexano	Temp. ( C )	%PO	%PS	%PVC
						45	21	17
45	21	17	17	15	115	99.5	98.6	98.9
45	21	17	17	10	125	98.5	96.8	97.4
45	21	12	22	15	125	97.8	97.7	98.8
66		17	17	15	125	99.0	97.5	98.3
45	21	17	17	15	125	99.5	98.9	99.1
45	21	17	17	20	115	99.3	99.2	99.5
41.6	19.4	19.5	19.5	12.5	150	100	99.5	99.3
45	21	17	17	15	125	99.9	99.5	99.6

Tabla No.B-2 Separación por Solventes

Fuente: Revista Polym. Eng. Sci. 16 ( 4 ), 1976.

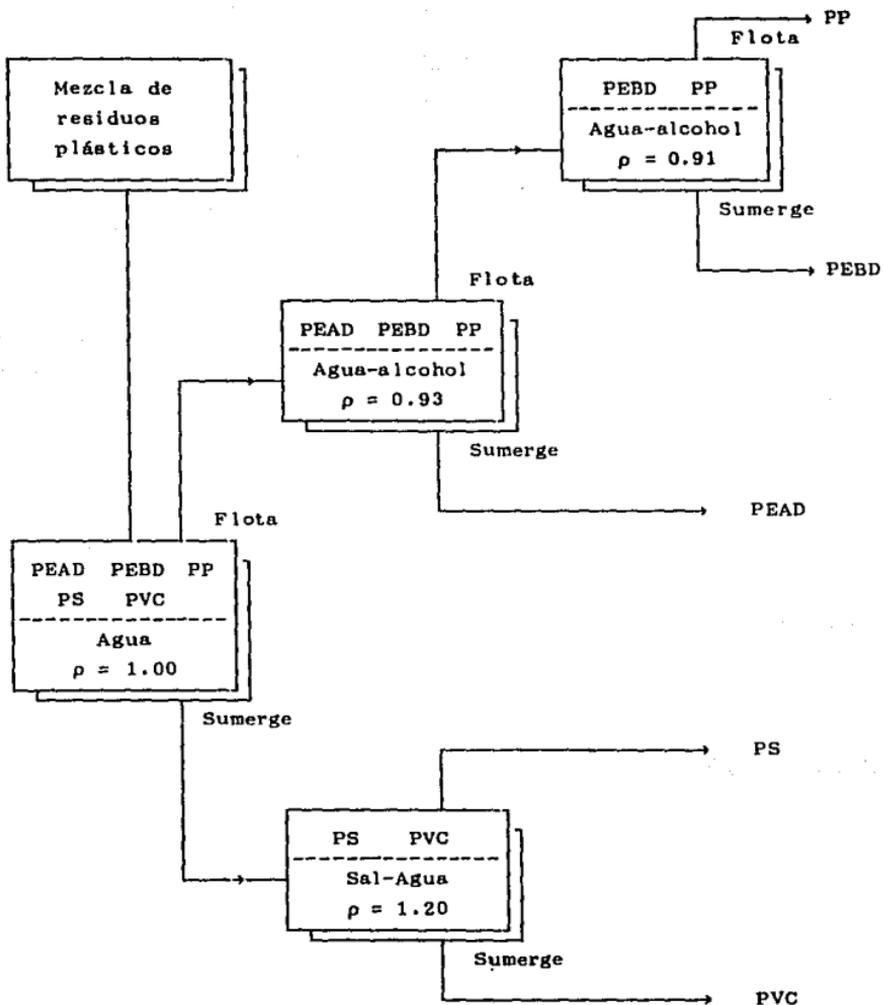


Figura No.B-1 Diagrama de bloques, Separación por solventes

## Bibliografía

- 1.- Mc Crum y Buckey; Principles of Polymer Engineering; 1a. ed.; Oxford University Press; Oxford, 1988.
- 2.- Gaceta Mexicana de Administración Pública, " Manejo de los Desechos Sólidos en el Caso del D.F. " ; Departamento del Distrito Federal, México 1988.
- 3.- " Annual Book of ASTM Standards " ; Vol. 08.01, 1989.
- 4.- Othmer D.F. y Kirk R.E ; Encyclopedia of Chemical Technology ; Ed. J. Wiley and Sons Inc. ; New York 1981.
- 5.- Mark H.F. y Bikales N.M ; Encyclopedia of Polymer Science and Engineering ; Ed. Wiley - Interscience ; New York 1985.
- 6.- Billmeyer F.W. y Guerra R.A. Ciencia de los Polímeros ; Ed. Reverté ; México 1982.
- 7.- Hawkins W.L. ; Encyclopedia of Materials Science and Engineering ; " Recycling of Polymers " ; 1986.
- 8.- " Estudio de Factibilidad de Reuso, Reprocesado y Disposición Final de Residuos Plásticos Flexibles " ; Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología ; México 1988.
- 9.- " En Materia de Desechos Sólidos y Plásticos, México: un País con Graves Problemas " ; Plasti - Noticias ; Diciembre 1986.  
pp 12 - 38.
- 10.- Seymour R.B. ; " Biodegradabilidad de residuos sólidos " ; Revista de Plásticos Modernos, No. 401 ( Nov. 1989 ). pp 752 - 757.

- 11.- Kuhke W.C. ; " Recycle your Plastic waste " ; Hydrocarbon Processing, May 1990, p 89.
- 12.- Trejo V. R. ; " La disposición de los desechos sólidos urbanos " ; Ciencia y Desarrollo, No. 74, Mayo 1987. pp 79 - 86.
- 13.- Leidner J. ; Plastic Waste - Recovery of Economic Value ; Dekker ; New York 1981.
- 14.- Milgrom J. ; " Recycling Plastics: current status " ; Conservation and Recycling, Vol 3, 1984. pp 327 - 335.
- 15.- Haller H. et al ; " Recuperación de desperdicios de lámina de material plástico " ; Plásticos Universales, No. 3, 1985. pp 139 - 143.
- 16.- Chamberlain G. ; " Recycled Plastics " ; Desing News, No. 5 1987. pp 51 - 54.
- 17.- Bevis M. ; " Secondary Recycling of Plastics " ; Materials in Engineering, Vol. 3, Feb. 1982. pp 344 - 349.
- 18.- " Recycling Ventures Multiply Purse New " ; Plastics Technology, Nov. 1989. pp 93 - 96.
- 19.- " Reciclaje " ; Tecnología del Plástico ; Abril 1988. pp 5 - 24.
- 20.- Schalles H. ; " Reprocessing Plastics Scrap " ; Kunststoff German Plastic 77 ( 1987 ) 11. pp 3 - 6.
- 21.- Lichstein M. " Recycling Plastics and Fibers " ; Chemtech, June 1990. pp 360 - 364.

- 22.- Laguna C. O.; " Reciclado de los materiales plásticos " ;  
Revista de Plásticos Modernos ; No. 317 ( Nov. 1982 ). pp 527 -  
536 .
- 23.- Leidner J. ; " Recycling of Post - consumer Plastics " ;  
Ontario Research Foundation ; Canada 1980. pp 539 - 543.
- 24.- Marina V. R. ; " Los desechos municipales problema social " ;  
Plasti - Noticias ; Dic. 1986. pp 4 - 10.
- 25.- Perrone C. ; " Reciclaje : el modelo japonés " ; Tecnología  
del Plástico, No. 8 ; 1984. pp 20 - 28.
- 26.- American Society for Testing and Materials. Disposal of  
plastics with minimum environmental impact, 1986. pp 95 - 98.
- 27.- Schreiber H.P. ; " Technological options in the re - use of  
polimers " ; Department of Chemical Engineering; Ecole  
Polytechnique Montreal, Canada ; Intern. J. Polimer ; 1978;  
Vol. 6. pp 197 - 215.
- 28.- Milgrom J. ; " An overview of plastics recycling " ; Polym.  
Plast. Technol. Eng. 18 ( 2 ), 1982, pp 167 - 178.
- 29.- Ilgenfritz E.M. ; " Plastics waste handling practices " ;  
Water, Air and Soil Pollution 4 ( 1975 ) pp 191 - 199.
- 30.- Goldstein G. ; " Rechanneling the waste Stream " ; Mechanical  
Engineering 44 August 1989. pp 44 - 50.
- 31.- Taranco J. ; " Propiedades dinámicas de los materiales  
plásticos procedentes de residuos urbanos " ; Revista de  
Plásticos Modernos No. 173 ( Julio 1987 ). pp 119 - 123.

- 32.- Throne L.J. ; " Effect of recycle on properties and profits: algorithms " ; Advances in Polymer Technology, Vol. 7, No. 4, 1987. pp 347 - 360.
- 33.- Ram a. ; " Reuse of plastics from solid waste " ; Polymer, Engineering and Science ; April 1977 Vol 17, No. 4. pp 274 - 278.
- 34.- Throne L.J.; " Structural foam molding of incompatible thermoplastics " ; Polymer, Engineering and Science ; Sep. 1977 Vol. 17, No. 9. pp 682 - 685.
- 35.- Sergeev, G.B. ; Cryochemistry ; Tr. from the Russian by Kuznetsov B.V. ; Mir Publishers Moscow ; Moscú 1981.
- 36.- Indicadores Económicos.  
Banco de México.
- 37.- Anuarios Estadísticos de los Estados Unidos Mexicanos.  
Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- 38.- Anuario de la Industria Química Mexicana  
ANIQ.  
México 1990.
- 39.- Bolsa de Residuos Industriales  
PEMEX - SECOFI  
México 1991
- 40.- Treybal R.E. ; Operaciones de transferencia de masa ; 2a. ed.  
; Ed. Mc - Graw Hill.
- 41.- Baca U. G. ; Evaluación de proyectos ; 1a. ed. ; México 1989.

- 42.- Himmelblau M.D. ; Principios y cálculos básicos de la ingeniería química ; Cia. Editorial Continental, S.A. de C.V. ; México 1982.
- 43.- Diario Oficial ; Secretaría de Hacienda y Crédito Público  
Zonificación industrial y estímulos fiscales.  
Miércoles 22 de enero de 1986.
- 44.- Coss B. R. ; Análisis y evaluación de proyectos de inversión ;  
2a. ed. ; Ed. Noriega - Limusa ; México 1991.
- 45.- Perry R.H. y Chilton C.H. ; Chemical Engineers Handbook ; 6a.  
ed. ; Ed. Mc Graw - Hill Book Co. ; New York 1973.
- 46.- Anuario del Banco de México  
Banco de México  
Año 1981 a 1991.
- 47.- Examen de la situación económica en México.  
Cuadernos mensuales editados por el  
Banco Nacional de México.  
Enero de 1981 a diciembre de 1991

#### Dependencias Consultadas

ANIPAC.

Asociación Nacional de la Industria del Plástico A.C.

SEDEU.

Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología.

DDF.

Departamento del Distrito Federal.

**IMP.**

**Instituto Mexicano del Petróleo**

**PEMEX.**

**Petróleos Mexicanos.**

**INEGI.**

**Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática.**

**BANXICO.**

**Banco de México.**

**IMPI.**

**Instituto Mexicano del Plástico Industrial.**

**ANIQ.**

**Asociación Nacional de Ingenieros Quimicos.**

**SECOFI.**

**Secretaría de Comercio y Fomento Industrial.**