

16
207

UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO



FACULTAD DE QUÍMICA

T E S I S

ASPECTOS ECONÓMICOS DEL
RECICLADO DE POLIETILENTEREFTALATO (PET)
GRADO BOTELLA

Que para obtener el título de
INGENIERO QUÍMICO

P r e s e n t a

JORGE BOLAÑOS DELGADO



México, D.F.

1996

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**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 esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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

Jurado Designado:

PRESIDENTE	Prof. Helio Flores Ramírez
VOCAL	Prof. Fernando Malanco Covarrubias
SECRETARIO	Prof. Laura E. García Chávez
1er. SUPLENTE	Prof. Marco Antonio Uresti Maldonado
2do. SUPLENTE	Prof. Modesto Javier Cruz Gómez

Lugar donde se desarrolló el tema:

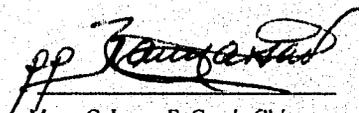
Departamento de Administración Industrial

División de Estudios de Posgrado

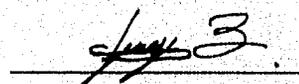
Facultad de Química

Universidad Nacional Autónoma de México

Asesor del Tema


M. en C. Laura E. García Chávez

Sustentante


Jorge Bolaños Delgado

DEDICATORIAS

**A mis padres Luis Bolaños y Sara Delgado
por todo su cariño, apoyo y comprensión
que me han dado para alcanzar las metas
que me he trazado.**

**A mi abuela Micaela García (QEPD)
por toda su alegría y cariño que
me dió.**

**A mi hermano Pedro Bolaños
por su amistad y apoyo.**

**A Diana García por ser
la página más bella en
mi vida.**

A todos mis amigos (as) y compañeros (as)
con quienes he tenido momentos
inolvidables.

A todas aquellas personas
de las que he aprendido
algo a lo largo de
mi vida.

A Dios por toda su grandeza y significancia
en mi vida, por permitirme admirar
y disfrutar todas las cosas
que ha creado.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México
por haberme dado la oportunidad
de superarme.

A la Facultad de Química
por ser una escuela
de primer nivel.

A los Doctores Fernando Malanco y Helio Flores,
y al M. en C. Marco A. Uresti por todas sus
sugerencias y apoyo que me han dado
para el desarrollo de este tema.

A la M. en C. Laura E. García (QEPD)
por haberme dado todo su apoyo para
la realización del presente trabajo.

A todos los profesores que me aportaron
sus conocimientos a lo largo de
mi trayectoria Escolar.

ÍNDICE

	PÁGINA
OBJETIVOS	1
INTRODUCCIÓN	2
CAPÍTULO I.- GENERALIDADES DEL PET	
1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO	5
1.2 ORIGEN Y DESARROLLO	6
1.3 PROCESOS PARA PRODUCIR PET	7
1.3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PARA OBTENER PET A PARTIR DE DMT Y ETILENGLICOL	10
1.3.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PARA OBTENER PET A PARTIR DE TPA Y ETILENGLICOL	13
1.3.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PARA OBTENER PET A PARTIR DE ÁCIDO TEREFTÁLICO Y ÓXIDO ETILENO.	13
1.4 PROPIEDADES DEL PET	17
1.4.1 ESTRUCTURA	17
1.4.2 CARACTERÍSTICAS GENERALES	18
1.4.3 PROPIEDADES FÍSICAS, MECÁNICAS, TÉRMICAS, ELÉCTRICAS Y QUÍMICAS	19
1.4.4 CRISTALIZACIÓN	26
1.4.5 ADITIVOS	27
1.4.6 VISCOSIDAD INTRÍNSECA	29
1.4.7 HUMEDAD	30

1.4.8	MORFOLOGÍA	33
1.5	TRANSFORMACIÓN	33
1.6	USOS Y APLICACIONES DEL PET	35

CAPÍTULO 2.- RECICLADO DE PLÁSTICOS.

2.1	LA INDUSTRIA DEL PLÁSTICO EN MÉXICO	45
2.2	IMPORTANCIA DE LOS PLÁSTICOS	47
2.3	TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS	52
2.3.1	RELLENO SANITARIO	53
2.3.2	PEPENA	54
2.3.3	COMPACTACIÓN	54
2.3.4	INCINERACIÓN	55
2.3.5	COMPOSTEO	55
2.3.6	PIRÓLISIS	55
2.3.7	DEGRADABILIDAD	56
2.4	RECICLADO DE PLÁSTICOS	57
2.4.1	PROCEDENCIA DE RESIDUOS PLÁSTICOS	57
2.4.2	POSIBILIDADES ECONÓMICAS DEL RECICLADO DE PLÁSTICOS	59
2.4.3	PROBLEMÁTICA DEL RECICLADO DE PLÁSTICOS	60
2.5	CLASIFICACIÓN DEL RECICLADO	61
2.6	CÓDIGO DE IDENTIFICACIÓN DE PLÁSTICOS	62
2.7	LEGISLACIÓN EXISTENTE	63

CAPÍTULO 3.- ASPECTOS ECONÓMICOS DEL PET GRADO BOTELLA

3.1	SITUACIÓN ACTUAL DEL PET EN EL MUNDO	65
-----	--------------------------------------	----

3.1.1	CAPACIDAD INSTALADA	66
3.1.2	EMPRESAS PRODUCTORAS	67
3.1.3	CONSUMO APARENTE	69
3.1.4	SEGMENTACIÓN DEL CONSUMO	70
3.1.5	PARTICIPACIÓN Y TENDENCIA POR APLICACIÓN	71
3.1.6	PROYECTOS Y PERSPECTIVAS	73
3.2	SITUACIÓN ACTUAL DEL PET EN MÉXICO	74
3.2.1	CAPACIDAD INSTALADA	75
3.2.2	EMPRESAS PRODUCTORAS	75
3.2.3	PRODUCCIÓN	76
3.2.4	IMPORTACIONES	76
3.2.5	EXPORTACIONES	77
3.2.6	CONSUMO APARENTE	79
3.2.7	SEGMENTACIÓN DEL CONSUMO	80
3.2.8	PARTICIPACIÓN Y TENDENCIA POR APLICACIÓN	80
3.2.9	PROYECTOS Y PERSPECTIVAS	82
3.3	PRECIOS DEL PET	82
CAPÍTULO 4.- EL MERCADO DEL PET RECICLADO		
4.1	PRODUCCIÓN DE DESPERDICIOS A NIVEL MUNDIAL	84
4.2	PRODUCCIÓN DE DESPERDICIOS EN MÉXICO	90
4.3	COMPOSICIÓN DE LOS DESPERDICIOS SÓLIDOS EN LA CIUDAD DE MÉXICO	93

4.4	COMPOSICIÓN DE LOS PLÁSTICOS EN LOS DESPERDICIOS SÓLIDOS EN LA CIUDAD DE MÉXICO	95
4.5	EL MERCADO DEL PET RECICLADO	98
4.5.1	EL MERCADO DEL PET RECICLADO EN EL MUNDO	100
4.5.2	EL MERCADO DEL PET RECICLADO EN MÉXICO	107
4.6	CICLO DE RECICLADO DEL PET	111
4.7	USOS Y APLICACIONES DEL PET RECICLADO	111
4.7.1	MERCADOS DEL PET RECICLADO CON BAJO VALOR	113
4.7.2	MERCADOS DEL PET RECICLADO CON ALTO VALOR	114
CAPÍTULO 5.- TECNOLOGÍAS PARA RECICLAR PET		
5.1	INTRODUCCIÓN	118
5.2	PROCESO GENERAL DE RECICLADO DE POLIETILENTEREFTALATO	118
5.3	TECNOLOGÍAS PARA RECICLAR PET	119
5.3.1	PROCESO CPRR	120
5.3.2	PROCESO M. A. INDUSTRIES	121
5.3.3	PROCESO CARPCO INC.	122
5.3.4	PROCESO VÍA MOLIENDA CRIOGÉNICA	124
5.3.5	PROCESO LUMMUS	128
5.3.6	PROCESO JOHN BROWN	129
5.3.7	PROCESO ARC	133
5.3.8	PROCESO DE REGRANULADO	135
5.3.9	PROCESO DE MODIFICACIÓN CON ADITIVOS	136
5.3.10	PROCESO GOODYEAR	136

5.3.11 PROCESO RECOT-PET	137
5.3.12 PROCESO SMORGON CONSOLIDATED	138
ANÁLISIS DE RESULTADOS	140
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	143
BIBLIOGRAFÍA	146

OBJETIVOS

- Estudiar el reciclado del PET Grado Botella.
- Determinar los mercados potenciales para la resina recuperada en nuestro país.
- Establecer la problemática existente en nuestro país para recuperar y reintegrar a ciclos productivos al PET.
- Establecer la problemática que generan los desperdicios plásticos.
- Conocer los procesos existentes para la recuperación de la resina.

INTRODUCCIÓN

El manejo de los desechos sólidos es actualmente el problema ambiental más trascendente al que se enfrentan las sociedades modernas, en el Mundo.

La cantidad de residuos sólidos que genera cada habitante, está relacionado con el nivel de vida de la comunidad a la que pertenece y al grado de industrialización del lugar de donde proviene.

La industrialización, producción y venta de toda clase de productos ha traído como consecuencia la generación de desperdicios y por tanto la contaminación del ambiente que día a día se incrementa en México y en el Mundo.

El consumo de recursos naturales se ha incrementado peligrosamente en los últimos años, lo que ha puesto de manifiesto que las materias primas no son inagotables. Este hecho incide cada vez más en la necesidad de economizar el uso de los recursos.

La generación de desperdicios trae como consecuencia un alto costo económico que aunado a los problemas de contaminación son una carga para la sociedad.

Estos factores han llevado a países como Estados Unidos, Japón, Alemania, Canadá e Italia a llevar acciones encaminadas a la recolección y reutilización de materiales como vidrio, papel, metales y plásticos para transformarlos en productos útiles nuevamente. De todos los materiales mencionados los desechos plásticos provenientes principalmente del sector de envases y embalaje, causan problemas en el manejo de desperdicios por ocupar grandes volúmenes debido a su baja densidad. Sin embargo, si estos se separan representan una valiosa fuente de materias primas que, a su vez, ofrecen una gran oportunidad para el desarrollo de nuevas industrias que reciclen estos desperdicios.

Para abatir los problemas que generan los desperdicios plásticos se han desarrollado tecnologías para el tratamiento y reincorporación de estos a un ciclo productivo, lo que permite

contribuir a la conservación de los recursos existentes y por tanto a la creciente escasez de materias primas.

Uno de los plásticos que más interés ha recibido en los últimos años es el polietilentereftalato (PET), que actualmente es utilizado en diversos sectores por la industria. Su uso se ha incrementado en forma rápida.

El PET tiene su mayor consumo en la industria de envases, lo que provoca un gran número de desperdicios, debido a que su ciclo de vida útil es muy corto. Esto representa un problema de contaminación ambiental, ya que el ciclo de vida del polímero es muy largo.

Basándonos en ello es primordial plantear soluciones que lleven a la reincorporación de esta resina a nuevos ciclos productivos.

La importancia de evaluar este problema y proponer soluciones al mismo, tiene como objetivo el estudio del reciclado del PET y los mercados potenciales para este material.

Se tiene como finalidad la disminución de los desperdicios que se generan, así como el aprovechamiento de los mismos, lo que permitirá:

- * Una reducción del volumen de los contaminantes que genera la sociedad.
- * La creación de nuevas empresas que se dediquen a reciclar el PET y otros materiales, obteniendo así negocios de alta rentabilidad.

El reciclado del PET en varios países es ya una realidad. En México se empieza a tomar conciencia de la importancia y beneficios que representa este material, pero aún existe un desconocimiento de estas ventajas debido a que las plantas que reciclan materiales plásticos son pequeñas y en la mayoría no contemplan a esta resina como un material que pueda tener una gran demanda y mucho menos la existencia de mercados potenciales. Sin embargo es algo que debe considerarse para el establecimiento de nuevas plantas, ya que el reciclado constituye una fuente de materias primas, a un costo más bajo.

Para que sea viable la recuperación de plásticos es primordial grabar en moldes y materiales el Código Internacional para reciclado y efectuar estudios de los procesos y técnicas utilizadas que sigue el material en su recuperación y posterior tratamiento.

Actualmente el PET grado botella, genera una cantidad importante de desperdicios que ocasionan grandes problemas no sólo en su manejo, sino también en su disposición final, debido a que ocupan un mayor espacio en los tiraderos.

Con el fin de enfrentar adecuadamente la problemática que genera esta resina, es primordial su identificación, de ahí que sea importante conocer sus propiedades, los procesos de obtención, así como las aplicaciones y usos que tiene.

Se debe de tomar en cuenta la situación de reciclar materiales plásticos, lo que implica conocer los procesos existentes para el tratamiento de desechos sólidos, las ventajas que se tienen por su reincorporación a ciclos productivos, así como la legislación existente.

Otro aspecto a considerar es la evolución que presenta el mercado del PET grado botella en México y en el Mundo, para determinar los efectos que esta resina tiene en los residuos generados y sobre todo, plantear alternativas para recuperarla antes de que llegue a los tiraderos existentes.

Hay que llevar a cabo un análisis de la composición de los desperdicios que se generan para determinar cuántas toneladas de PET se están desperdiciando. También se debe evaluar el mercado que existe para el material recuperado y los usos y aplicaciones que este tiene.

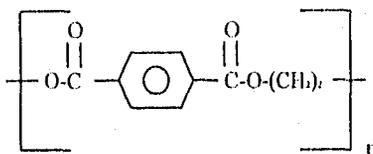
Finalmente es importante conocer los procesos existentes para reincorporar el PET reciclado a nuevos mercados, que permitirá plantear los pasos a seguir para afrontar y resolver la situación de este plástico y, de esta forma, determinar los beneficios que se pueden obtener por su reincorporación a ciclos productivos.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES DEL PET

1.1 Identificación del producto.

El polietilentereftalato es una resina del grupo genérico conocido como resinas poliéster de tereftalato derivadas del dimetil tereftalato (DMT) o el ácido tereftálico (TPA) y que tiene la siguiente estructura general: ⁽¹⁶⁾



POLIETILENTEREFTALATO

El acrónimo o abreviatura para esta resina está formada por las siglas PET.

Existen 4 grados diferentes de PET en el mercado:

- El PET grado fibra
- El PET grado botella
- El PET grado ingeniería
- El PET grado lámina y película

En forma preliminar los diferentes grados se diferencian por su viscosidad intrínseca y por su peso molecular.

La presentación comercial del polietilentereftalato es como gránulo y por su comportamiento al calor se clasifica como termoplástico. ^{(10), (16)}

La gran aceptación que ha tenido el PET por parte de los más exigentes consumidores y fabricantes se debe a sus propiedades mecánicas, térmicas, eléctricas y químicas respecto a otras resinas, al éxito que ha mostrado en la sustitución del metal, vidrio, cerámica, etc., así como las múltiples aplicaciones que tiene.

1.2. Origen y desarrollo. ⁽¹⁶⁾

El descubrimiento de la fibra de poliéster Dacrón (PET) tuvo su origen hacia 1920, en los trabajos de W.H. Carothers y colaboradores, de construir moléculas gigantes (pesos moleculares mayores a 10000). Al probar con poliésteres obtuvieron elevados pesos moleculares, poca estabilidad de las moléculas propensas a la escisión en los enlaces carbono-oxígeno y temperatura de fusión de los polímeros bajos.

Basándose en los trabajos de Carothers, J.R. Whinfield y J.T. Dickson en Inglaterra alcanzaron en 1941 las propiedades necesarias para las fibras de poliéster, obteniendo a nivel laboratorio el polímero PET, con el que se prepararon fibras tenaces, resistentes a la hidrólisis, de elevada temperatura de fusión y estirables en frío. En ese año patentaron la policondensación del etilenglicol y el ácido tereftálico para obtener un polímero de cadena lineal que podía ser cristalizado y estirado para la formulación de fibras.

El PET fue patentado inicialmente en 1955 como polímero para fibra, llamado DACRÓN y hace su aparición en el mercado mundial en ese año.

En los 60's el poliéster continúa su desarrollo y es utilizado en la elaboración de películas flexibles para empaques de diversos productos, cintas, cassettes y películas biorientadas para aplicaciones de fotografía y rayos X.

En los 70's surge como un material útil para la elaboración de botellas y envases biorientados que contengan bebidas carbonatadas, perfumes, cosméticos, licores, cervezas y, en general, alimentos que requieran larga vida de anaquel.

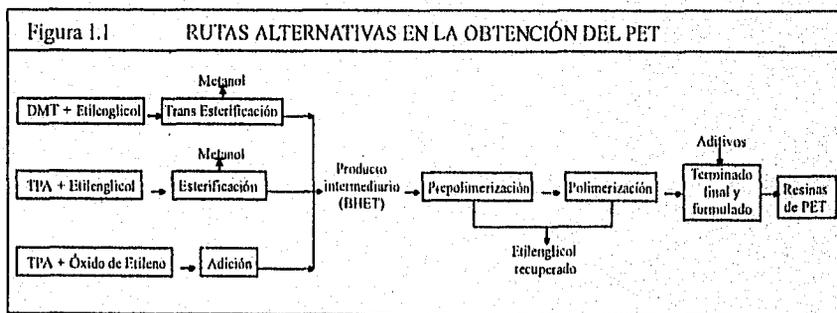
En los 80's los productos obtenidos del PET atraviesan por una expansión vertiginosa, en especial en el sector eléctrico, electrónico y en el automotriz, debido a la creciente demanda de productos más tenaces y carentes de deformación.

En los 90's el mercado del PET sigue en aumento. Sin embargo está sujeto a una legislación severa en el sector alimenticio, por lo que día a día se desarrollan procesos para reciclarlo y se crean nuevos mercados para estos productos.

1.3 Procesos para producir PET.

Las rutas existentes para obtener el polietilentereftalato son muy similares, porque se derivan del ácido tereftálico o del dimetiltereftalato y se obtienen a partir de una reacción de policondensación. ⁽²⁴⁾

Tal como se muestra en la figura 1.1, las rutas de obtención de la resina difieren solamente en la primera etapa, en la que se obtiene el producto intermediario Bis (2-hidroxietil)-Tereftalato (BHET).

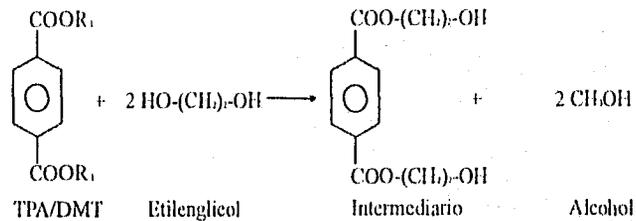


FUENTE: SEMIP (24)

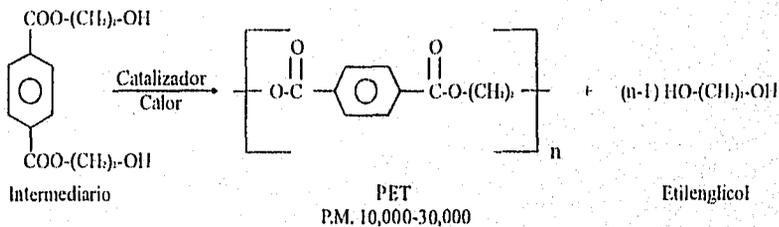
A partir de esta etapa las operaciones necesarias para obtener el polímero final son: prepolimerización, polimerización, separación de disolvente y/o subproducto, terminado del polímero y formulación.

El PET se obtiene mediante las siguientes reacciones genéricas:

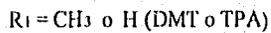
•Primera reacción



•Segunda reacción



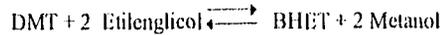
En donde:



En virtud de lo anterior, las rutas tecnológicas para obtener PET son:

- * A partir de dimetiltereftalato y etilenglicol.
- * A partir de ácido tereftálico y etilenglicol
- * A partir de ácido tereftálico y óxido de etileno

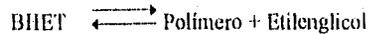
En el primer caso la primera etapa es la reacción de transesterificación:



Para desplazar el equilibrio a la derecha, la reacción se lleva a cabo bajo condiciones que permitan eliminar fácilmente el metanol de los reactores de transesterificación.

Por lo general se emplea presión atmosférica y una temperatura que va de 170°C al inicio de la reacción, hasta cerca de 230°C al final de la misma.

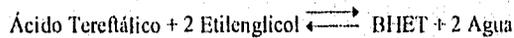
La reacción de prepolimerización se conduce normalmente a presiones menores a la atmosférica, hasta alcanzar 1 mmHg, con temperaturas que van de 230 a 285°C.



El etilenglicol formado se elimina como vapor conforme avanza la reacción. El peso molecular obtenido en este paso es de aproximadamente 6000.

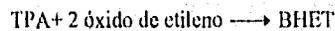
La polimerización final usualmente se hace a menos de 1 mmHg y a 285°C, el polímero obtenido tiene un peso molecular de 18 mil (para aplicaciones textiles o película).

Cuando se utiliza la segunda ruta la reacción inicial es la esterificación:



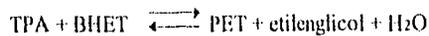
La reacción se efectúa bajo condiciones que permitan desplazar el equilibrio a la derecha, volatilizar y eliminar el agua producida; la presión es usualmente mayor a 1 atm. con temperaturas de 200-260°C.

Para el proceso que utiliza la ruta de TPA + óxido de etileno involucra la reacción:



Esta se efectúa en un medio orgánico (usualmente benceno), y utiliza una amina como catalizador (trietanol amina), a una temperatura de 116°C y presiones superiores a la atmosférica (16 Kg/cm²).

Esta reacción es seguida por la reacción de policondensación:

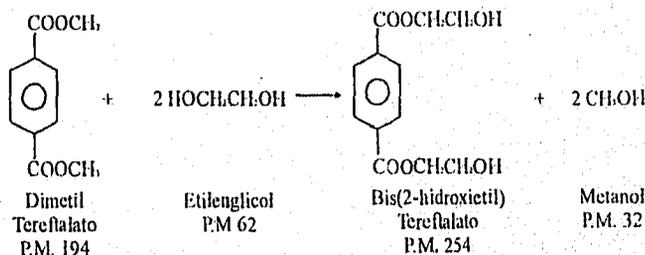


y se lleva a cabo a una presión cercana a la atmosférica y a una temperatura de 250°C.

Esta última ruta ha tenido, una aplicación limitada a escala comercial.

1.3.1 Descripción del proceso para obtener PET a partir de DMT y etilenglicol. ⁽²⁴⁾

El dimetil tereftalato (DMT) se introduce por medio de un alimentador de tornillo, a los fundidores (con vapor) de DMT, de aquí se bombea al domo del reactor de intercambio de éster. El etilenglicol del almacenamiento se calienta y se divide en dos partes, una pasa a la torre de recuperación de metanol y la otra parte se alimenta al tanque de mezclado con catalizador. El efluente de este mezclador pasa al reactor de intercambio de éster donde tiene lugar la reacción:



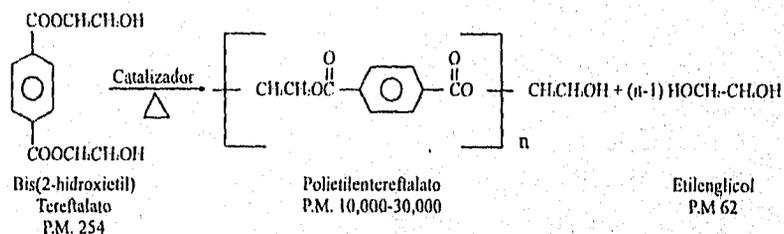
La relación de alimentación etilenglicol: DMT es de 2:1, el tiempo de residencia del líquido es de cerca de 2.5 horas y la conversión del DMT es mayor de 99%. Este reactor es en realidad una columna de platos que opera a una presión atmosférica y a una temperatura de 170°C en el domo, y de 234°C en los fondos utilizando acetato de zinc como catalizador.

El metanol producido en la reacción se recupera en el domo de la columna de metanol. Por el fondo de la misma se obtiene una corriente que contiene principalmente etilenglicol y DMT la cual, después de vaporizarse, se retorna al reactor de intercambio de éster.

La corriente que sale del fondo del reactor de intercambio de éster se envía a la sección de prepolimerización. Los reactores de prepolimerización operan a una presión que llega a ser de 10 mmHg y a una temperatura de 234°C en la parte superior y 273°C en los fondos y utilizan trióxido de antimonio como catalizador; en estos reactores se obtiene etilenglicol por la parte superior, el cual se envía a purificar para ser recirculado; y un prepolímero con un peso molecular promedio aproximadamente de 6000.

El prepolímero obtenido se mezcla con una corriente de óxido de titanio en emulsión y se alimenta a los reactores de polimerización a 273°C.

La temperatura al final del tren de polimerización es de 293°C, mientras que la presión es menor a 1mmHg. El tiempo de residencia es de 6 horas o menor y el peso del polímero obtenido es de 18 mil o más; la reacción de polimerización es la siguiente:

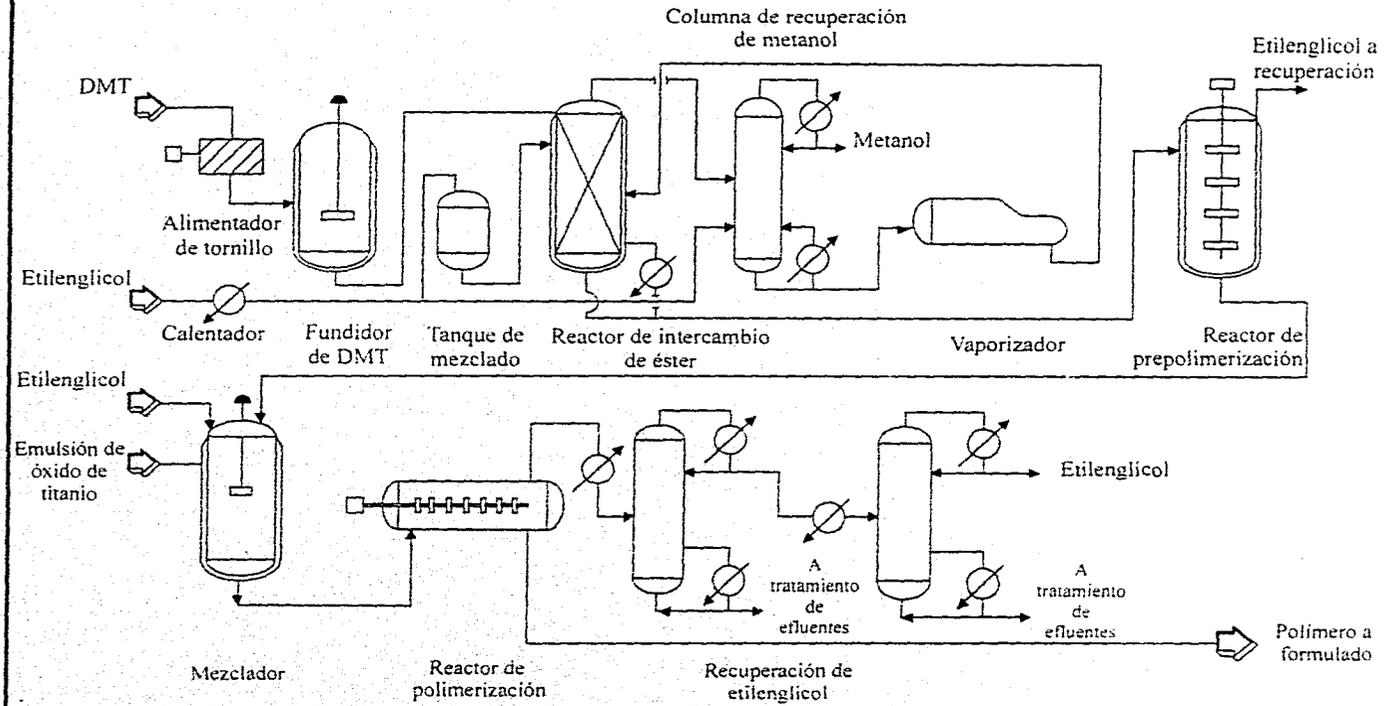


El polímero se envía a manejo de efluentes y formulado final. El etilenglicol obtenido tanto en la prepolimerización como en la polimerización se purifica mediante destilación. En una primera Columna los fondos del domo se calientan hasta 130°C y se envía a una segunda columna en la que se obtiene etilenglicol de la concentración necesaria para recircularse.

En la figura 1.2 se muestra este proceso.

Figura 1.2

PRODUCCIÓN DE PET A PARTIR DEL DIMILTERTERFALATO Y ETILENGLICOL

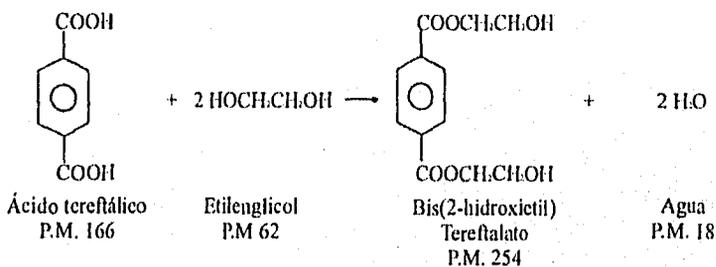


FUENTE: SEMIP (24)

1.3.2 Descripción del proceso para obtener PET a partir de TPA y etilenglicol. ⁽²⁴⁾

En la figura 1.3 se muestra un esquema simplificado de las secciones de producción del BHET del proceso para obtener polietilentereftalato a partir de ácido tereftálico (TPA) y etilenglicol.

El proceso inicia al introducir el TPA mediante alimentadores tipo "tornillo" al reactor (es) en los que se produce el BHET, junto con el etilenglicol, el cual se precalienta hasta una temperatura de 232°C antes de su entrada a dicho (s) reactor (es), en el (los) reactor (es) la presión requerida es de 4.5 Kg/cm² y se efectúa la siguiente reacción:



Conforme avanza la reacción el agua formada se separa en forma de vapor junto con algo de etilenglicol, parte de este etilenglicol se separa y recircula al reactor. El producto formado se envía a la sección de prepolimerización para continuar su procesamiento en forma similar a como ocurre en el proceso de DMT, descrito anteriormente.

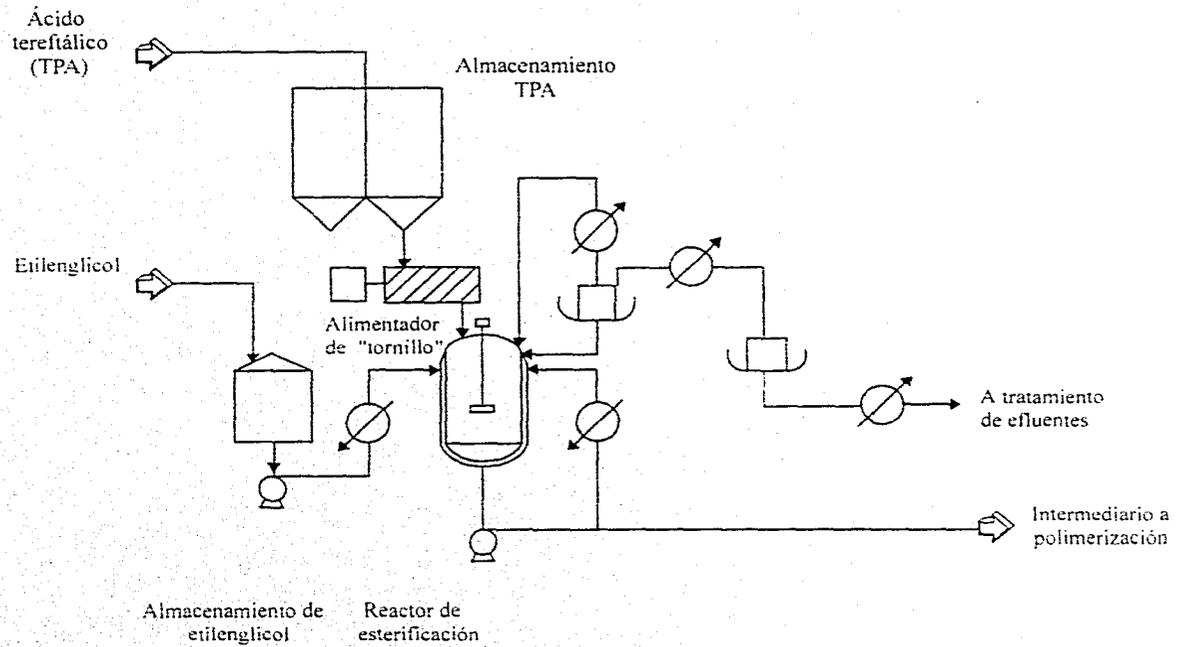
1.3.3 Descripción del proceso para obtener PET a partir de ácido tereftálico y óxido de etileno. ⁽²⁴⁾

La figura 1.4 muestra la fracción del diagrama de flujo de proceso correspondiente a la sección entre el óxido de etileno y el ácido tereftálico.

El TPA se introduce a través de los alimentadores de tornillo a un tanque de mezcla al que se agrega además, benceno de reposición y una mezcla de óxido de etileno-benceno de recirculación,

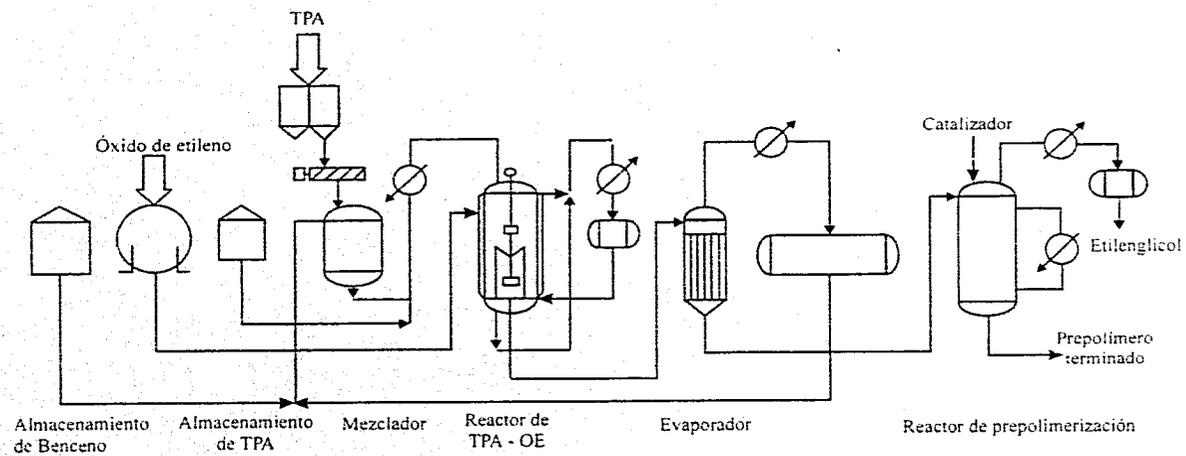
Figura 1.3

PET A PARTIR DE TPA Y ETILENGLICOL (SECCIÓN DE ESTERIFICACIÓN)



FUENTE: SEMIP (24)

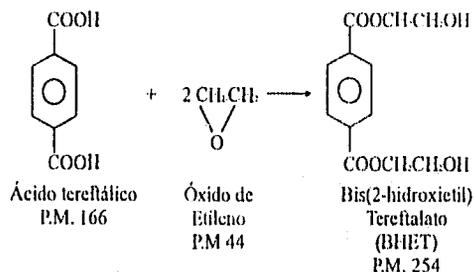
Figura 1.4 PET A PARTIR DE TPA Y ÓXIDO DE ETILENO (SECCIÓN DE REACCIÓN Y POLIMERIZACIÓN)



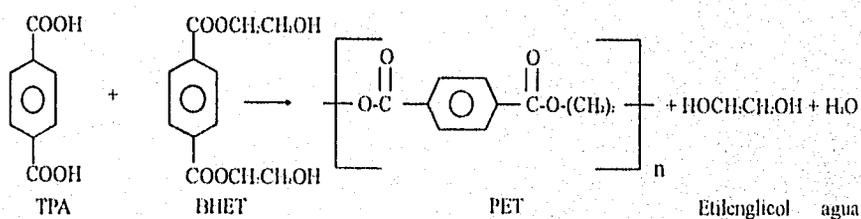
FUENTE: SEMIP (24)

junto con el catalizador (trietanolamina) ; la mezcla en emulsión formada se alimenta al reactor de TPA-OE. Una parte adicional de óxido de etileno se agrega directamente del almacenamiento.

El reactor utilizado es un tanque agitado provisto de una chaqueta y unas bobinas internas de enfriamiento para remover el calor de reacción. Las condiciones de reacción son $T=115^{\circ}\text{C}$ y $P=16 \text{ Kg/cm}^2$ con un tiempo de residencia de cerca de 100 minutos. La reacción principal es:



En la chaqueta del reactor se evapora benceno (enfriando la reacción), cerca del 60% del TPA se transforma en BHET. El efluente del reactor se pasa a través de un evaporador para eliminar la mayor parte de OE y benceno remanentes, para enviarse posteriormente a un segundo reactor en donde se produce la reacción:



Este segundo reactor trabaja a una temperatura de 250°C y una presión de 1 Kg/cm^2 y tiene un tiempo de residencia aproximado de 2 horas; el prepolímero producido hasta este momento, con un

peso molecular promedio de 2000 pasa a la sección de polimerización y el proceso continúa en una forma similar a la del proceso de DMT descrito anteriormente.

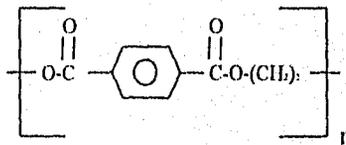
1.4 Propiedades del PET.

Las propiedades de los diferentes productos que se obtienen de los poliésteres termoplásticos dependen del uso al que estén destinados, del grado de polimerización de la reacción, así como también, de la modificación con aditivos y otros plásticos para formar mezclas y aleaciones.

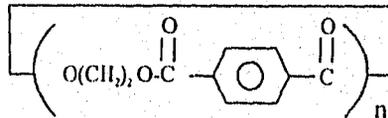
Los diferentes grados de resinas de PET se diferencian por su peso molecular. Las que presentan menor peso molecular se denominan de grado fibra, las de peso molecular medio grado película y las de mayor peso molecular grado ingeniería.

1.4.1 Estructura. ⁽¹⁾

La estructura química del PET no se describe completamente por la fórmula lineal.

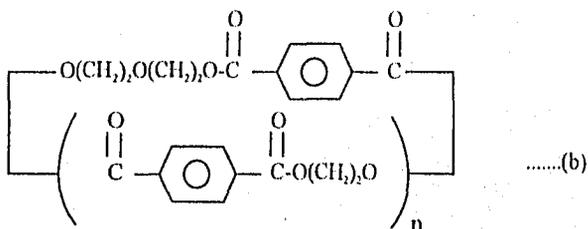
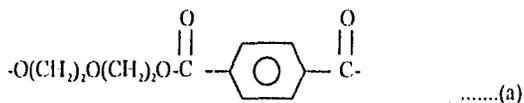


Cuando se prepara para la polimerización por fundición, cada polímero contiene constituyentes naturales ~1.5 % de la familia de los oligómeros cíclicos del alquilen tereftalato, con valores de n entre 7 y 9, aunque se compone primordialmente del trímero cíclico :



El contenido de trimero cíclico en el PET es la fuente de ciertos problemas técnicos porque de su tendencia para migrar hacia la superficie de fibras y películas extruidas, causan depósitos en los equipos de proceso así como irregularidades en las películas del plástico.

Otra desviación estructural del PET es la incidencia de una pequeña proporción (2-5 %mol) de unidades diglicol (2-oxapentametileno tereftalato), formado por una reacción lateral del etilenglicol durante la polimerización y presente como una unidad copolimerizada en la cadena (a); una menor proporción de estas unidades también ocurre en la formación de oligómeros cíclicos (b).



Aunque el PET debería, en principio, tener grupos hidroxílicos en el final de cada cadena molecular, en la práctica una cierta proporción de estas cadenas son terminadas por grupos carboxílicos formados por la descomposición térmica durante la polimerización.

1.4.2 Características generales.

La tabla 1.1 permite visualizar las características del PET respecto a algunos plásticos y otros materiales.

Tabla 1.1

CARACTERÍSTICAS GENERALES			
	Plásticos PVC; PS; PP; PE	PET	Metal, vidrio, cerámica.
Propiedades	Pobres	Excelente	Excelente
Valor Agregado	Bajo	Alto	Regular
Vida útil	Baja	Prolongada	Prolongada
Manejo	Fácil	Fácil	Difícil
Peso	Ligero	Ligero	Pesado
Procesamiento	Fácil	Difícil	Difícil
Costo M.P.	Bajo	Alto	Alto

FUENTE : (4)

En general, el PET es un polímero parcialmente cristalino. Posee una alta dureza, rigidez y estabilidad dimensional.

El PET es transparente en estado amorfo; posee un punto de fusión de 260°C y una temperatura de descomposición de 290°C.

El PET presenta excelentes propiedades térmicas, un bajo porcentaje de absorción en H₂O, lo que permite mantener su estabilidad dimensional.

Las propiedades mecánicas permiten la elaboración de partes pequeñas y complejas.

1.4.3 Propiedades físicas, mecánicas, térmicas, eléctricas y químicas.

Estas propiedades dependen del grado del poliéster: ⁽¹⁶⁾

a) PET grado botella

El PET grado botella es un producto que no requiere en su elaboración de aditivos, por lo que se considera completamente puro e inerte.

Presenta excelentes propiedades de barrera a gases, especialmente al O₂, para evitar la oxidación de alimentos y contra el CO₂, para el almacenamiento de bebidas gaseosas.

Esta cualidad permite alargar la vida de anaquel de los productos.

Posee propiedades ópticas similares al PET grado película, es decir, alto brillo y transparencia comparables al cristal.

El peso de un envase de PET es de un 25% menor que el mismo envase en PVC. Esto conlleva a una mayor seguridad en el manejo de envases de gran volumen.

Posee muy buena resistencia al impacto y a la tensión. Una botella de 2 L., cuando está sujeta a presión de un gas, por ejemplo CO₂ de una bebida carbonatada, es suficientemente resistente para contenerlo, con amplios márgenes de seguridad, ya que puede soportar presiones de trabajo hasta de 4.8 atm, incluso soporta caídas libres sobre concreto hasta de 3m de altura sin presentar consecuencias explosivas.

Se pueden pigmentar en una gran variedad de colores, son de fácil transporte, llenado y uso.

b) PET grado fibra

Existen diversos grados de acuerdo al uso final que se le dé, es decir, textil o industrial. Se caracteriza por su elevada resistencia a la tensión y su resistencia a la abrasión, (además de presentar buenas propiedades de resistencia química a hidrocarburos aromáticos, alcoholes, detergentes, soluciones acuosas de ácidos débiles y fuertes, a la luz solar, microorganismos y a tratamientos blanqueadores).

c) PET grado película o lámina.

Se caracteriza por su alta resistencia a la tensión, elevada transparencia y brillo superficial, destacando en propiedades de barrera a gases, principalmente O₂, CO₂, N₂ así como al paso de olores.

Posee baja retención de humedad, no es tóxica y es inerte a la formación de hongos y bacterias, lo que la hace ideal en aplicaciones del sector envase y empaque para laminaciones con Al, papel y otros plásticos útiles para prolongar la vida de anaquel de artículos perecederos.

Es muy resistente a temperaturas hasta de 130°C en uso continuo. Esto aunado a sus propiedades de barrera lo hacen útil para fabricar laminaciones con aluminio y propileno las cuales sirven para envasar alimentos preparados, que se pueden someter a baño maría sin necesidad de abrir el empaque.

Por sus excelentes propiedades de resistencia química a disolventes orgánicos, alcoholes y aceites se utiliza en la fabricación de películas sensibilizadas para fotografía y rayos X y es apropiada para la metalización y tratamientos de impresión.

Los espesores de película varían según el fabricante y van de 10 hasta 60 micras. También existen láminas desde 1 hasta 3 milímetros generalmente utilizadas en la fabricación de empaques termoformados como charolas.

d) PET grado ingeniería.

Tienen propiedades de brillantez y estructura cristalina. En su forma natural es un material fácil de incendiar, funde y gotea, la flama permanece aun después de alejarla del contacto del fuego, es de color amarillo y desprende humos negros de olor irritante. Es un material semirígido de gran resistencia a la deformación, tenacidad, alta estabilidad dimensional, bajos coeficientes estáticos y de fricción y de buena resistencia al impacto.

Generalmente se comercializan formulados con cargas y aditivos que les imparten, por ejemplo: propiedades de retardancia a la flama, con cargas minerales y fibra de vidrio (15-55%) mayor resistencia al impacto y soportar elevadas temperaturas hasta de 150°C.

Presentan excelente fluidez por lo que se moldean piezas de diseños intrincados.

En la tabla 1.2 y 1.3 se muestran las propiedades típicas del PET.

En la tabla 1.4 se aprecian las principales propiedades del PET en comparación con otros plásticos.

<i>Tabla 1.2</i>			
PROPIEDADES DEL PET GRADO BOTELLA			
DATOS TÉCNICOS GENERALES			
Densidad aparente, g/cm ³	0.90		
Punto de fusión, aprox. °C	252		
Acetaldehídos, p.p.m.	5		
Contenido en grupos carboxílicos, mval/Kg	20		
Cristalinidad	>50%		
Peso específico Amorfo	1.33		
Peso específico Cristalino	1.4		
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS			
Temperatura de transición vítrea, °C	81		
Punto de fusión de los gránulos, °C	260		
Conductividad térmica ASTM C 177, W/mK	0.21		
Resistencia al calor (continuo), °C	105-120		
Temperatura de distorsión a 186 Kg ASTM D648, °C	85		
Temperatura de distorsión a 4.6 Kg ASTM D648, °C	115		
Coefficiente de expansión térmica lineal ASTM D 696 x 10 cm/cm°C	7		
Calor específico cal/°C/g	0.28-0.4		
Dureza Rockwell ASTM D 795	M-70-106 Scala		
Resistencia a la tracción ASTM D638, Kg/cm ²	560-750		
VALORES DE PERMEABILIDAD			
(cm ³ -mm/100in ² -1 atm a 25°C)			
	O ₂	CO ₂	H ₂ O
PET sin orientar	5	5.7	1.38
PET orientado	2.2	2.6	0.65

FUENTE: PCI (26)

Tabla 1.3

PROPIEDADES TÍPICAS DE LOS POLIESTERES TERMOPLÁSTICOS								
Propiedades	P E T				P E T			
	Grado Ingeniería		Grado Botella	Grado Película	Grado Ingeniería		Unidades	Métodos de prueba ASTM
	% Fibra de Vidrio				% Fibra de Vidrio			
	30	43	0	30				
Físicas:								
Densidad	1.56	1.69	1.37	1.37	1.31	1.53	g/c.c	D 792
Mecánicas:								
Resistencia a la tensión	1.61	1.96	0.54	0.310	0.53	1.19	Kg/cm ²	D 792
Resistencia al impacto	101	-	43	43	53	96	Kg.cm/cm	D 256
Resistencia a la flexión	2.38	2.6	1.16	1.6	0.84	1.96	Kg/cm ²	D 790
Resistencia a la compresión	1.75	1.82	1.3	-	0.92	1.26	Kg/cm ²	D 695
Dureza Rockwell	M-100	M-100	M-106	M-106	R-117	R-118	-	D 785
Térmicas:								
Conductividad	0.29	0.31	-	0.15	0.16	0.21	10 ⁻⁴ cal/seg-cm ³ °C.cm	C 177
Expansión	2.9	2.3	7.2	1.7	12.8	2.50	10 ⁻⁵ /°C	D 696
Eléctricas: Constante								
Dieléctrica a 60 Hz	3.5	3.9	3.4	3.0	3.1	3.0	-	D 150
Factor de disipación a 60 Hz	12	12	20	20	20	20	-	D-150

FUENTE: Seminario La Era del Plástico 1991, IMPI. (16)

Tabla 1.4

PRINCIPALES PROPIEDADES DEL PET COMPARADAS CON OTROS PLÁSTICOS

Material	Resistencia a la tensión (Kg/cm ²)	Resistencia al impacto (*) (Kg/cm ²)	Absorción de agua %	Permeabilidad a gases (cc/mm ² , mm espesor)		
				O ₂	CO ₂	N ₂
PEBD	106-211	7-11	0.01	97	1064	71
PS	562-844	1-5	0.04-0.10	99-138	355	-
PVC	492-703	12-20	No determinado	2.8	8-20	-
CELOFAN	492-1260	-	45-115	0.25	0.2-2.4	0.4
PP	527-2810	10-25	0.005	63	213	8
PEAD	169-429	1-3	No determinado	73	228	17
PET	2810	25-30	0.08	1.2-1.6	6-10	0.4

(*) Impacto de un péndulo sobre una muestra de 3.2 mm.

FUENTE: Seminario la era del plástico 1991, IMPI. (16)

La respuesta de los poliésteres a las influencias térmicas, químicas y fotoquímicas son importantes para muchos aspectos de su preparación, fabricación y uso.

En forma cristalina y a temperatura ambiente o moderadamente elevada, el PET es generalmente resistente a ácidos minerales acuosos, sales no básicas y muchos compuestos orgánicos como acetato de etilo, metiletilcetona, xileno, nafta, metilcelosolve, dioxano, tricloruro de etilo, metanol, ácido acético entre otros.

Sin embargo el PET puede ser atacado por agentes oxidantes y particularmente por soluciones alcalinas.

A altas temperaturas el agua o atmósferas húmedas hidrolizan los grupos éster a OH y COOH.

Los fenoles fragilizan a la resina en condiciones drásticas de hidrólisis.

En la tabla 1.5 se muestra la resistencia química del PET ante diversas sustancias:

Tabla 1.5

RESISTENCIA DEL PET					
ALCOHOLES		DISOLVENTES		Acido sulfúrico 80% o más	N
Metanol	M	Nitrobenceno	N	Anhidrido sulfúrico	R
Etanol	M	Difenil clorado	M	SOLUCIONES ACUOSAS ALCALINAS	
Isopropanol	R	Tricloro etileno	M	Hidróxido amónico	N
Ciclohexanol	M	Fenol	N	Hidróxido cálcico	R
Glicol	M	ACIDOS		Hidróxido sódico	N
Glicerina	M	Acido fórmico 50%	M	SALES (SOLUCIONES)	
Alcohol Benílico	R	Acido acético	M	Carbonato alcálico	M
ALDEHIDOS		Acido clorhídrico 10%	R	Cianuros	M
Acetaldehído	M	Acido clorhídrico 30%	R	Fluoruros	M
Formaldehído	M	Acido fluorhídrico 10 y 35%	M	SUSTANCIAS VARIAS	
CARBONOS		Acido nítrico 10%	M	Agua	M
Tetracloruro de C	R	Acido nítrico 65 y 100%	N	Peróxido de hidrógeno	M
Cloroformo	R	Acido fosfórico 30 y 85%	M	Oxígeno	M
		Acido sulfúrico 20%	R	Cloro	M

FUENTE: (26)

Notas: M = Muy resistente

R = Resistente

N = No resistente

1.4.4 Cristalización.

El PET cristaliza entre 85°C y 250°C, la rapidez de cristalización es lenta cerca de los límites de este intervalo y presenta su punto máximo a 175°C; entre 150 y 200°C puede alcanzar la cristalinidad en menos de un minuto. ⁽⁵⁾

A temperaturas menores a 85°C, las moléculas no tienen la suficiente energía y por arriba de 250°C poseen demasiada, por lo que es difícil cristalizar la cantidad deseada.

La cristalización está relacionada con la claridad. Si la rapidez de calentamiento es lenta, se forman cristales tan grandes que ocasionan que el PET tenga apariencia blanquizca lechosa, además de que provoca que el polímero sea quebradizo.

1.4.5 Aditivos.

Los poliésteres presentan la ventaja de ser modificados con diversos aditivos los cuales se mencionan a continuación describiéndose las propiedades que generan: ^{(10), (16)}

a) Retardantes a la flama.

Debido a que los poliésteres termoplásticos arden a la flama se recomienda utilizar retardantes a la flama, entre los que destacan los óxidos de antimonio, sales de potasio y refuerzos fibrosos para reducir el goteo del material durante su combustión.

b) Cargas y refuerzos.

El PET grado ingeniería se refuerza para mejorar sus propiedades mecánicas naturales. El refuerzo con fibra de vidrio puede llegar a ser hasta del 55%.

De manera general podemos decir que los tipos de carga más usados son carbonato de calcio, talco y fibra de vidrio. Si se desean piezas capaces de producir corriente eléctrica deben usarse como cargas polvos metálicos o negro de humo.

c) Modificadores de impacto.

Los poliésteres de ingeniería por su naturaleza cristalina tienden a ser quebradizos y para ciertas aplicaciones es necesario que presenten resistencia al impacto por lo que se recomienda alarlo con policarbonato, polietileno y elastómeros.

d) Agentes antiestáticos.

El PET grado lámina al estar en contacto con otros materiales adquiere carga eléctrica y como no es conductor no es fácil retirar dicha carga, por lo que se utilizan agentes antiestáticos, los cuales son de mayor importancia cuando se usan en películas fotográficas.

e) Antioxidantes.

El PET es relativamente estable a la auto-oxidación; sin embargo, contienen algunos segmentos fácilmente oxidables por lo que se utilizan para artículos de larga vida útil, la concentración de este tipo de aditivos debe ser del 1%, ayudando además con esto a mantener el color brillante. Son 2 antioxidantes del grupo amino los que se usan para esta formulación y se pueden agregar durante la policondensación o la pelletización.

f) Agentes nucleantes.

Los tiempos de cristalización de la resina PET resultaban bastante grandes para que su procesamiento a través de moldeo por inyección fuera económico a nivel comercial; de tal manera que se desarrolló una tecnología para lograr una cristalización más rápida. Se utilizan únicamente para el PET grado ingeniería ya que dicha característica es benéfica para el caso de fabricación de botellas parcialmente cristalinas y altamente transparentes.

En general como agente nucleante se utilizan óxidos de metales y a una concentración de 0.5%, por ejemplo óxido de magnesio. El principal objeto de agregar este aditivo es para que el material cristalice completamente en el molde y no sufra distorsiones o encogimientos.

Viscosidad intrínseca.

La viscosidad intrínseca es determinante en la estructura del polímero ya que está en función de la humedad y la temperatura.

Las correlaciones son : ⁽⁵⁾

-Viscosidad intrínseca:

$$[\eta] = 1.27 \times 10^{-4} * PM^{0.86}$$

A temperatura y presión ambiental.

-Viscosidad del PET en cP:

$$\mu = 1.715 + 0.01 * PM^{1/2}$$

En la tabla 1.6 y 1.7 se muestra la variación de la viscosidad intrínseca y la viscosidad respectivamente, conforme el peso molecular varía

<i>Tabla 1.6</i>		<i>Tabla 1.7</i>	
Variación de la viscosidad intrínseca con respecto al peso molecular del PET.		Variación de la viscosidad con respecto al peso molecular del PET	
η	PM	μ	PM
0.237	6000	11076	1000
0.272	7200	18975	3000
0.326	8900	32161	6000
0.376	10800	48213	9000
0.442	13000	67826	12000
0.534	16355	91620	15000
0.5909	18038	120242	18000
0.6467	20437	142349	20000

La reducción de la viscosidad intrínseca involucra una disminución del peso molecular, debido al rompimiento de las cadenas moleculares del polímero, lo que implica una disminución de la dureza y la resistencia del producto final; también se ven modificadas las propiedades de flujo

provocando que se peguen partes del material al molde y la aparición de nubes sobre la superficie del producto. ⁽¹⁶⁾

1.4.7 Humedad

El PET es un polímero higroscópico por lo que el nivel de humedad debe estar perfectamente controlado, para evitar que la resina se degrade.

La resina PET absorbe humedad del medio ambiente, por lo cual, el tratamiento previo de la resina implica la operación de secado, que se lleva a cabo mediante el uso de equipos especiales que usan aire seco para extraer la humedad del material dejándolo en un nivel óptimo listo para procesarse.

Los factores que contribuyen a la absorción de humedad son:

- * Humedad atmosférica
- * Tiempo de exposición
- * Temperatura ambiente y,
- * Cristalinidad del poliéster.

Dependiendo de las condiciones ambientales del lugar, donde se almacena el material, puede llegar a absorber hasta 0.6% en peso de agua, por tal razón, la resina virgen se debe almacenar en bolsas a prueba de humedad.

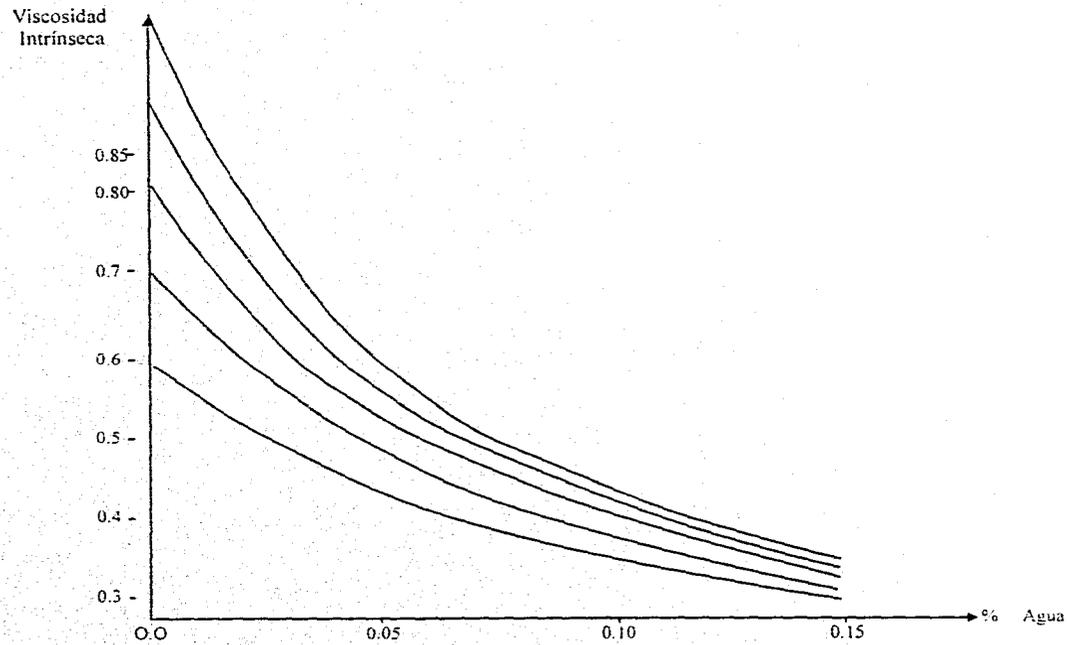
El agua causa la degradación hidrolítica a la temperatura de fusión del material, como resultado de la reacción completa del agua con el poliéster que se traduce en una modificación de la viscosidad intrínseca; Esta variación se muestra en la figura 1.5.

El procesamiento no se debe acompañar de estas desventajas y es esencial que el material se seque hasta un contenido de agua cercano a las 50 ppm (0.005%).

En la figura 1.6 se muestra el efecto de la humedad en las propiedades del PET.

Figura 1.5

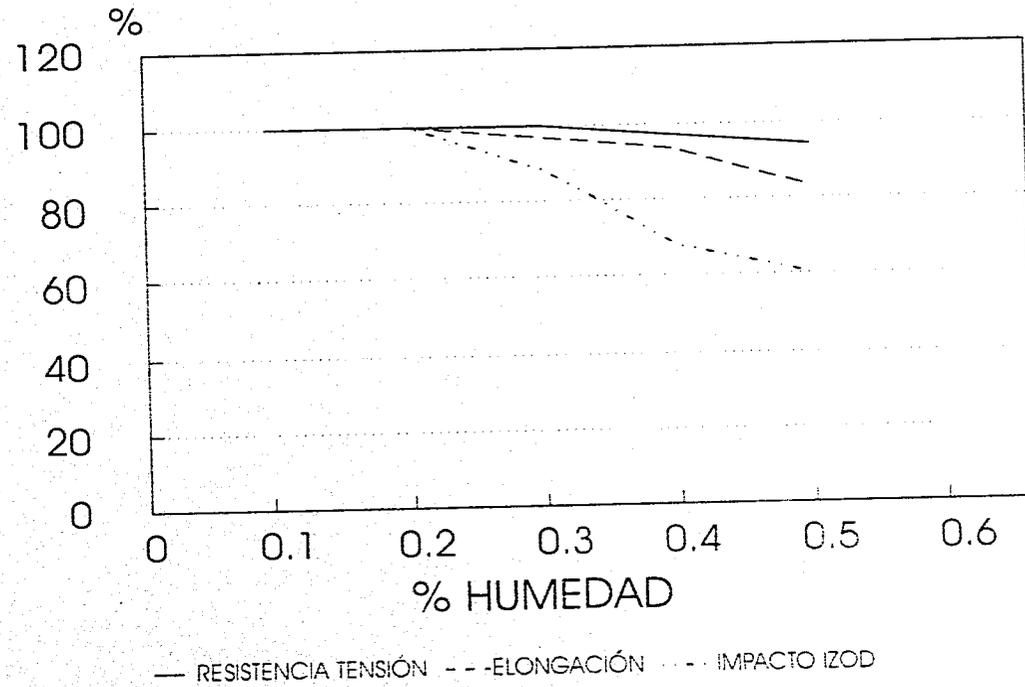
DEGRADACIÓN HIDROLÍTICA TEÓRICAMENTE POSIBLE



FUENTE: Seminario La Era del Plástico 1991, IMPI(16)

Figura 1.6

EFFECTO DE LA HUMEDAD EN LAS PROPIEDADES DEL PET



FUENTE: SEMINARIO LA ERA DEL PLÁSTICO 1991, IMPI (16)

1.4.8 Morfología

La morfología del PET, tiene un efecto determinante en sus propiedades físicas como se muestra en la tabla 1.8.

<i>Tabla 1.8</i>	
MORFOLOGÍA DEL PET	
PROPIEDAD	PET
Transmisión de la luz.	Nada
Lubricidad	Alta
Estabilidad dimensional	Alta
Encogimiento al moldeo	Alto
Resistencia a disolventes	Alto

FUENTE : (5)

1.5 Transformación.

Los procesos de transformación por los que se pueden obtener distintos productos de PET se muestran a continuación: ^{(9).}⁽¹⁶⁾

- Extrusión: Fibra, Película y Lámina
- Termoformado: Formación de empaques
- Coextrusiones
- Recubrimientos
- Inyección - sople: Envase y Botella
- Inyección: piezas

a) Extrusión.

El proceso de extrusión se encuentra dirigido a la producción de fibra, lámina y película de PET.

*** Proceso de fibra**

Por extrusión se funde el polímero y se lleva a la forma de filamento a través de un dado. Pasa por un disgregador disolviendo la mecha en fibras individuales que después pasan a un embobinado de cruzado automático.

*** El proceso de película y lámina consiste de 4 etapas.**

- Extrusión del polímero fundido.
- Enfriamiento del material extruido.
- Proceso de orientación.
- Estabilización de la película.

b) Termoformado.

La lámina de poliéster puede ser termoformada en un equipo convencional. Las condiciones de formación dependen de la forma específica del contenedor y el grado de orientación requerido. Este proceso se utiliza para artículos como charolas para horno y empaques en general.

c) Coextrusiones.

Este procedimiento se realiza en forma similar a una extrusión de lámina por dado plano simple de una sola capa, es decir, que la resina base se coloca en la tolva, se extruye una capa y, casi instantáneamente se extruye una segunda capa proveniente de otra unidad similar.

d) Recubrimientos

Al PET se le puede aplicar un recubrimiento a base de cloruro de polivinilideno (PVDC) para mejorar su comportamiento de barrera al CO_2 y al O_2 en productos sensibles a los mismos (tales como cerveza y vino).

e) Inyección-soplo.

Se utiliza para producir piezas huecas como botellas y envases.

En la clasificación de este proceso tenemos el denominado inyección-estirado y soplado que se utiliza para obtener botellas que se puede llevar a cabo en uno o dos pasos.

Se denomina de un paso cuando las preformas se inyectan, estiran y soplan en la misma unidad, y por lo tanto no requiere sacarlas de la máquina.

Se denomina de dos pasos cuando en una máquina se inyectan las preformas y se enfrían a temperatura ambiente. Posteriormente en otra máquina se reblandecen a la temperatura de moldeo para efectuar la biorientación.

Los dos procesos usados para la fabricación de botellas deben de efectuar las siguientes operaciones:

- Inyección de la preforma
- Recalentamiento
- Estirado y
- soplado.

f) Inyección

El PET se puede trabajar en máquinas convencionales de inyección.

1.6 Usos y aplicaciones del PET.

A continuación se describen cada uno de los principales usos por mercados de los diferentes tipos de PET :

* *PET Grado Botella.* ^{(15), (16)}

El PET utilizado en la fabricación de botellas, al ser semicristalino y transformarlo bajo condiciones especiales, proporciona piezas altamente transparentes y de gran brillo, semejantes al

crystal, además de poseer bajo peso, gran resistencia al impacto y tensión. Otra ventaja es su propiedad de barrera al O₂ y al CO₂ que lo hace ideal para envasar alimentos, cosméticos y bebidas carbonatadas.

En botellas para aceites comestibles, jugos de frutas, mostazas, aderezos para ensalada, vinagre, cervezas, bebidas carbonatadas, agua mineral, vinos, licores, shampoos, lociones, cosméticos y dentríficos.

También se utiliza en forma de tarros para alimentos de bebe, salsas, café, crema, nueces, crema de cacahuete, encurtidos, mermeladas, jarabes, mostaza, mayonesa, etc.

La tabla 1.9 muestra los usos del PET grado envase.

Tabla 1.9

USOS Y APLICACIONES DEL PET GRADO ENVASE	
BOTELLA	Aceites comestibles Jugos de frutas Mostazas Aderezos para ensalada Vinagre Otros.
TARRO	Alimentos para bebé Salsas Mermeladas y jalea Café y crema Nueces Crema de cacahuete Encurtidos Mostazas y mayonesas
BEBIDAS	Cervezas Bebidas carbonatadas Agua mineral Champaña
ARTÍCULOS DE TOCADOR	Shampoos Lociones Cosméticos Dentríficos

FUENTE : IMPI (15), (16)

* PET Grado Fibra. ^{(6), (16)}

Como fibra textil se han encontrado aplicaciones en prendas de vestir, telas para uso doméstico, telas industriales y cordelería, así como en:

-Industria del Vestido:

Se utiliza en trajes, pantalones de deportes, abrigos para hombres y mujeres; camisas para hombres (con 100% fibra PET o en mezclas con nylon y algodón) y corbatas; blusas de mujer, vestidos, faldas y ropa blanca.

La resistencia y recuperación elástica de la fibra cortada, hace al Dacrón apropiado para géneros de punto en suéteres, vestidos de jersey, camisas de deporte, calcetines, chalecos e hilaza para tejer de punto.

Las telas de esta fibra pertenecen al tipo inarrugable, por lo general se usan directamente después de lavar y secar, no hace falta el planchado o apenas es necesario y el lavado es fácil.

-Uso Doméstico:

Comprenden a las cortinas (que son muy populares debido a la resistencia a la luz solar), tapicería, fundas, mantelería, relleno de almohadas, cobertores y bolsas para dormir.

-Aplicaciones Industriales

Se utiliza para bandas de transportadores, para cubiertas de máquinas de planchar, cubiertas de prensas en la trituración de semillas grasas y en mangueras para incendio.

Se utiliza en forma de filtros en las fábricas de fertilizantes, en la recuperación de la grasa de la lana y en la separación de arenas silíceas.

La industria textil aprovecha sus ventajas en guarniciones, hilos de lizo, en cuerdas, hilos de tracción y en diversos tejidos con características especiales para estampado.

El uso industrial mayoritario es en lavandería donde su resistencia al calor, fuerza y uso han establecido su preferencia para sabanería, franela de empaque, colchas de lavandería, almohadas, cobijas, bolsas de lavandería y bolsas para tinción.

La resistencia química a los ácidos lo hace útil para vestimenta de protección y es usado en plantas de manejo de ácidos.

Es usado en la filtración de agua.

-Usos en cordelería:

La elevada tenacidad en húmedo, el escaso poder de absorción y la resistencia a los hongos, hacen de esta fibra una aportación importante a la fabricación de maromas, sogas y cables resistentes en agua de mar. Se emplea para la costura del calzado y en sastrería.

Se usan para cuerdas de remolque, de amarre de yate y cuerdas de diversas fibras.

Si se mezcla con algodón, se obtienen productos para tejidos de secado rápido después del lavado. Con lana, se usa para telas de lana peinada.

En la tabla 1.10 se muestran los usos del PET grado fibra.

USOS Y APLICACIONES DEL PET GRADO FIBRA	
ALTA RESISTENCIA	Llantas Telas tejidas Cordeles
BAJA CONCENTRACIÓN	Partes para cinturones de seguridad Hilos de costura Refuerzo de llantas
BAJA ELONGACIÓN Y ALTA TENACIDAD	Mangueras Soporte de cinturones

FUENTE : IMPI (16)

* *PET Grado Ingeniería* ^{(24), (16)}

Los principales mercados del PET grado ingeniería son el automotriz, el eléctrico-electrónico, enseres domésticos, plomería y cerrajería.

-Industria automotriz

Se utiliza en el reemplazo de resinas y se aplican en tapas de distribuidores, partes de transmisión eléctrica, rotores, deflectores del ventilador, extensiones deflectoras, bobinas de ignición y válvulas de vacío. Todas estas aplicaciones se deben a sus propiedades de rigidez, dureza, tenacidad (en amplios rangos de temperatura), aunado a su resistencia a disolventes, humedad y gasolina.

Se usa en pequeñas cantidades en aplicaciones eléctricas, en autos, en conectores moldeados para cables, cajas de fusibles y terminales, puentes del rectificador y parabrisas.

Las aplicaciones mecánicas incluyen tapas del tren de engranes, interruptores de limpia parabrisas, partes del sistema de freno y cerrajería de puertas y ventanas.

- Enseres domésticos:

En esta área las aplicaciones de la resina de PET han reemplazado a las resinas termofijas (como fenólicas). Las aplicaciones típicas incluyen asas, bases y armaduras de aparatos de mediano y pequeño tamaño tales como tostadores, hornos de convección, freidores, tenazas eléctricas, sartenes eléctricas y planchas. Otras aplicaciones incluyen secadoras de pelo y cuchillas de procesado de comida.

-Industria eléctrica-electrónica:

Se utiliza como aislante eléctrico por su alta resistencia dieléctrica y mecánica, por ello se utiliza para aislar ranuras y fases de motores; como dieléctrico en condensadores, bobinas, transformadores y capacitores; como aislante primario para hilo de conducción y alambre magnético, además se puede laminar con otros materiales aislantes como el papel asbesto, cambray barnizado y polietileno.

-Plomería y cerrajería:

Las aplicaciones típicas son armaduras de bombas, componentes de albercas, soportes, broches, partes de herramientas, cerraduras de puertas, válvulas de irrigación, cámaras de medidores de agua y rociadores mecánicos. No se recomienda su uso con agua a temperaturas mayores de 52°C.

En la tabla I.11 se muestran los usos del PET grado ingeniería.

Tabla 1.11

USOS Y APLICACIONES DEL PET GRADO INGENIERÍA	
PLOMERÍA Y CERRAJERÍA	Carezas de bobinas Transformadores eléctricos Armadura de bombas Componentes de albercas Soportes Broches Partes de herramienta Cerraduras de puertas Válvulas de irrigación Rociadores mecánicos Cámara de medidores de agua
INDUSTRIA AUTOMOTRIZ	Tapas de distribuidor Rotores Deflectores de ventilador Bobinas de ignición Extensiones deflectoras Transmisión eléctrica Válvulas de vacío Conectores moldeados para cables Cerrajería de puertas y ventanas Cajas de fusibles y terminales Puentes de rectificador Parabrisas Tapas del tren de engranes Interruptores de limpia parabrisas Partes del sistema de frenos Salpicaderas y paneles.
ENSERES DOMÉSTICOS	Tostadores Hornos de convección Freidores Tenazas eléctricas Sartenes eléctricas Planchas Secadores de pelo Asas
INDUSTRIA ELÉCTRICO ELECTRÓNICA	Motores eléctricos Engranes Bases de relevadores Transformadores Copiadoras Capacitores Circuitos impresos Aislamientos de cable y alambre Bobinas

FUENTE : IMPI (16)

** PET Grado Lámina y Película* ^{(6), (16)}

Los principales mercados del PET grado lámina son el laminado metálico, cintas y películas, recubrimientos y empaques.

-Laminado metálico:

Esta resina se metaliza por depósito de vacío, se lamina con otros materiales y se labra para crear materiales decorativos que son susceptibles de moldeo, conformación, cosido y confeccionado.

Estos productos son resistentes a la abrasión y no se empañan, de ahí que sus aplicaciones sean para bolsas femeninas, paneles decorativos, interiores de partes de autos en automóviles y diafragmas de bocinas.

También se usa como base para cintas magnéticas de grabación de sonido, en tarjetas magnéticas de memoria con larga vida en servicio, como base para cintas sensibles a la presión y como materiales de superficies decorativas para losetas acústicas.

Se lamina con hojas de aluminio para obtener materiales que oponen una barrera al paso del vapor. Laminada sobre diversas bases la resina proporciona un material para muros y mostradores que resisten la abrasión y es inalterable al agua o a los productos químicos.

Si se metaliza y graba por el método de pantalla de seda, se usa para rótulos y calcomanías dimensionalmente estables, flexibles y de buena duración. Se usa, también, para metalizados de zinc y plata.

-Cintas y películas.

Es la materia prima para la elaboración de máquinas de escribir, así como adhesivos y cintas perforadas de computadoras. Se usa en aplicación de esmalte, bandas industriales, artículos de papelería, cubiertas de libros, también en aplicaciones de rodillo, soporte de vestido, anaqueles y hasta en bolsas para hervir. Se usa como envolvente y protector en aislamiento de tubería.

Se elabora para fabricar materiales de dibujo y caligrafía que no se afectan con el tiempo y tienen dimensiones estables.

Es la base de la película fotográfica. Cuando se mezcla con polietileno carboxilado se obtienen hojas transparentes que se usan en el papel fotográfico.

- Recubrimientos y empaques

Se utiliza para cubiertas protectoras; como material de recubrimiento para tambores de acero y fibra, de mangueras y en diafragmas de bombas.

Se usa para empaçar medicamentos y todo tipo de productos que requieran esterilización; en empaque de baleros, etc.

El uso de la película metalizada es ideal para empaques de productos que requieren protección de la luz y envoltura con baja permeabilidad al vapor de agua, vapores orgánicos, olores, sabores y gases.

- Otros

Las aplicaciones adicionales son de bajo volumen; se usa cuando se desea resistencia a la corrosión, alto grado de ductibilidad y buena capacidad de colorearse.

Las aplicaciones son: cuerpos de pluma, partes de bicicleta y calculadoras de bolsillo. Los usos industriales incluyen muebles y accesorios, como hebillas, clips, cierres, botones, engranes y transportadores de cartas de circuitos impresos. Se pueden utilizar en cepillos de dientes y broches.

En la tabla 1.12 se muestran los usos del PET grado lámina y película.

<i>Tabla 1.12</i>	
USOS Y APLICACIONES DEL PET GRADO LÁMINA Y PELÍCULA.	
CINTAS Y PELÍCULAS	Cintas magnéticas Cintas para computadora Cintas de audio y video Cintas para microfilm Computadoras Máquinas de escribir
LAMINADOS	Termosellables Metalizados
ARTÍCULOS MÉDICOS	Antisépticos Laxantes Otros medicamentos
OTROS	Cuerpos de pluma Partes de bicicleta Calculadoras de bolsillo Películas de rayos X Clips Cierres y botones Engranes Cepillos de dientes Broches Transportadores de cartas de circuitos impresos

FUENTE : IMPI (16)

CAPÍTULO 2

RECICLADO DE PLÁSTICOS.

2.1 La industria del plástico en México.

La industria del plástico es una de las ramas industriales más importantes para la actividad económica, debido a su versatilidad y bajo costo.

A través de los últimos años el plástico ha sustituido con gran éxito a otros insumos y productos, gracias al desarrollo que se ha tenido en esta rama industrial.

La manufactura de plásticos absorbe parte importante de la producción de petroquímicos y abastece a sectores como:

- Comercio.
 - Agricultura.
 - Salud.
 - Construcción.
 - Alimentos.
 - Vestido y calzado.
 - Pesca.
 - Transporte.
 - Telecomunicaciones.
- y otros . . .

En la tabla 2.1 se muestran los principales sectores demandantes de plásticos.

Tabla 2.1

PRINCIPALES SECTORES DEMANDANTES DE PLÁSTICO.

SECTORES DEMANDANTES	%
Empaque, Envase y Embalaje	42.3
Construcción	22.9
Artículos para el hogar y oficina	7.9
Vestido y Calzado	4.5
Manufacturas eléctricas y electrónicas	3.3
Artículos deportivos, aplicaciones industriales, salud y otros	19.1

FUENTE: (29)

Las resinas sintéticas son producidas por empresas petroquímicas que en su gran mayoría no se encuentran integradas a las empresas productoras de manufacturas plásticas.

La actividad empresarial se muestra en la tabla 2.2.

Tabla 2.2

PERFIL DE LA INDUSTRIA DEL PLÁSTICO.

	Actividad Empresarial.	%
La industria del plástico aproximadamente se integra por 2800 empresas las cuales se clasifican de la siguiente manera de acuerdo a su actividad empresarial	Elaboración de películas y bolsas de polietileno	14.5
	Envases de plástico soplado	11.8
	Artículos para el hogar	8.2
	Piezas moldeadas industriales y de empaque	7.8
	Juguetes	6.3
	Artículos de plástico reforzado	5.7
	Laminados decorativos	5.3
	Productos de PVC	5.1
	Perfiles y tuberías	4.9
	Productos diversos	22.3

FUENTE: (29)

La gráfica 2.1 muestra la concentración de empresas en México en 1992.

La gráfica 2.2 muestra las empresas de transformación de plásticos en México en 1992.

Sin embargo, a pesar de ser un sector muy productivo, el mercado nacional presenta una gran problemática. En términos generales la industria del plástico presenta rezagos en tecnologías de proceso, de producto y equipo, además de que existen pocas empresas con tecnologías de punta mientras que el resto de ellas subsisten con tecnologías obsoletas.

Por otro lado no existen programas de capacitación a nivel técnico y de operación además del directivo.

Otros problemas que afectan a este sector son:

- Se desconocen los mercados externos y además no se cuenta con la capacidad para competir.
- No existe en el mercado nacional una adecuada promoción de las ventajas que el plástico presenta sobre otros materiales.
- No existe un programa para el aprovechamiento de materiales plásticos que pueden reciclarse y ser aprovechados por la industria para generar nuevos usos.

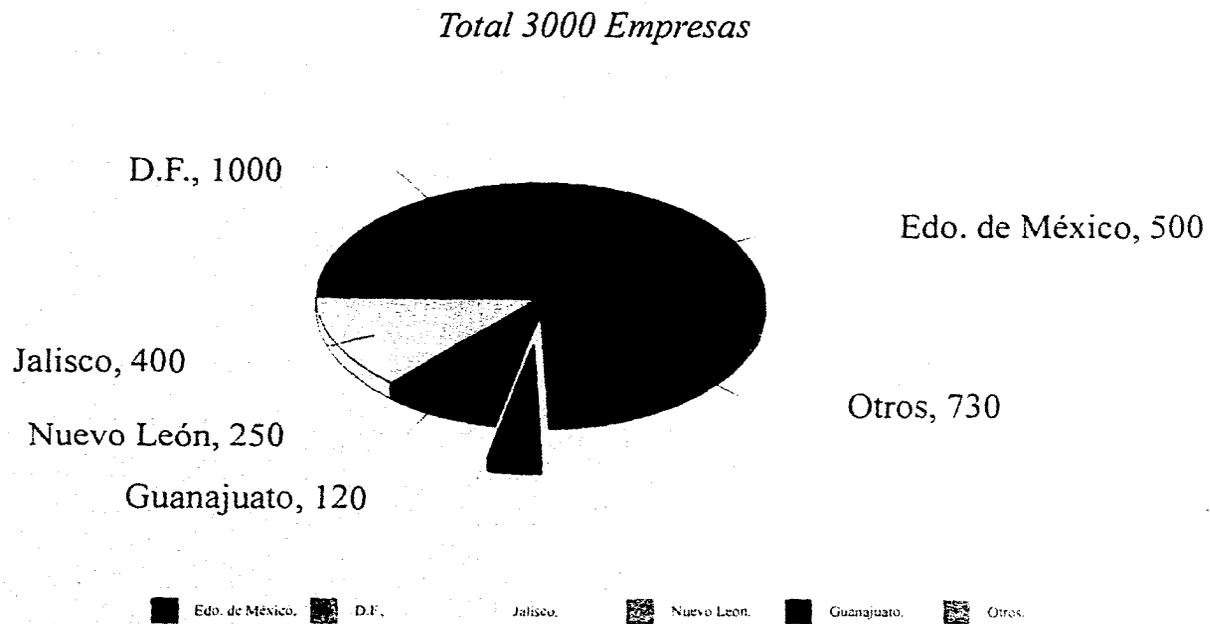
De ahí que es importante encontrar los caminos para que este sector crezca día con día.

2.2. Importancia de los plásticos.

El plástico es un producto de gran demanda ya que interviene en múltiples campos de la actividad económica del país, además de ser uno de los principales insumos a otros sectores industriales y de satisfacer las necesidades básicas de la población en forma directa e indirecta.

Los plásticos no sólo se utilizan como materiales sino cada vez como sustancias activas, ya que cumplen funciones de aplicaciones concretas tales como el uso de plásticos para transmisión y grabación de datos, así como para elementos electrónicos.

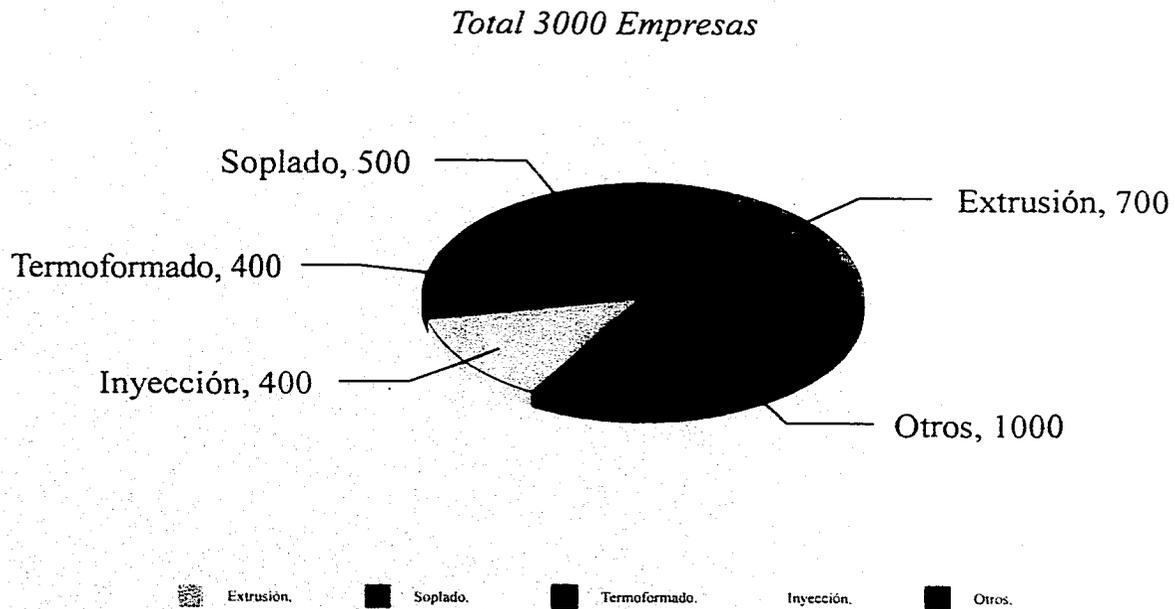
Gráfica 2.1 CONCENTRACIÓN DE EMPRESAS DE LA INDUSTRIA DEL PLÁSTICO EN MÉXICO 1992



FUENTE: IMPI (16)

Gráfica 2.2

EMPRESAS DE TRANSFORMACIÓN DE PLÁSTICOS, MÉXICO 1992



FUENTE: IMPI (16)

Los progresos alcanzadas en la técnica de procesos han llevado a un descenso en los costos de fabricación y a una mejora de la calidad del producto.

El número de empresas que conforman este sector es de 3000 aproximadamente. De 2000 a 2400 pertenecen a las pequeñas y microempresas; de 300 a 600 son medianas y solamente de 200 a 300 son grandes.

En la tabla 2.3 se muestra la industria del plástico por tamaño.

<i>Tabla 2.3</i>	
INDUSTRIA DEL PLÁSTICO POR TAMAÑO, MÉXICO 1992.	
EMPRESAS	CANTIDAD
Grandes	200
Medianas	400
Pequeñas	800
Micro	1600
Total	3000

FUENTE: IMPI (16)

En la tabla 2.4 se muestra la capacidad instalada por plástico en 1993.

Tabla 2.4

CAPACIDAD INSTALADA POR PLÁSTICO MÉXICO 1993.

Plástico	Empresa	Capacidad Instalada
PEBD	PEMEX	310 000
PEAD	PEMEX	200 000
PP	PEMEX	100 000
PP	INDELPRO	150 000
PS	IRSA	55 000
PS	POLIDESA	50 000
PS	NARSA	21 000
PS	Otros	20 000
PVC	PRIMEX	220 000
PVC	POLICYD	130 000
PVC	POLIMEROS	65 000
PVC	ALTARESIN	10 000
ABS	POLIMAR	20 000
ABS	IRSA	20 000
PET	CELMEX	16 000
PET	KIMEX	10 000
Otros	Varias	509 000
Total		1 900 000

FUENTE: IMPI (16)

Se estima que cerca de seis mil compañías se vinculan a la producción y transformación de plástico. Además la industria del plástico tiene una estrecha relación con la industria química, del vidrio, del cemento, hule, maderas, resinas sintéticas, fertilizantes y petroquímica básica entre otras. ⁽²⁸⁾

En la tabla 2.5 se muestran las empresas más importantes de este sector en 1993.

<i>Tabla 2.5</i>	
EMPRESAS MÁS IMPORTANTES DENTRO DEL SECTOR	
	VENTAS (ton)
Regioplast	73970
Plásticos Bosco	70562
Grande de México	56478
Envases Cuautitlán	55603
Ind. Tres Estados	55201
Procesos Plásticos	41196

FUENTE: (28)

Otro factor importante de los plásticos es que se pueden reciclar. La reutilización de los polímeros después de haberse usado una vez, se convierte en un nuevo reto y crea un nuevo sector económico. Lo más interesante es el reciclaje de plásticos de una sola especie.

El reciclado de plásticos, en nuestro país se encuentra en una fase piloto, de ahí que es importante planear y desarrollar este campo para que sea rentable.

2.3 Tratamiento de residuos sólidos. ^{(16), (17)}

La recolección, el procesamiento y la disposición final de los residuos sólidos tiene como objetivo preservar la salud pública.

Los residuos sólidos contaminan el agua, el aire y el suelo debido a que no se les da un tratamiento adecuado, lo que hace que día a día el problema que la contaminación provoca esté aumentando.

El actual nivel de concientización que la sociedad tiene sobre la conservación del medio ambiente exige que el tratamiento de los residuos sea reglamentado y que se tenga un mejor control de los mismos.

Básicamente sólo hay cuatro métodos para manejar los residuos sólidos, a saber:

- 1) Tirarlos
- 2) Quemarlos (y luego tirar las cenizas)
- 3) Reciclarlos
- 4) Minimizar desde un principio la cantidad de bienes materiales y de residuos producidos.

La sociedad ha empezado a pensar sobre la problemática que representan los residuos sólidos, ya que todos contribuyen a la existencia de estos.

Las diversas técnicas utilizadas para el confinamiento de los residuos sólidos se analizan con el fin de tener un panorama más completo y proponer alternativas que sean más congruentes y a la vez reduzcan la problemática que estos generan.

2.3.1 Relleno sanitario.

El relleno sanitario es un lugar legalmente autorizado siendo el más utilizado en la actualidad.

Debido a la gran existencia de tiraderos que no tienen un buen control, son el principal origen de la degradación ambiental, ya que contaminan el suelo y las aguas subterráneas.

En términos generales, los residuos se distribuyen en capas de 20 a 30 cm de grosor y se compactan formando una celda que se debe cubrir con una capa de tierra entre 15 y 20 cm, esparcida y compactada igual que los residuos.

Cuando el terreno destinado para el relleno se sature, se debe cubrir la superficie con una capa de tierra de 40 a 60 cm, la que recibe el nombre de cubierta final.

Con el fin de tener un buen funcionamiento en un relleno sanitario se debe conocer la capacidad del sitio, para determinar su vida útil; el material disponible que se utilizará como cubierta de los residuos, las limitaciones y características del suelo, y sobre los residuos sólidos, los líquidos que originan, así como el drenaje que se va a tener, las pendientes, la cubierta final, etc...

2.3.2 Pepena.

La pepena es un sistema de separación mecánica y/o manual de los residuos sólidos, en sus diferentes componentes como el vidrio, metales, plásticos y otros, realizada en los llamados tiraderos a cielo abierto.

Se requiere de grandes equipos, de un camión recolector que no compacte los residuos y otro para transportar los desperdicios clasificados a las industrias recicladoras.

Esta técnica no es muy eficiente ya que sólo el 40% de los desperdicios se aprovecha, mientras que un 30% se queda en barrancas, ríos, calles, etc. y el otro 30% no se pueden separar por ser materiales destruidos y en vías de putrefacción.

2.3.3 Compactación.

La compactación de los residuos sólidos reduce el volumen que estos ocupan, con la aplicación de altas presiones que se ejercen sobre estos.

2.3.4 Incineración.

La incineración de residuos sólidos consiste en eliminar la mayor parte del volumen de estos mediante su combustión, a través de la cual se transforman los desechos en gases, cenizas y escorias.

La eliminación de residuos por esta técnica requiere de una planta de tratamiento adecuada a la cantidad producida. Su costo es elevado.

2.3.5 Composteo.

La composta se produce por la fermentación de la materia orgánica contenida en los residuos sólidos en presencia de aire por la acción de gran cantidad de bacterias ofreciendo propiedades para la agricultura.

La composta tiene carácter de abono, ya que es un producto que contiene diversos elementos fertilizantes como nitrógeno, fósforo y potasio, lo que permite regenerar los suelos.

2.3.6. Pirólisis.

Los elementos orgánicos contenidos en los residuos sólidos se descomponen a altas temperaturas y en ausencia de oxígeno.

Durante el proceso de descomposición la materia orgánica se convierte en líquidos, gases y demás residuos que representan la mitad del volumen inicial.

Esta técnica permite tener control sobre los gases emitidos además de que se recuperan los subproductos generados.

La pirólisis se emplea para producir carbón sintético y para la recuperación de metanol, ácido acético y turpentina de madera.

2.3.7 Degradabilidad.

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

Más del 60% de los desperdicios sólidos son degradables. Entre estos tenemos desechos orgánicos, papel, madera, láminas de acero de latas, etc..

Sin embargo las condiciones que imperan en los rellenos sanitarios no permiten una buena degradación de los desperdicios ya que su deterioro es lento o incompleto.

La problemática se acentúa más con los plásticos, que en realidad, no alcanza más del 4% del total de los desperdicios sólidos, debido a que la sociedad considera que los tiraderos son un problema causado por estos.

Como resultado de esto en algunos países se han implantado normas para que se desarrollen plásticos degradables.

Actualmente existen 2 tipos de degradación:

- Fotodegradación.
- Biodegradación

Fotodegradación.

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

Para lograr esto se utilizan sustancias altamente oxidantes que se denominan fotoactivas; como ejemplo tenemos:

- Sales de cobre (CuCl , CuCl_2 , CuSO_4)
- Copolímeros de monóxido de carbono
- Copolímeros de carboxil cetona

Biodegradación.

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

Estos métodos presentan el problema de que los plásticos sufran una degradación prematura durante su comercialización o consumo.

Ambos métodos para degradar a los plásticos, dependen de la luz solar y de la humedad.

2.4 Reciclado de plásticos.

El aumento del costo de las materias primas, de la energía, de su escasez y el uso de los recursos disponibles de la forma más racional posible, pensando en las generaciones futuras, son razones que obligan, no sólo a no contaminar, sino a recuperar, reciclar o reutilizar de alguna forma todo tipo de residuo.

Los plásticos están presentes en todas las áreas de producción y consumo de nuestra sociedad. Sin embargo la presencia de estos, y en muchos casos, sus cortos periodos de uso, obligan a considerar el problema que generan sus desperdicios, así como la contaminación que originan.

2.4.1 Procedencia de residuos plásticos.

Para entender de una mejor manera la problemática que presentan los residuos plásticos, se debe considerar la procedencia de estos. ⁽²¹⁾

a) Residuos Industriales:

- * Procedentes de fabricantes de materias primas.
- * Originados en las empresas transformadoras, y procedentes de la puesta a régimen de las máquinas, cavidades de moldeo, piezas defectuosas, rebabas, etc..

b) Residuos procedentes de aplicaciones agrícolas.

c) Residuos procedentes de desperdicios urbanos.

Residuos Industriales.

Los residuos industriales, no suelen presentar problemas para su recuperación debido a que provienen de procesos en los que se utiliza un solo material plástico. Sin embargo se debe de considerar las características físico-químicas y su estado de degradación.

Los residuos procedentes de fabricantes de materias primas son reciclados por el propio fabricante o se venden como productos de segunda calidad.

Los residuos originados en las industrias de transformación se reciclan por el propio transformador, mezclándolos con material virgen o se venden a terceros para preparar mezclas o compuestos que se utilizan para fabricar productos con menos exigencias en sus propiedades.

En general, el material reutilizado origina problemas al combinarse con material virgen o utilizarse individualmente debido a que se tienen cambios de densidad que originan variaciones en la velocidad de alimentación. Sin embargo, si se conocen sus propiedades intrínsecas y se emplean en porcentajes adecuados, permiten un uso apropiado y, a la vez, económico de los mismos.

Residuos procedentes de aplicaciones agrícolas.

Los plásticos juegan un papel importante en la intensificación de los cultivos.

Los acolchados, invmaderos, sistemas de riego, drenajes, embalses, etc. constituyen técnicas en las que los plásticos tienen que estar presentes. Sin embargo, una vez cumplida su función surge el problema de eliminarlos.

Actualmente son reutilizados como abono ya que se pueden reducir a pequeñas partículas, mediante trituración o molienda además de que no es fitotóxico.

El abono obtenido de estos residuos plásticos mejoran la textura del suelo además de facilitar la entrada de oxígeno, lo que permite que la temperatura se eleve y se acelere la actividad microbiana que actúa sobre otros elementos orgánicos.

Residuos urbanos

Los residuos urbanos son los más interesantes ya que existe una diversidad de material recuperable.

Dentro de los residuos urbanos, los materiales plásticos constituyen el 4-7% y de este porcentaje, un 75% corresponde a películas y el 25% restante a cuerpos huecos o compactos como botellas, juguetes, etc...

Si se toma en cuenta que la composición cuantitativa de los residuos varía incluso dentro de un mismo país y que los procesos de transformación modifican las propiedades físicas de los plásticos (densidad, color) y si consideramos la presencia de tintas, cargas, pigmentos, etc., es primordial caracterizar la mezcla de residuos para plantear alternativas que permitan reutilizarlos.

2.4.2 Posibilidades económicas del reciclado de plásticos

Al estudiar las posibilidades económicas del reciclado de plásticos se deben tomar en cuenta los siguientes factores:

- Costos directos e ingresos, en estrecha relación con la tecnología que sea utilizada para llevar a cabo el reciclado.
- Limitaciones o reservas técnicas así como institucionales.

Muchos procesos para reciclar plásticos son más baratos que la incineración y el desecho de plásticos, sin embargo al llevar a cabo un análisis del mercado, ya sea que la recuperación de plásticos se lleve a cabo o no, es factible determinar y sugerir los factores económicos e institucionales que van a determinar si el reciclado es factible.

Para que el reciclado de plásticos sea factible se debe efectuar un balance entre los costos directos de la operación, capital necesario, mano de obra, materiales y costos energéticos, y los ingresos directos estimados que se obtienen en la venta del producto o productos reciclados.

Si los ingresos directos estimados son mayores a los costos, entonces los procesos de reciclado son viables.

Existe una serie de técnicas y procesos que permiten que el reciclado de plásticos sea rentable. Se basa en lo siguiente:

- 1) Los desperdicios de plástico se pueden obtener a bajo o ningún costo.
- 2) Los productos fabricados se pueden vender a precios competitivos con los de productos similares que estén fabricados con otros materiales.

El reciclado de plásticos es una alternativa económica frente a su vertido, sin embargo la tecnología existente no ha logrado penetrar en los posibles mercados potenciales, debido principalmente a limitaciones técnicas e institucionales.

2.4.3 Problemática del reciclado de plásticos.

El reciclado de materiales no sólo reduce los residuos sino que también disminuye el consumo de agua, energía, recursos naturales, produciendo también una menor contaminación en el aire y agua, además de generar empleos y oportunidades para pequeños negocios y reduce la dependencia de importaciones de materiales del extranjero.

Alrededor del 7% del total del peso de los residuos es plástico, pero el volumen es del 25 al 30%.⁽¹⁷⁾

El reciclado de plásticos se ve limitado debido a la variedad de tipos existentes ya que dificulta la selección adecuada de estos.

Dentro de la variedad de plásticos existentes son fácilmente identificables el PET y el polietileno de alta densidad.

El problema del reciclado de plásticos en México es generado por los siguientes factores:

- * Para asegurar un reciclado mayor de los residuos primero se debe dar un valor a los productos que se desechan cambiando la manera de ver las cosas del público en general. En la actualidad existen personas que aseguran que el plástico no es recomendable.
- * Otro factor a considerar es la manera en que se manejan los residuos en nuestro país. Esto afecta a los costos del reciclado, que tienden a ser altos y que probablemente no sea costoso el reciclado de estos materiales.
- * Hace falta una educación ciudadana con respecto al uso y destino de los residuos, así como de motivarlos a que preseleccionen sus desperdicios en el hogar.
- * No existe apoyo gubernamental ni campañas que promuevan y a la vez muestren las ventajas que presenta el reciclado.
- * No existen incentivos económicos para los que se dedican al reciclado, así como falta de concesiones a largo plazo de equipos, además de la existencia de grandes monopolios que frenan esta alternativa de solución.

Todos estos factores afectan el crecimiento del reciclado de plásticos en México, por lo que se deben plantear soluciones que muestren las grandes ventajas que se tienen al reciclar así como los mercados potenciales que se están desaprovechando.

2.5 Clasificación del reciclado.

El reciclado se puede definir como cualquier tipo de proceso en el que los materiales que se recuperan son tratados con el fin de conseguir algún beneficio o producto adicional.

En base a esta definición se establecen cuatro tipos de reciclado: ⁽²¹⁾

1) Primario: Aprovechamiento de los residuos en la misma línea de producción y con la misma aplicación a la que estaban inicialmente destinados. Se aplica a los residuos industriales que prácticamente no han sufrido degradación.

2) Secundario: Reprocesado de plásticos en productos con menores exigencias de propiedades. Se producen materiales que tienen propiedades físicas y químicas inferiores al producto o polímero original.

3) Terciario: Reconversión de los residuos en compuestos químicos más simples, mediante procesos tales como la pirólisis para obtener: aceites, ceras, grasas, monómeros, etc...

4) Cuaternario: Empleo de los residuos plásticos como fuente de energía.

2.6 Código de identificación de plásticos.

En 1988, el Instituto de las Botellas Plásticas de la Sociedad de la Industria de Plásticos de los Estados Unidos, propuso crear un sistema de codificación para simplificar la identificación de los materiales con los que se fabrican envases rígidos de plástico. ^{(16), (17)}

Esta simbología permite durante el proceso de recolección y reciclaje, identificar y separar los diferentes plásticos de acuerdo con el tipo de resina con que están fabricados.

El sistema de codificación ha sido adoptado por gran cantidad de industrias en el mundo entero, pues provee una marca de identificación consistente, que resuelve las necesidades de la industria recicladora.

El sistema permite que el código sea detectado y leído fácilmente. La base del código es un símbolo de forma triangular, integrado por 3 flechas, con un número específico en el centro para representar el material a partir del cual está hecha la botella.

Los equivalentes numéricos de las resinas poliméricas se muestran en la tabla 2.6

TABLA 2.6	
CÓDIGOS DE IDENTIFICACIÓN DE ENVASES PLÁSTICOS PARA RECICLAJE	
 PET	POLIETILENTEREFTALATO
 PEAD	POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD
 PVC	CLORURO DE POLIVINILO
 PEBD	POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD
 PP	POLIPROPILENO
 PS	POLIESTIRENO
 OTROS	OTROS PLÁSTICOS
 ABS-PC	ACRILONITRILO-BUTADIENO-ESTIRENO Y POLICARBONATO

FUENTE: INE (17)

2.7 Legislación existente.

El Centro de Ecodesarrollo señala que en el Reglamento de Limpia del D.F. se tiene una muestra muy clara de la limitada-visión de las autoridades en lo referente al manejo de los desperdicios sólidos, ya que no se considera la dimensión de la problemática existente y mucho menos el planteamiento de alternativas de solución.

La legislación existente tiene como meta tener una ciudad limpia, sin basura en las calles.

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente de México también minimiza el impacto que tienen los desechos sólidos hacia el medio ambiente. Su estrategia básica se reduce a enterrar los residuos.

La administración pública no ha establecido los lineamientos a seguir para tener un control sobre los efectos contaminantes de los desechos sólidos. Sólo se limitan a señalar la necesidad de establecer incineradores como medida para atacar su crecimiento.

Sin embargo no se cuenta con una legislación que ataque de fondo esta problemática y que establezca los pasos a seguir para combatirla de la mejor manera.

CAPÍTULO 3

ASPECTOS ECONÓMICOS DEL PET GRADO BOTELLA

3.1 Situación actual del PET en el Mundo.

En los últimos 20 años el plástico para envases ha crecido notablemente y a medida que salen nuevas variedades de plástico, cada vez es mayor el reemplazo de materiales tradicionales como metal, papel, vidrio e incluso plásticos nuevos por plásticos más antiguos.

En la tabla 3.1 se muestran los principales factores comparativos del PET en el mercado.

<i>Tabla 3.1</i>		
FACTORES COMPARATIVOS DEL PET EN EL MERCADO		
PET	PVC	VIDRIO
Excelente transparencia	Menor transparencia	Excelente transparencia
Alta resistencia a la ruptura	Poca resistencia a la ruptura	No hay resistencia a la ruptura
Alto intervalo de barrera	Bajo intervalo de barrera	Alto intervalo de barrera
Facilidad de manejo y transporte	Menor facilidad de manejo y transporte	Difícil manejo y transporte
Ahorro en transporte	Transporte no muy caro	Transporte muy caro
Reciclable	Reciclable	Reciclable

FUENTE. Instituto Nacional de Ecología. (17)

Al comparar los materiales anteriores, las principales ventajas de la resina PET grado envase son:

- Ligereza
- Seguridad en su uso
- Transparencia

Estas propiedades han permitido al PET grado botella alcanzar mercados tan importantes como el de la industria alimenticia y la industria farmacéutica.

Los mercados más importantes del PET grado botella son el de Estados Unidos, Europa Occidental y Japón.

La producción de PET a nivel mundial ha tenido un crecimiento constante al paso de los años debido a que se tienen nuevos usos en los diferentes sectores en que es utilizado, lo que ha permitido que este material pueda competir e incluso superar tanto en costos y características a materiales como el vidrio, la lata y en algunos sectores al PVC.

El uso del PET grado botella sigue creciendo en diversos sectores de la industria alimenticia y farmacéutica. Sin embargo, actualmente la normatividad ha regulado su crecimiento en algunos países de Europa debido a que no se han implementado técnicas de recuperación y reaprovechamiento de este material.

En otras regiones del Mundo el uso del PET ha obligado a las principales empresas productoras a implementar centros de acopio y tecnologías para recuperarlo y reintegrarlo a ciclos productivos.

3.1.1 Capacidad instalada.

La capacidad instalada a nivel mundial en 1994 fue aproximadamente de 2.5 millones de ton/año, localizada principalmente en Estados Unidos y Europa Occidental. Dentro de Europa Occidental los principales países productores son Inglaterra, Países Bajos, Italia y Alemania Occidental. ⁽²⁶⁾

En la tabla 3.2 se muestra la distribución de la capacidad instalada en el Mundo.

Tabla 3.2

CAPACIDAD INSTALADA, 1994

Distribución Mundial

REGIÓN	M ton.	%
Estados Unidos	1336	52
Europa Occidental	643.5	25
Japón	182.5	7
Resto del Mundo	415	16
Total mundial	2577	100%

FUENTE: PCI (26)

3.1.2 Empresas productoras.

La empresa productora de polietilentereftalato con mayor capacidad instalada a nivel mundial, actualmente es Eastman Chemical Products. ⁽¹⁵⁾

El 53% de la capacidad mundial corresponde a las cuatro empresas siguientes: Eastman Chemical, Goodyear, Hoechst/Celanese e ICI/Shell.

Las principales empresas productoras de PET por región y país se muestran en la tabla 3.3.

<i>Tabla 3.3</i>		
PRINCIPALES PRODUCTORES EN EL MUNDO.		
<i>Empresa</i>	<i>(M ton)</i>	<i>Ubicación de plantas</i>
Eastman Chemical	45	Canadá
	440	Estados Unidos
	65	Reino Unido
Goodyear Tire and Rubber/Shell	405	Estados Unidos
Hoechst ⁽¹⁾	134	Estados Unidos
ICI	103.5	Alemania
	92	Reino Unido, Países Bajos
	84	Estados Unidos
Wellman Inc.	273	Estados Unidos
Celbras/ Pronor	250	Brasil
Shell	32.5	Reino Unido
	61	Italia
Monte Fibre	50	Italia
Enichem	50	Italia
Nippon UNIPET	50	Japón
Kanebo	40	Japón
La Seda	70	Países Bajos, España
Mitsui PET Resin	32	Japón
Italiana	60	Italia
Policilenteretilato		
Otros productores ⁽²⁾	194.5	
AKZO	45.5	Países Bajos
Total	2577	

(1) En U.S.A. Hoechst/ Celanese.

(2) Incluye otros productores y otras plantas de las empresas señaladas con capacidades menores a 30000 toneladas.

FUENTE: PCI (25), (26), (27)

1.1.3 Consumo aparente.

El consumo mundial de PET grado botella tuvo una demanda global durante 1994 del orden de 2284000 toneladas, correspondiendo a las tres principales regiones consumidoras el 84%.

El consumo de PET a nivel mundial de acuerdo con un estudio realizado recientemente por PCI (Petrochemical Consultants International) se muestra en la tabla 3.4.

Tabla 3.4

CONSUMO DE PET GRADO BOTELLA A NIVEL MUNDIAL								
	1990	1991	1992	1993	1994	1995 *	1996 *	2000 *
Norteamérica	564	644	759	847	950	1032	1113	1398
Europa	367	404	490	567	641	710	765	999
Lejano Oriente	205	276	316	383	468	567	634	938
Resto del Mundo	89	119	153	188	225	266	304	457
Total	1225	1443	1720	1985	2284	2575	2816	3792

FUENTE: PCI (7)

* estimado

De acuerdo con este estudio la demanda de PET grado botella crecerá de 2 millones de toneladas en 1993 a cerca de 4 millones de toneladas para el año 2000.

En la tabla 3.5 se muestra la segmentación del consumo en el Mundo en 1992 de acuerdo al uso final.

Tabla 3.5

CONSUMO MUNDIAL DE PET POR USO FINAL, 1992 (MILES TONELADAS)						
	Bebidas Carbonatadas	Llenado en caliente	Retornable/ reutilizable	Agua mineral	Vinos y licores	otros ⁽¹⁾
Europa	244	—	21	111	22	92
USA	413	45	—	13	18	213
Canadá	25	—	—	4	—	3
Latinoamérica	14	1	17	4	5	3
Japón	35	61	—	4	19	29
Corea	28	10	—	2	5	11
Taiwan	9	1	—	2	3	2
China/Hong Kong	40	—	—	13	2	1
Medio Oriente	20	—	—	10	3	9
África	10	—	2	1	1	2
Resto del mundo	54	1	10	19	21	12
Total	892	119	50	183	99	377

(1) Todas las demás aplicaciones

FUENTE: PCI (7)

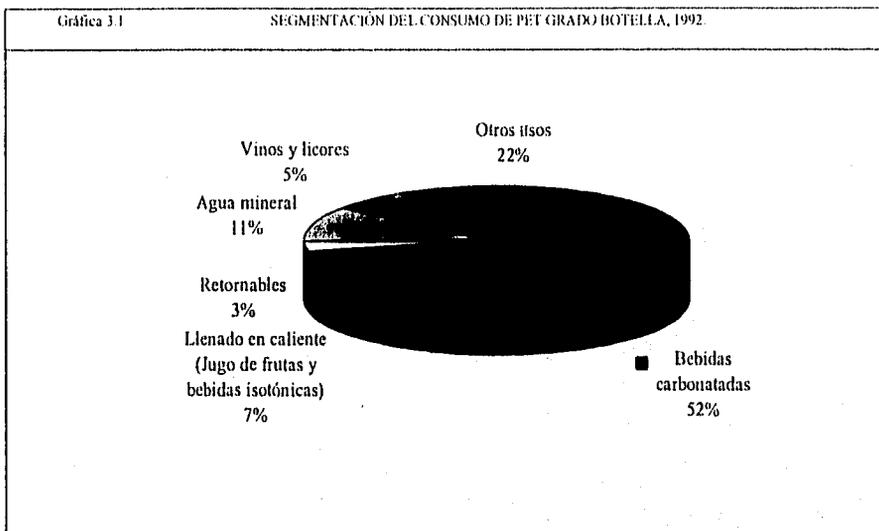
3.1.4 Segmentación del consumo.

El PET grado botella se ha ido diversificando en usos en los últimos años.

La segmentación del consumo en 1992 se muestra en la gráfica 3.1

Gráfica 3.1

SEGMENTACIÓN DEL CONSUMO DE PET GRADO BOTELLA, 1992



FUENTE : PCI (7)

3.1.5 Participación y tendencia por aplicación.

A nivel mundial se ha observado una tendencia a incrementar las aplicaciones del PET hacia el área de envase para una infinidad de productos desde agua mineral hasta productos de alta agresividad como detergentes y shampoos.

Los contenedores elaborados con PET han penetrado al mercado de las bebidas carbonatadas sustituyendo en gran medida a las botellas de vidrio.

Otro estímulo es la sustitución de PVC por PET en botellas para agua mineral y otros usos finales. ⁽²⁶⁾

Entre las principales aplicaciones que han permitido el uso de botellas de PET se tienen las siguientes:

- Bebidas dulces
- Jugos

- Agua mineral
- Aceite comestible
- Cosméticos
- Detergentes
- y otros

Importantes firmas de perfumería utilizan botellas de PET para envasar sus perfumes.

Japón desde 1989 comenzó a diversificar el uso del PET grado botella hacia otras áreas de aplicación como sazonadores, salsa de soya y aceite comestible, detergentes, shampoo y para envase de vinos y licores, no centrándose sólo en bebidas carbonatadas.⁽¹⁵⁾

A pesar de que el mercado de botellas para bebidas continúa siendo el más grande, 70% del volumen, el crecimiento de este sector ya está bastante maduro y otros mercados presentan un mayor dinamismo.

El mercado del embalaje termoconformado de alimentos y mercancías con PET representa un mercado de 112500 ton/año y se espera un crecimiento del 25 % para este año.

Para las botellas reutilizables moldeadas por inyección y soplado, con espesores más gruesos que llegan a pesar el doble que las de PET normales, se espera un crecimiento del 15%, con un consumo actual de 37500 ton/año, especialmente en América Latina y algunas áreas de Europa.

Las botellas para bebida individual con gas tendrán un crecimiento del 25%, aunque todavía la base de consumo es menor.

Contenedores para jugos y bebidas isotónicas para deportistas rellenables en caliente, también se espera tengan un crecimiento del 25% en los próximos 2 años.

Otro mercado es el de las botellas de poco volumen, que se producen por extrusión y soplado para cosméticos, perfumes, etc. que se espera alcance las 150000 ton en los próximos años.

3.1.6 Proyectos y perspectivas.

La capacidad actual para abastecer el mercado del PET grado botella se considera suficiente. Sin embargo, dados los altos índices de crecimiento mostrados por los diversos mercados de esta resina en el pasado y los estimados en el corto plazo de aproximadamente el 10% anual, ha originado la implementación de proyectos de ampliación y construcción. ^{(8), (25), (26)}

La empresa alemana Hoechst, A.G., a través de su sección en Estados Unidos producirá 218000 ton más a lo largo del presente año. Se restaurará la capacidad no empleada para generar 60000 ton en Greer y Spartanburg.

Al finalizar 1994 se incorporó una planta de 64000 ton en Spartanburg y será incorporada otra planta en este año o a principios de 1997.

Eastman Chemical se mantiene como la empresa número uno a nivel mundial, con una capacidad de 550000 ton. Se piensa aumentar esta capacidad con 285000 ton en su fábrica de Kingsport, TN para llegar a la capacidad anual de 835000 ton.

Actualmente la ICI aumentará la capacidad de su planta en Wilton, Inglaterra que pasará de 63000 a 79000 ton/año. Lo mismo que en Rozenburg, Holanda donde su planta pasará de 18500 a 31000 ton/año..

En Estados Unidos, ICI incrementará la producción en Fayetteville, N.C. en 37000 ton/año. También aumentará 50000 ton/año en Pozos de Caldos, Brasil.

La empresa Wellman Inc. una de las principales empresas recicladoras de plásticos comenzó a producir 273000 ton. en 1994 y para finales de 1995 inició la producción de esta resina en Europa. Esto lo hizo a través de AKZO Nobel's en Holanda con una capacidad de 45500 ton/año.

AKZO también producirá otras 34125 ton. para Wellman antes de 1998.

Para el año 2000 las plantas de Wellman tendrán una capacidad de 147875 ton/año en Europa. El número de plantas para esta capacidad están finalizadas.

3.2 Situación actual del PET en México.

La producción nacional de la resina de PET grado botella ha crecido en forma constante desde que hizo su aparición en 1986. Esta producción no sólo satisface las necesidades del país sino que también cierta parte es destinada a mercados en Europa, Medio Oriente, Estados Unidos, Japón y otras regiones.

En sus aplicaciones ha ganado terreno como materia prima para la fabricación de envases para alimentos, bebidas gaseosas, productos medicinales, licores, cervezas y un sinnúmero de aplicaciones de la más variada utilidad.

El interés y demanda por esta resina crece año con año, como resultado de los avances y tendencias tecnológicas a nivel mundial, lo que ha permitido crear una industria sólida y con buenas perspectivas de seguir creciendo no sólo en nuestro país sino también en el extranjero.

La calidad de la resina cumple con los más altos requerimientos a nivel mundial lo que ha permitido consolidarse en diversos mercados. En base a esto la industria nacional es una de las más importantes a nivel mundial y la principal productora en latinoamérica.

La situación del PET grado botella se muestra en la tabla 3.6

Tabla 3.6

SITUACIÓN DE LA RESINA PET EN EL MERCADO MEXICANO (GRADO BOTELLA).					
	<i>1990</i>	<i>1991</i>	<i>1992</i>	<i>1993</i>	<i>1994</i>
Producción	16092	17645	24552	33289	89226
Importaciones	80	188	275	279	232
Exportaciones	11036	5997	5051	1491	42000
Consumo aparente	5136	11836	19776	32077	47458
Capacidad instalada	24500	24500	24500	29700	95000

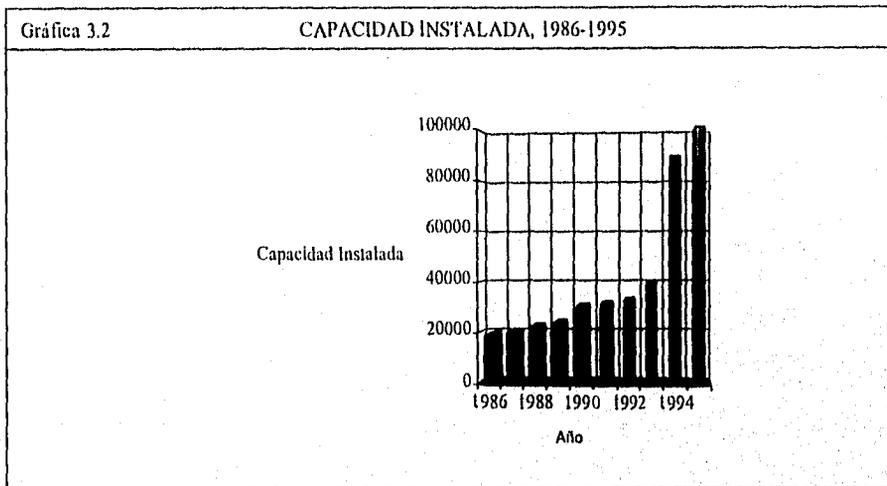
FUENTE: ANIQ (14) /BANCOMEXT (42)

3.2.1 Capacidad instalada.

La capacidad instalada ha crecido en los últimos años para satisfacer la demanda nacional.

En 1994 la capacidad instalada creció de 29700 a 95000 ton. con el arranque por parte de Celanese, de una nueva planta productora de PET grado botella con capacidad de 57000 ton/año. ⁽¹⁴⁾

En la gráfica 3.2 se puede observar como ha ido creciendo la capacidad instalada desde 1986



FUENTE: IMPI (15) / ANIQ (14)

3.2.2 Empresas productoras.

Las empresas que producen el PET grado botella son Celanese Mexicana, S.A. y Kimex, S.A. de C.V. ^{(15), (26)}

Celanese Mexicana, S.A. tiene una capacidad instalada de 83000 ton/año con tecnología Celanese - Hoechst cubriendo gran parte del mercado nacional y exportando a otros mercados principalmente a los Estados Unidos.

Kimex, S.A. de C.V. tiene una capacidad instalada de 12000 ton/año con tecnología Goodyear, exportando la mayor parte de su producción a Estados Unidos, Europa y Sudamérica.

Celanese Mexicana, S.A. localiza sus plantas en Querétaro, mientras Kimex S.A. de C.V. localiza su planta en Tlahuepan.

3.2.3 Producción.

La producción del PET grado botella se inició en el año de 1986, con un constante crecimiento debido a la demanda que tiene en el mercado nacional e internacional.

Para 1994 la producción fue de aproximadamente 90000 ton. lo que ha permitido cubrir las necesidades del país y de otros mercados como el de Estados Unidos.

3.2.4 Importaciones.

Las importaciones de esta resina son poco significativas representando en 1994 el 0.5% del consumo aparente, debido principalmente a que la producción nacional cubre ampliamente la demanda en volumen, calidad y precio.

Estas importaciones son realizadas por la empresa ENCON de México que inició operaciones en 1994, destinándolas a la industria refresquera. ⁽²⁶⁾

En la tabla 3.7 se muestran las importaciones de esta resina desde 1992.

Tabla 3.7

IMPORTACIONES DE PET GRADO BOTELLA								
	1992		1993		1994		1995 (Enc-May)	
Pais	Valor \$USD	Volumen (ton)	Valor \$USD	Volumen (ton)	Valor \$USD	Volumen (ton)	Valor \$USD	Volumen (ton)
Alemania	10	2	0	0	0	0	0	0
USA	1463792	279785	1423915	278626	1118723	231999	232339	46858
Holanda	0	0	0	0	684	71	0	0
Italia	0	0	0	0	534	150	403	126
TOTAL	1463802	279787	1423915	278626	1119941	232220	232742	46984

FUENTE: BANCOMEXT (42)

3.2.5 Exportaciones.

El 47% de la producción nacional de PET grado botella se destinó hacia el comercio exterior, siendo actualmente el rubro comercial más importante para las dos empresas productoras.

En la tabla 3.8 se muestran las exportaciones realizadas en 1994 y 1995

Tabla 3.8

EXPORTACIONES DE PET GRADO BOTELLA

PAIS	1994		1995	
	VALOR \$USD	VOLUMEN (ton)	VALOR \$USD	VOLUMEN (ton)
Alemania	64928	163939	0	0
Argentina	7061582	5528548	3361490	2002440
Austria	1505159	1047600	551223	302040
Brasil	686000	392000	0	0
Islas Caimán	840718	785342	2870451	2174181
Canadá	82679	60990	68717	51000
Colombia	0	0	0	0
Costa Rica	111600	72000	126000	72000
Chile	791166	594800	914640	541440
Ecuador	22900	18080	30600	13000
El Salvador	28710	19800	73650	39800
Estados Unidos	35839903	30276145	17213791	12634603
Francia	0	0	0	0
Guatemala	70000	40000	105771	59600
Holanda	578029	533124	50719	37748
Hong Kong	0	0	1198750	799000
Eire	643151	581700	0	0
Israel	0	0	271880	170000
Italia	1741	1004	0	0
Japón	48694	40660	24990	17000
Marruecos	0	0	0	0
Panamá	118260	78000	29540	18000
Paraguay	18067	135600	0	0
Perú	0	0	0	0
Reino Unido	582487	929393	929908	541600
Singapur	0	0	0	0
Trinidad y Tobago	757800	558000	133200	72000
Turquía	0	0	0	0
Uruguay	25139	18080	193511	147664
TOTAL	50040713	41874805	28148831	19698116

FUENTE: BANCOMEXT (42)

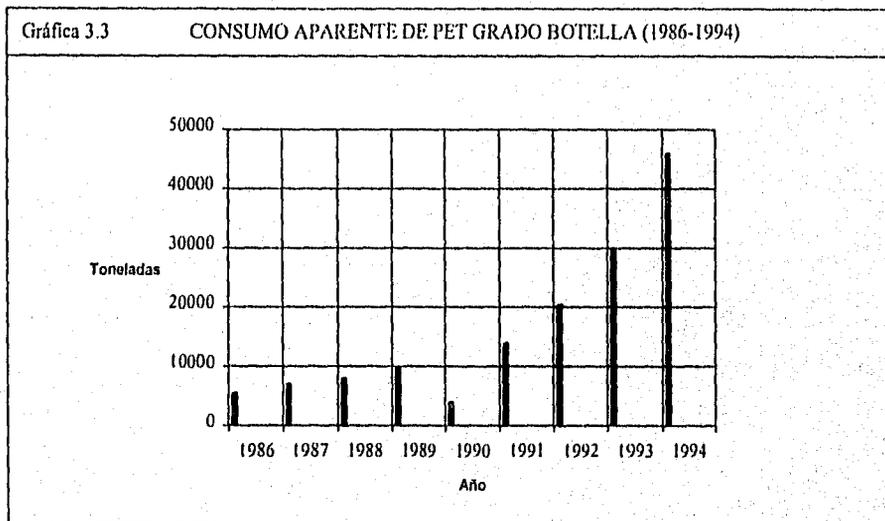
3.2.6 Consumo aparente. ⁽²⁶⁾

El consumo de PET grado botella tiene una tendencia positiva, principalmente porque los mercados en que es utilizada están en crecimiento.

El consumo aparente pasó de 32000 a 48000 ton. de 1993 a 1994 debido a que sectores como el de la industria refresquera, aceitera, farmacéutica y del perfume han incorporado a esta resina para el envasado de sus productos desplazando al vidrio, aluminio y PVC.

El 90% del consumo de la resina PET grado botella se localiza en forma principal en el D.F., Estado de México, Puebla, Querétaro, Nuevo León, Baja California y Veracruz.

En la gráfica 3.3 se muestra el comportamiento del consumo aparente para el periodo de 1986 a 1994.



FUENTE : ANIQ (14)

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

3.2.7 Segmentación del consumo.

El PET grado envase se utiliza en México principalmente en botellas para bebidas carbonatadas por su buena barrera al CO₂. Sin embargo en los últimos años esta resina ha penetrado a otros mercados por lo que se le utiliza para envasar alimentos como conservas, mayonesas, mermeladas, etc., agua mineral, aceite comestible, medicinas, shampoos, detergentes, perfumes, etc., contribuyendo a incrementar la vida de anaquel de estos productos.

La gráfica 3.4 muestra la segmentación del consumo para 1994.

3.2.8 Participación y tendencia por aplicación.

En los últimos años se han desarrollado nuevos mercados para el PET grado botella lo que le ha permitido ser el envase de los 90's. ⁽²⁶⁾

Sin lugar a duda uno de los mercados más interesantes es el de la industria embotelladora.

Los envases retornables de PET son muy populares entre los consumidores. Se predice que estos envases ganarán terreno hasta conquistar el 38% del mercado.

De acuerdo con un estudio de Vitro Envases se espera que para 1996 los envases retornables ocupen el 25% del mercado, mientras que los envases desechables tendrán el 4%.

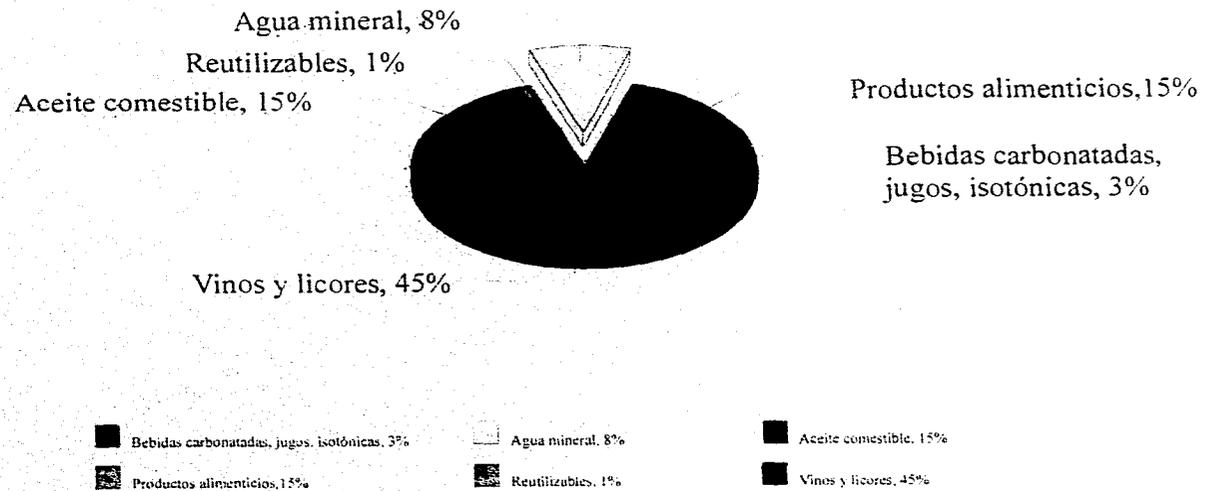
El PET grado botella ha desplazado al vidrio en un 50% debido a su estructura molecular biorientada con lo que se obtiene una excelente barrera al O₂ y microorganismos.

En la industria aceitera por lo menos el 70% de los principales productores han adquirido maquinaria para la producción de sus envases desplazando al PVC.

Las modernas plantas envasadoras de agua han incursionado en el mercado nacional con botellas de PET en presentaciones de 1.5 L, 1/2L y 350ml.

La industria farmacéutica ha elaborado envases hasta de 500 ml para sus medicamentos y se espera que este sector crezca en el futuro.

Gráfica-3.4 PET GRADO BOTELLA, % SEGMENTACIÓN DEL CONSUMO, MÉXICO 1994 (474558 Ton.



FUENTE: (26)

Se estima que en los próximos años se demandarán de 600 a 900 máquinas para satisfacer la demanda de envases elaborados con PET. Actualmente se cuenta con un promedio de 120 equipos por lo que el crecimiento del mercado se encuentra limitado a la instalación de nuevas plantas.

3.2.9 Proyectos y perspectivas.

En base a lo anterior la demanda interna de PET grado botella muestra una tendencia de crecimiento importante.

La penetración de esta resina a mercados como el de refrescos, perfumes, aceites comestibles, medicinas y otras bebidas han obligado a las empresas productoras a incrementar la capacidad instalada para satisfacer las necesidades del mercado nacional e incluso el internacional.

Una de las principales empresas productoras de PET grado botella penetrará en el mercado nacional. La Eastman Chemical está construyendo una nueva planta de esta resina con una capacidad instalada de 60000 ton/año. Esta planta se localiza en Monterrey y se espera inicie sus operaciones este año.

3.3 Precios del PET.

Los precios de la resina PET al mes de noviembre de 1994 se muestran en la tabla 3.9

Tabla 3.9

PRECIOS DEL PET		
	RESINA \$USD/Kg	PREFORMA (Tomando como base botella 1L de capacidad) peso preforma 40-41.5g, \$USD/pza.
Nacional	1.50-1.55	(Para agua) 0.078-0.088 (Para agua con gas) 0.086-0.093)
Internacional	1.42-1.47	(Para agua) 0.071-0.079 (Para agua con gas) 0.071-0.079

FUENTE: (26)

CAPÍTULO 4

EL MERCADO DEL PET RECICLADO.

4.1 Producción de desperdicios a nivel mundial. ^{(16), (17)}

Los desperdicios generados a nivel mundial representan una carga para la sociedad debido a que son una fuente de enfermedades diversas, generan problemas de contaminación y el costo económico es muy alto.

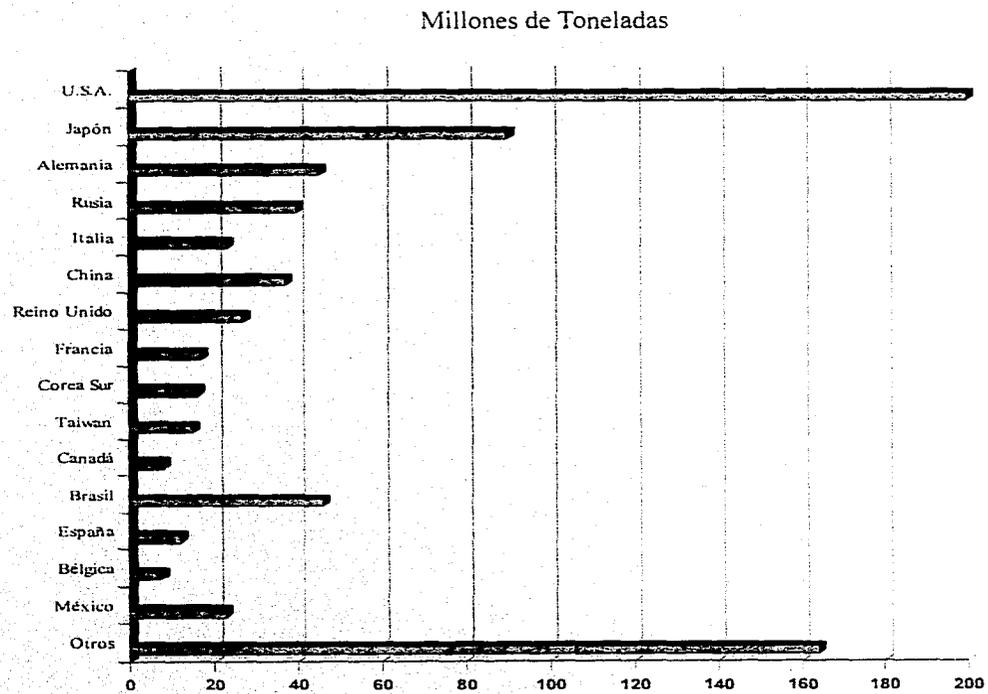
En el Mundo se producen más de 775 millones de toneladas por año, siendo los países más industrializados y las ciudades con mayor población los que más aportan con una generación per cápita al día de 0.5 Kg. en los de menor población hasta 2 Kg. en los países altamente industrializados. En la gráfica 4.1 se presenta la generación de desperdicios en 1990.

Los problemas que enfrentan las autoridades municipales en relación al manejo y disposición de los desperdicios sólidos varían de un país a otro. Estas diferencias son consecuencia de los siguientes factores:

- Volumen y composición de los residuos sólidos.
- Cantidades y tipos de desechos generados por habitante.
- Opciones de disposición adoptadas.
- Disponibilidad de espacio para relleno sanitario.
- Características demográficas de las zonas urbanas.
- Nivel cultural de la población.
- Nivel socioeconómico de los consumidores.
- Cuestiones políticas

Gráfica 4.1

PRODUCCIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS. MUNDO 1990.



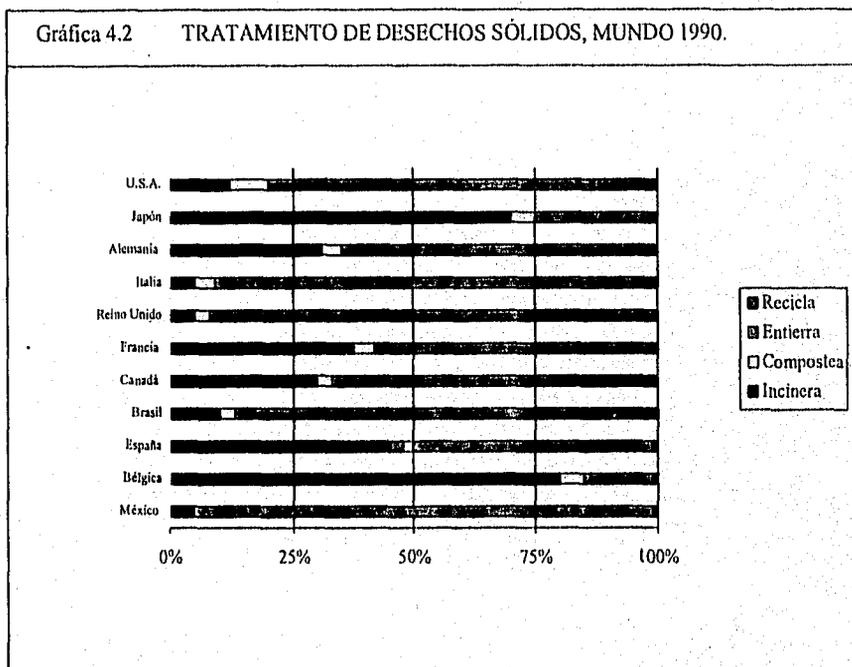
FUENTE: IMPI (16)

Las políticas generales de los países industrializados en materia de tratamiento de los desechos sólidos presentan las siguientes tendencias generales:

- Reducción, reutilización y reciclaje de los envases.
- Establecimiento de metas.
- Estímulos y mandatos. y,
- Normalización de los lugares de confinamiento final.

Las políticas generales de los países en desarrollo están centradas a reglamentar la limpieza urbana, siendo el objetivo básico el tratar de evitar problemas de salud y de formación de focos de infección.

En la gráfica 4.2 se presentan los diferentes métodos utilizados para el tratamiento de los desechos sólidos generados a nivel mundial.



FUENTE : IMPL. (16)

Los plásticos representan menos del 6% en los desperdicios que se generan en el Mundo, sin embargo ocupan grandes volúmenes debido a su baja densidad.

La generación mundial de desechos plásticos se presenta en la gráfica 4.3, en donde se puede observar que los países altamente industrializados son los que generan una gran parte de los desechos.

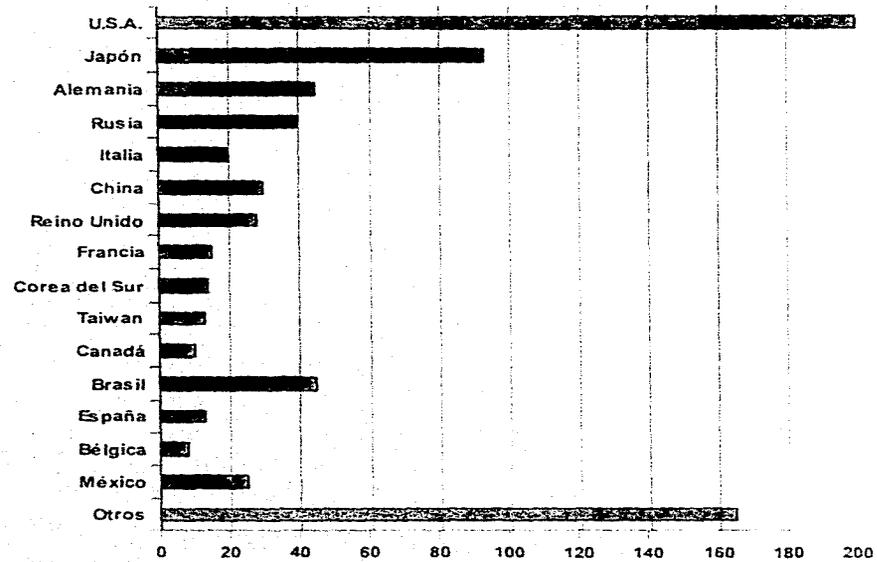
En Europa la demanda de plásticos alcanzó las 24336000 toneladas en 1991, generando 14637000 toneladas de residuos provenientes de la agricultura, de la industria de la construcción, de las industrias del automóvil y de distribución así como las derivadas del uso doméstico. Estos residuos sólidos municipales, alcanzaron las 9230000 toneladas.

En la tabla 4.1 se muestra la demanda de plásticos en Europa en 1991.

Gráfica 4.3

PRODUCCIÓN DE DESECHOS PLÁSTICOS, MUNDO 1990.

Millones de Toneladas



FUENTE: IMPI (16)

Tabla 4.1

CONSUMO DE PLÁSTICOS DURANTE 1991 EN EUROPA OCCIDENTAL (1000 TON)	
CONSUMO	TOTAL
<i>E.C.</i>	
Bélgica/Luxemburgo	1247
Dinamarca	484
Francia	3419
Alemania	6900
Grecia*	286
Irlanda*	144
Italia	3895
Holanda	1000
Portugal	381
España	1763
Gran Bretaña	2821
<i>Resto de Europa</i>	
Austria	470
Finlandia	351
Noruega	189
Suecia	553
Suiza	463
Total Europa occidental	24366

FUENTE: Association of Plastics Manufacturers in Europe (APME). (27)

*Estimado.

4.2 Producción de desperdicios en México.

México enfrenta una serie importante de problemas relacionados con la generación, el manejo y la disposición de los residuos sólidos. En todos los centros urbanos del país se producen cantidades de desechos sólidos superiores a los que se pueden manejar adecuadamente.

De acuerdo con datos del Instituto Nacional de Ecología la generación diaria de desechos sólidos en el país es superior a las 65000 ton y en el D.F. es de aproximadamente 11000 ton. Se estima que en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México se producen más de 18000 ton/día de residuos sólidos. ⁽¹⁷⁾

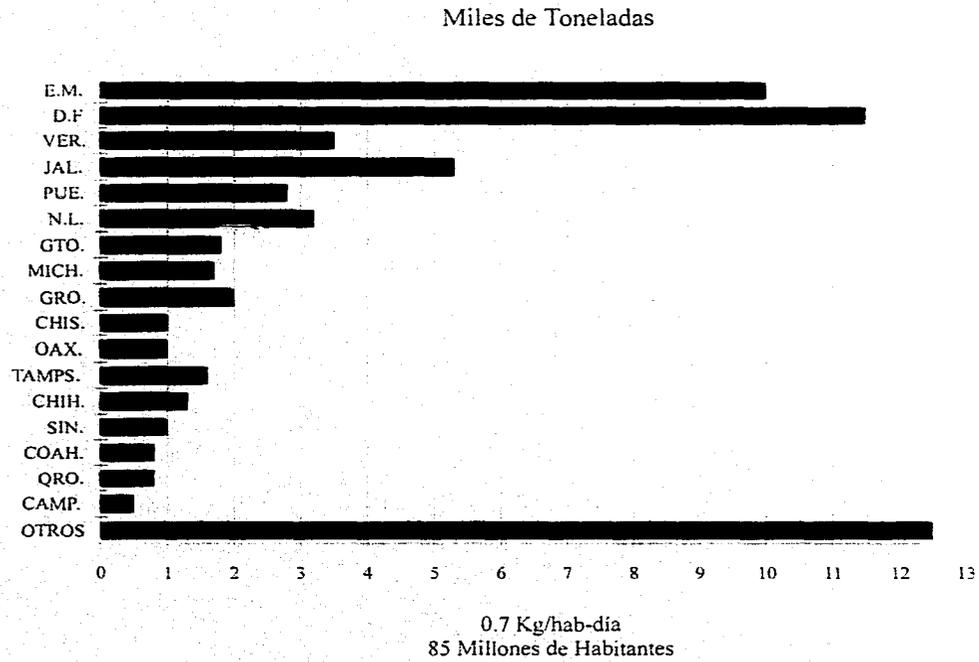
En la gráfica 4.4 se muestra que cerca del 30% de los desperdicios que se generan en México, pertenecen al área metropolitana.

En 1982 se produjeron aproximadamente 48000 ton diarias de desperdicios en México; en 1992 fueron 66000 ton diarias y para el año 2000 se estima serán 100000 ton al día. La gráfica 4.5 muestra este comportamiento.

En la gráfica 4.6 se aprecia que la generación de desperdicios al año en México es de 24.1 millones de ton.

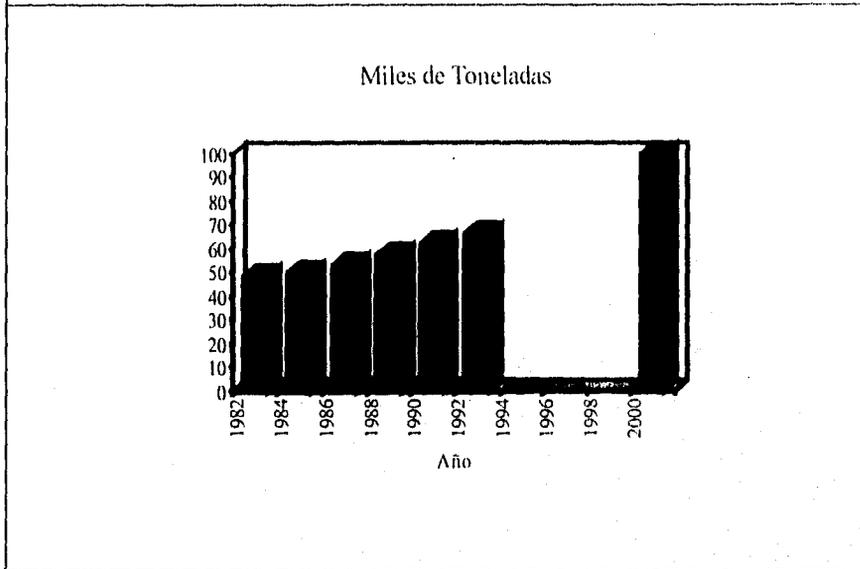
Gráfica 4.4

PRODUCCIÓN DE DESPERDICIOS POR DÍA. MÉXICO 1990.



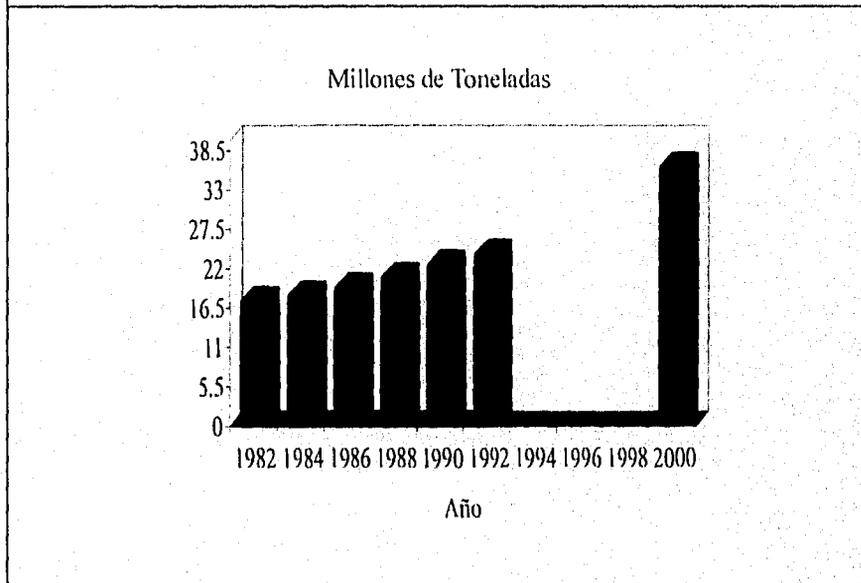
FUENTE: IMPI (16)

Gráfica 4.5 GENERACIÓN DE DESPERDICIOS SÓLIDOS POR DÍA EN MÉXICO



FUENTE: IMPI (16) / INE (17)

Gráfica 4.6 GENERACIÓN ANUAL DE DESPERDICIOS SÓLIDOS EN MÉXICO



FUENTE: IMPI (16), (45) / INE (17)

4.3 Composición de los desperdicios sólidos en la Ciudad de México.

Un análisis de la composición media de los desechos sólidos se muestra en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2

RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES EN EL D.F.	
Cartón	4.11
Envase de cartón (+PE o PE/AL)	2.20
Papel (Periódico, Bond, etc..)	11.76
Lata (Aluminio)	1.58
Material Ferroso (inc. hojalata)	1.63
Material no ferroso	0.08
Plástico en película	4.97
Plástico rígido	3.06
Poliuretano	0.13
Poliestireno expandido	0.67
Vidrio de color	2.06
Vidrio transparente	5.89
Residuos de alimentos	40.69
Residuos de jardinería	5.83
Algodón	0.36
Fibra dura vegetal	0.10
Fibra sintética	1.74
Cuero	0.15
Hueso	0.10
Hule	0.24
Loza y cerámica	0.48
Madera	0.16
Material de construcción	0.58
Pañal desechable	3.76
Trapo	0.67
Otros	7.00

FUENTE: DDF 1992. (2), (17)

Como se puede ver los residuos orgánicos (restos de alimentos y residuos de jardinería) representan aproximadamente 47% del total de los desechos sólidos.

Los procesos que se adopten para aprovecharlos y evitar que terminen en los rellenos sanitarios deberán ser principalmente del tipo de la biodegradación que permitan transformar esos residuos en gas metano y/o composta.

Cerca del 38% de los residuos sólidos está constituido por desechos de envases, embalajes y materiales que los forman.

En la vivienda se genera el 67% de los desechos sólidos, mientras que el sector industrial genera el 24% y la vía pública el 9%.⁽²⁾

En la Tabla 4.3 podemos observar que los plásticos representan cerca del 9% de los desperdicios sólidos.

<i>Tabla 4.3</i>	
RESIDUOS SÓLIDOS (100%)	
Materia orgánica	46.5
Papel y cartón	18
Vidrio	8
Trapos - algodón	1
Plásticos	9
Diversos	14.2
Latas - metales	3.3

FUENTE: DDF (1992). (17)

4.4 Composición de los plásticos en los desperdicios sólidos en la Ciudad de México.

En México el consumo de plásticos está orientado principalmente al sector de envase ocupando el 47% de la producción global de la industria del plástico, además de que la vida útil es menor a un año de ahí que sea en este sector en donde se presenta la mayor problemática.

La contribución de desechos plásticos se muestra en la gráfica 4.7 en donde se aprecia que de las 625000 ton que se producen al mes el 70% es aportado por las familias.

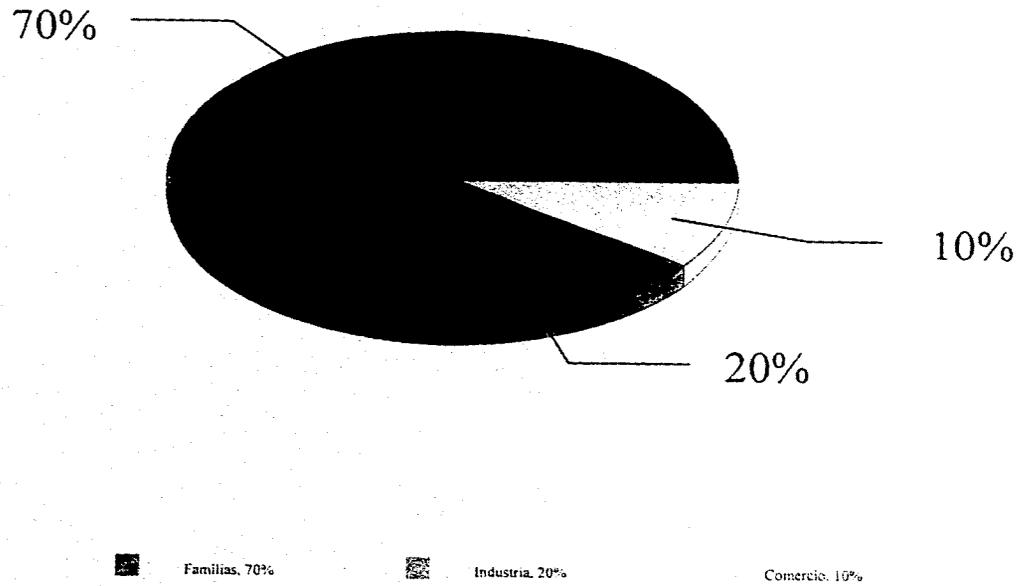
El consumo total de plásticos es de 1270000 ton al mes. De esto el 49% se convierte en desperdicio quedando en vida útil el 51% en aplicaciones de sectores como el de la construcción, eléctrico-electrónico, muebles y el automotriz.

En 1990 únicamente se recicló el 11% del consumo total, siendo de 140000 ton/mes y cuyas fuentes principales son los propios transformadores de plásticos.

En la gráfica 4.8 se muestra la composición de cada plástico en los desperdicios sólidos en la Ciudad de México.

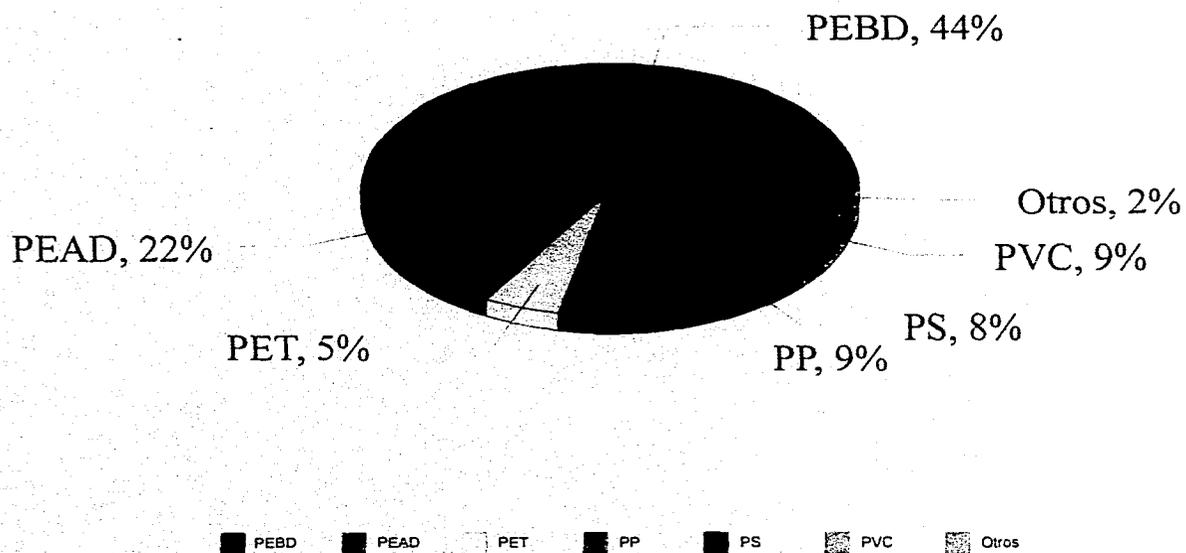
Gráfica 4.7

CONTRIBUCIÓN DE DESECHOS PLÁSTICOS



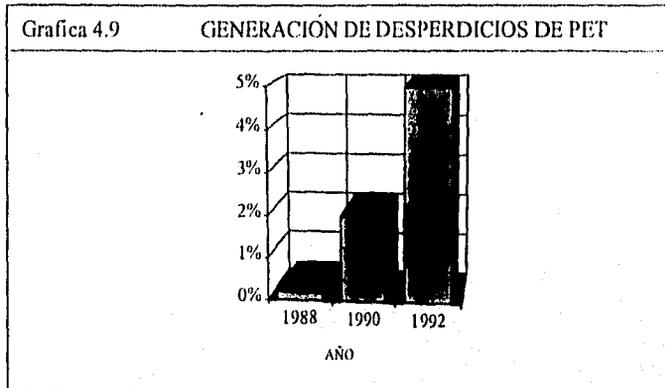
FUENTE: IMPI (16)

Gráfica 4.8 COMPOSICIÓN DE LOS PLÁSTICOS EN LOS DESPERDICIOS SÓLIDOS D.F., 1992



FUENTE: IMPI (45)

El PET representa el 5% de los desperdicios plásticos lo que indica que está aumentando la generación de desperdicios de este plástico como se muestra en la gráfica 4.9.



FUENTE : IMPI (45)

4.5 El mercado del PET reciclado

El desarrollo de mercados para materiales reciclados tiene éxito cuando se ubica a los desperdicios generados como una oportunidad de negocio. Las utilidades de los mercados de los materiales de desecho llegan no sólo a la industria, sino también a las economías municipales y al público en general.

Los plásticos son difíciles de reciclar, debido a los problemas que existen para separarlos por resinas. Una vez separados, algunos plásticos se adaptan mejor a los procesos de reciclado que otros.

El PET es un plástico del tipo termoplástico, es decir, se ablanda cuando es calentado, por lo que se puede reformar y reutilizar. Posee un alto valor calorífico y proviene de un insumo relativamente caro.

El PET tiene una infinidad de usos, siendo una de sus principales aplicaciones en el sector de los envases. Este sector ha generado grandes cantidades de desechos que a su vez crean un problema en su manejo.

La vida útil del PET grado botella es muy corta por lo que resulta primordial recuperar los desechos que se generan con el fin de reincorporarlos a un ciclo productivo con una vida útil más larga.

El PET es el material plástico que más se recupera de los residuos sólidos municipales en muchas regiones del mundo. Su recuperación proviene principalmente de países como Estados Unidos, Canadá, Alemania, Italia, Japón entre otros, en donde se ha establecido una reglamentación que obliga a depositar los envases de bebidas, lo que ha provocado la creación de diversos mercados para este material. ⁽¹⁷⁾

El uso del PET ha venido incrementándose en los últimos años, sin embargo el reciclado de este material está empezando. Su crecimiento sugiere la existencia de un gran potencial para que sea reciclado, pero el sector alimenticio está aplicando medidas de restricción en su uso, de ahí que el área industrial se preocupe por generar tecnologías y encontrar nuevas aplicaciones en los desperdicios que genera esta resina.

Para la reutilización se deben considerar los siguientes factores:

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

El problema central para el reciclado de PET es la recolección, la separación de otros componentes de los residuos y su almacenamiento.

Un inconveniente adicional para el reciclaje de PET es la falta de conocimiento de muchos posibles usuarios sobre los usos que le pueden dar a este material recuperado. Además es necesario identificar los mercados potenciales.

En la Tabla 4.4 se muestra que la potencialidad para reciclar los desechos plásticos del PET es del 98%.

Tabla 4.4

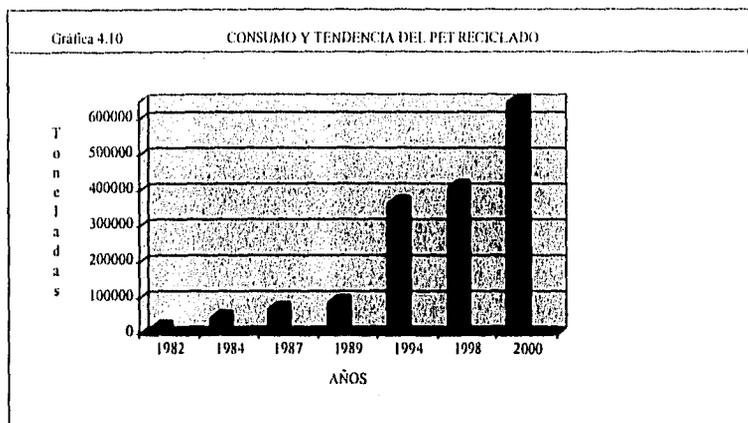
POTENCIAL PROMEDIO DEL RECICLAJE DE PLÁSTICOS.	
<i>Material</i>	<i>Potencial de reciclaje (%)</i>
ABS	14
PEAD	66
PEBD	78
PC	15
PET	98
PP	40
PS	61
PVC	20

FUENTE: (19)

4.5.1 El mercado del PET reciclado en el Mundo.

El principal esfuerzo para reciclar PET se ha llevado a cabo en E.U.A. donde, desde 1984, de las 465 mil toneladas consumidas ese año se reciclaron 45 mil toneladas. Para 1987 se reciclaron alrededor de 68 mil toneladas lo que equivalió al 20% del consumo de PET en ese año. ⁽¹⁷⁾

En la gráfica 4.10 se muestra el consumo y tendencia del PET reciclado.



FUENTE : The Freedonia Group, Inc. (22) / SPI (7) / INE (17)

De acuerdo con el Centro de Investigación para el Reciclado de Plásticos de la Universidad de Rutgers en Piscataway, NJ los ingresos obtenidos por el PET reciclado en 1990 fueron de 150 millones de dólares y para 1995 de 400 millones de dólares lo que representó un incremento de más de 160 % en tan sólo este periodo.

Se considera que la cantidad de botellas de PET disponibles para reciclaje a nivel mundial, podría tener un valor de aproximadamente 1500 millones de dólares. Solamente en Europa Occidental, los residuos de PET podrían alcanzar un valor de 310 millones de dólares, además de representar un grave problema de contaminación.

Cada día se hace más necesaria la existencia de una reglamentación en el uso y reciclaje de las botellas de PET.

La Tabla 4.5 presenta la estimación de los costos del proceso de reciclado. No existe costo para el plástico usado como materia prima, pero si se tiene que pagar por el plástico para ser reciclado, este debe sumarse al costo total.

Tabla 4.5

DATOS ECONÓMICOS DEL RECICLADO DE PLÁSTICOS, 1990	
<i>Costos</i>	Cents. USD/lb
Costo del material bruto	0
Recolección del plástico	5-6
Clasificación por tipo de plástico	2-3
Molienda (pulverización)	4-6
Lavado y secado	6-10
Costo del reciclado	≈17-25
Tratamiento de la resina	3-6
Pelletización	≈20-31
Precio en el mercado (hojuela de resina)	8
Entrega en bolsas y sacos	2
Costo en el mercado por gránulo reciclado	≈30-41

FUENTE: (1)

Los costos totales están en el rango de 17 a 25 centavos de dólar por libra.

La fuerza del mercado depende de la limpieza y la forma de presentación del material recuperado, así como de la reglamentación existente.

Los principales compradores de PET lo pagan a 9 cents.USD/lb, es decir, a 180 \$USD/ton., para el material transparente. Este precio se reduce progresivamente de acuerdo con el contenido porcentual de PET verde.

Por ejemplo, un contenido de 36 a 50% de botellas verdes en una paca se traducen en un precio de sólo 3 cents.USD/lb (60 \$USD/ton).

La Tabla 4.6 muestra datos económicos sobre el reciclado de PET:

Tabla 4.6

DATOS ECONÓMICOS PARA EL PET RECICLADO	
Capacidad	9000 Toneladas/año
Inversión	2.5 Millones de dólares
Pureza	99.9% PET
Precio	500 Dólares/ton.
Renta	5 Millones de dólares/año
Utilidad	1 Millón de dólares/año
Retorno neto	20%

FUENTE: (19)

En los Estados Unidos, actualmente 6 compañías procesan la mayoría de las botellas de PET usadas para convertirlas en granza. Estas compañías son: ⁽³⁶⁾

- Envipco Plastics
- Nyconn Industries
- Pure Teach Industries Research
- St Jude Polymer
- Star Plastics y
- Wellman Inc.

Wellman Inc. está reciclando más de 45400 toneladas de PET al año. La mayoría de ellas las utiliza en sus propios productos acabados con valor añadido, principalmente relleno de fibra y bridas para bandejas de carga.

Envipco recupera cerca de 10000 toneladas al año; Nyconn, Pure Teach, St Jude y Star Plastics reciclan cada una de 5000 a 10000 toneladas anuales.

Los reprocesadores producen PET reciclado de alta calidad, con más del 99% de pureza que se vende desde 19 a 35 cents.USD la lb, mientras que el PET virgen cuesta 60 cents.USD. El proceso que hace recuperar al PET sus propiedades originales y su troceado, pueden elevar la calidad del PET reciclado, subiendo su precio hasta 50 cents.USD/lb.

Las principales empresas recicladoras en Estados Unidos se muestran en la tabla 4.7.

<i>Tabla 4.7</i>	
EMPRESAS RECICLADORAS DE PET	
<i>Compañía</i>	<i>Localización</i>
Container Recycling Inc.	Livonia, MI
Day Products, Inc.	Bridgeport, NJ
Eaglebrook Plastics	Chicago, IL.
MA Industries, Inc.	Peachtree City, GA.
Nyconn Plastics	Long Island City, NY
Plastic Recycling Alliance	Philadelphia, PA , Chicago, IL.
Wellman Inc.	Johnsonville, SC.
Talco Plastics, Inc.	Whittier, CA
wTe Albany	Albany, NY.

FUENTE: SPI/P3 (8)

En la tabla 4.8 se muestra la demanda de plásticos por resina en 1993 en los E.U.

Tabla 4.8	
PLÁSTICOS RECICLADOS DEMANDA POR RESINA, U.S.A 1993 (6356000 TON)	
PET	35%
HDPE	33%
PP	15%
LDPE	8%
PS	4%
PVC	4%
Otros	1%

FUENTE: The Freedonia Group, Inc. (22)

La demanda para el PET reciclado en 1993 se muestra en la Tabla 4.9.

Tabla 4.9	
DEMANDA DE PET RECICLADO EN 1993 EN ESTADOS UNIDOS	
	(Toneladas)
Fibra	190680
Moldeo por inyección	45400
Extrusión	40860
Botellas (uso no alimenticio)	13620
Aislante	13620
Exportación	13620

FUENTE: Centro de Investigación para el Reciclado de Plásticos. (12)

Los requerimientos de materiales recuperados para 1995 se muestran en la tabla 4.10 en la que se observa que más de 286000 toneladas de PET reciclado entraron al mercado para competir con la resina virgen.

Tabla 4.10

DEMANDA DE PLASTICOS RECICLADOS	
<i>Tipo Genérico, 1995</i>	<i>ton/año</i>
PET	286000
HDPE	240000
PS	260000
PVC	225000
PP	408000
Otros	182000

FUENTE: (19)

Hoy en día es posible recuperar PET, HDPE y PVC de los desechos generados con una alta calidad lo que permite que penetren y participen en diferentes mercados compitiendo con la resina virgen.

DuPont Co. en unión con Waste Management Inc. han instalado 5 plantas de reciclado de botellas de PET en los Estados Unidos con una capacidad instalada de 18000 toneladas al año cada una.

La National Association of Plastics Container Recovery (NAPCR) que está patrocinada por la DuPont, Eastman, Hoechst- Celanese, ICI, Sewell Plastics y Goodyear, han establecido su sede central en Charlotte. Anualmente recicla de 60000 a 90000 toneladas.

Las empresas que reciclan PET grado botella en Europa se muestran en la Tabla 4. 1

Tabla 4.11

EMPRESAS QUE RECICLAN PET EN EUROPA OCCIDENTAL			
<i>Empresa</i>	<i>País</i>	<i>Capacidad (ton/año)</i>	<i>Inició</i>
Tecoplast	Italia	1000	1989
Reprise	Reino Unido	20000	Finales 90
REKO	Países Bajos	-6000	1980
Vetrorecycling	Suiza	No disponible	1991
Areb N.V.	Bélgica	No disponible	1991

FUENTE: SEMA Group. (8)

Empresas como Coca-Cola y Pepsi-Cola empezaron a usar 25% de PET reciclado en sus nuevas botellas de refrescos, lo cual representa el primer uso de plástico reciclado en contacto directo con un producto alimenticio. ⁽¹⁷⁾

Estas botellas se están utilizando en países como Suecia, Brasil, Alemania y Holanda.

En Holanda se reciclan más de 7000 millones de botellas de PET al año.

Un grupo industrial italiano creó la empresa llamada IVR para recolectar y reciclar botellas de plástico, así como para establecer un banco de datos sobre el reciclaje de plásticos en Europa.

En Taiwan se recicló el 33% de botellas de PET en 1990. Actualmente se recicla el 50%.

4.5.2 El mercado del PET reciclado en México.

En México el reciclado de plásticos se encuentra en su primera etapa siendo los materiales de polietileno de baja densidad, polietileno de alta densidad, PVC, polipropileno y poliestireno los que más se recuperan.

Se han identificado cuatro problemas principales en el reciclaje del PET : ⁽¹⁷⁾

- Recolección, selección y almacenamiento.

- Volumen requerido para que sea factible la operación.
- Inexistencia de capacidad instalada para reciclar.
- Inexistencia de mercados de usuarios finales para el material reciclado.

Una tonelada de PET contiene, en promedio, 2 mil botellas. Sin embargo la capacidad de almacenamiento requerida puede reducirse significativamente, aplanando o triturando las botellas y comprimiéndolas en pacas antes de almacenarlas.

El almacenamiento puede producir riesgos a la salud, debido a la presencia de envases contaminados con bebidas y alimentos.

Una empresa procesadora de plásticos puede requerir muchas toneladas de materia prima por día y, aún en una ciudad de varios millones de habitantes, recolectar suficientes botellas para interesar a un procesador, puede tomar mucho tiempo.

Se estima que un tamaño adecuado y rentable de planta recicladora debe tener capacidad para procesar por lo menos 2 mil toneladas de materia prima por año.

Para poder contar con suficiente material, el área urbana de recolección de los desechos plásticos debe ser bastante grande, lo cual también incrementa los costos de transporte, que ya de por sí son elevados, puesto que aún el plástico triturado y embalado es un producto ligero y voluminoso.

Dentro de los primeros pasos en el re-uso de botellas, las grandes empresas refresqueras están experimentando actualmente con botellas retornables de PET con capacidad de 2 litros. Aunque en 1992 se introdujo en el mercado botellas con capacidad de 1.5 litros, que han recibido gran aceptación.

La Tabla 4.12 muestra la producción de plásticos y su aprovechamiento en 1991.

Tabla 4.12

PRODUCCIÓN DE PLÁSTICOS Y SU APROVECHAMIENTO (1991)				
Tipo de plástico	Consumo (ton)	Desperdicio (ton)	Tipo de residuo	Recuperación (ton)
Poliestireno	115000	70000	Vaso de yoghurt Charolas para carne Estuches de cassettes	20000
Polipropileno	140000	60000	Película Envase Baterías automotrices Tapas Raffia	20000
Polietilenterefalato	10000	10000	150 millones de envases	0
Cloruro de polivinilo	160000	70000	Botellas Mangueras "Blister"	20000
Polietileno de alta densidad	250,000	140,000	Botellas Bolsas	30,000
Polietileno de baja densidad	370,000	300,000	Bolsas Tapas	60,000
Otros plásticos	25,000	200	Carcasas Piezas de ingeniería	50
TOTAL	1'350,000	650,000		150,000

FUENTE: (3)

El reciclado del PET grado botella está en sus inicios en México. Algunas empresas reciclan sus desperdicios industriales y los reincorporan a sus ciclos productivos.

En 1993 Colgate-Palmolive instaló una planta piloto en Lerma, Edo. de México, en donde recicla PET proveniente de la industria farmacéutica, siendo de muy baja calidad y ofreciéndose en gránulos a \$3 el Kg.

Sin embargo, el reciclado de PET es un mercado virgen que no se aprovecha. En 1994, de las 47000 toneladas consumidas, sólo el 1% fue reutilizado.

En base a esto es indispensable establecer un proyecto que permita recuperar los desperdicios de PET para reintegrarlo a otros ciclos productivos.

En México se cuenta con empresas que ofrecen equipos para reciclar PET, entre estas tenemos las siguientes: ⁽²⁶⁾

- Ensambladora Panamericana de Equipos.
- Erema (sistema de proceso).
- Pagani.
- Rapid Granulator.
- Goodyear (sistema de proceso).
- Hoechst (sistema de proceso).

Estos equipos han sido adquiridos por el sector industrial para aprovechar los desperdicios que generan sus procesos.

A pesar de que se cuenta con la materia prima y el equipo para procesarla, no se ha implementado ningún proyecto para esta resina.

Las principales empresas recicladoras de plásticos no contemplan al PET para reutilizarlo, por lo que el uso potencial de este material es desaprovechado.

4.6 Ciclo de reciclado de PET.

El ciclo de reciclado de PET está constituido por las siguientes etapas: ⁽⁴³⁾

- Etapa de adquisición de PET.
- Procesamiento de resinas PET.
- Inyección de la preforma.
- Recalentamiento, Estirado y soplado.
- Consumidor.
- Depósito de desechos.
- Incineración o procesamiento.
- Fabricación de botellas PET o de otros productos.

En la Figura 4.1 se muestra el ciclo de reciclado de botellas PET.

4.7 Usos y aplicaciones del PET reciclado.

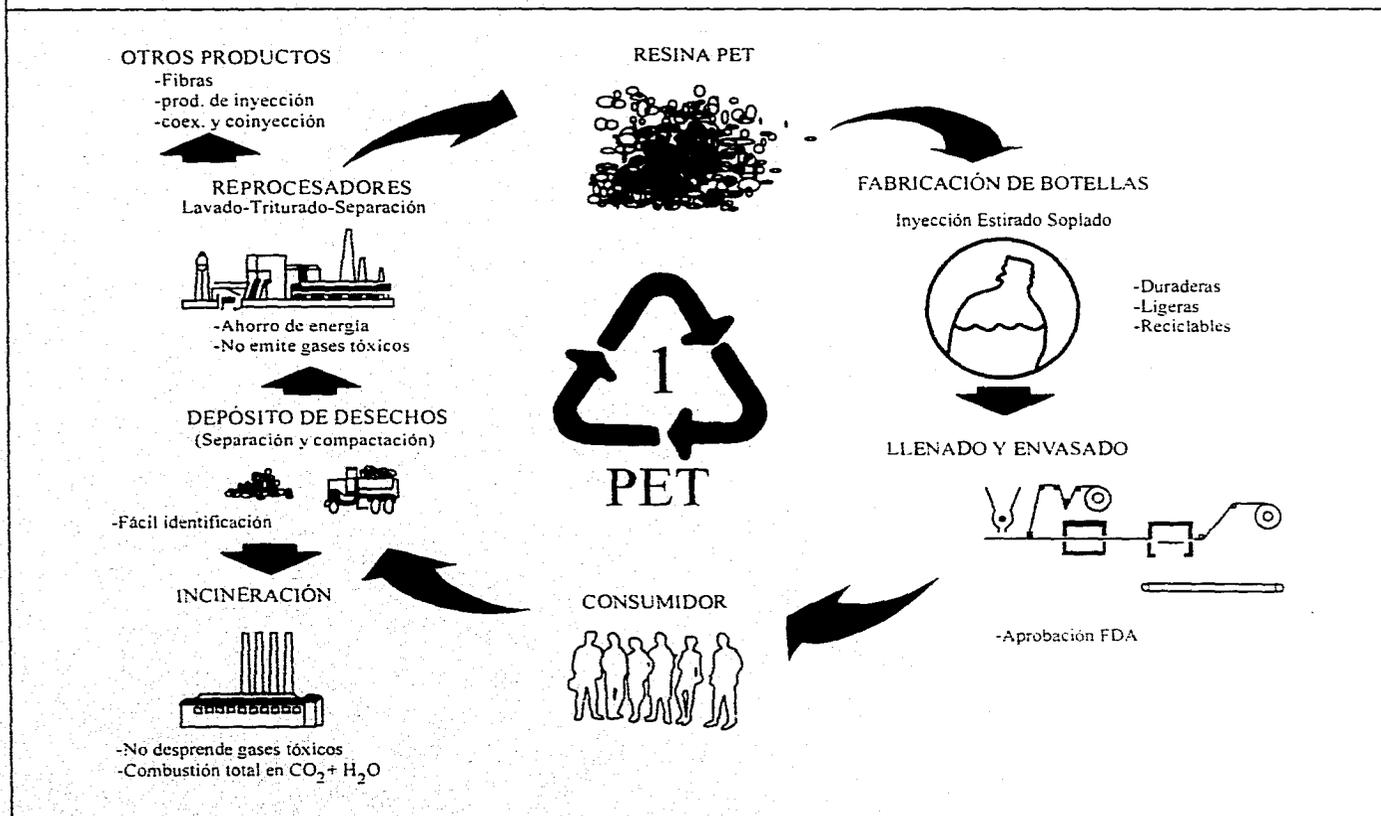
En el reprocesamiento del PET a partir de las botellas de refrescos u otro tipo de artículo en gránulos no garantiza su venta. En contraste con las latas de aluminio y las botellas de vidrio, las cuales son reprocesadas y usadas para hacer nuevas latas o botellas, el PET no se puede usar en la fabricación de nuevas botellas que entren en contacto con alimentos o bebidas debido a que su reciclado no garantiza la eliminación de contaminantes, aunque en algunos países se han desarrollado botellas para uso alimenticio.

Los problemas no son únicamente técnicos, sino que también influyen factores económicos y psicológicos. Pocas compañías que se dedican a la producción de bebidas desean vender sus productos en botellas de PET reprocesado.

Los mercados para el PET reciclado están divididos en aquellos que requieren un material con bajo valor agregado y los mercados que requieren un material con alto valor agregado.

Figura 4.1

CICLO DEL RECICLADO DEL PET



FUENTE: Investigación Personal / CELANESE MEXICANA (43)

4.7.1 Mercados del PET reciclado con bajo valor.

Los materiales obtenidos del PET reciclado con un bajo valor normalmente tienden a competir con los precios de las películas de otros plásticos.

El PET reciclado para usos con bajo valor agregado es utilizado para producir fibras para aplicaciones textiles. El PET verde reciclado se puede usar para aplicaciones en fibras, geotextiles y materiales para la industria de la construcción. Estos materiales son pigmentados normalmente con carbón negro.

El PET reciclado con bajo valor incluye los siguientes usos: ^{(12), (13), (17)}

- Se utiliza en una gran variedad de bienes caseros, desde juguetes hasta tapas para aerosoles.
- Producción de fibras para ropa, bases de alfombra, cuerdas, velas de barco, etc.
- Envases no sanitarios, tanto en forma de botellas como extruidos.
- Materiales de aislamiento y borra de relleno para sacos de dormir, cojines y chamarras.
- Geotextiles, utilizándose como estabilizadores en los durmientes, en las vías del ferrocarril, en lozamiento de caminos, muros de contención y otros.
- Cartones transparentes para huevos.

En la Tabla 4.13 se muestran los usos del PET reciclado de bajo valor.

Tabla 4.13

USOS DEL PET RECICLADO CON BAJO VALOR	
Industrial	Bases para alfombra Postes para cercas Fibra textil Cepillos para lavado Pinturas industriales Brochas para pintar Depósitos para combustible Herramientas Aislantes
Ing. Civil	Geotextiles
Recreacional	Skies Tablas de surf Cascos para botes de vela
Varios	Tortilleros Leños Tubos para el pelo Muñecos sin articulación Palos de escoba Cepillos para escoba Borra de relleno para sacos de dormir, cojines y chamarras

4.7.2 Mercado del PET reciclado con alto valor.

Las empresas de reciclado de botellas de PET están de acuerdo en que para conseguir que el negocio merezca la pena los productos que se pueden fabricar a partir de la resina recuperada deben mejorarse. Esto permitiría tener productos de gran calidad y alto valor; por ejemplo compuestos que se venden a un precio muy por encima del que se puede conseguir por la venta de PET reciclado original, y a veces incluso a un precio que sobrepasa el del compuesto virgen. ⁽³⁸⁾

Estas mejoras implican normalmente composiciones de PET recuperado con aditivos que lo hacen más procesable o refuerzos añadidos para mejorar sus propiedades físicas; o incluso la producción de extruidos o partes acabadas a partir de resina recuperada.

Envipco Plastics, Nyconn Industries, Pure Teach Industries Research, St Jude Polymer, Star Plastics y Wellman Inc. utilizan sus propios productos acabados con valor añadido, principalmente relleno de fibras y bridas para bandejas de carga.

M.A. Industries produce los compuestos Mafoh a partir de PET reciclado que está utilizando para aplicaciones en forma de láminas, fibras, películas o piezas moldeadas por soplado.

También produce los compuestos Marmex de poliéster moldeables por inyección. Estos incluyen materiales rellenos y reforzados recomendados para aplicaciones que requieran un impacto mejorado o resistencia a altas temperaturas, resistencia química y durabilidad.

MRC Polymers produce una resina modificada moldeable por inyección llamada Stanuloy. Esta resina proporciona un alto impacto y procesabilidad. Presenta buenas propiedades mecánicas y se utiliza como un plástico de aplicaciones múltiples.

Los usos del PET son: ^{(8), (17), (15)}

- El PET reciclado con alto valor es usado comercialmente en mezclas con PBT o policarbonatos. Los productos fabricados se destinan principalmente a la industria automotriz, conexiones, y componentes eléctricos, partes de bombas y corazas.
- Empresas como Reko proporciona un recuperado de alto grado para reutilizar en envases, piezas de automóvil y filmes.
- Coca-Cola y Pepsi/Seven Up están utilizando PET reciclado para botellas en Alemania y Holanda. Actualmente es posible introducir una capa de PET reciclado entre dos capas de PET virgen lo que permite su uso en la producción de envases para alimentos y bebidas.
- Eastman Chemical Co. ha desarrollado una resina PET, 9980R, conteniendo 25% de PET reciclado.
- Hoechst Celanese Corp. está produciendo una resina PET con contenido del 25% de PET reciclado, para Coca-Cola Co. que está usando en envases de su refresco clásico.

- Ultra Pac, Inc. está produciendo una línea de empaque hecho de PET reciclado. El plástico reciclado es utilizado para producir contenedores para frutas y vegetales frescos.
- Usado con otros materiales como la fibra de vidrio, es materia prima para procesos de inyección-moldeo.
- PET reciclado y moldeado por inyección está siendo utilizado para la fabricación de sumideros, baldosas y plataformas en Japón y Alemania.
- Se utiliza en la recuperación de polioles mediante la hidrólisis del PET reciclado.
- Se utiliza en la fabricación de tapas base para botellas de bebidas carbónicas eliminando el uso de adhesivo que une la tapa base con la botella.
- Reforzado con fibra de vidrio es utilizado como componente estructural por la empresa automotriz Chrysler en paneles de apertura, tableros y protectores de faros.
- Reforzado con el Finaprene, que es un estireno-butadieno, es utilizado como sustituto del ABS.
- Reforzado con polvo de mármol es utilizado para producir materiales para lavabos, tinas, regaderas, baños, etc.
- Obtención de polioles de alta calidad para usarse en aislantes térmicos a base de espuma rígida de poliuretano.

En la Tabla 4.14 se muestran los usos del PET reciclado con alto valor.

Tabla 4.14

USOS DEL PET RECICLADO CON ALTO VALOR	
Industrial	Plásticos de ingeniería Botellas de uso alimenticio Procesos para obtener polioles Rellenos de fibras Bridas para bandejas de carga Láminas, partes de automóvil Componentes eléctricos Procesos de inyección-moldeo
Ing. Civil	Espumas de poliuretano
Varios	Lavabos Baños Regaderas Tinas

CAPÍTULO 5

TECNOLOGÍAS PARA RECICLAR PET

5.1 Introducción.

Las empresas de reciclado han reaccionado al posible beneficio de reutilizar materiales así como a la cada vez más severa legislación antidesperdicios por lo que han desarrollado diversas tecnologías para reducir y aprovechar los desperdicios que se generan.

Las botellas de PET están sujetas a una legislación cada vez más estricta. Sin embargo, es también objeto de respuestas avanzadas por parte de la industria.

La mayoría de los procesos comerciales de recuperación de botellas de PET han sido desarrollados por las mismas compañías que los usan o son adaptaciones de procesos más antiguos desarrollados por DuPont y Goodyear. Las nuevas mejoras en tecnología de reciclado entran en la categoría de secretos industriales. Sin embargo, parecen incluir alguna variante de la operación clásica de reciclado de botellas que forma parte del proceso del Centro de Investigación de Reciclado de Plásticos en la Universidad de Rutgers en Piscataway, NJ.

Para garantizar una mayor rentabilidad en el regranulado para termoplásticos es importante que los desperdicios estén lo más limpios posible.

5.2 Proceso general de reciclado de polietileno tereftalato.

La mayoría de los procesos comerciales para reciclar botellas de PET que se han desarrollado consisten primordialmente de las siguientes etapas:

- 1) Molienda
- 2) Lavado
- 3) Separación

4) Compactación

5) Pelletizado

6) Modificación con aditivos

Los reprocesadores de botellas de PET recomiendan que estas estén completas, para poder llevar a cabo la separación por colores antes del granceado. Esto permite que los productos obtenidos del reciclado sean más puros, además de que facilitan el proceso de separación.

5.3 Tecnologías para reciclar PET.

Existen diversas tecnologías para reciclar las botellas de PET, las cuales, permiten reincorporar los desperdicios a un ciclo productivo.

Entre estas podemos mencionar las siguientes:

- Proceso CPRR
- Proceso M.A. Industries
- Proceso Carpo Inc.
- Proceso Vía Molienda Criogénica
- Proceso Lummus
- Proceso John Brown
- Proceso ARC
- Proceso de reganulado
- Proceso de modificación con aditivos
- Proceso Goodyear
- Proceso Recot-PET
- Proceso Smorgon Consolidated.

5.3.1 Proceso CPRR

Esta tecnología fue desarrollada por el Centro de Investigación en Reciclado de Plásticos (Center for Plastics Recycling Research, CPRR) a finales de los 80's en la Universidad de Rutgers en Piscataway, NJ, con una capacidad estimada en 2300 toneladas anuales.⁽¹⁶⁾

Este proceso debe conseguir la separación de los materiales de las botellas después de la trituración y granceado a partir de las mezclas heterogéneas de los componentes de la botella.

Las compañías que proporcionan el PET con el fin de reducir costos en contenedores y transporte reducen el volumen de los desperdicios. Estos dan el producto molido con los soportes base.

Para recuperar el PET debe realizarse como primera etapa la adecuación del tamaño de partícula del material molido para asegurar su perfecto recorrido por la planta del proceso de reciclado. Estos fragmentos tienen escasa área superficial y de apenas 0.5 cm de tamaño medio.

Después de la granulación la mezcla seca se alimenta a un sistema de clasificación por ciclón, eliminándose así la mayor parte de los finos y el papel de las etiquetas.

Tras la separación por aire, los metales y los fragmentos de botellas pasan a un tanque de lavado mediante un disolvente acuoso a 80°C, donde se disuelven los adhesivos y materias adicionales que no fueron eliminadas en la etapa previa. Después el material es sometido a un ciclo de lavado intensivo que purifica y limpia al material. El agua de lavado se recupera, filtra y recicla.

El polietileno de alta densidad del soporte base se separa del resto por flotación en agua aprovechando la diferencia de densidad que existe entre el PET y el polietileno. Al ser menos denso que el agua, el HDPE flota, mientras que la mayor densidad del PET y del aluminio hace que permanezcan en el fondo de la cámara de flotación.

La separación se completa retirando mediante palas el HDPE de la superficie y la mezcla de PET y aluminio del fondo del tanque, dirigiendo ambas fracciones a distintos transportadores de salida. Cada fracción se centrifuga y se introduce en tolvas desecadoras hasta la eliminación total del agua.

El HDPE se empaqueta como producto terminado.

El PET y el aluminio pasan a un separador electrostático, en donde son extendidos uniformemente en un tambor metálico que gira y cargados a su paso bajo un electrodo de alto voltaje. Los gránulos de PET, que son malos conductores, mantienen la carga y se adhieren al tambor rotatorio. El aluminio, que es un buen conductor, pierde rápidamente la carga y cae en un recipiente colector situado debajo del tambor, mientras este gira sobre aquel. Los fragmentos de PET son retirados de este a un contenedor y empaquetados para su venta o almacenamiento.

Las empresas que desarrollan el diseño del proceso CPRR son:

- Luminus Development Corp.
- Procedyne Corp.

Para estas empresas el proceso es muy bueno y ha sido lo bastante probado como para continuar utilizándolo y hacer mejoras.

Las estimaciones en abril de 1990 fijaban las necesidades de inversión del proceso entre 1.5 y 2 millones de dólares.

5.3.2 Proceso M.A. Industries

Al inicio de la década de los 90's M.A. Industries Inc. desarrolló el sistema 74I para la recuperación de botellas de PET post-consumidor. ⁽⁴⁾

La capacidad de producción de este sistema es de 8000 toneladas al año y está diseñado para operar con gran eficiencia y libre de fallas.

El proceso consiste en lo siguiente:

Las pacas de botellas de PET verde y claro se envían a un sistema de alimentación. Aquí las pacas son desatadas y transportadas a través de una banda donde se efectúa la clasificación manual de las botellas.

Las botellas son alimentadas a un granulador para reducirlas a escamas de 3/8 de pulgada.

Estas escamas o fragmentos son transportadas a un sistema de clasificación por aire, para eliminarle los rótulos y los finos. Posteriormente son introducidas a un tanque de clasificación donde por flotación y asentamiento, se separan las escamas de PET de las escamas pesadas de HDPE contaminantes.

Las escamas de PET, son enviadas a un secador centrifugo para eliminarles parte del líquido que se llevaron de la etapa de flotación. Después, por gravedad, las escamas son descargadas a un clasificador intermedio eliminándose todos los contaminantes junto con el líquido de lavado intermedio.

Las escamas se vuelven a lavar con el fin de eliminar todos los contaminantes remanentes.

Después de pasar por la etapa de lavado, las escamas son enviadas a las mallas para eliminarles el líquido de lavado y por último son secadas.

Como paso final se separa el aluminio de las escamas de PET. Estas van a un contenedor en donde son empaquetadas para su venta.

Este proceso se muestra en la figura 5.1.

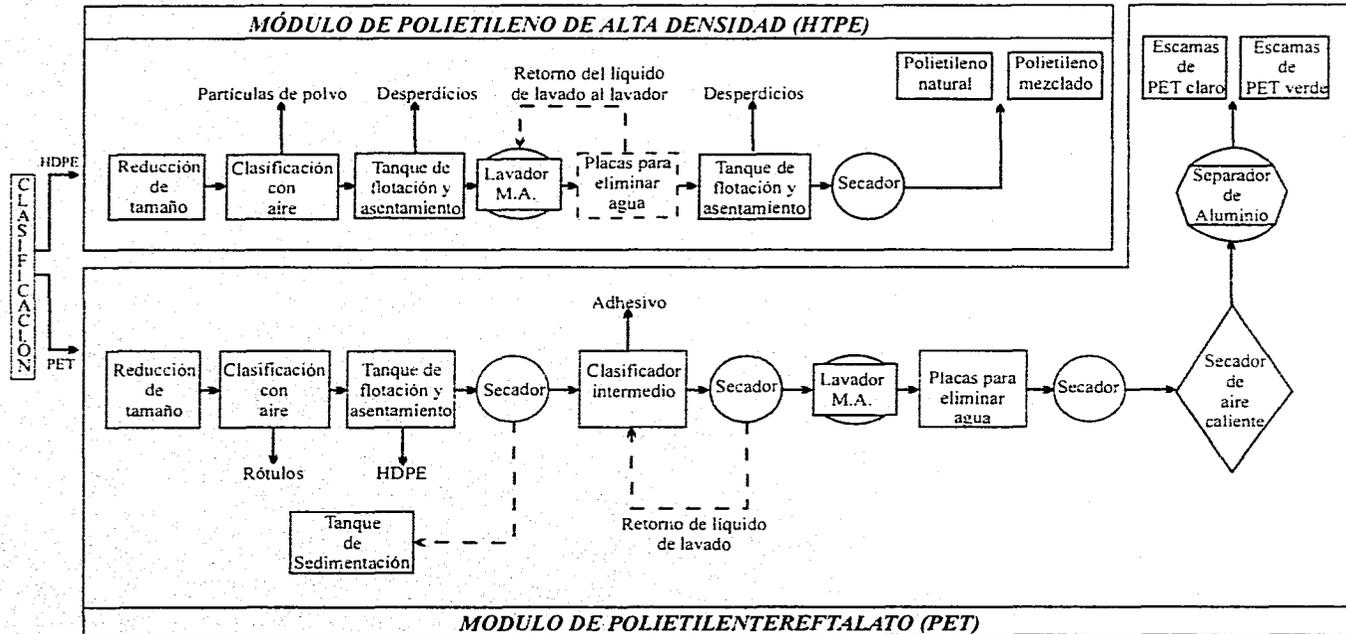
5.3.3 Proceso Carpeo Inc.

Este proceso es muy similar al M.A. Industries Inc. ⁽⁴⁾

El proceso consiste en despedazar las botellas de PET por medio de un granulador hasta reducirlas a partículas de menos de 3/8 de pulgada.

Enseguida los pedazos son tratados para eliminarles el papel, los adhesivos y las bases de las botellas.

Figura 5.1 SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE DESECHOS PLÁSTICOS POST-CONSUMIDOR M.A. INDUSTRIES



FUENTE: (4)

El contenido de aluminio inicial permanece mezclado con el plástico PET después de haber eliminado los demás componentes de las botellas; esta mezcla es secada y enseguida se pasa a la etapa de lavado electrostático donde se elimina el 99% del contenido de aluminio.

Los fragmentos de PET limpios con un contenido de aluminio de 50 a 100 ppm se hacen pasar a través de un detector/separador de metales para reducir el contenido de aluminio a menos de 5 ppm.

El PET pasa a un contenedor en donde son empaquetados para su venta.

Este proceso se distingue por su gran eficiencia de separación, y por proporcionar un producto de gránulos de PET con un contenido de aluminio contaminante menor a 5 ppm.

5.3.4. Proceso vía Molienda Criogénica.

El proceso de molienda criogénica para residuos plásticos es un novedoso sistema recientemente desarrollado para alcanzar tamaños de partícula ideales para una posterior pelletización y mejor incorporación de aditivos. ⁽¹⁶⁾

Se utiliza un compuesto refrigerante llamado criogénico, el cual, es un gas licuado que presenta una temperatura de ebullición inferior a -73°C .

El gas criogénico de más uso es el nitrógeno, ya que este contacta con el material de alimentación inmediatamente y a -78°C proporciona una excelente transferencia de calor.

De acuerdo al tipo de material se requiere de diferentes cantidades de nitrógeno líquido y esto proporciona diferentes tamaños de partícula del polvo obtenido.

En la tabla 5.1 se muestran las especificaciones para varios plásticos:

Tabla 5.1

ESPECIFICACIONES PARA EL PROCESO DE MOLIENDA CRIOGENICA				
<i>Material</i>	<i>Consumo* N₂ (liq), (Kg)</i>	<i>Consumo* CO₂(Kg)</i>	<i>Temperatura de Fragilización, °C</i>	<i>Tamaño de partícula (MESH)</i>
LDPE	2.5-3.5	0.75-1.05	-56	80
HDPE	1.0	0.3	-45	40
PP	1.2	0.36	-51	40
ABS	0.5	0.15	-65	20
PVC(flexible)	0.7	0.21	-45	40
PA	2.0	0.6	-73	80
PC	1.5	0.45	-101	40
PET	1.0	0.3	-60	40

FUENTE: IMPI (16)

*Por cada Kg. de material.

El proceso consiste de las siguientes etapas:

- Cortado del material
- Lavado
- Secado
- Compactado
- Preenfriamiento
- Molido del material

El cortado de botellas de PET se lleva a cabo en una cortadora rotatoria. Las botellas se trituran hasta un tamaño de partícula de 3/8 de pulgada.

Enseguida se procede al lavado de las escamas de PET en donde se separan los fragmentos de polietileno así como otros contaminantes.

Se procede a secar los fragmentos de PET y aluminio. Después se separan los fragmentos de aluminio de los de PET a menos de 5 ppm.

La etapa de compactación se lleva a cabo con el fin de evitar atascamientos en el transportador del material.

Los fragmentos de PET son preenfriados en el transportador con nitrógeno líquido que se inyecta directamente con la finalidad de tener una mayor eficiencia en el enfriamiento.

Luego de realizar el pre-enfriamiento se pasa el material al molino para ser granulado. Para prevenir que los fragmentos de PET sean degradados por el calor generado al ser molidos, se realiza una inyección adicional de nitrógeno líquido.

La descarga se lleva a cabo por una tolva que permite el empaque de PET reciclado bajo un control estricto y automático.

Este proceso se muestra en la figura 5.2.

A nivel mundial las empresas que utilizan los procesos de reciclado utilizando la molienda criogénica son:

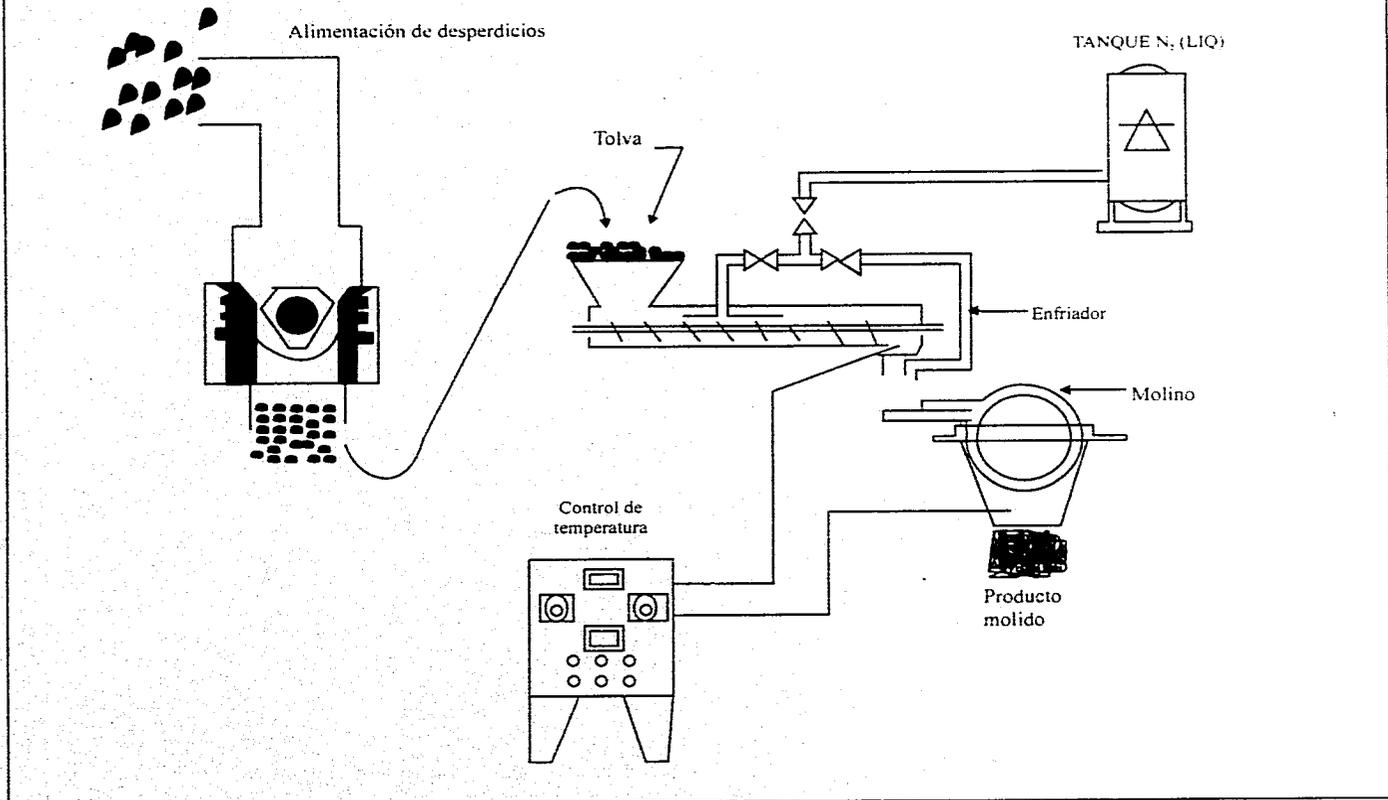
- Pallmann Pulverizers Co, Inc.
- Wedco, Inc.
- Air Products and Chemicals, Inc.

El proceso puede reciclar más de 2500 toneladas al año.

Es importante hacer la aclaración que existe además la molienda en frío la cual difiere de la molienda criogénica en que no se desarrollan temperaturas tan bajas con un menor consumo de nitrógeno.

Figura 5.2

PROCESO VÍA MOLIENDA CRIOGÉNICA



FUENTE: Seminario la Era del Plástico 1991, IMPI (16)

5.3.5 Proceso Lummus.

Este proceso fue desarrollado por la empresa Lummus Development Corp. en 1990 y es utilizado para obtener PET de excelente calidad a partir de botellas de PET. ⁽⁴⁾

El proceso inicia con una etapa de trituración en donde se utiliza un triturador diseñado para trabajo pesado y de gran capacidad de producción de fragmentos de PET. Las botellas se reducen a escamas de 3/8 de pulgada.

Los fragmentos de PET pasan a la primera etapa de limpieza separando cerca del 95% de los rótulos. De aquí pasan a la segunda etapa de limpieza. En esta etapa se separan las bases que forman parte de las botellas ya que son de polietileno. La separación de polietileno es del 98%.

Los fragmentos de PET pasan a la etapa de lavado, la que permite separar el polietileno y rótulos remanentes.

En un separador centrífugo se elimina el exceso de agua y detergente de las escamas de PET. Enseguida pasan al hidrociclón en donde se enjuagan los fragmentos de PET y se separan los últimos fragmentos existentes de polietileno y rótulos.

Se procede a secar el material hasta una humedad no mayor del 1%.

Después es separado el aluminio contaminante del producto hasta una concentración no mayor a las 100 ppm.

El material pasa a una segunda etapa de separación de aluminio, reduciendo su contenido a menos de 50 ppm.

El material pasa a una segunda etapa de secado en donde los fragmentos de PET se secan a una temperatura de condensación de -40 °F

De aquí los fragmentos de PET pasan a la etapa de extrusión para ser fundidos, extruidos y enfriados en un baño de agua.

Enseguida el material extruido es pelletizado y cribado hasta separar los gránulos de tamaño anormal logrando de esta forma un producto de tamaño uniforme y de gran calidad. Como etapa final se utiliza un cristalizador para reorientar las moléculas del plástico PET.

Finalmente, los gránulos que salen del cristalizador, están listos para ser vendidos a los fabricantes de productos de plástico.

En la tabla 5.2 se muestran las especificaciones del producto obtenido.

<i>Tabla 5.2</i>		
ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO OBTENIDO		
	<i>Escamas</i>	<i>Gránulos</i>
Contenido de humedad no mayor a	0.5%	0.5%
Aluminio contaminante no mayor a	50 ppm	10 ppm
Adhesivo contaminante no mayor a	100 ppm	100 ppm
Poliétileno contaminante no mayor a	50 ppm	50 ppm
Viscosidad intrínseca	0.70	0.67

FUENTE : (4)

La figura 5.3 muestra el proceso descrito.

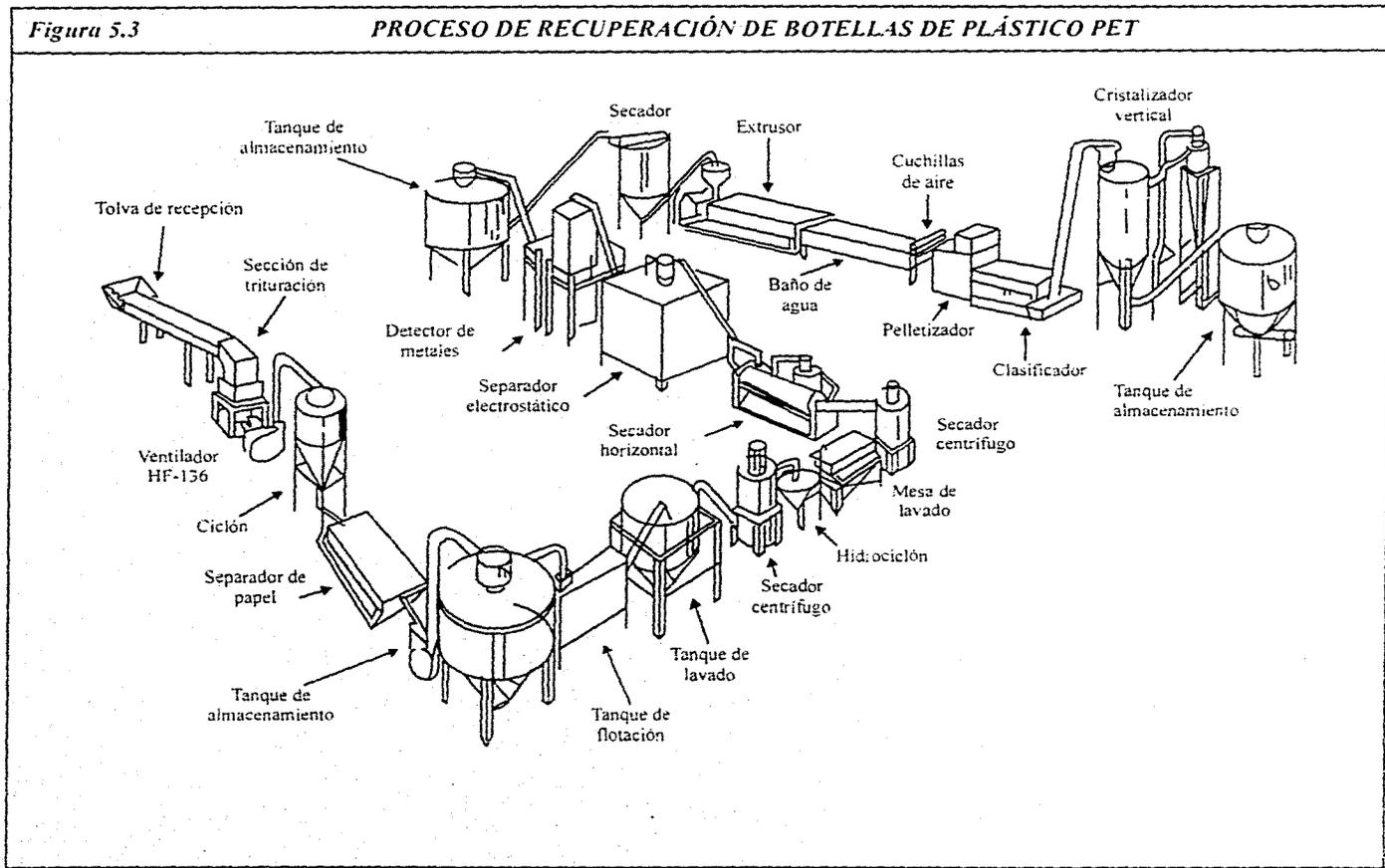
5.3.6 Proceso John Brown.

Los sistemas John Brown están diseñados para reciclar botellas de plástico PET. La capacidad de producción va de 4000 a 20000 toneladas al año.

El proceso es el siguiente: ⁽⁴⁾

Figura 5.3

PROCESO DE RECUPERACIÓN DE BOTELLAS DE PLÁSTICO PET



FUENTE: (4)

Las pacas de botellas se pasan a través de una abridora de balas, donde estas son desatadas. Las botellas ya sueltas, son transportadas por medio de un transportador vibratorio; la vibración produce la eliminación de todos los contaminantes no plásticos.

Las botellas continúan a lo largo de un transportador y se les clasifica por color en forma manual; en el transportador, está instalada una polea magnética que atrapa todos los contaminantes metálicos antes de que las botellas entren al granulador.

La mezcla de fragmentos de plástico obtenida en el granulador es transportada con aire al Elutriador donde se efectúa la separación de los rótulos y las etiquetas de plástico ligeras.

Los fragmentos de plástico pasan al sistema de lavado en donde se elimina todo el adhesivo residual y los rótulos contaminantes. En esta etapa la mezcla de escamas de plástico PET, HDPE y aluminio quedan limpios.

El proceso continúa con la separación de PET, HDPE y aluminio. Para ello se utiliza un hidrociclón. Después de separar las escamas, estas pasan a un secador centrífugo para ser secadas en forma independiente.

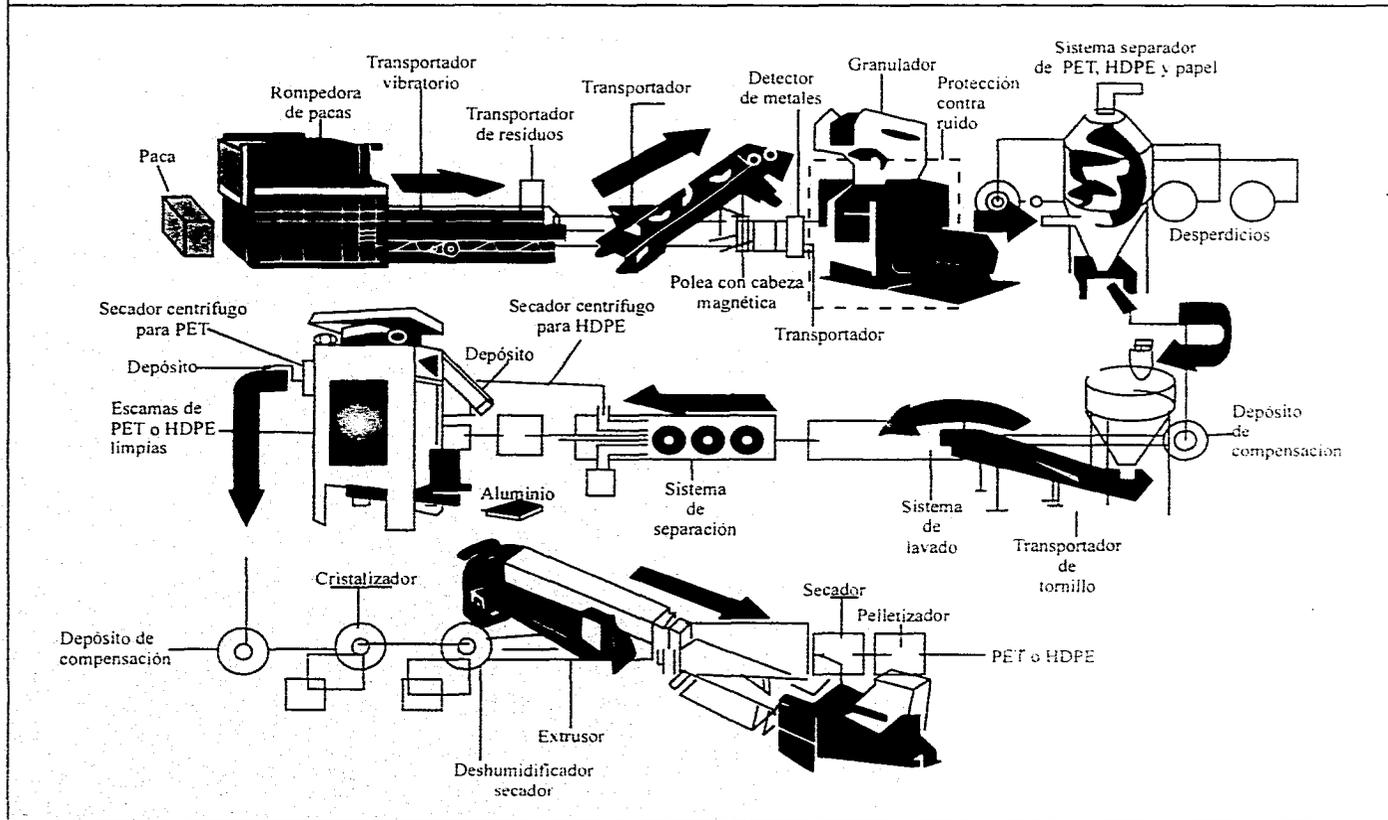
Para hacer gránulos a partir de las escamas, el plástico tiene que recuperar su orientación molecular, la cual fue alterada durante el proceso por lo que se utiliza un cristalizador que restablece la orientación molecular y la fuerza dimensional de la estructura polimérica.

El material pasa a un deshumidificador/secador para preparar el material que se va a procesar en el extrusor. El polímero es extruido a través de una boquilla en hilos que pasan por un baño de agua en donde se enfrían y se dirigen hacia el pelletizador donde los hilos son cortados en gránulos.

Después de obtener los gránulos, estos están listos para ser vendidos a los procesadores y transformadores del plástico.

Este proceso se muestra en la figura 5.4.

Figura 5.4 SISTEMA JOHN BROWN EMPLEADO PARA RECICLAR BOTELLAS DE PLÁSTICO PET



FUENTE: (4)

5.3.7 Proceso ARC.

El proceso de la empresa Automated Recycling Corporation (ARC) representa el último avance en sistemas para la recuperación de botellas de plástico PET, ya que opera avanzando en línea recta, y permite obtener un producto de máxima pureza. ⁽⁴⁾

Este sistema es de fácil mantenimiento y se utiliza en estaciones o depósitos, donde las botellas se encuentran sueltas.

Se recibe una corriente de botellas de diferentes tamaños y colores, las cuales son transportadas neumáticamente y al mismo tiempo son controladas del cuello.

El primer paso en el proceso es la eliminación de las tapas de las botellas y el apisonamiento de los anillos que forman parte del cuello. Después son inspeccionadas para garantizar la eliminación completa de las tapas.

Las botellas pasan a la sección central del procesador, donde se les eliminan los rótulos, las bases y el adhesivo; y se procede a lavarlas por dentro y por fuera.

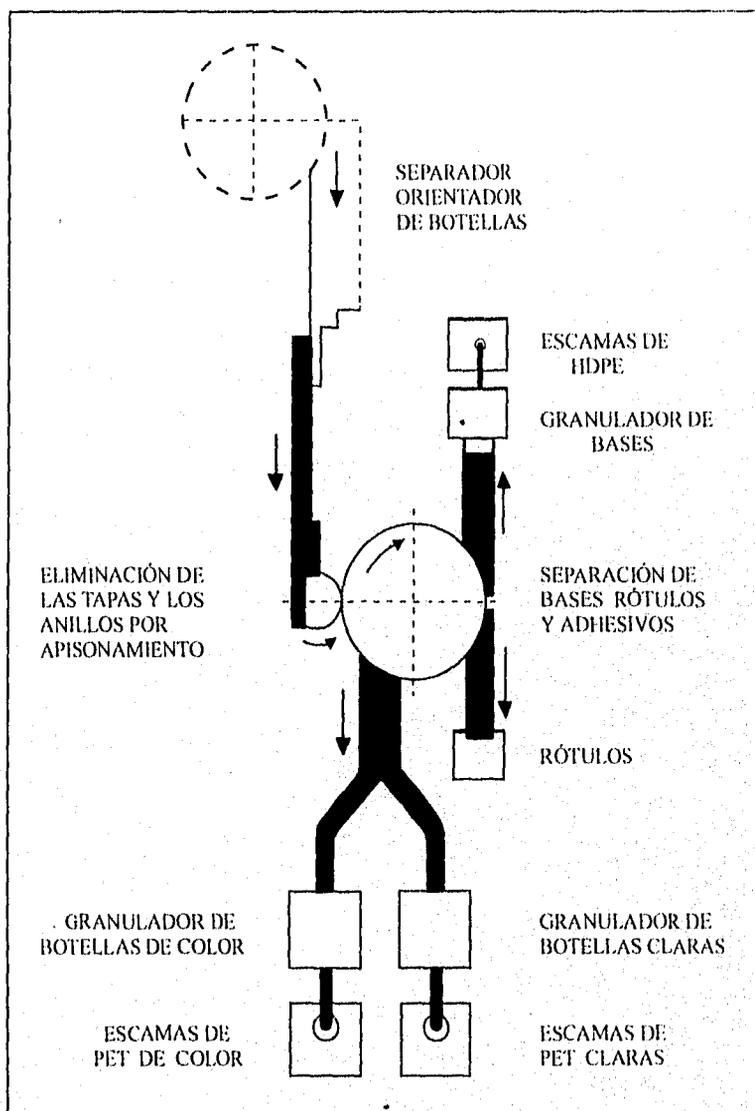
El procesador ópticamente inspecciona las botellas y descarga los contenedores de color en un granulador, los claros en otro granulador y las bases a su granulador correspondiente.

Cada uno de los granuladores, descarga a su respectivo separador de ciclón. Debajo de cada ciclón hay una sección de transporte que cuenta con una plataforma y un recipiente para recibir las escamas limpias y secas como producto terminado.

El proceso se muestra en la figura 5.5.

Este proceso utiliza tecnologías avanzadas lo que permite obtener productos puros. Entre sus ventajas sobresalen su fácil operación, el bajo costo de mantenimiento además de que puede utilizarse en los depósitos de recolección de botellas lo que permite reducir costos de compactación, embalado y transporte. El costo de estos sistemas es de un millón de dólares.

Figura 5.5 SISTEMA ARC 7200 EMPLEADO PARA RECICLAR BOTELLAS DE PLÁSTICO PET



FUENTE: (4)

5.3.8 Proceso de regranulado. ⁽¹⁶⁾

El proceso comienza con el granulado de las botellas de PET en tamaños de aproximadamente 3/8 de pulgada.

La siguiente etapa es la limpieza de los fragmentos de PET, HDPE y aluminio. Esto se hace en dos fases. En la primera fase se separa la suciedad poco adherida, así como etiquetas de papel y adhesivos.

Los fragmentos pasan a un hidrociclón para separar al PET, HDPE y aluminio y de aquí pasan a la segunda etapa de secado.

En esta etapa se utiliza un secador centrífugo para ser secadas en forma independiente.

El material pasa a un extrusor en donde es extruido a través de una boquilla en hilos que pasan por un baño de agua siendo enfriados y se dirigen hacia el pelletizador donde los hilos son cortados en gránulos.

Este proceso es desarrollado por varias empresas especializadas en líneas completas en reciclado de plásticos. Algunas son:

- Sikoplast (Alemana)
- Sorema (Italiana)
- Erema (Austriaca)
- Weiss GMBH (Alemana)
- Prealpina (Italiana)
- FBM (Italiana)
- Miotto (Brasileña)
- Tecnova (Italiana)

5.3.9 Proceso de modificación con aditivos.

Con el fin de obtener un producto reciclado de mejores propiedades que permitan elaborar productos con un alto valor agregado es necesario el uso de aditivos. En este sentido cargas, refuerzos y modificadores de impacto están siendo empleados con mayor frecuencia. ^{(16), (35)}

Entre los aditivos utilizados para reformular al PET reciclado tenemos:

- Cargas
- Fibra de vidrio
- Agentes de acoplamiento
- Antioxidantes
- Estabilizadores de luz U.V.
- Modificadores de impacto
- Agentes nucleantes
- Agentes desmoldantes
- Retardantes a la flama

Empresas que están desarrollando PET reciclado de alto valor agregado podemos mencionar:

- MRC Polymers Inc.
- M.A. Polymers
- Wellman Inc.
- Allied Signal

5.3.10 Proceso Goodyear.

Entre los desarrollos más significativos dentro del reciclado de PET se encuentra, sin duda, el realizado por la división de poliésteres de Goodyear. Se trata de un proceso de reciclado químico. ⁽³⁶⁾

Este se emplea para despolimerizar escamas o recortes de PET y obtener los monómeros de partida, etilenglicol y ácido tereftálico, lo que significaría que los residuos de PET grado botella pueden volverse a utilizar para el mismo uso.

El proceso se encuentra a nivel planta piloto.

De acuerdo con Goodyear las temperaturas y otras condiciones que se crean en el reactor son suficientemente agresivas como para asegurar la destrucción de contaminantes, lo que permitiría su uso en alimentación.

5.3.11 Proceso Recot-PET.

Este proceso fue implementado por Jaques-Raphael Benzaria con el apoyo del Instituto Francés del Petróleo (IFP) y está basado en el reciclado químico de la resina. ⁽²³⁾

El proceso Recot-PET, desorganiza la estructura del polímero con sosa y permite volver a utilizarlo como materia virgen. La saponificación separa ácido tereftálico (TPA) y glicol, los componentes básicos del PET, así como calor, el cual permite evaporar el glicol para recuperarlo. El TPA se recupera con H_2SO_4 .

El tereftalato de sodio se purifica por absorción cromatográfica en bucle cerrado según el proceso Tec-Flow.

Una instalación piloto del IFP, cerca de Lyon, experimenta parte del procedimiento: la purificación de la sal obtenida después de la saponificación. La saponificación propiamente se ha probado en una instalación existente de saponificación en continuo de 300 Kg/hr.

Las pruebas podrían desembocar en la construcción de una unidad industrial con una capacidad de 30000 ton/año, cerca de Nancy, para tratar las botellas de bebidas gaseosas.

La inversión requerida es de 20 millones de dólares.

5.3.12 Proceso Smorgon Consolidated.

En la última y reciente conferencia sobre reciclado llevado a cabo en Davos, Suiza en 1994, se presentó un interesante proceso desarrollado en Australia sobre reciclado de PET, recuperado de mezclas sin clasificar y sin lavar, aceptado por la FDA para grado de embalaje de alimentos. ⁽²⁷⁾

El proceso ha sido desarrollado por Smorgon Consolidated, uno de los productores líderes australianos de botellas de PET, y comercializado en todo el mundo a través de una nueva empresa denominada Innovations in PET.

La primera etapa del proceso es el lavado de las botellas trituradas con agua caliente limpia y la separación de las etiquetas de papel y las poliolefinas utilizando un hidrociclón con fregadero/flotación. Las escamas o trozos lavados se secan y pasan a través de una cámara de reflujo continua en la que vapor de etanol hirviendo (197°C) despolimeriza parcialmente el PET hasta llevarle a un estado frágil de bajo peso molecular.

Las escamas o trozos calientes pasan a continuación entre dos rodillos de acceso que trituran el material transformándolo en casi polvo, que se hidroliza a 200°C dando lugar a ácido tereftálico.

El proceso requiere sólo agua purificada, etanol y energía térmica y según los inventores, es fácilmente automatizable. La pérdida de ácido tereftálico es menor del 5%.

Actualmente se está negociando la venta de una planta a un cliente europeo, estimándose que el costo de una planta integral de 5000 ton/año es de alrededor de 5 millones de dólares, con un costo de conversión de 360 dólares por tonelada equivalente de PET.

Para una planta de 10000 ton/año el costo asciende a 8 millones de dólares y la tonelada equivalente de PET a 265 dólares.

El costo de la compra del material de partida reciclable no se incluye en estos cálculos.

Hasta la fecha todo el trabajo se ha realizado en una planta piloto de 40 Kg/hr localizada en la factoría de producción de botellas de Smorgon en Melbourne.

La planta piloto ha producido 30 toneladas de material. Esta compañía produce unas 13000 toneladas de botellas de PET por año, lo que significa el 43% del mercado total australiano. Actualmente la compañía construye una unidad de reciclado siguiendo el proceso descrito de 3500 ton/año.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

La problemática que representan los desechos sólidos ha sido generada por todos los sectores de la sociedad ya que ninguno se ha preocupado por plantear sistemas adecuados para su manejo y disposición. Esto ha provocado que se generen problemas de contaminación que día a día se agravan más.

La generación de desperdicios está en un constante crecimiento por lo que en países como E.U., Japón, Alemania, Italia entre otros, desde hace años han implantado soluciones que ayudan a un mejor manejo de sus residuos.

Para administrar de mejor forma el manejo de los desechos sólidos se han implementado programas que dan como resultado la separación de los componentes de los desechos que se generan en la sociedad.

Se ha buscado la disminución de los desperdicios desde su origen, es decir, desde su fabricación hasta su uso final. Se ha desarrollado una legislación más severa, se ha fomentado la reutilización de materiales como papel, cartón, aluminio, acero, vidrio y plásticos.

El reciclaje es una excelente alternativa debido a que muchos materiales poseen valor y pueden ser utilizados de nueva cuenta.

Uno de los sectores que más contribuyen con la generación de desperdicios es el de los envases y embalajes por lo que se han planteado soluciones para su tratamiento y disposición final.

Existen diversos métodos para su tratamiento pero no han ofrecido soluciones adecuadas. Sin embargo se ha fomentado el reciclado ya que presenta la ventaja de reincorporar estos materiales a un ciclo productivo obteniendo buenos ingresos y a la vez se disminuyen los altos costos que implica el manejo de residuos.

Los plásticos son rechazados por la sociedad debido a que son los que más sobresalen en los desperdicios. Sin embargo sólo representan el 9% de los desechos generados aunque en los últimos años esta composición va en aumento por los diversos usos y aplicaciones que estos tienen.

Dentro de los desechos plásticos sobresalen el HDPE, LDPE, PET, PP, PVC y PS entre otros.

El polietilenterefalato es un plástico de alto valor que por sus propiedades es utilizado en varios sectores industriales, permitiéndole competir con otros materiales como vidrio, metales e incluso con otros plásticos.

Uno de sus principales usos es en la industria del envase en donde es utilizado para bebidas carbonatadas, alimentos, cosméticos, cervezas, agua y vinos.

El PET grado botella se obtiene de la resina virgen por lo que es importante recuperar los envases que día a día constituyen una generación considerable de desperdicios. Además este plástico es un material nuevo en comparación con los otros plásticos y a pesar de eso ha penetrado en forma importante en el mercado.

La recuperación de este plástico ha permitido que sea reincorporado a nuevos mercados e incluso se utiliza en la elaboración de nuevos envases.

El hecho que las botellas se obtengan de la resina virgen permiten que al ser recuperadas se les puedan adicionar aditivos para que sean utilizadas en nuevos mercados con alto valor.

Por otra parte se han desarrollado una infinidad de tecnologías que permiten obtener material recuperado de alta calidad, incrementando así su vida útil.

Los usos y aplicaciones de este material son variados por lo que el mercado presenta grandes oportunidades para su desarrollo.

Sin embargo y a pesar de todas las ventajas que se presentan al recuperar este material y reincorporarlo a un ciclo productivo en México su recuperación es mínima. Esta recuperación se da en

las empresas que fabrican PET reincorporando los desperdicios para el mismo uso u otras aplicaciones de acuerdo a sus necesidades.

Pero esto es sólo una pequeña solución al problema que generan las botellas de PET ya que día a día se tiran una gran cantidad de envases fabricados con este material que van desde las de ½ litro hasta las de 3 litros.

Esto provoca que se desperdicie un material que podría reutilizarse y crear así nuevos mercados, ya que las tecnologías que se utilizan para su recuperación no son muy caras y permitirían ingresos muy importantes.

También es de resaltar que no existe una legislación que obligue a pensar en alternativas de solución.

Otro factor a considerar es que no existe una cultura de separación de desperdicios generados y mucho menos de reciclar materiales para usos nuevos.

El reciclado de PET es una muy buena alternativa para la creación de nuevos mercados que está en espera de ser aprovechado por empresarios que tengan visión y que estén dispuestos a invertir en este mercado.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El reciclado produce gran cantidad de ventajas entre las cuales están la disminución de los volúmenes de desechos sólidos que requieren disposición y la reducción del gasto de recursos naturales y energía.

Sin embargo esto se ha dificultado en los países en desarrollo como México, debido a que los habitantes no están motivados para separar los desechos orgánicos de los inorgánicos, lo cual daría como resultado un rápido procesamiento para el reciclado.

Debido a esto es importante establecer un programa integral para el manejo y la disposición de los desechos sólidos, lo que permitiría el manejo de estos con seguridad y eficiencia teniendo así un impacto mínimo sobre la salud y el medio ambiente.

Para lograrlo es importante desincorporar los servicios de limpia ya que estos sólo son centros de costo, ineficiencia y corrupción.

Otro paso a seguir es la elaboración de una legislación más acorde con la problemática existente. Esta debe estar enfocada a todos los sectores de la sociedad y debe presentar opciones para un mejor manejo y disposición final de los desechos que se generan.

El gobierno debe promover acciones encaminadas a reciclar materiales como los plásticos, metales, vidrio, papel, etc.

Debe existir una cercana colaboración entre las secretarías del gobierno, fabricantes de materias primas, transformadores, escuelas y público en general que estructuren un plan para reciclar los materiales que pueden ser reincorporados a un ciclo productivo.

Se debe enseñar y motivar a la sociedad mediante el uso de los medios educativos como cursos, estudios, investigaciones; medios de comunicación: radio, T.V. y medios impresos así como

medios publicitarios, sobre como manejar adecuadamente los residuos que generen enfocado hacia una separación de los mismos.

Un área que contribuye a la disminución de la problemática existente es el reciclado de plásticos ya que reduce el volumen en forma importante de los residuos generados y además es una gran oportunidad para crear negocios muy rentables.

Considero que uno de los materiales que se está desaprovechando es el PET debido a que hoy en día en nuestro país no se recupera por lo que es importante actuar lo más pronto posible para reincorporarlo a ciclos productivos, creando centros de acopio, así como empresas especializadas en su recuperación.

El PET grado botella es un material que por obtenerse de la resina virgen se puede decir que es puro, de ahí que permita la posibilidad de reciclarlo y adicionarle aditivos que mejoren sus propiedades lo que permitiría crear una infinidad de usos y aplicaciones con un alto valor en sectores como el industrial, construcción, automotriz, etc.

Cada día se desarrollan nuevas tecnologías lo que permite que se obtenga un producto competitivo por lo que sus usos y aplicaciones tienden a aumentar. Esto nos dá la pauta para asegurar la existencia de un mercado muy importante para el PET reciclado.

Sin embargo hasta que no se logre una separación de los residuos por los sectores de la sociedad, el abasto puede no estar asegurado debido principalmente a la forma en que estos se disponen, lo que complica su recuperación.

Si se logra crear una cultura en la sociedad para que separe sus residuos se podrá asegurar el abasto.

Otro aspecto importante es que el sector industrial del plástico implante de manera obligatoria el código de identificación de plásticos lo que permitiría una fácil separación de los desechos que se generen.

Esta medida puede asegurar el abasto de materiales plásticos lo más limpios posibles y de la misma especie facilitando así su reciclaje.

La industria del PET grado botella va en aumento por lo que es indispensable recuperar los desperdicios que genera ya que el ciclo de vida útil de su producto es muy corto.

Debido a esto es indispensable crear una tecnología que permita realizar la recuperación de botellas de PET que terminen siendo utilizadas en este sector. Si bien es cierto que se han desarrollado tecnologías que permiten cerrar el ciclo de la botella de PET, estas no han sido utilizadas a gran escala.

Considero que el sector del envase debería utilizar e incrementar el uso de materiales reciclados ya que es parte importante en este problema.

Algunas formas de hacerlo es incorporar material reciclado en la elaboración de sus productos, otras formas son efectuar donativos de camiones y/o contenedores para el acopio de estos materiales e incluso establecer contratos con el fin de adquirir cierta parte del material que sea recuperado.

Para concluir, otra ventaja que presenta el reciclado de PET y de los plásticos en general, es que las tecnologías que se han desarrollado con tal fin, son poco contaminantes, sencillas y sus costos no son altos.

El reciclado de PET en México está a la espera de gente que tenga una visión de los beneficios que se obtendrían y que sea capaz de incorporar este plástico a nuevos mercados, principalmente de alto valor, ya que a pesar de que el PET no ha sido tomado en cuenta para su recuperación en otros países representa un importante mercado que se está explotando y que genera ganancias muy altas para aquellas empresas que se han arriesgado a reciclar este material.

BIBLIOGRAFÍA

1. Hegewisch Rodríguez, Carlos; Vázquez Carrillo, Fernando. "Tecnología para la Producción de Resinas Termoplásticas de Alto Consumo". Tesis. UNAM, Facultad de Química, México, 1994.
2. Bautista Galindo, Fernando. "Alternativas en el Reciclaje de Envases de Vidrio y Plástico Empleados por la Industria Mexicana de Alimentos". Tesis. UNAM, Facultad de Química. México, 1993.
3. Cortés Gutiérrez, Humberto Gabriel; Rodríguez Cabrera, Gabriela. "Programa de Recolección y Reciclado de Plástico". Tesis. UNAM, Facultad de Química. México, 1993.
4. Rojas Galicia Francisco. "Situación Actual del Reciclado de Botellas de Plástico Polietilenterefalato (PET) en México". Trabajo Monográfico de Actualización. UNAM, Facultad de Química. México, 1993.
5. Ignacio Cruz Claudia ; Sánchez Rodríguez Sonia. "Anteproyecto para la Instalación de una Planta de PET (Polietilenterefalato), Grado Ingeniería en México". Tesis, UNAM, Facultad de Química, México, 1991.
6. Rodríguez Martínez, Ricardo. "Manufactura, Usos y Propiedades del Polietilenterefalato". Trabajo Monográfico de Actualización. UNAM, Facultad de Química. México, 1988.
7. Mitchell, A. Keith. "PET. Soaring Demand And Materials Substitutions Fuel a Boom". Modern Plastics , Special , Buyers' Guide , Issue & Encyclopedia 1994, pp. 83-85. Mc Graw Hill, USA 1994.
8. SPI/P3 - Sema Group "Recycling Statistics" Modern Plastics Special Buyers' Guide Issue & Encyclopedia 1993, pp 44-46, Mc Graw Hill, USA 1993.

9. Mcketta, John J. "Polyesters". Encyclopedia of Chemical Processing and Design. Vol 40, pp. 182-193, Ed. Marcel Dekker Inc, USA, 1992.
10. Montkowski, Maximilian. "Polyesters". Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Vol. A21 5^a Ed., pp. 227-249, Ed. Advisory Board, República de Alemania 1992.
11. H, Mark F. [ET. AL.] "Polyesters" Encyclopedia of Polymer Science and Engineering, Vol. 12 2^a Ed. pp. 16-28; 46-49, Ed. Wiley, New York 1988.
12. Bennet, Robert A. "Plastics Recycling: From Vision to Reality". Plastics Recycling Foundation. Center for Plastics Recycling Research, pp. 1-10, USA 1990.
13. Bennet, Robert A. "Market Research on Plastics Recycling". Technical Report #31st. Center for Plastics Recycling Research, pp. 1-8, USA 1989.
14. "Resinas Sintéticas, Anuario Estadístico de la Industria Química Mexicana". ANIQ. México 1995.
15. "Poliéster Termoplástico". Anuario Estadístico del Plástico. Instituto Mexicano del Plástico Industrial S.C. pp. 105-112, 247-254. México 1990.
16. "Seminario: La Era del Plástico". Instituto Mexicano del Plástico Industrial S.C. México, 1991.
17. Careaga, Juan Antonio. "Manejo y Reciclaje de los Residuos de Envases y Embalajes". Instituto Nacional de Ecología. Serie Monográfica No. 4. México, 1993.
18. F. Díaz, Luis [ET. AL.]. "Composting and Recycling Municipal Solid Waste". Ed. Lewis. USA, 1993.
19. Lund, Herbert F. "Recycling Handbook". Ed. Mc Graw Hill. USA, 1993.
20. T. Pfeffer, John. "Solid Waste Management Engineering". Ed. Prentice Hall. USA, 1992.
21. Arroyo, Miguel. "Reciclado de Plásticos". CIQA. México, 1991.

22. Noreen Curran. "US Demand for Recycled Plastics to Expand 13% Annually Through 1988". The Freedonia Group, Inc. 3 pp. Cleveland, Ohio, Enero 1995.
23. CEFRAPIF. "Plástico Termoformado en Materia Prima". Centro Francés de Prensa Industrial y Técnica. 3 pp. 1994.
24. Comisión Petroquímica Mexicana. "Plásticos de Ingeniería". SEMIP. México, 1989.
25. Seymour, R.B. "Wellman Expands PET Output in US, Europe". *Modern Plastics International*, 25 (7), 14, 1995.
26. Petrochemical Consultants International. "El PET en la Industria de los Envases". *Hules y Plásticos*, 3 (2), 15-22 y 27-35.1995.
27. Association of Plastics Manufacturers in Europe. "Perspectivas sobre el Reciclado de Plásticos. Consumo y Reciclado de Plásticos en Europa Occidental Durante el Periodo 1989-1991". *Revista de Plásticos Modernos*, (7), 47-53, 93, 1994.
28. Rodríguez, Mauricio. "La Importancia del Plástico en la Industria". *Horizonte Industrial*, I (11), 23, 1993.
29. Vergara Camarena, Javier. "El Reciclado es la Solución". *Hechos de Plástico*, 6, (11), 19-20, 1993.
30. Rowatt, R.J. "The Plastics Waste Problem". *Chemtech*, 23 (1), 56-60, 1993.
31. Howell, S. Garry. "A Ten Years Review of Plastics Recycling". *Journal of Hazardous Materials*, 29, 143-164, 1992.
32. Lodge, George C.; Rayport, Jeffrey F. "Knee-Deep and Rising: America's Recycling Crisis". *Harvard Business Review*, Sep-Oct, 128-139, 1991.
33. Kirkman, Angela; Kline, Charles H. "Recycling Plastics Today". *Chemtech*, 21 (10), 606-614, 1991.
34. Seymour, R.B. "Progreso en Reciclado de Residuos de Polímeros: Revisión" *Revista Plásticos Modernos*, 62 (9), 339-345, 1991.

35. Donald, Paul. "Reciclado Tecnologías". Revista de Plásticos Modernos, 61 (4), 520-526, 1991.
36. Leaversuch, R. "Reciclado de PET". Revista de Plásticos Modernos, 61 (1), 130-132, 1991.
37. Lichstein, Bernard M. "Recycling Plastics and Fibers" Chemtech, 20 (6), 360-364, 1990.
38. Leaversuch, Robert D., [ET.AL]. "Recycling" Modern Plastics, Supplement (4), 32-55, 1990.
39. Seymour, R.B., "Reciclado de Residuos Sólidos". Revista de Plásticos Modernos, 58 (11), 728-730, 1989.
40. Seymour, R.B. "El Mercado del Reciclado de PET se Encuentra en un Momento Prometedor". Revista de Plásticos Modernos, 57 (3), 423-425, 1989.
41. Seimour, R.B. "Avances en el Reciclado de Polímeros". Revista de Plásticos Modernos, 53 (1), 123-124, 1987.
42. BANCOMEXT Informes Estadísticos de Exportaciones e Importaciones de PET Grado Botella 1992-1995.
43. CELANESE MEXICANA Boletines Técnicos Sobre la Elaboración de Botellas a Partir de PET (TERCEL)
44. Colgate-Palmolive, Información Directa.
45. Conde Ortiz Mónica Paloma. "Reciclado de Plásticos" Conferencia. Simposium del Grupo Hulero, México, 1993.