

00521  
34



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

**FACULTAD DE QUIMICA**

**RECICLADO DE PET**

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
**I N G E N I E R O Q U I M I C O**  
P R E S E N T A :  
**EDMUNDO CORONA FLORES**



MÉXICO, D.F.



EXAMENES PROFESIONALES  
FACULTAD DE QUIMICA

2004  
3

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

**PAGINACION**

**DISCONTINUA**

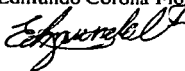
Jurado Asignado:

Presidente	Prof. Alejandro Anaya Durand
Vocal	Prof. José Antonio Ortiz Ramírez
Secretario	Prof. Héctor Méndez Fregoso
1er. Suplente	Prof. Genovevo Silva Pichardo
2º. Suplente	Pof. Mariano Pérez Camacho

Sitio donde se desarrolló el tema:  
Asociación Nacional de la Industria Química A.C.

Asesor del Tema  
Héctor Méndez Fregoso

Sustentante  
Edmundo Corona Flores



Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Corona Flores

Edmundo

FECHA: 11 de diciembre 2003

FIRMA: T. A. 

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Qué suerte he tenido de nacer,  
para estrechar la mano de un amigo  
y poder asistir como testigo  
al milagro de cada amanecer.

Qué suerte he tenido de nacer,  
para tener la opción de la balanza,  
sopesar la derrota y la esperanza  
con la gloria y el miedo de caer.

Qué suerte he tenido de nacer,  
para entender que el honesto y el perverso  
son dueños por igual del universo  
aunque tengan distinto parecer.

Qué suerte he tenido de nacer,  
para callar cuando habla el que más sabe,  
aprender a escuchar, ésa es la clave,  
si se tiene intenciones de saber.

Qué suerte he tenido de nacer,  
y lo digo sin falsos triunfalismos,  
la victoria total, la de uno mismo,  
se concreta en el ser y en el no ser.

Qué suerte he tenido de nacer,  
para tener acceso a la fortuna  
de ser río en lugar de ser laguna,  
de ser lluvia en lugar de ver llover.

Pero sé, bien que sé...  
que algún día también me moriré.  
Si ahora vivo contento con mi suerte,  
sabe Dios qué pensaré cuando mi muerte,  
cuál será en la agonía mi balance, no lo sé,  
nunca estuve en ese trance.

Pero sé, bien que sé...  
que en mi viaje final escucharé  
el ambiguo tañir de las campanas  
saludando mi adiós, y otra mañana  
y otra voz, como yo, con otro acento,  
cantará a los cuatro vientos...

Qué suerte he tenido de nacer.

Aún recuerdo mi infancia, cuando mi padre me ponía sobre sus hombros y podía mirar hacia delante sin que nada ni nadie me impidiera observar lo que yo quería, unas veces un Señor Sol, otra a un tal "Pérez Oso", o simplemente un bonito desfile de independencia; mientras yo observaba todo esto, una cálida y tierna mano vigilaba que no cayera hacia atrás. Hoy, esos mismos hombros y esas mismas manos siguen siendo mi soporte y me permiten seguir mirando hacia delante, han sido mi ejemplo y mi guía. Es muy fácil ser grande cuando se está parado sobre los hombros de gigantes. Gracias por la vida, por las oportunidades, por el ejemplo, por el apoyo a costa de sacrificios, por la familia. Gracias por todo.

**Raquel y Aurelio los amo.**

Soy cada uno de ustedes y ustedes son cada parte de mí. Por ser como son, soy lo que soy, y soy lo que soy por ser como ustedes. Gracias Ru, Telis, Davic, Anita, Marquitos y Lalo

A todos esas personas especiales con las que me topé en la Universidad y que son parte importante de mí.

**Índice**

<b>Capítulo I Introducción</b>	
I.1 Introducción	3
I.2 Planteamiento del Problema	3
I.3 Objetivo	3
I.4 Hipótesis	4
<b>Capítulo II Antecedentes y Generalidades</b>	
II.1 Antecedentes	6
II.2 ¿Qué es el PET?	6
II.3 Historia del PET	10
II.4 Propiedades	11
II.5 Comparación con otros plásticos	14
II.6 Reciclado	15
II.7 Categorías en el Proceso de Reciclado	16
II.8 Fuentes de Desperdicio Plástico	22
II.9 Tipos de Materiales Plásticos Residuales	23
II.10 Métodos de Recuperación de Desperdicios Plásticos	24
II.11 Razones para reciclar	25
<b>Capítulo III Investigación</b>	
III.1 Metodología	28
III.2 Aplicaciones	28
III.3 Consumo Nacional Aparente	30
III.4 Producción	33
III.5 Mercado	33
III.6 Descripción de los Procesos	36
III.7 Reciclado Mecánico	36
III.8 Reciclado Químico	
III.8.1 Depolimerización (Metanólisis)	39
III.8.2 Gasificación	42
III.8.3 Pirólisis	44
III.9 Incineración	47
<b>Capítulo IV Resultados</b>	
IV.1 Resultados	50
IV.2 Evaluación Técnico Económica del Reciclado Mecánico	53
<b>Conclusiones</b>	57
<b>Bibliografía</b>	59
<b>Apéndice I Recomendaciones Técnicas para el Secado y la Eliminación de Humedad</b>	62
<b>Apéndice II Recomendaciones Técnicas para la Molienda</b>	65
<b>Apéndice III Recomendaciones Técnicas para la Extrusión</b>	68
<b>Apéndice IV Recomendaciones Técnicas para el Sistema de Calentamiento</b>	74
<b>Apéndice V Recomendaciones Técnicas para los Materiales de Construcción</b>	77
<b>Apéndice VI Recomendaciones Técnicas para el Consumo de Energía</b>	79
<b>Apéndice VII Recomendaciones Técnicas para los Problemas Típicos del Reciclado</b>	82

# Capítulo I

## Introducción

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## **Introducción**

Esta tesis surgió en un principio con la intención de hacer de esto un proyecto de vida, la idea de poder iniciar una pequeña recicladora y poder aplicar lo aprendido durante la carrera eran los motivos que me llevaron a continuar con este trabajo; el plan original consistía en poder armar un pequeño extrusor complementado con un molino, pero conforme pasó el tiempo, las limitaciones económicas y técnicas llevaron esta tesis por un camino diferente al planeado.

Sumado a estos proyectos personales, se encuentran los problemas ambientales y de escasez en los últimos años, se ha hecho cada vez más evidente que las materias primas no son inagotables. Este hecho incide en la necesidad de economizarlas, siendo este el objetivo primordial del sector industrial así como de la sociedad, por lo que cada vez es más necesaria la recolección y reutilización de todo tipo de desecho. Muchas de la información aquí presentada pretende servir de guía para aquella persona que tenga la intención de iniciar con el reciclado del PET. Los datos presentados en los Apéndices contienen toda la información que pretendía usar como guía en la elaboración del extrusor y del molino, y que considero es importante conocer.

## **Planteamiento del Problema**

La acumulación de residuos sólidos es un problema que tiene planteado la sociedad, creciente en importancia en razón a la disminución de los espacios libres para vertederos y fuertes presiones ecológicas. Dentro de estos desechos, los plásticos tienen una importancia relevante como consecuencia de su baja densidad que los hace especialmente visibles.

## **Objetivo**

Determinar el procedimiento más adecuado dentro de las posibles vías de reutilización de los plásticos, que son varias y de muy diferente naturaleza abarcando desde su reciclado directo, incineración, con o sin recuperación energética, hasta su transformación en productos más nobles, el denominado reciclado químico. La selección del procedimiento más adecuado para el reciclado de un determinado material no es fácil ni generalista, debiendo contemplar aspectos tan diferentes como su composición, legislación

medioambiental, subvenciones o ayudas de las autoridades gubernamentales o locales, proximidad de refinerías, densidad de población, precio de materias vírgenes, etc.

### **Hipótesis**

El reciclado de PET además de representar una excelente opción para el cuidado del medio ambiente, también representa una maravillosa oportunidad de negocio. El reciclado mecánico es económico, requiere del mínimo equipo y puede generar un producto de calidad y bajo costo. Dentro de la variedad de los procesos, el reciclado mecánico representa la mejor opción, ya que la inversión requerida es mínima comparada con los otros procesos, la calidad del producto buena y los costos de materia prima bajos.

# Capitulo II

## Antecedentes y Generalidades

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## Antecedentes

El origen de la palabra plástico viene del griego plastikos, que significa moldeable. Los plásticos son formados por la unión de los grandes encadenamientos moleculares llamados polímeros, que alternadamente se forman de moléculas más pequeñas, los monómeros. Los plásticos se producen por medio de un proceso químico llamado polimerización, que causa la unión química de monómeros formando a los polímeros.

Los polímeros pueden ser naturales o sintéticos. Los polímeros naturales son comunes en plantas y animales, e incluyen algodón, madera, pelo, los cuernos y látex de caucho, etc. Los polímeros sintetizados tales como plásticos son hechos por el hombre por medio de reacciones químicas. La talla y la estructura de las moléculas del polímero determinan las características del material plástico. El material que se usa para la elaboración de los plásticos es petróleo crudo. El petróleo crudo se compone realmente de una mezcla compleja de compuestos. Estos compuestos tienen diversos puntos de ebullición, por tal motivo es posible separarlas por un proceso conocido como destilación o crack.

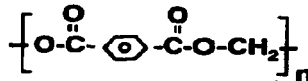
## ¿Qué es el PET?

Es un plástico de poliéster conocido como PET acrónimo de su nombre "Policetilén Tereftalato". Es ligero, transparente como el cristal, pero de gran resistencia que permite envasar productos alimenticios y no alimenticios y es 100% reciclable, lo podemos ver comúnmente como envase de refresco.

El PET se fabrica a partir de dos materias primas derivadas del petróleo: etilenglicol y ácido tereftálico, son puestos a reaccionar a temperatura y presión elevadas para obtener la resina PET en estado amorfo.

Ésta se cristaliza y polimeriza para incrementar su peso molecular y su viscosidad, y el resultado es la resina que se usa para envases. Ésta se almacena, antes de ser procesada, como cristales llamados chips.

Su estructura química



**¿Cómo se identifica?**

La manera más fácil de saber si un envase está fabricado con resina PET, es buscar en el fondo un símbolo de un triángulo formado por flechas con el número "1" en el centro y bajo este, las siglas "PET" o "PETE" (en inglés). Este símbolo se forma en el proceso de fabricación y algunas veces se imprime en la etiqueta.



**¿Cómo se fabrica?**

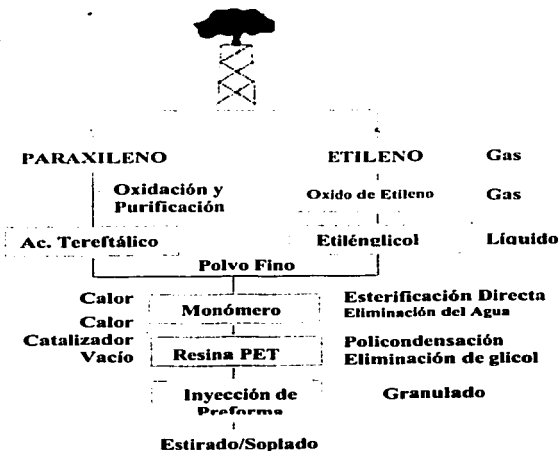
El PET se fabrica a partir de dos materias primas derivadas del petróleo: Etileno y Paraxileno. Los derivados de estos compuestos (respectivamente, Etilénglicol y Ácido Tereftálico) son puestos a reaccionar a temperatura y presión elevadas para obtener la resina PET en estado amorfo.

La resina se cristaliza y polimeriza para incrementar su peso molecular y su viscosidad. El resultado es la resina que se usa para fabricar envases. Su apariencia es la de pequeños cilindritos de color blanquezo llamados pellets. Una vez seca, se almacena en silos ó supersacos para después ser procesada.

- **Acido Tereftálico:** Se elabora totalmente en México a partir del Paraxileno, materia prima que produce PEMEX quien abastece a los dos fabricantes en México, (Petrocel-Temex).
- **Monoetilénglicol:** Es el reactivo limitante en la reacción de esterificación para la producción de poliéster, que se obtiene a partir del óxido de etileno que produce también Petróleos Mexicanos, (Polioles e IDESA).

En términos químicos, el camino más simple para la obtención del PET es la reacción directa (esterificación) del Ácido Tereftálico con el Etilénglicol formando un "monómero" (bis-B-hidroxietyl tereftalato) el cual se somete a una policondensación para obtener un polímero de cadena larga que contiene cerca de 100 unidades repetidas.

ESQUEMATIZADO DEL PROCESO

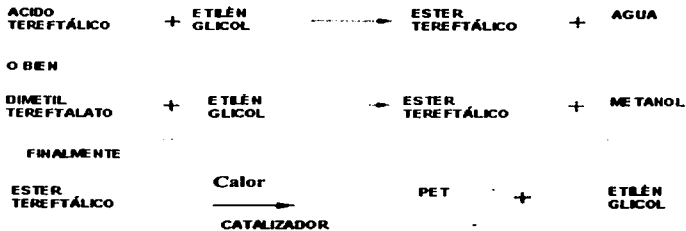


Mientras que la reacción de esterificación tiene lugar, con la eliminación del agua como subproducto, la fase de policondensación que se efectúa en condiciones de alto vacío, libera una molécula de glicol cada vez que la cadena se alarga por unidad repetida.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Conforme la cadena va alargándose, existe un aumento en el peso molecular, el cual va acompañado por un aumento en la viscosidad de la masa y otras ventajas asociadas proporcionando así una mayor resistencia mecánica.

### **REACCIÓN QUÍMICA PARA FABRICAR PET**



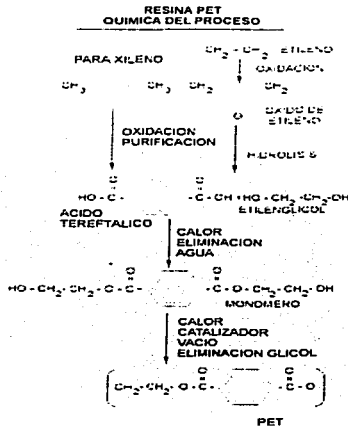
Fuente: APREPET

La calidad final de un polímero sintético depende en gran parte de la calidad de su monómero y dado que no es práctico purificar el monómero de tereftalato, la pureza química de su inmediato precursor es de gran importancia. En este contexto, el etilenglicol no presenta problema, pero el Ácido Tereftálico, al ser un sólido, limita la elección de la tecnología de purificación.

No obstante, una vez resuelto este problema, ya que el Ácido Tereftálico de gran pureza se convierte en un producto comercial, la necesidad inicial de utilizar Dimetiltereftalato puede evitarse, por lo que las fases del proceso quedan simplificadas.

Una vez que la longitud de cadena es suficientemente larga, el PET se extruye a través de un dado de orificios múltiples para obtener un espagueti que se enfría en agua y una vez

- Es amorfo.
- Posee un alto contenido de acetaldehído.
- Presenta un bajo peso molecular.



Fuente : APREPET

### Historia del PET

El Polietilén Tereftalato (PET) fue inventado durante la Segunda Guerra Mundial como un polímero termoplástico, basándose en investigaciones del químico norteamericano Wallace Hume Carothers cuando trabajaba para la empresa Du Pont de Nemours Company.

J.R. Whienfield y J. T. Dickson en Inglaterra, desarrollaron los primeros Poliésteres saturados a partir de ácidos aromáticos. La primera aplicación fue la fibra textil, que reemplazó al algodón y lino, apareciendo las primeras camisas 100% poliéster que no

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



requerían planchado y aunque esta nueva versión no resultó muy exitosa, en la actualidad se confeccionan prendas con mezclas de poliéster y algodón o con otras fibras.

Alrededor de 1973, la industria del plástico buscaba desarrollar un material irrompible, ligero y transparente para producir botellas para bebidas carbonatadas y fue el Polietilén Tereftalato el que resultó ser más adecuado.

El investigador que inventó la primer tecnología para fabricar botellas de Polietilén Tereftalato fue Nathaniel Wyeth quien trabajaba también para la empresa Du Pont. La producción comercial de fibra de poliéster comenzó en 1955; desde entonces, el PET ha presentado un continuo desarrollo tecnológico hasta lograr un alto nivel de sofisticación basado en el espectacular crecimiento del producto a nivel mundial y la diversificación de sus posibilidades.

A partir de 1976, se le usa para la fabricación de envases ligeros y resistentes. En México se comenzó a utilizar para este fin a mediados de la década de los ochenta. En la actualidad los fabricantes cuentan con diferentes grados de polímeros con un amplio intervalo de propiedades.

### **Propiedades**

#### a) Físicas.

El PET cristalino tiene una densidad de 1.33 gramos/cm<sup>3</sup>. En la fabricación de botellas, la densidad del polietilén tereftalato, comparada con materiales tradicionales como el vidrio, tiene ventajas debido a que es posible producir envases del mismo volumen pero mucho más ligeros. Por ejemplo, en un contenedor convencional, el envase representa sólo el 7% del peso total y el producto envasado el 93%, situación que cambia drásticamente cuando se emplean envases de vidrio que ocupan el 43% del peso total.

El Policetilén Tereftalato en estado amorfo es transparente y en estado cristalino es opaco de color blanco. En las aplicaciones donde la transparencia es un factor importante, este material se utiliza en su forma natural sin pigmentar, presentando una excelente claridad y brillo superficial. Para productos sensibles a la luz, el PET puede colorearse utilizando una gran variedad de pigmentos comunes.

El Policetilén Tereftalato presenta mejor barrera al oxígeno y al dióxido de carbono que cualquiera de los plásticos commodities. Entre los polímeros, el PET es más impermeable a los gases que el PVC y el polipropileno.

### b) Mecánicas

El Polietilén Tereftalato tiene una elevada dureza, rigidez, resistencia mecánica y tenacidad, incluso en temperaturas inferiores a  $-30^{\circ}\text{C}$ . La estructura cristalina en láminas resiste mayor impacto que la amorfa. Por lo tanto, tiene mejor resistencia a la deformación plástica cuando está sometido a tensiones mecánicas continuas.

Material	Resistencia a la Tensión (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia al Impacto (kg/cm <sup>2</sup> )	Absorción de Agua %
PET	2810	25-30	0.08

Fuente: Enciclopedia del Plástico, IMPI

### c) Eléctricas

El Polietilén Tereftalato tiene buenas cualidades de aislamiento eléctrico además de un excelente comportamiento térmico y químico, razones suficientes para producir películas aislantes empleadas en bobinas eléctricas y cintas adhesivas. Su elevada resistencia dieléctrica y alta resistencia superficial proporcionan un aislamiento eléctrico adecuado. En promedio presenta una constante dieléctrica de 3.4 a 60 Hertz y  $25^{\circ}\text{C}$ .

La humedad también tiene cierta influencia en las cualidades aislantes de este

Const. Dieléctrica a 60 HZ	3,4
Fact. De Disipación a 60 HZ	20
Resistencia Volumétrica ohm-cm	1017

Fuente: Enciclopedia del Plástico, IMPI

poliéster. La resistencia volumétrica decrece según aumenta la temperatura; en condiciones ambientales el valor nominal es ligeramente superior a 1017 ohm-cm en una prueba realizada a 125°C, que está dentro de la mayoría de las especificaciones para aplicaciones eléctricas. La capacidad de aislamiento eléctrico del PET es elevada, superada solamente por el Poliestireno y el Polietileno, sin embargo, la ventaja del poliéster en las aplicaciones eléctricas es gracias a su mejor resistencia térmica.

#### d) Térmicas

El Polietilén Tereftalato cristaliza a un alto grado, pero en un intervalo limitado de temperatura. El control de este comportamiento durante el proceso de transformación determina las características de los productos finales. La temperatura de transición vítrea de polietilén tereftalato es de 67 a 81°C y la temperatura de distorsión de 70°C, sin embargo, cuando este material presenta mayor cristalinidad, está menos sujeto a la deformación bajo estrés, especialmente a temperaturas elevadas. Por esta razón, se fabrican recipientes para hornear comidas congeladas ya sea en microondas o en hornos convencionales. La estructura cristalina tienen un punto de transición vítrea más alta, del orden de 98°C.

Punto de Fusión °C	251
Temperatura de transición vítrea °C	78
Capacidad Calorífica	5,373 Kcal/Kg

Fuente: Enciclopedia del Plástico, IMPI

### e) Químicas

Tiene elevada resistencia a alcoholes, ácidos débiles inorgánicos y orgánicos, permitiendo con excelentes resultados el envasado de vinos, licores, vinagres, cosméticos y productos farmacéuticos. Resiste grasas y agua, por lo que es adecuado para el envasado de enjuagues bucales, aceites y aguas minerales, así como en películas para aislamiento de bobinas de motores eléctricos. Algunas sustancias alcalinas especialmente fuertes, hidrocarburos clorados y algunas cetonas pueden afectar al Polietilén Tereftalato provocando la fragilización en paredes delgadas. En particular el Polietilén Tereftalato es susceptible a la hidrólisis a elevadas temperaturas.

### Comparación con otros plásticos

La elevada transparencia y brillo que ofrece el PET lo hace competir con el Poliestireno cristal y con el PVC transparente. El Poliestireno resulta demasiado quebradizo para muchas aplicaciones y presenta ciertas limitaciones como envase alimentario. El PET está libre del problema de transmisiones de olor o sabor y además presenta excelentes características de barrera.

El PVC, siendo un polímero con mejores características de barrera, presenta una grave contrapartida en su eliminación en incineradores.

Las características específicas del PET pueden cambiar según el grado de Polietilén Tereftalato, en la actualidad existe el PET grado botella, película, lámina y fibra. En particular, este plástico es un material muy sensible a la hidrólisis a elevadas temperaturas, de manera que debe secarse antes de su procesamiento.

El Polietilén Tereftalato en general se caracteriza por su elevada pureza, alta resistencia y tenacidad. Cuando se orienta, presenta excelentes propiedades de transparencia y claridad, buena estabilidad dimensional, buena barrera a gases, buena resistencia química y aceptación FDA (Food and Drugs Administration).

### **Reciclado**

Se define el "reciclado" como cualquier tipo de proceso en el que los materiales o artículos fabricados se recuperan y tratan a fin de conseguir algún producto o beneficio adicional.

Esta actividad empezó probablemente con el desarrollo de la revolución industrial cuando los fabricantes observaron que gran parte de las materias primas o productos terminados eran eliminados o desperdiciados durante el proceso productivo, originando mermas económicas importantes, ésta situación motivó la búsqueda de métodos y técnicas para reducir residuos y controlar procesos, así como reutilizar productos en otras aplicaciones útiles al hombre; sin preocuparse por el impacto ambiental que ocasionaría. En 1970 inicia el desarrollo del reciclado de plástico, debido al aumento de precio y desabasto que se presentó como consecuencia del embargo petrolero e incremento en el precio del petróleo. Esta combinación de circunstancias propició el desarrollo de tecnologías de recuperación que atenderían las necesidades de los consumidores para solucionar el problema de abasto. Con el objetivo de encontrar soluciones para manejar los desechos plásticos, se han desarrollado diversas investigaciones que incluyen métodos físicos y químicos.

La presencia de los materiales plásticos en todas las áreas de consumo, además de sus períodos cortos de utilización, han motivado a considerar el problema de los residuos sólidos y la contaminación ambiental que originan.

Durante los últimos años, se ha hecho cada vez más evidente que las materias primas no son inagotables. Este hecho incide en la necesidad de economizarlas, siendo este el objetivo primordial del sector industrial así como de la sociedad, por lo que cada vez es más necesaria la recolección y reutilización de los desechos plásticos.

Debido a que el reciclado de los materiales termoplásticos es cada vez más aceptado en la industria, la tendencia principal esta dirigida a lograr la calidad de los materiales reciclados. El futuro de los plásticos depende grandemente de su factibilidad de reciclado final, por lo que muchas de las aplicaciones existentes de los materiales plásticos, son cuestionadas, con base a su posibilidad de reciclado. Anteriormente, las aplicaciones de plásticos fueron desarrolladas y puestas en práctica sin considerar la posterior reutilización de los materiales.

Entre los principales aspectos que se deben tomar en cuenta, al utilizar material reciclado, es que el producto sea capaz de cumplir con las características de desempeño requeridas para su aplicación final. Los requerimientos de desempeño deberán evaluarse de manera independiente a los materiales tanto vírgenes como reciclado, buscando la mayor similitud posible.

Por otra parte el aspecto económico es de gran importancia ya que en la industria de procesamiento de plásticos, el costo de las materias primas puede ser entre 50 y 60% del costo total, por lo que es imperativo reducir la cantidad de desechos y en lo posible reciclar los residuos.

### **Categorías en el Proceso de Reciclado**

El reciclado, involucra la recolección, reprocesado, mercado y uso de los materiales recuperados de la corriente de residuos sólidos. Considerándose como material factible de ser reciclado, todo aquel que posea propiedades físicas y químicas útiles, después de ser utilizados para su propósito original y puedan ser reutilizados en productos nuevos.

Las tecnologías de reciclado de los plásticos han sido clasificadas históricamente en cuatro tipos:

- Reciclado primario
- Reciclado secundario
- Reciclado terciario y
- Reciclado cuaternario.

En términos generales, el tipo de reciclado que se intente, tendrá diferentes requerimientos previos para su procesamiento. (Ver Anexos)

Es decir para el reciclado cuaternario no se requieren separar los materiales orgánicos, mientras que para el primario sí, además de tener que conocer el grado de compatibilidad de los plásticos, en el caso de que se quieran mezclar éstos. La separación es entonces una etapa previa muy importante, tanto técnica como económicamente.

### Reciclado Primario.

El reciclado primario se define como el aprovechamiento de los residuos en la misma línea de producción y con la misma aplicación a la que estaba inicialmente destinado el material virgen. Se aplica, generalmente, a los residuos industriales (recortes, rebabas, etc.) que normalmente están poco afectados por la degradación térmica ocurrida durante el procesado.

Se utilizan residuos no contaminados ( o poco contaminados ) y lotes defectuosos, los cuales están relativamente limpios. Normalmente la recuperación se lleva a cabo mediante mezclas con resina virgen en diversas proporciones.

El reciclado primario se lleva a cabo algunas veces dentro de la propia industria productora del residuo y otras veces se realiza por terceros que compran los residuos a otras fábricas.

También puede considerarse como recuperación primaria la recolección, lavado, y reprocesamiento de un material como botellas de PET, para obtener nuevamente el mismo envase.

Algunos materiales son capaces de resistir el reciclado primario por varias veces, antes de que sus propiedades caigan en forma significativa. En general se mencionan hasta tres reciclados sin deterioro y en algunos estudios se reportan hasta cinco ciclos. Debe tenerse cuidado en el manejo de la información, ya que el material disponible puede variar en propiedades como peso molecular, distribución de peso molecular, grado de ramificación, etc.

Al mezclar material virgen con material reciclado, la caída de propiedades será menos drástica.

### Reciclado Secundario

Si se define el reciclado de materiales plásticos como el proceso en que los materiales y artículos plásticos se recuperan y tratan con el propósito de conseguir algún beneficio o producto adicional, el Reciclado Secundario es el procedimiento en el cual estos materiales son reprocesados con el fin de obtener productos terminados o materiales con menores exigencias en propiedades.

Precisamente a este tipo de reciclado se le dedican grandes esfuerzos para desarrollar nuevas técnicas que permitan hacerlo rentable.

En este proceso se utilizan plásticos residuales, no adecuados para ser reprocesados directamente en equipos de procesamiento convencionales.

Las dificultades que presenta el reciclado secundario se deben a las propias características de los residuos plásticos, las cuales son determinadas por su procedencia.

Por lo tanto, los motivos que dificultan el desarrollo del reciclado secundario de los plásticos son:

- En general los residuos están constituidos, por mezclas de plásticos casi siempre incompatibles.
- La composición de los residuos no es constante, lo cual dificulta su tratamiento y procesamiento.
- Estos materiales suelen estar altamente contaminados con materiales no plásticos como tierra, papel, vidrio, exponiendo con esto los equipos. (Ver Anexo I)

**Nota:** Para mayor detalle sobre los materiales contaminados ver anexo

Para superar en gran parte estas dificultades que se presentan en el reciclado secundario de los plásticos, el estudio y análisis del comportamiento de las mezclas poliméricas incompatibles y la manera de lograr su compatibilización, así como de materiales compuestos, son alternativas importantes para llevar a cabo este tipo de reciclado. Mediante las mezclas poliméricas es factible no solamente recuperar los desechos plásticos, sino obtener mejoría en las propiedades finales del material.

Por otra parte el campo de los materiales compuestos permite desarrollar materiales diversos mezclando un plástico con otro material; este segundo material puede ser inorgánico (arena, carbonato de calcio, mica, etc) o bien orgánico como las fibras naturales también de desecho.

Las ventajas que puede proporcionar el reciclado secundario son las siguientes:

En estos procesos se conserva la estructura molecular del polímero.

Las posibilidades de procesos y aplicaciones son múltiples

Además la recuperación de los materiales termoplásticos, el aprovechamiento de los termofijos, de elastómeros, de fibras sintéticas y naturales.

Ahorro de energía mediante la producción masiva de materiales aislantes.



Sustitución de artículos de madera, de consumo masivo, como tarimas, cimbras, palos de escoba, Etc.; donde el impacto ecológico sería importante por la disminución en la tala de árboles.

Los equipos y procesos necesarios son similares a los que procesan el material virgen.

Por otro lado, las desventajas del reciclado secundario son:

Si se trata de plásticos mezclados, deberá acudirse a procesos de compatibilización o bien procesos factibles de separación.

Deberán eliminarse etiquetas y adhesivos no solubles en agua.

### Reciclado Terciario.

Consiste en la recuperación de sustancias químicas de bajo peso molecular, a partir de los plásticos de postconsumo, y pueden hacerse por descomposición térmica o química. En la térmica, en algunos casos se pueden controlar las reacciones para obtener monómeros y algunos productos secundarios.

Los plásticos residuales de postconsumo consisten de una variedad de polímeros de cadena larga, contaminantes químicos, además de cloro, oxígeno o nitrógeno. También se encuentran presentes impurezas físicas tales como cargas, pigmentos y polvo adherido, así como material inorgánico.

Cuando el calentamiento se lleva a cabo en un ambiente que contiene poco o nada de oxígeno, la descomposición del sustrato, permite obtener componentes muy diversos, de utilidad para la industria química en general.

El volumen de los desechos se puede reducir en un 90% o más. Además como la operación se lleva a cabo en un sistema cerrado, se produce energía por descomposición química sin contaminar el aire.

La fracción gaseosa está constituida fundamentalmente por  $H_2$ ,  $CO$ ,  $CH_4$  y etileno. La fracción líquida consiste de alquitrán, aceites ligeros y pequeñas fracciones de compuestos orgánicos e inorgánicos.

### Reciclado Cuaternario ( Incineración)

La incineración se define como el proceso de reducción de los residuos combustibles a residuos inertes, mediante la combustión controlada a altas temperaturas, con el

consecuente desprendimiento de gases y residuos no combustibles o cenizas. Generalmente los desechos que contienen materia orgánica o que son totalmente orgánicos pueden someterse a este proceso de incineración.

Actualmente se le considera entre los métodos más recomendables para la eliminación de desechos plásticos o cualquier material susceptible de quemarse, cuando éste ha perdido interés comercial como tal o que haya sido contaminado, además de que su reciclado sea técnicamente imposible.

Frecuentemente, los aspectos planteados para considerar el proceso de incineración como una tecnología de eliminación y tratamiento de residuos, se basan principalmente, en regulaciones ambientales y en los costos del proceso. Además son considerados también algunos factores para el estudio e investigación inicial de factibilidad como son:

- tipo y cantidad de desechos generados por día.
- localización del desperdicio.
- requerimientos de manejo de materiales necesario para su incineración.

En el proceso de incineración, partiendo del supuesto de que los materiales residuales a incinerar estuvieran compuestos sólo de hidrocarburos o carbohidratos, y considerando que fuera posible lograr la combustión completa, los gases de salida del incinerador estarían constituidos sólo por  $\text{CO}_2$  y agua; éstos además no contendrían cenizas, por lo que se eliminaría la posibilidad de contaminación.

Pero desafortunadamente en toda combustión en presencia de aire, independientemente del combustible, la oxidación no es perfecta, quedando algunas moléculas del material sin oxidarse completamente.

Dependiendo de factores tales como eficiencia de combustión del incinerador y de la composición química de los residuos, se podrán generar compuestos que no participan en la combustión de los gases tales como  $\text{CO}_2$ , CO, NO, hidrocarburos sin quemar,  $\text{SO}_2$ , HCl, HCN,  $\text{COCl}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ; resultando la generación de dioxinas y furanos, que son el tema de gran controversia actual en cuanto a la incineración de los plásticos.

La recuperación de energía en las plantas de incineración es una forma eficaz de combatir el efecto negativo que este proceso representa sobre el medio ambiente, si se considera que la energía generada permitirá un ahorro en el consumo interno de energía.

Además, la factibilidad de comercialización de la energía útil a terceros, como es la producción de vapor para acondicionamiento de edificios, reduciendo así los costos de operación de planta.

Por tal motivo, las ventajas de la recuperación de energía en incineradores especialmente diseñados son:

- Una reducción en la masa de los desechos en un 90% y la posibilidad de tratar diversas clases de residuos.
- Este proceso destruye potencialmente las sustancias dañinas de la corriente residual, lo cual se puede ver como una desintoxicación controlada.
- La fracción orgánica de los residuos es esencialmente reducida mediante la incineración a un material inerte.
- Reducción de los costos de transportación con una ubicación planeada.
- Es una ruta ideal para el reciclado de materiales mezclados, compuestos, laminados con otros materiales, que mecánicamente o químicamente no sea factible su reprocesado.
- Método seguro para eliminar los empaques plásticos con residuos peligrosos, los materiales con micro componentes electrónicos y aquellos contaminados con tierra o metales pesados.

La mayoría de los polímeros tienen poder calorífico alto, en comparación con el poder calorífico de materiales tales como madera, carbón, periódico y otros.

Respecto a las principales desventajas que implica la incineración de los residuos plásticos y de desechos industriales, destacan entre otras las siguientes:

- Una incineración ineficiente puede permitir que material permanezca sin quemar hasta arriba de un 5% en peso.
- La generación de productos finales dañinos en la forma de cenizas y gases nocivos.
- El costo en la mayoría de los casos, la incineración representa un proceso muy costoso, tanto en la inversión inicial como en los gastos de operación.

- La variabilidad en la composición de los desechos y la severidad en el ambiente del incinerador conlleva a problemas prácticos de manejo de los desechos.
- La tecnología de incineración entre el sector público, aún representa un tema de desconfianza e incertidumbre.

### **Fuentes de desperdicios plásticos**

Los plásticos generan desperdicios desde la obtención de materias primas, transformación hasta su consumo final. Las fuentes generadoras de dichos desperdicios son:

- Hogar
- Comercio
- Industrias usuarias
- Transformadores
- Fabricantes de materia prima

#### *Hogar*

Los desperdicios plásticos generados por una familia, generalmente incluye películas de empaque, envases de bebidas, detergentes líquidos, aceites, shampoo y artículos desechables que generan el 60% del total, cuando estos productos van directamente a la basura se contaminan para su reciclaje, requiriendo separación y lavado. Es por ello que se emplea el triángulo de identificación de materiales, así el ama de casa puede separar e incluso lavar estos productos y llevarlas a un Centro de Acopio, donde pueden ser recolectados para su reciclado.

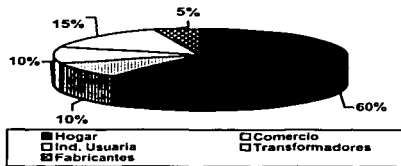
#### *Comercio*

Contribuye con 10% de los desperdicios, en este rubro se integran: tiendas, supermercados, cines, restaurantes y centros comerciales en general.

#### *Industria Usuaria*

La industria de alimentos, cosméticos y productos de limpieza, generan una cantidad importante de desechos plásticos derivados del empaque de sus materias primas, así como

de los desperdicios generados en las líneas de envasado, contribuyendo con un 10% del total de desperdicios.



### *Transformadores*

Es común observar que los desechos se utilicen en la misma empresa para productos de menor calidad, ya que la industria transformadora aporta un 15% del total de desperdicios.

Fuente: Enciclopedia del Plástico, IMPI

### *Fabricantes de materia Prima*

Generan un 5% con el material de purga y limpieza para los reactores, estos plásticos presentan grandes dimensiones, son difíciles de moler y procesar; sin embargo, también deben ser considerados como una fuente de desperdicios, ya que con ciertas tecnologías, como la molienda criogénica, es posible recuperarlos.

### **Tipos de Materiales Plásticos Residuales**

El Flujo tanto de los productos como de los residuos plásticos, nos permite conocer la trayectoria que siguen éstos desde que son puestos en el mercado como materia prima o resinas propiamente dicho, hasta el momento de su disposición final.

Los productores de resinas son los que proporcionan la materia prima tanto al fabricante como al productor de compuestos. Los plásticos residuales del productor de resinas son vendidos al reprocesador o al fabricante de resinas de segundo grado.

Por otra parte, existen tres categorías generales de los plásticos residuales: residuos postconsumo, de preconsumo e industriales o de manufactura.

**Residuos Industriales o de Manufactura:** Son aquellos materiales generados como parte de un proceso de fabricación de un producto plástico, que no fueron utilizados como producto terminado por fallas o por considerarse fuera de especificaciones.

**Residuos Preconsumo:** Son aquellos materiales fabricados de productos terminados que no fueron comercializados, por presentar problemas durante las etapas posteriores como empaçado, transporte etc, por ejemplo, botellas para shampoo de color rojo que se llenaron de shampoo verde.

**Residuos Postconsumo:** Son aquellos materiales que han cumplido con el servicio para el cual fueron destinados, sin considerar el tipo de consumidor y pueden ser tanto botellas (para contener bebidas gaseosas, leche, aceite, etc.) contenedores de mayor tamaño, y partes automotrices.

Por sus características muy similares y su misma procedencia, las dos últimas categorías se ubican dentro de un grupo general de residuos industriales. Tanto la categoría de residuos industriales como la de los de preconsumo, normalmente no presentan problemas de recuperación, ya que proceden de procesos en los que se utiliza un solo material polimérico. Es de gran importancia el diferenciar entre las categorías, así como identificar las necesidades de procesamiento de estas tres diferentes corrientes. En general, los plásticos post-consumo requieren de un proceso de selección y limpieza más costoso que los plásticos residuales de preconsumo e industriales.

### **Métodos de recuperación de desperdicios plásticos**

#### *Acopio y Selección.*

Consiste básicamente en depósitos domiciliarios de separación de materiales o centros de acopio, donde son recolectados los residuos para su posterior segregación, mediante sistemas de canje monetario o por el intercambio de productos. Este sistema es el más utilizado en el mundo, porque es el mejor medio de recolección de la basura, pero más del 85% de estos residuos van a parar a rellenos sanitarios, para su separación posterior.

#### *Pepeña.*

Es un sistema de clasificación manual de la basura en diferentes componentes como vidrio, metales, plásticos y otros. Se realiza en los llamados tiraderos a cielo abierto. Esta técnica requiere equipos de recolección, como un camión que no compacte la basura para realizar una posterior selección en el área destinada para dicho fin y que no se encuentre lejos de los

centros de producción. La pepena no es una técnica eficiente, debido a que un 30% de la basura se queda en barrancas, ríos, calles, y el 70% en tiraderos, con esta técnica se aprovecha sólo el 40% y el otro 30%, no se puede separar por ser material en vías de putrefacción.

### *Recolección de desperdicios.*

Esta técnica, utilizada principalmente por industrias privadas, requiere de unidades de transporte que permitan diferenciar y separar los desechos postconsumo. La condicional de esta técnica es que los consumidores llevan productos como botellas y empaques, libres de contaminantes; el pago es en efectivo, pero es muy difícil de consolidar un abasto constante y consistente, además de sostener una elevada competencia con la pepena.

### **Razones para reciclar**

Factores más importantes para reciclar plásticos:

- Ecología
- Economía
- Escasez

Entre las ventajas derivadas del reciclado está la reducción en la cantidad de residuos domiciliarios, los materiales termoplásticos pueden reprocesarse para aplicaciones de larga vida o para diferentes usos al inicial; otro beneficio es como productor de energía al realizar la incineración de los plásticos.

### *Ecología*

Actualmente las normas ecológicas se han reestructurado, presentando mayor exigencia en el control de los desechos plásticos. El reciclado de plásticos contribuye con la ecología, ya que ayuda a resolver el problema de los desperdicios plásticos, se ahorra hasta el 88% de la energía que se requiere para producirlos a partir de petroquímicos y conserva los recursos naturales al reutilizar los productos del petróleo.

### *Economía*

La generación de desperdicios es inevitable en la industria de transformación de plásticos, evitando una pérdida económica, las empresas reciclan las mermas, al combinarlas con material virgen. Estas mezclas ayudan a reducir el costo del producto, siempre y cuando no se afecten las características del artículo fabricado.

El precio del material reciclado debe ser menor que el virgen, con lo que el costo del producto se reduce y puede competir en el mercado. Existe un importante ahorro de energía cuando se reciclan plásticos porque consume menos que la empleada para transformar los plásticos a partir de petroquímicos.

### *Escasez*

La industria de transformación de plásticos ha crecido considerablemente y, además, ha atravesado por varias crisis de materiales. Estos dos factores propician la escasez y desabasto de materias primas que origina buscar otras fuentes de abasto como plásticos reciclados. Reducir significa utilizar la menor cantidad posible.



# Capítulo III

## Investigación

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### **Metodología**

- ✓ El establecimiento de la viabilidad del reciclado de PET en México, en base a la información técnica y económica existente. La información a considerar es la siguiente:
  - Usos y aplicaciones
  - Consumo Nacional Aparente del PET
  - Usuarios y Transformadores
  - Importación e Importadores
  - Producción Nacional
  - Principales Productores
  - Mercado del Envase
  - Recicladores
  - Precios del PET
  
- ✓ La investigación de los procesos existentes y la realización de un comparativo entre ellos con base en los siguientes criterios:
  - Costo
  - Equipos
  - Procesos
  - Calidad de Producción
  - Aplicación
  - Tipo de Residuo
  
- ✓ Selección del Proceso y Conclusiones
  - Evaluación Técnico Económica del Proceso (TRI)
  - Conclusiones

### **Usos y Aplicaciones**

Hoy en día podemos considerar al Polietileno Tereftalato (PET) como uno de los polímeros que ha experimentado una de las mayores tasas de crecimiento en los últimos años, gracias en parte al rendimiento que ofrece, adaptabilidad, características medioambientales, etc., lo cual provoca el desplazamiento de otros plásticos muy consolidados hasta el momento. No obstante, cuando coinciden todas estas características, se produce a su vez una fuerte competencia, que en ocasiones puede dar lugar a precios y márgenes que no corresponden. Durante los últimos años se han utilizado millones de toneladas de PET en la fabricación de envasado, más del 82% de este PET se utiliza para fabricar botellas.

La producción de envases de PET, de todo tipo, está concebida por su especial economía y resistencia, sobre todo de botellas, de las cuales existe en el mercado una demanda de



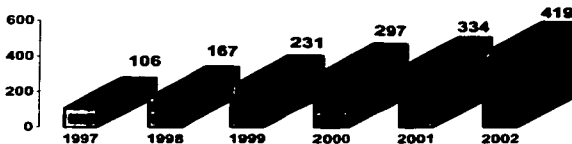
Para productos que requieren un llenado en caliente, jugos, salsas, se utilizan envases moldeados con varias capas, PC + PET+AN, PET+PVC



**Consumo Nacional Aparente de PET**

El consumo nacional aparente del PET ha crecido 3.95 veces desde 1998, lo cual demuestra el importante repunte ya mencionado anteriormente.

**CONSUMO NACIONAL APARENTE DE PET EN MÉXICO (Miles de Toneladas)**



Fuente: Anuario Estadístico de la Industria Química, ANIQ. APREPET

TONELADAS	1997	1998	1999	2000	2001	2002
C. APARENTE	105,931	166,873	231,176	297,191	334,196	419,314
IMPORTACION	876	1,107	1,500	1,437	3,156	4,542
EXPORTACION	162,652	176,729	180,897	124,708	150,692	112,163
CAP. INSTALADA	275,00	365,000	365,000	528,000	525,000	540,000







Fuente: Anuario Estadístico de la Industria Química, ANIQ. APREPET






En materia de comercio exterior, esta resina presenta un comportamiento superavitario de 107,621 toneladas.

En México existen una gran cantidad de transformadores plásticos, los siguientes son algunos de los más importantes y representativos.

**Transformadores**

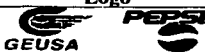


<b>Empresa</b>	<b>Localización</b>	<b>Logo</b>
ALPLA de México S.A. de C.V.	Estado de México	
Continental PET Technologies de México S.A. de C.V.	México D.F.	
Empaques Constar S.A. de C.V.	México D.F.	
Envases Universales S.A. de C.V.	México D.F.	
Industrias INNOPACK S.A. de C.V.	México D.F.	
Procesos Plásticos S.A. de C.V.	Estado de México	

**Usuarios**

<b>Empresa</b>	<b>Localización</b>	<b>Logo</b>
Asociación de Embotelladoras Mexicanas de Coca Cola A.C.	México D.F.	
Colgate S.A. de C.V.	San Luis Potosí	
Embotelladora AGA S.A. de C.V.	Jalisco	

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Usuarios (continua)

Empresa	Localización	Logo
Inmobiliaria Geusa S.A. de C.V.	Jalisco	
Quaker de México S.A. de C.V.	Jalisco	
Sociedad Industrial S.A. de C.V.	Tamaulipas	

Importadores

— SIN RAZON SOCIAL —	20,000.00	178,197.00	19,306.28
— SIN RAZON SOCIAL —	60,759.00	1,318,771.00	140,795.09
— SIN RAZON SOCIAL —	1,447.00	380,762.00	40,428.14
— SIN RAZON SOCIAL —	109.00	31,771.00	3,341.64
— SIN RAZON SOCIAL —	163,036.00	1,421,110.00	151,917.22
3M MEXICO SA CV	544.32	43,421.00	4,545.00
ALEN DEL CENTRO SA CV	60,000.00	634,579.00	68,381.17
ALEN DEL NORTE SA DE CV	180,000.00	1,941,515.00	205,730.01
ALEN DEL OCCIDENTE SA DE CV	40,000.00	422,912.00	45,572.28
ASHLAND CHEMICAL DE MEXICO SA DE CV	63,285.33	1,350,432.00	143,184.28
DELPHI SISTEMAS DE ENERGIA SACV	513.00	46,343.00	4,837.47
DYCOPLAST S A DE C V	20,000.13	218,762.00	22,529.56
EASTMAN CHEMICAL INDUSTRIAL DE MEXICO SACV	1,090.00	7,426.00	794.22
M A HANNA DE MEXICO SA DE CV	20,175.00	439,637.00	45,349.88
PET PLASTICS DE MEXICO SACV	20.00	47.00	4.98
PLASTICOS INDUSTRIALES DE MONTERREY SA DE CV	581,030.92	6,247,595.00	662,813.49
PROCESOS PLASTICOS SA	3,000.00	5,950.00	631.63
PROVEEDORA DE MATERIALES PLASTICOS SACV	39,450.00	777,462.00	81,211.19
QUIM BLANTEX SA CV	14,000.00	394,008.00	41,248.48
ZAPATA ENVASES SA DE CV	2,053,220.60	19,029,698.00	2,017,603.85

Fuente: ANIQ, SE

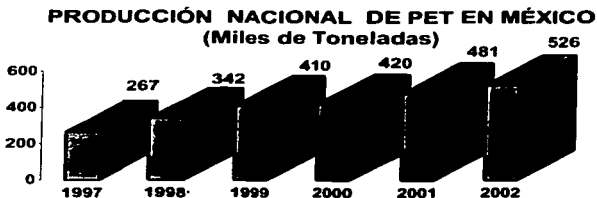
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Producción Nacional de PET**

TONELADAS	1997	1998	1999	2000	2001	2002
PRODUCCION	267,707	342,495	410,573	420,462	481,732	526,935

Fuente: Anuario Estadístico de la Industria Química, ANIQ

La producción de PET se ha incrementado 1.97 veces desde 1997, al pasar de 267,707 toneladas a 526,935 toneladas.



Fuente: Anuario Estadístico de la Industria Química, ANIQ

**Principales productores**

Resineros

Voridian de México, S.A. de C.V.	Coahuila de Zaragoza	
Grupo KOSA	Nuevo León	
Grupo Mossi & Ghisolfipecten Poliésteres Comercial S.A. de C.V.	Tamaulipas	

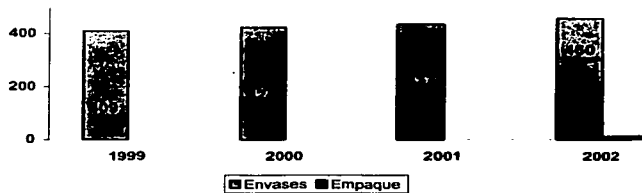
**Mercado del envase**

En los últimos años, en el ámbito mundial, se ha generalizado el cuidado del medio ambiente y de recursos naturales; por esto los plásticos enfrentan hoy uno de los retos más importantes desde su introducción en el mercado, ya que ventajas como resistencia a la

## Reciclado de PET

degradación y economía con respecto a otros materiales, están siendo cuestionadas por su impacto ambiental. El interés por reciclar plásticos tiene como beneficios el mejoramiento ecológico y generación de nuevas industrias que pueden resolver los problemas de contaminación, asociado a la obtención de utilidades y producción de empleos. La producción nacional de envases de plástico se ha venido incrementando en los últimos años de una manera sorprendente, esto como consecuencia de las ventajas económicas y ambientales de estos. La siguientes gráficas demuestran el comportamiento en la producción de envases plásticos

### CONSUMO APARENTE POR MERCADOS DE PET EN MÉXICO (Miles de Toneladas)



Fuente: APREPET

### Porcentaje de recolección de botellas de PET

País	2000	2001	2002
América del Norte	25.4	25.1	25.6
América del Sur	6.7	7.1	7.2
Europa Occidental	15.4	17.8	18.1
Japón	14.3	16.3	16.6
Australia	44.0	44.0	44.8
Resto de Asia	16.7	11.8	12.0
A Nivel Mundial	18.6	18.3	18.6

Fuente: APREPET






TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## Reciclado de PET

Se estima que en México se recicla aproximadamente el 4% del consumo total (entre reciclado y reuso), considerando lo anterior queda sin reciclar el 96% del consumo total. Durante al año 2002 el consumo nacional aparente de PET en México fue de 419,314 toneladas, de las cuales 402,561 toneladas fueron destinadas al mercado de envases.

### Recicladores

Empresa	Localización	Logo
Avangard México S.A. de C.V.	México D.F.	
Envases Plásticos del Centro S.A. de C.V.	San Luis Potosí	
Reciclados Crisol S.A. de C.V.	México D.F.	
Reciclados de México S.A. de C.V.	Estado de México	
Ecología y Compromiso Empresarial	México D.F.	

La variación de los precios del PET está en función, principalmente de los precios del petróleo, así como de la demanda y la oferta, además de la calidad de la materia prima.

Precios de Compra del PET (Pesos/Kg)		
Mínimo	Promedio	Máximo
0.10	1.47	4.60
Precios de Venta del PET		
Mínimo	Promedio	Máximo
0.80	2.9	9.0

Fuente: ANIQ

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

De estas 402,561 toneladas, únicamente el 4% es reciclado, por lo tanto un 96% es desperdiciado. En toneladas esto representa:

$$402,561 * 0.96 = 386,458 \text{ Toneladas sin reciclar}$$

386,458 Toneladas representan aproximadamente 3,478 millones de pesos.

### Descripción de los procesos

Como se mencionó en el capítulo dos, las tecnologías de reciclado de los plásticos han sido clasificadas históricamente en cuatro tipos; Primario, Secundario, Terciario, Cuaternario.

Según esta clasificación podemos hacer la siguiente división de los procesos:



Se analizará cada uno de estos procesos para posteriormente determinar el más factible en efectividad y costo

### Reciclado Mecánico

Descripción del proceso de reciclado mecánico de desechos plásticos

Las diferentes etapas necesarias para el reciclaje de desechos plásticos domésticos, se explican a continuación:

a) Separación y limpieza.

Se realiza de forma manual. Su objetivo es, por una parte, clasificar el material en forma definitiva y, por otra, eliminar las impurezas gruesas del material, tal como etiquetas, corchetes, etc.

**b) Molienda.**

La molienda se lleva a cabo por trabajo mecánico, aplicando fuerzas de tensión, compresión y corte. Para esto se utilizan molinos, martillos, aglomeradores, etc.

**c) Lavado y secado.**

El proceso de lavado se efectúa en una máquina lavadora y tiene por objeto desprender los restos orgánicos, y otros contaminantes del material plástico molido. Posteriormente se secan en la máquina secadora.

Por efecto de los procesos de limpieza y lavado se produce una pérdida de 30% de material, que corresponde a desechos.

**d) Extrusión.**

La extrusión permite derretir el material, homogenizar la masa fundida, limpiar el material mediante un filtrado a la salida de la extrusora y añadir los aditivos necesarios para mejorar la propiedad del material reciclado.

Con la extrusión se obtiene un "spaghetti" debido al paso de la masa fundida por el filtro. Posteriormente este se solidifica al pasar por una piscina de enfriamiento

**e) Pelletización**

El "spaghetti" sólido obtenido en el proceso anterior pasa por un molinillo o pelletizadora en donde es cortado en pequeños pedazos para poner fin al proceso.

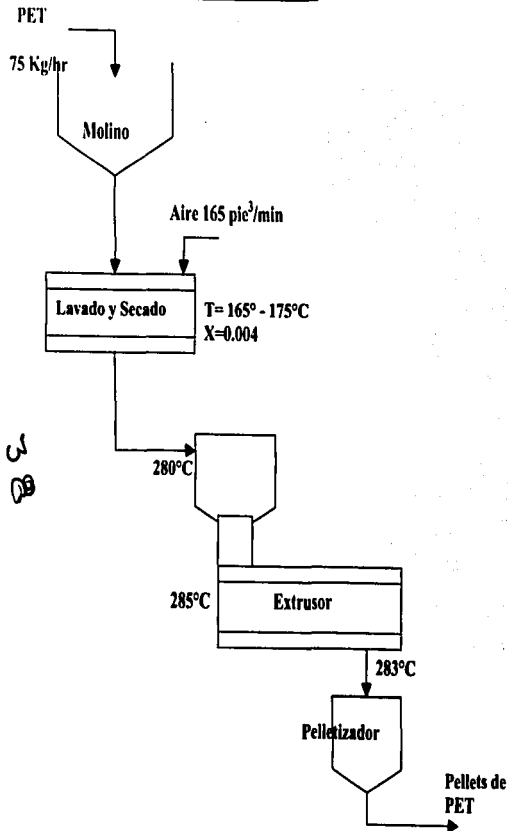
El proceso consta de los siguientes equipos:

Equipo
Cinta Transporta
Máquina Lavadora
Secadora
Molino
Línea de recuperado
Total

Producto Final: PET

# Reciclado de PET

## RECICLADO MECÁNICO: PET



Edmundo Corona Flores

Recolección y Separación

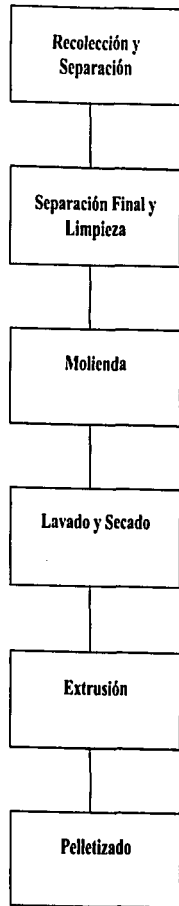
Separación Final y Limpieza

Molienda

Lavado y Secado

Extrusión

Pelletizado



### Reciclado Químico

Entre las diferentes estrategias para el reciclado de los materiales plásticos, el tratamiento químico de los desechos va ganando en importancia, día a día. Estos tratamientos conducen a productos tales como monómeros de partida, gas de síntesis y corrientes hidrocarbonadas, aplicando procesos de depolimerización, gasificación y otros tradicionales de refinado, tanto térmicos como catalíticos. El PET se depolimeriza, es decir, se separan las cadenas idénticas de moléculas que lo componen, y éstas se emplean para fabricar otra vez PET. Dependiendo de su pureza, este material puede usarse, incluso, para el envasado de alimentos.

#### *Depolimerización*

La reconversión directa de los monómeros de partida de un polímero, que pueden así ser de nuevo polimerizados regenerando el polímero virgen, es aplicable al PET. El éxito de este tipo de tratamientos depende, en gran manera, de la disponibilidad de una materia prima bien definida a través de un buen sistema de recolección y limpieza y de los costos del reprocesado del polímero.

La depolimerización se efectúa fundamentalmente a través de reacciones de hidrólisis, alcoholólisis, o glicólisis. Aunque la hidrólisis del PET puede emplearse como vía química de reciclado, generando los ácidos carboxílicos y los alcoholes. Los fabricantes de bebidas utilizan en la producción de nuevas botellas la depolimerización química basada en la metanólisis (alcoholólisis) del PET que regenera, tras la correspondiente separación y purificación, sus componentes base, Dimetil Tereftalato y Etilénglicol.

#### *Descripción del Proceso de Metanólisis*

El PET triturado se alimenta a un reactor que contiene una mezcla de Dimetil Tereftalato DMT y Etilénglicol a una temperatura de 220°C y 270°C, el reactor consta de un mezclador y el proceso es discontinuo. El metanol sobrecalentado es alimentado al reactor como vapor, el cual pasa a través de la mezcla de DMT, Etilénglicol y Polietilén Tereftalato y. El metanol es recuperado por medio de una torre de destilación y posteriormente enviado a un contenedor. El Dimetil Tereftalato recuperado y el Etilénglicol son separados del metanol en una primera torre de destilación.

## Reciclado de PET

Una segunda destilación sirve para separar el Dimetil Tereftalato y el Etilenglicol, el segundo sale por arriba de la torre y el primero es removido de la parte inferior de la misma torre.

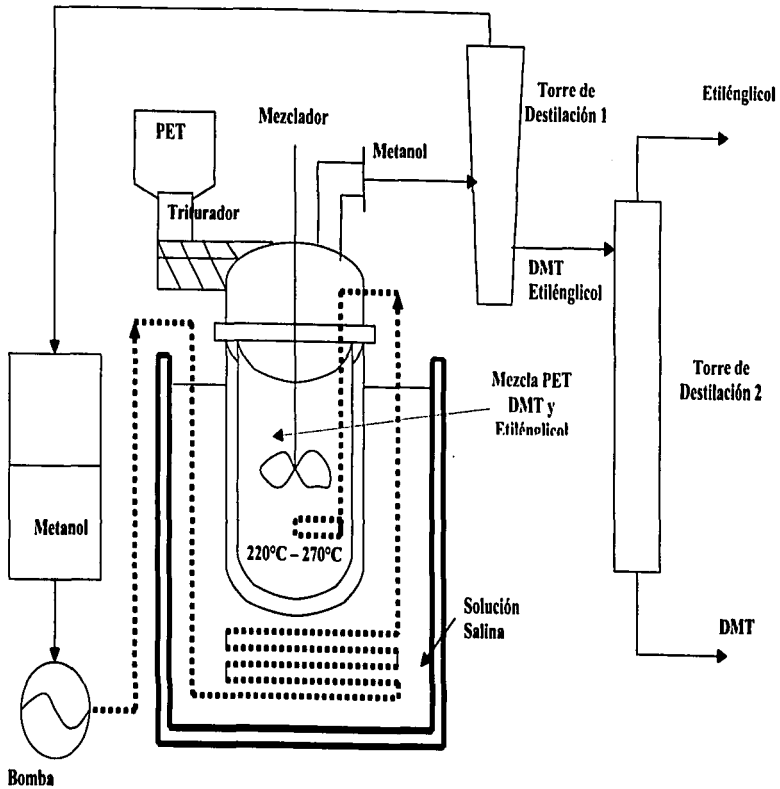
El proceso consta de los siguientes equipos:

Equipo
Reactor
Recipiente del reactor
2 Torres de Destilación
Triturador
Bomba
Contenedor

**Productos Finales:** Etilénglicol y Dimetil Tereftalato

METANÓLISIS: PET

US PATENT 5,051,528



71  
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### ***Gasificación***

En la gasificación, tiene lugar la oxidación parcial de los hidrocarburos, produciendo gas de síntesis (mezcla de monóxido de carbono e hidrógeno) que puede utilizarse como combustible para la generación de electricidad, materia prima para la fabricación de metano, amoníaco o alcoholes. Presenta la ventaja frente a otros procedimientos de reciclado químico, de poder admitir como alimentación toda la corriente de residuos, sin necesidad de separar previamente los plásticos.

La fabricación del gas de síntesis, para su uso posterior como combustible, tiene la ventaja, frente a la incineración, de que el proceso de gasificación puede ser controlado más fácilmente y prevenir las emisiones a la atmósfera.

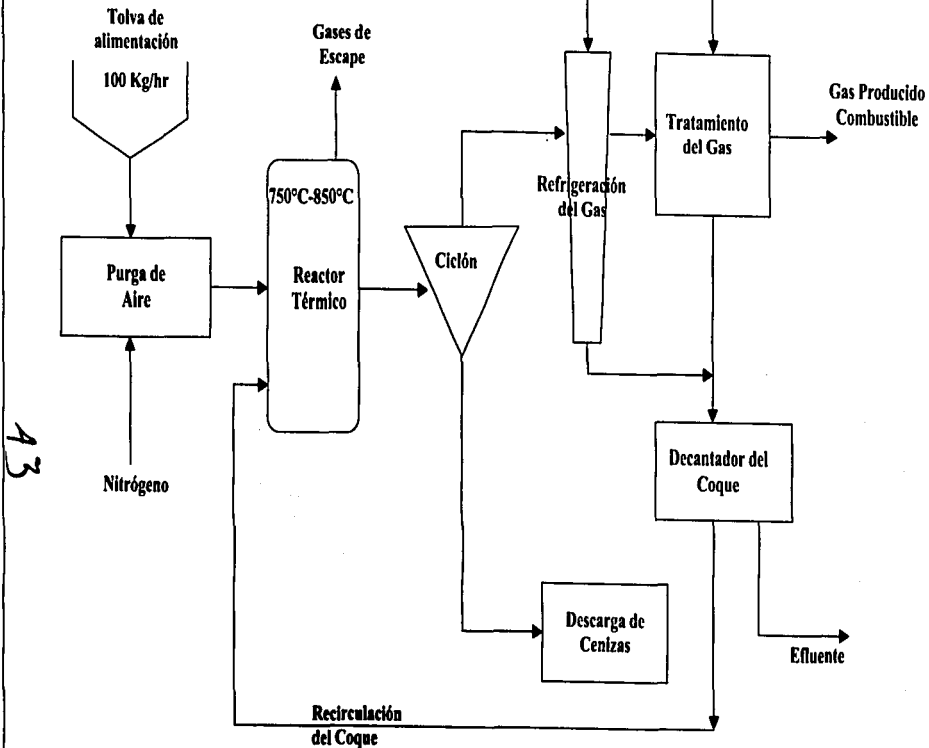
#### **Descripción del Proceso**

Antes de ser introducido al reactor, la alimentación es depurada mediante un gas inerte, como el nitrógeno, para desplazar el aire entrante y extraer el oxígeno del proceso. El residuo es enviado a un cilindro rotatorio horizontal el cual se calienta a una temperatura de entre 750 y 850°C. Las condiciones de operación del reactor están perfectamente controladas para asegurar la óptima producción de gas.

El gas producido y la ceniza sólida residual se separan en un ciclón instalado a la salida del reactor. El gas caliente producido es enfriado en un intercambiador antes del tratamiento en el sistema de limpieza del gas. La calidad del gas limpio generado es perfectamente apta para su suministro directo a un generador de fuerza motriz como puede ser un motor o una turbina de gas para generación de energía eléctrica. Alternativamente el gas puede usarse como combustible limpio para un calentador o caldera. Los diferentes tipos de reactores utilizados son los siguientes: Lecho fijo, Lecho fluidizado Doble lecho de circulación por efervescencia, Lecho móvil, Horno rotatorio, Ciclónico o "Vortex".



GASIFICACIÓN: PET



### Pirólisis

La pirólisis utiliza calor indirecto para convertir los materiales sólidos orgánicos en gases y líquidos. La conversión se lleva a cabo en una cámara de reacción donde el aire (oxígeno) está totalmente excluido. El material dentro de la cámara de reacción se calienta a temperaturas de entre 400 y 800°C, normalmente por combustión de una parte de los gases o líquidos producidos. Los productos resultantes del proceso de pirólisis siempre incluyen gas, líquido y ceniza sólida. Las condiciones de operación y diseño del reactor se pueden seleccionar para controlar las proporciones relativas de los elementos producidos en el proceso.

Los gases producidos mediante pirólisis tienen un poder calorífico más alto que los producidos mediante gasificación ya que no existe dilución con nitrógeno o gases de combustión.

El proceso de pirólisis a veces se conoce como termólisis. Esto es únicamente una preferencia en el uso de la terminología. De todos modos el proceso de reacción descompone y volatiliza los materiales orgánicos sólidos mediante calor.

#### Descripción del Proceso

Primero se da la desgasificación de las materias en ausencia de oxígeno a una temperatura entre 500°C y 550°C. Los constituyentes orgánicos se volatilizan y se extraen del tambor constituyendo el llamado gas de pirólisis. El residuo de la pirólisis (coque) se prepara para una futura utilización.

El coque preparado entra en el reactor de gasificación. Con la ayuda de oxígeno y a una temperatura de unos 1500 °C, el carbono contenido en el coque de pirólisis es convertido en gas y los componentes minerales se convierten en un fino granulado vítreo.

El gas de craqueo se enfría rápidamente y seguidamente es sometido a un lavado en el que son eliminados los contaminantes ácidos inorgánicos. Tras el lavado, el gas es sometido a una secuencia de secado por filtración por etapas, con lo que se elimina, por ejemplo, cualquier contaminante orgánico así como el mercurio y el sulfuro de hidrógeno. Con esta configuración base los residuos se separan en grupos reutilizables y el resto es convertido en "coque" y gas limpio de síntesis.

La pirólisis no necesita la separación de los residuos plásticos en sus componentes, y los productos resultantes pueden considerarse como una materia prima orgánica de la que pueden ser separados sus componentes con menor dificultad.

Los reactores empleados para la pirólisis de residuos de plástico son

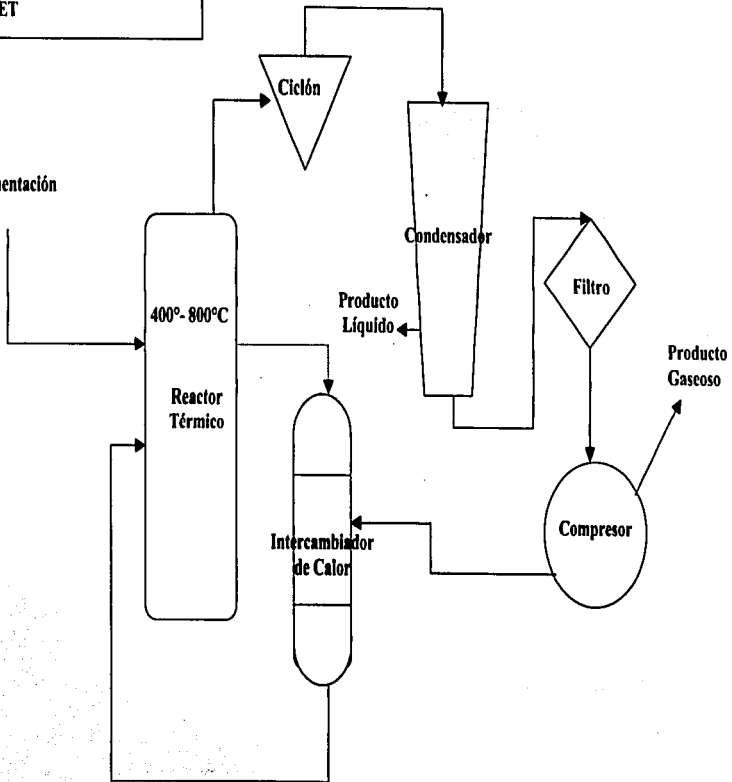
- Reactores de lecho móvil
- Autoclaves
- Reactores tubulares
- Hornos rotatorios
- Reactores de lecho fluidizado.

Equipo
Horno Rotatorio 100Kg/hr
Intercambiador de Calor
Condensador
Compresor
Filtro
Ciclón

Producto Final: Gas, coque, hidrocarburos, energía

PIRÓLISIS: PET

Alimentación



96

### **Incineración**

Consiste en eliminar la mayor parte del volumen de los residuos mediante su combustión, transformando los desechos en gases, cenizas y escorias con el fin de aprovechar la energía producida.

Puesto que los recipientes plásticos para líquidos son derivados de hidrocarburos, es posible emplearlos como combustibles alternativos. La selección y procesamiento llevado a cabo después de la separación, hace posible obtener combustibles con un alto grado de pureza y poder calorífico.

La recuperación de energía y el reciclado físico están al mismo nivel en lo que concierne al tipo de utilización y oportunidades de mercado.

Hay tres posibles usos:

- Para generar energía eléctrica y/o energía térmica mediante hornos rotatorios equipados con sistemas intensivos de recuperación de energía.
- Para reemplazar combustibles tradicionales (aceite, carbón, o coque), en hornos para la producción de cemento.
- Para producir gas síntesis, a partir de la gasificación de materiales plásticos, para emplearlos como gas combustible para la producción de energía.

Las ventajas principales en el tratamiento térmico son:

- Favorece el Control Sanitario
- Elimina Infecciones
- Reducción de Volumen
- Recuperación de Energía

Limitantes mostradas por mal control del proceso:

- Áreas Próximas al Centro de Incineración
- Tecnología Sofisticada
- Costo Elevado
- Pérdida de Productos Útiles

## **Reciclado de PET**

Como fuente de energía, el material tiene un poder calorífico de 5,373 Kcal/Kg. y una combustión eficiente. Además, como durante su fabricación no se emplean aditivos ni modificadores, no genera ninguna emisión contaminante, y de su combustión se obtienen tan sólo bióxido de carbono y vapor de agua.

La diferencia entre la incineración y los procesos anteriormente, radica en la presencia de oxígeno. En la incineración, el proceso es de combustión completa, mientras que en la gasificación y pirólisis, la reducción se realiza en ausencia o a baja concentración de oxígeno. El proceso se da en hornos de incineración.

**Precios de Hornos**

**Producto Final: Energía**

# Capitulo IV

## Resultados

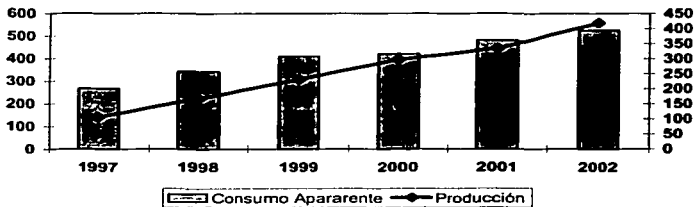
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

El reciclado de plástico no representa una tarea fácil sobre todo porque no existe una cultura ecológica en plásticos; sin embargo, en países desarrollados, se observa una gran oportunidad de negocio en él.

En la parte de mercado existe una enorme campo de oportunidades, aunque el consumo nacional aparente es menor a la producción, a diferencia de otros sectores, el del reciclado ve un beneficio en esta diferencia.

En otras palabras, los consumidores habituales de PET recurren a materias primas vírgenes, incrementado los volúmenes de PET sin reciclar. La variedad de usos y aplicaciones del PET así como sus nuevos e inexplorados campos de acción no permitirán ningún tipo de limitación a sus recicladores.

### CONSUMO APARENTE vs PRODUCCIÓN



En la parte de Productividad y Tecnología se puede decir que el reciclado de plásticos en el mundo ha crecido considerablemente, ofreciendo una gran variedad de equipos y posibles soluciones que ayuden a minimizar el problema de los desechos plásticos en la basura. Existen diversas tecnologías para reciclar plásticos, como ya se ha mencionado.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Los costos de los equipos utilizados para cada tipo de proceso, se mencionan a continuación, así como los productos finales.

Proceso	Costo Aproximado del Equipo USD	Producto Final
Mecánico	72,635	PET
Depolimerización	219,069	DMT y Etilénglicol
Pirólisis	133,463	Gas, hidrocarburos, energía
Gasificación	133,463	Gas, combustible, energía
Incineración	28,080	Energía

Nota: Se refiere al equipo básico

Fuente: [www.hengenharia.com.br](http://www.hengenharia.com.br)

Un análisis más completo se realiza en la tabla que se muestra en la parte de abajo en donde además de considerar los costos, también se consideran otros factores importantes para la selección del proceso más viable. De esta tabla, surgirán las conclusiones finales.

	Primario	Secundario	Terciario	Cuaternario
Residuo	Virgen	Plásticos Residuales, sin mezclar	Plásticos Residuales aún sin mezclar	Cualquier clase de residuos
Cantidad de Producción	Alta	Moderada	Alta (Virgen)	
Aplicación	Misma a la que estaba destinada la materia virgen	Múltiple	Todos	Producción de Energía
Procesos	Misma línea de producción	Extrusión, molienda, granulado, pulverizado	Depolimerización, Gasificación, Pirólisis	Incineración
Equipos	Molinos, Extrusores, Inyectoros	Molinos, Extrusores	Reactores lecho móvil, autoclaves, hornos rotatorios, reactores tubulares, reactores lecho fluidizado	Hornos rotatorios
Costo		Bajo	Alto	Alto
<b>Ventajas</b>				
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se conserva la estructura molecular del polímero</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>Diversidad en clases de residuo</li> <li>Método seguro para la eliminación de residuos peligrosos contenidos en los desechos plásticos</li> <li>Reducción de costos de transporte</li> </ul>
<b>Desventajas</b>				
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dificultad en el tratamiento de plásticos mezclados</li> <li>Deberán eliminarse etiquetas y adhesivos no solubles en agua</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Generación de productos delicados como gases nocivos</li> <li>Regulaciones ambientales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Generación de productos dañinos en forma de cenizas y gases nocivos</li> <li>La tecnología de incineración entre el sector público representa desconfianza e incertidumbre.</li> <li>Regulaciones ambientales</li> </ul>

52

*Evaluación Técnico-Económica del Reciclado Mecánico*

Dado que en su mayoría los desechos vienen sucios, habrá que someterlos a un proceso de limpieza, molienda y lavado, para esto se requiere de una cinta transportadora, un molino, máquina lavadora y secadora.

Las especificaciones del equipo es la siguiente:

Especificaciones	Unidad	Equipo
Modelo		SE/WR65S
Capacidad de Producción	Kg Hr	75 -90
Capacidad de Producción	Ton Mes	40
Motor	HP	10

Los elementos que componen la recuperadora son:

- Extrusora con tornillo de 65mm y motor principal de 10 HP. La potencia del calefactor es de 20 KW
- Piscina de Enfriamiento
- Molino Cortador de 3 HP

Etapa del proceso	
Limpieza y separación final	Manual
Lavado y Secado	Automático
Potencia Requerida KW	30

Inversión

La inversión en maquinaria necesaria para 75 Kg/hr (Precios incluyen IVA)

Equipo	Costo USD
Cinta Transporta	5,000
Máquina Lavadora	25,000
Secadora	9,000
Molino	3,450
Línea de recuperado	30,185
Total	72,635

La vida útil del molino y la recuperadora se estima en 10 años, mientras que el resto de la maquinaria se estima en 20 años.

**Ingresos**

El ingreso obtenido producto de la fabricación y venta de las 40 toneladas mensuales de pellet, alcanza el valor de 169,873 USD al año

Precio de venta promedio del Kg de PET	Producción	Valor al año
2.9 Pesos	40,000 Kg	1,247,994 pesos
0.263 USD	40,000 Kg	126,430 USD

**Egresos****Compra de materia prima:**

La máquina recuperadora cotizada tiene una producción de 40 ton/mes, si se considera una merma de 33% en el proceso de limpieza tón/mensuales de desechos plásticos para obtener las 40 toneladas mensuales de pellet. Por lo tanto, el gasto anual en compra de materia prima sería del orden de 7,102 USD

Precio compra promedio del Kg de PET	Volumen	Valor al año
1.47 Pesos	53,200 Kg	78,199 pesos
0.133 USD	53,200 Kg	7,102 USD

**Gastos en transporte:**

Se deben transportar 53,2 toneladas mensuales. Si se tiene que un camión cobra 50 USD por el transporte de 10 toneladas, se obtiene un gasto por flete de USD 300 mensuales, es decir, 3,600 USD al año.

**Sueldos en limpieza y separación:**

Se tiene un gasto por salarios al año de 36,000 USD

**Gastos en manutención e insumos**

## Reciclado de PET

La **manutención mensual** de este tipo implica: cambio de aceite, cambio de cuchillos de la pelletizadora y molino y repuestos varios. El costo mensual debería ser en promedio de 375 USD, es decir, 4,500 USD al año.

En relación a los insumos para el proceso productivo, es decir, sacos e hilo para envasar el pellet, se tiene que cada saco cuesta 0,27 USD y tiene una capacidad de 25 kg, es decir, se necesitarían del orden de 1,600 sacos mensuales o 19,200 anuales, por lo tanto, al año se gastarían 5,184 USD por este concepto.

### Gastos de agua, luz

Se estiman en 2,750 USD mensuales, es decir, 33,000 USD al año. Estos valores son aproximados, puesto que no está disponible toda la información necesaria para efectuar un cálculo exacto del consumo de electricidad y agua de las máquinas utilizadas.

Inversión USD	Ingresos USD	Gastos Totales	Utilidad	R
72,635	126,430	89,386	37,044	1.96 años

# Capitulo V

## Conclusiones

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Conclusiones**

El empresario que se dedique a recuperar los materiales poliméricos, debe tomar en consideración aspectos importantes que en muchas ocasiones son poco reconocidos para el desarrollo de su empresa y la calidad del producto que ofrece. El reciclado de plástico no representa una tarea fácil, sobre todo porque no existe una cultura ecológica en plásticos; sin embargo, en países desarrollados, se observa una gran oportunidad de negocio en él, México y América Latina están en la primera etapa de reciclado, por lo que su factibilidad radica básicamente en cinco aspectos; Abasto, Liqueidez, Mercado, Productividad y Tecnología.

Dentro de las estrategias para el reciclado de los materiales plásticos, el reciclado químico y la incineración con recuperación energética va ganando terreno frente a otras alternativas. Para los próximos años el reciclado químico representará el 20% del tratamiento global para los residuos plásticos y la incineración con recuperación energética representará el 50% del tratamiento total de los residuos plásticos. Determinar cual es la mejor opción, dependerá del uso final del producto reciclado y de las necesidades, la viabilidad técnica de las diferentes alternativas está en la mayoría de los casos demostrada, la selección idónea debe contemplar factores económicos, origen y composición de los residuos y legislación medioambiental.

Para la iniciación en el negocio del reciclado, el reciclado mecánico es la opción más viable, cuando no se cuenta con las posibilidades económicas y técnicas que permitan implementar otros procesos.

El reciclado mecánico por su parte juega un papel muy importante en la gestión de residuos plásticos, pero considerar esta opción como la única es ignorar otras posibilidades ambientales viables.

# Bibliografía

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



1. Anuario Estadístico de la Industria Química, 20003, 2002, Asociación Nacional de la Industria Química, ANIQ, México
2. Enciclopedia del Plástico, 2001, Instituto Mexicano del Plástico, IMPI, México.
3. APREPET, [www.aprepet.org.mx](http://www.aprepet.org.mx)
4. SICM, Base de Datos de Comercio Exterior 2003, Secretaría de Economía, SE.
5. Extrusion de plásticos, Anguita Delgado, Ramon, Madrid : H. Blume, 1977-1999
6. Art. Previsiones sobre consumo de PET, Revista de Plásticos Modernos Ciencia y Tecnología de Polímeros, pp 508, Mayo 1996 Barcelona España.
7. Art. Reciclado de Plásticos, Revista de Plásticos Modernos Ciencia y Tecnología de Polímeros, pp 305, Marzo 1999 Barcelona España.
8. Art. El PET, Revista de Plásticos Modernos Ciencia y Tecnología de Polímeros, pp 314, Marzo 1999 Barcelona España.
9. Art. Recuperación de fibras cortas de PET procedentes de residuos industriales, Revista de Plásticos Modernos Ciencia y Tecnología de Polímeros, pp 508, Marzo 1999 Barcelona España.
10. Art. El reciclado de botellas de PET, Revista de Plásticos Modernos Ciencia y Tecnología de Polímeros, pp 337, Abril 1997 Barcelona España.
11. Art. Aplicaciones especiales del envasado de PET, Revista de Plásticos Modernos Ciencia y Tecnología de Polímeros, pp 514, Mayo 2000 Barcelona España.
12. Art. Reciclado de botellas de PET, Revista de Plásticos Modernos Ciencia y Tecnología de Polímeros, pp 463, Abril 2000 Barcelona España
13. Seminario "La Era del Plástico" Procesos de Transformación" Instituto Mexicano del Plástico, IMPI, México 1992

## **Reciclado de PET**

14. Congreso de Extrusión de Plásticos, Instituto Mexicano del Plástico, IMPI, México 1995
15. The Association of Plastics Manufacturers in Europe (APME)  
[www.apme.org](http://www.apme.org)
16. Recycler's World, [www.recycle.net](http://www.recycle.net)
17. PET Containers Recycling Europe, [www.petcore.org](http://www.petcore.org)
18. Forum PET, [www.forum-pet.de](http://www.forum-pet.de)
19. Asociación Civil Argentina Pro Reciclado del PET, [www.arpet.org](http://www.arpet.org)
20. Ecocycle, [www.ec.gc.ca](http://www.ec.gc.ca)
21. [www.modplas.com](http://www.modplas.com)
22. [www.emison.com](http://www.emison.com)
23. <http://www.nebrija.es/~material/MAmb/Superior/residuosurbanos.pdf>
24. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente  
CEPIS <http://www.cepis.ops-oms.org/eswww/fulltext/repind59/ete/ete.html>
25. US Patent 5,051,528 Eastman Kodak Company, September 24, 1991

# Apéndice I

## Recomendaciones Técnicas

Para el Secado y Eliminación de Humedad

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Recomendaciones Técnicas Para el Secado y Eliminación de Humedad**

Un requisito esencial para el proceso de reciclado de la resina de polietilentereftalato (PET), es el control cuidadoso del secado del material, después de su lavado.

Para obtener un buen producto de PET, se requiere reducir la humedad a menos de 0.004% (40 partes por millón) antes de su molienda o extrusión.

La razón para esto, es que a temperaturas superiores al punto de fusión, el agua presente hidroliza rápidamente al polímero, reduciendo sus peso molecular así como sus propiedades características.

En la práctica, desde el punto de vista económico y de eficiencia, las mejores condiciones de secado se alcanzan entre 165°C y 170°C.

A continuación se presentan los aspectos más importantes para un buen proceso de secado así como los aspectos que deben ser considerados para asegurar un proceso confiable y eficiente.

**Requerimientos claves e implicaciones prácticas**

**1. Temperatura correcta de secado.**

La temperatura del pellet deberá estar entre 150°C y 160°C.

**2. Temperatura correcta del aire de secado.**

Entre 165°C y 170°C sin exceder de 180°C, medido a la entrada del aire del secador.

**3. Punto de rocío correcto del aire de secado.**

Este no deberá ser mayor de -30°C., siendo recomendable en la práctica valores menores o iguales a -40°C., medido a la entrada del secador.

**4. Adecuado flujo de aire de secado a través del pellet.**

Muchos secadores operan con flujos de aire de 1pic<sup>3</sup>/ min. Para 1 lb/hr. Obviamente el flujo de aire debe tener la temperatura y punto de rocío adecuados.

**5. Tiempo de residencia del pellet (tiempo de secado).**

Se recomienda que el tiempo de residencia para la Resina PET no sea menor a 4 horas, siendo común trabajar entre 6 y 8 horas. El tiempo de secado teórico, puede ser calculado dividiendo la capacidad del secador (Kg) entre la productividad de la máquina (Kg/hr).

La influencia de la humedad y temperatura del gas de secado, es mucho más compleja teniendo efectos significativos sobre la estructura química y propiedades finales de la resina debido a una degradación potencial del material por los procesos térmicos y de hidrólisis.

La importancia de la eliminación de humedad, es mostrada mediante un cálculo teórico donde se obtiene una pérdida de V.I. de 0.01 casi de forma instantánea, por cada 16 ppm de humedad retenida en PET fundido.

Adicionalmente, si la humedad ha sido removida a temperaturas de secado mayores a 180°C se puede conducir a una degradación termo-oxidativa donde se rompen las cadenas del polímero, produciendo subproductos indeseables con la consecuente disminución de las propiedades físicas.

Entre los subproductos se encuentra la generación de acetaldehído y cambios físicos que pueden producir una apariencia turbia-blanquesina, debida a la disminución de la viscosidad intrínseca así como una tonalidad amarillenta producida por la degradación. No obstante se recomienda efectuar el secado entre 165°C y 170°C, con un tiempo entre 4 y 8 horas hasta lograr que el contenido de humedad del chip sea de un máximo de 40 ppm. Estas condiciones minimizarán las interacciones entre los procesos involucrados.

Ante todo es importante seguir las instrucciones operativas sugeridas por el proveedor del equipo. Se deben llevar a cabo los programas de mantenimiento, los cuales están basados en una amplia experiencia. Las fallas en el equipo pueden provocar un secado ineficiente, generando productos fuera de especificación así como incremento en los costos de operación.

**Apéndice II**  
**Recomendaciones**  
**Técnicas**  
**Para la Molienda**

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Recomendaciones Técnicas para la Molienda**

De preferencia los molinos deben ser instalados junto al equipo de procesamiento o en un punto central de la planta.

Cabe señalar con base en la experiencia que mientras más cerca esté la partícula de tener forma esférica de alrededor de 0.77 in (3mm), mayor será la salida en el proceso de extrusión

Tamaño en la alimentación (pulgadas)	Tamaño deseado a la salida (pulgadas)
4 a 8 (botella)	0.77

**Tipos de Equipos para la reducción de tamaño**

<b>A. Trituradoras de quijada</b> 1 Blake 2 Excéntrico Superior 3 Dodge	<b>F. Desmenzadores</b> 1 Desmenzadores dentados 2 Desintegradores de jaulas 3 Molinos de disco <b>G. Cortadoras y rebanadoras rotatorias</b>
<b>B. Trituradoras giratorias</b> 1 Primarias 2 Secundarias 3 De cono	<b>H. Molinos con medios de molienda</b> 1 Molinos de Bolas 2 Molinos autógenos de volteo 3 Molinos agitados de bolas y arenal 4 Molinos vibratorios
<b>C. Molinos de Impacto p/ Trabajo Pesado</b> 1 Rompedores de Motor 2 Molinos de Martillo 3 Impactores de Jaulas	<b>I. Molinos de velocidad periférica media</b> 1 Molinos de rodillo y anillo 2 Molinos de rodillo para hule
<b>D. Trituradores de Rodillos</b> 1 Rodillos Lisos 2 Rodillos Dentados	<b>J. Molinos de alta velocidad periférica</b> 1 Molinos de martillos 2 Molinos de clavijas 3 Molinos de coloides
<b>E. Molinos de bandejas secas</b>	<b>K. Molinos hidráulicos superfinos</b> 1 De chorro centrífugo 2 De chorro opuesto 3 De chorro con yunque

Fuente: Perry, Manual del Ingeniero Químico

La guía para seleccionar el equipo se puede basar en el tamaño y la dureza de la alimentación.. Tabla siguiente:

Dureza del Material	Tamaño (pulgadas)				Relación de Reducción	Tipo de Equipo
	Alimentación		Producto			
	Max	Min	Max	Min		
Duro	60	12	20	5	3 a 1	A a D
	20	4	5	1	4 a 1	
Duro	5	1	1	0.2	5 a 1	A a F
	1.5	0.25	0.185	0.033	7 a 1	

Dureza del Material	Tamaño (pulgadas)				Relación de Reducción	Tipo de Equipo
	Alimentación		Producto			
	Max			Min		
Suave	20	4	2	0.4	10 a 1	Ca G
Duro	0.185	0.033	0.023	0.003	10 a 1	Da I
Duro	0.046	0.0058	0.003	0.000039	15 a 1	Ha K
Suave	0.5	0.065	0.023	0.003	20 a 1	E, I
Suave	0.156	0.0195	0.003	0.00039	50 a 1	La K

Cualquiera de los equipos seleccionados puede ser utilizado para la molienda del PET. Conviene hacer hincapié en que la tabla anterior constituye tan sólo una guía y en la práctica se encontrarán excepciones.

Efecto del tamaño del orificio en la malla.

La producción se incrementa con el incremento en el tamaño del orificio y la reducción en el consumo de la energía específica del molino. Para lograr altos niveles de producción del molino y para cualquier tamaño del pellet se deberá proporcionar una buena succión de arrastre del material a través de los orificios de la malla.

Esto puede afectar la distribución del tamaño de los pellets, y posteriormente repercutir en la producción en el extrusor.

Adicionalmente, pellets de mayor tamaño generarán dificultades durante el transporte, almacenaje y descarga. Sin embargo, si las características de los materiales son conocidas, es posible lograr condiciones óptimas de procesado.

Efecto del desgaste en las cuchillas

Cuando los materiales son procesados utilizando mallas de tamaño correcto, pero con cuchillas desgastadas se presentan problemas similares a los observados al utilizar hojuelas de gran tamaño.

Las superficies de las hojuelas con recortes presentan una apariencia rasgada y rugosa que puede engancharse con otras hojuelas, resultando de esto una densidad volumétrica más baja y un comportamiento de transporte pobre y finalmente en una reducción en la producción del granulador. Por consecuencia se tiene una reducción en el desempeño del extrusor.



**Apéndice III**  
**Recomendaciones**  
**Técnicas**  
**Para la Extrusión**

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Recomendaciones Técnicas para la Extrusión**

Consideraciones para un buen proceso de extrusión

Las partes más importantes del proceso de extrusión son:

- b) Husillo
- c) Dado

El primero porque de acuerdo a sus características será el material que se pueda trabajar.

Por otro lado, el segundo es el que define la forma final.

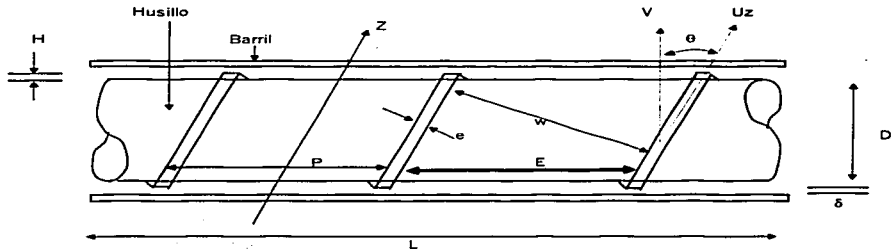
- a) Husillo



Las principales características en las que se basa la selección y diseño del husillo son:

Diámetro del Husillo, Longitud del Husillo, Angulo de la Hélice o Alabe, Ancho de hélice,

Altura de la primera cuerda , Altura de la última cuerda, Claro entre Cilindro y Husillo



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Variable	
H = Profundidad del canal del husillo	P = longitud de campo. longitud entre el inicio de una hélice y el inicio de la siguiente
w = ancho del canal del husillo	$\delta$ = separación entre la hélice y el barril
$\Delta P$ = gradiente de presión a lo largo del barril	$\theta$ = ángulo entre la hélice y la dirección perpendicular al husillo
L = longitud del husillo	N = velocidad de rotación del husillo
Z = longitud del canal del husillo	V = velocidad tangencial de rotación del husillo
E = longitud (axial) entre dos hélices del husillo	$U_z$ = velocidad máxima del fluido en dirección del canal
e = espesor de la hélice del husillo	$\eta$ = viscosidad del flujo
Q = gast/flujo volumétrico	R = Radio del orificio del dado
D = Diámetro del husillo	L = Longitud del orificio del dado

Estas características dan lugar a relaciones y proporciones que definen todas las cualidades del husillo.

Relación L/D.- Es la proporción de cuantas veces cabe el diámetro en la longitud del husillo, coincidiendo en algunas ocasiones con el número de cuerdas o filetes.

Actualmente las L/D más comunes son de 15:1, 20:1, 24:1, 28:1, 30:1, y 36:1. Los diámetros más comunes son de 30, 45, 50, 60, 75, 120 y 150 mm. Se recomiendan relaciones L/D grandes, ya que así se logra una mayor plastificación y un excelente mezclado, además de tener un mejor control de temperaturas.

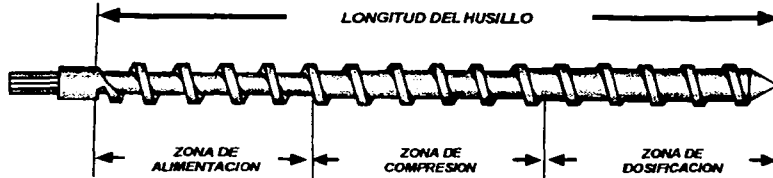
Las relaciones L/D óptimas son de 24:1 a 32:1

Relación de Compresión.- es la proporción de cuantas veces cabe la altura de la primera cuerda en la altura de la última cuerda. Las relaciones R.C. más comunes son 3:1 y 3.5:1  
Las relaciones R.C. óptimas son de 24:1 a 32:1

Zonas del Husillo.- Los husillos se dividen en 3 zonas, de acuerdo a la variación de la profundidad. Estas tres zonas son:

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

- 1) Alimentación
- 2) Compresión o Transición
- 3) Dosificación



**Alimentación.-** Su función es tomar el material en forma de pellets, transportarlo, comprimirlo y alimentarlo a la zona de compresión. Para un transporte eficiente, los gránulos deben adherirse a la pared del barril y mostrar un alto grado de deslizamiento en la pared del canal del husillo. Para alcanzar un mayor transporte de gránulos en la zona de alimentación se recomienda:

- a) Canal profundo (en comparación con el resto del husillo).
- b) Bajo grado de fricción entre gránulos y husillo.
- c) Alto grado de fricción entre gránulos y barril.
- d) Óptimo ángulo de la hélice (muchos husillos tienen paso cuadrado, esto es longitud de campo P igual al diámetro D. Esto da como resultado un ángulo de la hélice igual a  $17.7^\circ$ )

**Compresión o Transición.-** Es así llamada porque aquí se efectúa la transición del polímero de su estado sólido a un estado viscoelástico. De esta forma el material logra estar lo suficientemente viscoso y deformable para que se mezcle homogéneamente.

**Dosificación.-** Esta zona mantiene el estado viscoelástico del material y termina de homogenizarlo para enviarlo al dado dosificador y a una presión constante.

Aunque cada husillo presenta características definidas, las dimensiones óptimas son:

Zona de Alimentación =  $4D$  a  $8D$

Zona de Compresión =  $5D$  a  $8D$

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Al final de la zona de dosificación es común incluir un plato rompedor. Este es usualmente un disco con perforaciones, que en cierto modo hace las funciones de una coladera.

Este plato rompedor cumple varias funciones:

- a) Ayuda a aumentar la presión.
- b) El flujo rotacional del plástico fundido, procedente de la zona de dosificación del husillo, es transformado en flujo lineal, paralelo al eje del husillo.
- c) Detiene muchas impurezas y material no plastificado.

La experiencia señala que la salida de un extrusor dependerá de la forma en que el material plástico se alimenta a la tolva. En la mayoría de las circunstancias sucede que entre más cerca estén las partículas de tener forma esférica de alrededor de 3mm de diámetro mayor será la salida, como ya se comentó durante la selección del equipo de molienda.

Algunos materiales tienden a producir gases durante la extrusión, lo que provoca que los extruidos presenten burbujas o porosidad.

Esto puede reducirse utilizando un husillo con una zona de descompresión.

Principios para considerar los dados

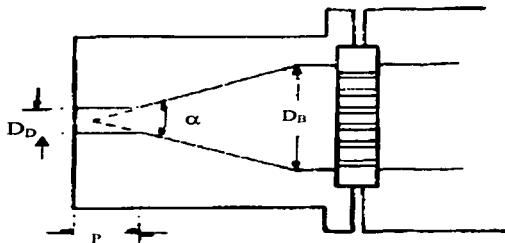
El dado determina la forma final del extruido.

$D_D$  = Diámetro del orificio del dado

$D_B$  = Diámetro del barril

$\alpha$  = Angulo de entrada del dado

$P$  = Longitud paralela del dado.



La presión a la entrada del dado (al final del husillo) es alta y la presión a la salida del dado es baja (atmosférica). Es importante mantener una presión alta en el interior del dado para consolidar el plástico fundido antes de que salga del dado. Esto se logra al diseñar restricciones al flujo en el interior del dado. Por ejemplo, la relación  $D_D/D_B$  debe ser menor que 1, y en la práctica ésta siempre es menor que  $\frac{1}{2}$ .

TESIS CON  
 SELLO DE ORIGEN

# Apéndice IV

## Recomendaciones Técnicas

Para los Sistemas de Calentamiento

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

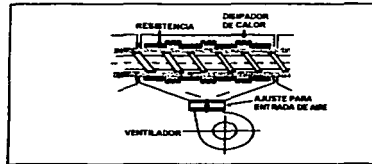
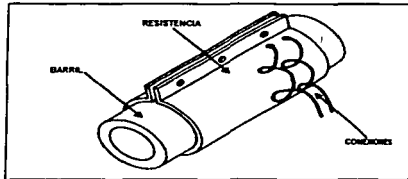
**Recomendaciones Técnicas para los Sistemas de Calentamiento**

Para aumentar la eficiencia del conjunto barril y husillo en sus diversas funciones, es práctica normal variar la temperatura a lo largo del barril. Es normal tener de dos a seis zonas de calentamiento a lo largo del barril y el dado.

El barril o cañón cuenta con resistencias que proporcionan una parte de la energía térmica que el material requiere para ser fundido.

En la fase inicial o de arranque de la máquina, el 100% de la energía para fundir el plástico proviene de estas resistencias eléctricas, pero una vez que el sistema llega a una operación estable, un 40% o más de la energía de fusión que proviene de la fricción del husillo contra el material y el resto es proporcionado por las resistencias.

En algunos casos va complementado con un sistema de enfriamiento que puede ser por flujo de líquido o más comúnmente por ventiladores de aire.



Condiciones de Operación (°C)	
Dado	283
Dosificación	285
Compresión	285
Alimentación	280
Velocidad del husillo (rpm)	60
Viscosidad Intrínseca	0.78

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Las temperaturas de trabajo pueden ir de 270°C a 285°C, tratando de seleccionar la temperatura mínima que permita el proceso con el objeto de evitar la pérdida de peso molecular, la caída de viscosidad o la degeneración.

En algunos husillos de alta productividad se recomienda contar con enfriamiento en el cilindro para tener un mejor control de temperatura.

### **Filtrado de material fundido**

Cuando se procesan grandes cantidades de recuperado, es conveniente trabajar con un paquete de mallas apropiadas para detener la mayoría de las impurezas.

Se debe contar con 2 manómetros uno antes y uno después de las mallas, para saber en qué momento es necesario cambiarlas.

Estas mallas se instala justamente en la cabeza del husillo donde además de filtrar generará una ligera contrapresión que servirá para homogeneizar el material.

### **Bombeo al cabezal**

Cuando el husillo tiene el diseño apropiado para el proceso, no es necesario trabajar con una bomba en el cabezal. Sin embargo, si se trabajan grandes cantidades, o si se tienen diferencias importantes en la forma o tamaño del granulado, el uso de la bomba servirá para controlar mejor el flujo.

# Apéndice V

## Recomendaciones Técnicas

Para los Materiales de Construcción

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Recomendaciones Técnicas para los Materiales de Construcción.**

Los aceros para la construcción del cañón pueden ser de diversos tipos, desde variedades al carbón como los AISI 1018, 1025, 1035, 1045 y 1050, aceros baja aleación que contienen en su composición silíce, cromo y molibdeno como el AISI 4130, 4140, 4142 y 4150 entre otros.

También son utilizados los inoxidables, aunque en menor proporción debido al elevado costo, como los tipos 304L, 316, 410, 17-4 PH, 440A y el tipo HK.

Finalmente el uso de aleaciones especiales se puede requerir para determinados materiales y condiciones de trabajo especiales, usando aleaciones como Inconel 600.

En la mayoría de los casos, el material seleccionado para la fabricación del husillo no puede cumplir con las condiciones de resistencia a la abrasión y resistencia química que se requiere para el trabajo con materiales plásticos, siendo necesario el uso de tratamientos que mejoren la resistencia superficial del cañón.

**Otras Consideraciones.**

En el montaje del extrusor es importante considerar los movimientos y esfuerzos que se pueden generar por las constantes dilataciones y contracciones que sufre el equipo con los cambios de temperatura.

Al pasar el extrusor de 25°C del reposo a 200-300°C durante la operación, aumenta longitudinalmente algunos milímetros en función del material de fabricación del cilindro y la longitud del mismo. De forma similar en sentido radial, el diámetro del cilindro se incrementa, siendo recomendable montarlo sobre soportes con diseños que permitan una firmeza en la estructura, pero con posibilidad de movimiento expansivo.

**Apéndice VI**  
**Recomendaciones**  
**Técnicas**  
**Para el Consumo de Energía**

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Recomendaciones Técnicas para el Consumo de Energía**

Las plantas de extrusión y especialmente las líneas de recuperación son grandes consumidores de energía. Ya sea por la selección incorrecta de los equipos, geometría inadecuada de husillos o por condiciones de operación erróneas, como perfiles inadecuados de temperatura, para un cierto polímero o intervalos demasiado largos para el cambio de las mallas que conllevan a consumos de energía innecesariamente altos.

Durante la operación de una planta de recuperación (excluyendo la etapa de lavado). El mayor consumidor de energía es el extrusor con aproximadamente un 28% y el granulador con 12% aproximadamente.

Consumo de energía durante la etapa de reducción de tamaño.

El consumo de energía específico requerido para moler diferentes materiales residuales requiere aproximadamente de 0.07 kWh/kg, y 0.1 kWh/kg.

Las posibilidades de ahorro de energía:

- Uso de un granulador con doble corte helicoidal.
- Alta velocidad de remoción del material granulado.
- Selección correcta del tamaño del orificio de la malla.
- Monitoreo del desgaste de las cuchillas.

Consumo de energía en extrusión.

El material dicta el nivel general de consumo de energía, el cual puede ser afectado positiva o negativamente de diversas maneras.

La manera más sencilla para reducir el consumo de energía específica es tener un programa adecuado de la temperatura en el barril.

También en la geometría del husillo es importante mantener un cuidadoso monitoreo. Aproximadamente el 30% de los costos de producción en un proceso de reciclado son costos de energía.

Estos costos pueden ser favorablemente influenciados por la selección correcta de la planta, del diseño de los equipos y de los métodos de operación, pudiéndose concretar en las siguientes recomendaciones:

- El uso de un adecuado programa de temperatura.
- Operar en un rango óptimo de carga.
- Utilizar las configuraciones de husillo más convenientes.
- Seleccionar el tamaño de partícula correcto.
- Operar en el rango de presión del fundido correcto.

Posteriormente se deberá continuar con las medidas de ahorro de energía, como sería reducir las pérdidas por radiación y la recuperación de calor del agua de enfriamiento.

# Apéndice VII

## Recomendaciones Técnicas

Problemas Típicos del Reciclado

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### **Problemas Típicos del Reciclado**

Aunque los aspectos positivos del reciclado de los materiales termoplásticos son numerosos, en ocasiones se presentan consideraciones especiales que deberán ser tomadas en cuenta cuando son utilizados materiales plásticos reciclados.

En teoría cualquier material termoplástico puede ser remolido o moldeado nuevamente por varias ocasiones. Pero en realidad existen un número de restricciones prácticas que limitan la factibilidad de reciclado de los materiales. Algunos de los problemas fundamentales asociados con el reciclado de los materiales plásticos incluye la disponibilidad, consistencia en la calidad, procesabilidad.

Los aditivos figuran prominentemente en el uso de materiales plásticos reciclados en diversas maneras. Por ejemplo la contaminación (polvo, aceite, pintura) puede considerarse como aditivos inesperados y deberán ser evitados a toda costa. Aunque son difíciles de detectar, cantidades diminutas de contaminación pueden tener efectos drásticos en el desempeño de los materiales.

Los contaminantes sólidos pueden presentar diversos problemas de procesado como sería el bloqueo del orificio de inyección o los canales de flujo. Adicionalmente la condición y concentración de los aditivos con el material reciclado.

#### *Contaminación*

La contaminación en el reciclado de plásticos es un tópico muy amplio que abarca una gran diversidad de formas tales como polvo, polímeros parcialmente oxidados, tinta de impresión, papel, pesticidas, metales, aditivos y sus productos de transformación. Por otra parte, se han incrementado en los productos plásticos sistemas multicomponentes que comprenden pigmentos, cargas, etiquetas, adhesivos y recubrimientos.

Por lo anterior, las probabilidades de interacciones antagónicas y de una contaminación no detectada son muy altas, conduciendo con esto a una reducción en la calidad del reciclado.

Aunque los consumidores pudieran ser persuadidos y educados para separar los productos plásticos para su eliminación, en la corriente municipal, seguiría existiendo el problema de



la separación de mezclas inadvertidas, productos multicomponentes y contaminaciones extrañas.

Por otra parte, dado que actualmente se reciclan plásticos que comprenden materiales hechos posiblemente desde hace 20 años, es necesario conocer sobre los tipos de aditivos presentes y sus productos de conversión después del proceso de reciclado.

*Precusores Ácidos.* La presencia de contaminantes que generan compuestos ácidos a temperaturas elevadas durante el proceso de extrusión es un grave problema en el reprocesado del PET, ya que las reacciones de rompimiento de cadena son catalizadas por los compuestos ácidos. Contaminantes como PVC, PVDC, adhesivos, EVA, papel, generan compuestos ácidos que catalizan la hidrólisis del PET. Las hojuelas de botellas de PVC generan HCL, mientras que el EVA del empaque de las tapas producen ácido acético.

El PVC como contaminante en el PET, aún en pequeñas cantidades presentes, genera efectos considerables en la viscosidad intrínseca del PET, como se ha venido mencionando.

*Humedad.* La contaminación por humedad deberá estar por debajo de 0.004% para evitar la reducción por hidrólisis. El efecto por la hidrólisis se ha reportado ser mayor que el generado por un rompimiento de cadena a causa de calor excesivo.

Cualquier cantidad de humedad que no se devolatilizó antes de fundir el PET reacciona inmediatamente y pequeñas cantidades de humedad pueden reducir la viscosidad a niveles inaceptables

El PET reciclado que se ha secado debidamente antes de su reprocesado deberá experimentar pérdidas de viscosidad de sólo aproximadamente 0.05 puntos.

*Otros contaminantes.* Con respecto a los adhesivos, al encontrarse contaminado el PET, éste al calentarse en el extrusor, se degradará enseguida, produciendo resina con baja viscosidad intrínseca y con una consecuente decoloración.

Similarmente en el caso de la sosa cáustica utilizada en la etapa de lavado, provoca la contaminación del PET con su posterior degradación durante el proceso de extrusión.

El acetaldehído es otro producto de degradación tanto en el PET reciclado como virgen; aunque debido a su volatilidad, es fácil de remover. Así entonces, la presencia, del acetaldehído es un grave problema a considerar en las aplicaciones del PET en contacto directo con alimentos.

Aunque el PET se someta a una etapa de lavado con agua caliente, los compuestos alcalinos pueden quedarse atrapados en los gránulos. Por lo que el reciclador puede producir un PET limpio, con una mínima degradación, pero en la siguiente etapa de extrusión, el PET puede degradarse debido a la presencia del catalizador.

### *Degradación*

La mayoría de los procesos de reciclado dependen de la historia térmica de los plásticos recuperados. La degradación de los materiales plásticos es una consideración importante durante el procesado de los mismos. Este fenómeno puede causar una reducción de las propiedades físicas, defectos superficiales así como inestabilidades en el proceso.

Existen diversos tipos de degradación presente tanto en procesos de moldeo por inyección como extrusión:

Degradación mecánica causada por un esfuerzo de corte mecánico excesivo durante el procesado.

Degradación térmica, ocurre a elevadas temperaturas.

Degradación química, es causada por una reacción entre el polímero y alguna sustancia química.

Degradación oxidativa, resulta como una combinación tanto de calor, oxígeno y parámetros mecánicos.



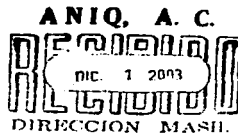
## Sumitomo Corporation de México, S.A. de C.V.

Jaime Balmes 8 - 801, Col. Los Morales Polanco  
C.P. 11510, México D.F. (Apdo. Postal: M-10454)  
Tel.: (52) (55) 21-22-3500 / Fax: (52) 21-22-3555

e-mail: mexzz-org@sumitomocorp.co.jp / sumitomo@prodigy.net.mx

México DF a 27 de Noviembre de 2003

Ing. Edmundo Corona Flores  
Gerente de Responsabilidad Integral  
Asociación Nacional de la Industria Química  
Angel Urraza 505, Col del Valle,  
México DF 01470



Estimado Ing Corona,

Por medio de la presente le extiendo un cordial saludo y aprovecho para agradecerle el que me haya enviado su trabajo de tesis para obtener el título de Ingeniero Químico. El equipo de Maquinaria Pesada y Energía de Sumitomo Corporation México utilizará esta información para analizar el potencial que tiene el mercado del reciclaje de PET en nuestro país y gracias a su contribución el análisis será más completo.

Esperamos poder seguir en contacto con usted y sin más por el momento, me despido.

Atentamente,

Ing. Raúl G Ortega  
Gerente de Proyectos  
Sumitomo Corporation Mexico