



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

---

---

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN

RECICLADO DE RESIDUOS SOLIDOS  
PLASTICOS

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A N :

EDITH NICOLIN ARAIZA

CESAR ROSAS MARTINEZ

ASESOR: I.Q. ARIEL SAMUEL BAUTISTA SALGADO

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

2005

m 344983



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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



**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES**

UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS



**DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO**  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN  
P R E S E N T E

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares  
Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

\_\_\_\_\_ Reciclado de Residuos Sólidos Plásticos \_\_\_\_\_

que presenta la pasante: Edith Nicolín Araiza  
con número de cuenta: 09850998-8 para obtener el título de :  
Ingeniera Química

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

**ATENTAMENTE**  
**"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"**

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 20 de Octubre de 2004

PRESIDENTE IQ. Ariel Samuel Bautista Salgado \_\_\_\_\_

VOCAL Dr. Adolfo Obaya Valdivia \_\_\_\_\_

SECRETARIO MC. Ricardo Paramont Hernández García \_\_\_\_\_

PRIMER SUPLENTE IQ. Margarita Alonso Espinosa \_\_\_\_\_

SEGUNDO SUPLENTE MC. Francisco Torres Bernardo \_\_\_\_\_



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN**  
**UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR**  
**DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES**

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

U. N. A. M.  
FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES CUAUTITLÁN



Departamento de  
Exámenes Profesionales

**DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO**  
**DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN**  
**P R E S E N T E**

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares  
Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

Reciclado de Residuos Sólidos Plásticos

que presenta el pasante: Cesar Rosas Martínez  
con número de cuenta: 09850860-6 para obtener el título de :  
Ingeniero Químico

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

**ATENTAMENTE**  
**"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"**

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 20 de Octubre de 2004

PRESIDENTE IQ. Ariel Samuel Bautista Salgado

VOCAL Dr. Adolfo Obaya Valdivia

SECRETARIO MC. Ricardo Paramont Hernández García

PRIMER SUPLENTE IQ. Margarita Alonso Espinosa

SEGUNDO SUPLENTE MC. Francisco Torres Bernardo

## *AGRADECIMIENTOS*

### *A DIOS*

*Por todas las bendiciones que me ha dado, principalmente por brindarme la oportunidad de poder iniciar y concluir mis estudios profesionales, así como por todas las cosas buenas y malas que me concedió vivir y conocer.*

### *A MIS PADRES*

*Por que sin su apoyo, sin sus empujoncitos y sobre todo sin sus sacrificios, no hubiera podido cumplir mi sueño. Les doy gracias por apoyarme siempre, por su confianza, por estar cuando mas los he necesitado y por regalarme su amor. Quiero también que sepan que esta tesis es de ustedes y que los amo.*

### *A MI HERMANO*

*Por tu apoyo, compañía, cariño y comprensión.*

### *A MIS SOBRINAS*

*A Leslie Yamile y Kiara Yunuen por convertir con inocencia los momentos difíciles en maravillosas horas de alegría. Gracias por haber llegado a mi vida.*

### *A MIS AMIGOS*

*Gracias por su ayuda y apoyo incondicional en los buenos y malos momentos que pasamos juntos.*

## A CESAR

*Por brindarme tu amistad sincera, por tu apoyo incondicional, por tus palabras de aliento en los momentos que me he sentido perdida y por resolverme muchas veces mis dudas a lo largo de la carrera. Gracias por ayudarme a cumplir este sueño.*

## A MI ASESOR

*Agradezco al Ing. Ariel Samuel Bautista Salgado por su asesoría en la dirección y realización de esta tesis y por la oportunidad de adquirir nuevos conocimientos durante las horas de clase y a lo largo de la carrera. Gracias por su apoyo y disponibilidad.*

## A MIS PROFESORES

*Un gran número de personas que con dedicación y paciencia han sabido compartir su conocimiento conmigo a lo largo de mi formación, que ahora llega a una gran meta. Gracias por su admirable labor.*

## A MIS SINODALES

*Al Dr. Adolfo Obaya, M.C. Ricardo Paramont, I.Q. Margarita Alonso y M.C. Bernardo Francisco, por su tiempo, disposición y conocimientos que a lo largo de esta tesis fui adquiriendo. Gracias por aceptar ser parte del jurado.*

EDITH NICOLIN ARAIZA

## *AGRADECIMIENTOS.*

### *MI NIÑA:*

*Fuiste, has sido y seguirás siendo mi principal motivo para seguir adelante.*

*Deseo con todo el corazón que te sientas orgullosa y darte lo mejor de mí como ser humano, como padre y principalmente como amigo. Recuerda que siempre estaré contigo, te amo mi picesa Sydney Marianne.*

*Gracias por existir.*

### *MI ESPOSA:*

*Por estar conmigo incondicionalmente en los momentos difíciles, en los momentos de alegría, por tu paciencia, tu comprensión y tu amor.*

*Gracias Sidney Aleth (pedacito)  
Te amo.*

### *MI MAMÁ:*

*Por darme la oportunidad de vivir, por los mil y un esfuerzos que realizaste para que pudiera concluir mis estudios. Tu apoyo incondicional me dio fuerzas para continuar en cada momento difícil.*

*Este logro lo comparto contigo con todo mi amor.*

*Gracias Sra. María Mtz.*

### *LOS SUEGROS:*

*Por su apoyo incondicional, por sus consejos, por ser mis amigos, pero sobre todo por creer en mi.*

*Con todo respeto y admiración que me merecen les dedico este trabajo.*

*Gracias Sr. Celso González y  
Sra. Adela García.*

*MR. GREGORY:*

*Por todo su apoyo, por ser como un padre, por sus consejos, por sus regaños por querer siempre lo mejor para mi y no dejarme solo.*

*Este logro lo comparto con usted y su familia pues representan una parte muy importante en mi vida.*

*Gracias Sr. Gregorio Mtz.*

*EDITH:*

*Por tu compañerismo, tu constancia, tu entrega, tu apoyo, por seguir adelante cuando creíste no poder más, gracias por tu valiosa ayuda para poder llegar a esta meta y te agradezco aún más la amistad que me has brindado.*

*Gracias Edith Nicolin*

*MI CUÑIS:*

*Por tu apoyo, confianza y amistad. Este trabajo te lo dedico a ti y a tu familia, pues también contribuyeron de alguna manera para poder llegar hasta aquí. Recuerda que en mí siempre tendrán un amigo.*

*Gracias Sra. Marlenne González y  
Familia.*

*PROFESOR ARIEL:*

*Por confiar en mí, por ser un excelente ejemplo a seguir, gracias por todos sus conocimientos transmitidos que ayudaron a mi formación profesional y sobre todo por su apoyo para llevar a cabo este trabajo.*

*Gracias I.Q. Ariel Bautista.*



*MIS PROFESORES:*

*A todos y cada uno con los que tomé clase, pues no solo recibí conocimientos académicos, sino también en el plano humano. Me llevo de ustedes un grato recuerdo, gracias.*

*En especial al Dr. Adolfo Obaya, M.C. Ricardo Paramont, I.Q. Margarita Alonso y M.C. Bernardo Francisco por dedicar una parte de su tiempo en la revisión de este trabajo y formar parte de este jurado.*

*También quiero agradecer a la Universidad Nacional Autónoma de México por darme un lugar en la institución; a la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán por permitirme aprovechar esta oportunidad.*

*Gracias*

*“Nunca se alcanza la verdad total,  
ni nunca se está totalmente alejado de ella”*

Aristóteles  
(384-322 A.C.)

# ÍNDICE

	Página
I. Introducción.....	IV
II. Objetivos.....	V
1. Historia de los plásticos.....	1
2. Importancia de los materiales plásticos.....	3
3. Los plásticos, características y sus usos.....	4
3.1. Resinas termoplásticos.....	4
3.2. Resinas termoestables.....	8
4. Residuos sólidos.....	9
4.1. Residuos sólidos urbanos.....	9
4.2. Residuos sólidos industriales.....	9
5. Procedencia de los residuos sólidos urbanos.....	12
5.1. Procedencia de los residuos plásticos.....	12
5.2. Composición de los residuos sólidos; antecedentes del reciclado en México..	12
6. Procedencia de los residuos plásticos industriales.....	16
6.1. Fuentes de procedencia.....	16
7. Generalidades del reciclado de desechos plásticos.....	18
7.1. Código internacional de los plásticos.....	18
7.2. Razones para el reciclado.....	19
i. Razones económicas.....	19
ii. Razones de ahorro de materias primas y energía.....	20
iii. Razones de tipo ecológico.....	20
7.3. Reutilización.....	20
7.4. Factores limitantes del reciclado.....	21
i. Degradación y reticulación.....	21
ii. Incompatibilidad entre los materiales plásticos.....	22
iii. Contaminación de los residuos.....	23
8. Métodos de separación.....	24
8.1. Separación de desechos plásticos a partir de la basura.....	24
i. Separación por tamaño.....	24
ii. Separación por color.....	24
iii. Separación manual.....	24

8.2. Separación de impurezas de los desechos plásticos.....	25
i. Método de separación del cilindro caliente.....	25
ii. Separación electrodinámica.....	25
iii. Separación por arrastre de aire.....	25
8.3. Separación de los plásticos entre sí según su naturaleza.....	31
8.4. Recolección selectiva.....	34
8.5. Consideraciones sobre la operatividad de los procesos de separación.....	36
9. Maquinaria y equipo de reciclado.....	37
9.1. Molinos.....	37
i. Molinos convencionales.....	37
ii. Molinos criogénicos.....	43
9.2. Pelletizadoras.....	46
10. Reciclado primario.....	49
10.1. Procesos y equipos industriales del reproceso de desechos plásticos.....	50
i. Compactador condux.....	50
ii. Proceso gloenco.....	51
iii. Proceso Zerglomatt, de Kraus-Maffei (Linz, Austria).....	51
10.2. Reciclado primario de varios plásticos.....	52
i. Reciclado primario de PE.....	52
ii. Reciclado primario de PS.....	52
11. Reciclado secundario.....	54
11.1. Reciclado secundario de residuos plásticos industriales.....	54
i. Remarker de Kleindienst (Alemania).....	54
ii. Reverzer de Mitsubishi Petrochemical (Tokio, Japón).....	55
iii. Proceso Davo.....	56
iv. Proceso Societé Paturle.....	56
v. Plastificador Patfoort (Bélgica).....	56
vi. Regal Packaging Ltd. (Reino Unido).....	56
vii. Proceso Societé Mox (París, Francia).....	56
viii. Kabor LTD. (Reino Unido).....	56
ix. Procedimiento Holzaptel Freres.....	57
11.2. Reciclado secundario de residuos plásticos urbanos.....	57
12. Reciclado terciario; obtención de monómeros.....	60
12.1 Procesos de reciclado terciario.....	60
i. Pirólisis.....	60
ii. Hidrólisis.....	70
iii. Glicólisis.....	73
iv. Cracking.....	74

13.	Reciclado cuaternario.....	75
13.1.	Incinerador de circulación de aire.....	76
14.	Reciclado de diversos plásticos.....	80
14.1.	Reciclado de polietilentereftalato (PET).....	80
i.	Características.....	80
ii.	Métodos de reciclado.....	80
14.2.	Reciclado de polietileno de alta y baja densidad (PEAD y PEBD).....	85
i.	Características.....	85
ii.	Métodos de reciclado.....	85
14.3.	Reciclado de cloruro de polivinilo (PVC).....	86
i.	Características.....	86
ii.	Métodos de reciclado.....	87
14.4.	Reciclado de polipropileno (PP).....	90
i.	Características.....	90
ii.	Métodos de reciclado.....	90
14.5.	Reciclado de poliestireno (PS).....	91
i.	Características.....	91
ii.	Métodos de reciclado.....	91
14.6.	Reciclado de poliuretano (PU).....	94
i.	Características.....	94
ii.	Métodos de reciclado.....	94
III.	Conclusiones.....	98
IV.	Glosario.....	99
V.	Bibliografía.....	104

## I. INTRODUCCIÓN.

A través de los años, los plásticos han ido creciendo y prosperando a partir de una industria, también comprometida con el cuidado responsable del medio ambiente.

Los plásticos son parte de nuestra vida y nos beneficiamos continuamente con su uso; desde la seguridad médica y alimentaria hasta las computadoras y automóviles, los plásticos han ayudado a mejorar la forma en que vivimos. Hoy, muchos olvidan o ignoran el milagro del plástico, sin embargo mucha gente tiene sentimientos encontrados con respecto a ellos y a su función. Actualmente la realidad es otra.

Ayudar a conocer más y mejor a los plásticos, difundiendo información veraz sobre ellos, es la razón de ser de este trabajo.

Como consecuencia de la preocupación general por los temas del medio ambiente, y por los crecientes costos y disponibilidad de las materias primas se está produciendo en todo el mundo una intensificación de los estudios que pretenden examinar y valorar las posibilidades de aprovechamiento de los residuos plásticos.

Estas investigaciones y desarrollos buscan procesos que reduzcan el volumen de dichos residuos, posibiliten su reciclado de forma sistematizada y, cuando esto no sea factible que los conviertan en energía.

El presente trabajo tiene como finalidad presentar la situación actual y real de estos estudios y desarrollos así como de sus perspectivas futuras tanto técnicas como económicas. En él se estudian las diversas procedencias de los residuos plásticos, sus sistemas de separación y los diferentes procesos de reciclado como son: primario, secundario, terciario y cuaternario.

## II. OBJETIVOS.

- Proporcionar una visión equilibrada de los plásticos: ¿qué son, cuál es su real impacto ecológico y cómo pueden manejarse sus residuos?
- Presentar la situación actual y real de los procesos para el reciclado de plásticos, así como sus perspectivas futuras tanto técnicas como económicas.
- Explicar razones y limitaciones existentes para llevar a cabo el reciclado de plásticos.
- Describir cada uno de los procesos de reciclado: primario, secundario, terciario y cuaternario.

## **CAPITULO 1**

### **HISTORIA DE LOS PLÁSTICOS.**

**Plásticos**, materiales poliméricos orgánicos que pueden deformarse hasta conseguir una forma deseada por medio de extrusión o moldeo. Las moléculas pueden ser de origen natural, por ejemplo la celulosa, la cera y el caucho (hule) natural, o sintéticas, como el polietileno o el nylon.

Los materiales empleados para su fabricación son resinas en forma de polvo en disolución. Con estos materiales se fabrican los plásticos terminados.

Los plásticos se caracterizan por una relación resistencia/densidad alta, unas propiedades excelentes para el aislamiento térmico y eléctrico; y una buena resistencia a la mayoría de los ácidos, álcalis y disolventes. Las enormes moléculas de las que están compuestos pueden ser lineales, ramificadas o entrecruzadas, dependiendo del tipo de plástico.

#### **Historia.**

El desarrollo de estas sustancias se inició en 1860, cuando el fabricante estadounidense de bolas de billar Phelan and Collander ofreció una recompensa a quien consiguiera un sustituto aceptable del marfil natural. Una de las personas que optaron al premio fue el inventor estadounidense Wesley Hyatt, quien desarrolló un método de procesamiento a presión de la piroxilina, un nitrato de celulosa de baja nitración tratado previamente con alcanfor y una cantidad mínima de disolvente de alcohol. Si bien Hyatt no ganó el premio, su producto, patentado con el nombre de celuloide, se utilizó para fabricar diferentes objetos, desde placas dentales hasta cuellos de camisa. El celuloide tuvo un notable éxito comercial a pesar de ser inflamable y de su deterioro al exponerlo a la luz.

Durante las décadas siguientes aparecieron de forma gradual más tipos de plásticos. Se inventaron los primeros plásticos totalmente sintéticos: un grupo de resinas fenólicas desarrollados hacia 1906 por el químico estadounidense de origen belga Leo Hendrik Baekeland, y comercializados con el nombre de baquelita. Entre los productos desarrollados durante este periodo están los polímeros naturales alterados, como el rayón, fabricado a partir de productos de celulosa [14].

#### **El avance de la química de los plásticos.**

En 1920 se produjo un acontecimiento que marcaría la pauta en el desarrollo de materiales plásticos. El químico alemán Hermann Staudinger aventuró que éstos se componían en realidad de moléculas gigantes. Los esfuerzos dedicados a probar esta afirmación, iniciaron numerosas investigaciones científicas que produjeron enormes avances en esta parte de la química. En las décadas de 1920 y 1930 apareció un gran número de nuevos productos, como el etanoato de celulosa (llamado originalmente acetato de celulosa), utilizado en el moldeo de resinas y fibras; el cloruro de polivinilo, empleado en tuberías y recubrimientos de vinilo, y la resina acrílica, desarrollada como un pegamento para vidrio laminado.





Uno de los plásticos más populares desarrollados durante este periodo es el metacrilato de metilo polimerizado, que se comercializó en Gran Bretaña con el nombre de Perspex y como Lucite en Estados Unidos de América, y que se conoce en español como plexiglás. Este material tiene unas propiedades ópticas excelentes; puede utilizarse para gafas y lentes, o en el alumbrado público o publicitario. Las resinas de poliestireno, comercializadas alrededor de 1937, se caracterizan por su alta resistencia a la alteración química y mecánica a bajas temperaturas y por su muy limitada absorción de agua. Estas propiedades hacen del poliestireno un material adecuado para aislamientos y accesorios utilizados a bajas temperaturas, como en instalaciones de refrigeración y en aeronaves destinadas a los vuelos a gran altura. El PTFE (politetrafluoretileno), sintetizado por primera vez en 1938, se comercializó con el nombre de teflón en 1950. Otro descubrimiento fundamental en la década de 1930 fue la síntesis del nylon, el primer plástico de ingeniería de alto rendimiento.

Durante la 2ª Guerra Mundial, tanto los aliados como las fuerzas del eje sufrieron reducciones en sus suministros de materias primas. La industria de los plásticos demostró ser una fuente inagotable de sustitutos aceptables. Alemania, por ejemplo, que perdió sus fuentes naturales de látex, inició un gran programa que llevó al desarrollo de un caucho sintético utilizable. La entrada de Japón en el conflicto mundial cortó los suministros de caucho natural, seda y muchos metales asiáticos a Estados Unidos de América. La respuesta estadounidense fue la intensificación del desarrollo y la producción de plásticos. El nylon se convirtió en una de las fuentes principales de fibras textiles, los poliésteres se utilizaron en la fabricación de blindajes y otros materiales bélicos, y se produjeron en grandes cantidades varios tipos de caucho sintético.

Durante los años de la posguerra se mantuvo el elevado ritmo de los descubrimientos y desarrollos de la industria de los plásticos. Tuvieron especial interés los avances en plásticos técnicos, como los policarbonatos, los acetatos y las poliamidas. Se utilizaron otros materiales sintéticos en lugar de los metales en componentes para maquinaria, cascos de seguridad, aparatos sometidos a altas temperaturas y muchos otros productos empleados en lugares con condiciones ambientales extremas.

## **CAPITULO 2**

### **IMPORTANCIA DE LOS MATERIALES PLÁSTICOS.**

Los plásticos tienen cada vez más aplicaciones en los sectores industriales y de consumo.

#### **Empaquetado.**

Una de las aplicaciones principales del plástico es el empaquetado. Se comercializa una buena cantidad de PEBD (polietileno de baja densidad) en forma de rollos de plástico transparente para envoltorios. El polietileno de alta densidad (PEAD) se usa para películas plásticas más gruesas, como la que se emplea en las bolsas de basura. Se utilizan también en el empaquetado: el polipropileno (PP), el poliestireno (PS), el cloruro de polivinilo (PVC) y el cloruro de polivinilideno. Este último se usa en aplicaciones que requieren estanqueidad, ya que no permite el paso de gases (por ejemplo, el oxígeno) hacia dentro o hacia fuera del paquete. De la misma forma, el polipropileno es una buena barrera contra el vapor de agua; tiene aplicaciones domésticas y se emplea en forma de fibra para fabricar alfombras y sogas.

#### **Construcción.**

La construcción es otro de los sectores que más utilizan todo tipo de plásticos, incluidos los de empaquetado descritos anteriormente. El PEAD se usa en tuberías, del mismo modo que el PVC. Éste se emplea también en forma de lámina como material de construcción. Muchos plásticos se utilizan para aislar cables e hilos, y el PS aplicado en forma de espuma sirve para aislar paredes y techos. También se hacen con plástico marcos para puertas, ventanas, techos, molduras y otros artículos.

#### **Otras aplicaciones.**

Otros sectores industriales, en especial la fabricación de motores, dependen también de estas sustancias. Algunos plásticos muy resistentes se utilizan para fabricar piezas de motores, como colectores de toma de aire, tubos de combustible, botes de emisión, bombas de combustible y aparatos electrónicos. Muchas carrocerías de automóviles están hechas de plástico reforzado con fibra de vidrio.

Los plásticos se emplean también para fabricar carcasas para equipos de oficina, dispositivos electrónicos, accesorios pequeños y herramientas. Entre las aplicaciones del plástico en productos de consumo se encuentran los juguetes, las maletas y artículos deportivos.

La industria de fabricación de materiales plásticos, como otras jóvenes industrias, ha tenido un desarrollo espectacular desde su aparición.

Este desarrollo ha sido posible gracias a la versatilidad de estos nuevos materiales que ha posibilitado su empleo en campos de aplicación tan diferentes como pueden ser el envase y embalaje, la construcción o la electrónica. Como todos los productos de nueva aparición, durante bastantes años han estado buscando su sitio dentro de los materiales tradicionales.

Los materiales tradicionales son el papel, cartón, vidrio, metal y madera.

Actualmente puede afirmarse, que debido a sus características propias y sus usos, los plásticos son excelentes sustitutos de los materiales tradicionales.

## CAPITULO 3

### LOS PLÁSTICOS; CARACTERÍSTICAS Y SUS USOS.

En el campo de la tecnología industrial, agrícola, informática, comunicación, medicina, etc., el plástico es una pieza clave en este tipo de aplicaciones a nivel mundial en el siglo XXI.

Los microchips, los CD-roms, los kits multimedia, en fin, todo el desarrollo científico apunta a la miniaturización y a la microtecnología. Entre otras cosas esto es posible gracias al plástico. La aparición de los plásticos en el mundo requiere de un nuevo vocabulario que nos permita entender y convivir con este material, que hoy es necesario en nuestra vida cotidiana.

La gran variedad de plásticos y, sobre todo la amplitud de sus aplicaciones hacen conveniente una ligera descripción de los mismos, así como de sus usos principales para poder entender los diferentes procesos de tratamiento y reciclado. Los plásticos se pueden dividir en dos clases principales: resinas termoplásticas y resinas termoestables.

#### 3.1 Resinas termoplásticas.

Se caracterizan porque durante su fabricación y transformación sus propiedades permanecen prácticamente sin cambiar y por ello son susceptibles de ser reutilizadas como materias primas en las operaciones de transformación. Ejemplos: polietileno, policloruro de vinilo, poliestireno, polietilentereftalato, etc.

A continuación se describen las características y uso de algunas resinas termoplásticas.

- Polipropileno: PP.
  - Estructura: parcialmente cristalina.
  - Densidad: 0.91-0.93 g/cm<sup>3</sup>.
  - Propiedades: más duro y resistente a temperaturas altas que el PE, pero menos resistente a temperaturas bajas. Duro, difícil de romper, excelentes propiedades dieléctricas, inocuo para la salud, permeables a sustancias aromáticas.
  - Propiedades químicas: resistente a ácidos, soluciones salinas, alcohol, gasolina, sumos de frutas, aceite, leche, etc. Sin embargo, no es resistente a hidrocarburos clorurados y al cobre.
  - Identificación del material: el PP es fácil de inflamar, gotea durante la combustión, llama clara con núcleo azul, fuerte olor a parafina.
  - Usos: apto para bisagras, piezas para la industria automotriz, bolsas para alimentación y vestido, mobiliario, tuberías, sacos de rafia, etc.
  - Reciclado: se admite hasta el 100% de material recuperado.



- Polietileno: PE.

Existen dos tipos:

Polietileno de baja densidad (PEBD), relativamente flexible.

Polietileno de alta densidad (PEAD), más rígido que el PEBD.

- Estructura: parcialmente cristalina.
  - Densidad: 0.92-0.96 g/cm<sup>3</sup>.
  - Propiedades: material flexible y blando, resiste una temperatura de -40°C resistente al choque, inquebrantable. Excelentes propiedades dieléctricas, inocuo para la salud, permeable a sustancias aromáticas.
  - Propiedades químicas: resistente a ácidos, disolventes, alcohol, gasolina, sumos de frutas, aceite, leche, etc. Sin embargo, no es resistente a hidrocarburos clorurados.
  - Identificación del material: él PE es fácil de inflamar, gotea durante la combustión, llama clara con núcleo azul, fuerte olor a parafina.
  - Usos: láminas, sacos y bolsas, envases complejos, botellas flexibles y rígidas, juguetes, aislamiento de cable, cajas, etc.
  - Reciclado: se admite hasta el 100% de material recuperado.
- 
- Poliestireno: PS.
  - Estructura: amorfo.
  - Densidad: 1.05 g/cm<sup>3</sup>.
  - Propiedades: duro, rígido, fácil de quebrar. Excelentes propiedades dieléctricas, alta estabilidad transparente, brillante, fácil de colorear sin olor ni sabor.
  - Propiedades químicas: resistente a ácidos, alcohol, grasa, aceites y soluciones salinas. Sin embargo, no es resistente a gasolina, benceno, diversos disolventes.
  - Identificación del material: el PS es fácil de inflamar, arde con llama amarilla y un olor típicamente dulzón (estireno).
  - Usos: pequeños recipientes para productos alimenticios (yogurt, huevo), tazas, bandejas, material transparente de iluminación, etc.
  - Reciclado: se admite hasta el 100% de material recuperado.



- Policloruro de vinilo: PVC.
  - Estructura: amorfo.
  - Densidad: PVC duro  $1.35 \text{ g/cm}^3$  y PVC blando  $1.1$  a  $1.4 \text{ g/cm}^3$ .
  - Propiedades: duro, rígido, flexible elástico transparente hasta opaco.
  - Propiedades químicas: resistente a ácidos, detergentes, grasas. Sin embargo, no es resistente a gasolina, acetona, ésteres.
  - Identificación del material: el PVC es difícil de inflamar, arde con llama verde y un olor HCl.
  - Usos: PVC rígido: botellas transparentes, film transparente para el embalaje, discos, guarniciones de automóvil, tuberías, etc.
  - Usos del PVC flexible: aislamiento de cables, pavimentos, suelas de zapato, tuberías, impermeables, cuero artificial, etc.
  - Reciclado: si el material no está dañado térmicamente puede volver a utilizarse en su totalidad.
  
- Acrilonitrilo-butadieno-estireno: ABS.
  - Estructura: amorfo.
  - Densidad:  $1.06$  a  $1.19 \text{ g/cm}^3$ .
  - Propiedades: duro, tenaz, alta estabilidad térmica, inocuo para la salud, material transparente.
  - Propiedades químicas: resistente a ácidos, hidrocarburos, aceites, grasas, gasolina. Sin embargo, no es resistente a acetona, éter, benceno, anilina, esencia de anís.
  - Identificación del material: el ABS es fácil de inflamar, arde con llama amarilla y desprende un olor dulzón (estireno).
  - Usos: aparatos telefónicos, carcasas de electrodomésticos, accesorios de automóvil.
  - Reciclado: si el material no ha sufrido degradación térmica se puede utilizar, un 30% de recuperado.



### CAPITULO 3. LOS PLÁSTICOS; CARACTERÍSTICAS Y USOS.

---

- Poliamidas: PA.
  - Estructura: Parcialmente cristalina.
  - Densidad:  $1.14 \text{ g/cm}^3$ .
  - Propiedades: en estado de equilibrio higroscópico (2-3%) muy tenaz, en estado seco quebradizo. Generalmente es un material duro, rígido, fácil de colorear, inocuo, buena adhesión con pegamentos.
  - Propiedades químicas: resistente a gasolina, aceites, benceno, disolventes, éster, cetona. Sin embargo, no es resistente a ácido clorhídrico, ácido sulfúrico, agua oxigenada.
  - Identificación del material: el PA es fácil de inflamar, sigue ardiendo después de eliminar la flama, gotea en forma de burbuja, llama azul con borde amarillo.
  - Usos: piezas industriales y eléctricas (engranajes, aspas, etc.).
  - Reciclado: se puede añadir un 10% de recuperado al material virgen.
  
- Policarbonato: PC
  - Estructura: amorfo.
  - Densidad:  $1.2 \text{ g/cm}^3$ .
  - Propiedades: duro, rígido, tenaz, resistente al impacto, resistente al calor, resistencia a la intemperie conservando líquidos.
  - Propiedades químicas: resistente a gasolina, ácidos débiles, alcohol. Sin embargo, no es resistente al benceno y ácidos fuertes.
  - Identificación del material: el PC es difícil de inflamar, se apaga después de eliminar la llama, arde con flama amarilla, carece de olor característico y forma burbujas al quemarse.
  - Usos: alimenticio; almacenamiento de líquidos principalmente.
  - Reciclado: se puede añadir hasta un 20% de recuperado al material virgen.



- Polietilentereftalato: PET
  - Estructura: parcialmente cristalino.
  - Densidad:  $1.35 \text{ g/cm}^3$ .
  - Propiedades: duro, rígido, tenaz, consistente, buena estabilidad, poco higroscópico.
  - Propiedades químicas: resistente a aceites, grasas, alcoholes, éter, gasolina, ácidos débiles y alcalinos débiles. Sin embargo, no es resistente a benceno, acetona, ácidos y alcalinos fuertes.
  - Identificación del material: el PC es difícil de inflamar, se apaga después de eliminar la llama, forma llama luminosa de color naranja produciendo un olor aromático.
  - Usos: se emplea para embalajes y recipientes de almacenamiento, principalmente refrescos, líquidos, etc.
  - Reciclado: se puede añadir hasta un 20% de recuperado al material virgen, si no está dañado térmicamente.

### 3.2 Resinas termoestables.

Se caracterizan por el hecho de que, durante su fabricación, se producen en ellas un cambio químico, o una reacción de entrecruzamiento, para dar lugar a productos que no son capaces de ser fundidos de nuevo y en los que su estructura química ha sido modificada de forma sustancial. Por esta razón, los plásticos termoestables no pueden ser considerados normalmente como susceptibles de reciclado. Ejemplos: resinas de fenol/formaldehído, urea/formaldehído, poliésteres, etc. Cabe destacar que el poliuretano es la única resina termoestable que se puede reciclar, sin afectar sus propiedades.

- Resinas a base de formaldehído.
  - Fenol formaldehído (PF): bakelita.
  - Formaldehído urea (UF).
  - Formaldehído melamina (MF): formica.
  - Uso: recubrimientos de muebles, enchufes, interruptores y otro material eléctrico.
- Resinas epoxi y poliésteres insaturados.
  - Uso: en combinación con la fibra de vidrio y otros componentes sirven para: cascos de embarcaciones, carrocerías de vehículos, bañeras, depósitos y piezas prefabricadas para la construcción.
- Poliuretano (PU).
  - Uso: mobiliario, colchones, aislamientos, etc.

## **CAPITULO 4**

### **RESIDUOS SÓLIDOS.**

El origen de los residuos es muy heterogéneo y difícil de sistematizar. Pueden clasificarse por su naturaleza, por su origen o por su lugar de producción. Desde el punto de vista de su procedencia podemos decir que los residuos sólidos plásticos están presentes en dos tipos principales de residuos: residuos sólidos urbanos e industriales.

#### **4.1 Residuos sólidos urbanos.**

Los residuos sólidos urbanos se clasifican de acuerdo a la fuente de generación, en residenciales o desechos generados en los hogares; y otros, como los producidos en los mercados, calles, jardines y parques públicos, mismos que son recolectados por organizaciones de limpia municipal o privados.

En México, el proceso de manejo de los residuos sólidos urbanos se define como el control de la generación y operación de las etapas de almacenamiento, recolección, barrido, transporte y transferencia, así como el procesamiento y la disposición final de los mismos.

La (Figura 4.1) muestra el desarrollo de la generación de residuos sólidos urbanos por región, medida en kg/hab/día, durante 1992, 1995 y 1996. La región de la frontera norte generaba en 1996, el 6.5% de las 87,560 ton/día de residuos sólidos urbanos que se generaron en el país en ese mismo año. Los habitantes de la franja fronteriza produjeron una gran cantidad de residuos sólidos urbanos solo superados por los del Distrito Federal (1996).

La generación de residuos sólidos urbanos por habitante, en la franja fronteriza norte, se incrementó 34.3%, de 1992 a 1996 al pasar de una generación de 0.749 a 1.006 kg/hab/día. La producción nacional per cápita de este tipo de desechos se incrementó en el mismo periodo de 0.706 a 0.938 kg/hab/día (32.9%). Estas cifras nos indican que la producción de desechos sólidos municipales se encontraba, en 1996, 7.2% por arriba de la media nacional.

#### **4.2 Residuos sólidos industriales.**

Hay dos tipos de basura industrial. La primera de ellas se refiere a los recortes y scraps que se producen en las operaciones que se realizan en una planta industrial. Este tipo de residuo es homogéneo y en muchos casos es reciclado mediante la incorporación de estos recortes a la materia virgen.

El segundo tipo está constituido fundamentalmente por mezclas de productos y, por lo tanto, no es homogéneo. Su aprovechamiento posterior requiere una separación previa.

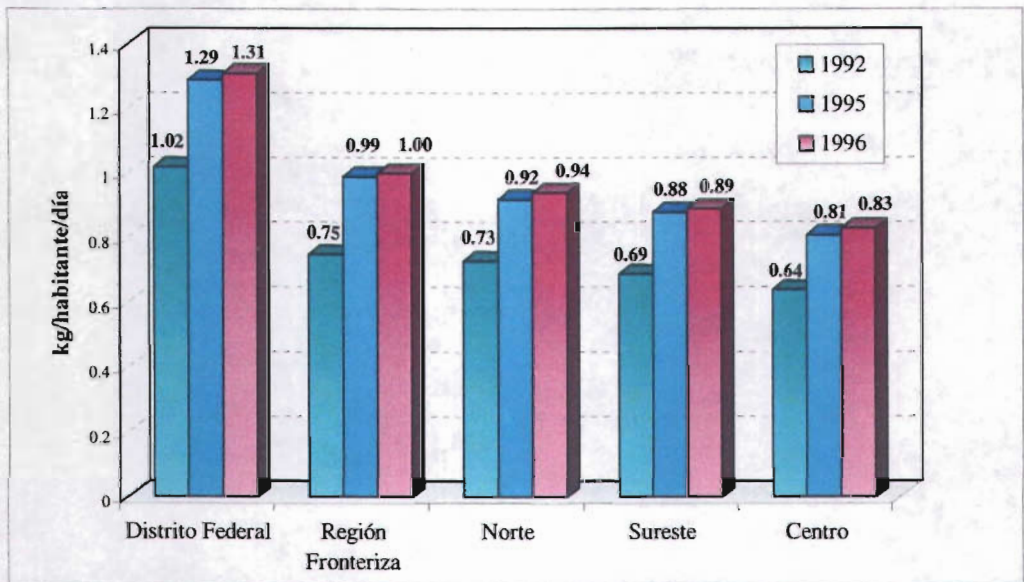
En efecto, en el total de la industria, las proporciones de scraps y desperdicios que se utilizan en la fabricación de un amplio conjunto de materiales son importantes, aunque los datos de que se disponen sugieren que la gran masa de material reprocesado se origina en la planta y sólo una pequeña parte procede normalmente de la recuperación después del consumo.





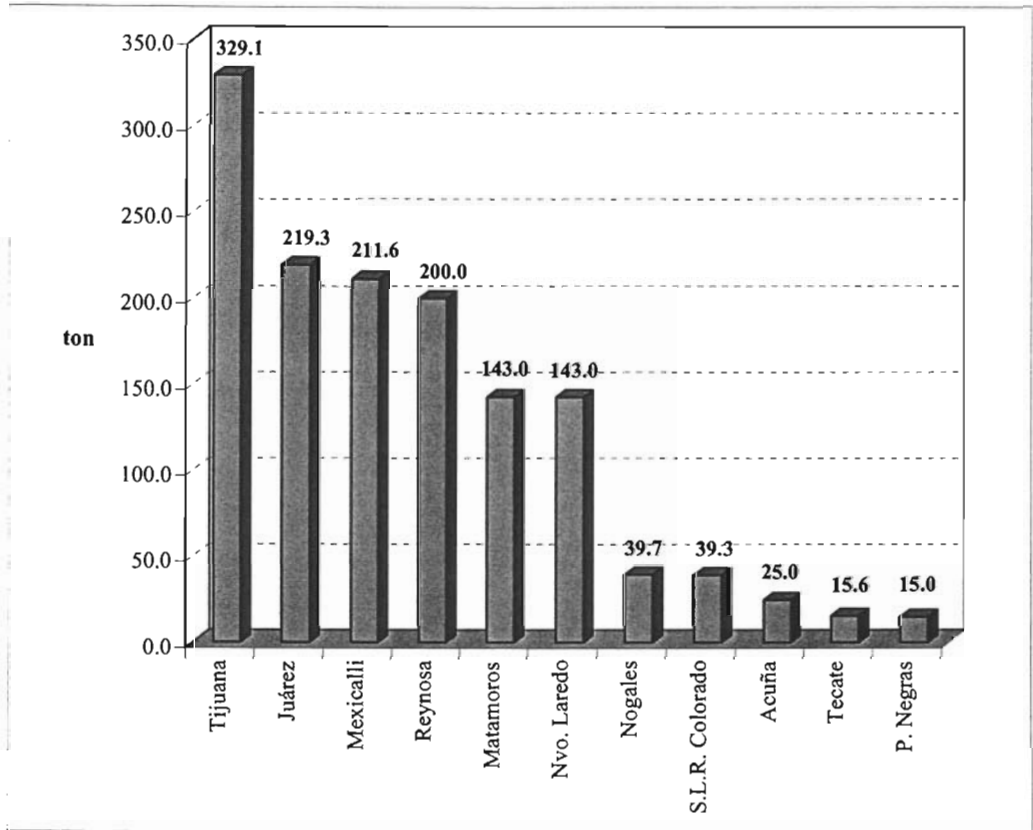
Las industrias ubicadas en las once ciudades de la frontera norte de la república mexicana producen el 23.8% del total de los residuos sólidos producidos en esa zona, cifra que equivale a 547,135 ton por año.

En la (Figura 4.2) se indican las toneladas de residuos sólidos industriales producidos en la frontera norte, donde se muestra que la ciudad de Tijuana, es la que mayor cantidad de residuos produce.



Fuente: SEDESOL, 1996.

Figura 4.1 Volumen estimado de generación de residuos sólidos urbanos por región (1992, 1995 y 1996).



Fuente: Presidencias Municipales, 1998.

Figura 4.2 Residuos sólidos de origen industrial en la frontera norte de la república mexicana.

## CAPITULO 5

### PROCEDENCIA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS.

Anteriormente se ha descrito la incidencia de los materiales plásticos en los residuos sólidos urbanos. Sin embargo, es de mucho interés para el tema del trabajo conocer su procedencia y la distribución de los diferentes plásticos.

#### 5.1 Procedencia de los residuos plásticos.

En los residuos urbanos, la mayor parte de los objetos de plástico se encuentran en forma de envases y embalajes (botellas, tarrinas, bolsas, filmes, tapones, etc.)

#### 5.2 Composición de los residuos sólidos; antecedentes del reciclado en México.

En México desde hace mucho tiempo se han reciclado diversos tipos de materiales, entre los que se encuentran de manera más frecuente, los siguientes:

- Vidrio.
- Aluminio.
- Metales
- Papel / cartón.
- Madera.
- Plástico.

La gran cantidad de basura que se tira anualmente en México esta creando serios problemas, sobre todo cuando llega el momento de deshacerse de ella: si se quema, contamina el aire; si se entierra, contamina el suelo; si se desecha en mares, lagos y ríos, contamina el agua.

Para ayudar a la conservación de nuestro medio ambiente, se debe iniciar por revisar y cambiar hábitos, porque los actuales llevan implícita una carencia educativa en cuanto a cultura ecológica se refiere.

En (Tabla 5.1) se muestra que la composición de los residuos sólidos municipales no es homogénea en el territorio nacional, sino que responde a la distribución de hábitos de consumo y poder adquisitivo de la población. Así, la composición de éstos en la zona sur del país tiene mayor contenido de residuos orgánicos, mientras que en las zonas urbanas el mismo subproducto aparece en menor proporción [16].



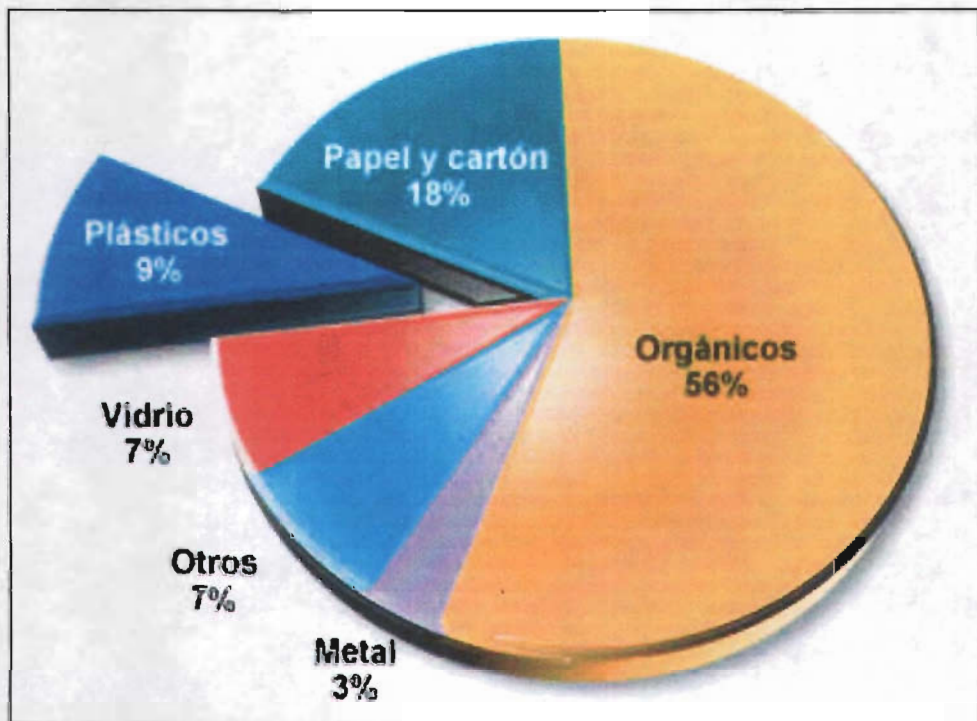
Tabla 5.1 Composición de los residuos sólidos por zona geográfica en la república mexicana (%).

Subproducto	Frontera norte	Norte	Centro	Sur	D.F.
Cartón	3.973	4.366	1.831	4.844	5.360
Hueso	0.504	0.644	0.269	0.250	0.080
Hule	0.278	0.200	0.087	0.350	0.200
Lata	2.926	1.409	1.700	2.966	1.580
Material ferroso	1.183	1.476	0.286	0.399	1.390
Material no ferroso	0.226	0.652	0.937	1.698	0.060
Otros	11.500	12.267	12.326	14.102	10.410
Pañal desechable	6.552	8.308	6.008	5.723	3.370
Papel	12.128	10.555	13.684	8.853	14.580
Plástico película	4.787	5.120	1.656	1.723	6.240
Plástico rígido	2.897	3.152	1.948	1.228	4.330
Residuos alimenticios	26.972	21.271	38.538	16.344	34.660
Residuos de jardinería	16.091	19.762	7.113	26.975	5.120
Residuos finos	1.369	2.225	3.512	8.075	1.210
Trapo	1.965	2.406	0.807	2.157	0.640
Vidrio de color	2.059	0.934	4.248	0.599	4.000
Vidrio transparente	4.590	5.254	5.051	3.715	6.770
<b>Total</b>	<b>100.000</b>	<b>100.000</b>	<b>100.000</b>	<b>100.000</b>	<b>100.000</b>

Fuente Sancho y Cervera, J. y G, Rosales. 1999.

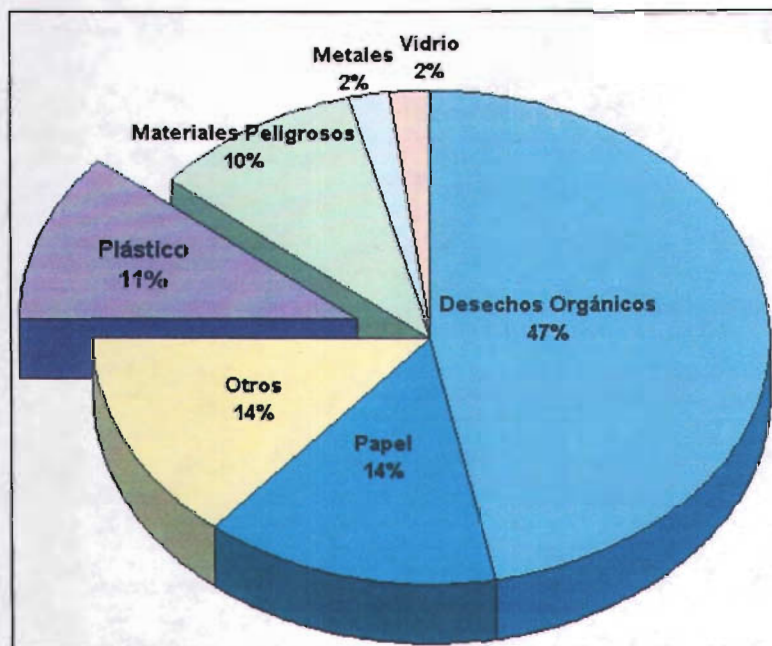
De acuerdo a estudios realizados en 1997, los principales constituyentes de un basurero se expresaron en porcentajes de volumen y tipos de materiales: En la (Figura 5.1) se indican los porcentajes de los desechos existentes en ese basurero [17].

Como se muestra en la (Figura 5.2), la basura está compuesta por varios materiales susceptibles de recuperación para ingresar nuevamente a una cadena productiva, de tal forma que no representen un problema ni un riesgo a la población y al ambiente [18].



Fuente: Inare 1997.

Figura 5.1 Composición de la basura en México en el año 1997.



Fuente: Inare 2000.

Figura 5.2 Composición de la basura en México en el año 2000.

Uno de los mayores problemas a los que se enfrenta el país en materia ambiental es el consumo del plástico; de acuerdo con el Instituto Nacional de Recicladores, A.C. (INARE), en 1997, el consumo aparente en México fue de 29 kg/hab, y se espera que para el año 2005 sea de 49 kg/hab, considerando que los residuos plásticos al año son alrededor de 1,121,000 ton, recolectándose únicamente 12% del plástico desechado [27].

En cuestión de los plásticos el material que tiene o produce las mayores cantidades de residuos sólidos es el PET, que se encuentra dentro del grupo de los termoplásticos.

Los envases de PET han tenido un considerable avance en lo que se refiere al peso. Así, las botellas de refresco de 2 litros no retornables que originalmente pesaban 64 gr, actualmente pesan de 50 a 54 gr, representa una disminución del 20% [37].

## CAPITULO 6

### PROCEDENCIA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS INDUSTRIALES.

Ya hemos comentado que, si bien desde el punto de vista de cantidad, los scraps industriales producidos en las plantas representan un valor inferior al procedente de los residuos sólidos urbanos, desde el punto de vista de reciclado y recuperación son los más interesantes, toda vez que se trata de residuos plásticos homogéneos y, por tanto, fáciles de recuperar, utilizándolos de nuevo como materia prima, mezclándolos con la resina termoplástica virgen [6].

#### 6.1. Fuentes de procedencia.

Los residuos plásticos industriales se producen a lo largo de todas las etapas del proceso, es decir en:

- producción o síntesis de las resinas plásticas;
- formulación de las mismas;
- transformación de las resinas para obtener productos semiacabados o acabados.

Veamos cada una de estas fuentes de procedencia.

- Síntesis de los polímeros.

En la producción de resinas sintéticas, los residuos suelen estar constituidos por lotes defectuosos que no se ajustan a las especificaciones de fabricación o que se han originado normalmente en los llamados cambios de grado.

Se estima generalmente que la proporción de la producción de estos residuos oscila entre un 0.5-1% sobre lo producido.

- Formulación de resinas poliméricas.

Es el nombre del proceso por el que los componentes se mezclan íntimamente unos con otros en estado de fusión hasta obtener una masa lo más homogénea posible. Este es el término general que se aplica a:

- Procedimientos de alear o mezclar polímeros.
- El uso de aditivos y rellenos, como colorantes, agentes antiestáticos, plastificantes y otros.
- La adición de refuerzos o una combinación de los tres tratamientos.

Los residuos producidos en esta operación se deben a los errores cometidos en la dosificación de aditivos, en la coloración, en la degradación del polímero durante la formulación, etc.





- Transformación.

Durante la transformación los residuos se producen como consecuencia del recorte de los bordes de filmes o láminas, de recortes de troquelado, de vertederos de la inyección, de sobrantes de los moldes, etc.

No se ha publicado una información detallada en particular. Sin embargo, se dispone de algunos datos procedentes de diferentes fuentes de información (Fechimie, Fabriplast, Plastiques Modernes et Elastomeres, BIT), que se recopilan en la (Tabla 6.1). Conviene insistir en que son valores promedios. Es muy difícil establecer valores de cierta exactitud, toda vez que la producción de residuos depende de variables tan diversas como la edad de los equipos, su sofisticación o el control de calidad exigido a los productos resultantes de la transformación [21].

Las cifras reportadas en la (Tabla 6.1) corresponden a extrusión de filmes y láminas incluyen también la confección de bolsas y sacos; y su impresión mediante tintas. Ambas operaciones aparecen normalmente integradas en la línea de proceso de extrusión. La simple extrusión de bobinas produce en general un porcentaje más pequeño de desperdicios [18].

Tabla 6.1. Producción de desperdicios plásticos durante la transformación.

<b>Técnicas de transformación</b>	<b>Proporción media de residuos (%)</b>	<b>Proporción media de residuos reprocessados en la propia planta (%)</b>
Inyección	10	5
Extrusión de tubos y perfiles	3	1
Extrusión soplado de cuerpos huecos	12	9
Extrusión de filmes y láminas	8	5
Termoconformado	20	5
Calandrado	3	2

Como se indica en la tabla, la parte de los residuos que no ha sufrido contaminación alguna, que es la más grande, puede introducirse de nuevo en la producción con el material plástico nuevo, una vez lavada y granceada o aglomerada.

Otra parte de los residuos plásticos industriales se ensucian a lo largo de la transformación o se mezcla con productos extraños (aserrín, grasas, papeles, etc.) y no se pueden reprocessar directamente en la planta. Esta parte sufre posteriormente un reciclado secundario o terciario (los cuales se explicaran posteriormente) en las instalaciones de los llamados recuperadores [18].



## **CAPITULO 7**

### **GENERALIDADES DEL RECICLADO DE DESECHOS PLÁSTICOS.**

#### **7.1 Código internacional de los plásticos.**

Para reciclar plástico se tiene que utilizar el código SPI (Sociedad de Industrias del Plástico), es decir, codificando cada artículo plástico desde su producción como polímero virgen.

Los llamados materiales plásticos corresponden en realidad a un gran número de productos muy diferentes, tanto por sus materias primas como por sus procesos de fabricación y usos. Por ello, para facilitar la identificación de cada polímero, y también para ayudar a su clasificación para poder implementar sistemas de reciclado, se ha instituido el Código Internacional SPI, que permite identificar con facilidad de qué material específicamente está hecho un objeto de plástico. Como se indica en la (Tabla 7.1) [4].

Este código de identificación mundial, identifica a los plásticos con números del 1 al 7 dentro de un triángulo con flechas llamado círculo de Mobius; normado en México en la NMX-E-232-SCFI-1999.







Esta norma dice que el símbolo debe componerse de tres flechas que formen un triángulo con un número en el centro, de acuerdo al material con que fue fabricado el producto; y que las dimensiones deben ser de acuerdo al diseño del producto que se requiera fabricar, siempre y cuando sea lo más visible posible. El tamaño mínimo recomendado del símbolo es de 12,7 mm [25].

El proceso de reciclado y el producto que se obtenga dependerá del tipo de plástico que se recicle.

La codificación por número es una forma que actualmente realizan los países industrializados en el mundo. Estos países son los Estados Unidos de América, Canadá y los países que conforman al bloque Europeo. En México, sólo algunos productos que pueden ser reciclables poseen este método por codificación, ya que no se cuenta en su mayoría con este método, debido a que en la República Mexicana no existe la adecuada tecnología para reciclar los termoplásticos, por lo que las industrias no le dan la adecuada importancia en lo referente a la codificación de sus productos plásticos [27].

Por lo tanto, se propone que la mayoría de los productos termoplásticos reciclables tengan impresos estos números de codificación en el plástico, como parte del proceso de recuperación a partir de la basura, ya que con este procedimiento se lograría separar una gran cantidad de plásticos por el método manual de separación y así poder disminuir los costos de separación.

Tabla 7.1 Identificación de materiales plásticos.

Código	Siglas	Nombre
	PET	Tereftalato de Polietileno
	PEAD	Polietileno de alta densidad.
	PVC	Policloruro de vinilo
	PEBD	Polietileno de baja densidad
	PP	Polipropileno
	PS	poliestireno
	Otros	Resinas epoxídicas Resinas Fenólicas Resinas Amídicas Poliuretano

## 7.2 Razones para el reciclado.

Es importante indicar que existen varias razones que justifican el reciclado de los materiales plásticos.

Las mas importantes son:

*i. Razones económicas.*

Las condiciones económicas generales de la industria del plástico, en la que los costos de las materias primas son una parte muy significativa del precio del artículo fabricado, han hecho que el reciclado de sus residuos sea siempre un poderoso incentivo. De hecho, ello se ha traducido en el reprocesado de los residuos plásticos industriales en la misma planta.

Solo en nuestro país se producen 1,000,000 ton de residuos al año en la industrial. En los residuos sólidos urbanos existen residuos plásticos potencialmente recuperables, del orden de las 1,350,000 ton por año. Esta cantidad supone un potencial económico muy importante a tener en consideración, esto justifica por sí solo el desarrollo de las técnicas de tratamiento y reciclado de plástico [3].



*ii. Razones de ahorro de materias primas y energía.*

El petróleo y gas natural se usan como materia prima, además, el petróleo se necesita para producir la energía total consumida durante el proceso de producción del polímero. Por lo tanto, aproximadamente 400,000 ton de plásticos que en teoría podrían ser recicladas primariamente equivaldrían a un ahorro de 1.7 % del total del petróleo consumido.

Hay que hacer notar que este cálculo se ha basado teóricamente de un reciclado primario o reprocesado de los residuos plásticos. Por ello, y dentro de las razones energéticas que justifiquen el reciclado de estos residuos, habría que considerar también su uso como fuente de energía, o sea, como una alternativa al petróleo del que fueron obtenidos. Esta operación se conseguiría mediante un reciclado terciario (incineración, pirolisis, etc.) [3].

*iii. Razones de tipo ecológico.*

Los plásticos son inertes, es decir, no contaminan. Su disposición irresponsable en el medio produce otro tipo de "contaminación" (bolsas en los caminos y veredas, botellas en las alcantarillas, etc.) de ningún modo atribuible al material plástico sino a sus usuarios; lo cual ocasiona una creciente preocupación, ya que cada vez hay mayor cantidad de plásticos y menor espacio en tiraderos de basura [3].













### **7.3 Reutilización.**

Como ya se mencionó, la reutilización describe el caso en el que un artículo ya fabricado es recuperado para su uso posterior en su forma original. No se trata, de reciclado de un residuo plástico, sino del reciclado de un objeto en función de su aplicación [43].

En la (Tabla 7.2) se muestran algunos ejemplos de los muchos casos que existen de reutilización.

En realidad se alarga de este modo el ciclo normal de uso de este tipo de producto, retardando así a corto tiempo su aparición en los residuos urbanos.

Tabla 7.2 Reutilización de los desechos plásticos reciclados.

	USOS		RECICLADO
 PET	Envases de gaseosa, agua mineral, jugos, aceite comestible, etc.		Filamento para alfombras, vestimenta.
 PEAD	Envases de leche, detergentes, champú, baldes, etc.		Otros envases
 PVC	Tuberías de agua, desagües, mangueras, cables, etc.		Suelas de zapatos, caños, etc.
 PEBD	Bolsas para residuos, películas industriales.		Film para agricultura
 PP	Envase de alimentos, industria automotriz, etc.		Tuberías, artículos para industria automotriz, etc.
 PS	Envases de alimentos congelados, juguetes, etc.		macetas, etc.

#### 7.4 Factores limitantes del reciclado.

Evidentemente, el uso de los productos fabricados a partir del reciclado de los residuos plásticos presenta algunas limitaciones técnicas que se deben tener en cuenta. Su omisión puede conducir a resultados inaceptables [37].

##### i. Degradación y reticulación.

Los materiales plásticos son sensibles a los agentes químicos, hidrolíticos o mecánicos. Por ello, el reprocesado repetido de los mismos puede tener un efecto adverso en sus propiedades. Como consecuencia de ello, puede haber una limitación en las aplicaciones de los artículos fabricados con ellos: es decir, una disminución en su calidad.



Se sabe por estudios realizados a diferentes plásticos que después de sufrir 20 transformaciones, el PS reduce su peso molecular a la mitad y, como consecuencia, se produce una reducción de aproximadamente el 60% de su resistencia mecánica. En el PEAD y PEBD, el reprocesamiento repetido produce una reticulación de las moléculas, lo que se refleja en una disminución de sus índices de fluidez; no obstante, sus propiedades mecánicas apenas varían. Esto indica que es perfectamente tolerable la utilización de una pequeña cantidad de material recuperado. Sin embargo, esta cantidad dependerá de la utilización final, lo que se supone como una limitación.

ii. *Incompatibilidad entre los materiales plásticos.*

Es sabido que la mayoría de los plásticos son incompatibles entre sí. Esto puede tener un marcado efecto cuando se reciclan mezclas de plásticos tanto sobre las características del procesado del producto como en las propiedades físicas del mismo.

Las mezclas de materiales plásticos incompatibles poseen, en general, propiedades mecánicas deficientes. La influencia de esta incompatibilidad sobre las propiedades mecánicas (resistencia a la tracción, alargamiento, módulo y resistencia al impacto) para mezclas de PE, PS y PVC, fueron estudiadas por Vinson y Locke en 1972 y por Baum y Parker en 1973. Hay que hacer notar que basta una porción del 5% de PVC en las mezclas PVC/PEBD para que sus propiedades mecánicas disminuyan notablemente [20].

Existen por lo menos tres técnicas para mejorar las propiedades de las mezclas:

- Modificar la composición de la mezcla de modo que se entre en una zona de mejores propiedades, añadiendo polímero virgen.
  - Introducir un aditivo (agente de compatibilización), que mejore la adhesión entre las distintas fases del polímero.
  - Introducir un componente no plástico.
- 
- Agentes de compatibilización.

Uno de los primeros agentes desarrollados ha sido el polietileno clorado. Se encontró que este producto mejoraba notablemente las propiedades de las mezclas. Tiene el inconveniente de ser un aditivo caro y que se necesitan grandes concentraciones.

En la Universidad de Texas se ha encontrado que los aditivos compuestos de estireno injertado en polietileno pueden compatibilizar las mezclas de poliestireno y polietileno y que un copolímero de etileno y propileno mejora con éxito total las mezclas de polietileno.

Se sigue trabajando en estos aditivos desde el punto de vista científico y sobre todo desde el económico.



- Introducción de componentes no plásticos.

Uno de los métodos, más económicos para reciclar mezclas de plásticos es mezclarlos con materiales no plásticos.

El componente no plástico más simple es el aire. En efecto, la formación de espumas con estos materiales reduce la posibilidad de roturas por impacto. Phillips Petroleum Company ha informado del éxito conseguido en la fabricación de una espuma basada en una mezcla que contiene un 50% de PE, un 25% de PS y un 25% de PVC.

Normalmente se emplean como materiales no plásticos más resistentes cargas de papel, madera, vidrio o metal. Estas mezclas afectan drásticamente las propiedades de los plásticos y los objetos fabricados con ellas. Por lo tanto, el comportamiento de estos objetos es impredecible, y se necesita de mucha investigación para entender su comportamiento.

*iii. Contaminación de los residuos.*

Cuando el reciclado se basa en residuos constituidos por un solo polímero y sobre todo en los residuos recogidos selectivamente a partir de los residuos sólidos urbanos, el principal problema que puede surgir es la contaminación accidental por suciedad, o la contaminación con otros residuos que puedan originar problemas de reprocesado. En el segundo caso puede haber limitaciones serias para la fabricación de nuevos envases de uso alimentario.

Cuando la suciedad de los residuos plásticos es producida por alimentos, los objetos y artículos fabricados pueden tener olor desagradable y absolutamente inaceptable.

## **CAPITULO 8**

### **MÉTODOS DE SEPARACIÓN.**

#### **8.1 Separación de desechos plásticos a partir de la basura.**

Los métodos de separación de los desechos plásticos que provienen de la basura es un problema que se encuentran en el proceso de reciclamiento. Se han desarrollado varias técnicas de separación basadas en métodos físicos de diferente naturaleza. Estas técnicas pueden clasificarse como:

*i. Separación por tamaño.*

Los diferentes componentes que podemos encontrar en la basura municipal varían grandemente de tamaño, ya que podemos encontrar componentes más grandes o pequeños que otros, sobre esta base pueden ser separados según su tamaño del resto de la basura.

*ii. Separación por color.*

Este método se basa en la diferencia en apariencia de varios componentes de desechos sólidos. Por ejemplo, podemos separar al vidrio del resto de la basura basándonos en su color. Esto puede encontrar una aplicación similar en la separación de diferentes plásticos colorados.

*iii. Separación manual.*

También llamada pepena, es un sistema de clasificación mecánica y/o manual de la basura en sus diferentes componentes, tales como vidrio, metales, plásticos y otros, realizada en los llamados tiraderos a cielo abierto. Esta técnica no es muy eficiente debido a que alrededor del 30% de la basura producida se queda en barrancas, ríos y calles; mientras que del 70% que llega a los tiraderos, sólo 40% se aprovecha, debido a que el otro 30% no puede separarse por consistir en materiales destruidos y en vías de putrefacción.

Para llevar acabo esta separación, se establece una forma de poder identificarlos. Esta identificación se logra fácilmente mirando el número, o las siglas, del sistema de identificación americano SPI, que suele aparecer en la base rodeado por tres flechas similares al Círculo Mobius. Este sistema de identificación se muestra en la (Tabla 7.1).



## 8.2. Separación de impurezas de los desechos plásticos.

### i. Método de separación del cilindro caliente.

Las mezclas de plásticos y papel son un producto común en los desechos municipales y, en las plantas de separación por métodos secos. Para incrementar el valor del producto, la mezcla tiene que ser separada de estos componentes. El principal problema radica en las películas plásticas con el papel. Para esto tenemos dos procesos que involucran la aplicación de calor para lograr la separación de mezclas papel/ plástico. Los métodos más comunes son: el del cilindro caliente, de reducción por calor utilizando la reducción específica de superficie. En la (Figura 8.1) se indica el equipo de este método.

### ii. Separación electrodinámica.

En éste proceso, el material es molido a un tamaño de partícula entre 1 y 3 pulg, en este caso, no hay que olvidar que ya viene molido desde el principio. La mezcla es alimentada al separador por medio de una banda transportadora, para caer en un tambor rotatorio, el cual se encuentra cargado eléctricamente, haciendo contacto con una corona o campo eléctrico, formada entre un electrodo de aluminio y el tambor. El plástico se adhiere al tambor, siendo removido por una cuchilla fija, colocada en la parte inferior del tambor, mientras que el metal y el papel son atraídos hacia el electrodo en forma magnética [20].

La (Figura 8.2) muestra en forma esquemática el separador electrodinámico.

### iii. Separación por arrastre de aire.

Por lo general en los procesos de separación, los residuos después de sufrir operaciones sucesivas de cribado y molienda con el objeto de eliminar los finos y conseguir tamaños de partícula adecuados son sometidos a la acción de un separador magnético para eliminar los materiales ferrosos, y enviados a un clasificador de aire que subdivide a la materia en dos fracciones. La fracción ligera contiene una mezcla de papeles y plásticos ligeros (láminas, filmes). La fracción pesada se compone principalmente de productos de densidad grande (metales ferrosos, vidrio, piedras, materiales orgánicos pesados, pedazos de caucho, textiles gruesos y plásticos densos). En las (Figura 8.3 y 8.4) se indican los dos equipos donde se realiza esta separación [20].

Casi todos los procesos actuales de separación de plásticos tratan de eliminar los plásticos de la fracción ligera con el fin de aprovechar el papel.

- El proceso TNO separa plásticos de papel utilizando clasificadores tipo zig-zag y usando una humificación selectiva, toda vez que los plásticos no absorben agua. El aprovechamiento posterior de este papel supone un secado previo, que reduce la rentabilidad del proceso total.



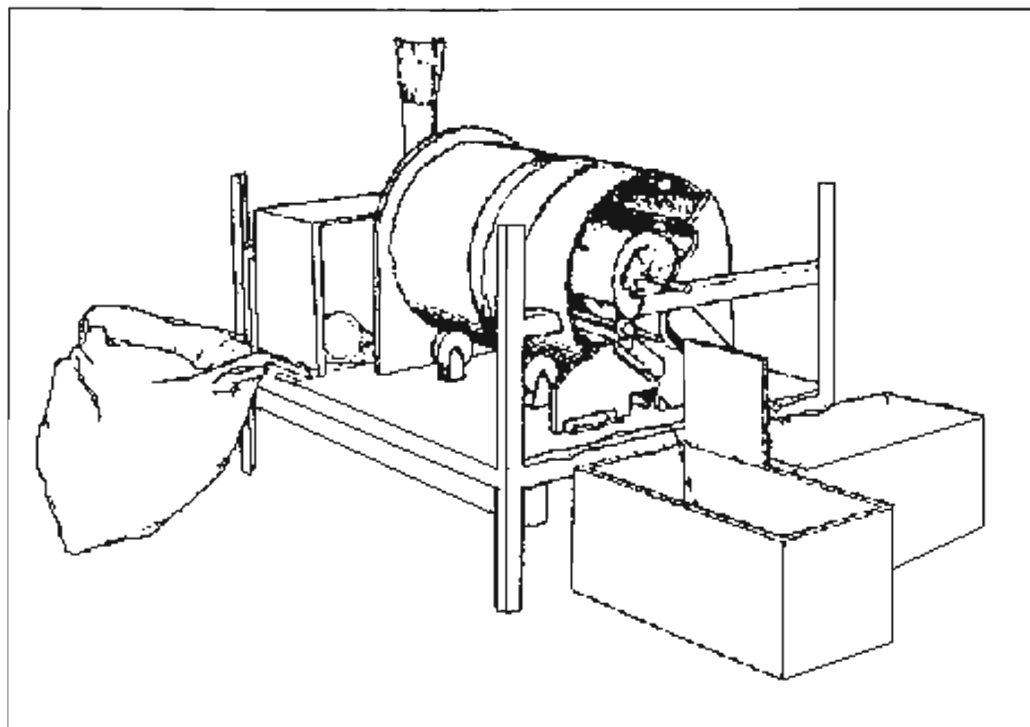


Figura 8.1 Equipo del método de separación del cilindro caliente.

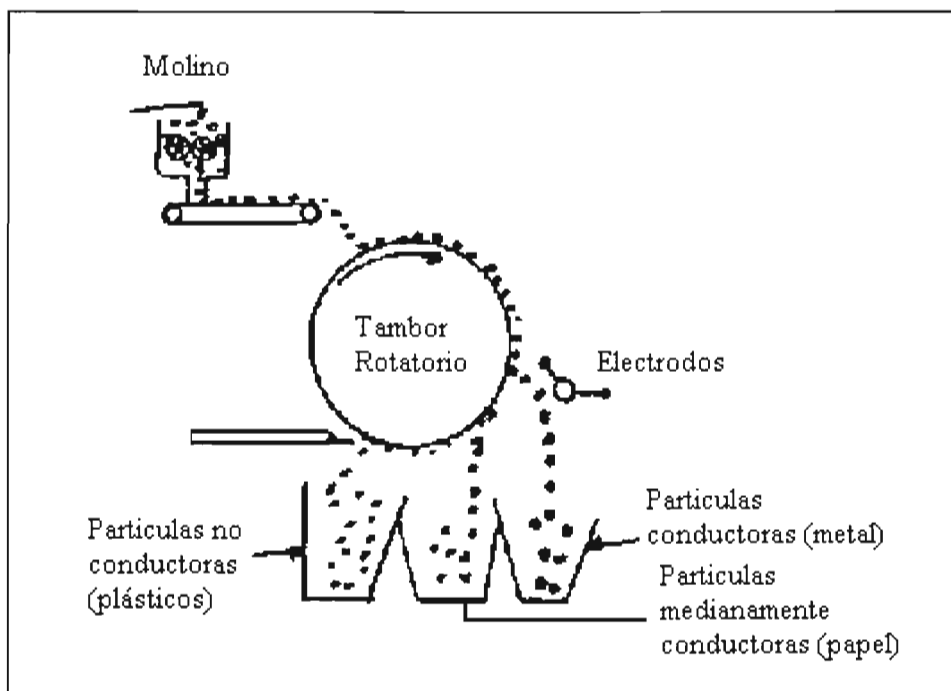


Figura 8.2 Esquema del separador electrodinámico.

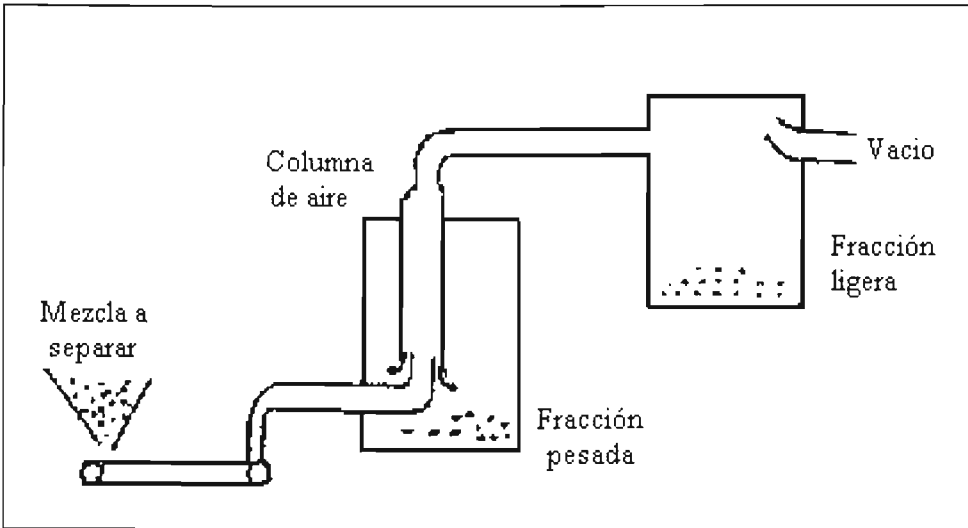


Figura 8.3 Diagrama esquemático de un clasificador de aire experimental.

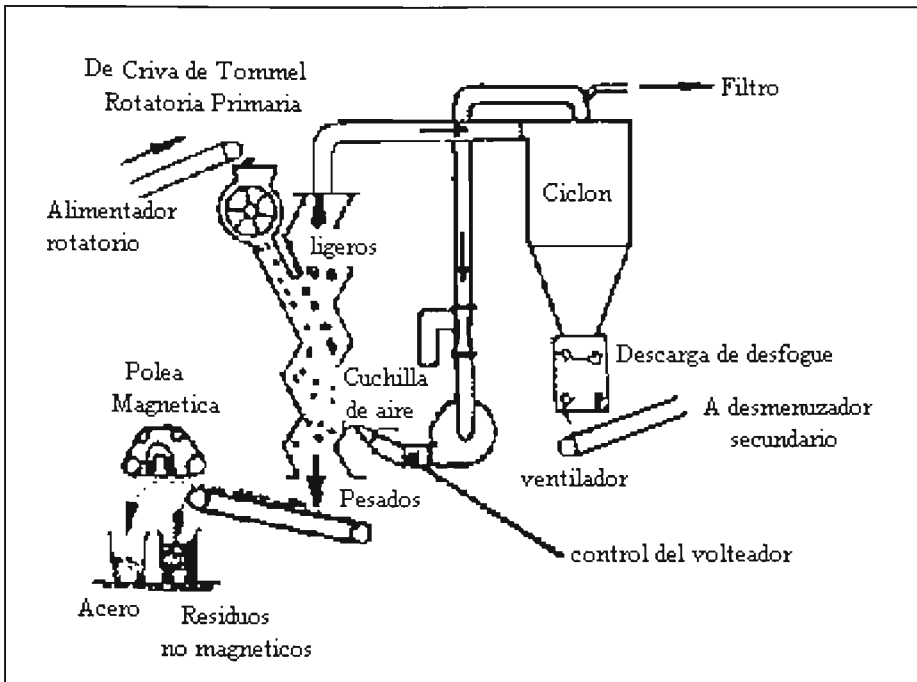


Figura 8.4 Arreglo de un clasificador de aire.



- El proceso Fläkt utiliza un clasificador que, una vez eliminadas las materias orgánicas, alimenta con la fracción ligera una criba en la que, al pasar, se eliminan los finos, mientras que en el rechazo queda el papel y los plásticos ligeros. Este aparato trabaja a una temperatura que proporciona un principio de fusión en los plásticos. Ello tiene por efecto modificar el peso específico y la forma de los objetos presentes en la mezcla, sin cambiar las características del papel. De esta manera, volviendo a pasar la mezcla así transformada por otro clasificador, se consigue la separación. Este proceso de muestra en la (Figura 8.5) [20].
- El proceso SORAIN de Roma también separa plásticos y papel. La fracción ligera que procede de un clasificador de aire se vierte a un malaxador que remueve la mezcla de plástico y papel en agua, disgregando el papel sin romper el film, que queda enganchado en las paredes del aparato. Igual que antes el proceso exige un secado del papel húmedo. Los filmes se separan manualmente, se trituran y se eliminan las partículas finas mediante un ciclón. Los rechazos del ciclón se lavan y pasan a la extrusora [18].
- En el proceso ENADIMSA, la fracción ligera (papeles, cartones, filmes, botellas de plástico, textiles y materia orgánica fina) se separa mediante una campana de aspiración y un ciclón. Los productos orgánicos putrescibles se separan mediante un trommel. Los rechazos del trommel se mojan inmediatamente mediante un sistema de spray antes de pasar al trommel dilacerador. Los papeles y cartones son desmenuzados y pasan a través de las mallas del trommel. Los plásticos y textiles, que no se han alterado, sufren a continuación una clasificación neumática que separa entre sí los filmes y las botellas de plásticos. Según el constructor, el sistema permite recuperar lo siguiente [18]:

70 % de papeles y cartones,  
80 % de filmes y láminas de plástico,  
50 % de botellas y tarimas de plástico.

Al igual que en casos anteriores, el papel exige un secado previo a su recuperación.

- La Facultad Politécnica de Mons (Bruselas) esta realizando algunos ensayos para la separación de mezclas de papel y plásticos por vía electrostática, previa humidificación de las mezclas [18].

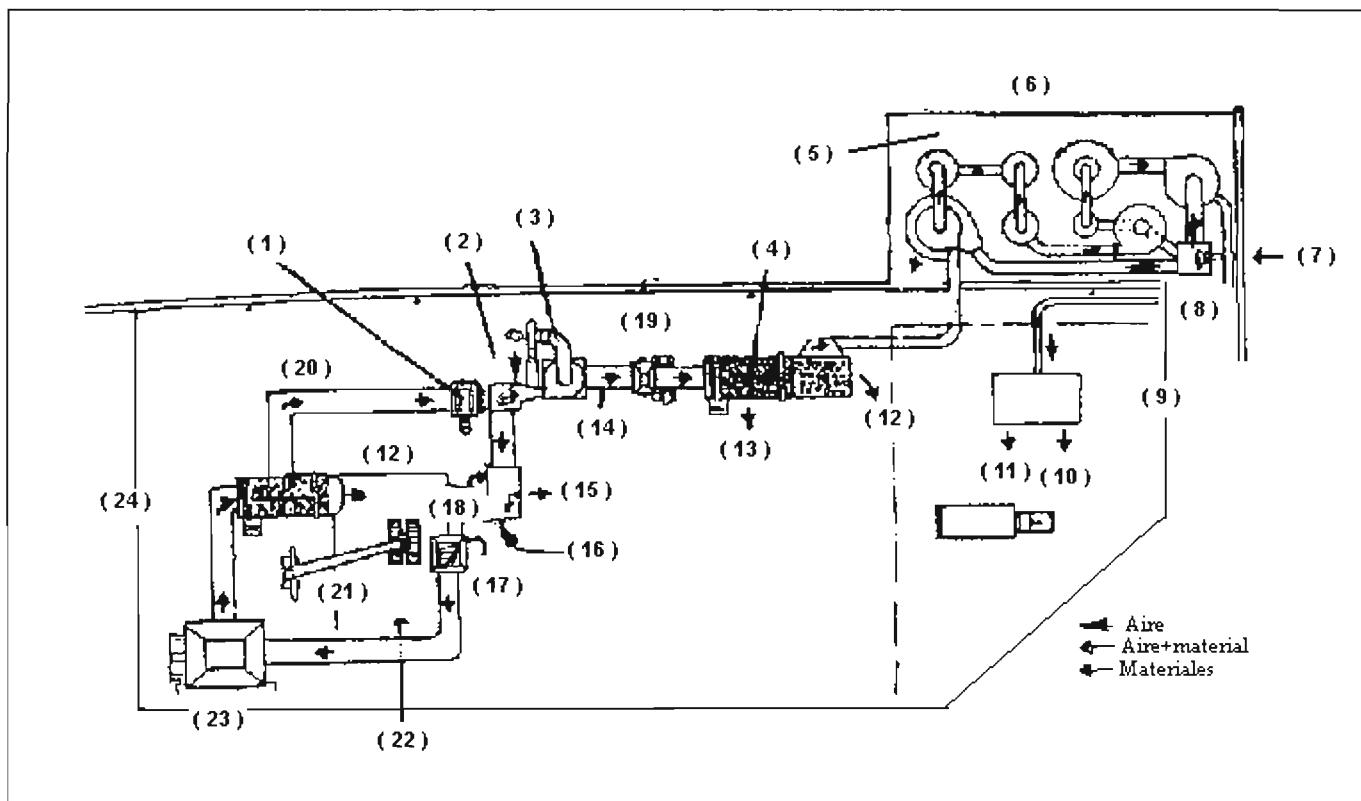


Figura 8.5 Sistema de separación en seco Flakt.

(1) alimentador rotatorio, (2) clasificador de aire, (3) ciclón, (4) criba de trommel rotatoria secundaria, (5) secado, (6) tratamiento de calor de plásticos, (7) gas, (8) horno, (9) remoción de polvos y clasificador, (10) papel ligero, (11) pesados, (12) y (19) rechazados, (13) orgánicos, (14) papel y plástico, (15) pesados no magnéticos, (16) metales, (17) alimentador de tornillo, (18) magneto, (19) desmenuzador secundario, (20) transportador, (21) grúa, (22) tiradero, (23) desmenuzador primario, (24) criba de trommel rotatoria primaria.



### 8.3. Separación de los plásticos entre sí según su naturaleza.

Como veremos después, hasta el presente, el reciclado de plásticos esta considerado desde el punto de vista de aprovechamiento de las mezclas de plásticos de diferentes tipos. Sin embargo, los problemas de compatibilidad de los plásticos aconsejan en muchos casos que se haga una separación de los mismos entre sí o al menos por familias de plásticos.

Los métodos para la separación de los distintos residuos plásticos según su naturaleza se basan, esencialmente, en su forma, en su densidad, en la disolución selectiva y en sus propiedades eléctricas. La disolución selectiva solo es posible en determinadas circunstancias, tales como la recuperación de papel a partir de envases de cartón recubierto con PEBD para leche, pero no para una recuperación de tipo industrial. Los métodos electrostáticos no son capaces de separar los plásticos entre si debido a su similitud.

Los métodos basados en la densidad son los que, hasta el presente, han dado mejor resultado, si bien todavía tienen un carácter experimental.

Resultan particularmente interesantes los trabajos realizados por el Bureau of Mines de los Estados Unidos de América en el Rolla Metallurgy Research Center, sobre separación de plásticos, según sus diferencias de densidad. A base de la información obtenida sobre las propiedades y de la investigación en el laboratorio, han diseñado un sistema cuyo diagrama de flujo se señala en la (Figura 8.6) [25].

Los envases y botellas, que son la parte más importante de los residuos, se cortan en trozos y se pasan a un clasificador de aire donde se separan, por un lado, la fracción ligera y la fracción pesada, por otro. La fracción pesada contiene el 76% de la cantidad inicial de materia, lo que evidencia la importancia de esta parte, la cual se lava en un scrubber y se somete al proceso sink-float. En la (Figura 8.7) se representa en un diagrama de flujo este proceso de separación de plásticos por medio de líquidos de diferente densidad. Los líquidos empleados fueron agua pura, dos mezclas de agua-alcohol y una solución de cloruro cálcico. Los resultados obtenidos fueron bastante correctos.

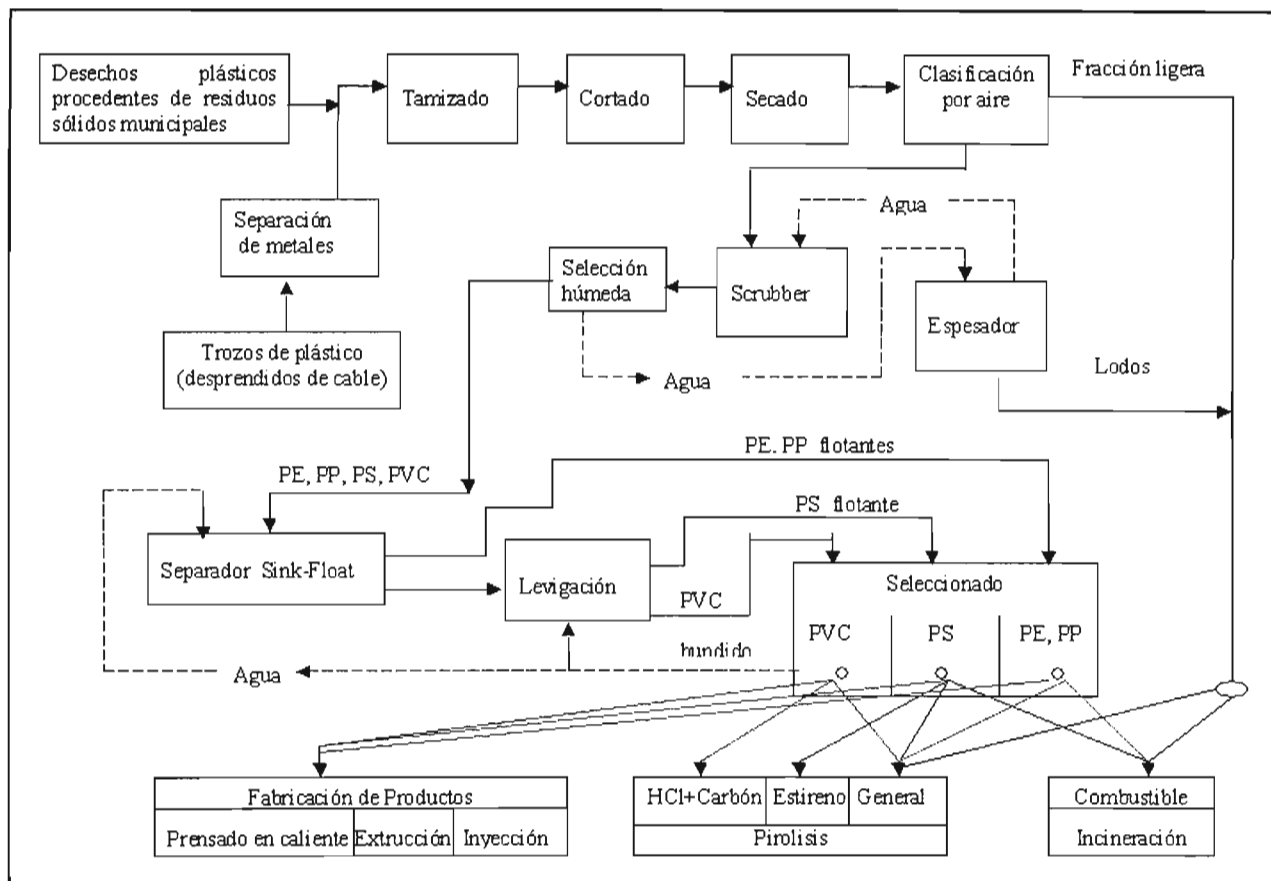


Fig. 8.6 Diagrama de Flujo de la separación de los plásticos según su naturaleza.

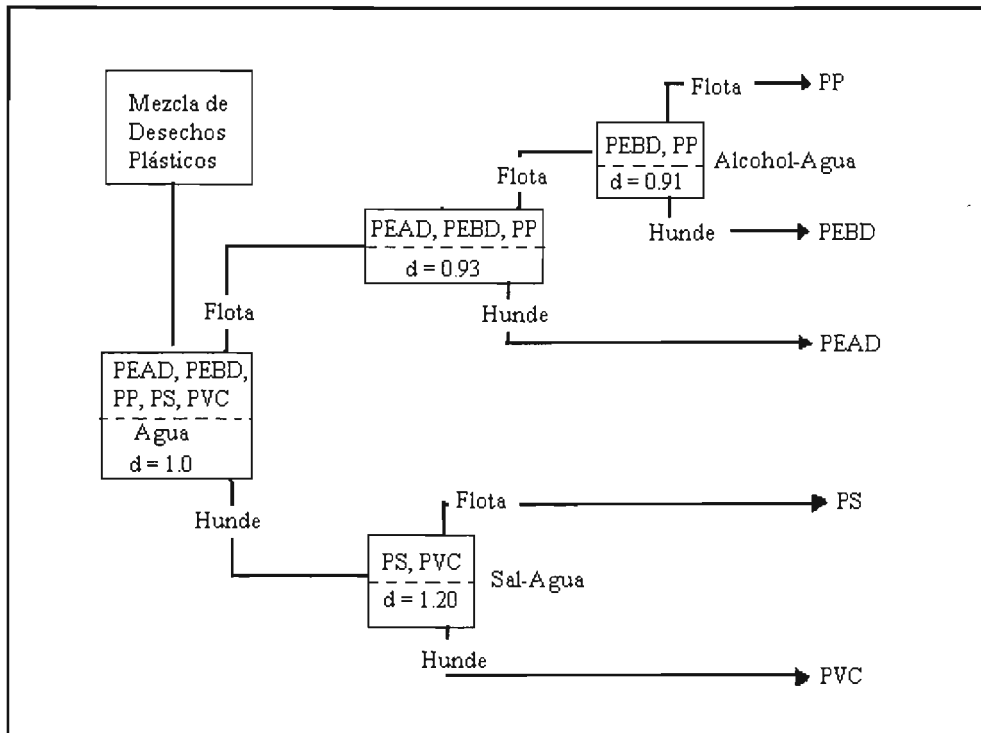


Figura 8.7 Esquema teórico del método Sink-Float para separar mezclas de residuos plásticos.

También ha sido ideado un separador que usa solamente agua como medio de separación y que permite separar los residuos plásticos en tres fracciones: poliolefinas (PEBD, PEAD y PP), PS y PVC. Como se muestra en la (Figura 8.8), la mezcla de plásticos se alimenta a un separador tipo sink-float que separa por flotación las poliolefinas. Los otros dos componentes, una vez que se han hundido, se transportan mediante burbujas de aire a una columna de levigación; a través de los rebosadores de esta se separa el PS, y el PVC, que se hundirá, se transporta mediante burbujas de aire a un receptor. Las pruebas del modelo de laboratorio han aconsejado su fabricación a escala municipal.

La Universidad Brunel, ha desarrollado un proceso de lavado y separación de plásticos que solo utiliza agua sin aditivos, basados en la separación por densidad mediante un sistema particular de rotores y baffles, cuyos detalles se desconocen [18].

El separador Mesco (Mitsui Mining and Smelting Co., Japón) utilizaría unos reactivos que cambiarían preferentemente las propiedades superficiales de los plásticos, lo que influiría en la flotación [18].



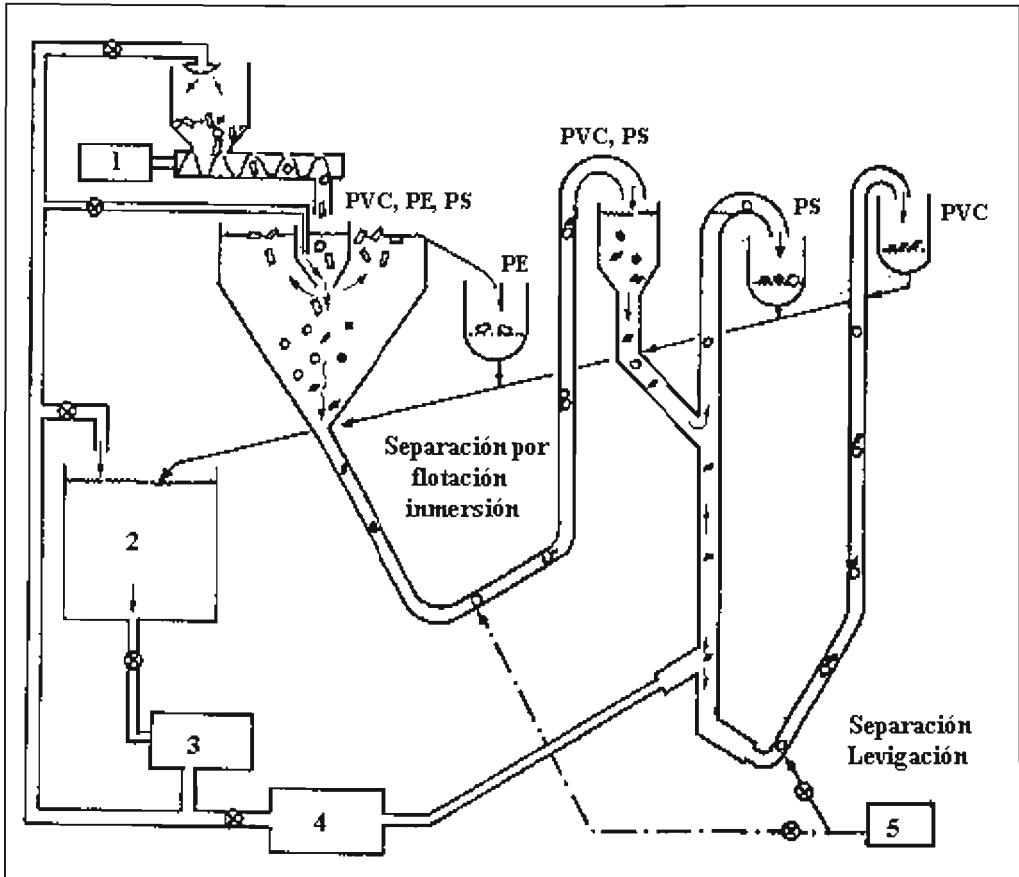


Figura 8.8 Separador Sink-Float.  
 (1) Motor, (2) depósito de agua, (3) bomba de agua, (4) medidor de flujo, (5) suministrador de aire.

#### 8.4. Recolección selectiva.

A los procesos de separación antes vistos hay que añadir el llamado de recolección selectiva, que consiste en una separación de los objetos de plástico previa al depósito de la basura por parte del ama de casa, a la que entregan unas bolsas y unas instrucciones de selección. Los precios cada vez más altos de los plásticos y la preocupación ecológica, que ha calado profundamente en el ciudadano medio, van posibilitando en forma gradual este tipo de operación [17].



Desde hace años se han realizado y realizan experiencias de recogida selectiva por parte de las autoridades municipales. Estos ensayos permitirán estudiar el problema de una eficaz motivación del ama de casa y determinar el costo aproximado de esta operación. Algunas experiencias conocidas son las francesas de LE Havre, Rouen y Lyon; los ensayos belgas de Lieja; los suizos de Morger, donde Monsanto, fabricante de las botellas de PET Cycle Safe para la Coca Cola, dan una prima monetaria a los ciudadanos que depositan las botellas en centros locales de recogida, para ser recicladas posteriormente [17].

Excepto en este último caso, en el que se recoge un objeto muy concreto, en las demás experiencias los problemas planteados no son de fácil resolución. Las técnicas de recogida han sido diferentes: en algunos sitios se ha intentado recoger selectivamente todas las botellas, fueran o no de plástico, y separarlas después por flotación o mecánicamente: en otros se ha puesto una bolsa para recoger los plásticos (film, botellas, juguetes, etc.), y en algunas ciudades francesas lo que se ha intentado, ha sido separar previamente las botellas de PET, fáciles de distinguir y que son objetos fabricados con el mismo polímero.

Es decir, dependiendo del tipo de recolección selectiva utilizada, podemos obtener bien mezclas de plásticos muy heterogéneos y variables, o bien mezclas más o menos puras. En el primer caso estas mezclas son de difícil aplicación directa y se estudian actualmente con el fin de buscarles salidas comerciales. Cuando las mezclas obtenidas son de material plástico homogéneo, son más fáciles las aplicaciones, como se explicara posteriormente.

Además de estos problemas, la recolección, o recogida selectiva, es deficiente debido a una mayor necesidad de mano de obra y materiales. Resumiendo, podemos decir que su interés es innegable desde el punto de vista ecológico y teniendo en cuenta la necesidad de salvaguardar los recursos naturales de nuestro planeta, pero resulta todavía antieconómica al menos en los intentos realizados hasta hoy.

Actualmente en nuestro país existe una asociación civil sin fines de lucro llamada ECOCE, A.C. (ecología y compromiso empresarial), que administra el primer plan nacional de manejo de residuos de envases de PET y que tiene como objetivo promocionar, fomentar y difundir la prevención y contaminación del agua, aire y suelo, así como la protección al medio ambiente con el fin de preservar y restaurar el equilibrio ecológico [34].

Las principales empresas fabricantes de refrescos, agua purificada, agua mineral, salsas y aderezos, usuarios de envases de PET, son los que participan voluntariamente y proactivamente en este plan de manejo de residuos de envases de PET.

ECOCE, A.C. establecen centros de acopio en escuelas, oficinas, municipios, colonias y centros comerciales; en donde recolectan una gran cantidad de envases de PET, los cuales son llevados a diferentes recicladoras dentro y fuera del país.



### **8.5. Consideraciones sobre la operatividad de los procesos de separación.**

En vista que las particularidades y la situación actual de desarrollo de los procedimientos anteriormente relacionados, se destacan las siguientes consideraciones:

- Los informes sobre la rentabilidad de estos procesos son difíciles de obtener y es muy difícil emitir un juicio sobre sus méritos.
- Los costos implicados en la recolección, selección y limpieza son muy altos.
- La fracción pesada que se obtiene a la salida del clasificador de aire en el tratamiento de separación de residuos urbanos, es la fracción que contiene los plásticos más pesados (botellas, tarros, recipientes, etc.); y la que no se ha estudiado tan a fondo como la fracción ligera.
- En general estos métodos consumen bastante energía para secar la fracción de papel.
- Los métodos de separación de plásticos entre si son poco numerosos y los que existen son caros.

## CAPITULO 9

### MAQUINARIA Y EQUIPO DE RECICLADO.

En este capítulo se describirán los tipos de maquinaria más comunes que se utiliza para el reciclado de plástico. Principalmente se hablará de molinos y pelletizadoras.

#### 9.1 Molinos.

Para poder ser reciclados, los desechos plásticos tienen que ser molidos a un tamaño de partícula cercana al de las resinas vírgenes. La reducción de tamaño es acompañada con el uso de molinos. Se pueden utilizar varios tipos de molinos, éstos dependerán de los requerimientos del proceso, del tamaño de las piezas granuladas y de la forma física del desecho plástico.

Los molinos ayudan para la reducción del material plástico recuperado. La molienda que se le otorga a los plásticos es para que posteriormente se granule "pelletizarse" y darle una mejor apariencia.

La molienda y el pelletizado se puede realizar en forma independiente o en la misma línea de recuperación, cuando se integra en un equipo.

Los molinos se clasifican en dos tipos:

- Molinos convencionales.
- Molinos criogénicos.

##### *i. Molinos convencionales.*

Las piezas de gran tamaño, purga de material fundido y cuerpos huecos, son fragmentadas con ayuda de los molinos convencionales reduciéndolos a una medida óptima para las etapas sucesivas, pero cuando reduce finalmente el material se denomina pulverizadores.

El proceso de molienda se lleva a cabo mediante cuchillas de corte que se localizan en el motor y en las paredes de la carcasa, existen cuchillas muy móviles y fijas. Cuando las cuchillas del motor son reducidas o cerradas son utilizadas para fragmentar piezas compactas y pesadas, pero si las cuchillas son abiertas, se utilizan para fragmentar materiales voluminosos.

Un factor determinante en el rendimiento del sistema de molienda convencional es el filo de las cuchillas que mediante una revisión periódica y dependiendo de las propiedades abrasivas del plástico será el desgaste del afilado.

El material de las cuchillas es acero generalmente, aunque el carburo de tungsteno presenta mayor resistencia ante materiales abrasivos. Más cuchillas aumentan el cortado, pero disminuyen la efectividad del "tamaño de picado" del molino.

Los equipos de molienda requieren de un sistema de alimentación que puede realizarse en forma manual o mediante bandas transportadoras. Para un mejor cuidado del equipo se requiere de un detector de metales anexo. Algunas tolvas tienen inclinadores, deflectores y/o puertas que previenen el revuelo de piezas plásticas. La geometría de la entrada de la alimentación es mostrada en la (Figura 9.1) [7].



La (Figura 9.2) indica dos tipos de montaje de cuchillas: radial y tangencial. El montaje radial nos proporciona poco rompimiento y más acción cortante; el tangencial es usado para corte de especialmente para materiales suaves en los cuales el cortado fino reduce la generación de calor.

La (Figura 9.3) presenta los diseños de cuchillas más comunes. Las cuchillas son montadas sobre rotores abiertos incluyendo una serie de soportes o sobre soportes sólidos.

La (Figura 9.4) señala el diseño de rotores con un aumento en el número de cuchillas. La rotación de cuchilla, corta cerca de la cama de cuchillas estacionarias. Dos camas de cuchillas son comúnmente usadas, pero un mayor o menor número también pueden ser utilizadas (Figura 9.5.). La posición de la hoja es un parámetro de diseño muy importante, la (Figura 9.6) muestra algunos arreglos posibles [20].

En el momento de seleccionar el molino, se deben considerar los siguientes factores:

- Tipo de plástico.
- Estado del material.
- Cuerpos huecos.
- Piezas compactas.
- Masas fundidas y/o rebaba.
- Dimensiones del material a triturar.
- Densidad del material.
- Contaminación de cuerpos extraños.
- Producción requerida.
- Granulometría final requerida.

El material molido debe ser transportado a un depósito o silo de almacenaje evitando posible contaminación del material.

Los molinos deben estar instalados junto al equipo de procesamiento o en un punto central de la planta, normalmente presenta una mayor capacidad y se utiliza para cuerpos de mayor volumen.

Existen equipos llamados desgarradoras, utilizados para triturar materiales de gran volumen como cajas, placas, botellas, etc.

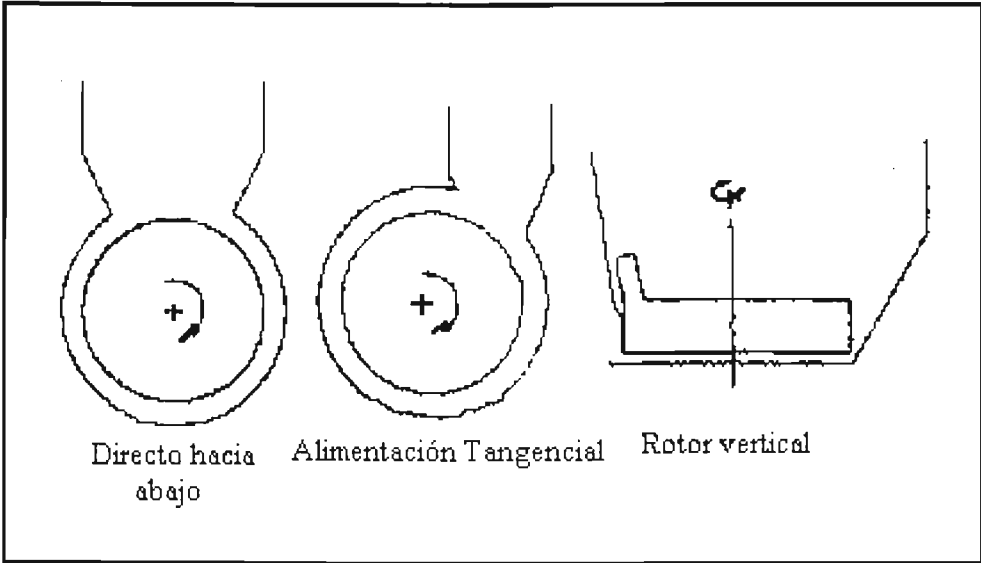


Figura 9.1 Geometría de entrada de alimentación.

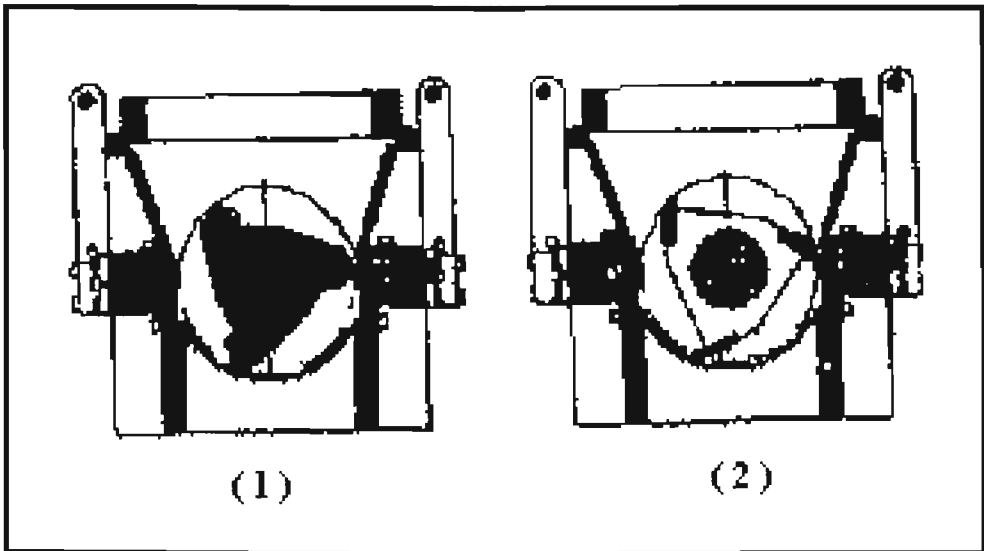


Figura 9.2 Dos diseños de montaje de cuchillas:  
 (1) montaje radial y rotor sólido, (2) montaje tangencial con rotor abierto.

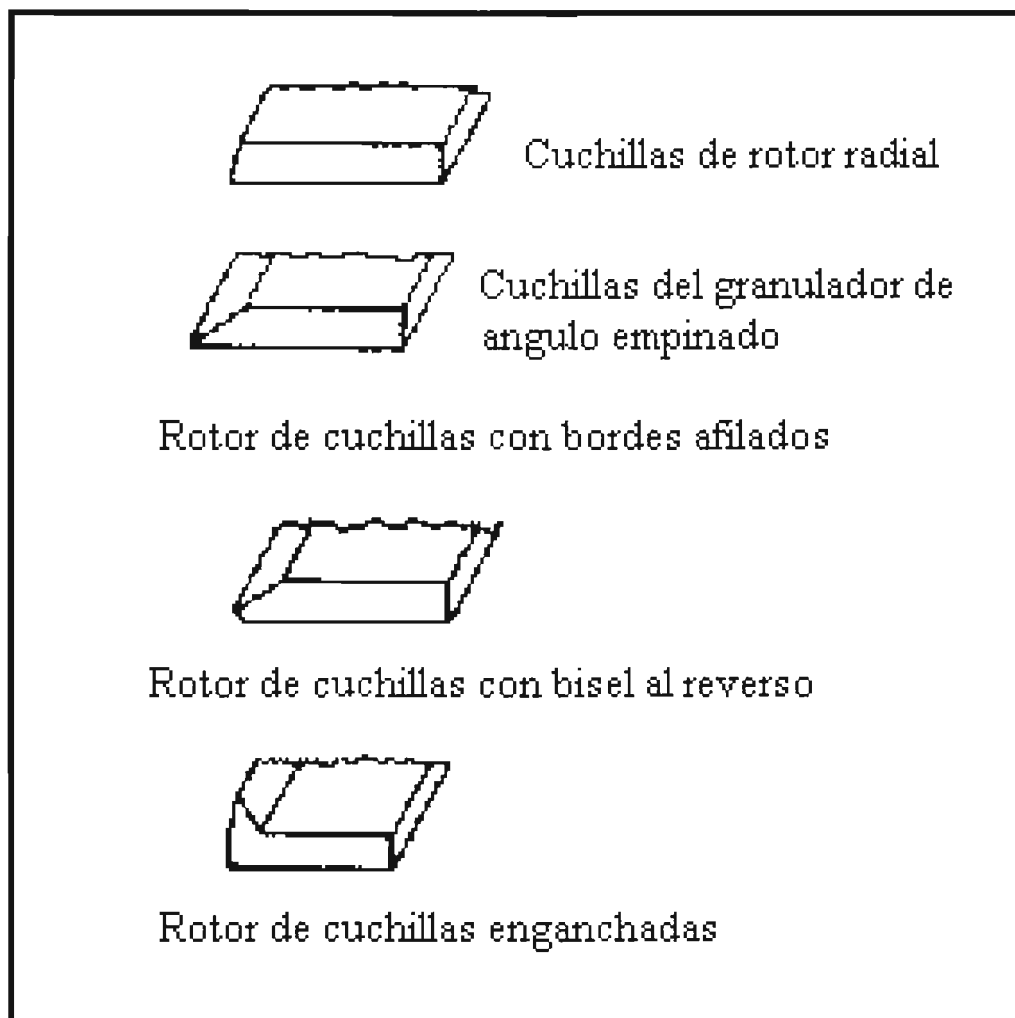


Figura 9.3 Diseño de cuchillas comunes.

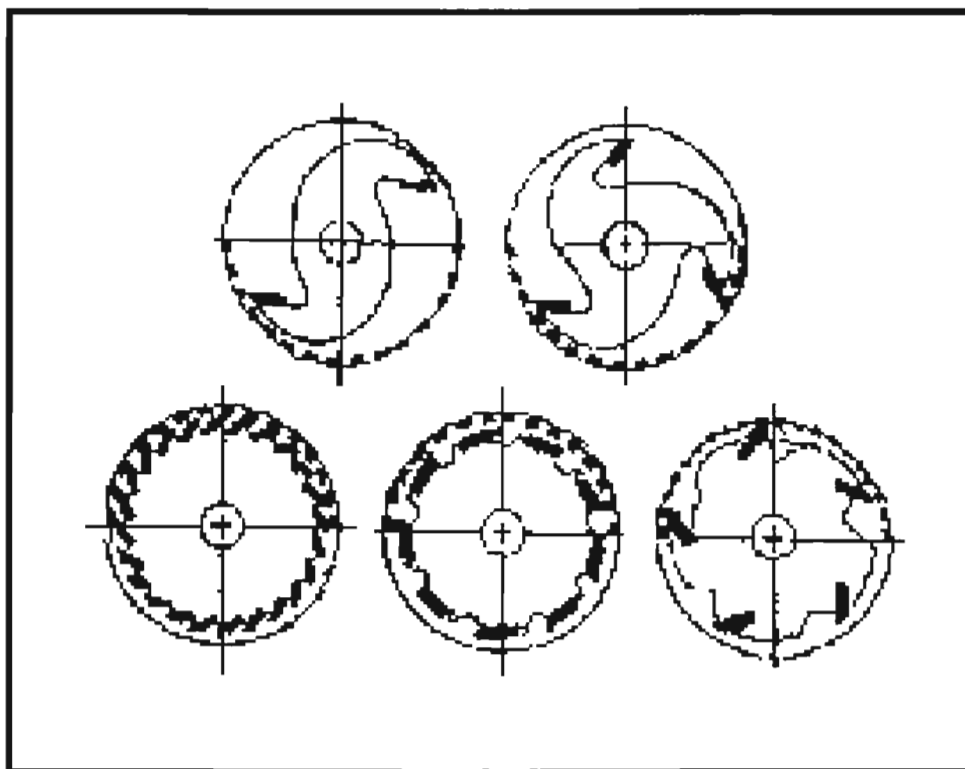


Figura 9.4 Diseño de rotores con aumento en el numero de dientes.



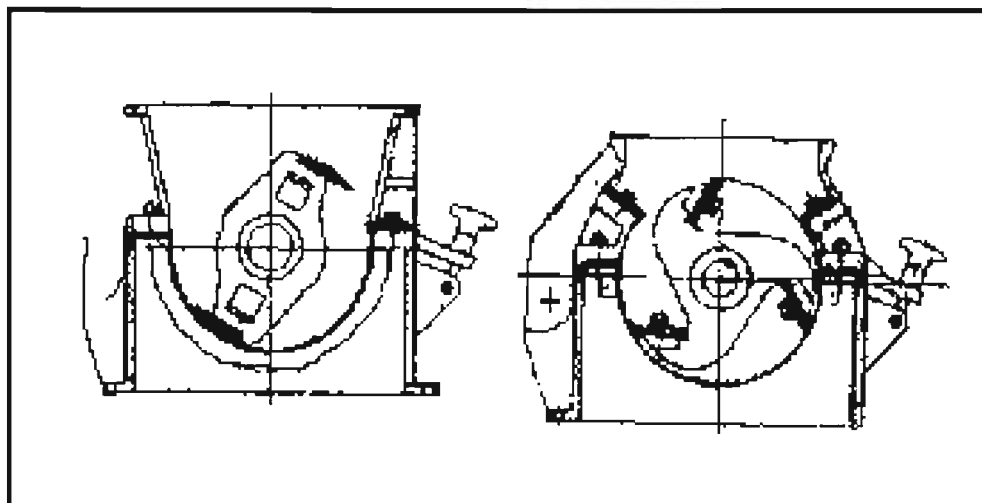


Figura 9.5 Molinos de cuchillas con dos y tres cuchillas.

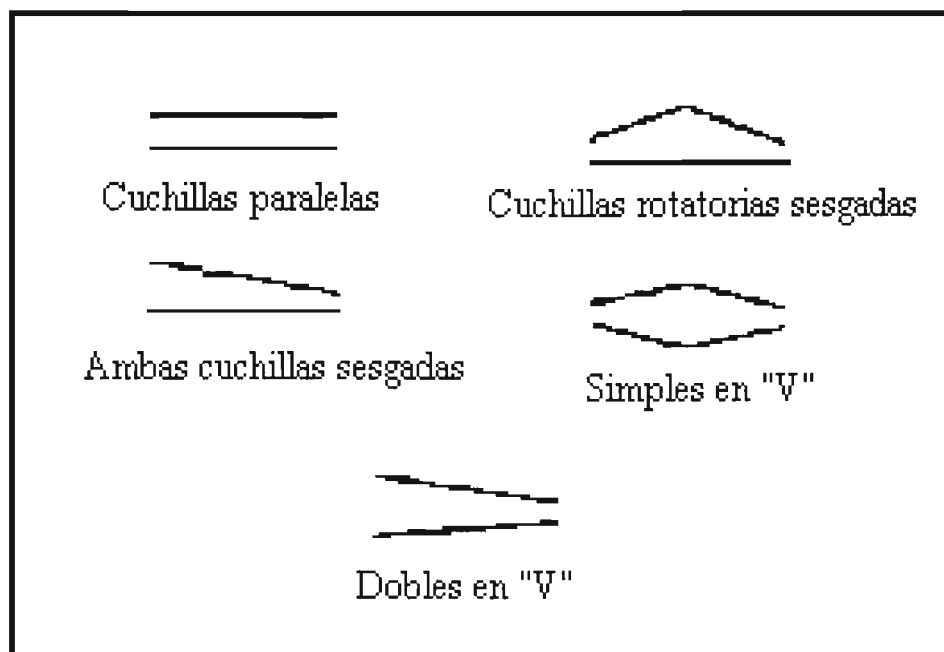


Figura 9.6 Varios arreglos de cuchillas.



## ii. Molinos criogénicos.

Como un proceso novedoso, logra alcanzar tamaños de partículas uniformes entre 1 y 5mm facilitando la mezcla o integración de polímeros con diferente dureza y naturaleza, que con aditivos compatibilizadores producen aleaciones de plásticos.

El propósito principal de la molienda criogénica es obtener polvos con tamaños de partículas adaptables a revestimientos, mezclas secas y soluciones de polímeros.

El principio de la molienda es fracturar el material mediante golpes en un molino de impacto de aire, después de reducir a éste a su temperatura de fragilización.

Para reducir eficazmente el tamaño de los polímeros o cualquier otro material, utiliza un compuesto refrigerante denominado criogénico, que es un gas licuado que presenta una temperatura de ebullición inferior a  $-73^{\circ}\text{C}$ . Dentro de estos líquidos se encuentra el Argón, Oxígeno, Helio, Hidrógeno, Anhídrido Carbónico y Nitrógeno [20].

Debido a factores de seguridad, costo y disponibilidad, el Anhídrido Carbónico líquido ( $\text{LCO}_2$ ) y el Nitrógeno líquido (LIN) son los únicos fluidos apropiados para la molienda criogénica.

El Anhídrido Carbónico Líquido ( $\text{LCO}_2$ ) presenta varias limitaciones en comparación con el Nitrógeno Líquido (LIN), como se expresa en la (Tabla 9.1).

Tabla 11.1 Comparación de dos refrigerantes.

Propiedades	LIN	$\text{LCO}_2$
Punto de ebullición	-195	-78
Valor de refrigeración, kcal/kg	91.30	77.00
Presión de almacenamiento, $\text{kg/cm}^2$	1.75	21.00

Es necesario analizar las posibilidades del molino criogénico, es decir controlar los parámetros para un tamaño final de la partícula:

- Tamaño de la abertura de la descarga.
- Temperatura del material dentro del molino.
- Cantidad de impactos en el molino.

Existen 2 tipos de procesos de molienda criogénica: el sistema de molienda criogénica desarrollado por la Unión Carbide que se muestra en la (Figura 9.7) y el sistema de molienda criogénica de la Air Products que se indica en la (Figura 9.8).

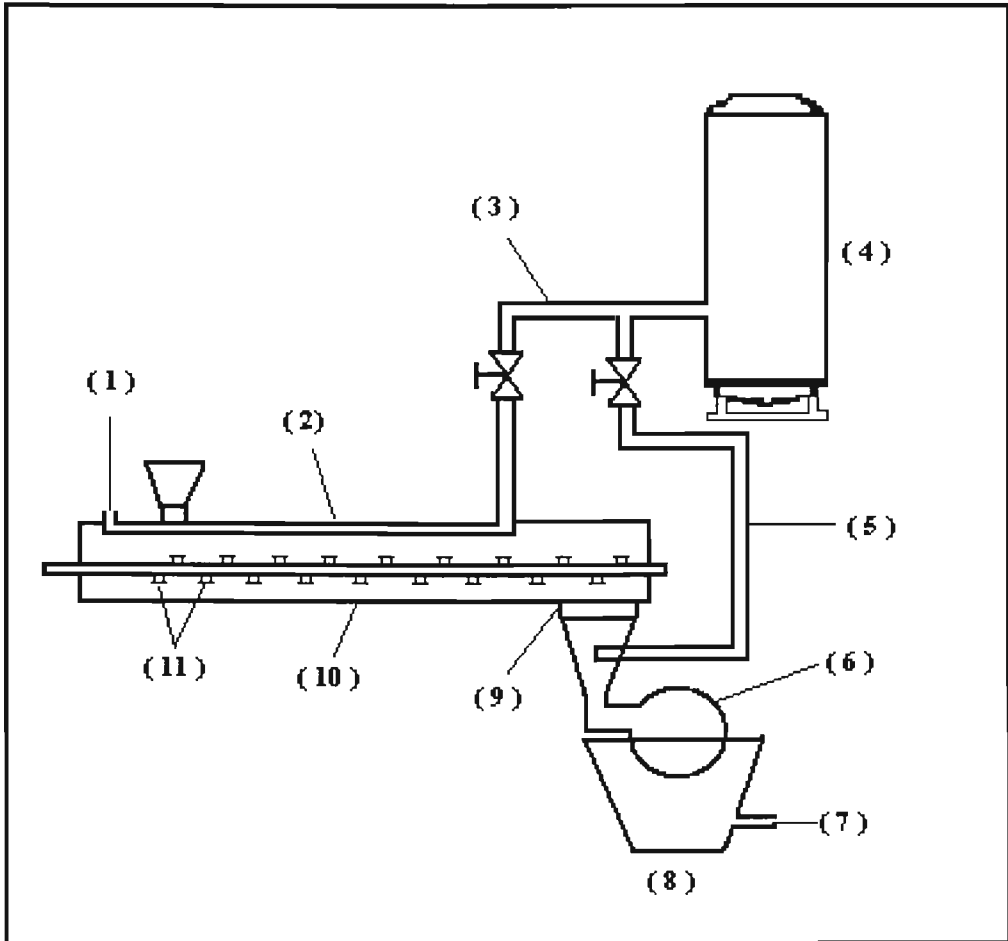


Figura 9.7 Sistema de molienda criogénica de la Unión Carbide.

(1) descarga de vapor de nitrógeno, (2) alimentador, (3) líquido refrigerante LIN, (4) tanque de LIN, (5) líquido refrigerante LIN de molienda, (6) molino de molienda, (7) descarga de vapor de nitrógeno, (8) descarga de polvos, (9) entrada rotatoria, (10) preenfriador, (11) cañón de palas.

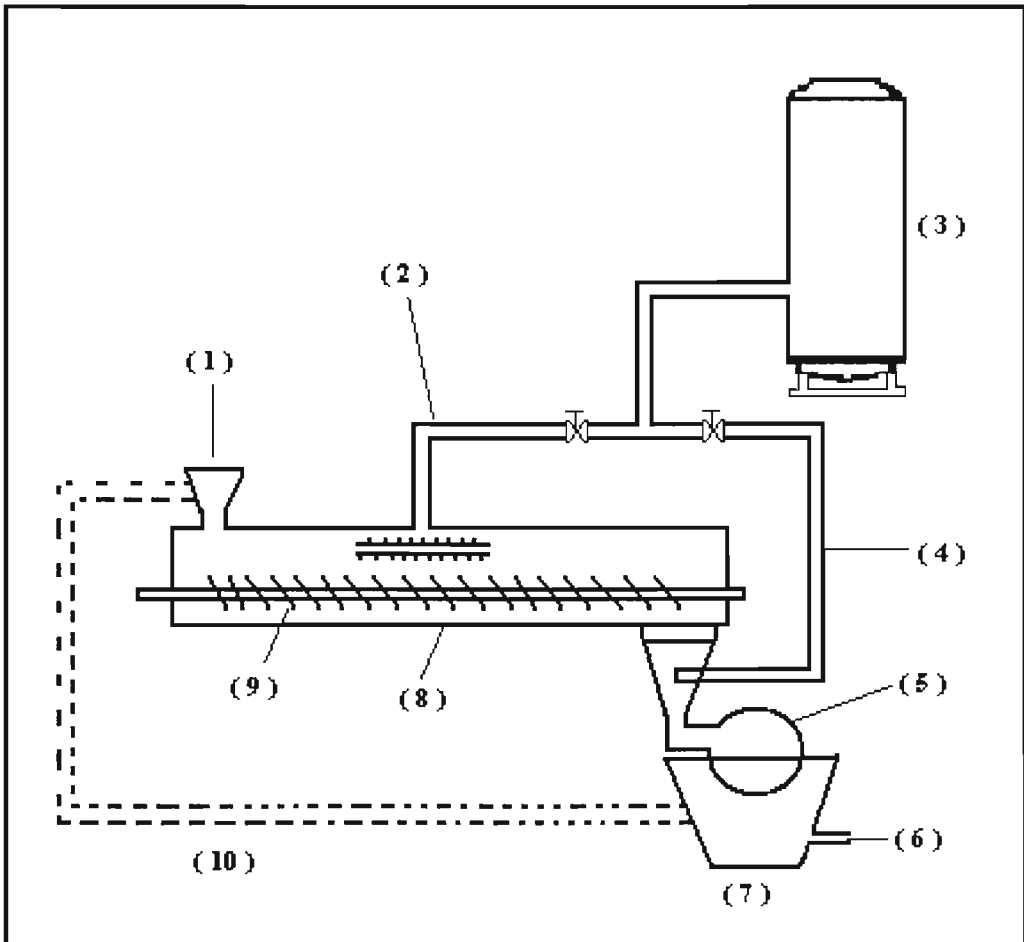


Figura 9.8 Sistema de molienda criogénica de Air Products.

- (1) tolva de carga, (2) liquido refrigerante LIN, (3) tanque de LIN, (4) liquido refrigerante LIN de molienda, (5) molino de molienda, (6) descarga de vapor de nitrógeno, (7) descarga de polvos, (8) opción de recirculación de nitrógeno, (9) transportador-enfriador, (10) Barreno.



## 9.2 Pelletizadoras.

Proceso de extrusión que consta de un dado especial a base de un plato perforado con orificios de aproximadamente 2 mm de diámetro, el plástico sale fundido y homogeneizado, para que sea pasado por el proceso de cortado.

Cuando el corte es realizado por cuchillas, a la cabeza del dado se le denomina pelletizado en caliente como se señala en la (Figura 9.9), y cuando se forman tiras que se enfrían en tinas de agua y posteriormente se cortan se le conoce como pelletizado en frío, la cual se muestra en la (Figura 9.10).

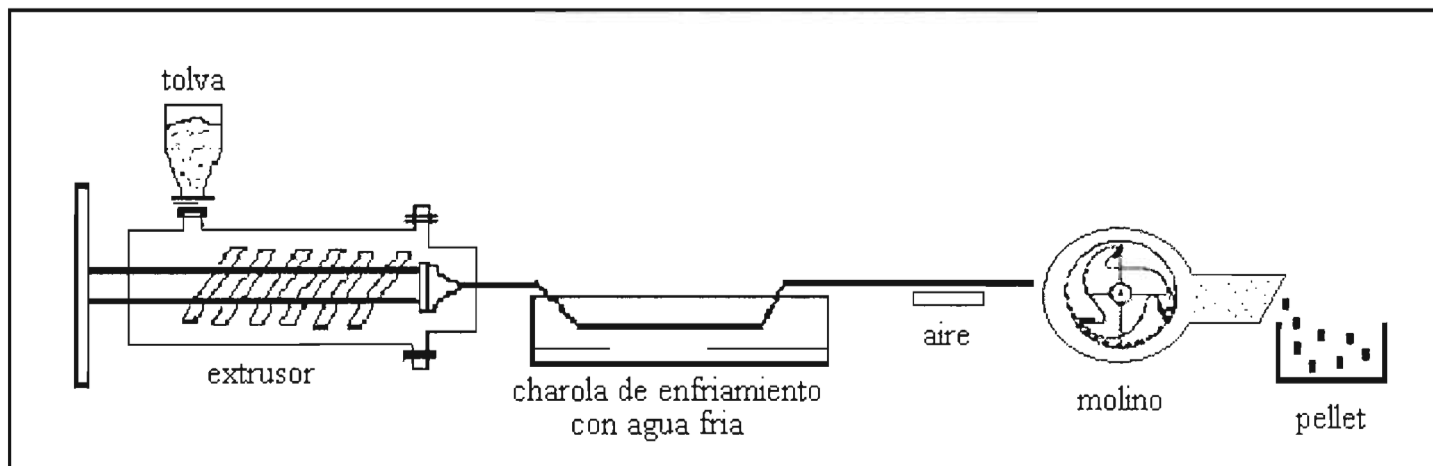


Figura 11.9 Pelletizadora con enfriamiento.

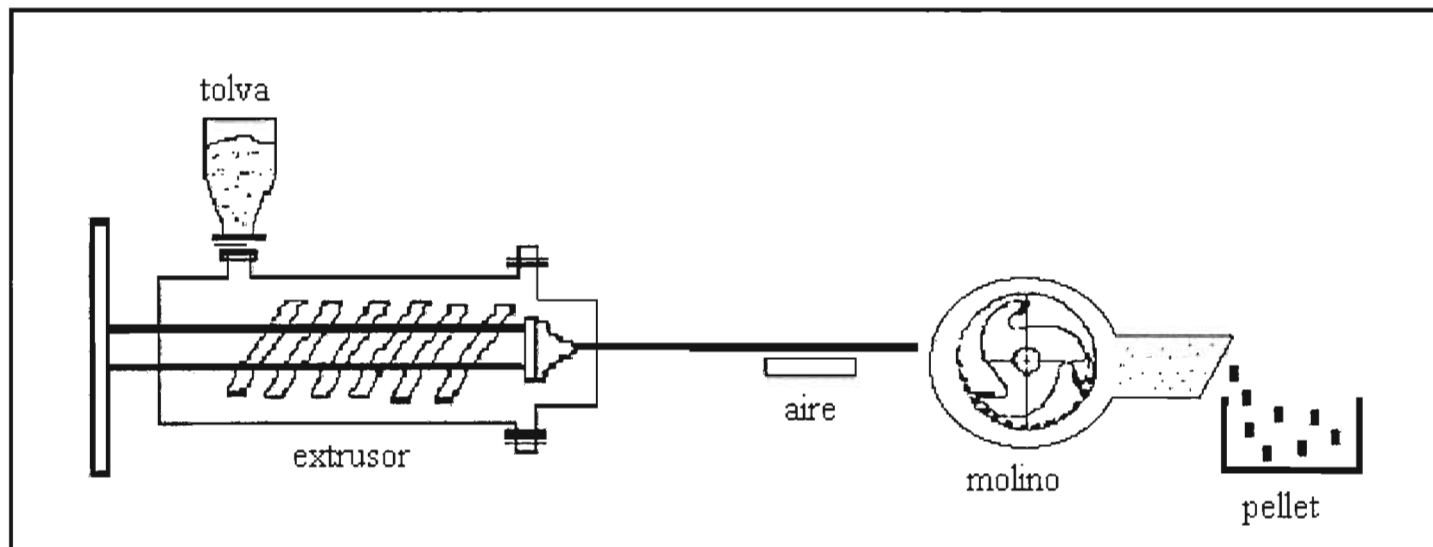


Figura 11.10 Pelletizadora sin enfriamiento.

## CAPITULO 10

### RECICLADO PRIMARIO.

Normalmente el reciclado de los residuos plásticos industriales mediante su incorporación a material virgen se considera un caso especial del reciclado primario, y así se analizará en la presente tesis. Recordemos que en este tipo de reciclado los residuos plásticos se utilizan para obtener un producto final que tiene la misma aplicación del artículo original del que procede. Este producto nuevo puede tener igual calidad que el original, en general, ligeramente menor. El primer caso se refiere precisamente al reprocesado [7].

A lo largo de este trabajo se ha descrito el reprocesado como operación de recuperación de residuos industriales de plástico, así como la justificación económica de la misma. Vamos a examinar los diferentes procesos utilizados, así como algunos ejemplos de aplicación.

Los cortes de scraps pueden reintroducirse en la producción, mezclados con el material plástico virgen siempre que se cumplan tres condiciones:

- Que tengan una buena homogeneidad.
- Que estén limpios.
- Que los gránulos sean proporcionalmente parecidos al material base.

La proporción en que los residuos plásticos se incorporan al material virgen dependerá de lo siguiente:

- Naturaleza del polímero.
- Historia térmica de los residuos.
- Sistema de transformación, usando propiedades exigidas al producto final.

Los productos finales obtenidos con estas mezclas, en general, tendrán las mismas especificaciones de calidad que los fabricados sólo con material virgen.

El reprocesado se aplica, por ejemplo, a los desechos de películas y láminas de PE, PP y PVC, a los residuos originales en la inyección y extrusión de perfiles. Según la naturaleza y clase de residuo, será necesario realizar operaciones previas de lavado, triturado o cortado y granulado.

Cada una de estas operaciones se pueden hacer de forma aislada o bien a través de procesos y equipos industriales que integran dos o más de ellas, representados a continuación.



### 10.1 Procesos y equipos industriales del reproceso de desechos plásticos.

i. Compactador condux.

La materia pretriturada es reblandecida entre una corona rotativa y una corona fija, extrusionada después en forma de macarrón hacia un granulador de cuchillas, que la granula hasta el tamaño adecuado. Este equipo esta diseñado para trabajar con residuos de películas, láminas y sacos de PE. En la (Figura 9.1) se muestra este equipo.

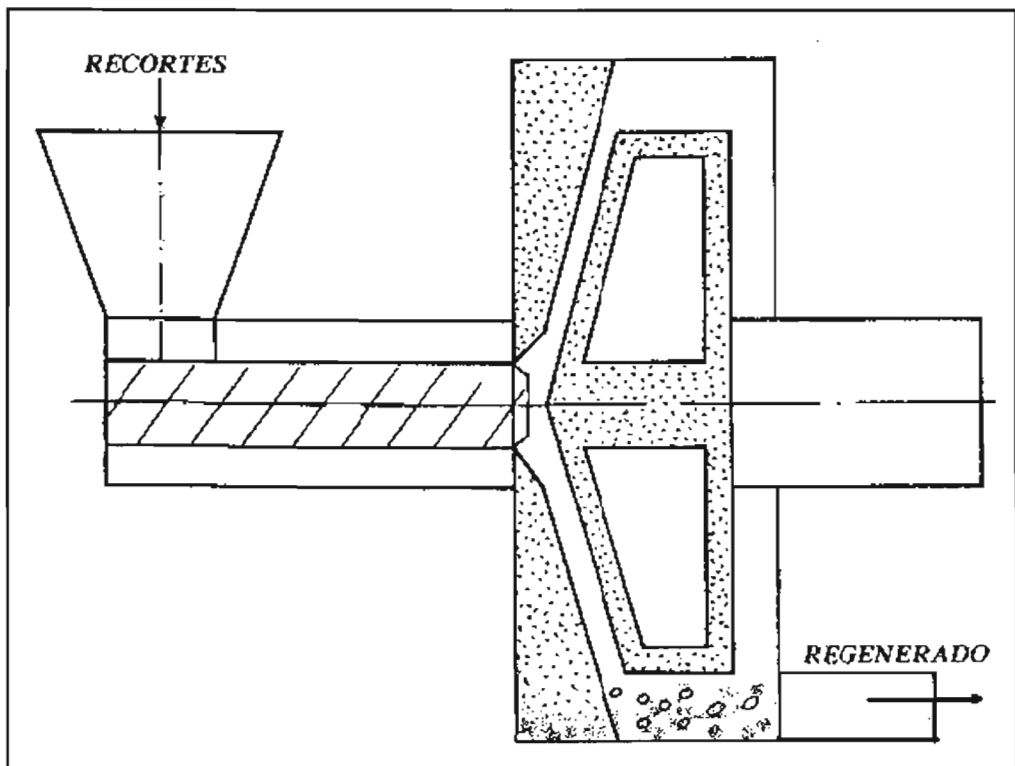


Figura 10.1 Compactador condux.

ii. Proceso gloenco.

Este tipo de instalación transforma los desechos de PE en gránulos utilizando, como en el caso anterior, un extrusor y una granceadora. Este proceso se representa en la (Figura 9.2).

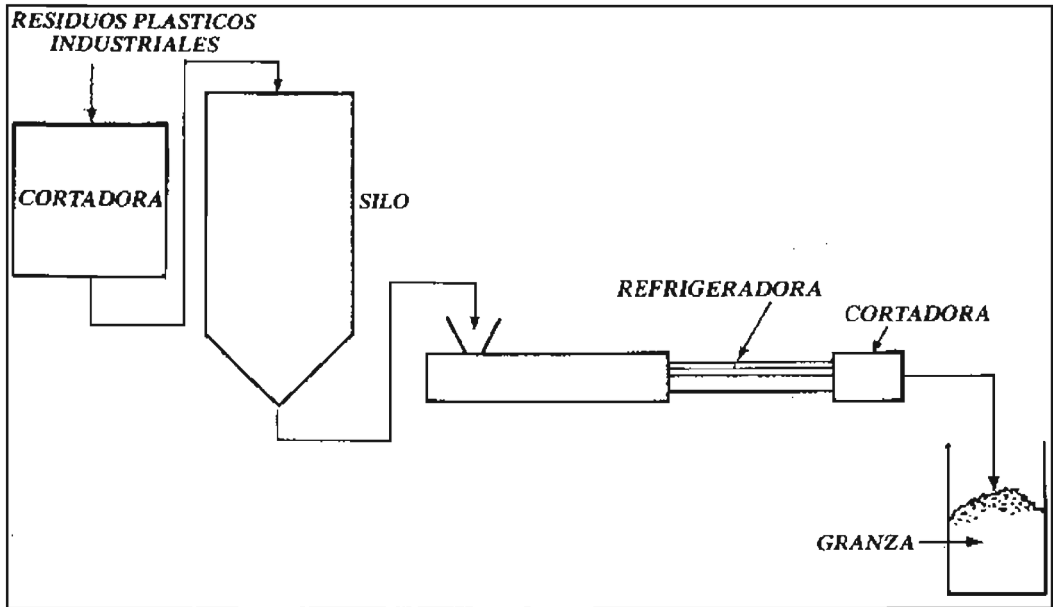


Figura 10.2 Proceso gloenco.

iii. Proceso Zerglomatt, de Kraus-Maffei (Linz, Austria).

Este proceso se utiliza especialmente en la recuperación de películas de PE y PP. El equipo se compone de un recipiente cilíndrico en cuyo fondo existen unas cuchillas fijas y otras rotatorias que desmenuzan los desperdicios de lámina en trozos de aproximadamente  $1 \text{ cm}^2$ . Al mismo tiempo se genera una agitación que eleva la temperatura de tal modo que cuando se alcanza el punto de reblandecimiento del plástico, se obtiene una aglomeración del material en grumos, en cuyo momento se inyecta por medio de una válvula una pequeña cantidad de agua. La producción puede llegar hasta  $450 \text{ kg/h}$ . Para el reciclado de desperdicios de láminas sucias, como las procedentes de la agricultura y la construcción, así como en las industrias del embalaje, se utiliza una modificación del Zerglomatt llamada Wasch-zerglomatt. En este equipo, los desperdicios de lámina se lavan y trituran bajo un chorro de agua. El agua de lavado se elimina después mediante centrifugación. El resto del proceso es prácticamente el mismo que el del Zerglomatt [14].



Cuando los desechos de la transformación no se tratan directamente en la fábrica en la que se originaron, pueden ser tratados en industrias equipadas para su tratamiento que los devuelven a su fábrica de origen o los venden. Además de granulados, en algunos casos estos residuos son teñidos con el fin de suavizar sus diferencias de color.

Como ya se explicó, los productos granulados, así obtenidos en una operación de reprocesado, se pueden mezclar en pequeñas proporciones con materia prima virgen para fabricar artículos de igual calidad que los que originaron los desperdicios plásticos. No obstante, cuando estos materiales granulados o aglomerados se utilizan solos o en una proporción muy grande sobre el material virgen, se obtienen productos con unas especificaciones más bajas que el producto original que dio los residuos.

Esto último es el caso más general dentro del reciclado primario. A continuación se reportan algunos ejemplos clásicos de este tipo de reciclado.

## 10.2 Reciclado primario de varios plásticos.

### *i. Reciclado primario de PE.*

Los residuos de PE se presentan en forma de láminas, bolsas o sacos y desperdicios de fabricación, que se lavan, secan y granulan con cualquiera de los procesos antes vistos, una vez separados a mano los residuos impresos y coloreados.

Es importante controlar y mantener constante el índice de fusión de la mezcla, con el fin de obtener un aglomerado susceptible de ser extruido. La extrusión debe hacerse en un extrusor provisto de filtros que retengan las impurezas que puedan haber pasado. Se obtienen de este modo láminas para embalajes, fundas, bolsas de basura, etc. Existen equipos capaces de extruir hasta 500 kg/h [14].

### *ii. Reciclado primario PS.*

La espuma de PS ha sido difícil de reciclar, pero cada vez se va haciendo más frecuente, debido a la carencia de materias primas. Por ejemplo, la compañía Western Foam Pack (Yakima, Washington) recicla bandejas de espuma de PS, cortándolas en trozos de 3 a 20 cm y extruyendo estos cortes a pellets que se mezclan con material virgen en proporciones de hasta un 25% para obtener nuevas bandejas.

La Free Packaging Corp. (Redwood City, California) recoge envases de espuma de PS y los reprocesa de tal modo que pueden reciclarse otra vez para obtener nuevos envases [14].

La Mobil Chemical recicla artículos de PE expandido, tales como cartones para envasar huevos, en un proceso parecido al de la Western Foam Pack [14].

Sin duda, la mayor ventaja del proceso desarrollado por el Institut Fur Kunststoffverarbeitung, de Alemania, es su simplicidad. El PS expandido se calienta en un horno a una temperatura de unos 110°C durante 7 min, produciéndose una reducción de volumen del 40 %. A continuación se somete el producto a un ligero vacío, con lo que, además



de reducir el volumen se consigue una desgasificación bastante completa. El producto una vez triturado, puede procesarse en un equipo de extrusión o inyección.

Al igual que los ejemplos expuestos para el PE y para el PS, existen decenas de procesos de reciclado primario para otros materiales plásticos como el PVC, el politetrafluoroetileno (teflón), las poliamidas (nylon), PU, etc. Por otra parte, estos procesos utilizan residuos plásticos industriales procedentes de fabricaciones tan diversas como las de cables, fibras textiles, etc.

## CAPITULO 11

### RECICLADO SECUNDARIO.

Como ya se indicó, en este tipo de reciclado el producto obtenido a partir de los residuos plásticos tienen una forma y unas propiedades físicas totalmente diferentes a las del artículo original. Normalmente los residuos plásticos de partida no son homogéneos, es decir, son una mezcla de plásticos diferentes entre sí, e incluso son mezclas de residuos plásticos con otros tipos de desechos (papel, madera, etc.) [37].

Por el origen de los residuos plásticos podemos entonces decir que hay un reciclado secundario procedente de residuos plásticos industriales solos o mezclados o de residuos plásticos urbanos.

La mayoría de los procesos de reciclado secundario emplean como materia prima los residuos plásticos industriales mezclados más que los urbanos. La razón principal es la continuidad y cantidad del suministro de residuos, lo que es fundamental al hacer un planteamiento industrial de su recuperación.

Los factores limitantes del reciclado, mencionados anteriormente, tienen aquí una incidencia crítica en el reciclado secundario. En efecto, la incompatibilidad de los diferentes plásticos entre sí, el deterioro de las propiedades mecánicas de la mezcla por una mala formulación inicial de la misma, la degradación y reticulación inicial de los residuos y su contaminación inciden claramente sobre la calidad final del objeto fabricado a partir de la mezcla de plásticos.

#### 11.1 Reciclado secundario de residuos plásticos industriales.

Como en el caso del reciclado primario, estos son los que, hasta el presente, tienen más interés desde el punto de vista de recuperación. Al igual que en los casos anteriores, también existe ya cierta tecnología lo suficientemente desarrollada como para permitir la existencia de equipos industriales. No obstante, se sigue trabajando en la implementación de nuevos procesos y equipos. Entre los ya existentes en el mercado, citaremos como más conocidos los siguientes:

*i.* Remarker de Kleindienst (Alemania).

Este sistema reprocessa directamente las mezclas de residuos plásticos mediante moldeo por inyección. Estos equipos llegan a tener una capacidad de plastificación de hasta 150 kg/h. Utiliza mezclas de PE, PP, PS y PVC plastificado.

La principal característica de este equipo es un tornillo giratorio de plastificación con una zona de desmenuzamiento próxima a la zona de fusión, que arrastra a los residuos triturados a la zona del tornillo. El material se inyecta a una presión relativamente baja mediante un aumento rápido de la velocidad de giro del tornillo [14].

ii. Reverzer de Mitsubishi Petrochemical (Tokio, Japón).

Este proceso utiliza mezclas de recortes industriales, que primero se homogeneizan mediante el calor de fricción desarrollado en un extrusor. A continuación el material es transferido a un tornillo vertical que lo inyecta en los moldes, normalmente a baja presión. Como material de partida se utilizan recortes de recubrimientos de cables, bobinas de film obsoletas, bobinas de film textiles, etc. Este proceso admite también la preparación de mezclas de residuos plásticos con otros tipos de desechos [20].

Existen dos modificaciones al proceso Reverzer que han alcanzado éxito industrial:

- La modificación desarrollada por Laporte Industries (Reino Unido), que permite el llenado simultáneo de dos moldes. Con este proceso Laporte ha instalado una planta que permite tratar 2,500 ton por año que fabrica, entre otro objetos, vigas reforzadas con acero que miden hasta 1.3 m.
- La modificación realizada por Rehsif S.A. (Ginebra, Suiza), que ha incorporado al sistema un cabezal articulado que transporta el material hasta los moldes a una presión muy baja y que posteriormente se trasladan a una prensa donde las piezas se moldean a su forma final. Con este proceso se pueden fabricar piezas de paletas de hasta 25 kg y 120 cm de lado, pilotes marinos, cercas, etc. En la (Figura 11.1) se muestra la sección transversal del reciclador Reverzer.

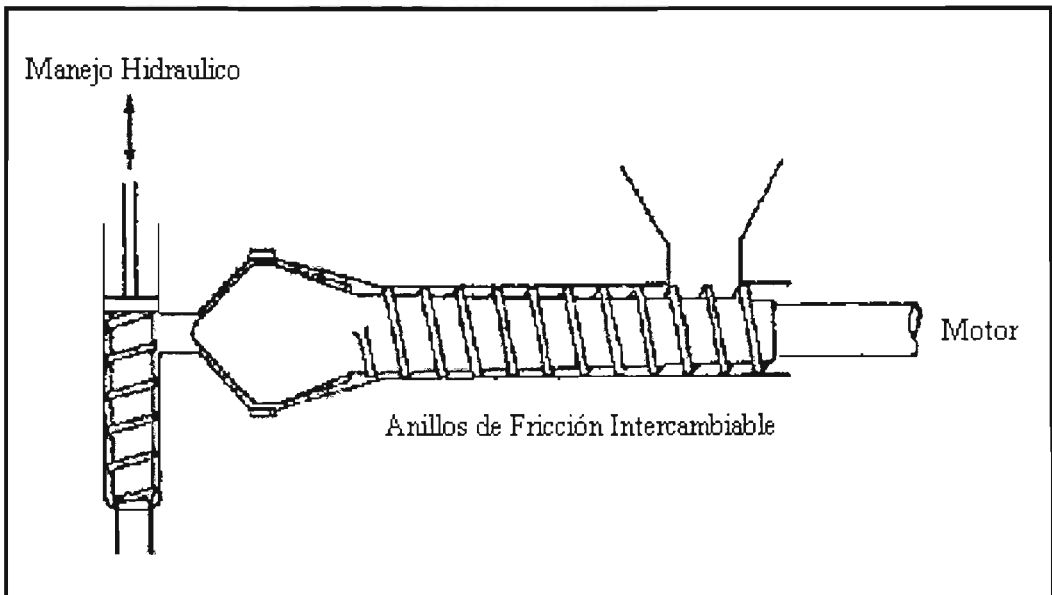


Figura 11.1 Diagrama de sección transversal del reciclador Reverzer.



*iii.* Proceso Davo.

Las mezclas de residuos plásticos son fundidas mediante un cilindro excéntrico y moldeadas por compresión para producir losetas, bordillos, pavimentos industriales, etc. [14]

*iv.* Proceso Societé Paturle.

Este proceso conduce realmente a la creación de un material nuevo, mediante la adición de ciertas cargas (serrín, carbonato cálcico, etc.) en cantidades de hasta un 70% al PE recuperado. Se obtienen así productos con unas características mecánicas de interés que tienen aplicación en la industria del automóvil o en carpintería industrial [14].

*v.* Plastificador Patfoort (Bélgica).

Se trata de un plastificador desarrollado por el CRIF (Centre de Recherches de la Federation Belge des Industries de Fabrication Metallique) belga y fabricado actualmente por la firma FN, que permite obtener un producto transformable a partir de mezclas de residuos plásticos de artículos acabados o de gránulos sucios [14].

*vi.* Regal Packaging Ltd. (Reino Unido).

Este proceso permite la fabricación de paletas por granulación, aglomeración y compresión de mezclas de residuos plásticos. Las paletas se fabrican a partir de planchas [14].

*vii.* Proceso Societé Mox (París, Francia).

Los scraps de film termoplástico se mezclan con recortes de fibras y/o virutas de madera. El calentamiento bajo presión de la mezcla formada produce un aglomerado de desperdicios. Se pueden usar residuos plásticos homogéneos o mezclados. Estos aglomerados encuentran aplicación en la construcción [14].

La compañía Japan Synthetic Paper tiene también un proceso similar.

*viii.* Kabor LTD. (Reino Unido).

Este proceso mezcla scraps de plásticos con desperdicios de papel y carbón. La relación entre papel y plástico es aproximadamente de 1 a 2. El compuesto resultante tiene una notable resistencia a la tracción y buena resistencia química. Mediante un proceso de moldeo por compresión, fabrican paletas. Existe, funcionando, una fábrica con dicho sistema que trata 18,000 ton por año [14].



ix. Procedimiento Holzaptel Freres.

Quizá sea éste el proceso más rentable en Alemania y probablemente en el mercado común Europeo para la recuperación de residuos plásticos/textiles.

Estos residuos provienen de la fabricación y transformación de productos complejos que tienen forma de lámina y en los que los plásticos recubren la parte textil. Por ejemplo, tejidos plastificados, moquetas, fieltros, simil cuero, cintas transportadoras, etc. estos productos tienen una o varias capas de plástico (PVC casi siempre) con una o varias láminas textiles.

Los residuos se seleccionan teniendo en cuenta las proporciones plástico/textil y el color. Los residuos así escogidos se reducen a pequeños fragmentos mediante un molino. A estos fragmentos se le añaden los aditivos en los silos de mezclado siguiendo fórmulas de composición ya establecidas. La granulación se efectúa mediante presión y plastificación.

La transformación tiene lugar en máquinas de inyección. Los gránulos obtenidos según el proceso Holzaptel, y que contienen fibras naturales y sintéticas, permiten la fabricación de productos de gran estabilidad dimensional, con elevada resistencia a la tracción y al desgaste. Se fabrican así piezas para la industria automotriz [14].

## 11.2 Reciclado secundario de residuos plásticos urbanos.

Es importante señalar que el problema de la recuperación de los residuos plásticos urbanos es un problema político y económico que un problema técnico.

En efecto, se citan a continuación dos ejemplos de su resolución técnica.

El primero de ellos es el de la fabricación de bolsas de basura a partir de residuos de PE BD en la planta de tratamiento que trabaja sobre el reciclado de los residuos plásticos urbanos. Como ya se mencionó, el PEBD es el residuo plástico más frecuente en la basura. Los principales problemas a resolver son:

- La separación de PEBD de otros polímeros incompatibles con él.
- El lavado de los filmes contaminados por grasas, materia orgánica, madera, etc.
- La eliminación del mal olor que el PE conserva, incluso después de granulado.
- El secado de los residuos una vez lavados.

Una vez resueltos los problemas mencionados, el producto se somete a una fase de plastificación y recuperación en una extrusora que tiene un dispositivo especial que permite comprimir el producto en el cilindro de la misma. Para eliminar la humedad, el extrusor está equipado con una bomba de desgasificación a vacío.

A la salida de la extrusora, un cambiador de filtros retiene las impurezas que pudiesen haber llegado a ese punto. Este producto granulado se mezcla, entre un 30 y un 40 %, con materia virgen y se procede a la fabricación de bolsas para recoger basura.

El segundo ejemplo recoge el proceso desarrollado por el CRIF para el reciclado de residuos plásticos urbanos recogidos selectivamente [18].





Se trata de un plástificador de tornillo corto que, en lugar de realizar un simple mezclado de los diferentes constituyentes de los residuos plásticos, lo que hace es una dispersión de unos en otros, con lo que minimiza la incompatibilidad entre los diferentes polímeros. El tornillo corto se representa en la (Figura 11.2), es un tornillo de tres filetes y con una relación  $L/D = 5$ . Está cortado por un extremo perpendicularmente a su eje. El disco frontal plano así obtenido gira de la cara a la extremidad fija del cilindro y el espacio entre estos dos platos constituye una zona en donde el efecto de dispersión puede compararse al de un plástificador de disco.

El tornillo ejerce, por cada una de sus tres entradas, una presión equilibrada sobre el material en estado sólido. Esta masa es comprimida bajo el efecto de la presión ejercida por un tornillo y de la parte del material que esta sobre el cilindro.

Este proceso está especialmente diseñado para residuos de plásticos urbanos, recogidos selectivamente, y se han obtenido resultados positivos en inyección, extrusión de placas, de tubos, soplado de cuerpos huecos y termoconformado. Se obtienen así productos de aplicación en la construcción, saneamiento, horticultura, etc.

El CRIF está elaborando actualmente un estudio, de una instalación piloto susceptible de recuperar los desechos plásticos urbanos de una ciudad de tipo medio.

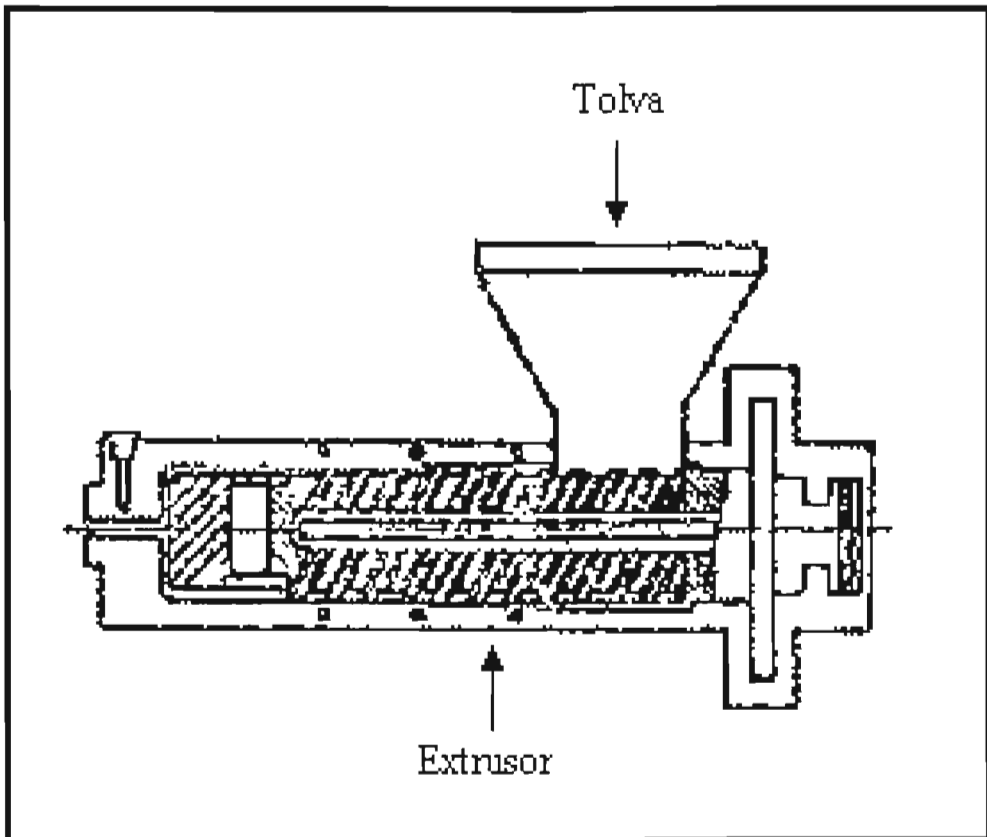


Figura 11.2 Maquina FN.

## CAPITULO 12

### RECICLADO TERCIARIO; OBTENCIÓN DE MONÓMEROS.

También conocido como reciclado químico, los residuos y las piezas usadas de plástico se descomponen a través de un proceso químico en los componentes más sencillos de partida, los monómeros, que pueden ser utilizados nuevamente como materias primas en plantas petroquímicas, pudiéndose obtener nuevamente polímeros que dan lugar a artículos útiles para el hombre.

Este tipo de reciclado se refiere a la obtención de productos de partida (monómeros) por métodos ya conocidos.

En ocasiones, la obtención de los monómeros es relativamente sencilla, como es el caso de la descomposición de calor del polimetacrilato de metilo, procedimiento conocido desde la antigüedad. También es, relativamente, la descomposición en sus monómeros de partida del PET por metanólisis.

El resto de los materiales plásticos se descomponen con más dificultades e incluso, en muchos casos, las investigaciones y experimentaciones realizadas hasta el presente han sido negativas.

La transformación con hidrógeno a altas temperaturas conduce a resultados de interés. La Nippon University describe un procedimiento en el que el PS se descompone a alta temperatura en una atmósfera de hidrógeno, obteniendo exclusivamente etilbenceno, que se puede utilizar nuevamente para la fabricación de estireno.

#### 12.1 Procesos del reciclado terciario.

Este tipo de reciclado involucra: pirólisis, hidrólisis, glicólisis y cracking.

##### *i. Pirólisis.*

Este método que no sólo se está aplicando a los residuos plásticos, sino también a otros tipos de desechos orgánicos, implica su conversión en productos combustibles y en productos químicos utilizables como materias primas.

La pirólisis es definida como la descomposición química y física de materiales orgánicos causada por calentamiento en una atmósfera deficiente de oxígeno, o con la atmósfera debidamente controlada. Este proceso es capaz de obtener compuestos químicos simples a partir de los desechos plásticos.

La utilidad de la pirólisis está siendo examinada en diversos lugares, para juzgar su verdadero valor como proceso de reciclado. Una pregunta que este proceso tiene que contestar por sí sólo es la rentabilidad del método como fuente de extracción de energía frente a la incineración.

Es preciso distinguir entre una pirólisis a baja temperatura, que fundamentalmente conduce a fracciones alifáticas, los productos de más interés son las fracciones con un punto de ebullición bajo y que contienen olefinas (aproximadamente el 95% de la cantidad inicial) y que se pueden utilizar como materia prima en la síntesis orgánica, y una pirólisis a alta temperatura, en la que se aromatizan las fracciones alifáticas. En la (Figura 12.1) se expresan las reacciones de pirólisis de tres plásticos (PE, PS y PVC) con sus respectivos productos.

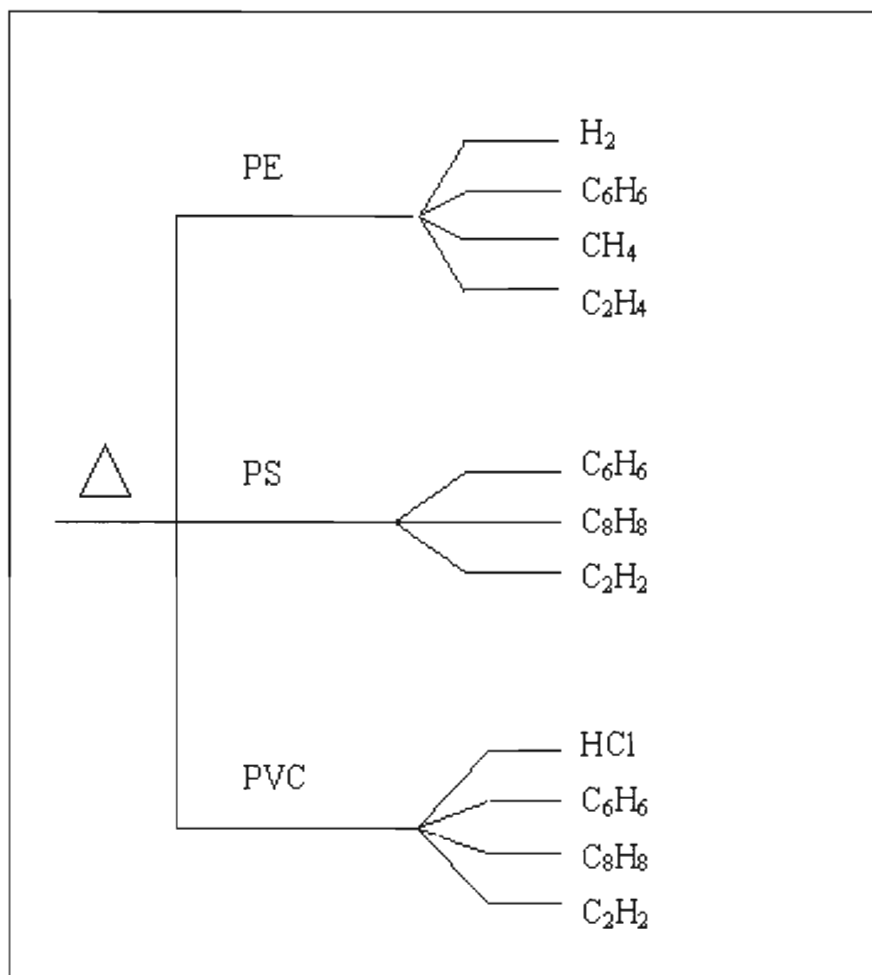


Figura 12.1 Reacciones de pirólisis.



En la actualidad se hacen ensayos en un reactor con un sistema de calefacción por gas que permitió obtener temperaturas de hasta 877°C. La (Figura 12.2) muestra algunos resultados obtenidos con este reactor y con PE. Utilizando nitrógeno como gas de fluidificación, en comparación con los ensayos de laboratorio, la proporción de benceno es asombrosamente elevada y aumenta con la temperatura hasta alcanzar un máximo de 820°C. Un comportamiento parecido se observa para el etileno y propileno [20].

Estos ensayos permiten el diseño de la instalación industrial y sus modificaciones para un proceso de mayor eficiencia.

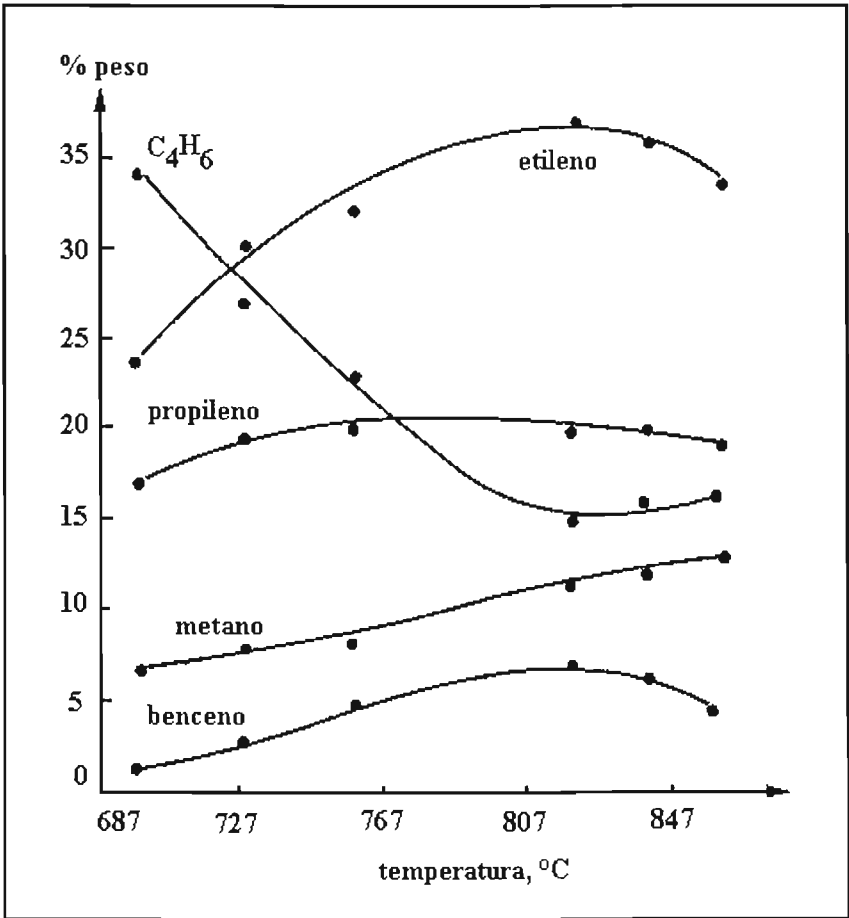


Figura 12.2 Pirólisis de polietileno en un reactor prototipo industrial. Gas de fluidización: nitrógeno.



Para lograr la pirólisis de los desechos plásticos, es necesario el ejemplo de un equipo especializado en estos procesos. Es común encontrar algunos problemas relacionados a qué equipo es el adecuado para realizar pirólisis de desechos plásticos. Algunos problemas se describen a continuación:

- Los plásticos tienen una baja conductividad térmica, lo que origina un tiempo largo antes de que se lleve a cabo la descomposición térmica y una pequeña capacidad de procesamiento.
- Los residuos de carbón formados durante la descomposición térmica tienden a adherirse a las paredes del reactor de pirólisis, originando que el proceso no sea continuo.
- La mayoría de los desechos plásticos, al calentarse, adquieren una alta viscosidad, originando problemas para transportarse.

Para resolver estos problemas, existen varios procesos que involucran la pirólisis de los desechos plásticos, en los cuales, los más importantes se describen en la (Tabla 12.1).

Hay que mencionar que los trabajos sobre la pirólisis de materiales plásticos son impulsados con especial intensidad en Japón [20].

Tabla 12.1 Algunos sistemas de pirólisis de plásticos.

Proceso desarrollado	Tipo de reactor y método de calentamiento	Temperatura de reacción. (°C)	Capacidad de planta. (ton/día)	Alimentación	Productos
Unión Carbide	Extrusor, seguido por tubo de pirólisis anular calentado eléctricamente.	420 – 600	0.035 – 0.07	PE, PP, PS, PVC, PET, PA, mezclas.	Ceras.
Japan Steel W	Extrusor				
Sanyo Electric Co.	Reactor tubular con tornillo de remoción de carbón. Calentado dieléctricamente.	260 para PVC, seguido de 500-550.	0.3 piloto 3 Gifu 5 Kusatsu	Espumas de PS. Mezcla plásticos seleccionados	Monómero combustible y HCl
Universidad de Hamburgo	Lecho fluidizado Reactor por lote	640 – 840 600 – 800	0.08 - 0.24 Escala lab.	PE, PS, PVC tipo anulado	HC's HC's
Mitsubishi Heavy Ind.	Tanque-reactor con bomba de circulación y reflujo de enfriamiento	400 – 500	0.7/2.4	Poliolefinas	Nafta Keroseno Gasolina
Mitsui Shipbuilding & Engineering	Tanque-reactor de mezclado por lotes para polímeros	420 – 455	24 - 30	Polímeros de bajo peso molecular (PE, APP)	Aceite combustible

- Sistema de pirólisis de la Unión Carbide.

La Unión Carbide desarrolló y probó un sistema de pirólisis consistente de un extrusor, un tubo de pirólisis, un intercambiador de calor y un equipo de recuperación de productos, como se señala en la (Figura 12.3). Un extrusor, de 1-¼ de pulgada, que es eléctricamente calentado, es usado para comprimir, fundir y bombear al polímero fundido hacia el tubo de pirólisis.

Este tubo de pirólisis tiene un diseño anular con el propósito de mantener una temperatura relativamente uniforme al plástico pirolizado. Los productos son enfriados en un intercambiador de calor antes de ser descargados dentro del aparato recuperador de productos. Los desechos plásticos que pueden manejar este sistema, son el PEAD, PEBD y PP. Los productos de pirólisis del PEAD y PP son ceras duras, teniendo una dureza y color mayor que el de la cera de carnauba. Estas ceras duras son aplicadas en lustradores, tintas de imprenta y lubricantes.

Los productos de pirólisis del PEBD son grasas y ceras, las cuales pueden ser emulsificadas en agua y ser usadas en formulas de lustradores, agentes textiles, adhesivos y lubricantes. Este sistema puede manejar mezclas de desechos plásticos, dependiendo de la temperatura, se pueden obtener alquitrán, grasas, líquidos y gases hidrocarbonados.

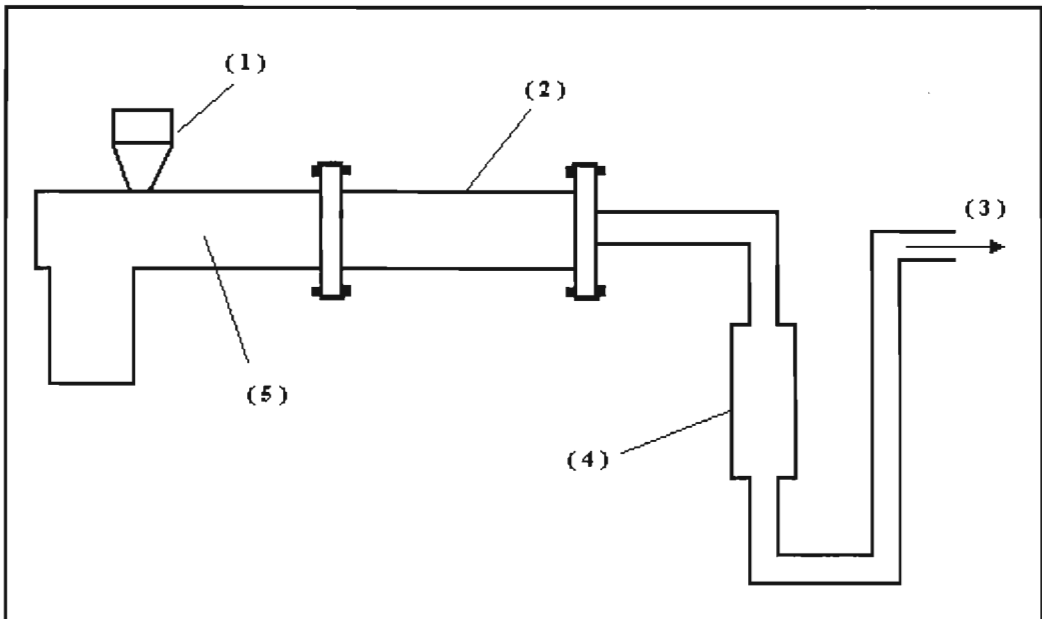


Figura 12.3 Aparato de pirólisis continua de plásticos de la Unión Carbide.

(1) tolva alimentadora, (2) tubo de pirólisis, (3) producto a equipo de recuperación, (4) intercambiador de calor, (5) extrusor.



- Sistema de pirólisis de la Japan Steel Works LTD.

El sistema de pirólisis de la Japan Steel Works LTD es parecido al de la Unión Carbide. Este sistema maneja desechos plásticos tales como el PS, PS de alto impacto, ABS, polimetacrilato de metilo, PP y PE, cada uno de forma individual.

El sistema de pirólisis es mostrado en la (Figura 12.4). La pirolisis de los desechos plásticos se lleva a cabo directamente en el barreno del extrusor, que está un poco separado de la cámara. El plástico es alimentado dentro de la tolva (1), movido por el tornillo rotatorio (9), plastificado y térmicamente descompuesto por la acción del calor suministrado externamente y generado por la acción cortante del tornillo.

Los productos de bajo peso molecular son alimentados a un enfriador (5) y descargado a través de orificios (2), (3) y (4) y condensados, el condensado es colectado en un deposito (7). Algunos productos teniendo altos puntos de ebullición pueden ser recirculados al extrusor para reprocesamientos adicionales.

La adhesión de residuos de carbono en la superficie interna del cilindro puede ser prevenida por la acción del tornillo rotante (8). Pequeñas cantidades de aire pueden ser suministradas dentro de la zona de descomposición para oxidar los residuos de carbono y reducir el problema de adhesión. El peso molecular promedio del producto puede ser controlado ajustando la temperatura de descomposición y regulando el grado de vacío en la zona de descomposición térmica por medio de una bomba de vacío.

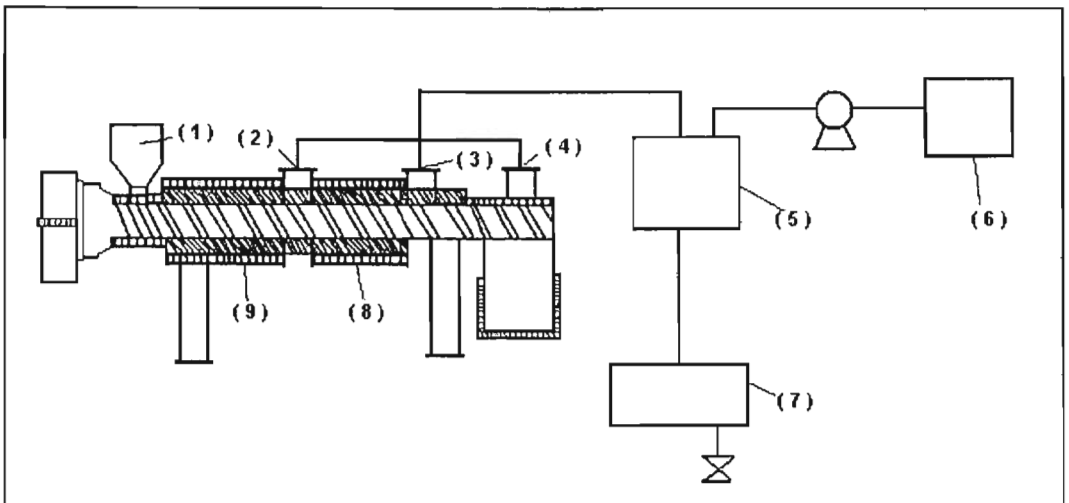


Figura 12.4 Sistema de pirólisis desarrollado por la Japan Steel Works LTD.

(1) tolva; (2), (3) y (4) orificios de salida; (5) enfriador, (6) tanque, (7) deposito, (8) tornillo rotante, (9) tornillo rotatorio.



- Proceso de craqueo térmico de desechos plásticos Mitsui.

La (Figura 12.5) representa el proceso de craqueo térmico Mitsui. El alimento de proceso es PE de bajo peso molecular. El alimento es fundido y bombeado dentro de un tanque-reactor con agitación, manteniéndolo aproximadamente a 420°F. El producto de pirólisis es destilado por fuera, algunos productos de alto peso molecular son condensados y retornados al tanque-reactor, mientras que otros son llevados a un tanque separador donde son separados en gas y líquido.

El gas separado es quemado para prevenir contaminación. Los productos aceitosos obtenidos de la pirólisis son mezclados con combustible pesado y usados en el suministro del poder energético de la planta. El residuo de carbón es continuamente removido. La cantidad requerida de calor para la descomposición térmica es obtenida del fluido del tanque-reactor de pirólisis, y quemando a estos dentro de la cámara de combustión. La cantidad de fluido utilizado es aproximadamente un 10 % del alimento usado [20].

- Sistema de pirólisis utilizando un reactor de lecho fluidizado de la Universidad de Hamburgo.

La (Figura 12.6) muestra el reactor experimental de lecho fluidizado de la Universidad de Hamburgo para la pirólisis de desechos plásticos. En general, su funcionamiento es el siguiente: el tornillo transfiere plástico de desecho a un reactor eléctricamente calentado. La capa fluidizada es de aproximadamente 80 mm de hondo y requiere de 500 litros de gas fluidizante por hora [20].

Los gases de pirólisis son limpiados de polvos en un ciclón. Las nieblas parafinadas son separadas por un filtro eléctrico. Los gases son parcialmente licuados en un enfriamiento intensivo. Los gases no condensados pueden ser regresados para usarse como medio fluidizante.

Los desechos plásticos que puede manejar éste sistema son PE, PS, PVC, PP y mezclas de desechos plásticos. Es posible una recuperación del 97% de los desechos plásticos alimentados. El producto mayoritario de la pirólisis del PE es etileno, la del PS es un monómero de estireno y la de PVC es un 50% en peso de hidrógeno molecular, cloro molecular y cantidades considerables de carbón.

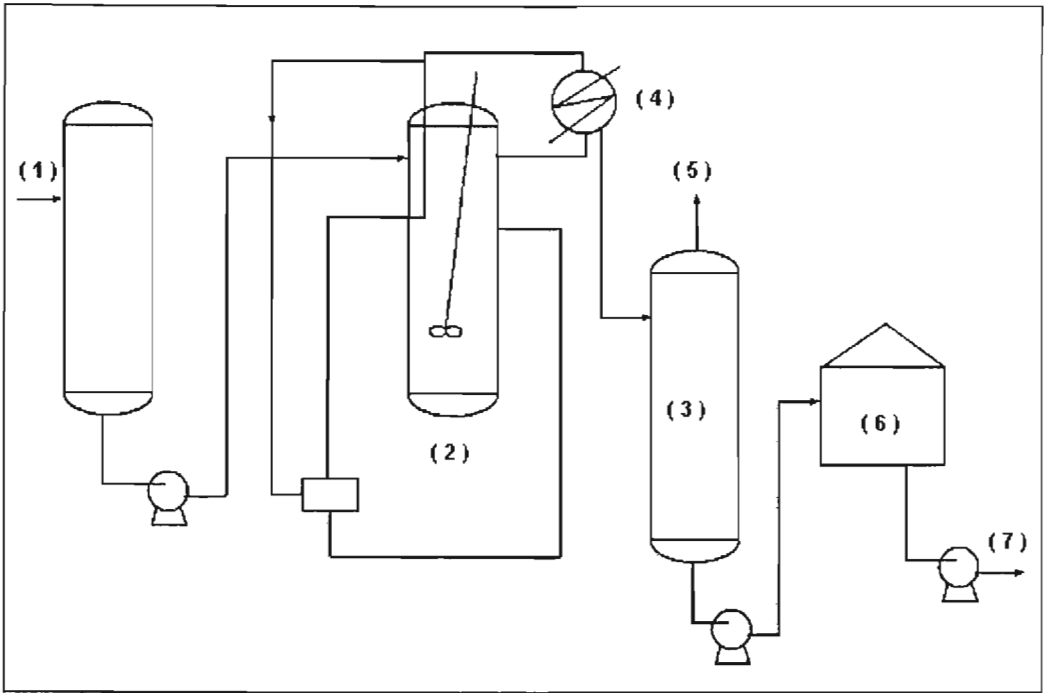


Figura 12.5 Proceso de craqueo térmico Mitsui.

(1) de planta de resina, (2) horno y reactor, (3) separador G-L, (4) condensador, (5) a quemador, (6) tanque, (7) a boiler.

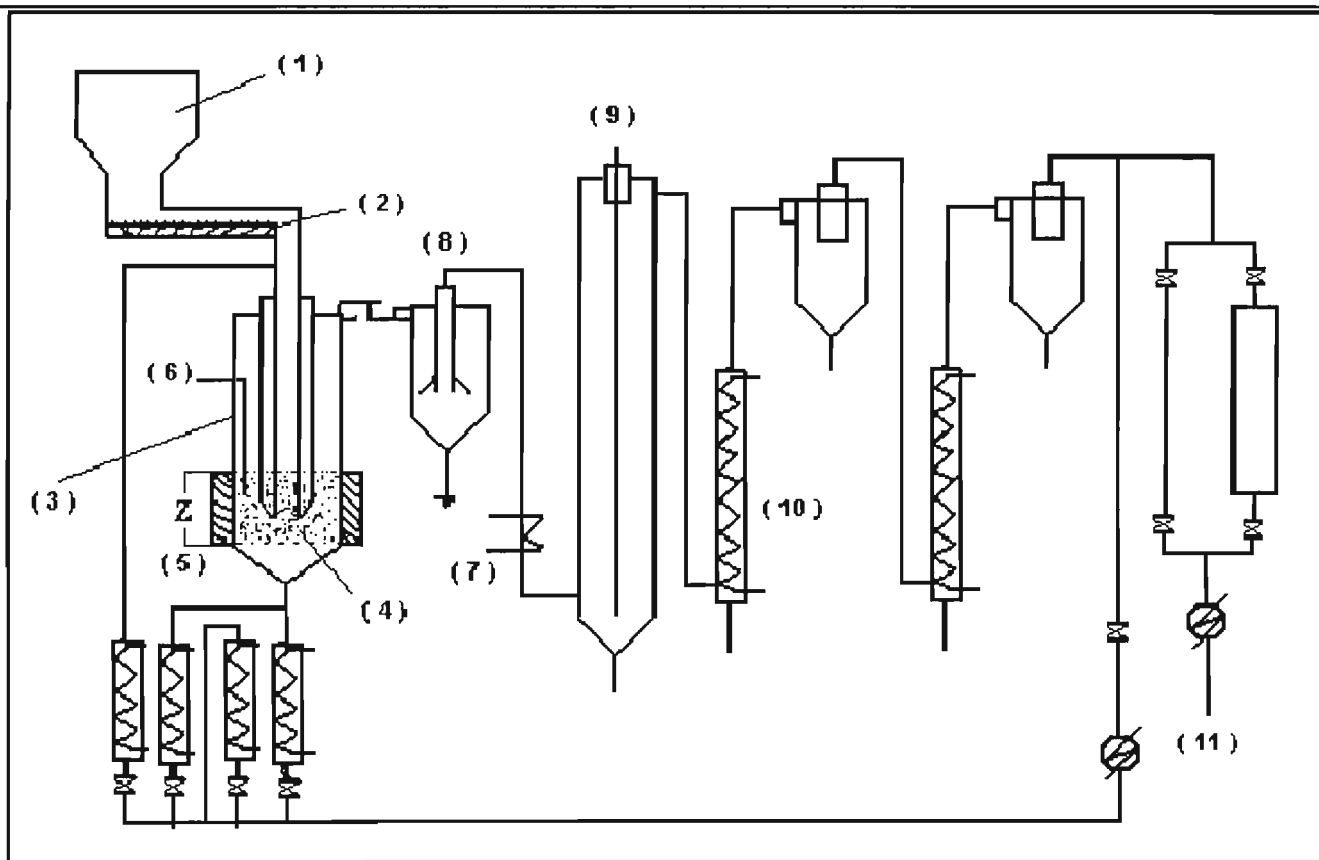


Figura 12.6 Reactor de pirolisis de lecho fluidizado de la Universidad de Hamburgo.  
 (1) tolva, (2) tornillo transportador, (3) reactor, (4) capa fluidizante, (5) altura de la capa (80 mm), (6) alimentación del gas fluidizante, (7) intercambiador de calor, (8) ciclón, (9) filtro, (10) enfriador, (11) gases licuados.



## ii. *Hidrólisis.*

Es un proceso en el cual se lleva a cabo una reacción inversa a la condensación, donde los polímeros obtenidos por policondensación (o poliadición) pueden ser hidrolizados para obtener productos químicos tales como poliésteres y aminas provenientes de isocianatos.

Podría decirse que son hidrolizables por principio todos los materiales plásticos que han sido sintetizados por condensación. Estos productos comprenden polímeros tan diferentes entre sí como las PA, PC y los PU. Sin embargo, por ser productos tan estables para conseguir su ruptura hace falta provocar una hidrólisis en condiciones muy severas.

El rompimiento por hidrólisis es posible para plásticos que tengan grupos químicos susceptibles a las reacciones de hidrólisis. Los polímeros que pueden ser hidrolizados son los PU, poliésteres, PC y PA. En general, los plásticos son hechos para ser hidrolíticamente estables bajo condiciones de uso normal, pero la hidrólisis de desechos plásticos se lleva a cabo bajo condiciones extremas. De los plásticos hidrolizables, el reciclamiento del poliuretano es el que tiene un mayor interés industrial [14].

A continuación se describen 3 procesos de hidrólisis.

- Hidrólisis de espumas de PU Proceso Bayer.

Este proceso ha sido desarrollado por Bayer AG, bajo un programa de investigación por los alemanes Goodyear y Movia, disuelven los residuos de espuma en una poliamida caliente, que constituyen así una mezcla reactiva frente a los isocianatos; Wyandotte recupera el poliéster y la diamina por un procedimiento costoso de hidrólisis alcalina; recientemente Upjohn ha publicado un procedimiento para degradar la espuma rígida de PU por reacción con los glicoles, etc. Pero en ninguno de estos casos se produce la hidrólisis pura que da los productos de partida, que es lo que se consigue en el proceso desarrollado por Bayer [14].

En el tratamiento de la espuma de PU de tipo poliéster se produce una hidrólisis por reacción con agua a 200-230°C de temperatura y una presión de 1 a 2 MPa aproximadamente. El proceso de hidrólisis rompe las cadenas entrecruzadas del polímero y da al poliéster original la amina básica.

El proceso se lleva a cabo en un extrusor que tiene dos tornillos, girando en el mismo sentido, adecuadamente modificado con un control apropiado de la temperatura y presión.

El material es alimentado en la tolva, triturado en forma de polvos, comprimido en la primera sección, hidrolizado en la segunda sección, donde también se introduce agua. Por fin el producto completamente hidrolizado, compuesto esencialmente por el poliéster y de la amina, es extraído gracias a un sistema de reducción de presión. El resto del agua de reacción se evapora a la salida del aparato. El CO<sub>2</sub> formado se ventea también en el sistema de reducción de presión.



De acuerdo con Bayer, esta técnica puede ser aplicada igualmente a los otros materiales plásticos hidrolizables enunciados anteriormente. Los ensayos realizados han demostrado que la instalación permite trabajar a temperaturas, presiones y tiempos de residencia suficientes para hidrolizar espumas rígidas de PU, poliésteres, PA y PC [31].

- Hidrólisis de espuma de PU; Proceso General Motors.

La (Figura 12.7) muestra un diagrama de proceso de una planta de hidrólisis de espuma de PU diseñada por la General Motors. Los fragmentos de espuma entran al reactor donde son hidrolizados en contacto con vapor de agua a aproximadamente 600°F. Los polioles son recuperados directamente como líquidos relativamente libres de agua y listos para su rehusó después de enfriamiento y filtrado. El vapor proveniente del reactor pasa al interior de un condensador donde entra en contacto con anilina o alcohol bencílico como disolvente. Posteriormente se verifican varios procesos de recuperación de disolventes, de separación de agua, disolventes y productos orgánicos. La destilación separa el flujo orgánico en diaminas, producto principal, y al alquitrán y glicoles como productos secundarios [10].

- Hidrólisis de residuos de poliamidas.

Existen varios tipos de poliamidas que dan lugar a una importante cantidad de residuos en forma de hilos. En la industria, los hilos de poliamida frecuentemente se tejen con hilos de viscosa o acrilonitrilo.

Las poliamidas se conocen comúnmente como nailons (o nylon, la marca comercial original), y se identifican con base en el número de átomos de carbono de los monómeros, cuando intervienen dos monómeros el polímero lleva dos nombres por ejemplo: nylon 6,6.

Las poliamidas más utilizadas son la PA6 y la PA66. Aunque, en principio, ambas son hidrolizables, no es posible realizar en la práctica la hidrólisis de la PA66.

La hidrólisis de la poliamida PA6 da lugar a la correspondiente caprolactama. Esta caprolactama puede utilizarse en la síntesis de la misma PA6 ó de combinaciones derivadas, como son las combinaciones PA-6, PA-66 y PA-PE (poliamida-poliétileno), que son fácilmente extrusionadas [10].

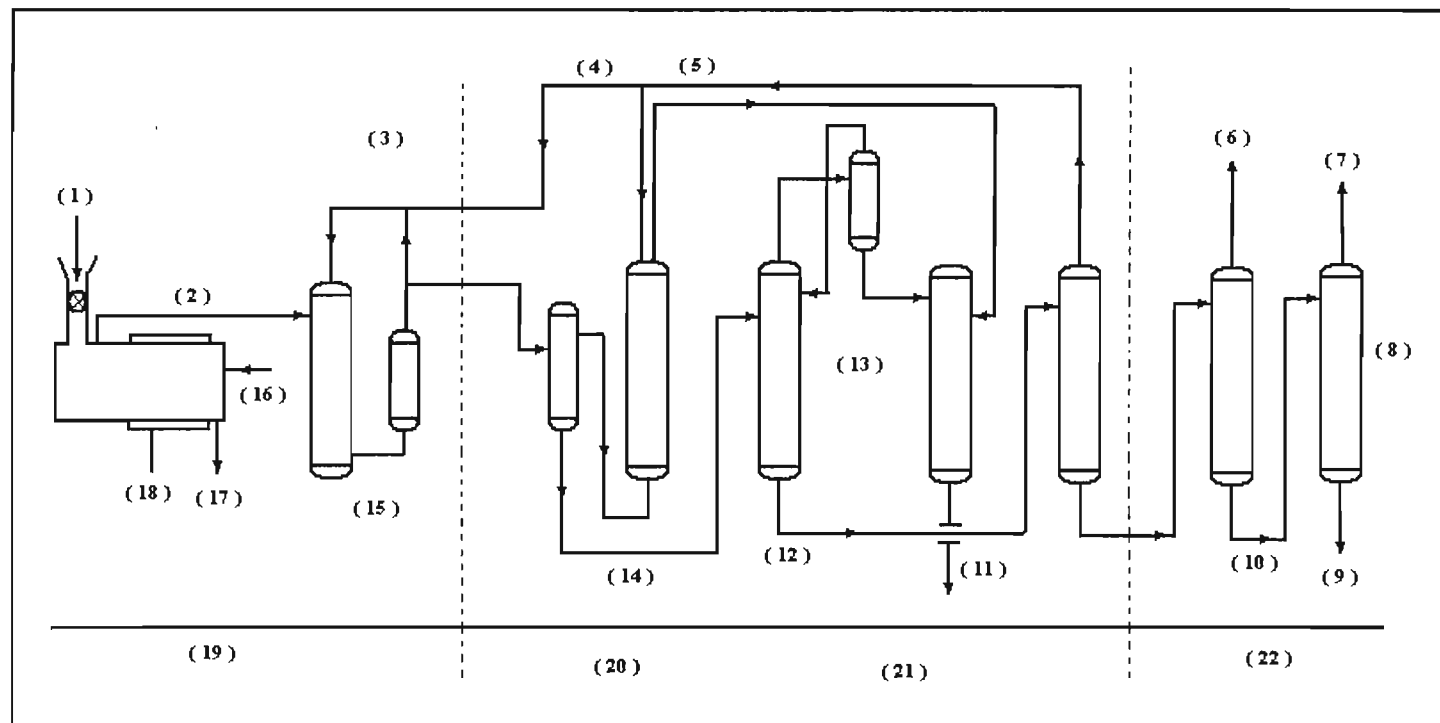


Figura 12.7 Diagrama de flujo de la planta de hidrólisis de PU de la General Motors.

(1) fragmento flexible de PU, (2) vapor, (3) decantador de agua, (4) disolvente, (5) agua, (6) glicoles de bajo peso molecular, (7) producto rico en diaminas, (8) destilación de diaminas, (9) alquitranes, (10) remoción de ligeros, (11) a recuperación de disolvente, (12) orgánicos libres de agua, (13) columna de destilación azeotrópica, (14) extractor, (15) condensador de contacto, (16) vapor, (17) polioles líquidos, (18) vapor, (19) reacción, (20) purificación de amina, (21) agua, (22) recuperación de disolvente.



*iii. Glicólisis.*

La glicólisis involucra la transesterificación de los grupos carbonilo presentes en las espumas de PU con un disolvente glicol, por lo que éste proceso es esencialmente para los desechos plásticos de espumas de PU.

Este es un proceso relativamente simple en el cual la espuma de PU es descompuesta a una temperatura de entre 185 y 200°F en presencia de un glicol apropiado. La reacción general se expresa en la (Figura 12.8). Cabe aclarar que de la reacción resultante se obtiene una mezcla de polioles.

En general, el proceso industrial de la glicólisis es simple. La espuma de PU precortada o pulverizada es alimentada dentro del reactor calentado conteniendo etilenglicol a 185-210°C bajo una atmósfera de nitrógeno. La proporción a la cual la espuma es alimentada dentro del reactor va a depender del tipo de agitación, la masa y la transferencia de calor. Es necesario tener un buen mezclado, ya que sí no existe, la espuma de PU tiende a flotar sobre la superficie del etilenglicol. La glicólisis de desechos de PU puede ser catalizada por ciertos productos organometálicos y/o catalizadores de aminas terciarias [20].

El reciclado de desechos plásticos por medio de pirólisis pudiera ser otra alternativa para el reciclado de los desechos plásticos en México, aunque es necesario considerar aspectos técnicos y económicos para tal fin, ya que éste tipo de planta tendría que estar por conveniencia cerca del lugar donde se encuentra el desecho para evitar costos de transportación.

En este tipo de reciclado los residuos plásticos se convierten en productos no plásticos, tales como aceites, ceras, grasas, monómeros o simplemente energía.



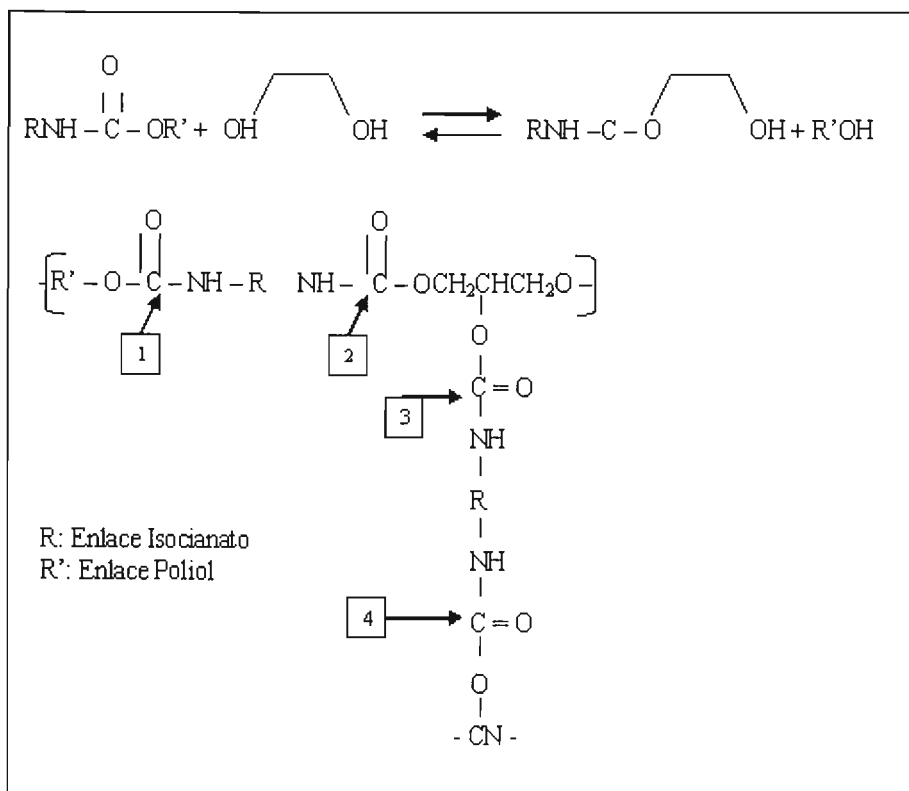


Figura 12.8 Química de la glicólisis de la espuma de PU.

iv. *Cracking.*

Por último se describe un reciente proceso desarrollado en Sudáfrica por el Institute of Petrochemical Research de la Universidad de Potchefstroom, en el que residuos de PP son sometidos a un cracking catalítico con hidrógeno para obtener combustibles líquidos, con conversiones hasta del 91.5 %.

Con estos ejemplos se ha intentado dar una idea de las esperanzadoras posibilidades que esta clase de reciclado puede presentar en el futuro.

Como en los otros tipos de reciclado, son ya múltiples los procesos y experiencias realizadas en esta nueva dirección que parece confirmar lo erróneo de las posturas, que defienden como única alternativa la destrucción de los residuos plásticos por incineración [7].

## **CAPITULO 13**

### **RECICLADO CUATERNARIO.**

Este tipo de reciclado también conocido como reciclado energético, involucra la obtención de energía a partir de los desechos plásticos. Este tipo de reciclado comienza a ser utilizado en países industrializados al comienzo de la década de los noventa. Para obtener esta energía, es necesario el uso del proceso de incineración de desechos plásticos.

La incineración es definida como la reducción de los desechos sólidos combustibles (en este caso de los desechos plásticos) a residuos inertes por una combustión controlada a altas temperaturas.

Todos los residuos combustibles, incluyendo los plásticos, tienen una energía latente o potencial calorífico que puede liberarse en forma de calor. Esto, quiere decir que la incineración de los residuos urbanos es una manera de reciclado térmico y, por lo tanto, de recuperación de energía.

En efecto, como se muestra en la (Figura 13.1), los residuos plásticos tienen un contenido calorífico notablemente superior al de otros desperdicios presentes en las basuras o en los desechos industriales.

Por lo tanto, la aportación de los residuos plásticos a la producción de calor mediante la incineración de basura y desechos es positiva. Según estimaciones, este tratamiento es susceptible de recuperación un 300 % de la energía contenida en los plásticos. Por otra parte, presenta la característica de que no dejan prácticamente residuos al quemarse [45].

Es necesario resaltar que la combustión de los plásticos en la basura presenta una serie de inconvenientes en las plantas urbanas de incineración. Hoy en día, esto ya no es un impedimento ya que se han desarrollado y diseñado nuevos equipos, como se detallarán a continuación.

Asimismo, es conveniente indicar que la energía calorífica producida en los incineradores se aprovecha posteriormente para la producción de vapor y electricidad, etc.

La mayoría de los restos de plásticos se quedan en exceso de aire como cualquier combustible, produciendo agua y producto carbónico. Los plásticos que en su cadena contengan halógenos como cloro y fluor, producen al arder los correspondientes hidrácidos.

Hasta el momento, los polímeros fluorados (el teflón fundamentalmente), dado su limitado uso en las aplicaciones domésticas, no provocan problemas importantes. Sin embargo, los residuos plásticos de PVC, dependiendo de su proporción en los residuos sólidos urbanos, pueden producir cantidad de cloruro de hidrógeno suficiente para causar daño en la instalación. Por otra parte, este cloruro, emitido a través de la chimenea, produce ácido clorhídrico que permanece en la atmósfera como un contaminante más.

Sin embargo, conviene resaltar que no todo el ácido clorhídrico producido proviene de la combustión del PVC; una cantidad sensible proviene de la combustión de algunos componentes de los residuos urbanos, como pueden ser, por ejemplo, los restos de alimentos, el papel, los cauchos, los cueros, etc.



En lo que se refiere a la corrosión de las partes metálicas de la instalación, la misma afecta sobre todo a los sobrecalentadores, precisamente a las altas temperaturas (400°C) a que estos se encuentran. En los depósitos analizados de los tubos se ha encontrado un contenido en cloruro entre 2 y 5%, cifra muy elevada teniendo en cuenta que el 0.5% es suficiente para iniciar la corrosión.

Estudios realizados sobre el proceso de corrosión parecen confirmar que, además de la temperatura, se debe a la presencia de cloro, azufre, sodio y potasio en los humos.

Estos incineradores utilizan como materia prima los residuos plásticos industriales que no han podido ser tratados por alguno de los procesos ya descritos en este trabajo. La mayoría de este tipo de incineradores son de combustión directa, es decir los residuos se incineran primero y los gases producidos se queman posteriormente en su totalidad en unas cámaras de combustión.

En general, estos son los aspectos que conciernan los problemas encontrados durante la incineración de los desechos plástico; problemas que se deben atender y superar para el diseño adecuado del equipo para la incineración de desechos plásticos.

### 13.1 Incinerador de circulación de aire.

Para tener el incinerador conveniente para desechos plásticos, es necesario que éste cumpla con algunas condiciones para evitar los problemas anteriormente mencionados. Estas condiciones son:

- El incinerador debe ser diseñado para un buen quemado y para la prevención del hollín.
- Las paredes y lechos del horno deben ser capaces de resistir las elevadas temperaturas generadas por la combustión de desechos plásticos.
- El equipo de suministro de aire debe de ser capaz de proporcionar de 2.5 a 3 veces la cantidad de aire teóricamente requerido para la combustión de los desechos plásticos.
- El incinerador debe ser diseñado para mantener la temperatura por debajo de los 1150°C.
- Para el manejo de plásticos auto extinguidos, debe ser usado un precalentador.
- El volumen de humo es proporcional al volumen de aire suministrado, por lo que el humo producido debe salir por una chimenea de diámetro mayor que el usado para la incineración de basura

La (Figura 13.2) representa un incinerador del tipo circulación de aire a presión. Aquí es utilizado un cilindro horizontal como un horno primario, y un cilindro vertical como horno secundario. Los desechos plásticos son continuamente alimentados dentro del incinerador a través de la tolva con entradas en dos etapas. Dentro del horno se utiliza aire primario por la parte inferior del mismo, y aire secundario es suministrado por la parte superior del horno que es circulado a lo largo del horno, proporcionando un grado de mezclado y turbulencia. Un tercer flujo de aire es utilizado para la combustión final que es circulado de forma tangencial en el horno secundario. Este sistema puede manejar desechos plásticos de PEAD, PEBD, PP, PS, PET, entre otros [20].



---

El proceso de incineración de los desechos plásticos es un método de reciclado que nos permite eliminar y disminuir a los mismos; aunque con algunas inconveniencias, pudiera ser éste tipo de reciclado una opción para aplicarse en México [36].

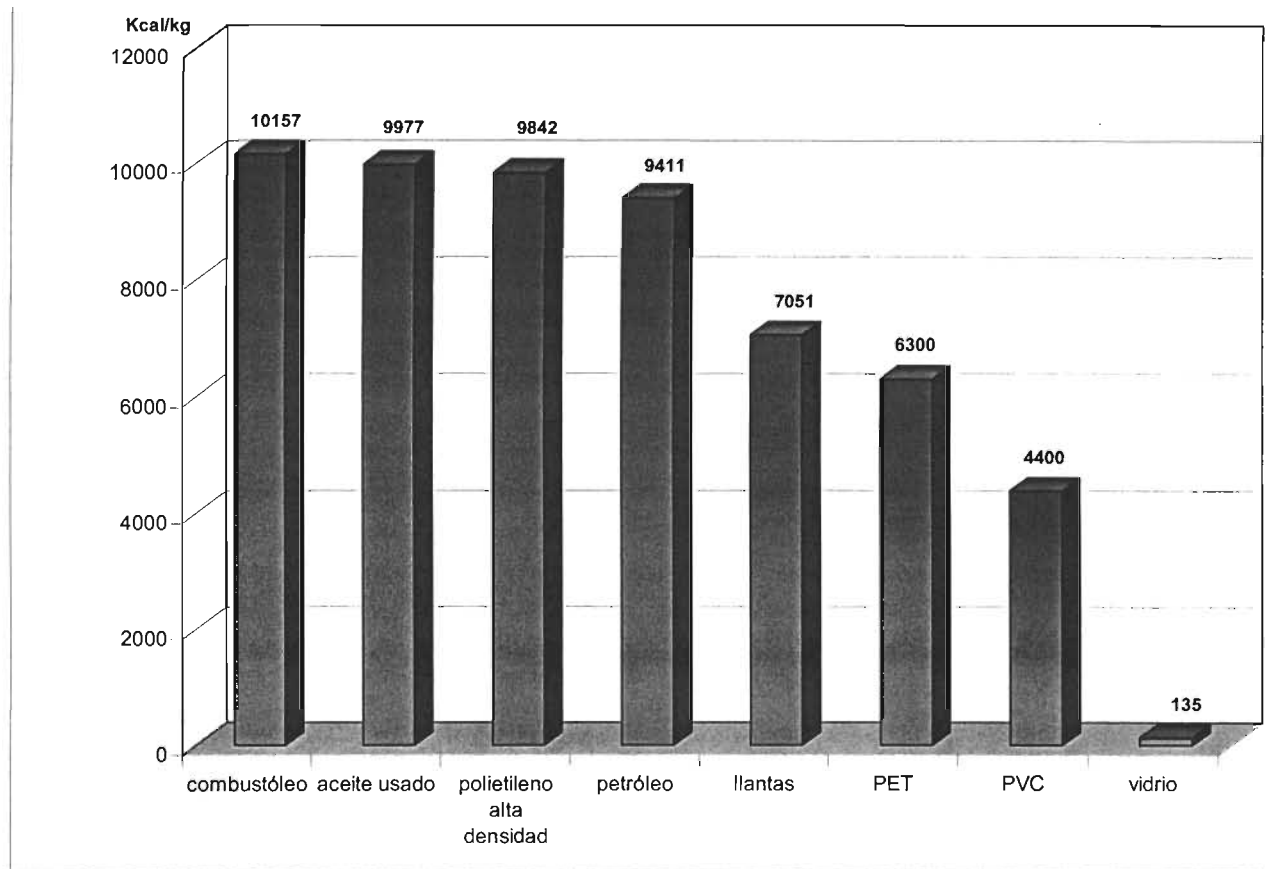


Figura 13.1 Contenido Calorífico de desechos industriales y urbanos.

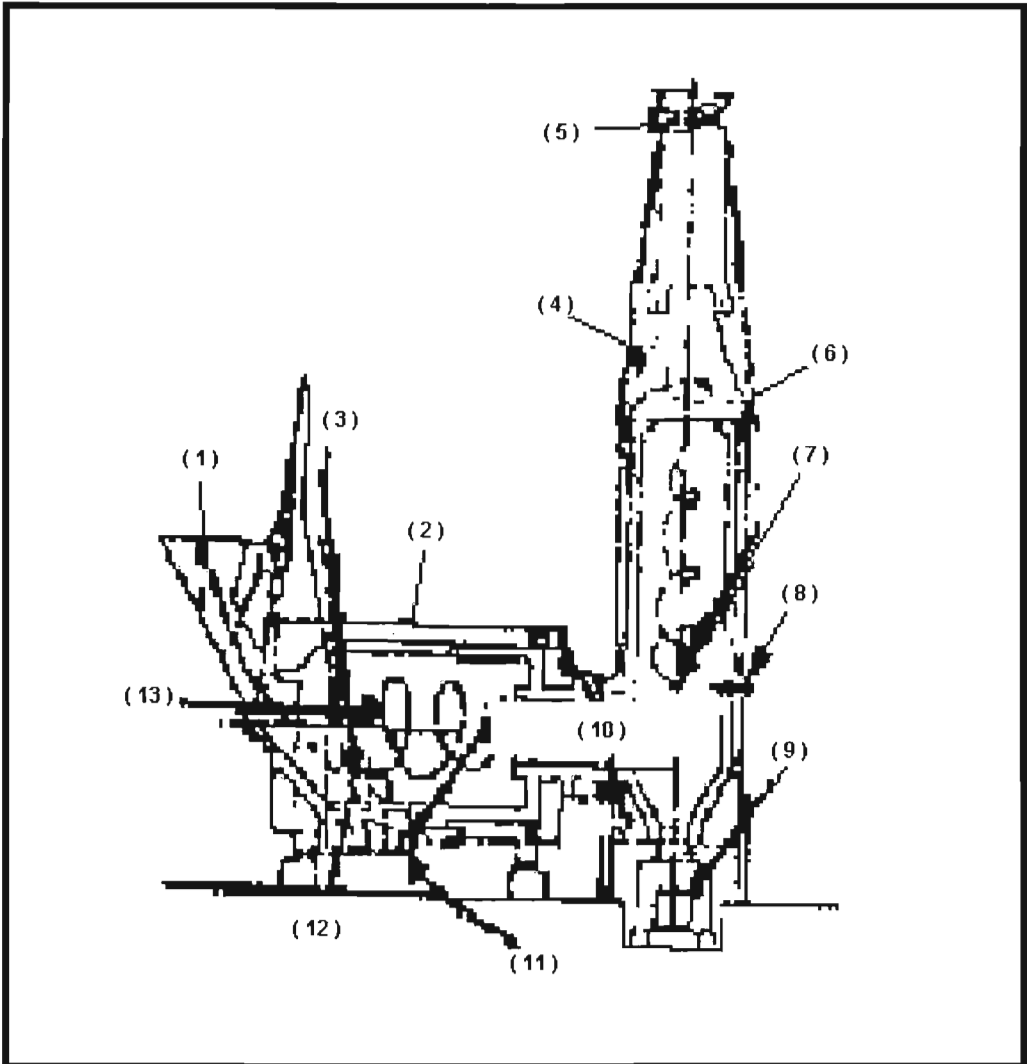


Figura 13.2 Incinerador de circulación de aire.

(1) tolva alimentadora, (2) horno primario, (3) quemador auxiliar, (4) cilindro de enfriamiento de gas de desecho, (5) torre de ventilación, (6) horno secundario, (7) aire terciario en flujo espiral, (8) horno filiar para posterior quemado, (9) caja de polvos, (10) abanicos, (11) aire primario, (12) parrilla de fuego, (13) aire secundario en flujo espiral.

## CAPITULO 14

### RECICLADO DE DIVERSOS PLÁSTICOS.

#### 14.1 Reciclado de polietilentereftalato (PET).

##### *i. Características.*

- El polietilentereftalato es fabricado al 100 % de petróleo o gas natural.
- 1,9 kg de petróleo se convierten en aproximadamente 1 kg de PET.
- La energía necesaria para la producción se eleva a 84 MJ (23 kWh) de los que el 55 % puede ser recuperado en forma de energía calorífica.
- El PET se compone en su estructura molecular de oxígeno, hidrógeno y carbono.
- Como materia prima secundaria puede servir el PET reciclado sustituyendo la materia prima en su aplicación originaria.
- En el caso del reciclaje de PET es posible ahorrar en comparación con una producción nueva el 60 % de energía.
- El PET se fabrica a partir de dos materias primas derivadas del petróleo: etileno y paraxileno. Los derivados de estos compuestos (respectivamente, etilenglicol y ácido tereftálico) son puestos a reaccionar a temperatura y presión elevadas para obtener la resina PET en estado amorfo. En la (Figura 14.1) se encuentra esquematizado el proceso de producción de PET [34].

##### *ii. Métodos de reciclado.*

Actualmente existen opciones para el reciclaje del PET que se recupera después del consumo. La recuperación de este material para reciclaje en el Distrito Federal es de 20,500 toneladas anuales, es decir, la tasa de reciclaje de PET es de 36.7%.

Hay tres maneras de aprovechar los envases de PET una vez que terminó su vida útil: sometiéndolos a un reciclado mecánico, un reciclado químico, o un reciclado energético empleándolos como fuente de energía. El ciclo de vida se muestra en la (Figura 14.2) [34].

- Reciclaje mecánico o físico.

Es el proceso de reciclado más utilizado en México, el cual consiste en varias etapas de separación, limpieza y molido como se representa en la (Figura 14.3) [34].

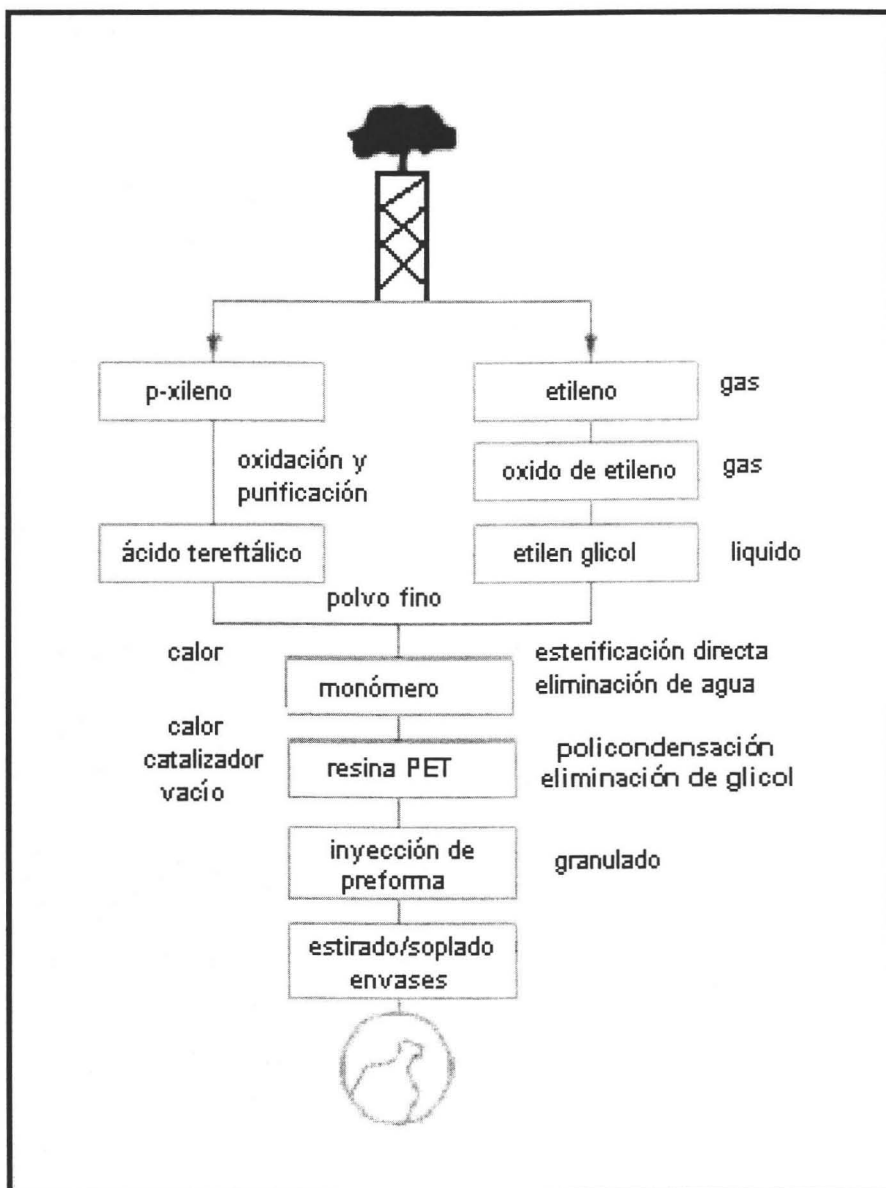


Figura 14.1 Proceso de producción de PET.



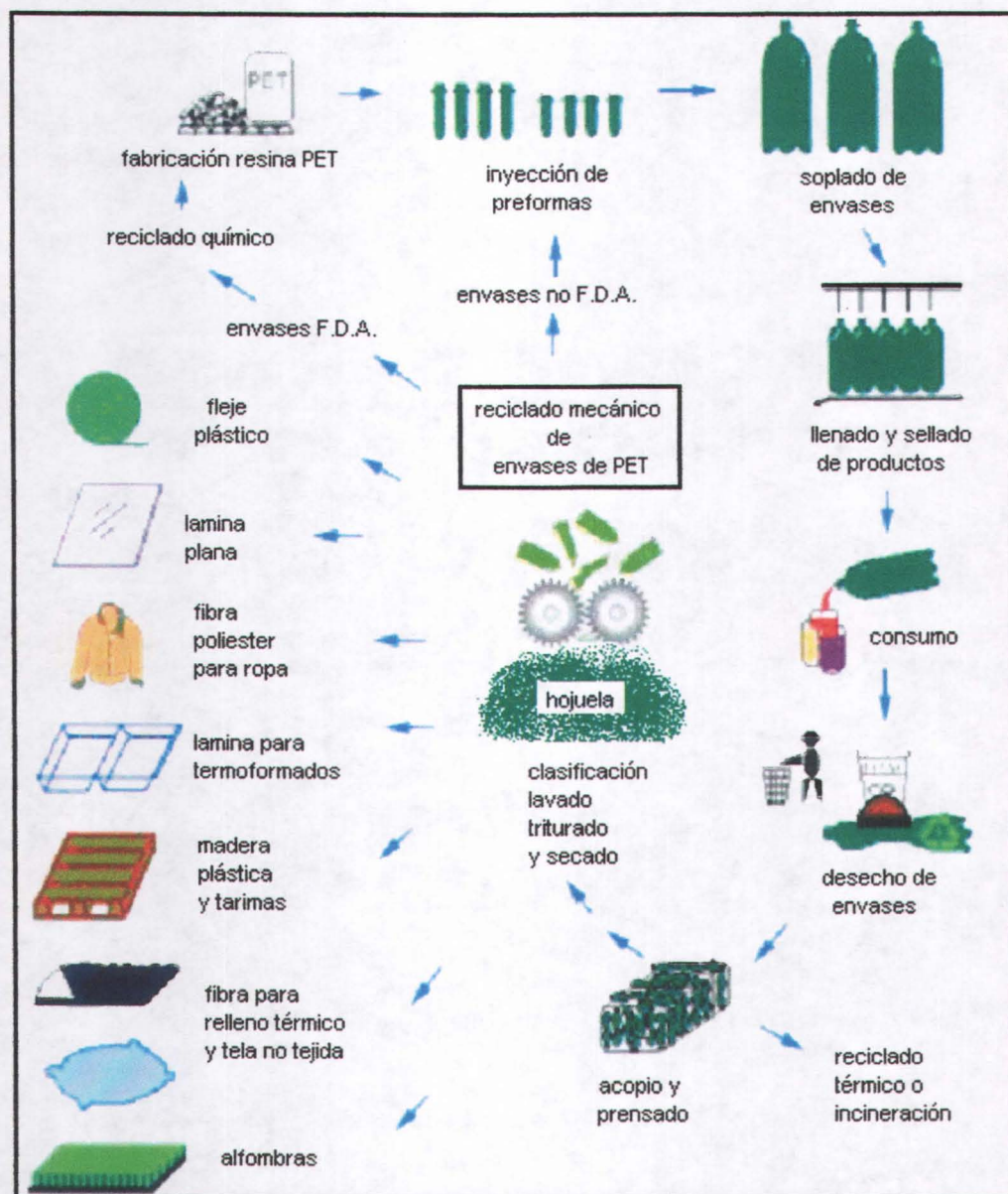


Figura 14.2 Ciclo de vida de envases de PET.

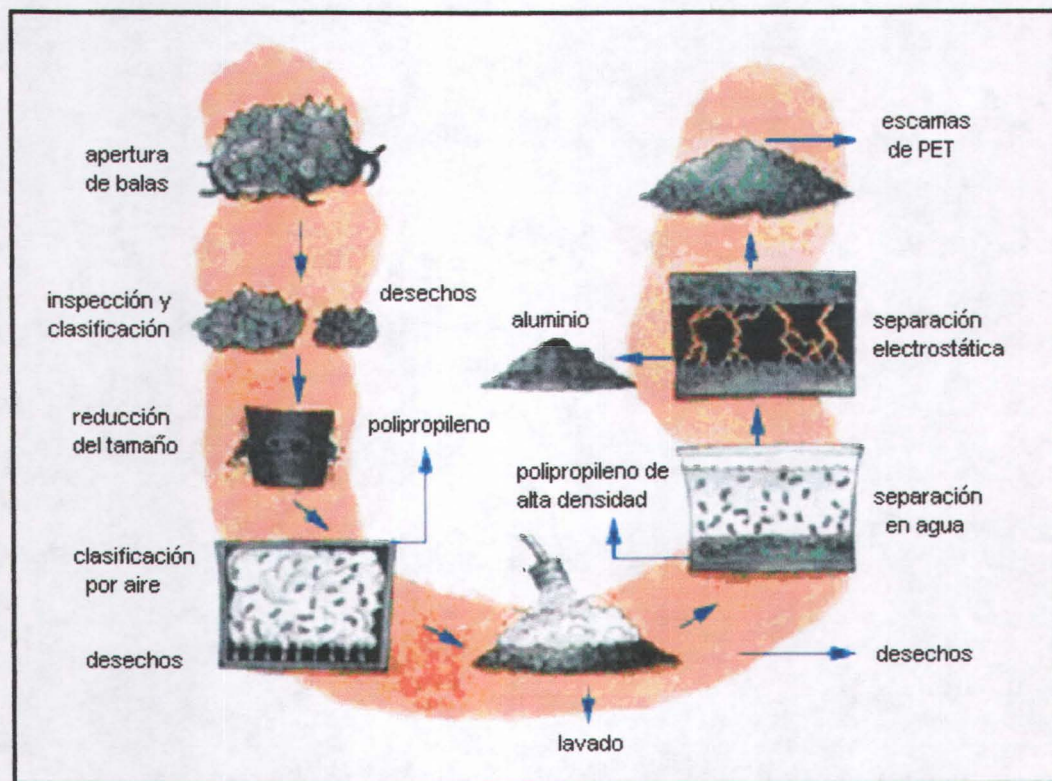


Figura 14.3 Reciclado mecánico.



- Tratamiento químico: metanólisis o glicólisis.

En la (Figura 14.4) se muestra en un diagrama de flujo el proceso de metanólisis de un envase de PET, partiendo de una botella usada que pasa por varias etapas hasta obtener una nueva [34].

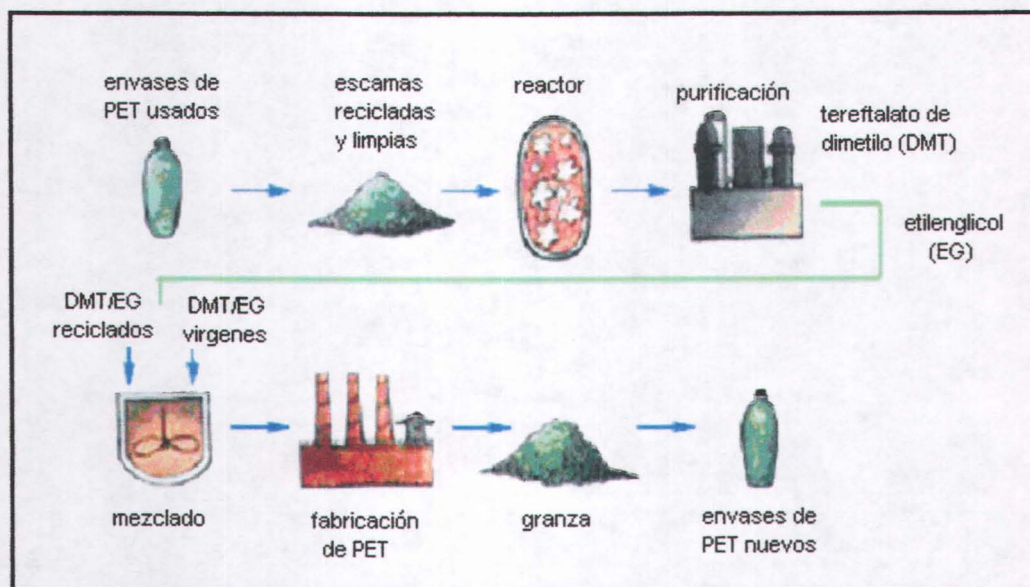


Figura 14.4 Proceso de metanólisis.

- Reciclado Energético.

En cuanto al uso del PET como combustible alternativo, los envases pueden emplearse para generar energía ya que este material tiene un poder calorífico de 6.3 Kcal/kg, y puede realizar una combustión eficiente. Esto es posible ya que durante su fabricación no se emplean aditivos ni modificadores, lo cual permite que las emisiones de la combustión no sean tóxicas, obteniéndose tan sólo bióxido de carbono y vapor de agua.



## 14.2 Reciclado de polietileno de alta y baja densidad (PEAD y PEBD).

### i. Características.

- El PEAD y PEBD es un termoplástico fabricado a partir del etileno (elaborado a partir del etano, uno de los componentes del gas natural). Es muy versátil y se puede transformar de diversas formas:
  - Inyección.
  - Soplado.
  - Extrusión.
  - Rotomoldeo.
- Resistente a las bajas temperaturas.
- Irrompible.
- Liviano.
- Impermeable.
- Inerte (al contenido).
- No tóxico.

### ii. Métodos de reciclado.

- Reciclado mecánico.

El PE es reciclable, es decir, se vuelve a fundir y transformar en productos finales. El PE reciclado es utilizado para fabricar bolsas de residuos, caños, madera plástica para postes, marcos, film para agricultura, etc. [43]

- Reciclado energético.

Los residuos plásticos –incluidos los de PE– contienen energía comparable con la de los combustibles fósiles, de ahí que constituyen una excelente alternativa para ser usados como combustible para producir energía eléctrica y calor.

- Reciclado químico.

En la actualidad se están desarrollando nuevas técnicas de gran complejidad que permitirán reciclar químicamente no sólo al PE sino a todos los plásticos. De esta manera se podrán recuperar los componentes naturales para volverlos a utilizar como materias primas y así optimizar aún más los recursos naturales.

En la (Figura 14.5) esta esquematizado del proceso de reciclamiento de PE.

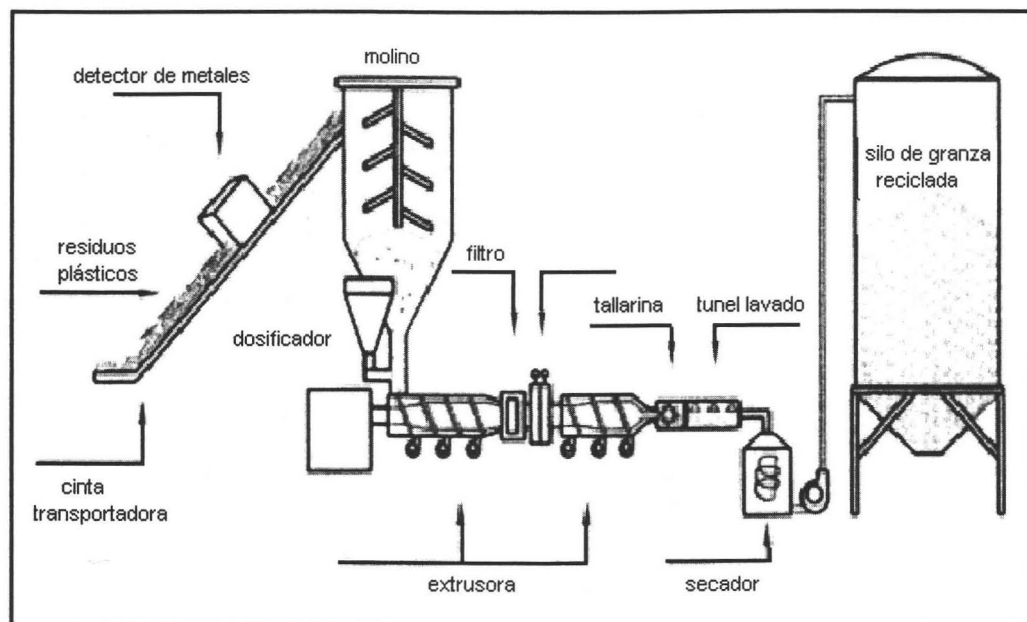


Figura 14.5 Línea de reciclado de PE.

### 14.3 Reciclado de cloruro de polivinilo (PVC).

#### i. Características.

- Liviano.
- Versátil.
- Resistente al fuego.
- Inerte e inocuo.
- Aislante.
- Resistente a la intemperie.
- Protege a los alimentos.
- Reciclable.
- Económico.



ii. *Métodos de reciclado.*

- Reciclado mecánico.

En la (Figura 14.6) esta representado en un diagrama de flujo este proceso de reciclamiento [38].

- Reciclado energético.

Sabemos por estimaciones y experiencias nacionales e internacionales que solamente entre el 10 y el 20% de los residuos plásticos presentes en los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) pueden ser reciclados mecánicamente. Por esta razón la incineración limpia con recuperación energética aparece como una atractiva alternativa. La presencia de los plásticos en los RSU les confiere un alto valor energético que puede ser aprovechado para electricidad y calor.

- Reciclado químico.

El reciclaje físico-químico está basado en la utilización de un disolvente biodegradable selectivo del PVC contenido en residuos complejos difícilmente separables por métodos mecánicos tradicionales. El material se disuelve primero selectivamente y se recupera por precipitación. El disolvente se regenera en un tanque cerrado de evaporación-condensación. El compuesto de PVC resultante es de gran calidad. Esta tecnología se ha lanzado al mercado con el nombre de Vinyloop® y se muestra en la (Figura 14.7). Es una instalación industrial basada en ella para una capacidad de 10,000 ton anuales se ha puesto en marcha en Ferrare (Italia) [38].

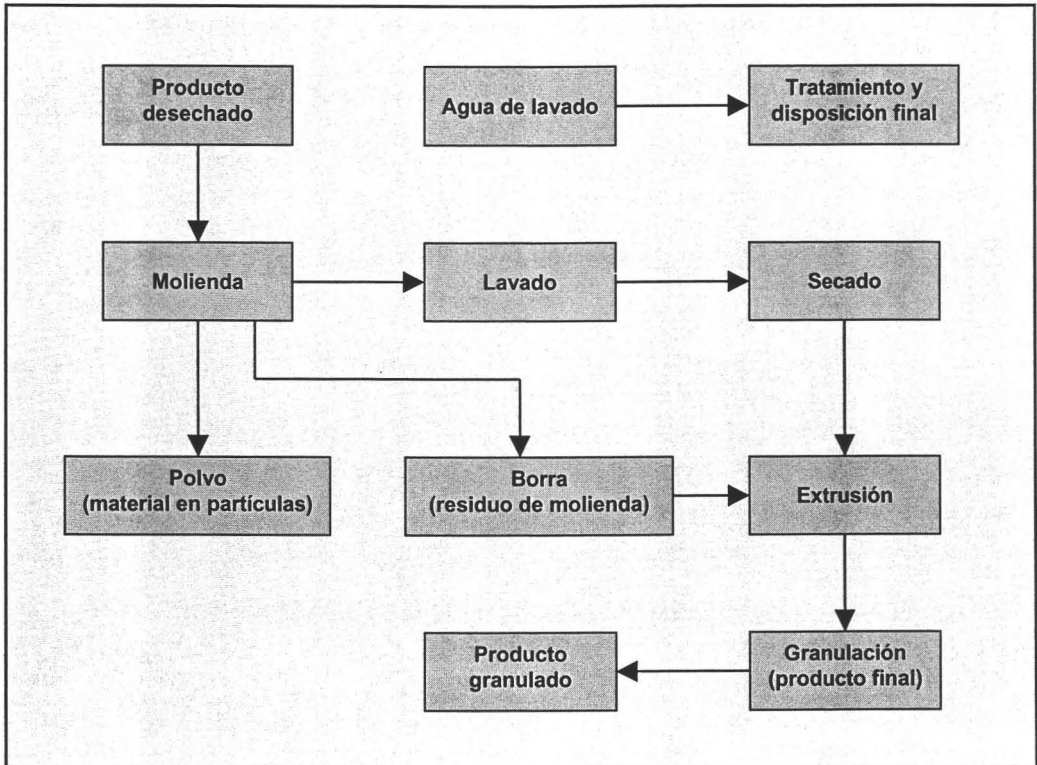


Figura 14.6 Reciclado mecánico.



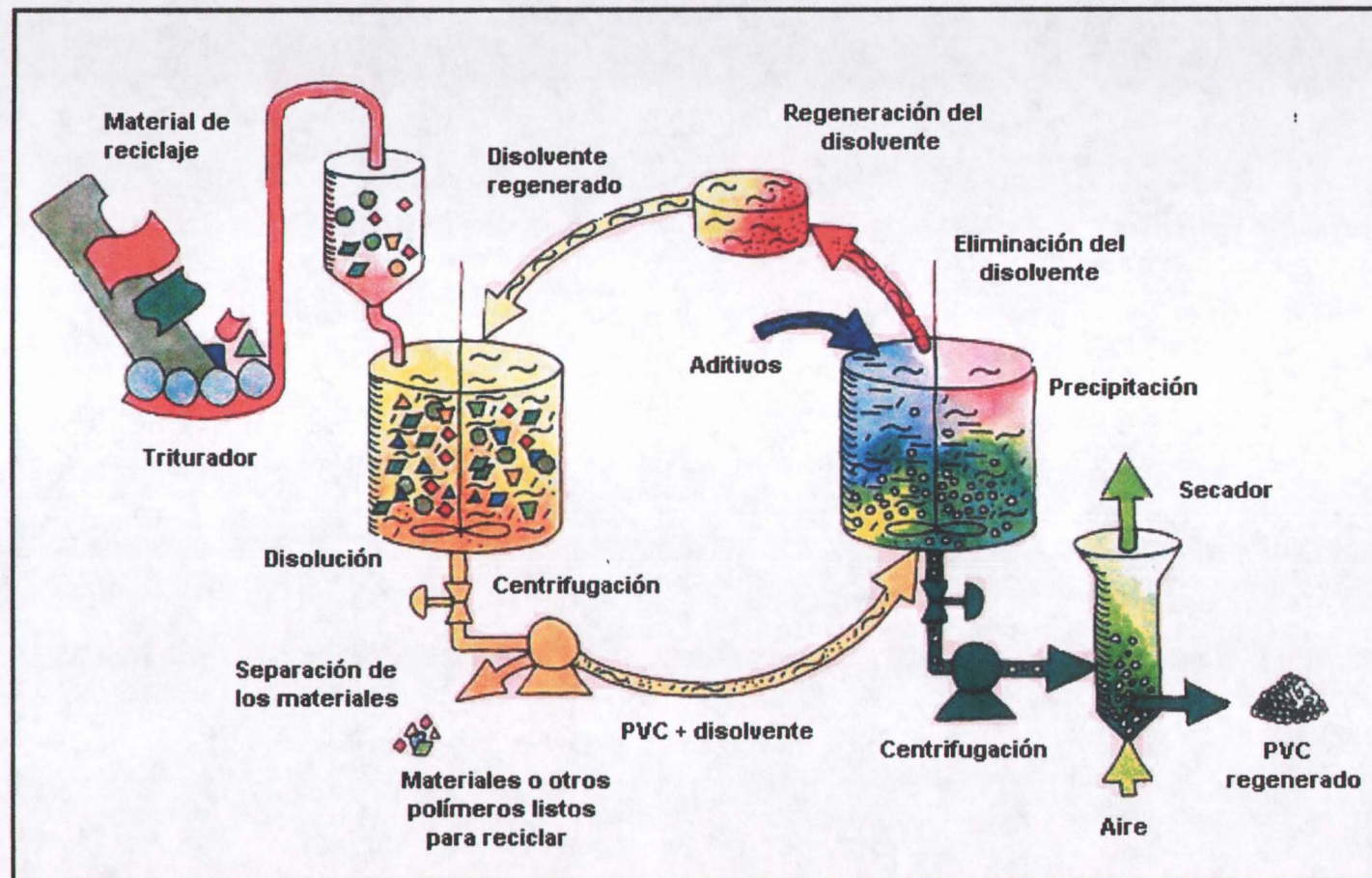


Figura 14.7 Proceso Vinyloop.





#### 14.4 Reciclado de polipropileno (PP).

##### *i. Características.*

- El PP es un termoplástico que se obtiene por polimerización del propileno. Los copolímeros se forman agregando etileno durante el proceso. El PP es el termoplástico de más baja densidad. Es un plástico de elevada rigidez, alta cristalinidad, elevado punto de fusión y excelente resistencia química. Al adicionarle distintas cargas (talco, caucho, fibra de vidrio, etc.) se potencian sus propiedades hasta transformarlo en un polímero de ingeniería. El PP es transformado en la industria por los procesos de inyección, soplado, extrusión y termoformado.
- Inerte (al contenido).
- Resistente a la temperatura (hasta 135°C).
- Barrera a los aromas.
- Impermeable.
- Irrompible.
- Brillo.
- Liviano.
- Transparente en películas.
- No tóxico.
- Alta resistencia química.

##### *ii. Métodos de reciclado.*

- Reciclado mecánico.

El PP es 100% reciclable, ya sea en la forma de scrap industrial (desechos plásticos de las industrias) como en la forma de residuo post-consumo. En este último caso podemos mencionar las baterías de automóviles: en los Estados Unidos de América se recicla el 45% del PP de las baterías post-consumo para la fabricación de nuevas baterías.

- Reciclado energético.

El PP contiene energía comparable con los combustibles fósiles, de ahí que los residuos de PP constituyan una excelente alternativa para ser usados como combustible para producir energía eléctrica y calor.

- Reciclado químico.

Este proceso, aunque esté en una etapa temprana de su desarrollo, implica la posibilidad de volver a obtener recursos naturales a partir de la depolimerización (ruptura de las largas cadenas) de los residuos plásticos de PP, permitiendo volver a obtener componentes de petróleo para la industria [43].



### 14.5 Reciclado de poliestireno (PS).

#### *i. Propiedades.*

- Existen dos tipos principales de poliestireno:
- Poliestirenos cristal: Llamados poliestirenos de uso general o GPPS, que son transparentes y rígidos.
- Poliestirenos de alto impacto: HIPS, que por tener partículas de caucho ocluidas, son translúcidos y resistentes al impacto.
- Es liviano y resistente al agua, y puede ser un excelente aislante térmico y eléctrico.
- Su óptima estabilidad dimensional, dureza y rigidez son algunas de las razones por las que este material es habitualmente elegido para envases de alimentos, ya que permite conservarlos frescos y con muy buen aspecto por más tiempo y disminuir el uso de conservantes.
- Posee alto grado de procesabilidad en transformación por moldeo, extrusión, termoformado y soplado.
- La gran variedad de grados que existen, lo hacen un material muy versátil, apto para una amplia gama de aplicaciones. Se fabrica en diferentes y atractivos colores, transparentes u opacos.

#### *ii. Métodos de reciclado.*

En la (Figura 14.8) se encuentra esquematizado el proceso de reciclamiento de la espuma de PS [33].

- Reciclado mecánico.

El PS es 100% reciclable. El residuo se puede utilizar en una amplia gama de productos, desde semilleros o macetas para plantines o hueveras, hasta carcazas de máquinas de escribir. Este proceso de reciclado se muestra en la (Figura 14.9).

- Reciclado energético.

El alto contenido energético del PS, comparable con los combustibles fósiles, permite que estos residuos sean utilizados en incinerados limpios para generar electricidad o como fuente de calor para calefacción, junto a otros plásticos o como ayuda para la combustión más eficaz de los residuos domésticos.

- Reciclado químico.

En la actualidad se están desarrollando nuevas técnicas de gran complejidad que permitirán el reciclado químico del PS y de otros plásticos para la recuperación de sus componentes químicos naturales y así optimizar aún más los recursos naturales de que disponemos [43].

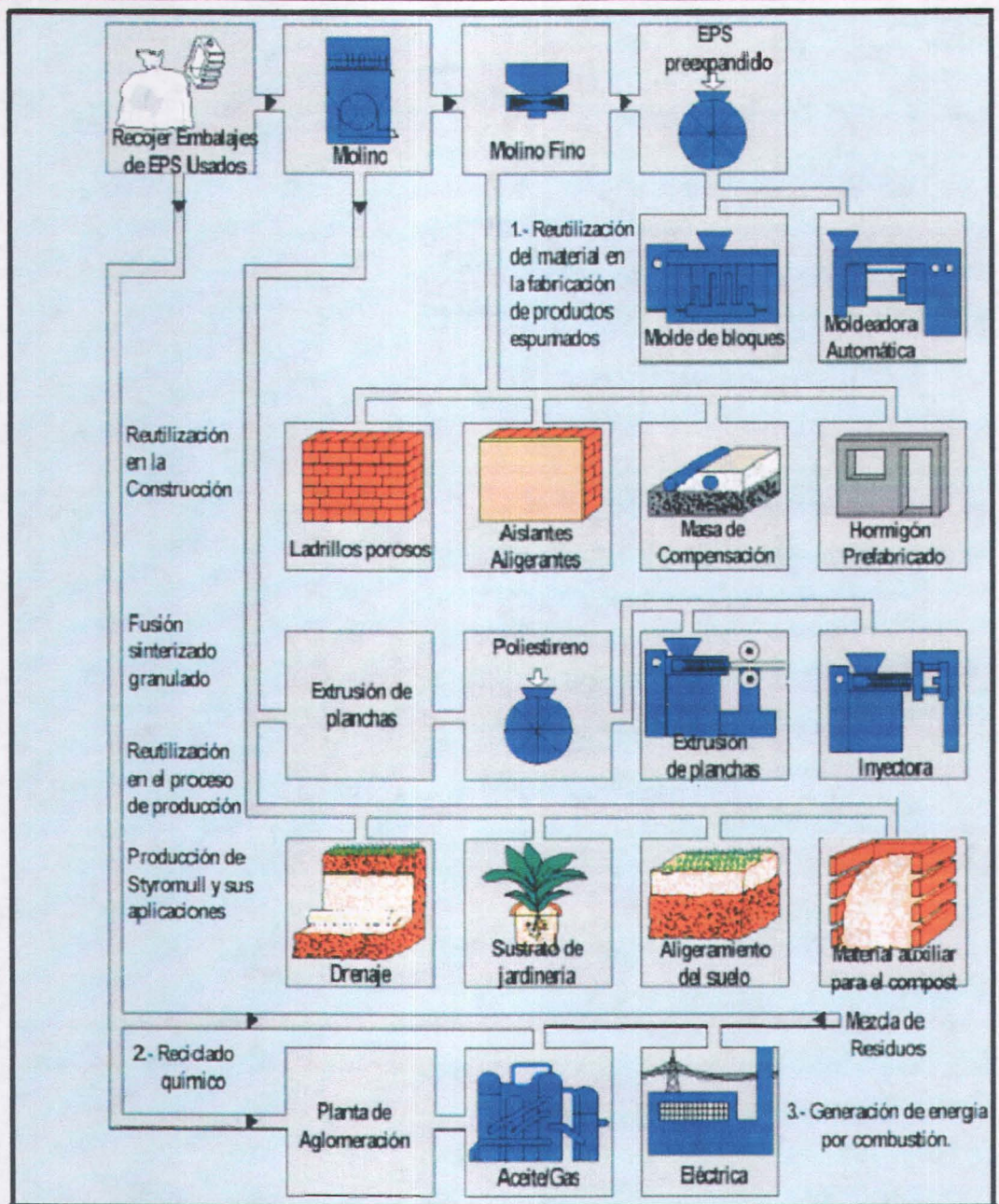


Figura 14.8 Reciclado de espuma de PS.



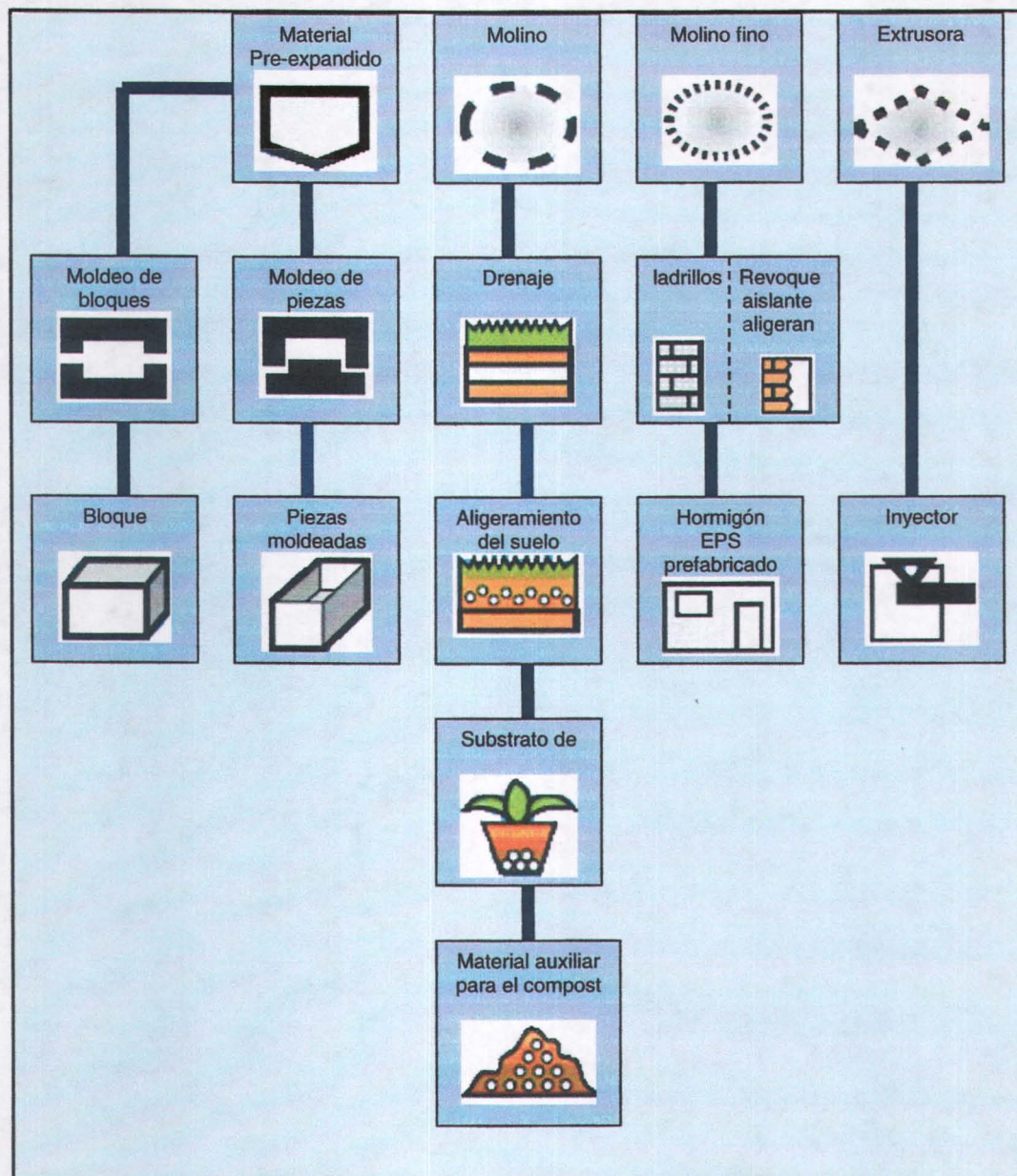


Figura 14.9 Procedimiento de reciclado mecánico de envases/embalajes de espumas de PS usados.



## 14.6 Reciclado de poliuretano (PU).

### i. Características.

- Las propiedades originales del poliuretano pueden ser mantenidas empleando unos valores de tiempo, presión y temperatura óptimos. Estas propiedades se detallan en la (Tabla 14.1) [43].

Tabla 14.1 Propiedades físicas del PU

Propiedades	Original	M. Compr.
Densidad ( $\text{kg/m}^3$ )	1260	1260
Tracción (kPa)	26	25
Elongación (%)	130	120

### ii. Métodos de reciclado.

- Reciclado mecánico.

Consiste en separar, limpiar y triturar los objetos de PU desechados para elaborar granza que servirá para fabricar nuevos objetos.

La mayoría de los desechos de espuma flexible de PU procedentes de desechos de producción y objetos post-consumo se trituran en pequeños trozos y pueden ser usados en la producción de nuevas espumas. La unión de trozos de espuma flexible da lugar a gran variedad de productos como espumas de baja densidad destinados a la industria del automóvil (reposacabezas, reposabrazos y paneles para puertas), cojines para muebles y camas. En la actualidad este proceso es tan rentable que la demanda de granza excede a la oferta.

Otra línea de investigación es un proceso que consiste simplemente en pulverizar las espumas, rígidas o flexibles, dispersar los gránulos en una mezcla de polioliol y moldearlo en piezas como las originales. Este enfoque resulta a menudo en pequeñas pérdidas en densidad o propiedades físicas.

La adhesión con presión es una técnica donde los granulados de PU son superficialmente recubiertos con un agente ligante y posteriormente curados bajo calor y presión. Se obtiene piezas de contorno como las esterillas para el suelo de los coches o cubiertas de neumáticos.

Las piezas rígidas de PU pueden ser granuladas, combinadas con PU termoplásticos y moldeadas o extruidas en nuevas piezas o perfiles. Se pueden producir piezas tridimensionales como parachoques o partes estructurales del coche. También el RIM, o poliuretano rígido, puede ser granulado y pegado por prensado para constituir nuevas piezas compuestas o procesado con material virgen en nuevas piezas de RIM [44].



- **Reciclado químico.**

El reciclado químico consiste en desglosar los desechos de poliuretano en sus componentes químicos originales. Se ha llegado a la actual tecnología de reciclado a través de 2100 patentes que han desarrollado y mejorado los siguientes métodos:

- **Glicólisis:** es un proceso donde los residuos de poliuretano (PUR) resultantes de los procesos de fabricación y productos post-consumo reaccionan con dioles a elevadas temperaturas (200°C) para producir polioles, uno de las materias primas empleadas para la producción de PU. Este método se encuentra representado en la (Figura 14.10).
- **Hidrólisis:** puede producir polioles y aminas intermedios a partir de residuos del proceso de producción de PU y post-consumo. Cuando es recuperado los polioles pueden ser usados como combustible efectivo y los intermedios pueden ser reutilizados para producir otros componentes de PU.
- **Pirólisis:** el proceso de descomposición térmica en ausencia de oxígeno rompe los PU en gas y aceite.
- **Hidrogenación:** el tratamiento con hidrógeno a altas temperaturas y con presión produce gases y aceites que son más puros que los procedentes de la pirólisis.

La pureza de los gases y el aceite derivados de la pirólisis y la hidrogenación, y el coste asociado para producir productos acabados son factores importantes que aún deben de ser resueltos.

La tecnología de reciclado desarrollada por BASF basada en el proceso de reciclado químico, conocido como glicólisis, ya está siendo utilizada en Europa de forma comercial. Este proceso rompe las piezas de PU en sus bloques químicos constituyentes básicos, polioles, para ser consecuentemente reutilizados en nuevas piezas de poliuretano. BASF ha llevado a cabo un procedimiento de glicólisis que incluye la simultánea desaminación para hacer posible una producción de PU esencialmente libre de desperdicios. En el caso ideal, el proceso devuelve el glicolizado al sistema original en un ciclo cerrado. El glicolizado son mezclas de los bloques constituyentes originales y químicamente modificados: polioles modificados, productos de cadena corta, productos de la desaminación y otras moléculas. Muchas de las especies tienen terminación hidroxílica y contienen grupos uretano.

El glicolizado puede ser utilizado para muchas aplicaciones como elementos sandwich, parabrisas, extendedores de RIM para piezas de automóvil, para espumas refrigerantes, etc. De todas maneras, el glicolizado no puede ser utilizado en sistemas de espumas flexibles porque su alto contenido en hidroxilos y productos de cadena corta dificultan la formación de polímeros lo suficientemente elásticos. Los polioles reciclados son comercializados, principalmente, a la industria fabricante de piezas de automóvil a un precio competitivo respecto a polioles vírgenes. Hasta un 20% de los polioles puede ser reemplazado por reciclado para obtener espumas de excelentes estabilidad dimensional y conductividad térmica. La economía del proceso depende de la cantidad y calidad de la espuma recuperada óptima para convertirse en alimentación [44].

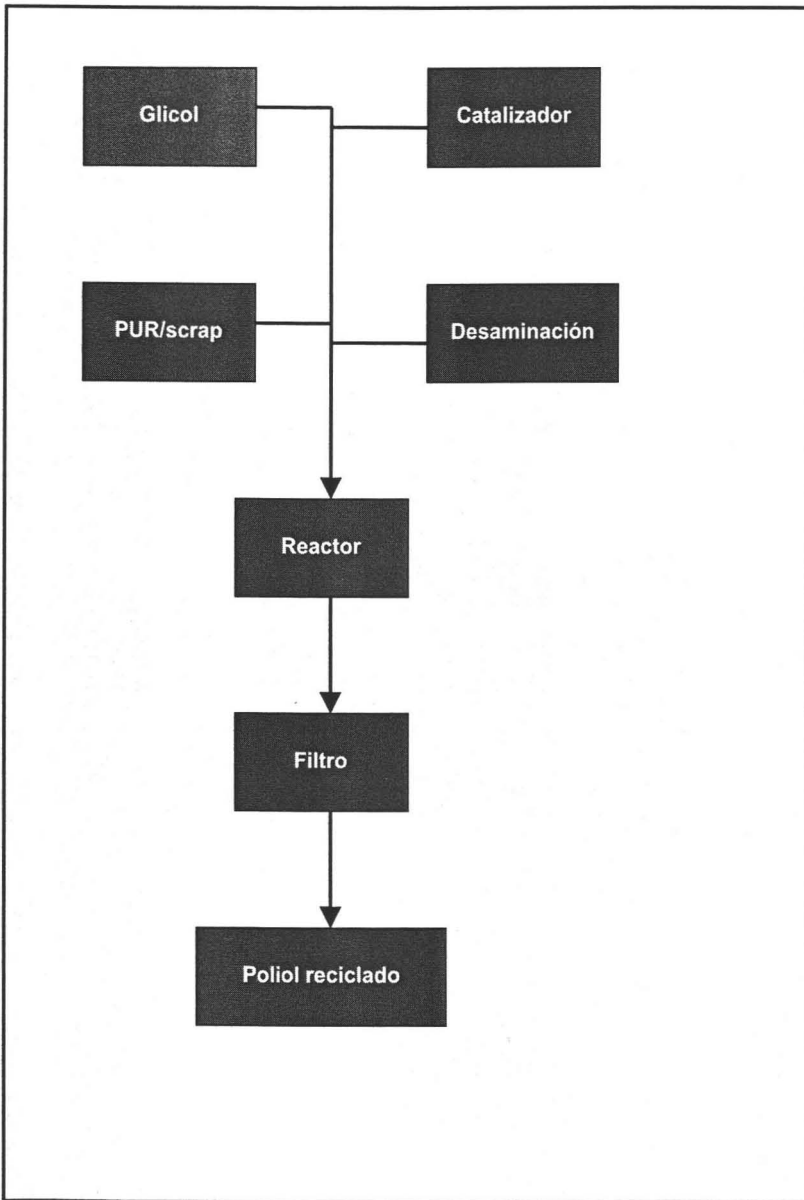


Figura 14.10 Glicólisis de PU.



- Reciclado energético.

Cuando las formas de reciclado físicas y químicas no son adecuadas, la considerable cantidad de energía contenida en los PU post-consumo o en los residuos de fabricación puede siempre ser recuperada por incineración de alta eficacia. De esta manera se reduce el volumen de residuos sólidos y se realiza una valorización energética. Los plásticos en general no son válidos para permanecer en vertederos porque contienen una gran cantidad de energía potencial.

Existe tecnología para quemar los polímeros de PU de una manera limpia, con un mínimo o inexistente contenido en cenizas, se trata de un proceso de pirólisis en dos pasos. La incineración de PU para recuperar su valor energético inherente resulta en una reducción de consumo de petróleo ya que la energía recuperada puede ser usada para producir electricidad y ayudar a las compañías a controlar el consumo de combustible.

El uso de incineraciones cuidadosamente controladas para convertir los desechos post-consumo en energía aprovechable se practica en diversos países europeos como Alemania, Suecia, Suiza y Dinamarca donde estas técnicas son practicadas para suministrar a las comunidades locales electricidad y calefacción. Hasta un 10% de los requisitos de electricidad doméstica pueden ser generados por estas unidades y cada vez está siendo más considerada como una opción de recuperación aceptable.

En definitiva, es necesario promover comercialmente la viabilidad de las tecnologías de reciclado y/o recuperado de PU y piezas post-consumo puesto que su generación va a ir en aumento. Sólo en el sector automotriz se prevé que el mercado de PU aumente aproximadamente un 20% en cinco años, según predicciones de ICI Polyurethanes. Los fabricantes de automóviles recurren cada vez más a este material con el fin de aumentar la flexibilidad del diseño y simplificar el proceso de fabricación. El crecimiento más rápido se dará en los interiores de los vehículos. De hecho, en la actualidad el principal mercado de este material en el sector automotriz son los asientos, pero se espera que el grueso de este crecimiento que sé a vecina recaiga sobre nuevas aplicaciones tales como salpicaderos, paneles para puertas y sistemas de enmoquetado con funcionalidades acústicas. También cabe esperar que parte del crecimiento proceda de los programas de reducción de peso (regulaciones CAFE) y para cumplir los nuevos requisitos tales como las normativas FMVSS201 relativas a las barras absorbentes de impactos. Con todo ello, y la tendencia actual del sector automotriz a fabricar coches 100% reciclables, tanto en la industria como en el ámbito académico han centrado su atención en el reciclado de este material, en el cual la geometría del producto y su valor asociado es destruida y sólo los materiales constituyentes son conducidos a un nuevo ciclo de utilización [44].



### **III. CONCLUSIONES.**

El reciclado de plásticos es una práctica muy útil, para reducir los desperdicios sólidos industriales y urbanos, la avalancha de antiguos y nuevos polímeros; y los aumentos de precios de los productos petroquímicos. Por otro lado, el plástico por sus propiedades no representa un riesgo ambiental, contribuye a un futuro moderno al minimizar el consumo y maximizar el uso de los recursos, fomentando una cultura de recuperar y reutilizar los mismos, pero por su volumen pueden llegar a tener impacto sobre los cuerpos de agua y suelo.

Así mismo la economía y la ecología dejaron de ser términos opuestos, ya que el reciclado de plásticos es un negocio que presenta importantes oportunidades para generar empleos, utilidades y mejorar la imagen de una empresa.

Los residuos urbanos contienen la mayor parte de plásticos a eliminar, pero presentan más dificultades para su separación y reciclado que los residuos plásticos industriales. Por lo tanto, será necesario mejorar los equipos y procesos, seguir estudiando activamente los diferentes caminos hoy en investigación, con el fin de hacer rentables las operaciones de separación y reciclado.

La industria fabricante debe asumir la responsabilidad compartida con el consumidor y las entidades regulatorias en la implementación de programas viables para el manejo de este tipo de residuos; él cual deberá incluir varias estrategias de índole económico, educativo y regulatorio, esto es conveniente para reducir el consumo de materias primas básicas, realizándose bajo un sistema que comprenda: legislación, información y motivación a la población; a través de los medios educativos y de comunicación, de esta manera creceremos como país en cuanto a reciclado se refiere.

**“RECICLADO, RESPONSABILIDAD EMPRESARIAL Y  
EL NEGOCIO DEL SIGLO XXI”**

## IV. GLOSARIO.

La gran diversidad de procesos utilizados en el tratamiento de los residuos sólidos plásticos hace aconsejable dedicar una parte de este trabajo a la definición de términos.

**Acopio:** Acción de recolectar en un mismo lugar un desecho en sus diversos componentes.

**Basura:** Mezcla de materiales orgánicos e inorgánicos que ya se usaron y desecharon, pudiendo tener o no un valor y susceptible de contaminar el medio ambiente que los rodea.

**Circulo mobius:** Denominación del popular símbolo del reciclaje, constituido por tres flechas que giran formando una especie de círculo. Las flechas representan los estados líquido, sólido y gaseoso, además de las tres estancias del reciclaje: recogida, conversión en un nuevo producto y embalaje. Este símbolo se usa para indicar que el producto es "reciclable" o que incluye un "contenido reciclado".

**Degradación:** Proceso por el cual un material complejo se descompone en sus componentes minerales.

**Desecho o residuo industrial:** Material que ha sido separado de algún(os) proceso(s) de transformación.

**Desechos:** Cualquier objeto o residuo del cual se desprende quien lo posee, o tenga obligación de desprenderse en virtud de las disposiciones nacionales en vigor.

**Esterá:** f. Tejido grueso de esparto, juncos o palma, que sobre todo sirve para cubrir partes del suelo.

**Esterilla:** f. Estera pequeña y estrecha. Tejido de paja.

**Extrusión:** El proceso de extrusión es empleado para procesar termoplásticos, aunque los termorígidos pueden también extrudarse, usando técnicas especiales. Es un proceso continuo diseñado para convertir plásticos en láminas, caños, películas, tubos, varillas, perfiles, filamentos y para recubrir papel y películas de celulosa y otras así como foil de aluminio, cables, alambres y cuerdas.

**Extrusora:** Es la parte común a todas las instalaciones de extrusión. Su misión es hacer del plástico una masa fundida homogénea y obligarla a pasar por el molde. Consta de una tolva, donde se carga el material, y es la encargada de alimentar a un tornillo que gira dentro de un cilindro calentado y transporta, funde y homogeniza el material plástico.

**Film:** Capa delgada de uno o de varios materiales plásticos con espesor inferior a 250micrones, que se utiliza para la fabricación de envases flexibles, envases secundarios (film termocontraíble), terciarios (film stretch) y en agricultura para protección de cultivos y en otras aplicaciones.

**Fleje:** Tira de algún material como acero, plástico, etc.



**Glicol:** Cualquier alcohol orgánico que contiene más de un grupo oxidrilo en su molécula.

**Granulación:** Proceso de reducción de tamaño utilizado para desechos de producción, envases post-consumo, partes industriales u otros materiales que deben ser reducidos de tamaño para procesos posteriores. Los granuladores constan de una tolva alimentadora, una cámara cortadora, una zaranda de clasificación y cuchillas rotativas que trabajan en combinación con cuchillas fijas reduciendo los residuos plásticos hasta un punto en el que puedan pasar por la zaranda de clasificación. El tamaño de las partículas resultantes, llamadas granulos, puede variar de 3 a 20 mm.

**Granza:** Es el producto final del proceso de reciclado mecánico, es decir, el granulo que sale del extrusor que funde y filtra los residuos.

**Incineración:** Método de disposición de los residuos que involucra la combustión de los mismos. La incineración de los residuos está siempre asociada con la recuperación de energía y tiene la ventaja que no sólo reduce significativamente el peso y el volumen de los residuos, sino que además genera energía.

**Incineradores:** Plantas de tratamiento y reducción de residuos sólidos urbanos por incineración. Se trata de un sistema que reduce la basura a cenizas y genera ingresos por la venta de energía producida en el proceso de combustión.

**Levigación:** Se utiliza una corriente de agua que arrastra los materiales más livianos a través de una mayor distancia, mientras que los más pesados se van depositando, de esta manera hay una separación de los componentes de acuerdo a lo pesado que sean.

**Miniaturización:** El cambio de tamaño de objetos o personas, bien sea disminuyendo éste bien aumentándolo, aparece en numerosas obras de ciencia ficción, sean éstas novelas o películas.

**Moqueta:** Tela fuerte de lana, cuya trama es de cáñamo, y de la cual se hacen alfombras y tapices.

**Pellet:** Pequeña masa preformada de material de moldeo o extrusión.

**Pelletización:** Esta palabra no significa otra cosa que granulamiento o granulado de un material plástico recuperado. Proceso por el cual se producen partículas de resina de tamaño uniforme. El polímero fundido en el extrusor pasa por una matriz formando múltiples hebras de polímero (se podría comparar con el proceso de elaboración de fideos a partir de una masa homogénea).

**Pepena:** Es un sistema de clasificación manual de la basura en sus diferentes componentes, por ejemplo: vidrio, metal y plástico entre otros. Se realiza en los llamados tiraderos a cielo abierto.



**Plástico reciclado:** Residuo plástico al cual se le ha aplicado un proceso adicional para que se vuelva integrar a un ciclo industrial o comercial, convirtiéndose nuevamente en materia prima o en producto.

**Plástico:** Del griego "plastikos" que significa maleable o moldeable. El término designa una gran familia de materiales sintéticos de peso molecular elevado, que consiste en repeticiones de moléculas formadas de átomos de carbono, oxígeno, hidrógeno y otros, que se presentan en estado sólido bajo condiciones normales y que pueden ser forzados a tomar diversas formas y tamaños bajo el efecto combinado del calor y la presión, existen dos tipos: los termoplásticos y termofijos.

**Plexiglás.** (Del ingl. plexiglás, y este del lat. plexum, plegado, y el ingl. glass, vidrio, cristal; marca reg.). 1. m. Resina sintética que tiene el aspecto del vidrio. 2. m. Material transparente y flexible de que se hacen telas, tapices, etc.

**Poliestireno:** Plástico preparado por la polimerización del estireno. El poliestireno para uso general es claro, duro y liviano y tiene un punto relativamente bajo de fusión. Sus aplicaciones típicas incluyen, packaging de protección como material de amortiguamiento de golpes, envases, tapas, botellas, tazas, vasos, juguetes.

**Poliétileno de alta densidad:** Se produce por proceso de polimerización a bajas presiones. Actualmente se define solamente por su rango de densidad que va desde 0,941g / cm<sup>3</sup> hasta 0,965 g / cm<sup>3</sup>. Es una poliolefina de cadenas lineales; utilizado para fabricar botellas de leche, jugo, agua y productos de limpieza.

**Poliétileno de baja densidad:** Se produce por el proceso de polimerización a alta presión. Según este proceso se fabrica la mayor parte del polietileno. Es un plástico que se utiliza principalmente para la fabricación de películas (films) debido a su tenacidad, flexibilidad y relativa transparencia. También se utiliza en la fabricación de tapas flexibles y botellas. Se le da mucho uso en tuberías y cables dada su propiedad de estabilidad eléctrica y características de procesamiento.

**Polímero:** Compuesto de alto peso molecular o macromolécula natural o sintético formada por la unión de moléculas iguales denominadas monómeros que tienen grupos funcionales que permiten su combinación bajo condiciones adecuadas.

**Polipropileno:** Plástico obtenido por polimerización del gas propileno (CH<sub>3</sub>=CH<sub>2</sub>-CH<sub>3</sub>). Tiene una excelente resistencia química, es fuerte y es el de más baja densidad (0,9 g /cm<sup>3</sup>) entre los plásticos utilizados para envases, lo cual favorece un alto rendimiento. Se emplea para piezas industriales, componentes eléctricos y electrónicos, químicos, cuerpos huecos, tubos, piezas resistentes al agua, artículos para cocina, envases flexibles semirígidos y rígidos, juguetes, industria textil, mobiliario, construcción, cintas para embalaje, entre otros.



**Poliuretano:** Se fabrica a partir de la reacción química de isocianatos y alcoholes polihídricos. Las principales aplicaciones de los poliuretanos han sido para aislamiento térmico, como las espumas, también los elastómeros, los adhesivos y recubrimientos superficiales. Los usos más conocidos son: fuelles, tubos hidráulicos, paragolpes en la industria automotriz, juntas, empaquetaduras.

**Producción de plásticos:** Se refiere a la producción de los polímeros en forma de granza o polvo a partir de los monómeros. Ejemplos: producción de polietileno, policloruro de vinilo, etc.

**PVC:** Abreviatura de policloruro de vinilo. Polímero perteneciente al grupo de resinas vinílicas, producido por polimerización del monómero de cloruro de vinilo ( $\text{CH}_2=\text{CHCl}$ ). El PVC flexible es también utilizado para aislación de cables, películas y placas, coberturas para pisos, productos de cuero sintético, revestimientos y muchas otras aplicaciones. Los usos del PVC rígido son como material para la construcción y en todo tipo de envases alimenticios como botellas, bandejas, películas para carne fresca envases para soluciones parenterales, catéteres.

**Reciclado cuaternario o energético:** Es el empleo de los residuos plásticos como fuente de energía; incineración para aprovechar la energía calorífica desprendida.

**Reciclado de plásticos:** Proceso por el cual los desechos plásticos pueden acondicionarse con el propósito de integrarse a un nuevo ciclo productivo.

**Reciclado primario:** En este reciclado el material se reprocesa a la misma aplicación del artículo original. Por ejemplo: discos de gramófono sin vender que se reciclan a discos nuevos, o la conversión de cajas de botellas sin utilizar a otras nuevas.

**Reciclado secundario:** En este tipo de reciclado el material recuperado se reprocesa para dar un objeto que difiere del original. Los objetos producidos de este modo poseen propiedades física peores que las que tenía el objeto originalmente. Ejemplos de este reciclado son postes obtenidos de mezclas de residuos plásticos.

**Reciclado terciario:** En el caso de los residuos plásticos cuando se convierten a productos no plásticos, tales como aceites, ceras, grasas, monómero o energía. Existe, por lo tanto, un reciclado a energía y un reciclado químico.

**Reciclado:** Proceso mediante el cual se vuelven a utilizar los materiales ya usados, los cuales son transformados en nuevos productos.

**Recuperación:** Proceso para obtener materiales o fuentes energéticas a partir del desperdicio sólido.

**Relleno sanitario:** Destino final de residuos sólidos urbanos, en varias capas. Los rellenos deben ser adecuadamente diseñados, construidos y operados, para lo cual, entre otras cosas, deben incluir pozos y estaciones de monitoreo, estar ubicados alejados de lugares habitados, pero de fácil acceso para la llegada de la basura.



**Reprocesado:** Cubre las operaciones de recuperación en las que los recortes o scraps producidos en las plantas durante los procesos de producción o transformación se vuelven a alimentar en el sistema de tal modo que son usados como una parte de la materia prima.

**Residuo sólido:** Basura, desperdicios, sedimentos y otros sólidos de desecho provenientes de operaciones comerciales e industriales y de actividades de la comunidad.

**Residuos plásticos:** Describe a los materiales recuperados después de su uso para ser destinados a un posible reciclaje.

**Residuos sólidos urbanos (RSU):** Frase equivalente a "basura generada por fuentes residenciales, comerciales, institucionales e industriales", no generados en el proceso, que pertenecen a seis categorías básicas: artículos duraderos, artículos no duraderos, envases y packaging, restos de comida, accesorios y desechos varios que pueden ser orgánicos o inorgánicos.

**Resina:** Toda clase de productos orgánicos sólidos o semi-sólidos de origen natural o sintético, de alto peso molecular generalmente, con un punto de fusión no definido.

**Reuso:** El uso de un producto por más de una vez.

**Reutilización:** Toda operación en la que el envase, concebido y diseñado para realizar un número mínimo de circuitos o rotaciones a lo largo de su ciclo de vida, sea rellenado o reutilizado con el mismo fin para el que fue diseñado.

**Scraps o recortes:** Es el termino general que se usa para describir cualquier material de desperdicio que se origina en la fábrica durante un proceso de producción o transformación de un plástico.

**Sociedad de la industria plástica, inc. (SPI):** Organización de comercio con más de 2000 miembros que representa a todos los segmentos de la industria plástica de los Estados Unidos. Las comisiones y unidades operativas de la SPI están formadas por fabricantes de resinas, distribuidores, fabricantes de maquinarias, procesadores de plástico, moldeadores y otros grupos o particulares relacionados con la industria (SPI Boilerplate, 1996).

**Tarrina:** Envase pequeño con tapa usado para alimentos que deben conservarse en frío.

**Termoplástico:** También denominado termoplasto, está referido a aquellos polímeros de alto peso molecular, de estructura lineal, (cadenas moleculares lineales) que pasan al estado plástico al ser calentados, permitiendo obtener diversas formas a través de diferentes procesos.

**Transformación de plásticos:** Describe los diferentes procesos mediante los cuales se da forma a los polímeros o plásticos. Por ejemplo: la transformación de granza de polietileno en una tubería o en una botella.

## V. BIBLIOGRAFÍA.

- [1] *Anuario estadístico de la industria química mexicana*. ANIQ (Asociación Nacional de la Industria Química, AC), México. 1999.
- [2] *Anuario estadístico de la industria química mexicana*. ANIQ (Asociación Nacional de la Industria Química, AC), México. 2001.
- [3] BRAUN, D. *Métodos sencillos de identificación de plásticos*. España, Pulsar, 1990.
- [4] BRIDSON, J. A. *Plastics materials*. London, Butter Worth, 1975.
- [5] CAREAGA, Juan Antonio. *Manejo y reciclaje de los residuos de envases y embalajes*. España, Edigraf Watson, 1993.
- [6] CHOPPIN, R. y JAFFE, B. *Ciencia de la material, la energía y el cambio*. México. Publicaciones Cultural SA, 1969.
- [7] CRUZ SALINAS, Moisés y MEDINA ÁVILA, Gerardo. "Reciclaje de residuos plásticos". Tesis de Técnico en plásticos. CONALEP, 2002.
- [8] DEFFIS CASO, Armando. *La basura es la solución*. México, Concepto, 1989.
- [9] "Estadísticas del Medio Ambiente México", INEGI y SEMARNAP. México, 1998.
- [10] "Estadísticas e indicadores de inversión sobre los residuos sólidos municipales en los principales centros urbanos de México" Instituto Nacional de Ecología. México, 1997.
- [11] FOUHY, Ken and Kim, Irene. "Plastics Recycling's Diminishing Returns". *Chemical Engineering*, 100:30-3, december 1993.
- [12] GIDI, David. "El valor de la normatividad en el manejo de los residuos sólidos". Instituto Nacional de Ecología. *Memorias: Seminario internacional sobre manejo integral de residuos sólidos*. México, Semarnap, 1998.
- [13] HERNÁNDEZ, C. y GONZÁLEZ, S. "Reciclaje de Residuos Sólidos Municipales". México *Programa Universitario del Medio Ambiente*, 1997.
- [14] HUERTA JIMÉNEZ, O. "Técnicas y procesos para reciclado del polietileno tereftalato. grado envase, aplicados a la ciudad de México". Tesis de Ingeniería Química. Facultad de Química UNAM, 1993.
- [15] KASTNER, H. and KAMINSKY, W. "Recycle Plastics into Feedstocks." *Hydrocarbon Processing*. 74, May 1995, 109-12.
- [16] LAYMAN, Patricia. "Advances in Feedstock Recycling Offer Help With Plastic Waste." *Chemical and Engineering News*. 71, October 4, 1993: 11-14.
- [17] LÓPEZ HERRERA, Gustavo Adolfo, "Métodos de separación y procesos de reciclamiento de desechos plásticos". Tesis de Ingeniería Química. FES-Cuautitlán UNAM, 1994.



- [18] LUND HERBERT, F. *Manual de reciclaje*. México, McGraw-Hill Interamericana, 1997.
- [19] MARTÍNEZ GAMA, Ignacio. "*Reutilización de materiales*". Tesis de Ingeniería Química. Facultad de Química UNAM, 1975.
- [20] MORTON JONES, D. H. *Procesamiento de plásticos*. México, Limusa Noriega Editores, 1993.
- [21] NMX-E-232-SCFI-1999 – Industria del plástico - Reciclado de Plásticos – Simbología para la Identificación del Material Constitutivo de Artículos de Plástico – Nomenclatura.
- [22] NMX-E-233-SCFI-2000 - Industria del Plástico - Terminología de Reciclado de Plásticos.
- [23] "Plásticos". Instituto Nacional de Ecología. *Seminario internacional sobre manejo integral de residuos sólidos*. México, 1998.
- [24] RAMÍREZ, P. *El reciclaje en México*. Instituto Nacional de Recicladores, México, 2000.
- [25] "Reciclado de plásticos", Enciclopedia Microsoft Encarta 2002, Latinoamericana Microsoft Corporation, 2002.
- [26] "Reciclado de plásticos". Instituto Mexicano de la Industria del Plástico. *Enciclopedia del plástico 2000*, Tomo 3. México, 2000.
- [27] RICHARSON and LOKENSGARD. *Industria del plástico*. España, Paraninfo, 1997.
- [28] "Tecnología en plásticos PVC y PE". Instituto Mexicano del Plástico Industrial, México, 1998.
- [29] <http://mail.udlap.mx/~aleph/alephzero4/reciclaje.html>
- [30] <http://sonora.pumex.com.mx/medioambiente.htm>
- [31] <http://www.aimsa.com/reciclado.htm#Arriba>
- [32] <http://www.anape.es/>
- [33] <http://www.aprepet.org.mx>
- [34] [http://www.ceamse.gov.ar/recicla\\_abc\\_plastico.html](http://www.ceamse.gov.ar/recicla_abc_plastico.html)
- [35] [http://www.ecologia.campeche.gob.mx/consultas/temas/basura\\_y\\_reciclaje.htm](http://www.ecologia.campeche.gob.mx/consultas/temas/basura_y_reciclaje.htm)
- [36] [http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/gacetas/422/envases.html?id\\_pub=422](http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/gacetas/422/envases.html?id_pub=422)
- [37] <http://www.institutodopvc.org>
- [38] <http://www.iplasticas.com/ind-proceso.html>
- [39] <http://www.kovalplast.com.mx/aplicahtml>





- [40] <http://www.paot.org.mx/centro/publi-ext/pet/15opciones.html>
- [41] <http://www.pharmaportal.com.ar/areapac03.htm>
- [42] <http://www.plastivida.com.rg/>
- [43] <http://www.plastunivers.es/Tecnica/Hemeroteca/ArticuloCompleto.asp?ID=6260>
- [44] <http://www.sma.df.gob.mx/sma/rgaasr/pet/menu.htm>
- [45] <http://www.umne.edu.mx/rev96/reciclaje.htm>