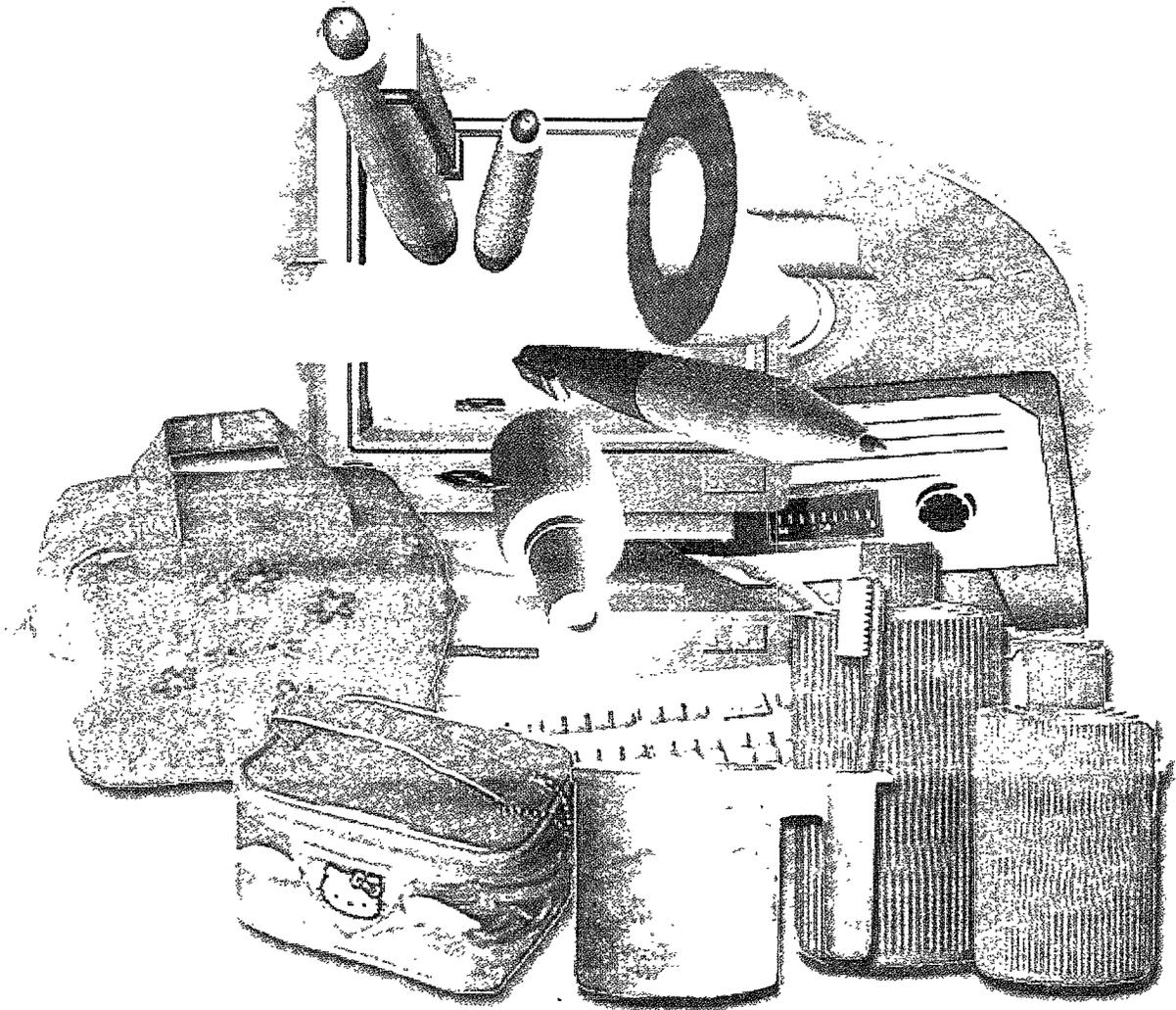


PN-ACK-939

MANUAL DE RECICLAJE DE PLÁSTICOS



USAID



corporación

oikos



PN-ACK-939

MANUAL DE RECICLAJE DE PLÁSTICOS



Quito-Ecuador



MANUAL DE RECICLAJE DE PLÁSTICOS (*)

Junio, 2000

© Corporación Oikos

Derechos Reservados de Publicación: Corporación OIKOS. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento, sin autorización escrita de la Corporación OIKOS.

Autores: Francisco Cadena**
Francisco Quiroz**

Ajuste Técnico: Tania Bohórquez
Ernesto Martínez

Coordinación Técnica: Ernesto Martínez

Diseño y diagramación: Komunicarte

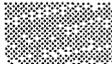
**Dirección General de la
elaboración y publicación:** Marco A. Encalada

ISBN 9978-41-507-6
No. Derecho de Autor: 014311
Impresión: A&B Editores 546048

Para citas y referencia bibliográfica:
Corporación OIKOS. **Manual de Reciclaje de Plásticos**. Editorial Quito. 2000.

(*) Este documento se elaboró con el auspicio económico de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID), Misión Ecuador.

(**) Profesores del Departamento de Materiales, Escuela Politécnica Nacional.



ÍNDICE



PRESENTACIÓN	1
INTRODUCCIÓN	3

CAPÍTULO 1 **DEFINICIONES BÁSICAS ¿Qué es un plástico?**

1.1. LOS PLÁSTICOS COMO MATERIALES DE INGENIERÍA	7
1.2. DEFINICIÓN DE POLÍMERO Y PLÁSTICO	9
1.3. MEZCLAS DE POLÍMEROS	11

CAPÍTULO 2 **LOS MATERIALES PLÁSTICOS** **¿De dónde provienen? ¿Para qué se utilizan?**

2.1. OBTENCIÓN Y FUENTES	13
2.2. CLASIFICACIÓN	14
2.2.1. Según su origen	14
2.2.2. Según sus propiedades	15
2.2.3. Según la familia química a la que pertenecen	17
2.3. PRODUCCIÓN Y DESARROLLO	18
2.4. ADITIVOS Y REFUERZOS	20

2.4.1. Aditivos	20
2.4.2. Refuerzos	21
2.5. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES PLÁSTICOS	21
2.5.1. Propiedades comparativas	21
2.5.2. Ventajas y desventajas	22
2.5.3. Propiedades físicas	23
2.5.4. Propiedades químicas	24
2.6. USOS	25
2.7. RECONOCIMIENTO E IDENTIFICACIÓN	26

CAPÍTULO 3 ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO ÓPTIMO DE LOS PLÁSTICOS ¿Cómo mejorar su uso?

3.1. CICLO DE VIDA DE UN MATERIAL	37
3.2. DISMINUCIÓN DE LA GENERACIÓN DE RESIDUOS INDUSTRIALES	40
3.3. TECNOLOGÍAS LIMPIAS	41
3.3.1. Diseño óptimo del producto	43
3.3.2. Selección del método de transformación	49
3.4. PLÁSTICOS DEGRADABLES	51
3.5. REUTILIZACIÓN	53
3.6. RECICLADO MECÁNICO	54
3.7. RECICLADO QUÍMICO	57
3.8. RECICLADO TÉRMICO	58
3.9. COMPARACIÓN ENTRE LOS MÉTODOS DE MANEJO DE RESIDUOS PLÁSTICOS	59

CAPÍTULO 4 PROCESOS Y PRODUCTOS DEL RECICLAJE ¿Cómo se puede reciclar y qué productos se obtienen?

4.1. RECICLADO DE TERMOPLÁSTICOS	61
4.1.1. Polietileno	61
4.1.2. Polipropileno	64
4.1.3. Poliestireno	65
4.1.4. Polietilén tereftalato	65
4.1.5. Policloruro de vinilo	66

4.2. RECICLADO DE TERMOESTABLES	67
4.2.1. Reciclado de Poliuretano	68
4.3. RECICLADO DE ELASTÓMEROS	68

CAPÍTULO 5
LA PLANTA DE RECICLAJE
¿Es rentable el reciclaje?

5.1. LA INVESTIGACIÓN EXPLORATORIA	71
5.1.1. Revisión de literatura y patentes	72
5.1.2. Evaluación económica preliminar	72
5.1.3. Programa de experimentación	73
5.2. DESARROLLO DEL PROCESO INDUSTRIAL	73
5.2.1. Investigación del producto	73
5.2.2. Investigación del proceso	74
5.3. DISEÑO DE LA PLANTA	74
5.3.1. Estudio de mercado	74
5.3.2. Oferta y precios	75
5.3.3. Alternativas de producción	75
5.3.4. Servicios	75
5.3.5. Localización	76
5.3.6. Inversiones	76
5.3.7. Costos y rentabilidad	76
5.4. ADQUISICIONES	76
5.5. CONSTRUCCIÓN	76
5.6. FUNCIONAMIENTO Y PRUEBA	77
5.7. PRODUCCIÓN	77
 BIBLIOGRAFÍA	 79



PRESENTACIÓN

Los plásticos son en la sociedad actual uno de los materiales más utilizados debido a su gran diversidad, versatilidad de usos, facilidad de producción, peso, desarrollo de investigaciones para la creación de nuevos materiales, etc. Pero estas mismas características los han llevado a ser los causantes de uno de los más grandes problemas de contaminación ambiental. La inadecuada disposición de los residuos sólidos prácticamente en todos los centros poblados, especialmente de los países en vías de desarrollo son un peligro ambiental, debido a que no se les da el tratamiento adecuado una vez que ha concluido su vida útil, convirtiéndose así en un sinónimo de contaminación ambiental.

Por esta razón, la Corporación de Gestión Tecnológica y Científica sobre el Ambiente, OIKOS, ha emprendido la tarea de buscar alternativas tecnológicas que permitan hacer un uso adecuado de los plásticos y al mismo tiempo reducir la contaminación ambiental que éstos generan. Una de las primeras acciones que se debe realizar bajo este contexto, es tener un conocimiento adecuado de lo que son los plásticos, sus usos, las posibilidades de reutilizarlos una vez que ha concluido su vida útil, la conveniencia de mezclar diversos tipos de plásticos, etc. OIKOS está segura que con este "Manual de Reciclaje de Plásticos", que pone a consideración de la comunidad ecuatoriana, está sentando las bases para realizar un manejo adecuado de este tipo de materiales.

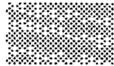
Este documento será de gran utilidad para todas aquellas personas interesadas en la producción de plásticos, incorporando consideraciones ambientales en esta actividad. También es útil para aquellos que, preocupados por los niveles de conta-

minación ambiental generados por los plásticos, están buscando alternativas que faciliten su reciclaje o reutilización.

En este Manual se ha intentado explicar de la manera más sencilla posible, todos los aspectos relacionados con lo que son los plásticos, sus propiedades, las oportunidades que existen para mejorar el uso de los plásticos y las opciones de reciclaje que existen para los distintos tipos. Finalmente, se aborda el tema de la implantación de una planta de reciclaje de estos materiales.

Cualquier contribución y comentario sobre el Manual será bienvenido.

El Editor.



INTRODUCCIÓN



La naturaleza ha sido siempre una fuente inagotable de inspiración para los observadores atentos que han sabido descubrir en ella los secretos de la optimización del uso de materias, así como el desarrollo de estructuras simples y eficientes. Los fotógrafos tratan permanentemente de plasmarla en imágenes que reflejen de manera objetiva sus encantos, los pintores la retratan atendiendo a su particular perspectiva, los científicos por su parte buscan arrancarle sus secretos para usarlos en la fabricación de inventos o en materiales útiles para la humanidad.

Los diseños que encontramos en la naturaleza son verdaderas obras de arte, tanto por su encanto como por la ingeniosidad de la que hacen gala para el aprovechamiento óptimo del espacio, el material y la energía. Por eso es que los ingenieros muchas veces tratan de reproducir, en sus mesas de dibujo, las formas de la naturaleza para proyectar nuevos materiales o para mejorar los materiales existentes. Así por ejemplo, se ha copiado el diseño de "nido de abeja" para aligerar el peso de los materiales compuestos; se ha descubierto que las telas de araña están compuestas por fibras altamente resistentes, por lo que se ha buscado sintetizar materiales similares para elaborar chalecos antibalas; los diseños de aviones y helicópteros, siempre han tomado en cuenta el diseño aerodinámico de aves e insectos.

La humanidad recrea en arte, en ciencia o en avances tecnológicos aquello que puede extraer de la naturaleza, muchas veces modificándola para beneficiarse de esos cambios. Así por ejemplo puede llegar a mejorar las propiedades de las fibras vegetales y animales, hacer cultivos más eficientes y resistentes a plagas o sintetizar nuevos productos como los materiales plásticos. Sin embargo, siempre que-

dan lecciones por aprender, y una de ellas es la forma como se cumplen los ciclos en la naturaleza, en los que todo es aprovechado de modo que nada queda como desperdicio.

Nuestros recursos naturales están lejos de ser inagotables, todo lo contrario, cada vez es más evidente el riesgo de que lleguen a agotarse, especialmente si continuamos realizando una sobreexplotación de los mismos para cubrir las necesidades de la humanidad y si persiste el inadecuado uso de estos recursos, causando su desperdicio.

Existen grupos que piensan que los problemas de contaminación, mal uso y desperdicio de los recursos, son "cosas de las industrias" y ellos no se sienten con culpabilidad alguna. Sin embargo, nuestra responsabilidad como consumidores no es poca. Con frecuencia desperdiciamos y mal utilizamos muchos materiales: ¿cuánto plástico de embalaje no termina inmediatamente en el basurero doméstico?, ¿cuánto papel que usamos lo tiramos a la basura sin pensar en el futuro de nuestros bosques?, ¿con qué facilidad arrojamos todo tipo de desperdicios en los prados y en nuestras propias calles? Conforme respondamos con sinceridad a estas y otras inquietudes, nos daremos cuenta que todos tenemos algo de culpa en la contaminación ambiental que poco a poco nos va rodeando y deteriora nuestro entorno.

Es por eso que OIKOS ha generado este manual, para que estudiantes, maestros, amas de casa, oficinistas y todas las personas que utilizan productos de plástico se informen sobre lo que representan estos materiales en la sociedad actual, los usos que les damos, sus ventajas y desventajas, los riesgos que tienen, el tiempo que pueden durarnos, la manera en que se deterioran y la forma en que se puede identificar los distintos tipos de plásticos que nos rodean. Sólo con conocimientos acordes con las necesidades de la época, podremos ser entes activos en la búsqueda de mejores condiciones de vida para nosotros mismos y para las futuras generaciones.

Solamente una persona debidamente informada estará en la capacidad de seleccionar el material más respetuoso con el medio ambiente, podrá usarlo apropiadamente y cumplir con su deber ciudadano, exigiendo a las autoridades que se dicten (y que se cumplan!) reglamentaciones que favorezcan la reutilización de los materiales, eviten la contaminación de nuestro entorno y castiguen a quienes están contaminando el ambiente.

A aquellas personas que tienen un espíritu emprendedor, este libro pretende ofrecerles las perspectivas industriales que se presentan para el reaprovechamiento de los materiales plásticos, es así que se indican las etapas a seguir para cada tipo de reciclaje y las particularidades del procesamiento de los diversos materiales plásticos, así como la gama de productos reciclados que se pueden ofrecer al mercado.

Para los industriales, además de la posibilidad misma del reciclaje, les presentamos una serie de sugerencias para optimizar sus procesos productivos, mediante el diseño de piezas o la aplicación de nuevos procesos. Este tipo de aporte marca la diferencia básica con los manuales clásicos de reciclaje, en el hecho de que ponemos énfasis en el uso más racional de nuestros recursos, empezando en la fuente misma donde se producen, en la selección adecuada de las materias primas, en el empleo de procesos más eficientes y por lo tanto más limpios, como es la consigna de la Corporación OIKOS, empezando en el escritorio de quien realiza el dibujo de la pieza que se desea construir, continuando luego con el manejo apropiado de los equipos de transformación de las materias que se procesan y controlando los productos que se ofrecen al mercado. Incluyendo en toda esta cadena el componente ambiental, a fin de que tanto el proceso productivo como el producto causen el menor impacto al ambiente.

Esta línea de aplicar tecnologías apropiadas, limpias, más respetuosas con nuestro entorno, no tiene por qué estar reñida con la economía, por el contrario la implementación de tecnologías mejor diseñadas conduce a un ahorro considerable de desperdicios y por tanto de dinero.

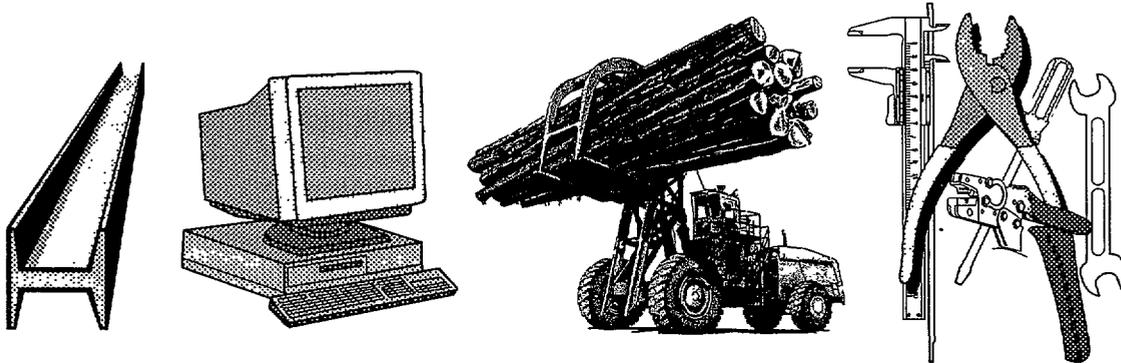
Este libro tiene la ambiciosa pretensión de convertirse en un aporte para que los lectores, desde sus diversas perspectivas y roles sociales, contribuyan a hacer de este planeta un mejor sitio para vivir. Y aún estamos a tiempo.

CAPÍTULO 1

DEFINICIONES BÁSICAS ¿Qué es un plástico?

1.1. LOS PLÁSTICOS COMO MATERIALES DE INGENIERÍA

A las sustancias a partir de las cuales se puede construir: autos y aviones, puentes y edificios, platos y puertas, paracaídas y medias, naves espaciales y tubos de alcantarillado, se las conoce como: "materiales de ingeniería". Estos materiales son de vital importancia para el desarrollo y supervivencia de nuestra sociedad.



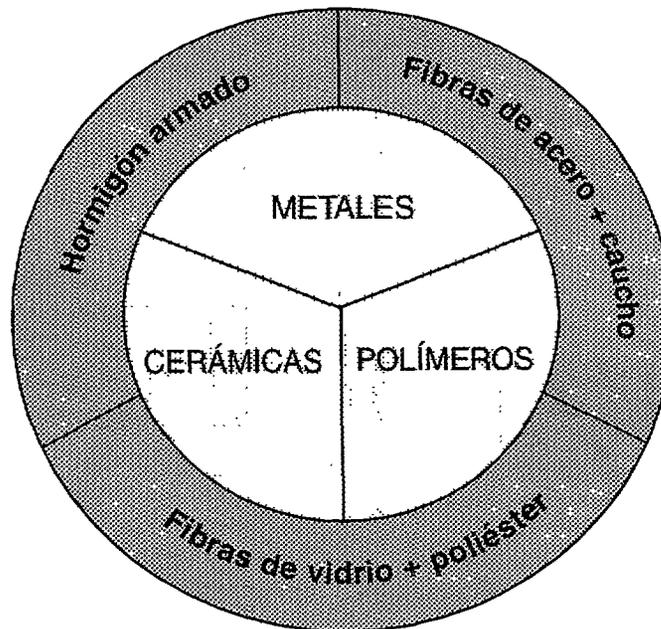
Una de las formas en que se puede clasificar a las épocas de la Humanidad, es en base a la consideración del material más importante de uso que desarrolló el hombre, en cada época, así tenemos: **la Edad de la Piedra, la Edad del Bronce, la Edad del Hierro, etc.**

En la Edad de Piedra las casas, "muebles" y armas se construían con materiales cerámicos. Cuando el hombre descubrió la manera de transformar los óxidos en metales, éstos pronto dominaron diversos campos, sirviendo tanto para la construcción de fábricas, como para la elaboración de utensilios domésticos.

El acero, debido a sus excelentes propiedades mecánicas, se convirtió en el "rey" de los materiales de ingeniería; su utilización se ha extendido a múltiples campos, sin embargo a su reinado le han salido fuertes competidores: las nuevas cerámicas, los materiales compuestos y los materiales poliméricos.

En la época actual, no existe un sólo material que destaque absolutamente sobre el resto. Nos encontramos en la era de los "Nuevos Materiales", en la cual se diseñan aleaciones metálicas altamente mejoradas, cerámicas finas, polímeros para altas prestaciones, polímeros degradables, etc.

En ciertos dominios estamos en las fronteras de invertir el proceso "clásico" de utilización de un material. Anteriormente se caracterizaban los materiales, se veía qué propiedades tenían y, en base a eso, se determinaba la utilidad que podían tener. Actualmente, lo que se intenta es que a partir de las necesidades que se tiene, y en base a las mismas, diseñar el material que se necesita. Una aproximación a esta meta lo constituyen los denominados materiales compuestos, que juntan lo mejor de las características de los distintos materiales de ingeniería.



Los materiales de ingeniería



¡Estamos rodeados de plásticos!

Entre los materiales de ingeniería, son los materiales poliméricos los que han tenido un desarrollo cualitativo y cuantitativo más importante. En los últimos 40 años su volumen de producción ha crecido cien veces, han llegado ya a sobrepasar la producción de acero y su tendencia de crecimiento es sostenida.

Los automóviles se desplazan sobre llantas de caucho (Poliisopreno), la leche nos viene en envases de Polietileno (PE), el agua se conduce por tuberías de Policloruro de vinilo (PVC), las flores crecen bajo mantos de Polietileno, las computadoras tienen una dieta estricta de discos de Poliacetato de vinilo y de Policarbonato, los aviones y naves aeroespaciales viajan más ligeras gracias a los materiales compuestos que utilizan polímeros en su composición.

¿Pero... qué es un plástico? y ¿qué es un polímero?....

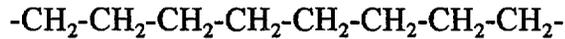
1.2. DEFINICIÓN DE POLÍMERO Y PLÁSTICO

Etimológicamente la palabra polímero proviene de las raíces griegas: *poli = muchos y meros = partes*, es decir se trata de una sustancia conformada por la repetición de la misma unidad química. A esta unidad química la llamamos

MONÓMERO. Si representamos con la letra "A" a esta unidad monomérica, entonces el polímero se representaría por:



Por ejemplo, el etileno ($\text{CH}_2 = \text{CH}_2$) al polimerizarse forma el polietileno:



La unidad que se repite (monómero) es el CH_2 .

MONÓMERO		POLÍMERO	
Nombre	Fórmula	Nombre	Fórmula
Etileno	$\text{CH}_2=\text{CH}_2$	Polietileno	$\text{---}(\text{CH}_2\text{-CH}_2)_n\text{---}$
Tetrafluoretileno	$\text{CF}_2=\text{CF}_2$	Politetrafluoretileno (Teflón)	$\text{---}(\text{CF}_2\text{-CF}_2)_n\text{---}$
Propileno	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_2=\text{CH} \end{array}$	Polipropileno	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{---}(\text{CH}_2\text{---CH})_n\text{---} \end{array}$
Cloruro de vinilo	$\begin{array}{c} \text{Cl} \\ \\ \text{CH}_2=\text{CH} \end{array}$	Policloruro de vinilo	$\begin{array}{c} \text{Cl} \\ \\ \text{---}(\text{CH}_2\text{---CH})_n\text{---} \end{array}$

Si la unidad de repetición es siempre la misma, el material se denomina *Homopolímero* como en el caso del polietileno. Pero si existen diferentes unidades de repetición se los denomina: *Copolímeros*

Existen diferentes tipos de copolímeros:

En Bloque: Cuando los homopolímeros se unen uno a continuación de otro:



Alternado: Cuando los monómeros de cada homopolímero se unen secuencialmente:



menos frágil. Las moléculas del elastómero quedan dispersas en el seno del poliestireno y aunque no formen una mezcla miscible, forman una mezcla que se denomina *compatible*, puesto que se obtiene un resultado útil para diversas aplicaciones.

En otros casos las mezclas resultan ser perjudiciales, puesto que se separan los constituyentes y el resultado es una mezcla *no compatible* que no puede ser convenientemente aprovechada.

Es posible, mediante algunos procesos, conseguir *compatibilizar* unos polímeros inicialmente incompatibles con otros, eso se consigue a través de la utilización de aditivos y de diversas reacciones químicas.

CAPÍTULO 2

LOS MATERIALES PLÁSTICOS ¿De dónde provienen? ¿Para qué se utilizan?



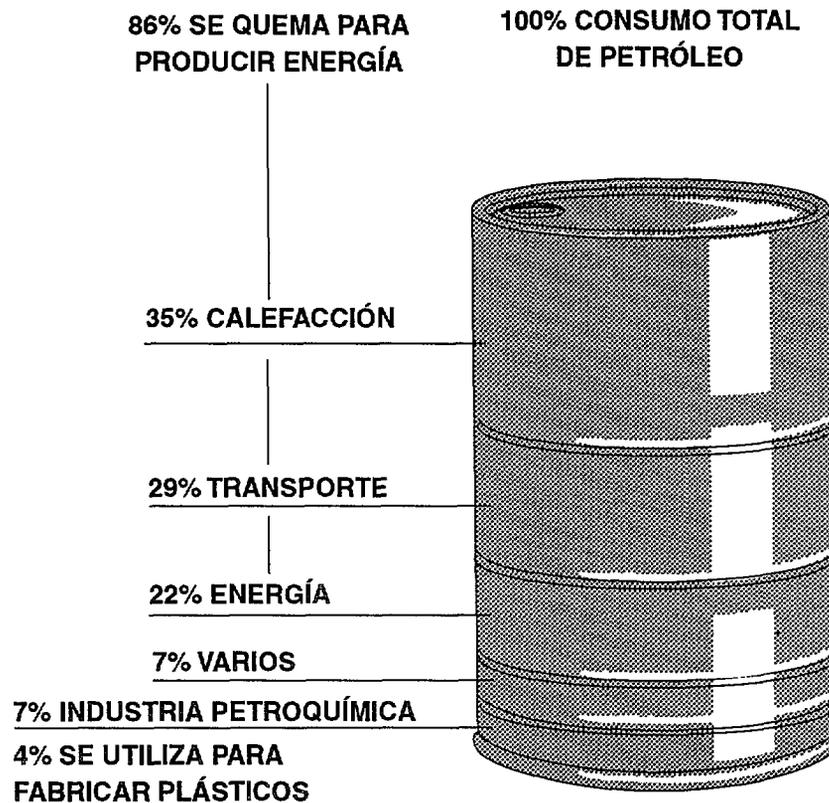
2.1. OBTENCIÓN Y FUENTES

Los plásticos proceden de diversas fuentes: resinas de los árboles, petróleo, gas natural, carbón y sal común.

En la América precolombina, los habitantes de México, Haití y Sudamérica utilizaron las "lágrimas" de un árbol para elaborar pelotas para sus juegos ceremoniales, para el calzado que utilizaban y para fabricar recipientes resistentes a la acción del agua. Utilizaban el caucho natural (*caa = árbol y o-chu = lágrimas*). En 1839 se desarrolla la manera de vulcanizarlo y con ello se echa a rodar, literalmente, una industria gigantesca.

Después de la Segunda Guerra Mundial aparecen y se desarrollan una gran cantidad de materiales plásticos, obtenidos a partir de la industria del petróleo, la cual se constituye en una de las fuentes más importantes para su producción.

Se calcula que alrededor del 86 % del petróleo se quema para producir energía. En cambio, sólo entre el 2 y el 4% se emplea en la producción de plásticos.



El petróleo es un recurso no renovable, por eso debemos procurar que su uso sea aprovechado racional y técnicamente. Los materiales plásticos, en cambio, pueden llegar a tener una larga y nueva vida como demostraremos más adelante, pero no podemos dejar de pensar en que debemos hacer un uso adecuado de los mismos y optimizar su procesamiento. *Y esa es una tarea que nos compete a todos.*

Es preciso señalar, que existen materiales plásticos que no dependen de la industria petrolera: el policloruro de vinilo (PVC), por ejemplo, puede obtenerse a partir de materias primas no derivadas del petróleo y los cauchos pueden tener origen vegetal, como se indicó anteriormente.

2.2. CLASIFICACIÓN

Existen muchas y diversas formas mediante las cuales se pueden clasificar los materiales poliméricos:

2.2.1. Según su origen:

Los polímeros pueden ser naturales (celulosa, lignina) o sintéticos (polietileno, polipropileno).

2.2.2. Según sus propiedades:

Una clasificación, corrientemente utilizada, es dividirlos en: Termoplásticos, Termoestables y Elastómeros.

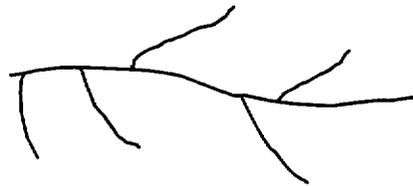
a) Termoplásticos

Los termoplásticos están constituidos por cadenas de polímeros lineales o ramificados y que se funden o reblandecen a una cierta temperatura o rango de temperaturas. Pueden mostrar una estructura completamente desordenada de sus cadenas y entonces los denominamos amorfos, o pueden tener ciertas zonas en las cuales las moléculas tienen una organización geométrica ordenada, y entonces los llamamos semicristalinos.

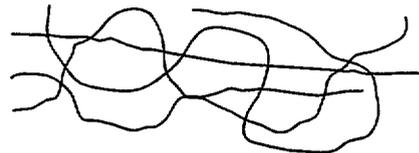
LINEAL (Ej. Polietileno de alta densidad)



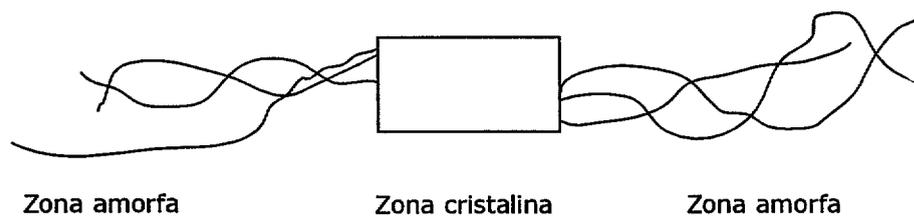
RAMIFICADO (Ej. Polietileno de baja densidad)



AMORFO (Ej. Polimetil metacrilato)



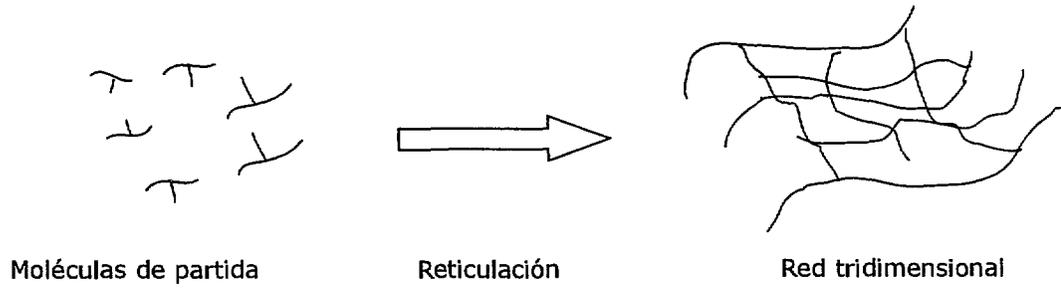
SEMICRISTALINO (Ej. Polipropileno)



b) Termoestables

Los polímeros termoestables forman estructuras tridimensionales muy complejas, que no llegan a fundir bajo la acción de la temperatura, pero pueden llegar a de-

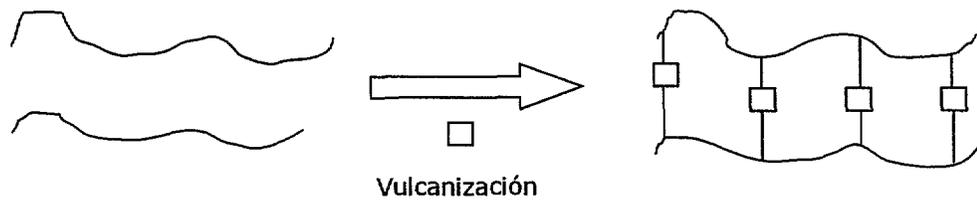
gradarse a temperaturas elevadas. Son los polímeros que tienen las resistencias mecánicas más elevadas y en general también mayores resistencias químicas.



Esquematzación de las etapas de formación de un polímero termoestable

c) Elastómeros

Los elastómeros o cauchos son un caso particular de los materiales termoestables, pero que tienen sus enlaces tridimensionales más débiles. Poseen una gran elasticidad, pudiendo estirarse hasta 6 ó 7 veces su longitud original, sin romperse.



2.2.3. Según la familia química a la que pertenecen:

Termoplásticos

NOMBRE	SÍMBOLO NORMAS ISO
Polioleofinas Polietileno alta densidad Polietileno baja densidad Polipropileno	HDPE* LDPE** PP
Acrílicas Polimetil metacrilato Polibutil metacrilato	PMMA PBMA
Celulósicas Acetato de celulosa	CA
Estirénicas Poliestireno Acrilonitrilo butadieno estireno	PS ABS
Vinílicas Policloruro de vinilo Poliacetato de vinilo	PVC PVAC
Poliámidas Poliámida 66 Poliámida 6	PA 66 PA 6
Poliésteres termoplásticos Polietilén tereftalato Polibutilén tereftalato	PETP*** PBTP****
Poliacetálicas Polióxido de metileno	POM
Poliimidas Poliimida	PI
Policetónicas Poliéter éter cetona	PEEK
Policarbonatos	PC
Poliuretanos lineales	PUR
Polisulfona	PSU

* También se representa por sus siglas en castellano: PEAD

** También se representa por sus siglas en castellano: PEBD

*** También se simboliza como: PET, PETE

**** También se simboliza como: PBT

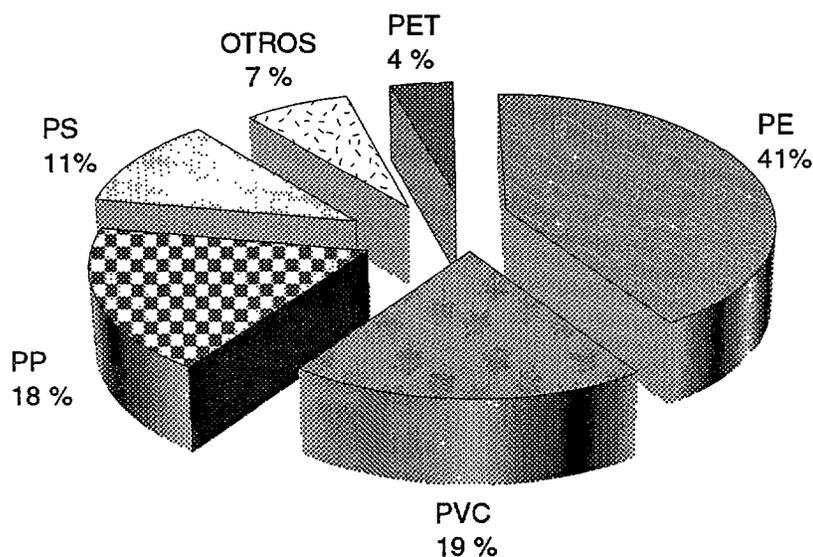
Termoestables

NOMBRE	SÍMBOLO NORMAS ISO
Melamínicas Melamina formaldehído Melamina fenol formaldehído	MF MPF
Uréicas Úrea formaldehído	UF
Fenol formaldehído	PF
Alquídicas	-
Epoxídicas	EP
Poliésteres insaturados	UP

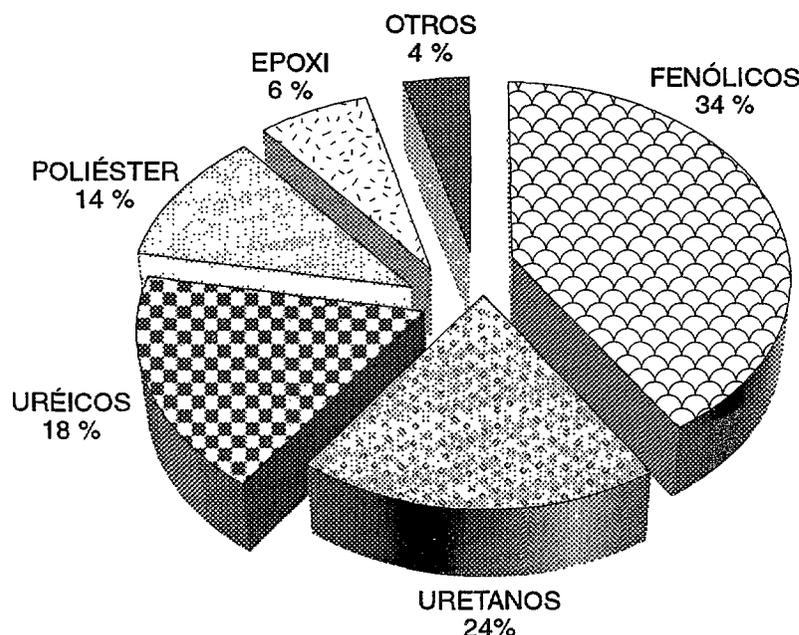
2.3. PRODUCCIÓN Y DESARROLLO

A nivel mundial, los termoplásticos representan el 83% (en peso) de la producción total de plásticos. Los termoplásticos que más se producen son los denominados de uso general y son: Polietileno (PE), Polipropileno (PP), Policloruro de vinilo (PVC) y Poliestireno (PS). Luego les siguen en importancia los llamados polímeros de ingeniería: Policarbonato (PC), Polimetil metacrilato (PMMA), Polietilén tereftalato (PET), etc. Y finalmente están los polímeros de altas prestaciones: Poliimidias (PI), Poliéter éter cetona (PEEK), Polisulfona (PSU).

Entre los polímeros termoestables más ampliamente usados están: Fenólicos, Epoxídicos, Poliésteres insaturados y Uretanos.



Producción mundial de termoplásticos



Producción mundial de termoestables

Es en los países asiáticos y sudamericanos, donde el crecimiento relativo de los plásticos se muestra más importante. En el Ecuador, la industria de los materiales de ingeniería representa el 7% del PIB y de entre éstos, el 50% le corresponde a la industria de los plásticos. El número de industrias *transformadoras de plástico* (es decir aquellas que fabrican piezas y objetos de plástico) ha ido creciendo sostenidamente, se reportan alrededor de 80 empresas en Pichincha, igual número en la provincia del Guayas y en la zona austral alrededor de 40.

Las líneas actuales de desarrollo, tanto a nivel investigativo como industrial, están en:

- Desarrollo y utilización de nuevos materiales, especialmente en la línea de: mezclas, polímeros degradables, polímeros conductores y materiales compuestos para altas exigencias.
- El mejoramiento de la comprensión de su comportamiento con el paso del tiempo y bajo la combinación de tensiones de diversa naturaleza (es decir bajo los efectos combinados de tensiones mecánicas, ambientes químicos, condiciones de temperatura, etc.).
- Optimización de los procesos de transformación, para mejorar su eficiencia energética, la cantidad de materia prima utilizada, el diseño de los moldes, etc.
- Avances en la tecnología del reciclaje para reducir las consecuencias medioambientales del uso de materiales no degradables.

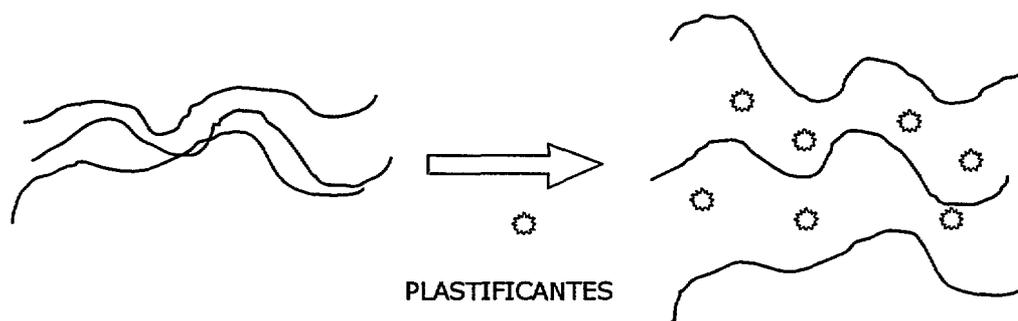
2.4. ADITIVOS Y REFUERZOS

Los materiales plásticos llevan en su composición, a más del polímero, una serie de sustancias tanto de origen inorgánico como orgánico, que les permiten mejorar las propiedades físicas, mecánicas, químicas y térmicas, para hacer más fácil su procesamiento y transformación, a fin de obtener materiales con aplicaciones específicas.

2.4.1. Aditivos

Los aditivos son sustancias, generalmente orgánicas, que se mezclan con los polímeros para mejorar sus propiedades físicas (por ejemplo plastificantes) o químicas (por ejemplo estabilizantes).

Los **plastificantes** son materiales orgánicos pesados que al incorporarse a los polímeros, destruyen parcialmente las interacciones entre las cadenas responsables de la cohesión mecánica, con lo cual se transforma al material inicialmente rígido en flexible.



Efecto de los plastificantes sobre los polímeros

Los **estabilizantes** están destinados a retardar, ralentizar o inhibir los procesos responsables de las alteraciones durante el procesamiento o la utilización del material.

Los principales estabilizantes son los siguientes:

- **Antioxidantes:** Se utilizan particularmente en las polioleofinas (PE, PP), cauchos y diversos copolímeros. Su objetivo es retardar la oxidación térmica en el curso de la utilización y transformación de los plásticos. Usualmente se emplean: fenoles, aminas, mercaptanos y fosfitos.
- **Estabilizantes térmicos:** Se utilizan sobretodo en el caso del PVC, para retrasar o evitar el desprendimiento de ácido clorhídrico (HCl) y la formación de estructuras coloreadas.

- **Estabilizantes a la degradación por radiaciones:** Los principales estabilizantes pertenecen a cuatro familias:
 - * Los pigmentos, en particular el negro de carbono.
 - * Los absorbedores de Ultravioleta (UV), que impiden la penetración de la radiación UV en el seno del polímero.
 - * Los extintores, que desactivan los estados excitados creados por absorción de fotones.
 - * Los estabilizantes polifuncionales, que reúnen en la misma molécula varias funciones estabilizantes (absorber la radiación UV y a la vez, obstaculizar la absorción de fotones).
- **Colorantes:** Para dar una coloración particular al material, se utilizan colorantes solubles en el polímero y pigmentos insolubles que se encuentran dispersados en el seno del mismo. En los procesos de fabricación industrial, se suele utilizar frecuentemente una mezcla concentrada de pigmentos y colorantes para incorporarla luego al conjunto de la materia plástica a ser procesada.
- **Antiestáticos:** Estas sustancias permiten limitar la acumulación de cargas eléctricas en la superficie del polímero. Se suelen utilizar aminas, ésteres y fosfatos.
- **Lubricantes:** Que facilitan el procesado, como por ejemplo los estereatos de zinc o calcio, o las ceras de polietileno.

2.4.2. Refuerzos y cargas

Para mejorar las propiedades mecánicas de los polímeros se añaden diversos tipos de elementos como esferas (de vidrio), fibras (vidrio, carbono, vegetales) y estructuras laminares (mica). Estos materiales así formados constituyen los llamados materiales compuestos de matriz polimérica o también plásticos reforzados.

2.5. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES PLÁSTICOS

2.5.1. Propiedades comparativas

Los materiales metálicos tienen muy buenas propiedades de resistencia mecánica, soportan temperaturas elevadas, conducen el calor y la electricidad, pero sufren corrosión, sus costos de fabricación son elevados y sus densidades son relativamente altas.

Los materiales cerámicos son los que soportan las más altas temperaturas, tienen

muy buena resistencia química, son duros, pero son también frágiles, bastante pesados y sus procesos de fabricación son costosos.

Los materiales plásticos tienen menores resistencias mecánicas que los metales, pero en cambio sus densidades son bastante inferiores, con lo cual pueden ser altamente competitivos en este campo. Tienen, en general, mejor resistencia química que los metales y por eso precisamente se los utiliza en la formulación de pinturas. La mayor parte de ellos son materiales aislantes pero actualmente se han diseñado polímeros conductores con amplias aplicaciones industriales (electrónica, pinturas anticorrosivas). Sus procesos de fabricación son dos y hasta tres veces más baratos que los correspondientes a los metales.

2.5.2. Ventajas y desventajas

Los polímeros son víctimas de su propio éxito... ..

Aunque resulte paradójico, algunas de las propiedades que destacábamos anteriormente como "positivas", pueden resultar también "negativas". Por ejemplo, el hecho de que los polímeros tengan una resistencia química relativamente alta, provoca que no se degraden con facilidad y por tanto pueden permanecer por mucho tiempo en la naturaleza. Su baja densidad es la "culpable" de su mala fama ambiental, ya que esta propiedad los hace mucho más visibles en el medioambiente que otro tipo de materiales (por ejemplo: flotan en el agua de los ríos, en un depósito de basura son los más visibles, etc.).

Ventajas:

- Bajos requerimientos energéticos para la formación de piezas terminadas. Se necesitan temperaturas que en general no superan los 250 °C, en cambio, para la fundición de aluminio se necesita sobrepasar los 600 °C.
- En muchos casos las piezas plásticas terminadas pueden estar listas en un sola etapa de procesamiento, en cambio los metales suelen requerir varias etapas de acabado.
- Las materias primas están disponibles a bajos costos.
- Facilidad en el reciclaje, los procesos de transformación requieren menos energía y son más eficientes.
- Bajos costos de fabricación.
- El desarrollo de la tecnología de los polímeros ha permitido sustituir, en ciertos dominios, a los metales:
 - * En aplicaciones de alta tecnología, por ejemplo en el fuselaje de la aviación comercial y militar, en la construcción de recipientes y tuberías para la industria química, etc.

- * En aplicaciones más sencillas por ejemplo en el diseño de impulsores para pequeños botes, amazones de electrodomésticos que antes usaban metales, etc.

Desventajas:

- Están limitados a temperaturas de aplicación relativamente bajas, comparadas con las que pueden resistir los metales y las cerámicas. Los valores máximos suelen estar alrededor de los 370 °C.
- Pueden ser inflamables.
- Su resistencia al rozamiento y fricción es también relativamente baja.
- Tienen cierta dificultad para ser reparados, sobre todo si se los compara con los metales.

2.5.3. Propiedades físicas

Los plásticos son materiales livianos (de baja densidad), la mayoría de ellos no conducen el calor ni la electricidad, no soportan temperaturas muy elevadas pero tienen buena resistencia al paso del agua y del oxígeno (permeabilidad).

A continuación se presenta una tabla en la que se exponen las principales características de algunos materiales plásticos.

POLÍMERO	DENSIDAD (g/cm ³)	PROPIEDADES TÉRMICAS (°C)			CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (W/m ² K)
		T. máxima corto tiempo continuo	T. máxima continuo	T. mínima	
Polietileno baja densidad	0,914 / 0,928	80 / 90	60 / 75	-50	0,32 / 0,40
Polietileno alta densidad	0,940 / 0,960	90 / 120	70 / 80	-50	0,38 / 0,51
Polipropileno	0,900 / 0,907	140	100	0 / -30	0,17 / 0,22
PVC rígido	1,38 / 1,55	75 / 100	65 / 85	-5	0,14 / 0,17
PVC flexible	1,16 / 1,35	55 / 65	50 / 55	0 / -20	0,15
Poliestireno	1,05	60 / 80	50 / 70	-10	0,18
Polimetil metacrilato	1,17 / 1,20	85 / 100	65 / 90	-40	0,25
Politetra flúor etileno	2,15 / 2,20	300	250	-200	0,21
Policarbonato	1,2	160	135	-100	0,70
Poliéster insaturado	2,0	200	150	--	0,88
Resina epoxi	1,9	180	130	--	--

La **densidad** nos permite conocer cuánto pesa un determinado volumen de material, por ejemplo el hecho de que la densidad del Policarbonato sea de $1,2 \text{ g/cm}^3$ significa que cada cm^3 de policarbonato pesa 1,2 gramos. En el proceso de reciclaje el dato de la densidad nos permite conocer cuál material es más pesado que otro y con ello diferenciarlos o separarlos, por ejemplo, si sumergimos en agua varios plásticos, aquellos que tengan densidad inferior a 1 g/cm^3 flotarán y los que la superen se hundirán.

Un dato muy importante a tomar en cuenta a la hora de seleccionar un material plástico, es el de la **temperatura** (máxima o mínima) a la que va a estar sometido, puesto que la resistencia a este parámetro depende del tipo de plástico que se emplee. Adicionalmente, se debe tomar en cuenta cuánto tiempo el material va a estar sometido a esa temperatura, si el tiempo es corto, podrá resistir temperaturas más altas, por el contrario si el material se encuentra de manera permanente sometido a temperaturas altas, podría degradarse y perder sus propiedades mecánicas e incluso puede llegar a descomponerse.

2.5.4. Propiedades químicas

Los plásticos tienen, en general, buenas propiedades químicas. Muchos de ellos se utilizan para almacenar productos alimenticios, son la base de la formulación de las pinturas que protegen a los metales de la corrosión, etc. No obstante pueden sufrir degradación (como todos los materiales de ingeniería) bajo la acción de diversos factores.

A lo largo del ciclo de vida del polímero (y de su reutilización y reciclaje) se pueden presentar diversos fenómenos que dan lugar a la degradación del material. Este deterioro puede provocar que las cadenas del polímero se rompan y por tanto disminuyan las propiedades mecánicas del material (y se acorte el tiempo de vida útil), es posible también que sean los grupos extremos de la cadena los que se alteren por reacciones químicas, o que los microorganismos "ataquen" los grupos laterales, etc.

El deterioro del material puede ser causado por efectos físicos, entonces se le denomina "**envejecimiento físico**" y puede estar ocasionado por:

- Absorción de solventes
- Absorción de humedad
- Migración de aditivos
- Cambios en la cristalinidad

Si la modificación de las propiedades es ocasionada por reacciones químicas, se trata de un "**envejecimiento químico**". La resistencia química del material depende de las condiciones a las que se encuentra sometido (fundamentalmente tempe-

ratura), la naturaleza del medio en el cual se encuentra inmerso (ácido, básico, oxidante, reductor, orgánico, inorgánico), las concentraciones de los agentes agresivos, entre otras.

Tipos de degradación

A las degradaciones que pueden sufrir los polímeros, las podemos clasificar en los siguientes tipos:

- **Degradación térmica:** Cuando se descomponen por efecto de la temperatura. Por ejemplo el Polimetil metacrilato puede descomponerse hasta llegar a sus monómeros, el Policloruro de vinilo (PVC) puede producir ácido clorhídrico (por eso se le agregan aditivos), etc.
- **Degradación oxidativa:** Debido a la acción del oxígeno y del ozono algunos polímeros pueden fragilizarse, por ejemplo los cauchos.
- **Degradación por radiaciones:** La radiación ultravioleta puede degradar a los polímeros, así por ejemplo, los polietilenos son más resistentes a las radiaciones que el polipropileno.
- **Degradación por sustancias químicas:** Existen ciertas sustancias químicas como los ácidos y las bases que pueden atacar los polímeros y descomponerlos.
- **Biodegradación:** Ciertos microorganismos también pueden atacar a los polímeros, lo que en algunos casos permite que el polímero se descomponga, evitando así que permanezca en la naturaleza por mucho tiempo como agente contaminante.
- **Degradación ambiental:** La combinación de múltiples factores: humedad, radiación ultravioleta, calor, etc., provocan un deterioro de los materiales plásticos.

2.6. USOS

El mayor mercado para los polímeros termoplásticos es el del embalaje y empaquetado, mientras que los polímeros termoestables tienen mayor aplicación en el campo de la construcción, en tanto que el mayor uso de los elastómeros está en el área del transporte.

Las posibles aplicaciones de los plásticos se generalizan en la tabla siguiente:

POLÍMERO	APLICACIONES
	Termoplásticos
	Amorfos
Poliestireno Polimetilmetacrilato Policarbonato PVC rígido PVC flexible	Envases alimenticios, espumas, aislamiento térmico. Ventanas de aviones, lentes, lunas de faros, pinturas. Escudos y cascos protectores, ventanas a prueba de balas, faros. Tuberías, marcos para ventanas, botellas, láminas para empaçado. Zapatos, juguetería, utensilios para medicina como catéteres.
	Semicristalinos
Polietileno de alta densidad Polietileno de baja densidad Polipropileno Politetraflúor etileno Poliamida	Botellas para leche y detergentes, tubería, revestimientos de papel. Bolsas para embalaje, tapas de recipientes. Maletas, tuberías, artefactos eléctricos, embalaje alimenticio y de flores. Revestimiento para utensilios de cocina, cojinetes, aislantes. Tuberías, textiles, vestimenta, cojinetes, engranajes.
	Termoestables
Epoxi Melamina Poliéster insaturado	Adhesivos, revestimientos para la industria alimenticia, química, construcción. Superficies resistentes al calor en cocinas y hornos. Paneles para automóviles (con fibra de vidrio), utensilios domésticos.
	Elastómeros
Polibutadieno Caucho natural Caucho de silicona	Neumáticos, sellantes. Neumáticos. Sellantes, mangueras para medicina, pinturas.

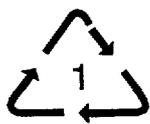
2.7. RECONOCIMIENTO E IDENTIFICACIÓN

Tanto quienes se dedican al procesado de materiales plásticos como los usuarios de productos acabados, sean estos a nivel doméstico o los encargados del reciclaje, necesitan conocer o determinar la naturaleza química del material con el que trabajan, para lo cual se requiere conocer las características de los distintos tipos de plásticos, a fin de poder identificarlos adecuadamente sin recurrir a los análisis complejos que deben realizar quienes tienen a su cargo labores de control de calidad y peritaje.

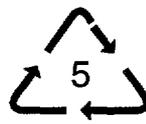
¿Cómo facilitar la selección de los materiales plásticos?

Dentro de un proceso de reciclaje, resulta **crucial** la selección previa del material que va a ser procesado. Una adecuada separación preliminar determinará que los productos obtenidos sean de buena calidad y disminuirá las dificultades de su procesamiento, por lo que un aspecto fundamental es la experiencia que han desarrollado las personas encargadas de la separación de los plásticos. A continuación se presentan algunas directrices que pueden ayudar a la identificación de los distintos tipos de plásticos:

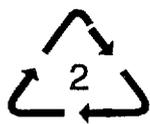
A) La Sociedad de Industrias del Plástico (SPI) ha desarrollado voluntariamente unos códigos para identificar a los plásticos que se utilizan como recipientes y contenedores, los cuales generalmente están localizados en la base de los recipientes. Estos códigos son:



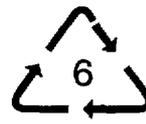
Poliéster tereftalato



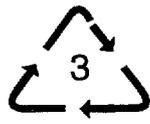
Polipropileno



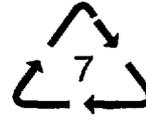
Poliéster de alta densidad



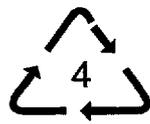
Poliéstereno



Policloruro de vinilo



Otros



Poliéster de baja densidad

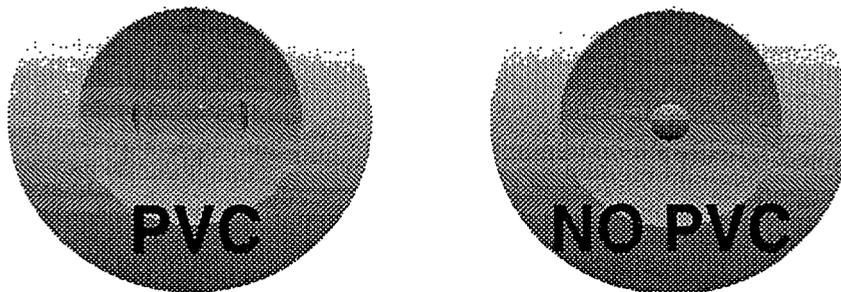
Esta es una buena indicación que permite fácilmente discriminar un plástico de otro. Sin embargo presenta algunas dificultades, como por ejemplo, no contempla otro tipo de especificaciones sobre el procesamiento del plástico o los aditivos utilizados. Los grupos ISO están trabajando actualmente en un código de seis dígitos que permitirá obtener una información más completa.

Cabe notar que muchos fabricantes no siguen exactamente las normativas anteriores, algunos sólo indican el número (sin poner el nombre del polímero), otros utilizan las siglas en castellano, otros cambian las siglas, etc.

B) De acuerdo a la marca comercial de los productos que contienen o al material que se trate, se puede conocer el tipo de plástico, así por ejemplo:

- Si se trata de bolsas de supermercado que "crepitan", el material será polipropileno (PP), si no lo hacen puede ser polietileno (PE).
- En bolsas transparentes que crepitan, utilizadas para envolver fideos y diversos productos fritos (Chifle cervecero, Tortolines, Jalapeños, Tostitos, etc.), también se usa polipropileno (PP).
- Los recipientes para microondas son de polipropileno (PP).
- En bolsas para empaquetar pañales desechables y para fabricar algunas tapas para recipientes (las más flexibles), se usa polietileno de baja densidad (LDPE ó PEBD).
- Para guardar alimentos en forma de polvo (Chocolito, Nesquik) se suele usar polietileno de alta densidad (HDPE ó PEAD).
- Las botellas grandes y opacas para agua (de aproximadamente 5 litros) son de polietileno de alta densidad. (HDPE ó PEAD)
- Recipientes para limpieza (Woolite, Mimosín, Suavitel, Ajax) son de polietileno de alta densidad (PEAD), aunque otros prefieren el polipropileno (PP), por ejemplo los productos de limpieza de la serie Klin (por ejemplo: Pinoklin).
- Si son recipientes transparentes para gaseosas (Coca Cola, Fioravanti, etc.), o agua mineral de pequeña capacidad (Fontana, Agua Linda, Pure Water, etc.), generalmente se trata de polietilén tereftalato (PET ó PETE).
- Los recipientes para aceites comestibles (La Favorita), se fabrican con polietilén tereftalato (PET ó PETE).
- La marca Johnson & Johnson usa policloruro de vinilo (PVC) para envasar sus shampoos y Baby aceite, estos recipientes son transparentes. Para el caso de aceites cremosos, se usan recipientes no transparentes de polietileno de alta densidad (HDPA ó PEAD).
- Las tuberías para alcantarillado y algunos tipos de recipientes (como limpiavidrios Easy-Off) son de policloruro de vinilo (PVC).
- Las bandejas en las cuales se envasa carne o pescado (espumas) son de poliestireno (PS), de igual manera lo son las tapas que se colocan a los vasos de cartón en los cuales se expenden las bebidas gaseosas.
- Los vasos plásticos transparentes más rígidos y frágiles, son de poliestireno (PS), mientras que los más flexibles pueden ser de poliestireno de "choque" (polímero reforzado) o de polietileno (PE).

- Los recipientes pequeños para yogurt (Toni, Alpina) son de poliestireno (PS), pero en los recipientes más grandes se usa polietileno de alta densidad (PEAD ó HDPE).
- Los textiles sintéticos se fabrican con poliésteres lineales o con nylon (PA).
- En los casos en los cuales la apariencia del material es similar, se los puede diferenciar por la manera como han sido fabricados, así por ejemplo, las botellas de polietilén tereftalato (PET) y de policloruro de vinilo (PVC) suelen ser transparentes (las de PVC algo más azuladas), pero si se observa la forma de la base, se puede notar la diferencia entre un material y otro (producto de su método de fabricación).



C) Si quedan dudas sobre el tipo de material que se tiene, o si se quiere precisar mejor los resultados, se puede seguir el procedimiento que se indica a continuación, el cual permite identificar materiales termoplásticos:

1. Corte una pequeña pieza de material y sumérgjala en agua destilada (es esencial que la pieza sea sólida y que no se adhieran burbujas de aire en su superficie). Si la pieza flota, continúe hasta el punto 2, si ella se hunde vaya al punto 3.
2. Es probable que el material sea una polioleofina (polietileno, polipropileno) las cuales tienen una densidad menor que el agua. Para diferenciarlas entre ellas, se puede sumergir el pedazo de material en una solución compuesta por 62 partes de metanol y 38 partes de agua. Si el material flota se trata de polipropileno, si no lo hace es polietileno (algunas veces el polipropileno puede estar reforzado con partículas, en cuyo caso será menos translúcido que lo habitual y podría tener una densidad mayor). El polietileno de alta densidad es más rígido, en cambio el de baja densidad es más flexible.
3. Coloque un pedazo pequeño de la muestra sobre un mechero (es preferible usar una espátula para realizar esta prueba). Retire la muestra de la llama. Si la muestra no se ha quemado, vaya al punto 4, en caso de que deje de quemarse en 10 segundos, vaya al punto 5 y si continúa quemándose vaya al punto 6.

4. El material probablemente es politetra flúor etileno (PTFE), también conocido como teflón y se trata de un plástico que se mantiene estable hasta los 250 °C.
5. Si el material se quema, pero su llama se extingue cuando se le remueve de la llama:
 - 5.1. Si la llama es amarilla con una base verdosa y un olor acre (picante), puede tratarse de policloruro de vinilo (PVC). Para verificarlo, caliente un alambre de cobre en la llama y perfora la pieza del plástico. Vuelva a poner el alambre en el mechero, un color verde en la llama indica la presencia de cloro y por tanto se confirma que se trata de PVC.
 - 5.2. Si la llama es de color azul-amarillenta, el olor le recuerda a la vegetación quemada y la muestra se funde, obteniéndose un fluido viscoso, se trata entonces de una poliamida (PA) como el nylon.
6. En caso de que el material continúe quemándose después de ser removido de la llama, ponga atención a la presencia o ausencia de humo. Si se quema sin producir humo entonces vaya a 7, si al quemarse produce humo, vaya a 8.
7. Cuando el material se quema y no produce humo:
 - 7.1. Si la llama es de un azul-pálido, puede tratarse de un poliacetal (POM).
 - 7.2. Si la llama es amarilla con una base azul y el olor es dulce, entonces se trata de polimetil metacrilato (PMMA).
8. Si el material se quema expeliendo humo:
 - 8.1. Si existe dificultad inicial en quemarse, lo hace con una llama amarilla y luego de la combustión deja una gran cantidad de residuo carbonoso, entonces se trata de policarbonato (PC).
 - 8.2. Si el material se quema con una llama amarilla con base azul y produce mucho humo se trata de poliestireno (PS). Cuando el material tiene una apariencia rígida, de sonido metálico al golpearla, se trata de poliestireno "simple", si en cambio es flexible se trata de poliestireno llamado de "choque" (que tiene un refuerzo). Si el olor de la combustión es acre, entonces puede tratarse de acrílico butil estireno (ABS).

D) Identificación y caracterización más exhaustiva

La identificación y caracterización completa y detallada de un material plástico generalmente es un problema muy complicado, que requiere el concurso de personal calificado y de instrumentación algo sofisticada.

Se puede clasificar a los tipos de ensayos utilizados para la identificación y caracterización en dos grupos: preliminares y específicos.

a) Ensayos preliminares

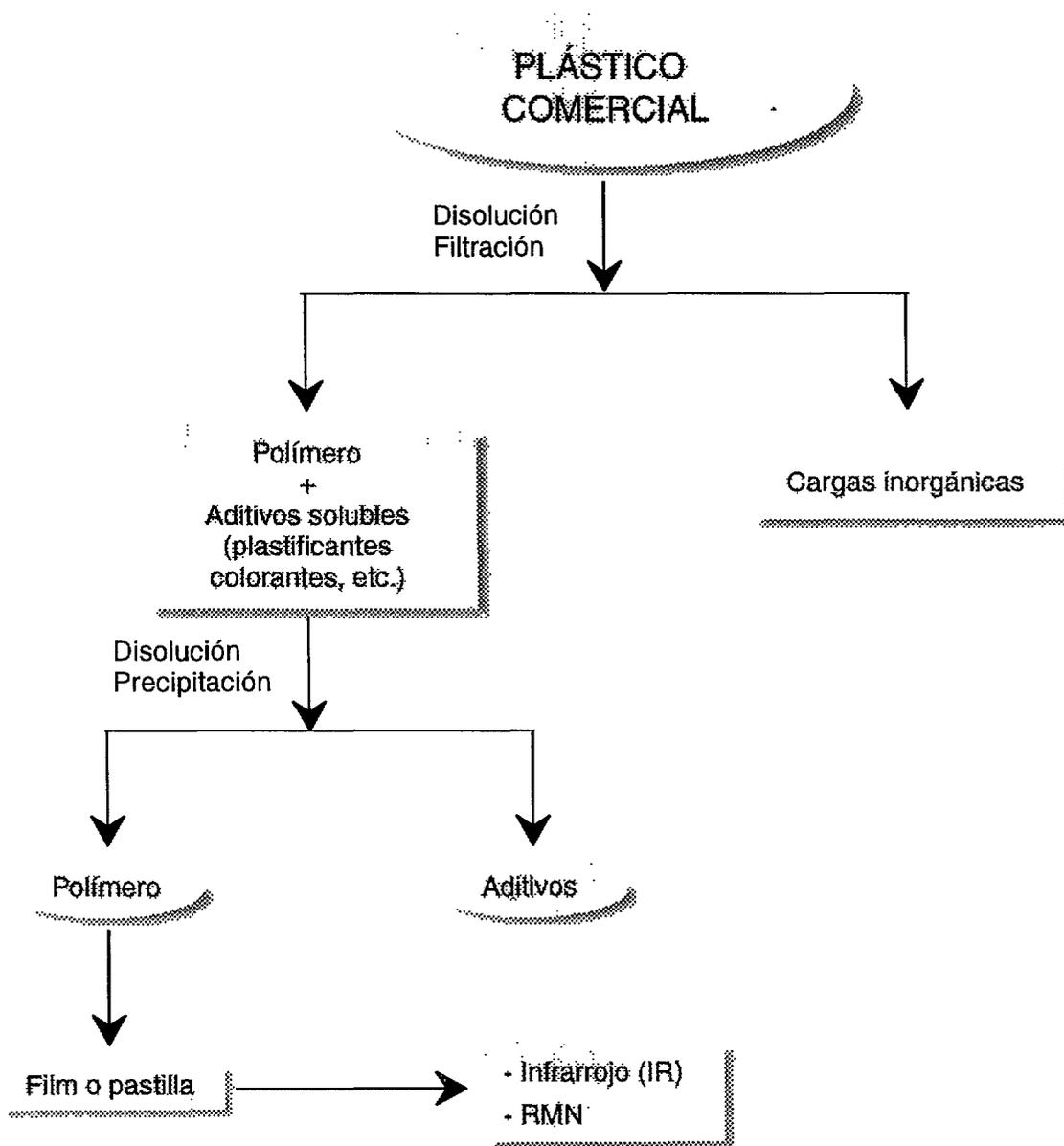
Estos ensayos permiten identificar de manera más o menos sencilla algunos plásticos y conocer sus características más generales, dentro de este grupo están:

- Pruebas de combustión
- Ensayos de solubilidad
- Determinación de propiedades físicas: densidad, punto o intervalo de fusión, punto de reblandecimiento, índice de refracción, viscosidad en solución.
- Detección cualitativa de heteroelementos tales como: halógenos, nitrógeno, azufre y flúor.

b) Ensayos específicos

A fin de identificar de manera precisa a los plásticos, determinar sus componentes y el porcentaje en que se encuentran presentes, así como conocer con más detalle su microestructura y sus propiedades más importantes, se llevan a cabo diferentes ensayos más específicos, tales como:

- Ensayos mecánicos: de tensión, flexión, dureza e impacto
- Ensayos instrumentales, para los cuales se requiere separar previamente los componentes del material plástico y luego caracterizar por separado cada uno de sus elementos, de acuerdo con el siguiente esquema:



La identificación del polímero puede realizarse mediante Espectroscopía de Infrarrojo (IR) o Resonancia Magnética Nuclear (RMN). Su masa molecular puede determinarse mediante Cromatografía de Permeabilidad en Gel (GPC). La cantidad de cargas puede calcularse mediante Termogravimetría. Las propiedades térmicas pueden ser observadas mediante un calorímetro diferencial de barrido. También se pueden combinar diversas técnicas, como por ejemplo la cromatografía de gases con la técnica del infrarrojo, lo cual potencia el análisis de los resultados.

Para el caso del reciclaje de plásticos, interesa en principio una identificación lo más rápida posible (sin olvidar la economía), por ello se destacan dos tipos de ensayos preliminares: los ensayos a la llama y las pruebas de solubilidad.

i) Ensayos a la llama

Para llevar a cabo este ensayo se puede utilizar una pequeña cantidad de muestra, que se mantiene con una espátula o pinza sobre los bordes de un mechero a gas. Si la muestra no se enciende inmediatamente se debe mantener en la llama durante unos pocos segundos y entonces retirarla. Deben observarse las siguientes características:

- Facilidad o dificultad de ignición o encendido.
- Si la llama es o no autoextinguible, es decir si luego de retirarla del mechero sigue ardiendo o no.
- Las características de la llama: su color, sus bordes.
- El comportamiento de la muestra, es decir si se hincha, reblandece, funde, hace carbón, o deja residuo.
- El olor de cualquiera de los humos (**pero con muchísima precaución**).

En las tablas que se presentan a continuación, se describe las características más relevantes que pueden apreciarse cuando se somete a la acción de la llama a los polímeros que se utilizan con mayor frecuencia.

**POLÍMEROS QUE CONTIENEN SOLAMENTE CARBONO E
HIDRÓGENO O CARBONO, HIDRÓGENO Y OXÍGENO**

Calidad de ignición	Características de la llama	Comportamiento físico del material	Características del olor	Tipo probable de polímero
Difícil	Llama amarilla-naranja con humo negro. Continúa ardiendo.	Reblandece, funde, llega a hacerse relativamente móvil, deja bolitas duras deformadas.	Dulce, ligeramente aromático.	Poliéster tereftalato (PET ó PETE)
Moderada	Llama amarilla con base azul; muy poco humo y de color blanco. Continúa ardiendo.	Funde y fluye fácilmente.	Olor a parafina quemada (a velas encendidas)	Poliétileno (PE)
Moderada	Llama amarilla con base azul. Continúa ardiendo.	Funde, se pone transparente y fluye fácilmente.	Olor a geranios.	Polipropileno (PP)
Moderada	Llama amarilla con humo grisáceo. Continúa ardiendo.	No funde fácilmente, reblandece, arde continuamente.	Irritante o ligeramente a asfalto.	Poliéster
Moderada-fácil	Humo amarillo grisáceo. Continúa ardiendo.	Funde, a veces la llama chisporrotea.	No tiene olor característico.	Epóxidos
Fácil	Llama amarilla o naranja con mucho hollín. Continúa ardiendo.	Reblandece, pero no fluye.	Dulce y característico.	Poliestireno (PS)
Fácil	Llama amarilla oscura con cantidades moderadas de humo. Continúa ardiendo.	Reblandece, pero no fluye.	Vinagre, vapores de ácido acético, un poco picante.	Poliacetato de vinilo

POLÍMEROS QUE CONTIENEN CARBONO, HIDRÓGENO (OXÍGENO) Y NITRÓGENO

Facilidad de encendido	Características de la llama	Comportamiento físico del material	Olor característico	Tipo probable de polímero
Muy difícil, la sustancia no arde ni se inflama, pero se carboniza progresivamente y se descompone.	Llama ligeramente amarilla. Autoextinguible.	Mantiene la forma pero puede hincharse y fracturarse.	Formaldehído, seguido de un olor a pescado.	Melamina formaldehído
Muy difícil, la sustancia no arde ni se inflama, pero se carboniza progresivamente y se descompone.	Llama amarilla - naranja. Autoextinguible.	Mantiene la forma pero puede hincharse y fracturarse.	Fomaldehído solamente (parecido a la orina).	Úrea formaldehído
Difícil	Llama amarilla. Autoextinguible.	Funde para dar gotitas.	Vegetales quemados, apio, cuerno quemado.	Poliamidas (Nylon) (PA)
Fácil	Llama amarilla - naranja. Continúa ardiendo.	Funde y fluye fácilmente.	Olor a ácido cianhídrico, madera quemada.	Poliuretanos (PUR)

POLÍMEROS QUE CONTIENEN CARBONO, HIDRÓGENO Y HALÓGENO (FLÚOR O CLORO)

Facilidad de encendido	Características de la llama	Comportamiento físico del material	Olor característico	Tipo probable de polímero
Muy Difícil	Humo amarillo-gris. Autoextinguible.	Reblandece, no fluye.	Muy ligero, pero picante.	Politetra flúor etileno (PFTE)
Difícil	Bordes amarillo-verdosos claros. Auto extinguible.	Obscurece desde el amarillo, al rojo hasta el marrón y el negro. Al final es un material duro y negro.	Vapores ácidos, picantes (HCl).	Policloruro de vinilo (PVC)
Difícil	Arde con llama verde clara. Autoextinguible		Olor a goma quemada.	Cloropreno (Neopreno)

ii) Ensayos de solubilidad

Para hacer un ensayo de solubilidad se toma aproximadamente 0,1 g del material plástico (de ser posible dividido en trozos pequeños) y se lo coloca en un tubo de ensayo con 5 a 10 ml de solvente. Durante el transcurso del tiempo (puede tardar un par de horas) el tubo se agita de vez en cuando y se observa el posible hinchamiento de la muestra. Si se considera necesario, el tubo se puede calentar ligeramente **pero con muchísimo cuidado**. Se puede analizar las solubidades a través de la tabla siguiente:

POLÍMERO	SOLUBLE EN:	INSOLUBLE EN:
Poliétileno (PE)	Di-cloroetileno, hidrocarburos aromáticos en caliente	Alcoholes, ésteres (solventes polares)
Polipropileno (PP)	A altas temperaturas: hidrocarburos aromáticos y clorados	Alcoholes, ésteres
Poliestireno (PS)	Hidrocarburos aromáticos y clorados, metil etil cetona	Alcoholes, hidrocarburos alifáticos
Politetra flúor etileno (teflón) (PTFE)	Aceite de flúorcarbonos en caliente	Todos los disolventes
Policloruro de vinilo (PVC)	Dimetil formamida, tetrahidrofurano	Alcoholes en general, acetato de butilo, hidrocarburos
Polimetil metacrilato (PMMA)	Hidrocarburos aromáticos, hidrocarburos clorados, ésteres, cetonas	Eter etílico, alcoholes, hidrocarburos alifáticos
Polisopreno	Benceno, tolueno	Alcoholes, cetonas, ésteres, ciclohexanona
Poliétilén tereftalato (PET)	Cresol, ácido sulfúrico concentrado	
Policarbonato (PC)	Hidrocarburos clorados, ciclohexanona	Alcoholes, hidrocarburos alifáticos
Poliámidas (nylon) (PA)	Fenoles, ácido fórmico, ácidos minerales concentrados	Alcoholes, ésteres, hidrocarburos

CAPÍTULO 3

ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO ÓPTIMO DE LOS PLÁSTICOS ¿Cómo mejorar su uso?

*Un kilogramo de prevención
vale más que una tonelada de remedio.*

B. Franklin

La disponibilidad cada vez menor de los recursos naturales ha comenzado a concienciar al ser humano sobre la necesidad del ahorro. Se busca entonces, aprovechar al máximo todas las posibilidades de aplicación de los materiales durante su período de vida útil y una vez que ésta ha finalizado su ciclo. No se debe olvidar que el desarrollo industrial está íntimamente ligado al desarrollo económico-social y tiene además, una especial influencia en el ecosistema del planeta.

3.1. CICLO DE VIDA DE UN MATERIAL

La materia prima es uno de los elementos fundamentales de un proceso tecnológico. Determina, en grado considerable, su rentabilidad, la técnica de producción y la calidad final del producto. Se denomina materia prima a los materiales que se utilizan en la fabricación de productos industriales. Esta materia prima, una vez sometida a un proceso de transformación industrial, se la denomina semiproducto, producto semiacabado o material básico.

Algunas industrias químicas utilizan, en calidad de materia prima, desechos y productos secundarios de otras industrias, de esto se trata el **reciclaje**.

La utilización de diversos elementos y sustancias como materias primas depende del valor de aquellas para la economía nacional, así como de su contenido en la corteza terrestre, su accesibilidad para la extracción y del carácter de los compuestos del elemento en cuestión. Todos son índices relativos y varían con el transcurso del tiempo.

El valor de la materia prima depende del nivel de desarrollo de la técnica. Por ejemplo, en tiempos pasados, muchos metales raros no tenían aplicación alguna, ahora se los usa como semiconductores; hace cuatro décadas el uranio no era sino un desecho molesto al obtener el elemento radio, pero ahora se constituye en la base de la tecnología atómica.

La accesibilidad para la extracción se determina principalmente por la situación geográfica de los yacimientos, la concentración de la sustancia útil y la profundidad a la que se encuentra el estrato de la materia prima deseada. Por ejemplo, el titanio está presente en porcentaje mucho más alto que el carbono, pero se encuentra más disperso, lo que dificulta su extracción.

La capacidad de producir materiales está estrechamente ligada a los recursos naturales que dispone la humanidad y a la posibilidad de **reciclaje** de los desechos. Los **recursos** de un elemento están constituidos por la cantidad de este elemento que está disponible en la corteza terrestre, los océanos y la atmósfera, los que podrían ser extraídos en el futuro. Lo que implica que no todos estos recursos son utilizables en el presente o en el futuro inmediato. La parte de los recursos que es actualmente susceptible de una explotación económica se llama **reserva**.

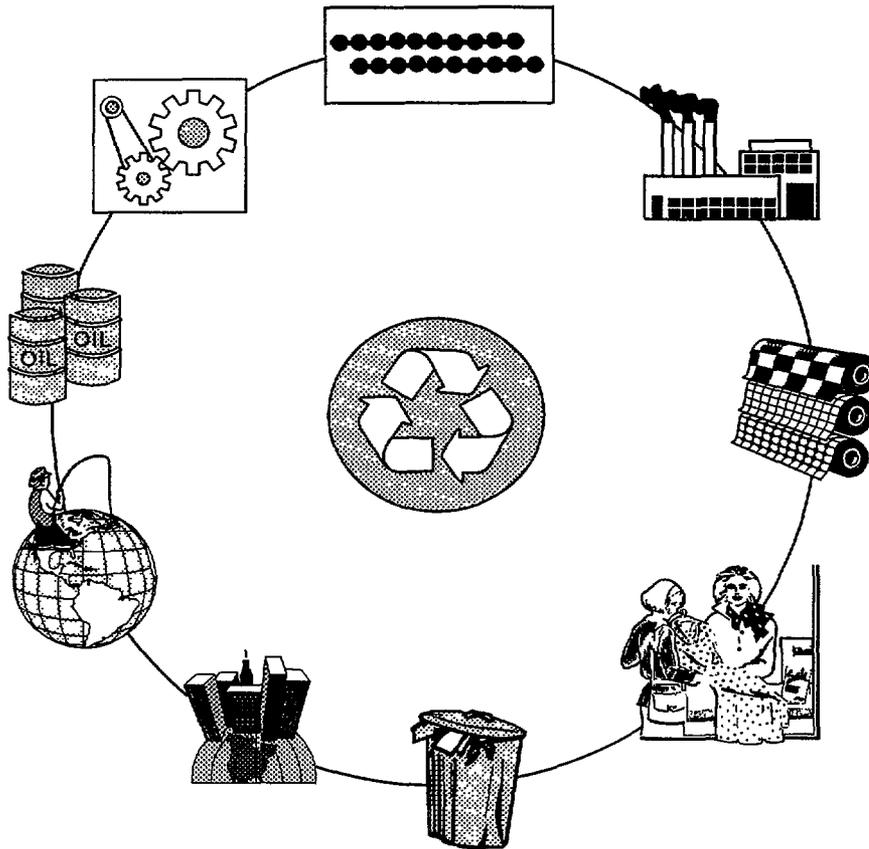
El límite entre los dos conceptos está condicionado por el conjunto de factores económicos y tecnológicos ligados a su explotación (por ejemplo los petróleos pesados), mismos que varían con el transcurrir del tiempo y dependen de las estrategias económicas tanto de los gobiernos como de los grandes grupos industriales.

Desde el punto de vista energético los materiales orgánicos están particularmente favorecidos porque la energía necesaria para su síntesis (obtención) y transformación (en producto acabado) es bastante menor que la necesaria para el caso de los metales y cerámicos.

En un mundo como el nuestro, es prácticamente inevitable la producción de sustancias de desecho y polución (contaminación): los alimentos se convierten en residuos, los autos en chatarra, las canteras y minas en tierras abandonadas, los dispositivos de combustión y las chimeneas industriales arrojan humo y provocan lluvia ácida. Por ello es necesario, entre otras cosas, ser más selectivo en el uso de los recursos disponibles, ahorrar energía mediante la utilización de materiales más livianos en los medios de transporte, por lo que los plásticos pueden jugar un papel muy importante en este aspecto.

¿Cómo lo viejo pasa a ser nuevo? ¿De qué manera un plástico usado se transforma en material nuevo?

En términos técnicos se hace referencia a una gestión medioambiental integrada, cuando además de tener un proceso productivo limpio, se reintroducen materias primas de gran valor en el proceso de producción y se toman todas las medidas del caso para no contaminar el ambiente.



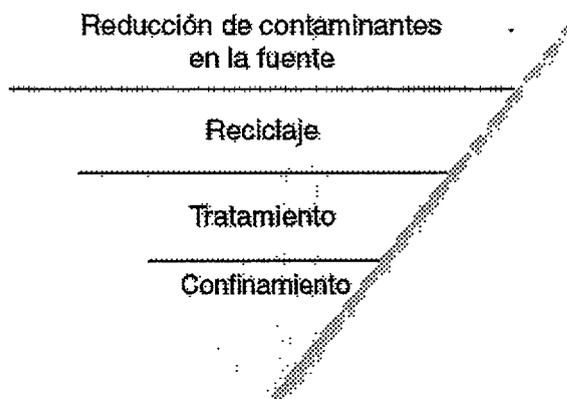
Ciclo de vida de un material

3.2. DISMINUCIÓN DE LA GENERACIÓN DE RESIDUOS INDUSTRIALES

Todas las industrias generan residuos en mayor o menor medida, por lo cual es indispensable que se apliquen las medidas de prevención y control de la contaminación adecuadas de acuerdo a su caso.

La prevención de la contaminación requiere de estrategias tendientes a disminuir y, de ser posible, eliminar la generación de residuos y la liberación de contaminantes al ambiente. Esto implica la adopción de medidas para lograr la disminución y la eliminación de los residuos en la propia fuente en donde se generan, antes de aplicar prácticas de control y tratamiento.

Una estrategia que actualmente se trata de implementar es la denominada "triángulo invertido" y que se puede apreciar en la figura siguiente. Se trata de que el volumen de residuos que se destina para el confinamiento o depósito final (vertederos) sea cada vez más pequeño y que las posibilidades de reutilización y reciclaje se amplíen mucho más.



Estrategia para el manejo de residuos

Esta estrategia implica entonces, que *la solución a los residuos generados por una empresa debe comenzar por la eliminación de los mismos en su lugar de origen*. Si técnica y económicamente no es posible llevar a cabo lo anterior, entonces se debe tratar de reciclar los materiales, si esto a la vez no es posible, entonces se debe intentar reducir su volumen y/o toxicidad, dentro de un marco técnica y económicamente viable. Por último, si después de haber aplicado las tres alternativas anteriores todavía se tienen residuos, éstos deben confinarse de una manera responsable y confiable, a fin de evitar que más adelante vayan a contaminar el suelo o acuíferos subterráneos.

Muchas empresas solamente conocen y aplican sistemas que controlan la contaminación (es decir, todos aquellos procesos o tratamientos que reducen el volumen o

toxicidad de un contaminante, o lo transportan de una forma menos manejable a otra más manejable) y poco o nada conocen sobre la *prevención de la contaminación*, esto es, la reducción máxima de la generación de un residuo en su fuente, dentro de un marco técnico-económico apropiado.

La prevención de la contaminación produce ahorro al reducir la generación de residuos. *Un residuo es, generalmente, una materia prima que no la hemos sabido utilizar apropiadamente.*

RESIDUO = COSTO

3.3. TECNOLOGÍAS LIMPIAS

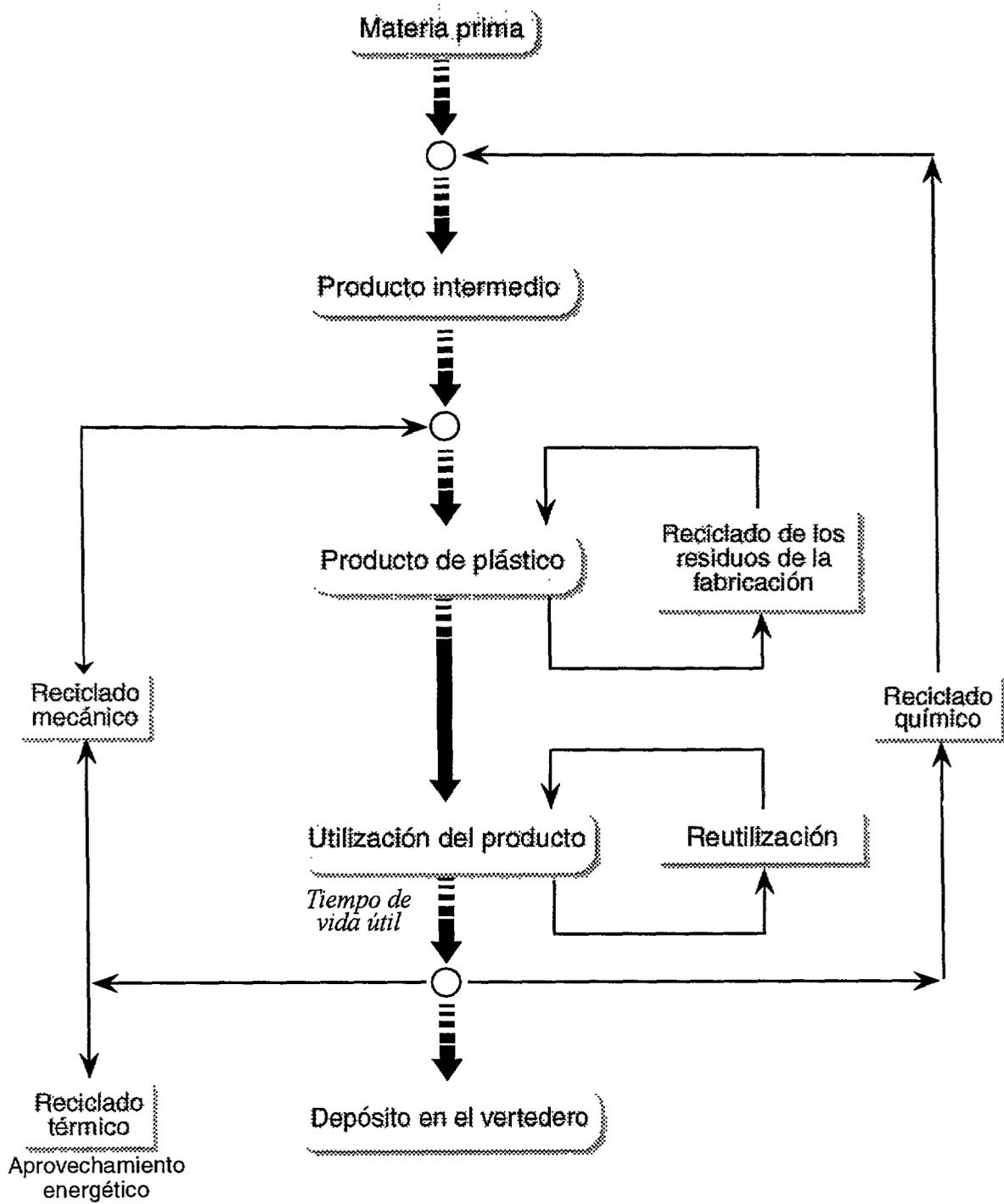
El reducir la cantidad de residuos que se generan durante el proceso industrial es un esfuerzo importante, pero no es suficiente, se debe tomar en consideración todo el CICLO DE VIDA de un material y actuar sobre cada una de sus etapas, optimizando la cantidad de recursos empleados y aprovechando al máximo las posibilidades de uso de los productos desarrollados.

Los mecanismos más frecuentemente utilizados para cumplir con estos objetivos son:

- Sustituir el uso de materiales desechables, por materiales más duraderos y reutilizables, es decir abandonar la política de: USAR Y TIRAR.
- Reducir el número de envases (por ejemplo: usando recipientes de mayor capacidad o evitar envases innecesarios) y diseñarlos de tal modo que puedan ser reutilizados o que ocupen un menor volumen en su confinamiento en un vertedero.
- Emplear procesos industriales más eficientes, por ejemplo, la industria química puede beneficiarse del desarrollo investigativo de los catalizadores (materiales que aceleran las reacciones químicas) permitiendo obtener sólo aquellos productos que deseamos y que disminuyen la cantidad de recipientes y tanques necesarios para realizar los procesos industriales.
- Establecer políticas de cobro por la generación de residuos y por el destino final de los recipientes, así como de estímulos tributarios para quienes produzcan menos desperdicios.

En la industria de los materiales plásticos, existe una gran potencialidad de optimización de sus etapas de producción y transformación, a través de la reutilización y el reciclaje, esto puede apreciarse a través de la figura siguiente:

ESQUEMA DE LA PRODUCCIÓN DE MATERIALES PLÁSTICOS Y LAS POSIBILIDADES DE SU REUTILIZACIÓN Y RECICLAJE



Las industrias de transformación de materiales plásticos

En el Ecuador, la gran mayoría de industrias del sector plástico, parten de materias primas elaboradas en otros países y su labor consiste en transformar estas materias primas en productos o piezas. A este tipo de industrias se las denomina *industrias de transformación de plásticos*.

Los procesos de transformación de los plásticos, están en el grupo de las industrias que pueden considerarse como de las más limpias, ya que generan muy poca cantidad de desperdicios sólidos y los volúmenes de líquidos y gases producidos son prácticamente despreciables o su incidencia en el medio ambiente resulta mínima.

Además, anualmente la industria del plástico recicla varios miles de millones de kilogramos de termoplásticos procedentes de los "restos" (o "retazos") que quedan luego de recortar las piezas plásticas en la dimensión y forma que se desea, de acuerdo con su diseño final, a esta operación se le denomina, *re-granulado*. Este material está relativamente limpio y generalmente formado por un sólo polímero; los recortes se recolectan y después se densifican o se trituran para mezclarlos con materia prima virgen y de esta manera volverlos a procesar.

En la industria de la transformación de materiales plásticos para la obtención de piezas, existen varios parámetros específicos que se deben considerar para poder llegar a obtener productos finales óptimos:

- Diseño óptimo del producto
- Selección apropiada del proceso de transformación y optimización del mismo

3.3.1. Diseño óptimo del producto

Para implementar un programa de prevención de la contaminación a largo plazo, el diseño del producto es el punto de partida. El correcto diseño de una pieza de plástico incluye, no solamente cumplir con las especificaciones de uso, esto es, considerar las fuerzas a las que será sometida, las condiciones ambientales de su utilización, las normativas y las necesidades del mercado, sino también, dar soluciones innovadoras que permitan que el mismo presente un mínimo impacto ambiental.

- i. El primer aspecto que se debe considerar para alcanzar un diseño óptimo es la *selección del material* con el que se va a construir la pieza.

Los constituyentes tóxicos o contaminantes deben ser eliminados, por ejemplo, si se sustituyen los aditivos que contienen metales pesados (Cr, Pb, Cd) por otros de composición menos nociva, esto puede evitar el tratamiento especial

que debe darse a los residuos que resultan de la incineración de desechos en las plantas destinadas para el efecto. Otro ejemplo es el de sustituir los plastificantes que se han calificado como riesgosos, por otros más seguros; puesto que bajo ciertas condiciones, pueden migrar del material plástico hacia el medio ambiente o incluso hacia el usuario, con los peligros para la salud que esto representa.

El creciente desarrollo que han experimentado los materiales plásticos durante los últimos 50 años, ha permitido el apareamiento de nuevos materiales con propiedades mejoradas, en todo caso, siempre es necesario tener una concepción global del ciclo de vida del material desde la extracción de la materia prima hasta su elaboración, transporte, consumo y finalmente su eliminación.

Se tiende, en principio, a fabricar materiales más duraderos, es decir que resistan el paso del tiempo, las inclemencias del clima y los ambientes industriales o de utilización. Si estos materiales resisten tanto, entonces pasará mucho tiempo hasta que deban ser retirados o reemplazados, ello implica disminuir la necesidad de producción de los mismos. Otro aspecto importante es obtener materiales que puedan ser reutilizados, es decir, que una vez utilizados se sometan a una operación de limpieza y puedan estar en condiciones de prestar servicio nuevamente.

- ii. Para facilitar el reciclaje es preferible que los productos que se construyen sean de un *mismo material*, porque así se consiguen productos de mejor calidad y se evita que se produzcan mezclas indeseables en el proceso de transformación de los materiales.

Pero en muchas ocasiones, los productos finales se fabrican con mezclas de plásticos de diferente naturaleza, entonces, para que su reciclaje sea posible, el diseño de cada una de sus piezas debe considerar este aspecto. Para ello, los productos terminados deben estar contruidos de tal manera que puedan ser reparados y desmontados con facilidad. Lo primero permite alargar el tiempo de vida útil del producto y lo segundo ayuda en el proceso de clasificación de los materiales, previo a su reciclado. En el desmontaje por ejemplo, éste resulta más sencillo, si los adhesivos que se emplean para pegar rótulos o etiquetas en los envases, se pueden eliminar con facilidad en las etapas de limpieza.

Pero también es posible evitarse esta etapa de desmontaje, siempre que los materiales empleados sean *compatibles* entre sí, es decir que al mezclarse formen materiales que puedan ser aprovechados, por ejemplo las tapas de aluminio sobre recipientes plásticos, deberían ser substituidos por tapas de polietileno de baja densidad, en las botellas construidas con polietileno de alta densidad.

- iii. Otro aspecto a ser considerado es la *cantidad* de material que se emplea en la fabricación de los objetos; mientras menor sea la cantidad que se emplea,

menor será el gasto de energía y de recursos empleados en la fabricación y en su transporte, disminuirán también, por otra parte, los desechos que pudiesen generarse.

En el sector del empaquetado y embalaje, los materiales plásticos ofrecen un gran atractivo técnico y comercial, puesto que con poca cantidad de material pueden cumplir perfectamente sus objetivos. Cada vez se va consiguiendo disminuir la cantidad de material necesario, por ejemplo, para almacenar un litro de leche sólo se necesitan 7 gramos de polietileno, compárese con los 640 gramos que se requieren si el recipiente es de vidrio.

- iv. Cuando se piensa en diseñar una pieza, es necesario establecer *la forma y las dimensiones que ésta debe tener*. Estas características deben responder, en primer lugar a las condiciones de uso a las que va a ser sometido el material o la pieza. No obstante, no debemos olvidar que el material posteriormente debe ser reutilizado, reciclado o vertido en un depósito, pues de la manera como se realice el diseño del producto dependerá que estos procesos se faciliten o dificulten.

Por ejemplo, en varios países se diseñan botellas plásticas cuyo cuerpo central tiene forma de anillos concéntricos, de manera que una vez vaciado su contenido, esta forma geométrica permite la compactación manual y por lo tanto sencilla, del material.

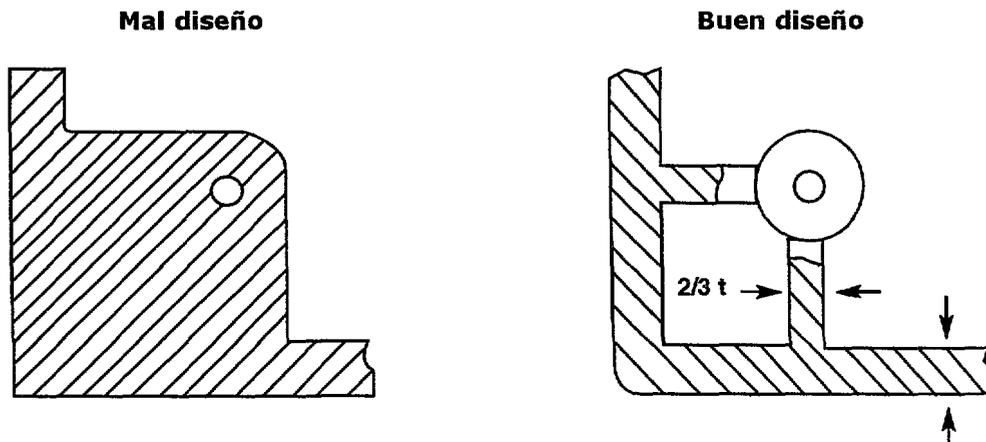
En cuanto a los espesores de los envases plásticos, en los últimos 20 años, éstos se han venido reduciendo hasta en un 50 %, gracias a una mejoría en la calidad de los polímeros y de los aditivos utilizados. El espesor del recipiente se lo calcula en base a la cantidad de sustancia que se requiere almacenar, las condiciones de presión, temperatura, etc. Pero tampoco debe olvidarse el *método de fabricación de la pieza*, es decir, se debe pasar de la etapa de "¿qué es lo que quiero hacer?" a la de "¿cómo lo puedo fabricar?". Muchos diseños de piezas que pueden ser "atractivos" en el papel pueden resultar imposibles de ser llevados a la práctica por razones de fabricación.

Entonces, a la hora de definir el espesor de un material, se debe también tomar en cuenta los siguientes factores: las tensiones de moldeo (las fuerzas que se ejercen cuando la pieza toma forma en un molde) y la uniformidad de la pieza, puesto que si el material tiene una forma con diferentes espesores a lo largo de su geometría, las transiciones de una sección a otra deben mantenerse uniformes y suaves, eliminando "brusquedades", para obtener un mejor flujo de material y por lo tanto fabricar una pieza con mejores características, más resistente y por ende más durable.

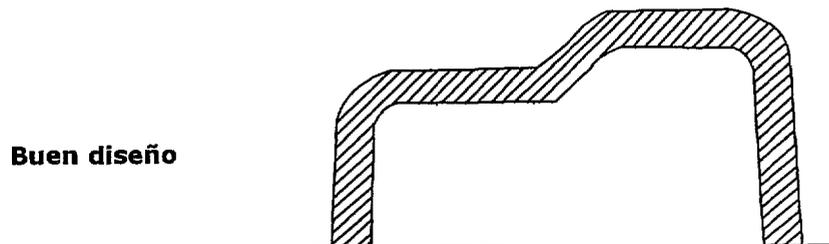
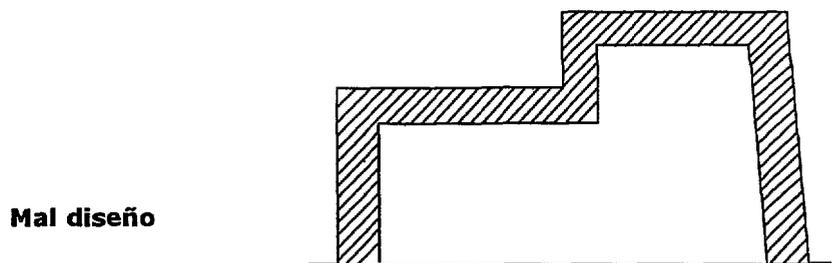
La entrada del material al molde debe realizarse por la zona más gruesa de la pieza, de manera que el paso de material se mantenga abierto el mayor tiempo

posible. De no ser así, las piezas podrían resultar incompletas o bien con cavidades internas, debido a que el material se ha solidificado en la sección delgada y no permite el paso del material nuevo para compensar contracciones. Todas las imperfecciones y huecos interiores en una zona gruesa son puntos de concentración de tensiones (fuerzas) y aún cuando no se los pueda apreciar a simple vista, estos puntos pueden provocar fallos prematuros y catastróficos en las piezas construidas.

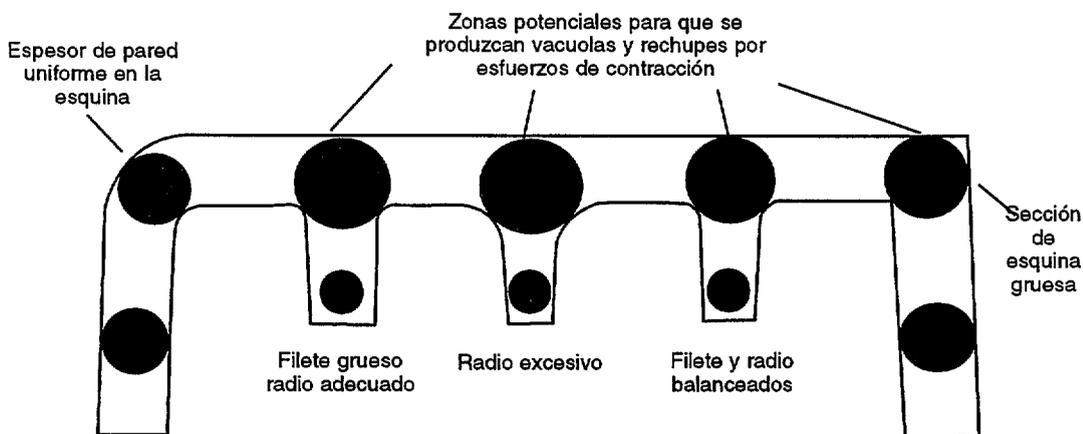
A continuación se pueden apreciar algunas comparaciones entre buenos y malos diseños de pieza:



Evitar espesores excesivos, que puedan dar lugar a la formación de contracciones en la pieza



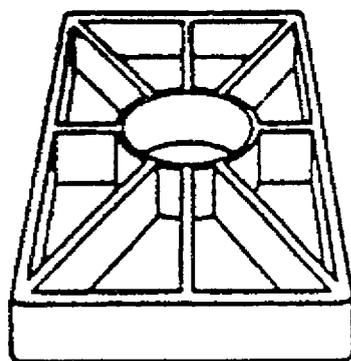
Evitar la presencia de "cantos vivos", que pueden provocar la ruptura de la pieza



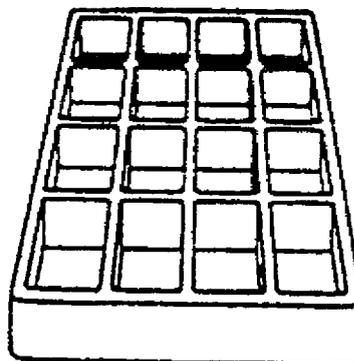
Evitar acumulaciones excesivas de material en determinadas zonas de la pieza

v. Otro aspecto muy importante a ser considerado es que las dimensiones finales de una pieza coincidan lo más cercanamente posible con las previstas (de acuerdo con los planos dibujados), a esto se le denomina *tolerancia*. Dichas tolerancias deben considerar el coeficiente de dilatación térmica de los plásticos, es decir la capacidad que éstos tienen para dilatarse con la temperatura (cuando se tiene el material fundido) y la contracción cuando las piezas se enfrían antes de ser sacadas del molde.

vi. Es posible mejorar la resistencia de los materiales sin necesidad de aumentar su peso, esto se lo puede conseguir a través de incorporar en la geometría de la pieza, formas que se denominan "nervaduras", cuya función es la de reducir el espesor de pared, estando en capacidad de sostener cargas equivalentes a las que sostendría una pieza más gruesa. El resultado es un ahorro de material y tiempo de proceso, con la consiguiente eliminación de pesadas masas que causan problemas de aspecto y moldeo. En la siguiente figura se sugieren algunas alternativas de diseño utilizando nervaduras.

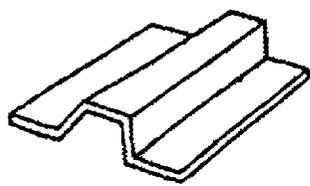


a) torsión

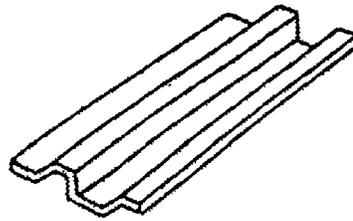


b) flexión

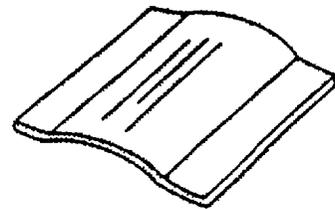
Ejemplos de nervaduras para el refuerzo estructural de piezas de plástico



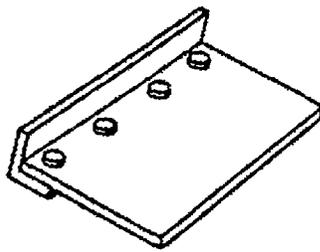
Sección en forma de sombrero



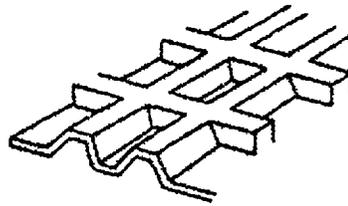
Corrugada



En forma de corona



Con refuerzo metálico



Corrugada en dos sentidos



En forma de domo

Ejemplos de técnicas de refuerzo estructural



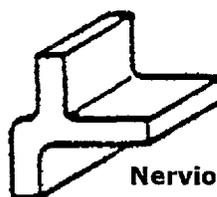
Colocar varios nervios finos



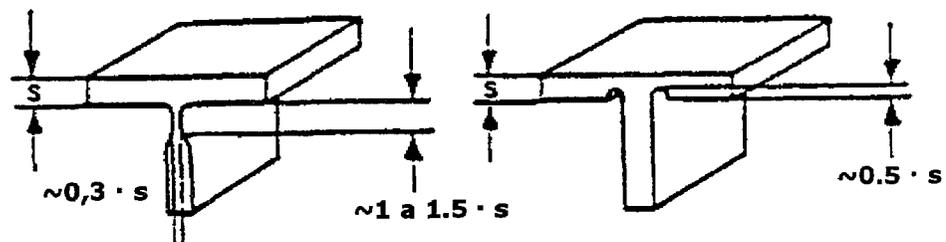
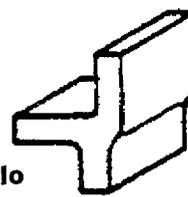
Acanaladura de adorno



Nervio de adorno



Nervios en ángulo



Reducir el grueso de la pared en la zona de transición

Ejemplos de diseños de nervaduras en piezas plásticas

3.3.2. Selección del método de transformación

El tipo de producto será, en última instancia, el que determine el método de transformación a utilizar, así por ejemplo, si se desea realizar perfiles necesariamente se pensará en un proceso de extrusión, mientras que para fabricar piezas con secciones transversales no uniformes o con formas sofisticadas, generalmente se requerirá de un moldeo por inyección o un termoconformado.

En la actualidad se dispone de nuevas tecnologías que se han desarrollado con el fin de contribuir a un desarrollo industrial sustentable. La fabricación de productos mediante estos procesos presenta un menor impacto ambiental y a la vez un mejor rendimiento económico.

El objetivo de estas tecnologías es llevar a cabo la transformación de las materias primas en productos, mediante una generación de residuos y un gasto de energía mínimos, a la vez que se busca obtener un producto de alta calidad.

De estas nuevas tecnologías podemos destacar las siguientes:

a) Inyección asistida por gas

La naturaleza nos ofrece espléndidos ejemplos de estructuras, que teniendo una gran resistencia mecánica, no necesitan ser sólidas en todo su volumen, sino que son "huecas". Los huesos por ejemplo, tienen gran resistencia a pesar de tener una cavidad en su interior, otro ejemplo lo constituyen las fibras vegetales, las maderas, etc.

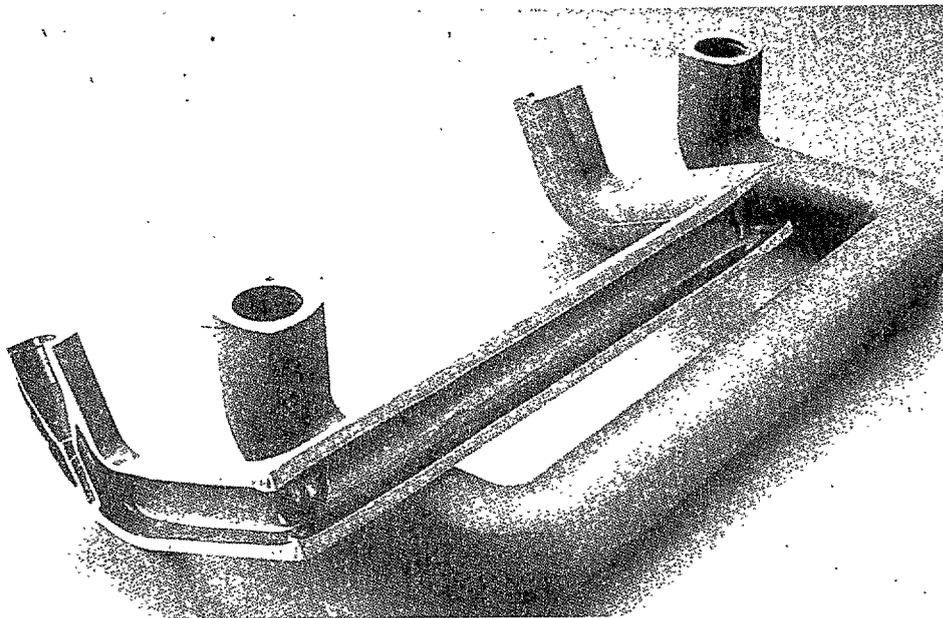
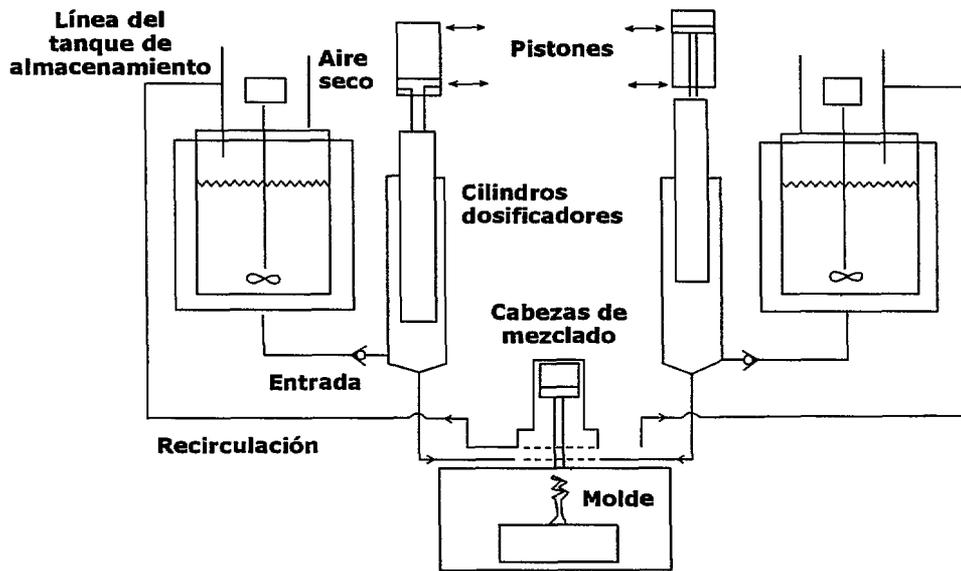


Gráfico de una pieza obtenida por la técnica de inyección asistida por gas (se muestra además un corte de la misma)

En el mundo de los plásticos se pretende "copiar" este diseño de la naturaleza y por ello, en lugar de inyectar una pieza completamente sólida de material, se utiliza un gas, como nitrógeno o dióxido de carbono (CO_2), que se introduce en el interior del polímero fundido al momento de ser inyectado. Esto permite diseñar piezas con secciones delgadas y gruesas sin marcas, vacuolas o rechupes. Mediante la utilización de esta técnica se han producido piezas con paredes de hasta 0,02 mm.

b) Inyección reactiva (RIM)

Esta técnica consiste en mezclar rápidamente y en proporciones precisas dos o más reactivos líquidos de bajo peso molecular, los que se inyectan en el molde para reaccionar polimerizándose o reticulándose dentro de la cavidad del molde. Este proceso es altamente eficiente en cuanto al consumo energético, aunque se requiere un control estricto del proceso de reacción.

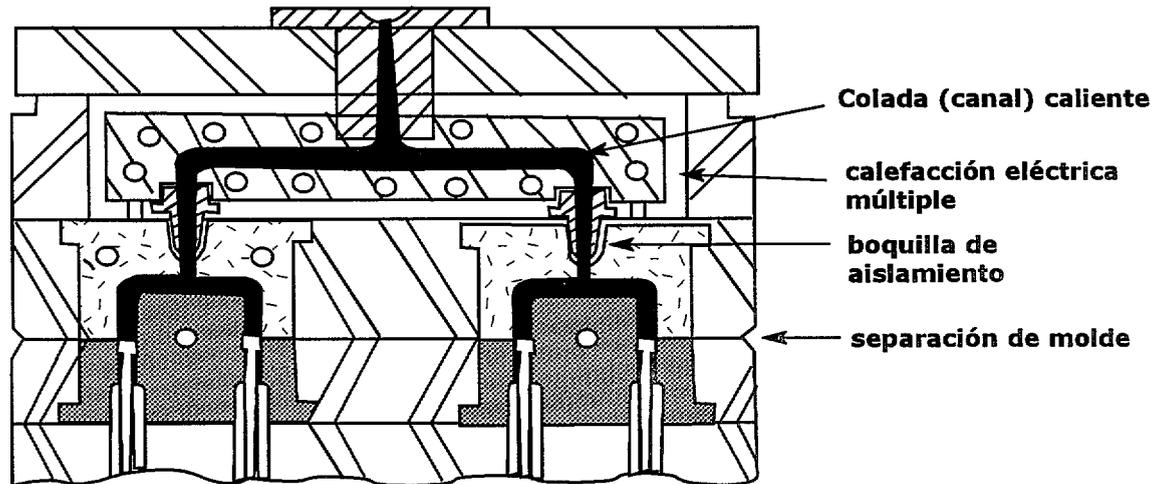


Esquema del proceso de inyección reactiva

c) Uso de coladas calientes

En el proceso de inyección de plásticos se puede llegar a ahorrar una gran cantidad de material, si se impide el enfriamiento y posterior solidificación del material que se encuentra entre la boquilla y el punto de inyección de la pieza, mediante su calentamiento, de manera que se puede utilizar esta porción de material para el siguiente ciclo de inyección. Aunque este tipo de moldes requieren de una inversión

económica mayor, para el caso de grandes tirajes se justifica, ya que permite la utilización completa del material inyectado, ahorro del tiempo de ciclo, facilita la expulsión de la pieza y disminuye las marcas que se producen durante el proceso.



Esquema de un molde de colada caliente: La placa calefactora mantiene fluido el material que se encuentra en el canal de alimentación de la pieza, evitando su desperdicio

3.4. PLÁSTICOS DEGRADABLES

Normalmente, en la formulación de los materiales plásticos se incorporan sustancias que impiden, retardan o dificultan su deterioro. Sin embargo, en varios casos, puede ser que se busque el efecto contrario, es decir acelerar (o controlar) los procesos degradativos.

¿Bajo qué objetivos?

Uno de ellos es hacer que los materiales plásticos "desaparezcan" una vez que ha terminado su período de vida útil. Con ello se reduciría considerablemente el volumen de desperdicios plásticos que se envían a los rellenos sanitarios o botaderos.

La degradación controlada de los polímeros puede además utilizarse para dosificar nutrientes, fertilizantes, herbicidas, insecticidas y en el campo médico para la dosificación de medicamentos, para suturas quirúrgicas que sean reabsorbidas en el cuerpo humano, etc.

Se puede clasificar a los polímeros degradables básicamente en dos grupos: aquellos que se degradan por acción de la radiación ultravioleta (fotodegradables) y los que se degradan bajo la acción de microorganismos (biodegradables), aunque en muchos casos, se presentan los dos tipos en forma combinada.

En los polímeros denominados fotodegradables, la luz solar induce al desarrollo de una serie de procesos fotoquímicos que conducen a la ruptura de las cadenas de los polímeros. El material puede fragilizarse con cierta facilidad y, bajo la acción erosiva del viento y la lluvia, puede reducirse a pequeños trozos que finalmente son "atacados" por microorganismos.

Para obtener un polímero fotodegradable se puede recurrir a varios mecanismos:

- Introducción en el polímero de grupos funcionales (grupos de átomos) que sean sensibles a la radiación ultravioleta. Esto se puede realizar mediante reacciones químicas, por ejemplo irradiación de PE en atmósfera de monóxido de carbono para producir grupos carbonilo ($C=O$), también se puede incorporar los grupos fotosensibles mediante la formación de copolímeros. Sus ámbitos de aplicación están en la elaboración de tazas y bandejas de comida, bolsas de basura, filmes para la agricultura, etc.
- Agregando aditivos fotosensibles, catalizadores y prooxidantes que aceleran los procesos degradativos. Existen diversas sustancias que pueden actuar como agentes fotodegradativos: complejos férricos, sales de hierro, dióxido de titanio, anastasa, estearatos metálicos y benzofenonas. Sus aplicaciones se encuentran en la fabricación de bolsas para comida, filmés para agricultura y redes de pesca.

La biodegradación de los materiales plásticos tiene lugar debido a la acción de microorganismos, los cuales, en presencia de determinados polímeros, son capaces de segregar enzimas que atacan a este material, reduciéndolo inicialmente a pequeños trozos para finalmente digerirlos.

Existen polímeros biodegradables, tanto de origen natural (polipéptidos como la lana, la seda, los polisacáridos como los dextranos, la celulosa, el almidón), como sintético (poliácido láctico, policaprolactona y algunos tipos de poliuretanos).

Una posibilidad adicional de producir polímeros biodegradables, es realizar mezclas o copolimerizaciones entre los polímeros sintéticos con polímeros naturales. Por ejemplo se comercializa un material denominado "Ecóestar", que resulta de la mezcla de polietileno con almidón.

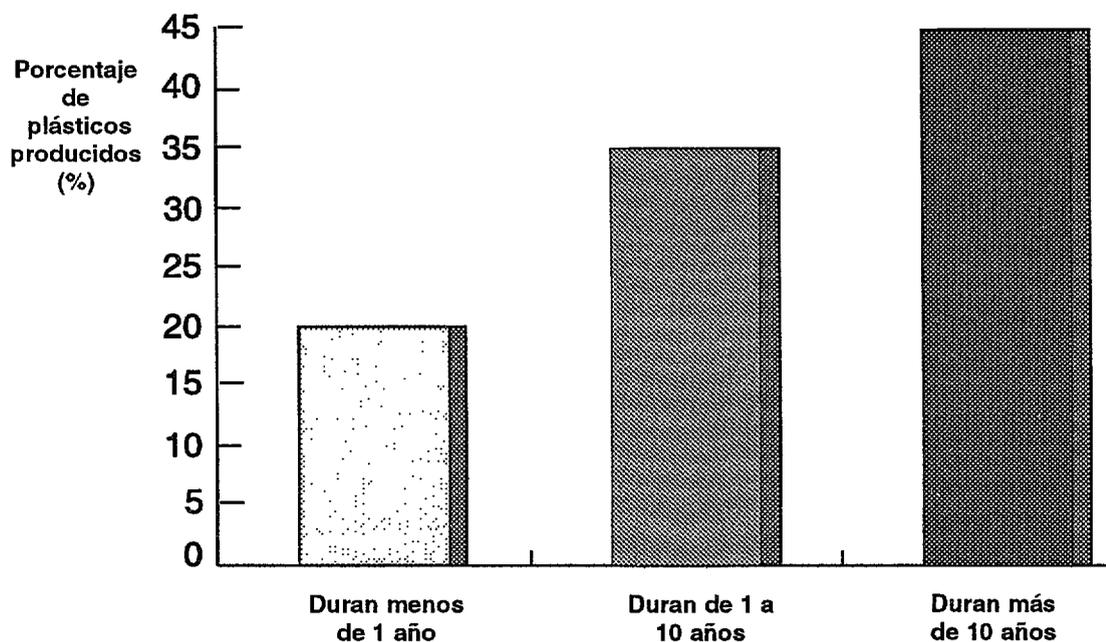
En la actualidad, los polímeros degradables han tenido una gran utilización en el campo médico, puesto que en ese tipo de aplicaciones, el costo no es un factor crítico. En cambio en otras aplicaciones su uso es más restringido debido al factor

precio. No obstante, cada vez se hacen mayores esfuerzos investigativos por controlar en mejor medida la degradabilidad de los materiales plásticos y reducir los costos de fabricación.

3.5. REUTILIZACIÓN

Con mucha frecuencia se suele subestimar la vida útil de un plástico pues, lastimosamente, muchas veces éstos se asocian todavía a los artículos de "usar y tirar". Una de las razones para ello se encuentra probablemente en el uso extendido de los plásticos como envases de un sólo uso.

Pero remitiéndose a las estadísticas, se puede concluir de ellas que los envases y embalajes plásticos representan tan sólo una cuarta parte del total de plásticos producidos. Predominan, más bien, aplicaciones en las cuales los plásticos son transformados en productos de larga vida. Esto se puede observar en el gráfico siguiente:



En este diagrama puede verse que aproximadamente un 20 % de los productos plásticos acaban como residuos en menos de 1 año (embalajes para alimentos, botellas, contenedores y algunos filmes). Un 35% de los plásticos producidos son usados entre 1 y 10 años (artículos domésticos, piezas de automóviles) y, un 45 % no se convierten en residuos sino pasados los 10 años (tuberías, piezas plásticas para la construcción: marcos, ventanas, translúcidos, etc.).

En Estados Unidos se discute una alternativa al uso de envases de cartón en los cuales se expende la leche, se trata de reemplazarlos por envases de policarbona-

to que podrían ser reutilizados hasta 100 veces (y después de su vida útil reciclarlos).

Las láminas delgadas que sirven como envoltorios o las bolsas de supermercado, suelen ir a la basura inmediatamente después de realizada la compra. Sin embargo, existen alternativas eficaces para dar una nueva vida a los plásticos en la etapa de su utilización, así por ejemplo: las bolsas de supermercado pueden ser reutilizadas varias veces, sin perder sus propiedades, antes de tirarlas a la basura (y a su vez pueden servir como recipientes para colocar la basura, almacenar cosas, etc.); existen bolígrafos diseñados para tener su depósito de tinta reemplazable; hay envases dosificadores utilizados en cosmética que permiten recargar el producto (jabón, crema, etc.) sin tirar el envase.

Estas ideas y otras que el ingenio del ser humano pueda desarrollar convierten lo "viejo" en "nuevo" otra vez. Existen no pocos artistas y artesanos que buscan formas y utilidades diversas a los objetos que para el resto de personas aparecerían como inútiles o inservibles.

3.6. RECICLADO MECÁNICO

Uno de los procesos más sencillos por medio de los cuales puede realizarse el reciclado de los materiales plásticos, es el denominado reciclado mecánico. Se denomina así porque durante este proceso el plástico no sufre transformaciones químicas (y si existen, son poco significativas).

Para poder obtener un producto de calidad que satisfaga las necesidades de los posibles clientes, se requiere de un mínimo de conocimientos teóricos y técnicos.

Los procesos más importantes que involucra el reciclado mecánico se detallan a continuación:

La primera etapa consiste en la **recolección o recuperación** del material plástico. Los recicladores suelen tener personal propio que se dedica a visitar empresas o industrias que desechan plásticos (que es una fuente que permite una previa selección del tipo de plástico que se recupera). Otras fuentes de material lo constituyen los desperdicios domésticos y municipales en general. Usualmente los proveedores del material recuperado suelen hacer una primera limpieza del material.

Una vez conseguido el material se pasa a una etapa de **triturado o molido**, con el objetivo de reducir el espacio de almacenamiento (o transporte) y para facilitar el procesamiento posterior del material. Algunas personas y empresas venden el plástico en esta fase de triturado.

La reducción del tamaño del polímero puede realizarse en dos etapas: la primera se efectúa mediante el empleo de maquinarias tales como: guillotinas de láminas

(para productos duros), cortadoras manuales (láminas, productos de extrusión, perfiles) y reductoras de tamaño con tornillo sinfín (para grandes cantidades de productos, para botellas que han sido previamente comprimidas).

Para reducir aún más el tamaño de las partículas del plástico, se puede recurrir a una segunda fase, la misma que se efectúa mediante el empleo de molinos, el tipo más empleado es el molino denominado de cuchillas rotatorias.

En general, parte de los residuos industriales se pueden obtener limpios, por lo que no es preciso un lavado a profundidad, pero en otros casos vienen mezclados con aluminio, papel y otros contaminantes, lo que requiere que se sometan a procesos especiales de separación. Los residuos de las basuras o de la agricultura necesitan ser lavados, por lo que una vez triturados se introducen en recipientes llenos de agua y por medio de agitadores mecánicos se va desprendiendo la suciedad.

En muchos casos el triturado no es suficiente, por lo cual se requiere una etapa de **compactación**, que puede realizarse por diferentes métodos mecánicos.

En el caso de los plásticos usados como empaques y bolsas, una vez molidos (en trozos de aproximadamente 1 cm²) se calientan y se aglomera el material en grumos. En otros casos el material triturado se funde y se **extrusiona** en un "macarrón" que luego se corta en forma de pequeños pedazos a los que se denomina "granza".

Los materiales plásticos sufren varios procesos de degradación durante su fabricación, su uso y cuando se realiza la etapa de extrusión para su reciclaje. Esto altera sus propiedades, especialmente las mecánicas, dando un material de bajo valor, razón por la cual es conveniente incorporar **aditivos** al material para mejorar sus propiedades. Estas sustancias (los aditivos) dificultan o retardan los procesos de degradación, mejorando considerablemente las propiedades del material plástico.

Una vez en forma de granza o de grumos, el material está ya listo para su transformación en piezas o productos comerciales, bien sea mezclándolo con materiales vírgenes o utilizando granza reciclada al 100%.

El plástico recuperado debe ser analizado para saber el nivel de aditivos que contiene y, en función del destino que tendrá la granza recuperada, seleccionar el material de partida y equilibrar, reponiendo los estabilizantes, antioxidantes, etc., que sean necesarios para obtener una granza lo más parecida a una granza virgen empleada para el mismo destino.

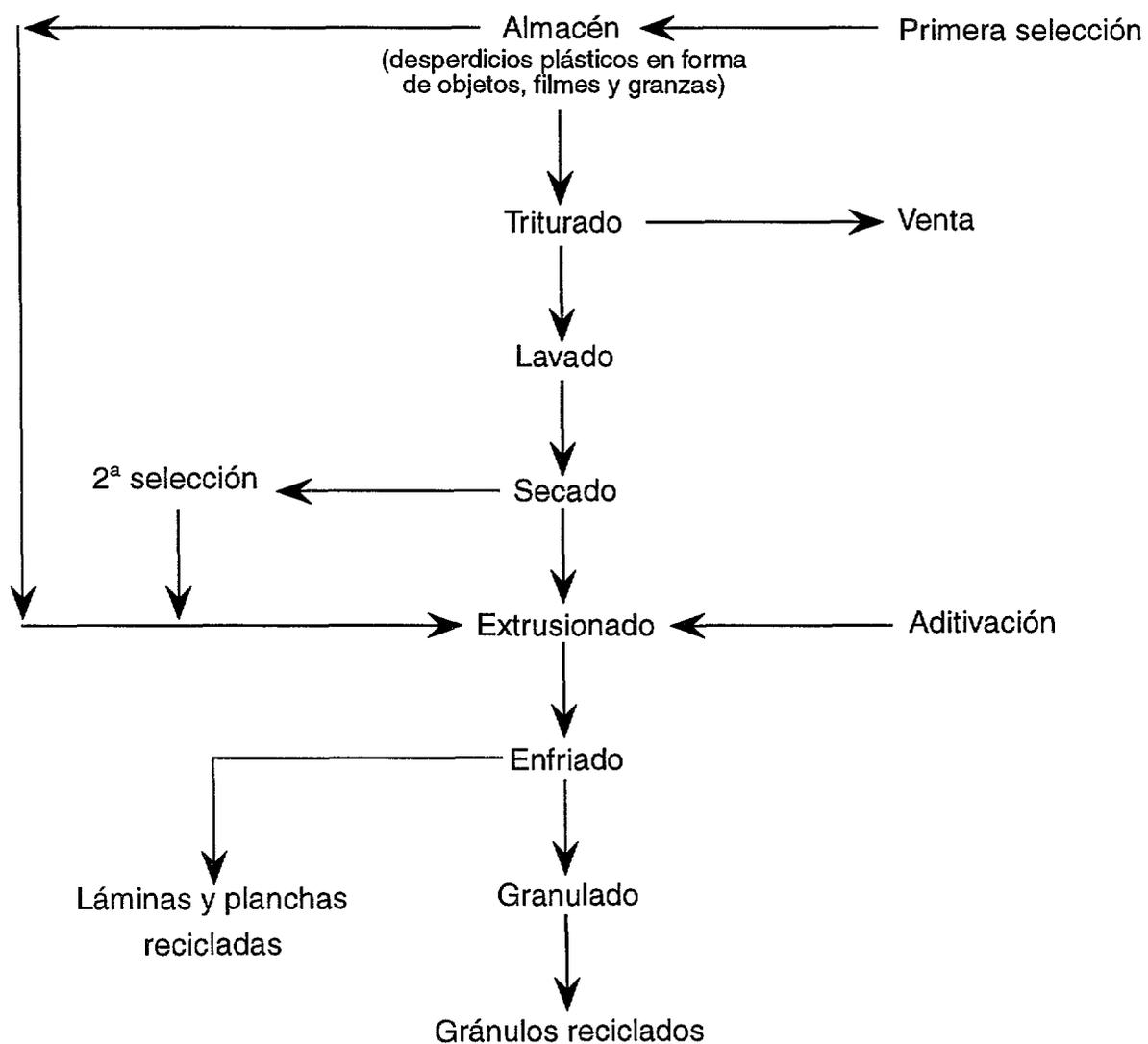
Si el material que ha sido previamente seleccionado se compone de un solo tipo de plástico, por ejemplo, únicamente de botellas desechadas de polietileno de alta densidad, el material triturado servirá para fabricar más botellas de este material (aunque no para uso alimentario). En el caso de reciclaje a partir de botellas

de PVC, se pueden fabricar tuberías de drenaje. A partir de botellas de polipropileno (PP) se pueden hacer cuerdas; a partir de botellas de polietilén tereftalato (PET) se pueden obtener alfombras, etc.

Si el material no ha sido seleccionado y se compone de varios tipos de plásticos mezclados, servirá para fabricar objetos igualmente útiles: mobiliario de jardín, bancos para parques, vallas, suelos para establos, etc.

Un esquema de las posibles etapas del reciclado mecánico se presenta en la figura siguiente.

PROCESO DE RECICLAJE MECÁNICO DE PRODUCTOS PLÁSTICOS



Compatibilidad de polímeros

Como se había indicado en el primer capítulo de este Manual, resulta difícil obtener polímeros que sean miscibles entre sí, sin embargo esto no representa necesariamente un obstáculo para la formación de mezclas denominadas *compatibles*, con las cuales se consigue obtener materiales plásticos para muchas aplicaciones.

Son mezclas corrientemente usadas: PC-ABS, PVC-ABS, PET-PBT, PA-PE, etc. Actualmente se han desarrollado investigaciones que amplían enormemente el campo de las mezclas poliméricas, pero para la elaboración de las mismas, se requiere de aditivos especiales y de reacciones químicas que deben ser realizadas con cuidado. Se espera que en el mediano plazo, la industria del reciclaje se beneficie de estos nuevos desarrollos científicos.

Para conocer las posibilidades de mezcla entre polímeros sin necesidad de añadir ningún tipo de compatibilizante, se puede utilizar la tabla siguiente, en la que se reseñan las posibilidades de mezcla, entre los polímeros más comunes.

	PS	PA	PC	PMMA	PVC	PP	LDPE	HDPE	PET
PS	1								
PA	5	1							
PC	6	6	1						
PMMA	4	6	1	1					
PVC	6	6	5	1	1				
PP	6	6	6	6	6	1			
LDPE	6	6	6	6	6	6	1		
HDPE	6	6	6	6	6	6	1	1	
PET	5	5	1	6	6	6	6	6	1

1 = Fácilmente miscible
6 = Difícilmente miscible

3.7. RECICLADO QUÍMICO

Este tipo de reciclado implica realizar el proceso inverso a la obtención de materiales poliméricos, es decir, provocar el fraccionamiento de los materiales poliméricos en pequeños componentes, que posteriormente pueden utilizarse y transformarse por reacción química. El objetivo ideal sería recuperar los monómeros para volver a fabricar los mismos polímeros.

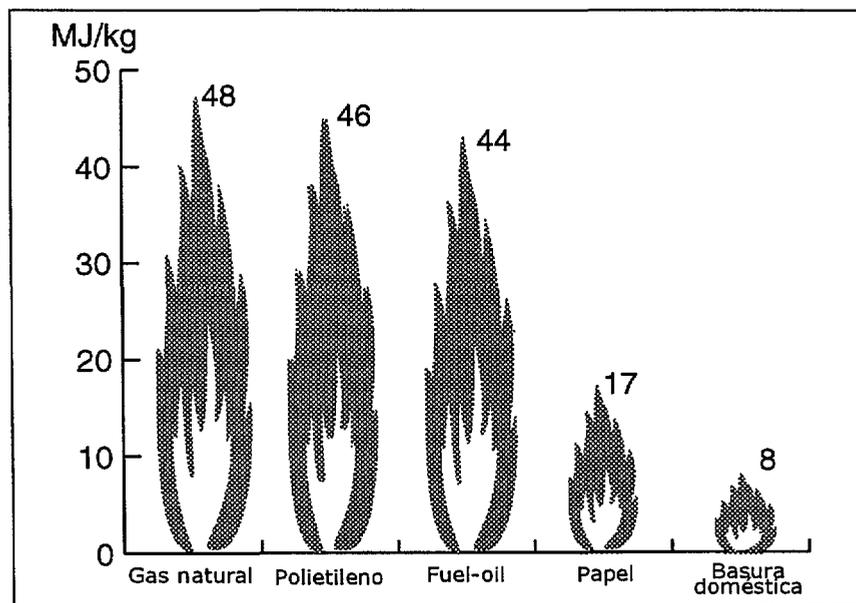
Los residuos plásticos se someten a diversos procesos químicos para descomponerlos en productos más sencillos, así por ejemplo, descomposición térmica en ausencia de oxígeno, tratamiento con hidrógeno a altas temperaturas, gasificación o tratamiento con disolventes que descomponen los residuos para ser usados nuevamente como materias primas en plantas petroquímicas.

Por ejemplo, en Estados Unidos se emplea con éxito esta alternativa de reciclaje: el polietilén tereftalato (PET) de las botellas de refresco se depolimeriza, con el material obtenido se vuelve a fabricar PET que servirá para elaborar nuevas botellas. Otro material que puede depolimerizarse, con alto grado de rendimiento, es el poli metilmetacrilato de metilo (PMMA).

3.8. RECICLADO TÉRMICO

La tercera alternativa es la *valorización energética*. El plástico es un excelente combustible, posee un poder calorífico similar al del gas natural o al del fuel-oil.

Este proceso es especialmente adecuado para plásticos degradados o sucios. ¡Un kilo de plástico equivale a un kilo de fuel-oil o de gas natural!



Poder calorífico de los materiales

El aprovechamiento energético de los plásticos tiene grandes perspectivas futuras debido a los altos valores de energía que se pueden alcanzar, sin embargo, es necesario tomar en cuenta que, como producto de la combustión y de la degradación de los materiales plásticos, podrían emitirse a la atmósfera sustancias nocivas o contaminantes. Afortunadamente, en la actualidad, se ha avanzado mucho en el de-

sarrollo de tecnologías que permiten el control de las emisiones gaseosas que podrían contaminar la atmósfera, así por ejemplo se utilizan:

- Lechos de carbón, lechos fluidizados y oxidación catalítica para remover los óxidos de nitrógeno.
- Para remover partículas sólidas, se emplean: filtros electrostáticos y ciclones.
- Para la extracción de sustancias gaseosas inorgánicas, tales como compuestos de cloro o flúor, se emplean lavadores húmedos, absorbedores en spray o filtros electrostáticos húmedos.
- Para remover sustancias orgánicas, tales como dioxinas y furanos, se emplea: carbón activado, oxidación catalítica y lechos fluidizados.

3.9. COMPARACIÓN ENTRE LOS MÉTODOS DE MANEJO DE RESIDUOS PLÁSTICOS

VENTAJAS	DESVENTAJAS
RECICLADO	
<ul style="list-style-type: none"> ● Proceso accesible ● Adecuado para residuos industriales ● No requiere destrucción final ● Favorecido políticamente ● Se puede realizar a cualquier escala 	<ul style="list-style-type: none"> ● Genera productos de baja calidad (reciclado mecánico) ● Difícil de realizar con mezclas de polímeros ● Alto costo para reunir y clasificar residuos ● No es adecuado para el embalaje de alimentos (reciclado mecánico) ● No es una solución última, pues hay un límite en el número de ciclos de reciclado posibles
INCINERACIÓN	
<ul style="list-style-type: none"> ● Alta eficiencia en la esterilización ● Generación de energía ● Eliminación semifinal ● Tecnología disponible 	<ul style="list-style-type: none"> ● Costo elevado de las piezas ● Alto costo para reunir y clasificar los residuos ● Puede producir contaminación ● Aplicable sólo a grandes escalas
BIODEGRADACIÓN	
<ul style="list-style-type: none"> ● Deseable desde el punto de vista ambiental ● Completa los ciclos de C y N ● Se puede realizar a cualquier escala 	<ul style="list-style-type: none"> ● No existen suficientes reactores/plantas ● Requiere el desarrollo de nuevos plásticos, aditivos

CAPÍTULO 4

PROCESOS Y PRODUCTOS DEL RECICLAJE ¿Cómo se puede reciclar y qué productos se obtienen?

En esta parte del manual se presenta una revisión de las posibilidades de reciclaje, los procesos y productos que se pueden obtener, para los materiales plásticos más utilizados en el país.

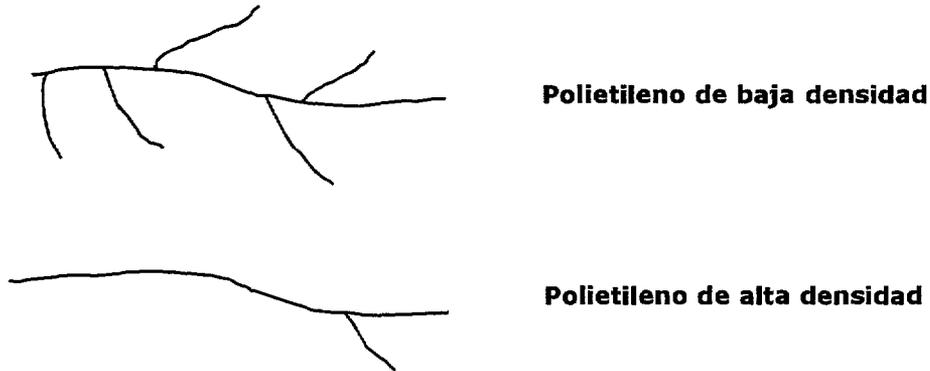
4.1. RECICLADO DE TERMOPLÁSTICOS

El reciclado de materiales termoplásticos es el que se lleva a cabo en mayor volumen, respecto a todos los plásticos, en razón de la gran cantidad de este tipo de materiales que se producen. Los denominados "*plásticos de gran consumo*" son: Polietileno (PE), Polipropileno (PP), Poliestireno (PS), Polietilén tereftalato (PET) y Policloruro de vinilo (PVC), estos cinco materiales son los que han adquirido mayor atención en el tema del reciclaje y por lo tanto, son materiales para los cuales se dispone de los mayores desarrollos tecnológicos para su reaprovechamiento.

4.1.1. Polietileno (PE)

El polietileno es un plástico extensivamente usado tanto a nivel industrial, como doméstico. Existen dos tipos fundamentales del mismo: el polietileno de alta densidad (PEAD ó HDPE) y el de baja densidad (PEBD ó LDPE). Los dos tipos de polietileno, corresponden a moléculas de tipo lineal, pero en el caso del polietileno de baja densidad existe mayor cantidad de ramificaciones en la cadena principal, eso dificulta su empaquetamiento molecular (que sus moléculas se junten) y

por tanto hace que su densidad sea menor al polietileno denominado de alta densidad.



En el caso del polietileno de baja densidad, la mayor parte del mismo se fabrica en forma de láminas muy delgadas (filmes), que tienen su aplicación en la fabricación de:

- Láminas para empaçado
- Bolsas plásticas
- Laminados para la agricultura
- Tapas

El polietileno de alta densidad tiene gran aplicación en el área de los recipientes, tanto a nivel doméstico como industrial:

- Recipientes para artículos de tocador (shampoo, aceites, etc.)
- Recipientes para sustancias de limpieza (detergentes, blanqueantes, etc.)
- Tuberías
- Láminas para empaçado
- Tanques para la industria

Reciclado del Polietileno

Aunque las mezclas de los dos tipos de polietileno son, en principio, compatibles, el re-aprovechamiento (reciclado) óptimo del material se consigue a través de una adecuada separación de estos dos tipos de plástico.

Si el material a reciclarse proviene de la industria del empaçado, conviene tomar en cuenta que las sustancias que hayan podido tomar contacto con el plástico (e incluso migrar a su seno) no tienen mayores efectos en cuanto a modificar las

propiedades mecánicas del material, pero sí pueden alterar el olor. La facilidad con que este contaminante pueda ser eliminado dependerá de su origen (en algunas ocasiones basta con un lavado exhaustivo).

Cuando el material a reprocesarse proviene de artículos de polietileno destinados a tener una mayor duración, como pueden ser: tuberías, tanques, etc., éstos son de más fácil recolección y selección, puesto que normalmente están fabricados a partir de un solo material (en este caso, polietileno de alta densidad). Sin embargo hay que considerar el tiempo y las condiciones a las que estuvieron expuestos, puesto que esto podría haber causado degradación o deterioro del producto.

Las botellas empleadas para almacenar agua (en volúmenes de 5 litros), son una fuente importante de HDPE y, adicionalmente, no tienen color (libres de pigmentos), lo cual es una gran ventaja pues significa que la resina recuperada es adecuada para una amplia variedad de usos. No obstante, las botellas de HDPE que han sido pigmentadas, también pueden ser recicladas, aunque las posibilidades de su aplicación se reducen en mayor medida. Un tipo de botellas de HDPE pigmentado, que no se acepta en muchos programas de reciclaje, es aquél que se usa para el envasado de aceites para motor, puesto que esta substancia suele causar considerables degradaciones al material plástico.

Las propiedades del HDPE reciclado dependen de las propiedades del material virgen de partida y de la historia de procesamiento que haya sufrido el producto. En general, sus propiedades mecánicas se mantienen dentro de niveles aceptables, aunque su resistencia al impacto generalmente decrece.

El HDPE posee una gran facilidad para absorber los componentes de los productos que contiene, lo cual puede ocasionar varios problemas para sus futuras aplicaciones. El ácido butírico, por ejemplo, es el responsable de muchos de los olores a leche rancia y tiene una significativa solubilidad en el HDPE.

Afortunadamente, existen varios mecanismos por medio de los cuales pueden evitarse o corregirse estos inconvenientes. Se ha determinado que, colocando la capa de material reciclado entre capas de material virgen, se puede prevenir la migración de olores contaminantes. Se ha observado también que con un diseño apropiado de la pieza, que facilite un lavado a profundidad, se pueden remover varios de los residuos molestos.

Sin embargo substancias tales como: la gasolina, los agentes de limpieza, los insecticidas y el aceite de cocina, no pueden ser removidos por los procesos convencionales, sobre todo al nivel necesario como para poder utilizar los materiales reciclados para el envasado de alimentos.

El polietileno de alta densidad reciclado puede utilizarse en la fabricación de tuberías de baja presión, tuberías para drenajes de agua, láminas para empaques, también se utiliza en la fabricación de recipientes que tienen varias capas, con el material reciclado en la capa intermedia, con ello se ha conseguido abaratar con-

siderablemente los costos de fabricación de estos materiales. También puede utilizarse para fabricar recipientes, siempre que no contengan sustancias con fines alimenticios. A partir del HDPE también se pueden obtener cubos de basura y algunos productos de uso doméstico, conos y barreras de seguridad, macetas y juguetes.

El polietileno de baja densidad puede ser nuevamente utilizado como parte de los sistemas de irrigación en la agricultura y para volver a fabricar bolsas de uso doméstico.

4.1.2. Polipropileno (PP)

Este plástico ofrece una amplia versatilidad en sus aplicaciones, en razón de las diferentes formas en que puede ser fabricado: rígido o flexible, transparente u opaco, como fibras o láminas, etc.

El polipropileno se utiliza para la fabricación de:

- Bolsas de uso doméstico
- Parachoques
- Carcazas para baterías de automóviles
- Ductos para ventilación y calentamiento
- Paneles para instrumentación
- Muebles de oficina y jardín

Reciclado del Polipropileno

El polipropileno presenta, en general, una buena resistencia a la degradación (siempre que haya sido convenientemente estabilizado). Aparte de ciertos cambios en el olor o en la coloración, sus propiedades suelen mantenerse sin modificaciones apreciables. Bajo condiciones enérgicas de exposición: altas temperaturas (en automóviles), en contacto con agua hirviendo por más de 2.000 horas continuas, en contacto con ácidos, bases o jabones, suelen presentarse degradaciones, pero éstas suelen ser de carácter superficial.

El polipropileno reciclado ha encontrado muchas aplicaciones en muy diversos campos. En el área automovilística puede volver a utilizarse para fabricar las carcazas de las baterías, los paneles para los instrumentos de control, los ductos y cables para aire. En el área doméstica se utiliza en la fabricación de ciertas partes de las lavadoras automáticas, como los dispensadores de jabón y suavizante. Se lo emplea también para fabricar botas, como una capa interior. Los materiales usados para la fabricación de muebles pueden ser otra vez reprocesados y con ello obtener objetos de características similares a las originales.

4.1.3. Poliestireno (PS)

Este material se caracteriza por su gran rigidez, excelente transparencia y brillo, además de su facilidad de procesado. Una de sus "debilidades" es la poca resistencia mecánica al impacto, por ello se ha diseñado un material denominado "poliestireno de alto impacto", a través de la incorporación de moléculas de caucho (polibutadieno) en el seno de este material. Otra forma en la que se presenta el poliestireno, es en forma de espuma (poliestireno expandido), un material ligero y con muchas aplicaciones.

El poliestireno tiene un gran campo de aplicación en la industria alimenticia e industrial:

- Para la fabricación de cubertería
- En la elaboración de vasos transparentes
- Para envasar alimentos lácteos tipo yogurt
- Como bandejas para alimentos cárnicos
- Como aislante térmico

Reciclado del Poliestireno

Este plástico posee una muy buena estabilidad térmica, lo que le permite ser re-procesado mediante reciclado mecánico varias veces, sin que se deterioren significativamente sus propiedades.

Se han encontrado varias aplicaciones para el poliestireno reciclado: la empresa BASF, por ejemplo, fabrica sus videocasetes con materiales enteramente reciclados; también se fabrican con material reciclado, los estuches para los discos compactos, algunos accesorios para las máquinas de venta automática de bebidas, el revestimiento para ganchos.

El poliestireno expandido es empleado como un auxiliar muy útil en la agricultura, puesto que resulta compatible con las plantas, sirviendo como:

- Sustrato para la planta
- Para evitar la pérdida de los suelos muy "suelos"
- Para facilitar el drenaje y el compostaje

4.1.4. Polietilén tereftalato (PET ó PETE)

Este polímero ofrece una gran barrera al paso del CO₂ y O₂, posee gran transparencia y brillo, muy buenas propiedades mecánicas, buena resistencia química y es compatible con el contacto de alimentos, características tales que permiten que

disponga de una gran versatilidad en sus usos, tanto en la industria alimenticia como la textil.

Se utiliza para la fabricación de láminas muy delgadas (filmes), para botellas que contengan bebidas carbonatadas (gaseosas, aguas minerales), recipientes para aceites comestibles y como fibra textil.

Reciclado del Polietilén tereftalato

El PET reciclado mecánicamente, presenta muy buenas propiedades, no obstante pueden presentarse algunos inconvenientes durante su procesado. Por ejemplo, si el material se encuentra contaminado con PVC, éste plástico puede descomponerse durante el proceso de reciclado, dejando salpicaduras negras al material procesado, pudiendo provocar incluso su degradación.

Un problema similar puede ocurrir debido a residuos de sosa cáustica o detergentes alcalinos provenientes de la fase de lavado. Todas estas sustancias pueden contribuir a la degradación del material, por lo cual es conveniente proceder a un enjuague muy cuidadoso luego de la etapa de lavado.

Existen diversas aplicaciones posibles en las cuales se emplea el PET reciclado: chaquetas, relleno de bolsas de dormir ("sleeping bags"), moquetas, tapas para los distribuidores de los automóviles, charoles, cubiertas para tornillos, contenedores en la industria no alimenticia, alfombras, etc.

4.1.5. Policloruro de vinilo (PVC)

El PVC se ha venido produciendo desde hace 50 años a escala industrial. Presenta una buena barrera al paso de los gases y vapores, la presencia del cloro lo vuelve resistente al calor y al fuego (hasta cierto límite), tiene buena resistencia química y altas propiedades mecánicas.

Sus principales formas de presentación lo constituyen el PVC denominado "rígido" y el "flexible". La diferencia entre los dos estriba en la cantidad de aditivos (plastificantes) que se incluyen en su formulación.

El PVC denominado rígido, se utiliza para la fabricación de:

- Tuberías
- Perfiles
- Láminas
- Botellas
- Marcos para ventanas

El PVC flexible (plastificado) se usa para obtener:

- Láminas delgadas (filmes)
- Revestimientos y pinturas
- Planchas para pisos
- Mangueras y catéteres
- Cables

Reciclado del Policloruro de vinilo

Este material plástico ha sido, y continúa siendo, motivo de una gran controversia. No se puede negar que es un material con una versatilidad enorme, que tiene muchísimas posibilidades de aplicación, pero también hay que aceptar que normalmente requiere que se le agregue una significativa cantidad de aditivos, lo que implica que se debe tener mucho cuidado en su dosificación.

El polímero en sí mismo no representa un peligro para la salud, es por eso que incluso tiene aplicaciones médicas, sin embargo su monómero es cancerígeno, por lo que se debe tener un cuidado extremo en las fábricas que polimerizan el material. Algunos países han decidido discontinuar su fabricación, pero su producción mundial no ha disminuido y en varios países europeos sigue siendo un material extensamente usado en la fabricación de botellas para contener agua mineral.

El PVC rígido puede ser nuevamente usado en la fabricación de: tuberías, marcos para ventanas, botellas, láminas delgadas y planchas. El PVC plastificado se usa para la fabricación del mangueras, planchas para pisos, cables, calzado, etc.

4.2. RECICLADO DE TERMOESTABLES

Como se vió anteriormente, el reciclaje de termoplásticos involucra, generalmente, un proceso de reblandecimiento o fusión y una posterior conformación del material. Este procedimiento no es aplicable a los termoestables. El reciclado de termoestables, ha tenido un menor desarrollo que los termoplásticos y, fundamentalmente, existen dos alternativas para reciclarlos:

- Mediante un proceso que propicie la ruptura química de sus cadenas en moléculas más pequeñas, para que posteriormente, las mismas puedan volver a polimerizarse o puedan ser usadas en otras aplicaciones.
- La segunda alternativa, que es la más empleada, consiste en pulverizar o cortar el residuo termoestable y usarlo como una carga o refuerzo en la fabricación de un nuevo artículo.

A pesar de que solo una pequeña fracción de termoestables se recicla en la actualidad, existe una considerable cantidad de investigaciones realizadas en esta área, así como numerosas patentes.

4.2.1. Reciclado de Poliuretano (PUR)

El reciclaje de PUR es el proceso que más se ha desarrollado dentro del campo de los termoestables. La mayoría del material recuperado proviene de sobrantes de las industrias y se lo utiliza en la fabricación de moquetas reforzadas, como relleno de muebles y en la fabricación de alfombras afelpadas para gimnasios.

Una compañía japonesa ha operado una planta comercial para reciclar espuma rígida de PUR por hidrólisis o glicólisis hasta polioles, utilizando un proceso patentado por la empresa Upjohn. Las partículas de PUR rígido han sido incorporadas en tableros hechos de partículas de PUR, los que se han usado para muebles de marina y pisos de gimnasios en Europa.

Los retazos de la producción de poliuretano mediante el moldeo por inyección reactiva (RIM) que se utilizan en la producción de guardabarros y parachoques, pueden ser cortados para posteriormente ser incorporados en el mismo proceso original. Se utiliza un proceso de reducción de tamaño en dos etapas, primero se requiere un granulador y luego un molino de impacto de discos, para reducir los restos a un polvo fino, el que luego se mezcla con el polioliol (polialcohol).

Las espumas flexibles de PUR pueden hidrolizarse y convertirse en moléculas pequeñas mediante el uso de presión con el empleo de vapor. El polioliol recuperado se puede utilizar en la producción de espumas. El poliuretano también puede someterse a una glicólisis hasta polioliol, debido a que estos polioles tienen moderados tamaños moleculares y resultan más adecuados para reutilizarlos en la fabricación de espumas rígidas.

4.3. RECICLADO DE ELASTÓMEROS

El consumidor más importante de artículos de caucho sigue siendo la industria automovilística. En la actualidad, la mayoría de automóviles retirados de la circulación son triturados, pero previamente se ha procedido al desmontaje de algunas partes o módulos reutilizables tales como el motor de arranque, los parachoques, los cristales y por supuesto, los neumáticos.

De los trozos obtenidos luego del triturado, se separan magnéticamente las partes férricas, mientras que las partes no metálicas se separan por flotación. Estos últimos, formados básicamente por materiales plásticos, caucho, textiles, etc., se depositan en vertederos controlados, los mismos que, en un futuro no lejano, deberán ser aprovechados energéticamente mediante procesos de combustión. Existen

métodos alternativos a este sistema, en los que se obtiene directamente energía a partir del material prensado, teniéndose mejores resultados en cuanto al balance energético del proceso, pero existe el inconveniente de que todos los metales se funden y deben ser separados posteriormente.

Reciclado energético

El contenido energético de los residuos de caucho es considerable. Por ejemplo, los neumáticos viejos tienen el mismo poder calorífico que la hulla. El problema básico por resolver consiste en el establecimiento de valores límite de emisiones gaseosas para este tipo de combustibles y adicionalmente, la necesidad de adaptar las actuales instalaciones a dichos valores, esto podría implicar costosas inversiones.

Un sector industrial en el que se podría utilizar los neumáticos como fuente energética, está en las fábricas de cemento, donde se pueden utilizar incluso neumáticos de tamaño medio sin desmenuzar. En Alemania, por ejemplo, se consumen de este modo unas 250.000 toneladas anuales. Otro campo que podría resultar interesante en el futuro es la utilización de residuos de caucho o neumáticos viejos como combustible para centrales eléctricas.

De todo lo expuesto anteriormente, se puede ver que si se comparan los diversos métodos de reutilización, bajo el punto de vista de su situación técnica y económica, resulta que solamente los procesos de recuperación energética están lo suficientemente maduros como para permitir reutilizar inmediatamente grandes cantidades de residuos de caucho, de acuerdo a las normas de protección ambiental.

CAPÍTULO 5

LA PLANTA DE RECICLAJE ¿Es rentable el reciclaje?

Cuando se quiere llegar a establecer una nueva empresa, ampliar la existente o diseñar una nueva línea de producción, es aconsejable seguir una serie de pasos secuenciales que permitirán planificar de manera adecuada nuestro proyecto. Estos pasos son:

- Investigación exploratoria
- Desarrollo del proceso industrial
- Diseño
- Adquisiciones
- Construcción
- Funcionamiento y prueba
- Producción

No se trata de un sistema estricto, puesto que, dependiendo de varios factores, se podrían "saltar" algunas etapas o también regresar a alguna de ellas con el objetivo de optimizar procesos o adaptarse a las circunstancias del mercado o financieras.

5.1. LA INVESTIGACIÓN EXPLORATORIA

Es la primera fase del plan. Se parte de una idea básica que puede provenir: a) de los requerimientos de un cliente, b) del conocimiento de un proceso productivo,

c) de un producto competitivo o atractivo, d) de la necesidad de mejorar y optimizar los procesos de producción, etc.

Pueden ser ideas tales como las siguientes, las que motiven un proyecto de reciclaje: *reciclar los plásticos que provienen de las cubiertas en los sembríos de flores, de las bananeras, de partes de automóviles, etc.* Estas ideas se someten a un análisis preliminar para saber si el proyecto puede resultar rentable (social y económicamente), a través de las siguientes consideraciones:

5.1.1. Revisión de literatura y patentes

La primera investigación se encamina a encontrar las referencias bibliográficas, los textos, los libros y revistas que puedan proporcionar una primera aproximación de lo que significa "RECICLAR". Al final de este manual se encuentran algunas referencias de ese orden.

5.1.2. Evaluación económica preliminar

a) Selección del tamaño de la planta

Se puede tener una **primera** idea del tamaño de la planta, a través de los datos de la literatura y de las características del mercado hacia el cual estará dirigido el proyecto. En principio, se debería pensar en el mercado nacional, aunque dependiendo del desarrollo que se logre alcanzar, de las variaciones de precios y oportunidades del mercado, no habría que descartar alguna incursión externa.

b) Selección del proceso

Una vez que se ha decidido por alguna de las ideas básicas preliminares y conociendo el tipo de producto que se desea fabricar, se debe decidir ¿en qué va a consistir el proceso industrial?, ¿cuáles serán las etapas que éste debe contemplar?. Por ejemplo, si se decide por el reciclado mecánico, las etapas deben ser: recolección, selección, lavado, molienda, segunda selección, extrusión y procesado.

c) Estimación de la inversión en la planta

De acuerdo con las etapas determinadas en el paso anterior, se determina los equipos necesarios para materializar los procesos: recipientes para el lavado, banda transportadora, máquina de extrusión, etc. Mediante referencias bibliográficas se puede estimar los costos aproximados de los equipos principales.

d) Instalaciones externas

Además de los equipos principales, es necesario contar con diferentes equipos e

instalaciones que harán posible el funcionamiento de los primeros. Por ejemplo: tuberías para conducir agua, bombas, instalaciones eléctricas, alcantarillado, etc.

e) Estimación del rendimiento del proceso

Se lo realiza con el objetivo de tener una idea de cuánto puede producir el proceso seleccionado. Es decir, si se ingresa 5 toneladas de plásticos, ¿cuánto de esa cantidad se podrá aprovechar finalmente?, ¿cuánto se pierde en el lavado, en la selección y en las demás etapas del proceso, hasta que se obtiene el producto deseado?

f) Costos de servicios, mano de obra, cargas

Se debe tener una idea aproximada de cuánto se gastará en electricidad, agua, (estimándolo en base a la potencia y capacidad de los equipos necesarios para el proceso), ¿cuántas personas se van a ocupar para las fases de adquisición, producción, administración y venta?, los gastos de telecomunicaciones (teléfono, fax, Internet), etc.

5.1.3. Programa de experimentación

Si fuere necesario, se puede realizar una planificación de ensayos para conocer más profundamente las características del proceso seleccionado, para determinar los puntos críticos, las partes que se pueden optimizar, etc.

5.2. DESARROLLO DEL PROCESO INDUSTRIAL

Si, como resultado del análisis del paso anterior, se deduce que la idea puede efectivamente concretarse, que puede resultar beneficiosa, entonces se continúa con la misma, si se ve que no se la puede realizar (demasiado capital, poco mercado, procesos muy complejos, etc.) entonces se busca una idea alternativa.

5.2.1. Investigación del producto

En esta fase se debe caracterizar adecuada y completamente el tipo de producto a obtener.

Si se obtiene como resultado final del proceso láminas, granulados u objetos, se debe conocer las propiedades de los mismos, su composición, el tipo de aplicaciones para las que sirven. Se debe garantizar que los productos satisfagan las expectativas de los clientes potenciales, para ello incluso se acostumbra enviarles muestras para recoger la opinión y tener seguridad de la venta de la mercadería

Una característica importante a considerar en el reciclado de plásticos es que se

debe tratar de obtener productos de **buena calidad**, porque uno de los problemas es que las aplicaciones que usualmente se da a los productos reciclados son de baja calidad y por lo tanto sus precios son bajos. Debe buscarse entonces, mejores y más ingeniosas aplicaciones que las tradicionalmente realizadas. En el capítulo 4 se puede ver ejemplos de diversas aplicaciones, dependiendo del tipo de material empleado.

En esta fase entonces, se concreta el tipo de producto a fabricar, las características que tendrá y los usos a los que estará destinado.

5.2.2. Investigación del proceso

Una vez definido el tipo de producto que se quiere, se debe establecer de manera precisa, *los procesos mediante los cuales se hará posible la obtención del producto deseado*. En esta etapa se debe determinar las condiciones bajo las que se operarán las máquinas, por ejemplo: el lavado se hará a tal temperatura, el molino operará a tantas revoluciones por minuto, etc.

Cuando el proceso así lo amerite se puede incluso determinar estas condiciones mediante la experimentación previa a nivel de planta piloto (una planta industrial en pequeño).

5.3. DISEÑO DE LA PLANTA

Una vez establecido el tipo de producto a obtener y el proceso que se requiere para fabricarlo, entonces se *dimensiona el tamaño de los equipos que se requiere para cumplir con los objetivos*. Esto involucra una serie de etapas:

5.3.1. Estudio de mercado

Para determinar el tamaño que debe tener la empresa se debe establecer: la **demand**a del producto (*¿cuánto requiere el mercado?, ¿cuánto se puede vender?*), su **calidad** (*¿qué características debe cumplir el producto?*) y su **precio** (*¿a cuánto se lo puede vender?*).

Para obtener información sobre la demanda se puede recurrir a diferentes fuentes dependiendo de las características del producto. Por ejemplo las estadísticas de importaciones o exportaciones en el INEC, Banco Central y otras instituciones relacionadas. Se pueden realizar encuestas en la zona de consumo, utilizar estudios realizados por instituciones estatales y no gubernamentales. También se puede estimar la demanda a través de la prensa (especializada y común); se puede pedir información a instituciones especializadas en el negocio; obtener una aproximación conociendo la demanda de productos similares, etc.

Se debe conocer los precios de la "competencia" y los canales de comercialización existentes. En la provincia de Pichincha se conoce que existen por lo menos 7 empresas que **procesan** plásticos recuperados (y que por lo tanto **compran** este material a empresas u organizaciones que realizan la recolección del mismo), éstas empresas son: Productos Paraíso, Plásticos Dalmahu, Plásticos GR, Reciclar y las empresas de los Señores: Velarde, Albuja y Arango.

5.3.2. Oferta y precios

Se debe conocer la cantidad posible de producción en función de la materia prima disponible y de sus costos.

Existen varias fuentes a las cuales se puede recurrir para obtener la materia prima para el reciclaje, una de ellas constituye los Residuos Sólidos Urbanos (RSU). En el Distrito Metropolitano de Quito, los plásticos representan alrededor del 6% (en peso) del total de la basura generada. Como se generan alrededor de 1.400 toneladas por día de basura, entonces se dispone de alrededor de 80 toneladas diarias de plástico (en su gran mayoría termoplásticos), de las cuales se recicla el 9 %.

En Quito, existen 4 empresas y organizaciones que recuperan y comercializan el plástico (es decir que lo venden una vez seleccionado y lavado). La mayor cantidad de plástico que se recupera está a cargo de los minadores del botadero de Zambiza, los cuales están organizados en la cooperativa "Nueva Vida".

El precio de los materiales recuperados varía mucho, dependiendo de las condiciones en las cuales este material llega: limpieza, pureza y el volumen ofertado. La relación de precios entre los materiales de más alta calidad con aquellos de calidad menor, está en alrededor de 6:1.

5.3.3. Alternativas de producción

La empresa debe tener la capacidad suficiente para adaptarse a diferentes condiciones tanto de producción, como de mercado. Por ejemplo, resulta muy común que se procese un mismo plástico pero con diferentes calidades y diferente origen, o que se procesen diferentes plásticos que pueden ser o no compatibles, que el mercado requiera de un determinado tipo de producto y que las características de éste cambien a través del tiempo, o que aumente la demanda. En estas circunstancias u otras que pudiesen presentarse, se debe adaptar los equipos y la distribución de los mismos a estos cambios o a estas nuevas necesidades.

5.3.4. Servicios

Es necesario también determinar el costo y la cantidad de agua, energía eléctrica y telecomunicaciones que son necesarias, tanto para el funcionamiento de los

equipos y del proceso, como para las necesidades del personal que va a trabajar en la empresa.

Los requerimientos de los equipos se pueden obtener conociendo las potencias a las que trabajan y su tiempo de funcionamiento, por día, semana o mes.

5.3.5. Localización

Para establecer el sitio en que se va a instalar la empresa, se debe considerar varios aspectos, entre los que podemos mencionar: las facilidades para la obtención de las materias primas (los plásticos recuperados), las vías de comunicación hacia los lugares de expendio, los costos de los terrenos, el costo del transporte, la disponibilidad de mano de obra, la disponibilidad de los servicios (agua, electricidad, telecomunicaciones), la facilidad para evacuar y dar tratamiento a los residuos, etc.

5.3.6. Inversiones

Es el monto que se debe gastar inicialmente en los equipos y construcciones (incluido terreno) para poder instalar la fábrica.

5.3.7. Costos y rentabilidad

En este punto se determina: ¿cuánto se va a pagar a las personas que van a intervenir en la empresa?, los costos que tendrán los servicios, las materias primas y los aditivos. Se debe destinar fondos para la depreciación de los equipos, para seguros, impuestos, gastos de capital, etc.

Con el cálculo de todos los gastos que son necesarios y con la cantidad de producto a comercializar (y su precio), se determina la ganancia económica que puede tener la empresa y el tiempo en que se recupera el capital.

5.4. ADQUISICIONES

Una vez que se ha dimensionado los equipos requeridos, se determina los que se pueden construir, los que deben ser comprados y, de entre éstos últimos, cuáles existen en el mercado nacional y cuáles en el extranjero.

Una vez adquiridos los equipos se realiza la recepción de los mismos, cuidando que estén acordes con las especificaciones establecidas.

5.5. CONSTRUCCIÓN

De ser necesario se debe realizar la construcción de los locales en los cuales van

a estar instalados los equipos, considerando un diseño apropiado para tener una buena distribución de los mismos y de las redes de servicios que éstos requieren. Es preferible que las instalaciones estén listas antes de haber recibido los equipos.

Una vez adquiridos los equipos, se procede a instalarlos en los sitios destinados para el caso, cuidando que existan las facilidades para el acceso, control, limpieza, mantenimiento y seguridad de los mismos.

5.6. FUNCIONAMIENTO Y PRUEBA

Es necesario realizar ensayos del funcionamiento de las instalaciones, tanto por etapas del proceso, como del proceso en su conjunto. Esto permite hacer algún tipo de ajustes que perfeccionen la distribución de los aparatos o su funcionamiento.

5.7. PRODUCCIÓN

La manera como se va a fabricar los productos requiere organizar las operaciones de la empresa, asignar a cada persona las tareas y responsabilidades que de él se esperan para establecer de manera precisa las rutinas de operación de la empresa.



BIBLIOGRAFÍA



1. Para conocer de manera general sobre los polímeros y otros materiales de ingeniería, puede recurrirse a los textos de "Ciencia de Materiales", tales como:
 - CALLISTER Jr., W. "Introducción a la Ciencia de los Materiales". Editorial Reverté. 1996.
 - VLACK, L. "Elementos de la ciencia e ingeniería de los materiales". Editorial Addison-Wesley. 1989.
 - ASHBY, M., JONES, D. "Materiales: propiedades y aplicaciones". Editorial Bordas. 1991.
2. Existe una serie de textos dedicados exclusivamente a los materiales poliméricos, entre los que se puede mencionar:
 - BILLMEYER Jr. "Textbook of Polymer Science". Editorial John Wiley and Sons (existe una traducción al Castellano).
 - BRYDSON, J. "Plastic Materials". Editorial Butterworths. 1989.
 - OSSWALD, T., MENGES, G. "Materials Science of Polymers for Engineers", Editorial Hanser. 1996.
 - YOUNG, R., LOVELL, P. "Introduction to Polymers". Editorial Chapman and Hall. 1991.

3. Acerca del tema del reciclaje de materiales plásticos y otros materiales:

- BISIO, A.; XANTHOS, M. "How to manage plastic waste". Editorial Hanser. 1995.
- BRANDRUP, J., BITTNER, M., MICHAELLI, W., MENGES, G. "Recycling and Recovery of plastics". Editorial Hanser. 1995.
- DEL VAL, A. "Reciclaje". Madrid. 1991.
- LUND, H. "Manual MacGraw Hill de Reciclaje". 1996.
- CABRERA, J. "El Reciclaje en Quito". Estudio realizado por el Municipio Metropolitano de Quito. EMASEO. 1999.

4. Existe además una serie de revistas especializadas en la caracterización, transformación y reciclado de materiales plásticos, entre las que se puede citar:

- Revista de Plásticos Modernos. CSIC. Madrid.
- Modern Plastics International. Mac Graw Hill.
- Tecnología del Plástico. CC International Publishing.
- FETRAPLAST. Federación Española de Transformadores y Manipuladores de plástico.
- Journal of Applied Polymer Science.
- POLYMER.
- Polymer degradation and stabilization.

Y no se debe olvidar la abundante información que se puede encontrar mediante el Internet.!