

**LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE  
LOS PLÁSTICOS USADOS EN  
VENEZUELA Y SU RELACIÓN CON  
LA ESTRUCTURA QUÍMICA**



# **LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS PLÁSTICOS USADOS EN VENEZUELA Y SU RELACIÓN CON LA ESTRUCTURA QUÍMICA**

**Dr. Cristóbal Lárez Velásquez**

**Dr. Enrique Millán Barrios**

Grupo de Polímeros, Departamento de Química,  
Facultad de Ciencias, Universidad de Los Andes  
Mérida 5101 – Venezuela

VII Escuela Venezolana  
para la Enseñanza de la **Química**  
Mérida, del 05 al 09 de Diciembre de 2005

## VII ESCUELA VENEZOLANA PARA LA ENSEÑANZA DE LA QUÍMICA

Edición 2005

El libro **las propiedades mecánicas de los plásticos usados en Venezuela y su relación con la estructura química** fue escrito especialmente como material de apoyo de uno de los cursos ofrecidos en la VII Escuela Venezolana para la Enseñanza de la Química. La Escuela es un programa organizado por CELCIEC-ULA, diseñada en base a Cursos de Actualización dirigidos a los docentes de Química de la Educación Básica, Media y Diversificada.

Evaluación de la edición: Bernardo Fontal, Ricardo Contreras

Comité organizador del VII Encuentro con la Química:

Bernardo Fontal, Fernando Bellandi,  
Marisela Reyes, Ricardo Contreras.

**Autor:** Cristóbal Lárez Velásquez  
Enrique Millán Barrios

E-mail: [clarez@ula.ve](mailto:clarez@ula.ve)

[ejmb@ula.ve](mailto:ejmb@ula.ve)

Portada: Yanelly Gavidia

Diseño y diagramación: Smart Service **C.A.**

Se autoriza la reproducción parcial y total de esta obra, únicamente para fines de enseñanza, respetando los créditos del VI Escuela Venezolana para la Enseñanza de la Química y de los autores.

Derechos reservados © 2004, Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias, Departamento de Química, Laboratorio de Organometálicos La Hechicera, Mérida 5101, Venezuela. Tlf.: +58 274 2401380, Fax: +58 274 2401286, E-mail: [escuelade\\_quimica@hotmail.com](mailto:escuelade_quimica@hotmail.com)

Hecho en Venezuela  
Depósito legal:



## Introducción

La propuesta pedagógica que se presenta en este material pretende mostrar a los profesores de educación media cómo lograr que los alumnos ubiquen, analicen y procesen actitudes propias de la actividad científica, aprendiendo a utilizarlos en la interpretación de problemas actuales. Igualmente relaciona los nuevos conocimientos que se proponen con los ya existentes en las estructuras cognitivas, permitiendo la asimilación de los nuevos contenidos a partir del aprendizaje significativo.

Se relacionan contenidos de Química con temas de materiales y tecnología, planteando el aprendizaje de la ciencia a partir del estudio experimental y la discusión de temas de actualidad relacionados con productos químicos.

Otro punto interesante de la propuesta es que permite al docente mostrar al estudiante que en el desarrollo de la ciencia la tarea interdisciplinaria es fundamental, brindándole a éstos la oportunidad de incursionar en el conocimiento integrado.



## Contenidos

- Polímeros, monómeros, polimerización (Curso profesor Francisco López)
- Polímeros naturales y sintéticos (Apéndice A)
- Plástico, fibras y elastómeros (Apéndice B)
- Algunos usos de polímeros en Venezuela (Apéndice C)

### Organización y alcance de los contenidos:

Objetivos	Actividades
1) Motivación e indagación de conceptos previos  - Definición de polímero.  - Distintas clasificaciones de los polímeros.  - Uso de polímeros en nuestro país	- Consulta de textos. Curso profesor Francisco López  - Investigación. Polímeros en la naturaleza. Anexo A  - Investigación. Propiedades mecánicas de los polímeros. Anexo B.  - Investigación. Polímeros en Venezuela. Anexo C
2) Asimilación de la relación estructura/ propiedades en los polímeros  3) Manejo de las propiedades de los polímeros y su relación con el proceso de fabricación	- Investigación. Encontrar la estructura de los siguientes polímeros: polietileno, caucho y nylon.  - El Investigador polimérico. Experimento Anexo E

---

# Anexo A

## Los polímeros y sus fuentes

### 1.- Polímeros de origen natural

Existe una amplia variedad de procesos que permiten producir macromoléculas, incluyendo procesos biológicos naturales que generan materiales conocidos en términos generales como biopolímeros. Estos materiales biopolímeros se pueden obtener de diversas fuentes, presentándose a continuación un breve resumen de ellas.

#### 1.1.- Polímeros que se obtienen de las plantas:

Son numerosos los tipos de polímeros que se pueden extraer de fuentes vegetales, en donde normalmente cumplen funciones de todo tipo, desde la reserva energética que constituye el almidón y el sostenimiento estructural que aporta la celulosa, hasta la reproducción de se realiza mediante el ADN, al igual que en el resto de los seres vivos. Entre los polímeros más conocidos que se obtienen en la actualidad del reino vegetal tenemos:

(a) El **caucho** o **goma natural** proviene de la resina de una euforbiácea, de las cuales la más conocida es la *Hevea Brasilensis*. La resina está constituida básicamente de cadenas lineales de un poliisopreno 1,4 cis, con una masa molar entre 500.000 y 2.000.000 g/mol.



- (b) La **gutapercha** proviene de una resina que proviene de un árbol grande de la India que pertenece a la familia de las sapotáceas. Básicamente está constituida por cadenas lineales de poliisopreno 1,4-trans.
- (c) El **hule** o **guayule** (*Phartenium argentatum*) es una resina que se obtiene de un arbusto pequeño de las compositáceas que crece en México. Era ya conocido por los aztecas quienes fabricaban pelotas de goma con su látex. La resina contiene básicamente unidades de poliisopreno 1,4 cis.
- (d) La **celulosa**: es el polisacárido más abundante en la naturaleza. Constituye entre el 40 y el 60% del peso seco de una planta. Está constituido por unidades de D-glucosio enlazadas entre sí por uniones  $\beta$ -1-4 glucosídicas. En forma de pasta más o menos pura se usa para producir papel y cartones. En forma más pura se utiliza para fabricar fibras artificiales (como rayón y acetato de celulosa) y otros derivados poliméricos (como el celofán y otros ésteres celulósicos).
- (e) Proteínas vegetales como las **pectinas**, que son mezclas de polisacáridos que se encuentran en las paredes celulares y en los espacios intercelulares de algunos vegetales y cuyo componente principal es el ácido D-galacturónico o la D-galactosa. Se encuentran principalmente en la concha de los cítricos y en el fruto del peral.
- (f) Otros polisacáridos como el **almidón** y la **inulina**, que se pueden obtener de diversas partes de las plantas como las raíces, el fruto, etc. Normalmente son utilizadas por los vegetales como reservorio de energía.

---

## 1.2.- Polímeros que se obtiene de fuentes animales:

- (a) La **quitina**, que es el segundo polisacárido en abundancia en la naturaleza y proviene en su mayor parte del tratamiento químico del exoesqueleto de crustáceos.
- (b) El **quitosano**, aunque se obtiene naturalmente a partir de algunos insectos, su fuente principal es el tratamiento químico de la quitina. En los últimos años ha habido un aumento en el uso de este material debido a una serie de propiedades que, unido a su excelente biocompatibilidad, lo hacen muy versátil. Un ejemplo actual de su uso en aplicaciones biomédicas es la formulación de piel artificial con este material
- (c) Proteínas de origen animal: la mayoría de los tejidos y órganos animales incluyen en sus estructuras cadenas polipeptídicas que reciben el término genérico de proteínas. Cumplen una diversidad de funciones incluyendo la fundamental de preservar la información genética que es transmitida de una generación a otra.
- (d) Otros polímeros de origen animal importantes son: condroitina, dermatano, heparina, queratina, ácido hialurónico, etc.

## 1.3.- Polímeros que se obtienen de fuentes microbianas:

Hay algunos materiales de origen natural que han logrado ser producidos a gran escala mediante la optimización de procesos biotecnológicos, incluyendo la manipulación genética de algunos microorganismos para



hacerlos más eficientes en la generación de un determinado producto; los materiales así generados tienen la ventaja de que normalmente son enteramente biodegradables. Igualmente hay otro grupo de ellos, de procedencia bacteriana, que poseen propiedades antígenas, por lo cual se emplean en la preparación de vacunas. Entre los más destacados por su utilización farmacéutica e industrial tenemos:

- (a) **Xantano**: se puede obtener por la acción de la *Xanthomonas campestris*. Se usa como estabilizante de suspensiones en la industria alimentaria y también en la recuperación terciaria del petróleo (fangos de perforación).
- (b) **Pululano**: Se obtiene a partir del hongo unicelular *Aureobasidium pullulans*, se utiliza en la preparación de películas flexibles con buenas características de resistencia mecánica.
- (c) **Scleroglucano**: se produce por la acción de hongos unicelulares del género *Sclerotium* spp. Ha sido usado en la industria petrolera para optimizar la extracción de crudo. También se ha usado en aplicaciones farmacológicas debido a su comprobada actividad antitumoral.
- (d) **Desgrano**: su fuente microbiana es *Leuconostoc* spp y se ha utilizado principalmente en farmacología, en la preparación de hidrogeles, como elemento absorbente y en cromatografía.
- (e) **Gelano**: es producido por la acción de *Aureomonas elodea* y su principal aplicación ha sido en el área alimentaria como espesante, en la formación geles y materiales con propiedades absorbentes. Su

capacidad de formar geles es impresionante, al punto de lograrse a concentraciones de 0,1% en sistemas acuosos.

- (f) **Curdiano**: se obtiene por la acción de *Agrobacter* spp y se ha usado mayormente para la preparación de geles utilizados en cromatografía y como absorbentes.

## 2.- Polímeros sintéticos

A pesar de la variedad de materiales que se mencionó en la parte anterior, la mayor parte de los materiales polímeros que se utilizan hoy en día en casi todas las actividades cotidianas del hombre son producidos a escala industrial mediante reacciones químicas muy específicas, a partir de materiales sintéticos inventados por el químico moderno. La fuente principal de estos materiales son los derivados del petróleo; por esa razón se conocen como **polímeros sintéticos**. Normalmente los materiales así producidos no poseen equivalentes biológicos en la naturaleza y son prácticamente inertes a los elementos degradantes del ambiente, incluyendo microorganismos. A niveles muy básicos, se puede decir que existen dos mecanismos generales para la producción de polímeros sintéticos:

- (a) Las reacciones químicas en etapas, que abarcan las reacciones de policonden-sación, como por ejemplo la poliesterificación.
- (b) Las reacciones químicas en cadena, que comprenden las reacciones de adición, como por ejemplo las reacciones vía radicales libres.



## 2.1.- Polimerizaciones en etapas:

Las principales características de las polimerizaciones en etapas son las siguientes:

- (a) La polimerización ocurre mediante la reacción entre química dos monómeros que poseen grupos funcionales de distinta naturaleza.
- (b) Generalmente ocurre la eliminación de una molécula pequeña.
- (c) El grupo funcional resultante de la reacción entre los grupos funcionales de los monómeros queda formando parte de la cadena principal del polímero, repitiéndose ininterrumpidamente a lo largo de ella.
- (d) En cualquier momento de la polimerización, la mezcla de reacción contiene una distribución continua de tamaños moleculares que comprende desde el mismo monómero hasta polímero con masa molar elevada.

La **funcionalidad** ( $f$ ) de un monómero es el número de funciones químicas activas que tiene para la polimerización. La funcionalidad de un sistema ( $f_s$ ) que contiene dos o más monómeros distintos es la media aritmética las funcionalidades de los monómeros presentes; esta funcionalidad es la que determina la dimensionalidad de la cadena que se forma durante el proceso de polimerización. Por ejemplo, si tenemos:

$f_s < 2$  ---→ no hay polimerización

$f_s = 2$  ---→ cadenas lineales

$f_s > 2$  ---→ cadenas tridimensionales

Ejemplo de funcionalidad de un monómero:

- |   |         |
|---|---------|
| (a) $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$ (ácido propanoico)                          | $f = 1$ |
| (b) $\text{HOOC-CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{-COOH}$ (ácido adípico) | $f = 2$ |
| (c) $\text{HO-CH}_2\text{-CH(OH)-CH}_2\text{-OH}$ (glicerina)                       | $f = 3$ |

Una mezcla de un mol de ácido adípico + un mol de glicerina producirá una  $f_s = 2,5$  por lo que el polímero que se obtiene será tridimensional ( $f_s > 2$ ).

Las funciones existentes en un mismo monómero pueden ser:

- (a) idénticas (monómeros homofuncionales)
- (b) distintas (monómeros heterofuncionales)

Se pueden concebir dos tipos de policondensaciones lineales según se parta de (a) o de (b):



y aunque composicionalmente los dos tipos de polímeros son iguales, la constitución es claramente distinta: en el primero la orientación de los enlaces es unidireccional mientras que en el segundo esta orientación es alternante.

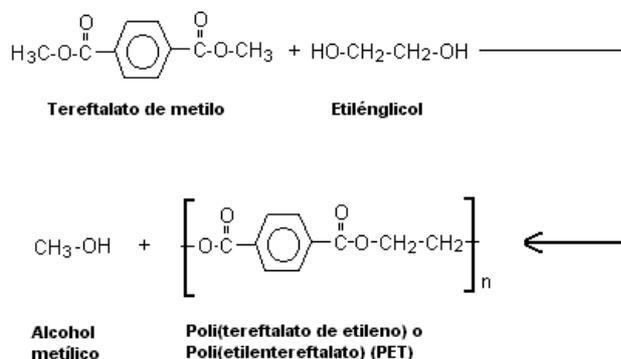


### Algunos sistemas de policondensación comunes

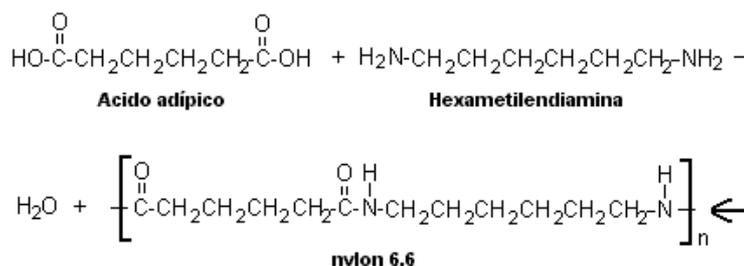
Funciones de los monómeros	Función en el polímero	Sustancia eliminada	Familia de polímero
-COOH + -C-OH diácido + diol	-COO-C- éster	H <sub>2</sub> O agua	Poliésteres
-COOH + -NH- diácido + diamina	-CO-N- amida	H <sub>2</sub> O agua	Poliámidas
-N = C = O + -OH diisocianato + diol	-NH-CO-O- uretano	ninguna	Poliuretanos

Algunos ejemplos específicos para reacciones de policondensaciones son:

(a) La producción del polietilentereftalato, conocido como PET y usado mundialmente para el envasado de refrescos en botellas plásticas, es una reacción de poliesterificación donde se parte de un diéster como el tereftalato de metilo y un diol como el etilenglicol, para producir el poliéster y se desprende una cantidad proporcional de alcohol metílico como subproducto.



(b) La producción del nylon 6,6 también se puede realizar a través de una reacción de policondensación entre un diácido como el ácido adípico y una diamina como la hexametildiamina.



## 2.2.- Polimerizaciones en cadena:

Las principales características de las reacciones en cadenas son las siguientes:

- (a) La polimerización ocurre mediante la adición continuada de monómero a una cadena de polímero en crecimiento que contiene un extremo activado hasta su pasivación (terminación del crecimiento de la cadena)
- (b) No hay pérdida de una molécula pequeña durante las polimerizaciones en cadena.
- (c) La unidad constitucional repetitiva del polímero y el monómero presentan la misma estequiometría, es decir contienen los mismos elementos en las mismas proporciones.



- (d) En cualquier instante de la polimerización, la mezcla de reacción tiene una composición bimodal constituida por monómero y polímero de elevada masa molar.

Existen varios tipos de polimerizaciones en cadena, dependiendo de especie que haga propagar la cadena, es decir, dependiendo de cual es el tipo de reacción química por la cual los monómeros se van agregando a la cadena en crecimiento. Hay varios tipos de procesos químicos que generan cadenas de polímeros que crecen a través de reacciones en cadena, como por ejemplo aniónicos, catiónicos y vía radicales libres.

Los procesos más estudiados de polimerizaciones en cadenas son las poliadiciones radicalarias. En estas reacciones, el extremo activo de las cadenas en crecimiento es un radical libre, generado al comienzo de la reacción por una especie llamada iniciador. Los radicales libres son especies muy inestables y reaccionan con mucha rapidez.

Las reacciones radicalarias más importantes desde el punto de vista de las polimerizaciones son las que envuelven dobles enlaces carbono-carbono, llamadas usualmente polimerizaciones vinílicas cuando se producen con un monómero que contiene un doble enlace C=C aislado, como el eteno ( $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ ), propeno, buteno, acetato de vinilo, etc. Las polimerizaciones diénicas se producen a partir de compuestos que contienen dobles C=C conjugados, como el dieno más sencillo: 1,3 butadieno ( $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}_2$ ).

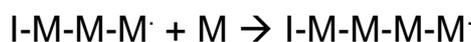
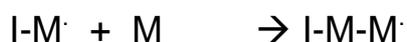
Normalmente, las reacciones en cadena para la producción de polímeros pueden ser descritas de manera general usando el esquema propuesto para las polimerizaciones radicalarias, que consisten de:

(a) Una etapa inicial que consiste en dos procesos sucesivos:

- La descomposición del iniciador en radicales libres  $I \rightarrow 2I\cdot$

- La activación del monómero por un radical libre  $I\cdot + M \rightarrow I-M\cdot$

(b) Una etapa de propagación de monómeros a la cadena en crecimiento:



(c) Una etapa final que desactiva las cadenas en crecimiento, llamada terminación, que puede ocurrir por dos mecanismos distintos:

- Por combinación:  $M_n\cdot + M_m\cdot \rightarrow M_{n+m}$

- Por desproporción  $M_n\cdot + M_m\cdot \rightarrow M_n + M_m$

En el primer caso, dos cadenas activas se combinan y producen una cadena de polímero de un tamaño mayor; en el segundo caso, la reacción desactiva las cadenas en crecimiento y se obtienen moléculas del mismo tamaño que las de partida.



Algunos de los sistemas de poliadición más comunes.

Monómero	Unidad constitucional repetitiva (ucr)	Nombre común
<b>Vinílicos:</b>		
a) $\text{CH}_2=\text{CH}_2$	$---(-\text{CH}_2-\text{CH}_2)----$	Polietileno (PE)
b) $\text{CH}_2=\text{CHCH}_3$	$---(-\text{CH}_2-\text{CHCH}_3)----$	Polipropileno (PP)
c) $\text{CH}_2=\text{CHCl}$	$---(-\text{CH}_2-\text{CHCl})----$	Policloruro de vinilo (PVC)
d) $\text{CF}_2=\text{CF}_2$	$---(-\text{CF}_2-\text{CF}_2)----$	Politetrafluoroetileno (Teflón)
<b>Diénicos:</b>		
e) $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}_2$	$---(\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2)----$	Polibutadieno
f) $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CCH}_3=\text{CH}_2$	$---(\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CCH}_3-\text{CH}_2)----$	Poliisopreno

---

## Anexo B

### Los polímeros como materiales

La importancia de los polímeros en la vida actual se puede vislumbrar cuando se considera la infinidad de aplicaciones que tienen los materiales que se fabrican con ellos. Esa versatilidad les ha hecho sustituir materiales tradicionales en la industria de la construcción como el hierro, el acero, la madera, el cartón, etc., debido principalmente a sus bajos costos, liviandad, moldeabilidad, etc. Igualmente, estas mismas características, y otras más específicas, han permitido la creación con ellos de materiales nuevos que se utilizan en aplicaciones no tan visibles, como por ejemplo en medicina (sustitución de órganos, tejidos, sutura), industria aeroespacial, automóviles, equipos científicos, etc.

Desde este punto de vista los materiales que se pueden fabricar con polímeros se pueden dividir en tres categorías, de las cuales presentaremos un resumen a continuación:

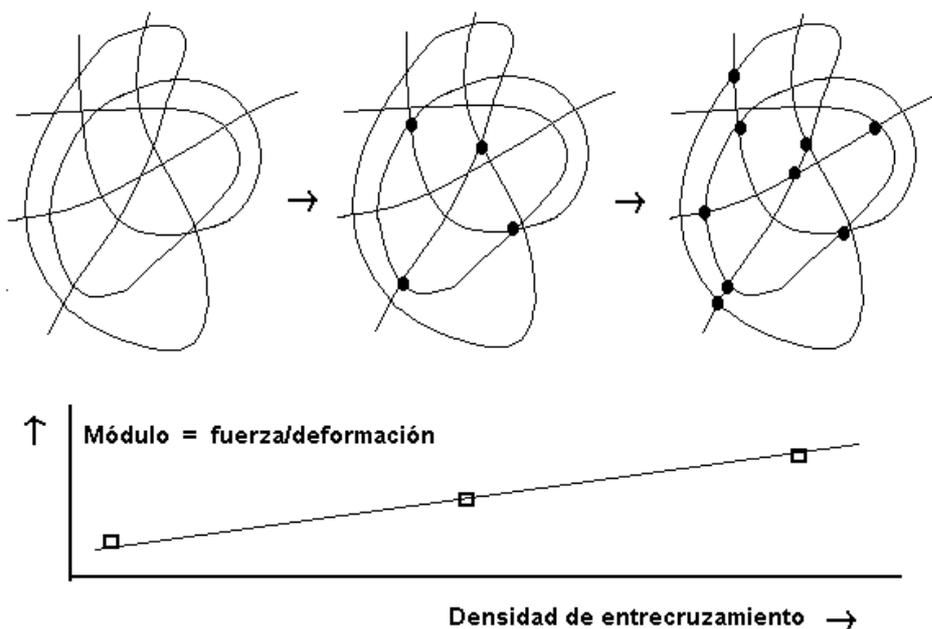
#### 1.- Elastómeros

Son aquellos materiales que tienen como cualidad distintiva la elasticidad instantánea, la cual debe ser recuperable e ilimitada a altas deformaciones. Normalmente los polímeros que cumplen estos requisitos tienen pesos moleculares elevados, temperaturas de transición vítrea ( $T_g$ ) muy bajas y son amorfos en el estado relajado. Un requisito fundamental es la existencia de algún tipo de entrecruzamiento entre las cadenas del



polímero, que impidan el desplazamiento molecular más allá de ciertos límites.

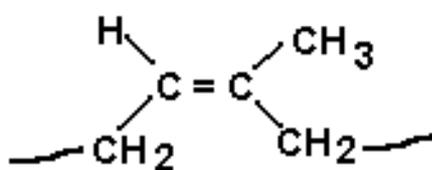
Normalmente son homopolímeros derivados de dienos (por ejemplo el butadieno) que poseen dobles enlaces en la cadena principal, lo cual les confiere cierta debilidad frente a los agentes oxidantes pero que también se aprovechan para introducir controladamente las uniones intermoleculares necesarios para el comportamiento elástico mediante un proceso conocido como vulcanización (de Vulcano, el dios romano del fuego y de la forja) que tradicionalmente se ha hecho con azufre. En la figura siguiente se ilustra gráficamente la diferencia fundamental entre un polímero vulcanizado y el mismo material antes de su vulcanización.



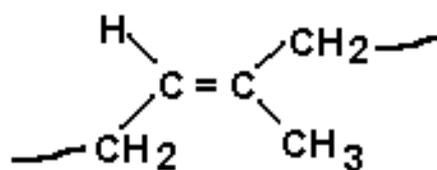
**Fig. B1.-** Representación de la relación fuerza/deformación como Función de su grado de entrecruzamiento en un elastómero.

Los representantes más conocidos de este tipo de materiales son los cauchos, especialmente por sus grandes volúmenes de producción. Se pueden dividir en dos grandes grupos: naturales y sintéticos. A continuación se mencionan algunos de ellos:

**1.1- El caucho natural** (natural rubber): es el polímero natural más empleado industrialmente; es un politerpeno que se produce por polimerización enzimática del pirofosfato de isopentilo. Su estructura química es la del cis-1,4-poli(isopreno) en un 92% y tiene, de manera natural un grado de polimerización de alrededor de 5000 y una polidispersidad elevada.



**cis-1,4-poli(isopreno)**



**trans-1,4-poli(isopreno)**

**1.2.- La gutapercha:** es también un polímero natural derivado del mismo terpeno anterior pero en este caso la configuración es trans-1,4-poli(isopreno). Es un poco más rígido que el anterior y ha tenido menos aplicaciones por esta razón.



**1.3.- El caucho sintético (SNR):** la polimerización del isopreno comenzó en 1955. Sus propiedades son indistinguibles de las del polímero natural con la ventaja de ser más limpio y uniforme. Su producción ha permanecido limitada.

**1.4.- El polibutadieno:** se obtiene por la polimerización del cis-1,3-butadieno usando las mismas técnicas que para el isopreno; posee propiedades similares al caucho natural pero presenta mayor resistencia a la abrasión. Es el componente principal de los neumáticos de alto tonelaje.

**1.5.- El poli (estireno-co-butadieno) (SBR):** está basado en un copolímero al azar del butadieno y el estireno con una proporción de alrededor de 70:30. La microestructura del material depende fuertemente del proceso de polimerización. Tienen una excelente resistencia a las condiciones ambientales (ozono) y es de mas fácil procesado.

**1.6.- Los cauchos nitrilos:** son copolímeros del butadieno y el acrilonitrilo con contenidos de éste último entre 20 y 40%. La presencia del acrilonitrilo le confiere polaridad al caucho aunque le reduce sus prestaciones mecánicas. Su mejor característica es la resistencia a los hidrocarburos. Se emplea preferentemente en la fabricación de mangueras, conductos y tanques de gasolina, aceites y otros productos de escasa polaridad.

**1.7.- Los cauchos butilos:** están constituidos básicamente por copolímeros lineales de isobutileno con una pequeña cantidad de isopreno (1-5%), la cual tiene como objeto único su posterior entrecruzamiento. Estos materiales poseen buena resistencia a la oxidación del aire y al paso de gases, de allí que se usaron ampliamente en la fabricación de tripas de

neumáticos, cuya producción se ha visto reducida con la aparición de los neumáticos sin tripas.

**1.8.- Neoprenos:** el término genérico se refiere a los copolímeros del 2-cloro-1,3-butadieno (cloropreno). El polímero puede ser vulcanizado por calor sin necesidad de ningún producto químico. No necesita la presencia de aditivos como el negro de humo para tener buenas características mecánicas. Tiene excelente respuesta a la degradación ambiental, ozono y temperatura; sin embargo, su precio es elevado y se reserva por ello solo a aplicaciones de cierta especialización como por ejemplo correas de transmisión, juntas, recubrimientos y ruedas no hinchables.

**1.9.- Cauchos EPDM:** son copolímeros del etileno con propileno, no cristalinos, que tienen un comportamiento tipo caucho, bastante inertes a la degradación. Para poder ser vulcanizados requieren la presencia de dobles enlaces a cuyo fin se les añade una pequeña cantidad de un dieno tal como el 1,4-hexadieno. Los terpolímeros resultantes se usan en la fabricación de objetos de exposición prolongada a la atmósfera pero sus altos precios limitan la competitividad en aplicaciones generales.

**1.10.- Cauchos termoplásticos:** el término elastómero termoplástico incluye una variedad de materiales que teniendo propiedades elastoméricas a temperatura ambiente, se pueden procesar como termoplásticos y no necesitan ser vulcanizados. El entrecruzamiento necesario para generar el comportamiento elástico se efectúa exclusivamente mediante puentes de naturaleza física; dada la reversibilidad térmica de este tipo de uniones, los cauchos que se obtienen son moldeables a altas temperaturas.



Entre los mas corrientes se encuentran los copolímeros de bloque de estireno-butadieno, los del poliuretano-éter y los poliésteres; igualmente algunas mezclas de copolímeros de etileno-propileno con propileno. Dentro de la gama de copolímeros estireno-butadieno destaca el copolímero tribloque Es-Bu-Es que se conoce como KRATON y contiene alrededor de 40% de estireno, posee una elevada resistencia y escasa deformabilidad en tracción pero un comportamiento elástico en flexión.

## 2.- Fibras

Se caracterizan por la existencia de un orden monoaxial a nivel molecular con dirección paralela al eje del filamento; normalmente poseen un elevado grado de cristalinidad aunque pueden obtenerse estructuras de fibra en fases amorfas. A nivel macroscópico una fibra se define como un objeto flexible y homogéneo que presenta una relación longitud/diámetro mínima de 100; sin embargo, solo será fibra si posee orden a nivel molecular. Por ello, el parámetro físico definitorio de la estructura de fibra es el grado de orientación, el cual se puede determinar por diferentes métodos: microscopía óptica, rayos X y dicroísmo infrarrojo. Igualmente, otro parámetro fundamental de la fibra es la cristalinidad, cuya evaluación es difícil, en particular si se desea obtener información acerca de la distribución de las fases amorfa y cristalina.

Existen varios métodos para su determinación, siendo los más útiles la difracción de rayos X, la espectroscopia IR y la calorimetría diferencial de barrido (DSC).

En general, para que un polímero sea capaz de formar una fibra ha de ser fácilmente cristalizable, para lo cual se necesita que cumpla algunos requerimientos estructurales. Éstos pueden ser resumidos así:

- Regularidad, las cadenas deben ser uniformes tanto en su composición química como en su estereoquímica.
- Linealidad, la forma de la macromolécula debe ser tal que permita un empaquetamiento eficiente. No debe ser ramificada y los grupos laterales no deben ser voluminosos.
- Direccionalidad, en caso de polímeros direccionales, la estructura cristalina debe incorporar las cadenas en cualquiera de las dos orientaciones posibles.
- Complejidad química, la ucr debe ser lo más simple posible para facilitar la cristalización.
- Conformación, la conformación de la cadena aislada debe ser cercana a la adoptada también en la fase cristalina.

Las fibras se suelen clasificar también como naturales (de origen vegetal como el algodón, yute, lino, etc. o de origen animal como la lana, la seda, etc.), sintéticas (nylons, acrílicas, poliésteres, etc) y semisintéticas (rayón y otros derivados celulósicos).

En la tabla siguiente se presentan algunas de las fibras sintéticas más utilizadas y posteriormente se describen brevemente algunas de las fibras más conocidas.



### Algunas de las fibras comerciales más comunes

Fibra	Polímero base	Marcas	Características
Acrílicas	Poliacrilonitrilo 35-38%	Orlon, Verel	Suaves, resistentes a la luz, indeformables.
Nylons	Poliámidas alifáticas	Nylon, Stanyl Rilsan, Antron	Alta resistencia mecánica y química.
Olefínicas	Poliétileno, Polipropileno	Tenite, Nordel	Ligeras, resistentes a la humedad y degradación.
Poliésteres	Polialquiltereftalato	Dacrón, Fortrel Kodel, Terylene	Alta resistencia mecánica y química, indeformables.
Cloradas	Policloruro de Vinilideno, PVC	Saran, Vinyon	Resistencia química y a la degradación. No inflamables.
Poliuretánicas	Poliuretanos	Lycra, Perlón	Elastoméricas
Celulósicas	Celulosa regeneradas, acetatos de celulosa.	Rayón	Hidrofilicas. No electrificables.

**2.1.- Fibras acrílicas:** son copolímeros acrílicos que contienen como componente principal el acrilonitrilo (> 85%); las que se usan en moda (modacrílicas) tienen menor contenido (entre 35 y 85%). Sus características más destacables se relacionan con la influencia que tiene la temperatura sobre sus propiedades mecánicas, especialmente en presencia del agua. Frecuentemente se emplean estos materiales con la lana dado su similitud de comportamiento.

**2.2.- Poliamidas:** fueron las primeras fibras sintéticas que alcanzaron el éxito comercial. Las dos poliamidas más ampliamente difundidas son el nylon-6 y el nylon-66. El primero se obtiene por polimerización de la caprolactama y por ello se conoce también como policaprolactama. Otras poliamidas sintéticas de importancia son el nylon-10, el nylon-6,10 y el nylon-4,6.

---

Las excelentes propiedades mecánicas que exhiben las poliamidas son consecuencia directa de su estructura cristalina, la cual se ve fortalecida por enlaces intermoleculares tipo puente de hidrógeno que explican la alta energía cohesiva propia de estos materiales que los hacen tan versátiles.

**2.3.- Fibras olefínicas:** el polietileno de baja densidad es inapropiado para formar fibras (principalmente debido a las ramificaciones que presentan las cadenas polímeras); sin embargo, es posible estirar fibras de polietileno de alta densidad, las cuales se obtienen por extrusión del fundido. Obviamente tendrán prestaciones moderadas como fibras pero encuentran algunas aplicaciones en este campo. Por otro lado, el polipropileno isotáctico de alto peso molecular es la poliolefina más adecuada para preparar fibras, lográndose preparar con este material las llamadas fibras super tenaces, según el grado de cristalinidad que presente.

**2.4.- Poliésteres:** están compuestas casi en su totalidad por el polietilentereftalato (PET). Se preparan por hilado del fundido y subsiguiente estirado a temperaturas por encima de la  $T_g$  (80 °C), lo cual lleva a la cristalización y orientación de las cadenas del polímero; es decir, el procesado es determinante en las propiedades mecánicas del material final.

Debido a su hidrofobicidad (poca afinidad por el agua) sus propiedades mecánicas son prácticamente insensibles a la humedad, tienen una gran resistencia química tanto a los ácidos como a las bases, así como a los ataques de microorganismos. Una característica distintiva de estas fibras es su capacidad para retener la forma que adquieren a altas temperaturas, propiedad que las hace útil en la confección de las famosas prendas de



vestir “lave y listo” que no necesitan del planchado. Su mayor desventaja es la notoria dificultad que presentan para el teñido, lo cual se ha venido solucionando con el tiempo por el uso de colorantes capaces de disolverse en el polímero fundido.

**2.5.- Fibras vinílicas:** se conocen de este tipo las fibras denominadas vinyon, que contienen más de 85% de cloruro de vinilo, y el vinal, que está formado básicamente por el poli(alcohol vinílico) que se obtiene a su vez de la hidrólisis alcalina del poli(acetato de vinilo). La primera es resistente al fuego, insensible a la humedad y de alta resistencia química y microbiana; el segundo es higroscópico y de buenas propiedades mecánicas tanto en ambientes secos como húmedos.

Aparte de estas fibras cloradas solo las fibras de politetrafluoroetileno (TEFLÓN) tienen interés comercial. Como se sabe el Teflón tiene una extremada resistencia a los agentes químicos y a la temperatura.

**2.6.- Fibras poliuretánicas:** generalmente son copolímeros formados por bloques rígidos cristalizables (poliuretano 85%) junto con otros segmentos flexibles (normalmente poliéteres) que se mantienen en estado amorfo. Cuando este tipo de material se estira a deformaciones elevadas se produce una alineación de los dominios amorfos que desaparece cuando se retrae; debido a que los segmentos cristalinos están siempre presentes, éstos actúan como centros de entrecruzamiento “físicos”, originando un material que tiene un comportamiento de caucho termoestable. La naturaleza elástica de estas fibras y su mayor facilidad de procesamiento las ha convertido en un sustituto de los cauchos convencionales en una amplia gama de aplicaciones, mostrando algunas características ventajosas como

su facilidad de teñido por diversas técnicas y su alta resistencia a la degradación oxidativa y también a la fotoquímica.

**2.7.- Fibras celulósicas:** se incluyen en este tipo de fibras las constituidas por celulosa natural como el algodón así como también las celulosas modificadas como el rayón-viscosa y el acetato de celulosa. La celulosa está formada por la unión de  $\beta$ -D-(+)-glucosa, cuyos tres grupos hidroxilos forman puentes de hidrógeno intermoleculares que dan lugar a una estructura altamente cristalina, que no funde y muy poco soluble. El algodón (constituido en un 95% de celulosa) debe su confortabilidad reconocida a las propiedades hidrofílicas (afinidad por el agua) y buena conductividad térmica que posee.

**2.8.- Fibras especiales:** los adelantos tecnológicos actuales han permitido el desarrollo de fibras que poseen propiedades mecánicas muy superiores a las tradicionales y que vale la pena mencionar aparte debido a que pueden considerarse materiales para aplicaciones especiales debido principalmente a sus altos costos actuales. Entre estas tenemos:

- Polietileno ultraorientado: se obtiene por extrusión a temperaturas inferiores a la temperatura de fusión y con la aplicación de presiones elevadas, lo que provoca la extensión irreversible de las cadenas.
- Poliaramidas: son poliamidas aromáticas que poseen la rigidez estructural asociada al grupo fenileno y al grupo amina. Debido a esta rigidez pueden formar cristales líquidos cuando se disuelven en ácido sulfúrico 100%; a partir del hilado de estas soluciones se obtienen fibras de muy alta cristalinidad y con las cadenas



extendidas. Las propiedades mecánicas que se obtienen con algunas de estas fibras, el KEVLAR por ejemplo, son comparables a la del acero pero resaltándose que el material posee la mitad de su densidad.

- Fibras de carbono: tienen una constitución próxima a la del grafito y se obtienen por carbonización de polímeros orgánicos precursores. El proceso de fabricación comprende tres etapas: a) preparación del precursor b) estabilización y c) carbonización. Estos materiales representan hoy en día los materiales orgánicos de más altas prestaciones mecánicas pero sus precios son elevados y accesibles solo para aplicaciones de alta tecnología.

### **3.- Plásticos.**

Se identifican como todos aquellos polímeros cuyas propiedades son intermedias entre las fibras y los elastómeros. Pueden ser subdivididos, considerando su uso, en:

- De uso general o “comodities”: se fabrican en elevadas cantidades y se dedican a múltiples aplicaciones. Tienen propiedades intermedias que pueden ser parcialmente modificadas para una aplicación específica por aditivación o mediante el adecuado procesamiento. Normalmente su uso es definido por el factor precio
- Plásticos de ingeniería: tienen precios significativamente superiores como consecuencia de su menor volumen de producción. Se

caracterizan por tener propiedades especiales para aplicaciones exigentes, las cuales resultan normalmente de una alta cristalinidad. Compiten con los materiales mecánicos y con los cerámicos con la ventaja de su menor densidad y facilidad de procesamiento,

Polímeros avanzados: son aquellos que se diseñan para satisfacer una aplicación concreta. Normalmente presentan alguna propiedad excepcional como por ejemplo alta conductividad eléctrica, biocompatibilidad o formación de cristales líquidos. Se les considera la vanguardia en el futuro de los materiales plásticos.

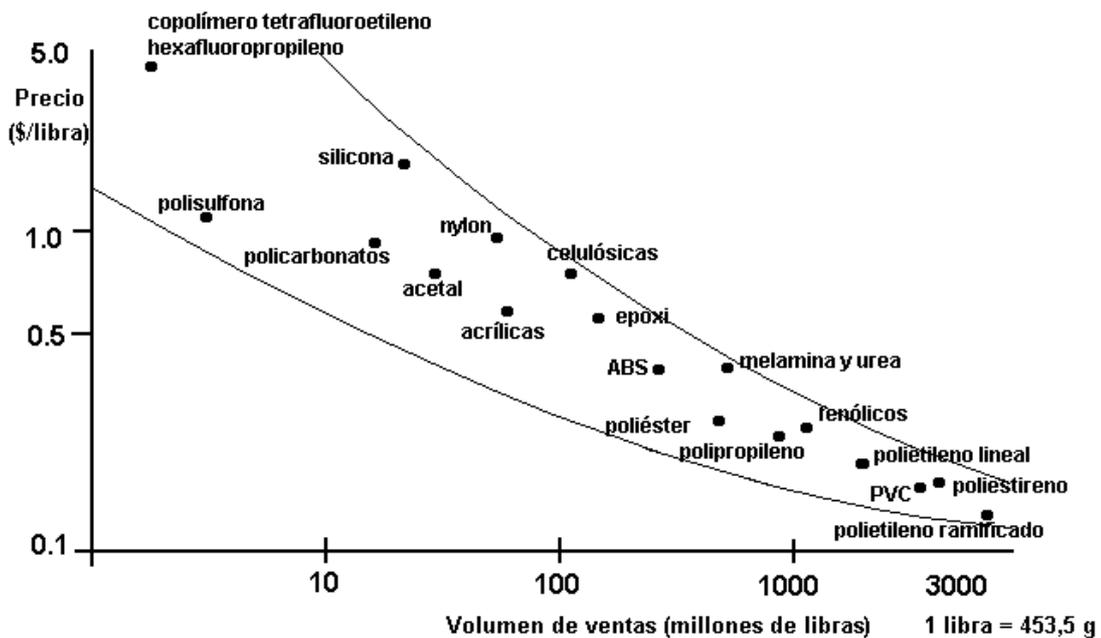


Fig. B2.- Relación precio (\$/libra)/cantidad producida para los polímeros más usados



Para una mejor exposición sobre los principales materiales de este tipo, a continuación se presenta una breve descripción de los más comunes, agrupados como familias o en función de su comportamiento.

**3.1.- Poliolefinas:** son los polímeros de adición que se preparan a partir de alquenos alifáticos, siendo su fuente principal el petróleo y el gas natural, a través de una serie de transformaciones. Los más importantes son el polietileno y el polipropileno, los cuales se describen brevemente a continuación:

Polietileno (PE): existen dos variedades comerciales principales de éste polímero, denominadas de alta densidad (HDPE) y de baja densidad (LDPE). Sus diferentes propiedades derivan directamente del distinto grado de cristalinidad que cada uno de ellos puede alcanzar. La polimerización del etileno vía radicales libres a presiones altas (1000-3000 atm) lleva a la formación del polietileno de baja densidad, debido a la ramificación de las cadenas del polímero, lo que impide obviamente un buen empaquetamiento generando un material amorfo. A pesar de ello es el polímero de mayor volumen de producción de todos los materiales sintéticos.

Por otra parte, la polimerización de este monómero mediante un mecanismo de coordinación, a bajas presiones (<100 atm), permite la obtención del HDPE que por sus características muestra una mayor resistencia mecánica. Los polietilenos comerciales tienen pesos moleculares que oscilan entre 10.000 y 40.000 y polidispersidades altas (entre 5 y 8). En términos generales se puede describir el perfil del PE como un termoplástico que reblandece entre 80-130 °C, con una densidad

inferior pero muy próxima a la del agua. Es un excelente aislante eléctrico y no requiere que se añadan estabilizantes para resistir la degradación química o fotoquímica. Se conocen otras variedades de este material que normalmente son copolímeros con otras olefinas como por ejemplo:

- Polietileno lineal de baja densidad (LLDPE) el cual contiene pequeñas cantidades de 1-buteno, propileno o 1-hexeno,
- Polietileno de muy baja densidad (VLDPE) que es un copolímero con el 1-octeno y que se presenta como una alternativa prometedora para el PVC.

Polipropileno (PP): se prepara a partir del propileno, un gas que se obtiene como coproducto del etileno en los procesos de craqueo petrolero. La polimerización Ziegler-Natta permite preparar la variedad isotáctica con un 90-95% de estereogularidad, pesos moleculares entre 200.000 y 700.000 y polidispersidades entre 6 y 12. En términos generales este material se parece al HDPE pero presenta una serie de características que lo hacen sumamente llamativo aunque es más susceptible a la oxidación:

- Menor densidad: alrededor de 0,90 g/ml.
- Temperatura de fusión superior: aprox. 165 °C.
- Mayor temperatura de transición vítrea: 0 °C.
- Mayor resistencia al fallo por flexión continuada.

Las principales aplicaciones de este material son las siguientes:

- Fabricación de artículos de una sola pieza por inyección.



- Fabricación de monofilamentos y fibras
- Envasado de alimentos, utilizando el material bi-axialmente orientado.

Otros: con la introducción de cadenas laterales en las poliolefinas se obtiene un efecto marcado en sus propiedades térmicas; lo que se ha observado es que con el aumento en el tamaño de la cadena lateral el empaquetamiento cristalino se hace más difícil por lo que consecuentemente se reduce el punto de fusión. Sin embargo, cuando la cadena alcanza un tamaño suficiente para que pueda cristalizar por si misma, se vuelve a observar un incremento en las temperaturas de fusión. Las poliolefinas de este tipo más utilizadas son:

- El poli(1-buteno), que es un polímero isotáctico fabricado mediante polimerización Ziegler-Natta con pesos moleculares entre 700.000 y 3.000.000. Su mayor aplicación es en la fabricación de conductos de agua caliente con paredes relativamente delgadas, aprovechando su buena resistencia a la temperatura.
- El poli(isobutileno), que se obtiene mediante poli-merización catiónica del isobutileno. Es un material completamente amorfo, incapaz de cristalizar, con una temperatura de transición vítrea de  $-73\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Como homoplímero se emplea principalmente en la producción de goma de masticar; también se copolimeriza con pequeñas cantidades de isopreno para vulcanizarlo y producir cauchos especiales.

**3.2.- Plásticos estirénicos (PS):** son polímeros que tienen su material de partida en el estireno (feniletileno o vinilbenceno) o en algunos de sus derivados sustituidos. El estireno normalmente se obtiene a partir del etilbenceno, que a su vez se puede producir por tratamiento Friedel Crafts del benceno proveniente de las naftas aromáticas del petróleo.

La polimerización industrial del estireno se realiza vía radicales libres usando peróxidos como iniciadores, ya sea en masa, suspensión o disolución. También se realiza la polimerización en emulsión para la preparación de látex que tiene una amplia gama de aplicaciones, incluyendo la cementación de las paredes de los conductos de explotación de pozos petroleros. Generalmente se obtiene un material atáctico, con pesos moleculares ente 50.000 y 100.000. El material es duro y transparente a temperatura ambiente, tiene buena estabilidad dimensional, baja constante dieléctrica, baja absorción de agua y una resistencia química aceptable. Sus principales desventajas son su inestabilidad por encima de 90 °C, su fragilidad y su escasa resistencia a los aceites y grasas. Sus principales aplicaciones son en el campo del embalaje y en la fabricación de recipientes de pequeño volumen. Otra aplicación importante es la fabricación de espuma de poliestireno o poliestireno expandido, que se prepara mezclando el polímero con un agente espumante antes del moldeado; el material así obtenido encuentra aplicación en protección de embalajes y como aislante térmico (cavas o termos desechables).

Existe también una gama de copolímeros del estireno que se han formulado con la finalidad de mejorar algunas de las debilidades del homopolímero. Uno de los más conocidos es el llamado poliestireno de alto



impacto (HIPS) al cual se le añade pequeñas cantidades de caucho con el fin de mejorar la resistencia al impacto. Igualmente son conocidos los copolímeros estireno/acrilonitrilo (SAN) que se han preparado para mejorar la resistencia a los aceites y grasas gracias al carácter polar que introduce el acrilonitrilo en el sistema.

También es importante mencionar en esta parte los terpolímeros acrilonitrilo-estireno-butadieno (ABS) que son materiales interpenetrados de polibutadieno con estireno y acrilonitrilo, que se han fabricado para simultáneamente introducir mejorías en las dos debilidades ya mencionadas; sin embargo, la mejoría de estas propiedades trae consigo algunos inconvenientes como la opacidad que aparece en los materiales, la poca resistencia a la degradación ambiental y, muy importante, la poca resistencia al fuego. A pesar de ello, el ABS ocupa el segundo lugar de producción de los plásticos estirénicos.

**3.3.- Plásticos vinílicos:** se presentarán algunos ejemplos de estos plásticos en los cuales el etileno lleva algún sustituyente no alquílico o aromático; los más importantes son:

Policloruro de vinilo (PVC): la producción de este material se realiza en masa, suspensión o emulsión, dependiendo de cual será el uso previsto para el polímero. En la mayoría los casos se obtiene un producto no estéreo regular, con una configuración aproximada de 55% sindiotáctica y 45% atáctica; los pesos moleculares oscilan entre 100.000 y 200.000 con polidispersidades entre 2 y 3. Normalmente es un material incoloro, rígido y relativamente frágil, con una estabilidad limitada y con tendencia a adherirse a las superficies metálicas cuando se calienta en contacto con

ellas. Tiene la ventaja de que se pueden hacer una serie de formulaciones que permiten satisfacer una variada gama de aplicaciones. Se han preparado dos tipos de PVC: el rígido y el flexible; es el segundo polímero en importancia por su volumen de producción. Su versatilidad es tal que se ha usado en la industria de la construcción de viviendas, en la fabricación de prendas de vestir, recubrimiento de cables eléctricos y revestimiento de múltiples tipos.

Poli(acetato de vinilo)(PVA): se obtiene por la polimerización vía radicales libres del acetato de vinilo; el material obtenido es esencialmente atáctico y de consistencia blanda ( $T_g$  aprox.  $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Se utiliza principalmente como adhesivo y en pinturas; igualmente es el material base para la preparación del alcohol polivinílico, un derivado que se obtiene por hidrólisis del PVA y que tiene muchas aplicaciones como adhesivo, encolante y espesante, debido a su solubilidad en agua.

**3.4.- Polímeros fluorados:** la gran estabilidad que tiene el enlace C-F hace de los polímeros fluorados materiales de gran interés, especialmente técnico. Debido a que el átomo de F es solo un poco más grande que el H, pero mucho más electronegativo, su presencia introduce modificaciones estructurales que tienen gran trascendencia en las propiedades de estos materiales. A continuación se describen muy brevemente las características de algunos de ellos:

- Poli(tetrafluoroetileno) (Teflón): se obtiene mediante polimerización vía radicales libres del tetrafluoroetileno, la cual produce un material con pesos moleculares que oscilan entre 400.000-9.000.000 y que poseen una alta cristalinidad (mayor a 94%) lo que se refleja en un



punto de fusión de cerca de 330 °C. Es un material tenaz, flexible, con una moderada resistencia a la tracción pero con una de las mejores resistencia al calor y a los agentes químicos, además de poseer un elevado poder aislante de electricidad.

- Poli(clorotrifluoroetileno) (PCTFE): fue el primer polímero fluorado que se desarrolló. La sustitución de un átomo de fluor por uno de cloro origina una menor cristalinidad aunque no se afecta la resistencia química. Tiene aplicación en la fabricación de películas transparentes gruesas que puede sustituir el vidrio donde éste es inadecuado.
- Poli(fluoruro de vinilideno) (PVDF): es un polímero cristalino que funde a 171 °C, tiene buenas propiedades mecánicas y precio aceptable. Su propiedad más significativa es la piezoelectricidad, 5 veces mayor que la del cuarzo; por ello se utiliza como transductor en telefonía y electrónica.

**3.5.- Plásticos acrílicos:** Estos materiales pueden considerarse como derivados del ácido acrílico y se incluyen los acrilatos, metilmetacrilatos y el poliacrilonitrilo:

- Poli(metilmetacrilato) (PMMA): es el miembro más importante de todos los acrilatos. La polimerización vía radicales libres muestra un efecto de autoaceleración muy pronunciado por lo que es necesario fabricar inicialmente un prepolímero que luego se termina por calentamiento. Se obtiene un material amorfo, esencialmente atáctico, aunque tiene más de 50% de triadas sindiotácticas. Su

propiedad más destacada es su gran transparencia aunque es poco resistente al calor y a la radiación ultravioleta. Se fabrican también algunos copolímeros con acrilatos (o mezclas físicas también) para mejorar su resistencia al impacto aunque normalmente se pierde parte de la transparencia original.

**Poliacrilatos:** constituyen un grupo variado de polímeros, tanto por sus propiedades como por sus aplicaciones, que tiene una constitución común  $-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{COOR})-$ . Cambiando el grupo R se modifican las propiedades de una manera pronunciada, pudiéndose disponer desde plásticos termoestables para laminado hasta hidrogeles de uso médico que se hinchan en agua.

**Los cianoacrilatos y los cloroacrilatos:** tienen amplia aplicación como materiales adhesivos de acción inmediata (cementos de aplicación instantánea, “pegaloca”).

**El poli(acrilonitrilo) (PAN):** es un polímero que apenas se reblandece con la temperatura cuando llega a  $300\text{ }^\circ\text{C}$ , por lo cual es difícil de procesar lo que lo hace poco útil como plástico, aunque ha encontrado aplicación como membrana poco permeable a gases (estanqueidad a los gases)

**3.6.- Poliamidas:** son polímeros que contiene el grupo  $-\text{HNCO}-$  en la cadena principal. Se obtienen por condensación de diácidos y diaminas o por la apertura de anillos de lactamas. Las que se derivan de monómeros alifáticos se conocen como nylons y los más importantes son el nylon 6,10, el nylon 11 y el nylon 12. En las aminas fabricadas con una diamina y un



diácido los números indican el número de carbono de la diamina y el número de carbonos del diácido, respectivamente. En los materiales fabricados con aminoácido el único número indica el número de carbonos entre unidades  $\text{-HNCO-}$ .

Los nylons exhiben propiedades mecánicas excepcionales que surgen a consecuencia del grupo amida en la cadena principal, debido a su carácter hidrofílico, pudiendo formar puentes de hidrógeno que llevan a fuertes interacciones intermoleculares. Todos los nylons absorben agua en mayor o menor medida, dependiendo de la densidad de grupos amidas en el polímero, lo que da lugar a una alteración de sus propiedades térmicas. La aplicación más importante del nylon-6,6 es como material industrial para la fabricación de rodamientos y engranajes. Igualmente es utilizado en la fabricación de fibras para tejidos o cordón en el refuerzo de neumáticos.

**3.7.- Poliésteres:** se caracterizan por tener el grupo  $\text{-COO-}$  a lo largo de la cadena. Los poliésteres alifáticos son líquidos o sólidos de bajo punto de fusión por lo que no ofrecen mucho interés técnico; sin embargo, lo que contienen unidades aromáticas presentan buenas propiedades térmicas y mecánicas, como el poli(etilentereftalato).

El poli(etilentereftalato) (PET): es un termoplástico cuyas propiedades dependen en gran medida del procesamiento final que se le realice. Así, por ejemplo, si se enfría rápidamente sin permitir su cristalización se genera un producto amorfo útil en la preparación de películas para recubrimientos y empaquetado; pero si la solidificación tiene lugar lentamente y en presencia de agentes nucleantes capaces de acelerar el proceso de cristalización, se obtiene un material cristalino y opaco.

Por otro lado, mediante procesos de inyección/soplado se puede conseguir un PET biaxialmente orientado que es cristalino y transparente, con baja permeabilidad al oxígeno y al CO<sub>2</sub>, lo cual lo hace útil para embotellar bebidas carbonatadas (gaseosas), la cual es su mayor aplicación junto con la fabricación de películas para envoltorio.

**3.8.- Plásticos termoestables:** son aquellos materiales que cuando se someten a calentamiento se transforman irreversiblemente de un material fusible y soluble en uno infusible (no se pueden fundir) e insoluble. La causa de dicha transformación es la generación de un retículo de enlaces covalentes que impide la separación intermolecular. Su calentamiento excesivo produce su descomposición. Normalmente estos materiales se deben procesar antes de su reticulación final, el cual, como se dijo, es un proceso irreversible. Mencionaremos brevemente algunos de ellos:

**Resinas fenol-formaldehído:** son los primeros polímeros sintéticos de que se tiene noticia, desde el momento que Baekeland los produjo por la reacción de fenoles y formaldehído para formar la baquelita. La principal aplicación de estas resinas es para el moldeo por inyección y compresión para la producción de piezas eléctricas de muy diferente uso. Normalmente se emplea relleno con otros materiales (aserrín, desecho celulósicos, fibra de vidrio, etc.), Debido a sus buenas propiedades adhesivas y aglomerante ha encontrado uso como recubrimiento, laminado y barnices termocurados.

**Aminoresinas:** existen dos tipos importantes de estos materiales, las resinas urea formaldehído y las resinas de melamina con formaldehído. La melamina es un trímero de la cianamida, con funcionalidad = 6, mientras que la urea tiene funcionalidad = 4. Las propiedades físicas son muy



similares a las de las resinas de fenol-formaldehído con la ventaja de que estos materiales no tienen color.

**Resinas epoxi:** son poliéteres que se generan por condensación de funciones epoxi con alcoholes, amina, ácidos o anhídridos. Sus características especiales en cuanto a tenacidad, flexibilidad, adhesividad y resistencia química les hacen encontrar aplicaciones como material de recubrimiento.

**Poliésteres insaturados:** están basadas en la utilización de anhídridos insaturados que condensan con dialcoholes (dioles) para generar un poliéster que tienen dobles enlaces carbono-carbono en su estructura. Estos dobles enlaces posteriormente se reticulan mediante reacciones vía radicales libres con un monómero apropiado, usualmente estireno. Encuentran su aplicación en la fabricación de plásticos reforzados, bien sea en laminado o moldeo. El agente de refuerzo suele ser vidrio. La amplia variación que puede hacerse en la formulación de la resina, así como la posibilidad de diferentes tipos de refuerzo, permiten una utilización diversificada de este tipo de material que se caracteriza por su fácil manejo, curado rápido, ausencia de coloración y estabilidad dimensional. Sus usos más relevantes son en el casco de barcos, carrocería de automóviles y recipientes de múltiples diseños y usos.

**Espumas de poliuretanos:** se preparan por reacción de diisocianatos con un poliéter de peso molecular alrededor de 10.000. Para la obtención de espumas rígidas se utilizan poliéteres polifuncionales y para las espumas flexibles poliéteres bifuncionales. La reacción para formar el grupo uretano

implica la pérdida de moléculas de  $\text{CO}_2$  gaseosas, que por su salida del sistema dan origen a la estructura celular característica de las espumas.



## Anexo C.

### Los polímeros en Venezuela

Como ya se ha mencionado anteriormente en este texto, los polímeros son considerados como macromoléculas que se producen por la unión de cientos o miles de moléculas pequeñas, denominadas monómeros, que forman enormes cadenas de las formas más diversas. Algunas parecen fideos, otras tienen ramificaciones, algunas se asemejan a las escaleras de mano y otras son como redes tridimensionales, etc. Dentro de este mundo de los polímeros, en este apéndice nos enfocaremos a describir algunos de los polímeros sintéticos que se producen en nuestro país, las diferentes técnicas para procesarlos y sus usos generales.

Antes de comenzar a tratar cada uno de estos materiales es necesario recordar que el aspecto fundamental que distingue a los polímeros de los materiales constituidos por moléculas sencillas son sus propiedades físicas y mecánicas. En general, los polímeros tienen una excelente resistencia mecánica a la elongación y la rotura, mostrando una elevada resistencia a ser atacados por una gran variedad de ácidos y bases fuertes, solventes orgánicos así como también por agentes atmosféricos, entre otros. Propiedades estas que son atribuidas al tipo de fuerzas de atracción intermoleculares (van der Waals, dipolo-dipolo, puentes de hidrógeno) que ejercen las grandes cadenas poliméricas que componen a la macromolécula, tal y como se observa, por ejemplo, en la tabla 1, en donde

la densidad y los puntos de fusión de estos compuestos carbonados se ven afectados por la longitud de la cadena principal. Note que los compuestos más pequeños son gases a la temperatura ambiente, pero al aumentar progresivamente el número de carbonos, los compuestos se vuelven líquidos y luego sólidos, cada vez con mayor densidad y mayor temperatura de fusión, hasta llegar a los polietilenos con densidades que van 0,92 a 0,96 g/cm<sup>3</sup> y temperaturas de fusión entre 105 y 135 °C.

Tabla 1. Densidades y temperaturas de fusión de alcanos.

<b>Hidrocarburo</b>	<b>Peso Molecular</b> (g/mol)	<b>Densidad</b> (g/mL)	<b>Temp. de fusión</b> (°C)
Metano (CH <sub>4</sub> )	16	gas	-182
Etano (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )	30	gas	-183
Propano (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> )	44	gas	-190
Butano (C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> )	58	gas	-138
Pentano (C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> )	72	0,63	-130
Hexano (C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> )	86	0,66	-95
Heptano (C <sub>7</sub> H <sub>16</sub> )	100	0,68	-91
Octano (C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> )	114	0,70	-57
Nonano (C <sub>9</sub> H <sub>20</sub> )	128	0,72	-52
Decano (C <sub>10</sub> H <sub>22</sub> )	142	0,73	-30
Undecano(C <sub>11</sub> H <sub>24</sub> )	156	0,74	-25
Dodecano(C <sub>12</sub> H <sub>26</sub> )	170	0,75	-10
Pentadecano(C <sub>15</sub> H <sub>32</sub> )	212	0,77	10
Eicosano (C <sub>20</sub> H <sub>42</sub> )	283	0,79	37
Triacontano(C <sub>30</sub> H <sub>62</sub> )	423	0,78	66
Polietileno(C <sub>2000</sub> H <sub>4002</sub> )	28000	0,93	100



En otros casos, los cambios en las propiedades físicas de estos materiales se ven afectados por atracciones mucho más fuertes y a ellas se debe la gran resistencia tensil de las fibras de los poliésteres o poliamidas.

Ahora bien, un polímero no necesariamente consta de moléculas individuales todas del mismo peso molecular, y no es necesario que tengan todas la misma composición química y la misma estructura molecular; a pesar de esto, tal vez son los más conocidos. Así, se tiene que el polietileno, el PVC, el polipropileno, y otros homopolímeros sintéticos importantes, son mezclas de componentes poliméricos homólogos. Por otro lado, también se realizan combinaciones de monómeros o polímeros (con variadas unidades estructurales) con miras a mejorar u obtener una sinergia entre cada componente de manera tal que imparta alguna de sus propiedades particulares al material final; así, por ejemplo, en el **ABS (Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno)**, el acrilonitrilo aporta su resistencia química, el butadieno su flexibilidad y el estireno (la letra “S” proviene de su nombre en inglés, Styrene) imparten al material final la rigidez que requiera la aplicación particular.

Evidentemente, al variar las proporciones de los monómeros las propiedades de los copolímeros variarán también, de manera tal que el proceso de copolimerización permite, hasta cierto punto, fabricar polímeros a la medida; ya que en algunos casos lo que se busca es:

- Mejorar las propiedades de procesamiento y transformación del material

- En otros se mezclan diferentes polímeros simplemente para reducir el costo de material
- La incorporación de pequeñas cantidades de un polímero de alta calidad que pueda mejorar las propiedades del otro componente, al grado de permitir el desarrollo de una nueva aplicación.

En la tabla 2 se muestran algunos ejemplos de polímeros sintéticos y sus usos generales

**Tabla 2.** Algunos de los polímeros sintéticos más comunes

Nombre	Uso
Polietileno	Tuberías de plástico, botellas, juguetes, aislante eléctrico, protección de cultivos en agricultura, aislamiento térmico en la construcción
Polipropileno	Juguetes, equipos de laboratorio
PVC	Tuberías, botellas, carpintería, juguetes
Teflón	Utensilios de cocina, aislante eléctrico
Poliestireno	Recipientes, aislante eléctrico y térmico (espuma de poliestireno expandido), juguetes



## 1.- Polímeros Petroquímicos

Como se ha indicado anteriormente, la mayoría de los plásticos se fabricaban con resinas de origen vegetal como la celulosa (del algodón), el furfural (de la cáscara de la avena), aceites (de semillas), derivados del almidón o el carbón, materiales estos de común uso entre la humanidad. Sin embargo, y a pesar de que la producción del nylon se basaba originalmente en el carbón, el aire y el agua, y que el nylon 11 se fabrique todavía con semillas de ricino, hoy en día la mayoría de los plásticos se elaboran con derivados del petróleo.

En el proceso de la extracción del petróleo uno de los componentes principales es el gas natural. Materia prima ésta que en el caso particular de Venezuela se encuentra en grandes cantidades, colocándonos como el segundo país con las reservas de gas más grandes a nivel mundial. Este gas natural es una fuente, al menos para nosotros, muy económica de materia prima y cuya química de separación, purificación y craqueo es ampliamente manejada por la ingeniería química en general.

En Venezuela, y en especial del estado Zulia, con sus grandes pozos productores de petróleo en los cuales se encuentran gran cantidad de gas natural, uno de los usos inmediatos para este gas es su modificación química y la consecuente generación de derivados de mayor valor agregado, en particular el etileno, materia prima para la generación del: polietileno (PE) en sus diferentes grados, monocloruro de vinilo (obtenido por la reacción entre el cloro obtenido por la electrólisis de agua salada y el etileno) punto de partida para la preparación del policloruro de vinilo (PVC);

así como es posible obtener propileno, el cual permite obtener polipropileno (PP), entre otros.

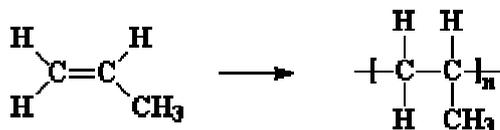
En el caso particular del complejo petroquímico El Tablazo ubicado en la costa oriental del lago de Maracaibo, este cuenta con diferentes plantas y empresas (Olefinas I y II, planta de gas licuado de Pequiven, planta de MVC, [Polinter](#), [Indesca](#), [Química Venoco](#), [Propilven](#), [Cloro Vinilos del Zulia](#) y [Olefinas del Zulia](#), entre otras) encargadas de convertir este gas natural en monómeros y posteriormente en homopolímeros. También operan en el complejo empresas que produce poliestirenos, Dow Chemical, dedicada a la elaboración de látex y Liquid Carbonic, destinada a la producción de anhídrido carbónico.

Dentro de los polímeros que se producen en este complejo petroquímico se encuentran los **polímeros vinílicos**. Como se ha mencionado anteriormente, estos polímeros presentan una característica común en los monómeros la cual es la presencia de un doble enlace en su estructura; este doble enlace es propenso a sufrir ataques por radicales libres (usualmente provenientes del iniciador de polimerización) o reacciones con metalocenos para generar productos de alto peso molecular.

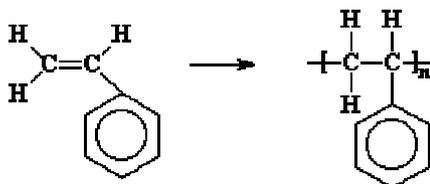
Los polímeros vinílicos más sofisticados se obtienen a partir de monómeros en los cuales uno o más de los átomos de hidrógeno del etileno han sido reemplazados por otro átomo o grupo atómico. Estos polímeros generan una gran cantidad de plásticos conocidos por sus nombres comunes:



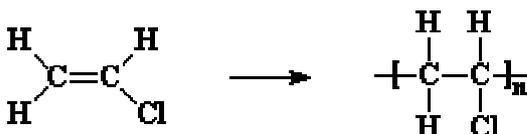
**Polipropileno**: en donde se sustituye un átomo de hidrógeno por un grupo metilénico



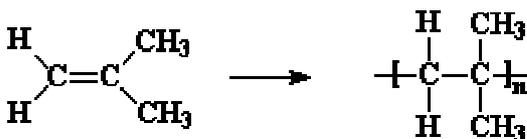
**Poliestireno**: en donde se sustituye un átomo de hidrógeno por un grupo bencénico.



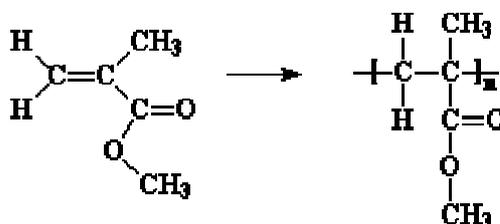
**Poli(cloruro de vinilo)**: en donde se sustituye un átomo de hidrógeno por un átomo de cloro.



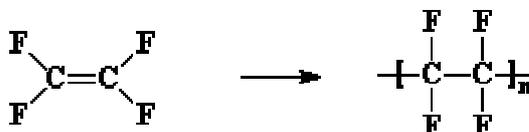
**Poliisobutileno**: Reemplazando dos átomos de hidrógeno, sobre el mismo átomo de carbono, por grupos metilénicos, este material es tipo de caucho.



## Poli (metacrilato de metilo)



No todos los monómeros en los cuales se hayan reemplazado los átomos de hidrógeno en ambos átomos de carbono son capaces de polimerizar. Pero un polímero que se obtiene a partir de un monómero sustituido en ambos átomos de carbono es el politetrafluoroetileno, que fabrica Du Pont y lo denomina **Teflon**.



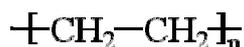
Los polímeros vinílicos se obtienen como era de esperarse a partir de monómeros vinílicos por medio de una gran variedad de rutas sintéticas, tales como:

- Polimerización vinílica por radicales libres
- Polimerización vinílica aniónica
- Polimerización vinílica catiónica
- Catálisis de Ziegler-Natta
- Polimerización catalizada por metallocenos



En cuanto a los usos de estos polímeros vinílicos a continuación se presentarán algunos usos que presentan estos materiales en Venezuela:

### **POLIETILENO (polyethylene)**



El polietileno lineal se produce con pesos moleculares de entre 200.000 a 500.000 g/mol, pero puede ser mayor aún. El polietileno con pesos moleculares de tres a seis millones se denomina polietileno de peso molecular ultra-alto, o UHMWPE (siglas en ingles de Ultra High Molecular Weigh Polyethylene). Este polímero se utiliza en la elaboración de fibras altamente resistentes, se emplean en la elaboración de chalecos antibalas y en láminas tan resistentes que se usan como pistas artificiales de patinaje.

Se pueden preparar polietilenos ramificados (denominados polietilenos de baja densidad [PEBD]) y lineales (estructura cristalina) conocidos como polietilenos de alta densidad [PEAD]. Todos estos materiales tienen una gran resistencia a los productos químicos, ácidos, bases, aceites, grasas, disolventes. Sin embargo, su resistencia es moderada para los hidrocarburos normales y clorados. Así, el PEBD [o LDPE (low density polyethylene) de acuerdo a sus siglas en ingles] se utiliza para fabricar bolsas flexibles, embalajes industriales, los techos de invernaderos de uso agrícola, como aislantes de cables eléctricos, etc. Por otro lado, el PEAD [o HDPE (High density polyethylene) de acuerdo a sus siglas en ingles] se utiliza también para bolsas pero de mayor resistencia del tipo en las cuales se pueden imprimir (y mantener pues no se deforman) figuras, nombres y

logotipos, por ejemplo las de los sobres de envío de correspondencias. También son la base para producir las populares “gaveras” plásticas (dada su resistencia al impacto) para botellas, frutas, pescado, tuberías, juguetes, cascos de seguridad industrial. Además se utilizan para elaborar cuerdas para escalada, amarre de barcos, redes, lonas para hamacas, etc. En la industria alimenticia se emplean en la fabricación de envases para la leche, sueros, embalaje de alimentos, entre otros (dada su resistencia térmica permite usarse para envases que deban ser esterilizados en autoclave).

## **POLIPROPILENO (Polypropylene)**

Este polímero (estructura semicristalina) supera al polietileno ya que posee mejores propiedades mecánicas, densidad más baja y su precio es también menor. El polipropileno funciona como [plástico](#) y como [fibra](#). Como plástico se utiliza para hacer envases para alimentos capaces de ser lavados con agua caliente (no funde por debajo de 160 °C), mientras que como [fibra](#) se utiliza para hacer alfombras de interiores y exteriores (del tipo que se emplea alrededor de las piscinas y grama sintética) ya que no absorbe agua. También se emplea en la fabricación de muchas piezas de automóviles, como por ejemplo en los parachoques, en carcasas de electrodomésticos y cajas de baterías y otras máquinas. Se usa en la fabricación de cuerdas, sacos tejidos, cintas para embalaje, tuberías de fluidos calientes, envases de medicamentos, de productos químicos, y sobre todo de alimentos que deban esterilizarse o envasarse en caliente. También se utiliza en forma de película (film) como la empleada en las carnicerías, ya que tiene una gran transparencia y buenas



propiedades mecánicas, además es el material transparente en los sobres y cintas autoadhesivas.

## **POLIESTIRENO (Polystyrene)**

El poliestireno es un polímero económico y resistente. Se emplea en la cubierta exterior de la computadora, tazas plásticas transparentes, partes moldeadas en el interior de los vehículos como los botones de la radio, etc. El poliestireno también se emplea en juguetes y para las partes exteriores de secadores de cabello, computadoras y accesorios de cocina. Se utiliza en forma de espuma para envoltorios y como aislante (cavas), para fabricar envases de helados, cintas de máquinas de escribir, magnéticas (casetes), bisutería, bolígrafos, juguetes, accesorios de dibujo, bandejas de comida, cubiertos. Su facilidad de moldeo y su resistencia dieléctrica hacen que sea un plástico muy utilizado para piezas de radios, televisores y componentes electrónicos. El poliestireno expandido (anime) se utiliza por ejemplo para placas de aislamiento térmico, decorados cinematográficos, piezas para embalajes para el transporte de artículos delicados o frágiles

Existen diversas variedades de poliestirenos modificados como copolímeros, a saber: copolímero de estireno con acrilonitrilo [SAN] que se emplea en luminotecnia y en carcasas que requieran ser transparentes para poder observar ver el contenido interno. Copolímero de estireno con caucho butadieno S/B o también PS de alto impacto PSAI (tazas soperas para sancochos), copolímero de estireno y acrílico con caucho acrílico ASA, mezcla estireno/ acrilonitrilo, mezclado con butadieno ABS, el cual se utiliza en electrodomésticos y pequeñas maquinarias, en piezas de automóviles, radios, y televisores (carcasa de las batidoras de cocina,

cajas de la televisión y de la radio), también se puede recubrir de una capa metálica por galvanización y así se utiliza en funciones decorativas como los embellecedores de vehículos, tapones de perfumería , etc. El poliestireno es también un componente de un tipo de caucho duro llamado [poli\(estireno-butadieno-estireno\)](#), o caucho SBS ([elastómero termoplástico](#))

### **POLICLORURO DE VINILO (Polyvinylchloride)**

El poli(cloruro de vinilo) es el plástico que en la ferretería se conoce como PVC. Este es el PVC con el cual se hacen las tuberías de aguas negras y algunas veces se emplea para aguas blancas. Está por todas partes, en la plomería de las casas, en revestimientos "vinílicos" empleados en muchas casas y vehículos (semicuero). Es esencialmente utilizado para la fabricación de tubos, ventanas, puertas, persianas, muebles, en electrodomésticos, piezas de automóvil, mangueras, juguetes, botellas, film de embalaje. En el área de la construcción se utiliza como tubos para distribución de agua potable, ventanas, puertas, persianas, pisos, láminas para impermeabilización de techos y piscinas, revestimientos murales, perfiles rígidos para cables eléctricos, etc. En el área de envase y embalaje como botellas (agua mineral, aceites comestibles, jugos, etc.) aunque cada vez es más prohibido su uso para estas aplicaciones, envases farmacéuticos, cosméticos, detergentes, etc. En el área de ciencias de la salud como bolsas para suero, plasma y sangre, catéteres para transfusiones y diálisis, y guantes quirúrgicos. También se emplea como recubrimiento de cables eléctricos para uso doméstico e industrial, cajas de distribución, perfiles rígidos para cables, tubos, enchufes, etc. En la agricultura se utiliza en la fabricación de láminas para impermeabilización



de balsas y canales para riego; tubos para riego y drenaje; mangueras; películas para invernaderos, etc. También se consiguen en juguetes (muñecas, pelotas, artículos hinchables, etc.) en general.

Una de las propiedades por las cuales el PVC es uno de los polímeros más empleado en el mundo se debe a que este material produce plásticos ligeros, inertes, no propagan la llama (aunque genera vapores altamente tóxicos), impermeables, aislantes (térmico, eléctrico y acústico), resistentes a la intemperie, puede llegar a tener una elevada transparencia, además es económico en cuanto a su relación calidad-precio.

## **2.- Polímeros sintéticos no petroquímicos**

Existen una serie de polímeros que son sintetizados en otro tipo de industrias diferentes a las petroquímicas, estos corresponden a poliésteres, poliamidas, poliuretanos, policarbonato, siliconas, resinas epoxídicas y fenólicas, polímeros compositos, etc, que generalmente van dirigidos a la industria textil, de pinturas y de uso en ciencias de la salud. A continuación presentaremos algunas de las aplicaciones principales de estos tipos de polímeros que, a excepción del policarbonato y de materiales compositos, también se producen en el país.

Dentro de las aplicaciones en la industria textil se tienen como materia prima:

## POLIAMIDAS

Dentro de esta categoría de materiales la más conocida es el nylon. Como ya fue indicado con anterioridad, las poliamidas se consiguen por la policondensación de dos productos distintos. Las poliamidas presentan unas propiedades físicas próximas a las de los metales como la resistencia a la tracción entre 400-600 kg/cm<sup>2</sup>. Tienen un coeficiente de rozamiento muy bajo, por lo que no necesitan de lubricantes en el proceso de producción y se pueden emplear en piezas sometidas a fricción. Además, una de las características más importantes es su bajo peso específico, buena resistencia química, fácil moldeo, y resistencia a temperaturas de trabajo de hasta 1200 °C. Todas estas propiedades las hace apropiadas para engranajes, cojinetes, cremalleras, palas de ventiladores industriales y hasta tornillos. Sin embargo, por su estructura química, tienden a absorber agua en un porcentaje variable, lo cual hace que disminuyan sus propiedades mecánicas, y aumentan el volumen al hincharse.

Algunas poliamidas se emplean como lacas protectoras o para el recubrimiento de piezas metálicas, por ejemplo muchas cerraduras y manillas de puertas tienen este recubrimiento, también se emplean para recubrir piezas de barcos. Tal vez el uso actual más conocido es el desarrollo de ropas deportivas (pantalones para porteros, ciclistas, buceadores, etc.) resistentes a fuertes condiciones de roce, aislantes de temperatura (chaquetas compuestas para soportar fríos extremos) y, al combinarse con otros polímeros, en el desarrollo de cuerdas y fibras resistentes.



## RESINAS

Dentro de este conjunto de materiales se encuentran un grupo de polímeros de condensación diseñados para ser aplicados como pinturas, recubrimientos, elaboración de tabiques y en la industria del pegamento. Aquí se encuentran polímeros del tipo fenolformaldehído, resinas epoxídicas, fenílicas, de poliéster isoftálico, poliuretanos, entre otras. En general, estas resinas se emplean en la fabricación de materiales de desgaste, impregnación de fibras, en la industria maderera, del calzado, de revestimientos y de pinturas.

En Venezuela existen grandes empresas dedicadas a la fabricación de este tipo de polímeros (Venezolana de Pinturas, Corimon, Resimon, etc.) que se ofrecen para su posterior tratamiento en el desarrollo de materiales para diferentes usos. Tal vez el más conocido está en la industria de la generación de pinturas. Lo que todos conocemos como una pintura no es más que un polímero termoplástico (o termoestable en la fase anterior a la gelificación o reticulación) que engloba a una serie de pigmentos insolubles encargados de darle color, o bien propiedades anticorrosivas, de carga, etc.). La pintura, que puede encontrarse en fase líquida o sólida (pintura en polvo), tras su aplicación sobre la pieza a recubrir sufre una serie de reacciones químicas complejas que transforman los prepolímeros termoestables en polímeros termoestables, formando una gran macromolécula sobre toda la superficie pintada. El mecanismo para conseguir esta reticulación es muy variado, siendo el principal factor utilizado la reticulación por efecto de la temperatura (entre 100 y 200 °C, dependiendo del sistema de resinas, catalizador etc.), pero también se

utiliza la oxidación por el oxígeno del aire, la radiación ultravioleta, etc., ver tabla 3.

Tabla 3. Usos comunes de diferentes tipos de resinas

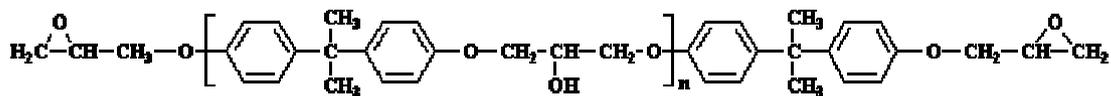
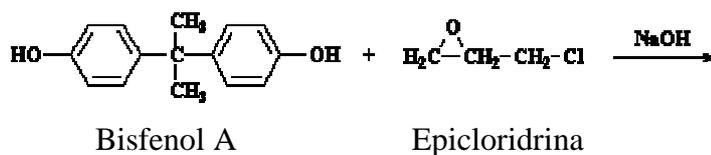
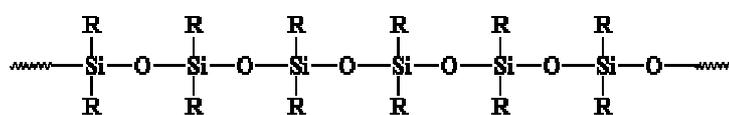
<b>Resinas aglomerantes</b> Abrasivos Frenos Fundición Laminados decorativos Madera aglomerada y contrachapado Materiales aislantes Neumáticos (llantas) Papel, aglomerados de papel y cartón
<b>Resinas de poliéster</b> Botones Laminas y paneles translúcidos Mármol, Ónix y Granito sintéticos Masillas para latonería y pintura Otros poliésteres no saturados Plásticos reforzados con fibra de vidrio Tanques, corrosión, resistencia química
<b>Resinas para adhesivos</b> Adhesivos en emulsión (látex) Adhesivos Líquidos y en solución
Resinas para pinturas y recubrimientos en general Acabados para madera Automotriz y artefactos industriales, ( Equipos Originales - OEM) Envases metálicos Mantenimiento Industrial & Marino (MIM) Pinturas Arquitectónicas en emulsión (Látex) Pinturas Arquitectónicas en solución (Oleoresinosas) <a href="#">Pinturas para tráfico</a> Reacabado automotriz Tintas para imprenta
<b>Compuestos fenólicos de moldeo</b> Formaldehído <a href="#">Formaldehído</a>



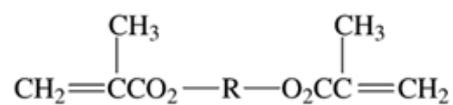
Por otra parte, existen un conjunto de resinas de amplio uso odontológico que, en general, no son producidas en el país. Presentan estructuras químicas diversas pero en general se tratan de resinas acrílicas, epoxídicas, poliésteres, policarbonatos, siliconas o combinaciones de estas. Su uso está orientado en la generación de resinas compuestas, cementos dentales, adhesivos, delineadores de cavidad, selladores de fisuras o picaduras, fabricación de moldes y marcos dentales, recubrimiento de dientes, entre otras.

Las estructuras químicas más comunes para usos dentales parecen complicadas pero se tratan de elastómeros, materiales fotopolimerizables y resinas que implican comb

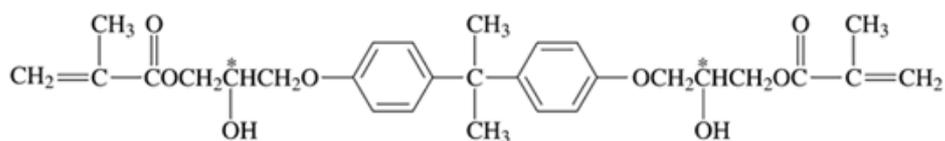
inación de monómeros del tipo:



Siliconas



Metacrilatos



BisGMA

Los **policarbonatos** son otro conjunto de polímeros no preparados en el país pero que su procesamiento y transformación permite la elaboración para piezas empleadas en aparatos electrodomésticos, piezas de automóviles, luminotecnía, cascos de seguridad. En el caso del **polimetilmetacrilato** (Plexiglas), este polímero tiene una gran transparencia, además de elevada rigidez y tenacidad, buena resistencia química, fácil moldeo y buen comportamiento dieléctrico. Se utiliza en múltiples aplicaciones, accesorios para cuartos de baño, parabrisas y ventanas de aviones, portillos de barcos, claraboyas. Se pueden obtener planchas por colada entre dos planchas de vidrio. Al ser un material muy transparente, se utiliza también en óptica, lentes de máquinas fotográficas, gafas.

### 3.- Procesamiento y transformación de polímeros

La fabricación de los plásticos y sus manufacturas implica cuatro pasos básicos: obtención de las materias primas, síntesis del polímero básico, composición del polímero como un producto utilizable industrialmente y moldeo o deformación del plástico a su forma definitiva. Fundamentalmente en su transformación y utilización ninguna materia polimérica puede ser utilizada sin aditivos.

En la manufactura de películas de plástico se emplean muchos tipos de resinas termoplásticas, casi siempre polímeros de alto peso molecular que permitan obtener resistencia en caliente. El polietileno de baja densidad, el polietileno de alta densidad, el PVC, y actualmente el polipropileno constituyen la mayor parte del volumen en este campo.

Como hemos visto, las poliolefinas son las que muestran un espectro más amplio de uso, siendo las películas de PVC las que les siguen en importancia. Para lograr obtener un determinado producto, adicionalmente a las resinas base, es necesario añadir otras sustancias auxiliares que ayudan a procesar el material o a mejorar sus propiedades. Además, estos compuestos no deben presentar problemas de compatibilidad, ser absorbentes de luz ultravioleta, no tóxicos y deben emplearse en pequeñas cantidades. Los productos que se formen con él deben ser insolubles, inodoros y resistentes al agua.

Entre los diferentes tipos de aditivos que se utilizan para elaborar formulaciones están:

- **Plastificantes:** son líquidos de baja temperatura de ebullición que se agregan a los polímeros para mejorar su flexibilidad, extensibilidad y



procesabilidad. Actúan como separadores de las cadenas de polímero, reduciendo las atracciones intermoleculares y promoviendo así una mayor movilidad.

- **Estabilizadores Térmicos:** son sustancias que permiten controlar la extrema susceptibilidad a la degradación de los polímeros permitiendo de esta forma su procesamiento. Además tienen la finalidad de neutralizar y reaccionar con subproductos de reacción, por ejemplo en el caso de PVC, donde deben reaccionar con el ácido clorhídrico que se genera por degradación del material, previniendo la decoloración del compuesto durante el proceso de transformación.
- **Lubricantes:** se emplean para mejorar la procesabilidad de los polímeros reduciendo la fricción entre las partículas del material y retrasando la fusión del mismo. Reducen además la viscosidad del fundido promoviendo, de esta manera, el buen flujo del material. Evitan que el polímero caliente se pegue a las superficies del equipo de procesamiento y mejoran el acabado superficial del producto.
- **Lubricantes Externos:** reducen la fricción entre las partículas del polímero y las superficies metálicas de la maquinaria.
- **Modificadores de Impacto:** dan mayor resistencia al impacto a temperaturas más bajas e imparten flexibilidad a compuestos rígidos.
- **Ayudantes de Proceso:** mejoran la procesabilidad de los polímeros sin afectar sus propiedades y reducen los defectos superficiales.
- **Cargas:** mejoran las propiedades mecánicas y disminuyen el precio del compuesto.

Otros materiales de importancia y que se manejan en volumen mucho menor son: **pigmentos** y aditivos para dar características específicas al producto o para mejorar su aspecto visual.

Para poder entender la transformación de un polímero “puro” en un material que pueda ser empleado en la vida cotidiana debemos entender los procesos que ayudan a su procesabilidad. La procesabilidad se define en términos reológicos y contempla todos aquellos factores relacionados con las transformaciones físicas y químicas resultantes del régimen de movimiento y transferencia de calor a las que se somete el polímero.

La etapa de procesamiento consiste en controlar las operaciones que conducen al producto final, el cual debe satisfacer una calidad que se fija a través de funciones reométricas, parámetros reológicos y propiedades fisicoquímicas.

El procesamiento y moldeo de los plásticos consiste en dar las formas y medidas deseadas a un plástico por medio de un molde. El molde es una pieza hueca en la que se vierte el plástico fundido para que adquiera su forma, proceso que se realiza bajo presión. En función del tipo de presión al que se somete el plástico, tenemos estos dos tipos:

**Moldeo a Alta Presión:** se realiza mediante máquinas hidráulicas que ejercen la presión suficiente para el moldeo de las piezas. Básicamente existen tres tipos: compresión, inyección y extrusión.

**Compresión:** en este proceso, el plástico en polvo es calentado y comprimido entre las dos partes de un molde mediante la acción de una prensa hidráulica, ya que la presión requerida en este proceso es muy



grande. Este proceso se usa para obtener pequeñas piezas de baquelita, como los mangos aislantes del calor de los recipientes y utensilios de cocina.

**Inyección:** consiste en introducir el plástico granulado dentro de un cilindro, donde se calienta. En el interior del cilindro hay un tornillo sinfín que actúa de igual manera que el émbolo de una jeringuilla. Cuando el plástico se reblandece lo suficiente, el tornillo sinfín lo inyecta a alta presión en el interior de un molde de acero para darle forma. El molde y el plástico inyectado se enfrían mediante unos canales interiores por los que circula agua. Por su economía y rapidez, el moldeo por inyección resulta muy indicado para la producción de grandes series de piezas, llegándose a fabricar por este método: palanganas, cubos, carcasas, componentes del automóvil, etc.

**Extrusión:** consiste en moldear productos de manera continua, ya que el material es empujado por un tornillo sinfín a través de un cilindro que acaba en una boquilla, lo que produce una tira de longitud indefinida. Cambiando la forma de la boquilla se pueden obtener barras de distintos perfiles. También se emplea este procedimiento para la fabricación de tuberías, inyectando aire a presión a través de un orificio en la punta del cabezal, de esta manera y regulando la presión del aire, se pueden conseguir tubos de distintos espesores.

**Moldeo a Baja Presión:** se emplea para dar forma a láminas de plástico mediante la aplicación de calor y presión hasta adaptarlas a un molde. Se emplean, básicamente, dos procedimientos: el primero consiste en efectuar el vacío absorbiendo el aire que hay entre la lámina y el molde, de manera

que ésta se adapte a la forma del molde. Este tipo de moldeado se emplea para la obtención de envases de productos alimenticios en moldes que reproducen la forma de los objetos que han de contener. El segundo procedimiento consiste en aplicar aire a presión contra la lámina de plástico hasta adaptarla al molde. Este procedimiento se denomina moldeo por soplado (como el caso de la extrusión). Se emplea para la fabricación de cúpulas, piezas huecas, etc.

También se emplean otras técnicas, derivadas de las anteriores que comprenden:

**Colada:** consiste en el vertido del material plástico en estado líquido dentro de un molde, donde fragua y se solidifica. La colada es útil para fabricar pocas piezas o cuando emplean moldes de materiales baratos de poca duración, como escayola o madera. Debido a su lentitud, este procedimiento no resulta útil para la fabricación de grandes series de piezas.

**Espumado:** consiste en introducir aire u otro gas en el interior de la masa de plástico de manera que se formen burbujas permanentes. Por este procedimiento se obtiene la espuma de poliestireno, la espuma de poliuretano (PUR), etc. Con estos materiales se fabrican colchones, aislantes termo-acústicos, esponjas, embalajes, cascos de ciclismo y patinaje, plataformas ligeras, etc.

**Calandrado:** consiste en hacer pasar el material plástico a través de unos rodillos que producen, mediante presión, láminas de plástico flexibles de

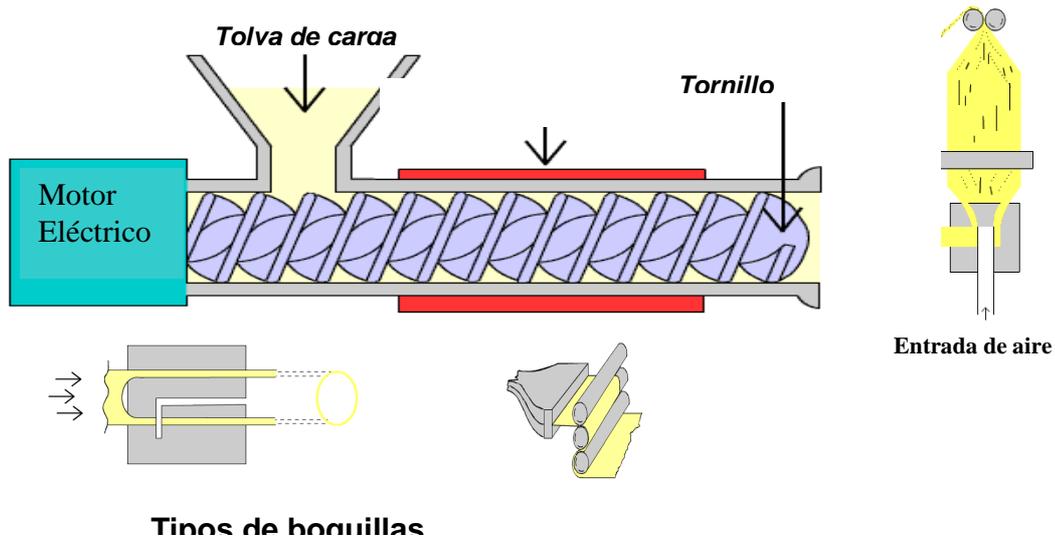


diferente espesor. Estas láminas se utilizan para fabricar hules, impermeables o planchas de plástico de poco grosor.

A continuación describiremos en más detalle alguna de estas técnicas de procesamiento así como el tipo de material a emplear.

### Proceso de Extrusión

Uno de los métodos principales para preparar materiales polímeros involucra la mezcla de polímeros fundidos con una serie de aditivos, esta transformación se lleva a cabo mediante un proceso llamado extrusión.

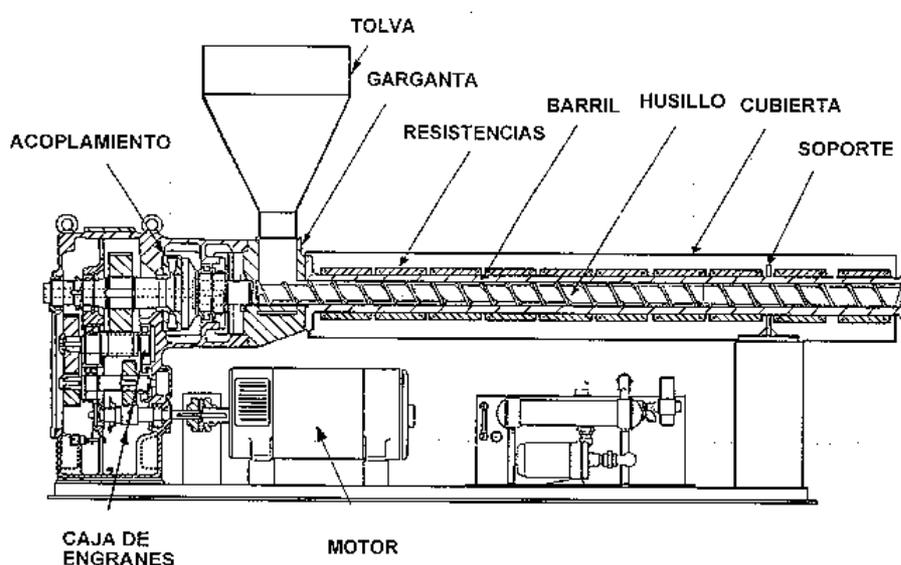


Representación de una extrusora

Un extrusor típico consta de un mecanismo de transmisión y potencia, de un cilindro, de un tornillo, de una malla y de los apropiados controles de presión, temperatura y velocidad. Una vez que se mezclan las proporciones adecuadas de compuestos, aditivos, material recuperado o pigmentos que requieren cada tipo diferente de resina o producto, se

procede a la carga del material por la tolva, inmediatamente el extrusor fundirá, comprimirá, mezclará y bombeará el material plástico a la sección de formado. La sección de formado es usualmente un cabezal con una boquilla de salida que da al material fundido la forma que se desea obtener mediante un proceso continuo, como son: hojas, tubos, perfiles y otros. En este proceso el motor, ya sea de velocidad variable o fija, hace dar vueltas a un tornillo dentro de un cilindro calentado eléctricamente por medio de resistencias. El material plástico es alimentado por gravedad en una tolva a través de una abertura en el cilindro y el plástico es transportado por el tornillo absorbiendo el calor tanto del cilindro como del esfuerzo friccionante.

Corte de un extrusor típico. Tomado de [www.empaquesplasticos.com.mx](http://www.empaquesplasticos.com.mx)





Conforme el plástico se va fundiendo, el canal del tornillo se va estrechando, lo que incrementa la presión interna forzando al material a salir por la boquilla. Una vez que el material fundido tiene la forma básica deseada se pasa a la sección de formado final.

### **Proceso de película plana**

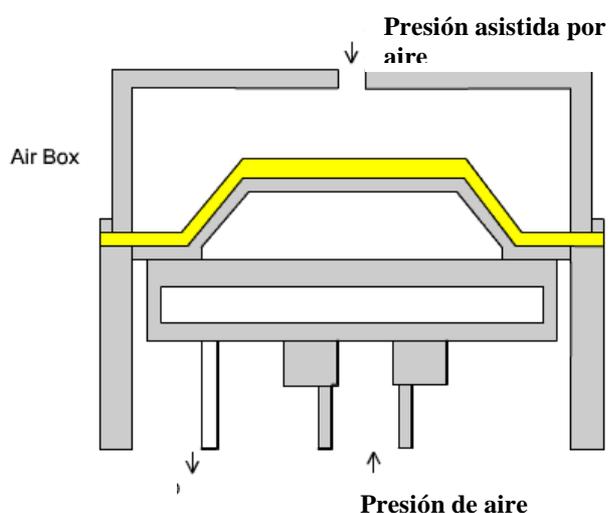
Una línea de película plana en general usa extrusoras con un sólo tornillo para convertir una gran variedad de termoplásticos en flujos constantes de producto derretido que son formados en una estructura de película mediante los moldes.

### **Moldeo por Inyección**

Con este proceso se generan piezas del interior de automóviles, bastidores electrónicos, artículos para el hogar, equipamiento médico, compact disc, entre otros.

El proceso de moldeo por inyección requiere de la fundición del plástico en una extrusora y de la utilización del tornillo de la extrusora para inyectar el plástico en un molde, donde es enfriado. También se cuenta con el proceso de moldeo rotacional es un proceso simple de cuatro etapas que usa un molde cerrado el cual cuenta con una entrada para la inserción del plástico y la posibilidad de ser abierto para que se puedan retirar las partes curadas.

En general se coloca plástico en polvo y seco que rota simultáneamente entre los dos ejes ubicados perpendicularmente. Con la rotación lenta de los ejes, el material cae en el fondo y crea un camino que cubre toda la superficie del molde por igual. Este proceso es capaz de moldear elementos huecos pequeños y grandes con un espesor de paredes relativamente uniforme (casas de muñecas, cajas de herramientas, etc.).



Representación del moldeo por inyección

### Moldeo por Soplado

El moldeo por soplado es el proceso a través del cual se realizan productos huecos mediante la expansión de un plástico caliente (derretido) contra las superficies internas de un molde. Aproximadamente el 75% de los procesos son de moldeo por soplado por extrusión y el 25% restante son de moldeo soplado por inyección.



Productos como el polietileno, polipropileno, poliuretano, PVC y PET (botellas de refrescos) pueden ser moldeados por soplado sin ningún tipo de problemas. Esencialmente las piezas que se fabrican a través de este proceso son: pequeñas botellas para productos del hogar y cuidado personal, productos lácteos y bebidas carbonadas, pequeños contenedores para materiales peligrosos o químicos, tanques de combustible, potes, grandes tanques, cilindros, tableros para automóviles, etc.

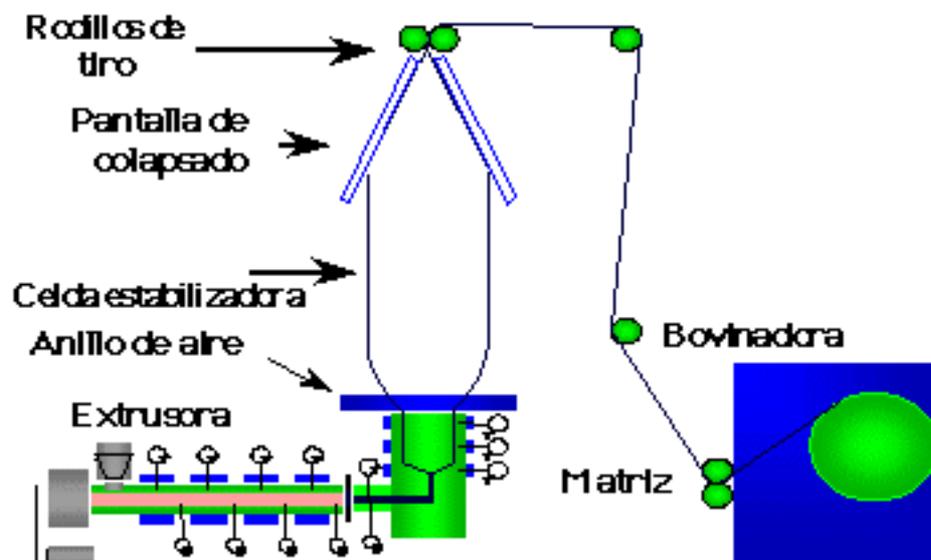


Diagrama de un equipo para soplado

La alimentación del material se llevará a cabo colocando polímero virgen y aditivos a la extrusora. La producción se controla mediante la utilización de celdas de carga gravimétricas, las cuales controlan la velocidad de de arrastre del material para mantener un grosor constante en la película. La matriz de la película soplada le da forma anular al polímero derretido que sale de la extrusora, esta matriz está diseñada para proveer una velocidad uniforme al polímero alrededor de la boquilla de salida de la

extrusora; una vez que el polímero derretido sale de la matriz, adquiere sus dimensiones finales y se enfría. Dependiendo del tipo de uso final del material generado, el polímero derretido es estirado, soplado o prensado. En el caso particular de la producción de bolsas plásticas, el material polimérico caliente se sopla mediante la expansión de la burbuja caliente con presión de aire en su interior. El aire sale a través de un anillo de aire que está en la superficie de la burbuja para proporcionar el enfriamiento del tejido de polímero derretido y, posteriormente, se estira el tejido hacia abajo con los rodillos de tiro hasta reducir la película al grosor deseado. Luego de transformarse en un tejido chato, se pueden desarrollar cualquiera de los procesos auxiliares, como por ejemplo: tratado, corte, sellado o impresión.

### **Termoformado**

Otra técnica importante en la fabricación de materiales poliméricos es el termoformado. Este implica un proceso de calentamiento de una lámina termoplástica al punto de ablandamiento para posteriormente presionarla, a través de un medio neumático, contra un molde contorneado. Este medio neumático puede consistir en un vacío entre el plástico y el molde o el uso de aire comprimido para presionar el material contra el molde e inclusive una combinación de los dos. Con este proceso se producen tubos, envases huecos, etc.

Durante el desarrollo de la presentación de este material se dará mayor información sobre estos procesos así como algunos detalles para poder identificar el tipo de proceso empleado en la elaboración utensilios



## Anexo D

### El investigador polimérico

#### Objetivo

Poner en práctica los conocimientos generales dados sobre los polímeros, sus propiedades y en especial el tipo de proceso empleado en la fabricación del empaque o envase que tenga a disposición.

El estudiante deberá comentar sobre las características del material (dureza, color, peso, forma, diseño) así como de la pertinencia o no del uso de un determinado material para almacenar el material contenido en los mismos.

#### Materiales

- Cualquier envase de apariencia plástica que se encuentre a su disposición
- Cuaderno de anotaciones
- Listado de códigos universales de los polímeros.

#### Procedimiento experimental

- Elabore un listado de las bodegas, abastos y/o supermercados cercanos a su comunidad.
- Hable con el encargado del local e infórmele que usted debe revisar algunos de los envases y empaques disponibles en ese establecimiento.

- c) Clasifique el tipo de contenido (comida, sólido, líquido, detergente, material de limpieza, salsas, etc.) de cada recipiente y envase seleccionado.
- d) Empleando los conocimientos dados por su profesor proceda a identificar el proceso mediante el cual se elaboró ese empaque o envase.
- e) Identifique, empleando la codificación universal de polímeros, el tipo de material que compone el envase o empaque
- f) Elabore un informe y discuta con su salón de clases



## Tabla de Códigos Universales de Polímeros



**PET. Poliestirenteleftalato**



**PEAD. Polietileno de alta densidad**



**PVC. Policloruro  
de vinilo**



**PEBD. Polietileno  
de baja densidad**



**PP. Polipropileno**



**PS. Poliestireno**