

**メキシコ国  
プラスチック成形技術  
人材育成プロジェクト**

**プロジェクト事業完了報告書**

**別冊 II :  
CNAD インストラクターから  
工業高校教員への技術移転に関する成果品**

**平成 26 年 11 月  
(2014 年)**

**独立行政法人国際協力機構 (JICA)  
株式会社日本開発サービス (JDS)**

産公
JR
14-115

メキシコ国  
プラスチック成形技術人材育成プロジェクト  
プロジェクト事業完了報告書

別冊II：CNADインストラクターから工業高校教員への技術移転に関する成果品

目 次

Annex I: 教員研修用カリキュラム

1. モジュール I：プラスチック成形用材料を準備する ..... A-1
2. モジュール II：押出成形でプラスチックを成形する ..... A-221
3. モジュール III：射出成形でプラスチックを成形する ..... A-287
4. モジュール IV：熱硬化プロセスでプラスチックを成形する ..... A-363
5. モジュール V：プラスチック成形用の金型を準備する ..... A-427

Annex II: 実習用教材

1. モジュール I ..... A-605
  - (1) MFR 測定（実習作業指示書／実習指導手順書） ..... A-605
  - (2) 引張試験（実習作業指示書／実習指導手順書） ..... A-612
2. モジュール III ..... A-615
  - (1) 成形技術（Basic）実習作業指示書／実習指導手順書 ..... A-615
  - (2) 成形技術（Bクラス）実習作業指示書／実習指導手順書 ..... A-619
3. モジュール V ..... A-624
  - (1) 金型交換 実習作業指示書／実習指導手順書 ..... A-624

ANNEX I:  
教員研修用カリキュラム



**CENTRO NACIONAL DE ACTUALIZACIÓN DOCENTE**

**BACHILLERATO TECNOLÓGICO  
EN TRANSFORMACIÓN DE PLÁSTICOS**

**CONTENIDO DE CURSO**

**MÓDULO I:**

**PREPARA COMPUESTOS PARA MOLDEO**

**8 DE JULIO DE 2011**

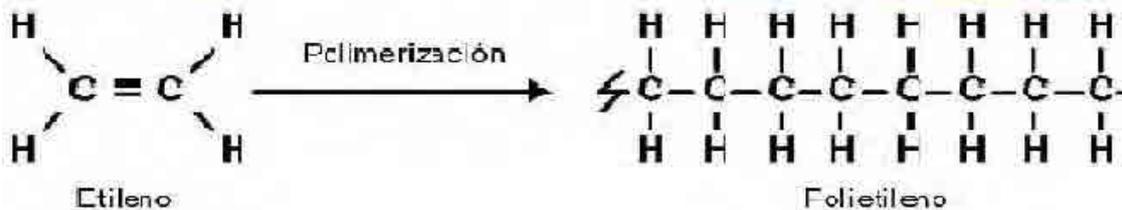
**REVISIÓN: 25 DE JUNIO 2014**



Dirección General de Educación Tecnológica Industrial  
Centro Nacional de Actualización Docente

# Manual del Docente

Para la impartición del  
Bachillerato Tecnológico en Transformación de Plásticos



Elaboró: Ing. Freddy Gómez Sánchez

Colaboró: Grupo de Plásticos CNAD



## CONTENIDO

Antecedente e Introducción .....	1
Objetivo general .....	2
Objetivos particulares: .....	2
Consideraciones Generales .....	5
1. Polímeros plásticos.....	7
1.1 Historia de los polímeros .....	7
1.2 Definición de plásticos.....	11
1.3 Nomenclatura .....	13
1.4 Obtención .....	17
2. Clasificación de Polímeros Plásticos .....	23
2.1 Clasificación por origen. ....	23
2.2 Clasificación por estructura o morfología .....	25
2.2.1 Clasificación por tipo de cadena molecular .....	25
2.2.2 Clasificación por átomos en el tipo de cadena. ....	27
2.2.3 Clasificación por unidad estructural. ....	27
2.2.4 Clasificación por ordenamiento molecular. ....	30
2.3 Clasificación por consumo.....	31
2.3.1 Los comodities.....	33
2.3.2 Plásticos de ingeniería.....	34
2.3.3 Plásticos de súper ingeniería.....	35
2.4 Clasificación por Familias.....	37
2.4.1 Poliolefinas. ....	37
2.4.2 Vinílicos .....	37
2.4.3 Estirénicos .....	38
2.4.4 Acrílicos .....	39
2.4.5 Poliésteres .....	39
2.4.6 Poliamidas .....	40
2.4.7 Sistemas Formaldehídos .....	41
2.4.8 Sistema poliéster no saturado .....	41
2.4.9 Sistema Epoxico .....	41
2.4.10 Poliuretanos.....	42
2.4.11 Siliconas .....	42
2.4.12 Elastómeros.....	43
2.5 Clasificación por comportamiento térmico.....	43
2.5.1 Partiendo de tener el polímero plástico como materia prima: .....	44
2.5.2 Antes del procesamiento primario .....	45
2.5.3 Durante el procesamiento.....	45

2.5.4	Solidificación y endurecimiento.....	46
2.5.5	Estructura Molecular.....	46
2.5.6	Reprocesamiento.....	47
2.5.7	Comportamiento térmico de los termoplásticos (Amorfos y Cristalinos) .....	47
2.5.8	Comportamiento térmico de los Termofijos .....	48
3.	Propiedades de los materiales plásticos.....	51
3.1	Propiedades químicas y físicas.....	51
3.2	Propiedades específicas de materiales plásticos .....	55
3.2.1	Densidad. ....	56
3.2.2	Contracción. ....	59
3.2.3	Absorción.....	61
3.2.4	Permeabilidad.....	63
3.2.5	Tensión o tracción .....	65
3.2.6	Elongación (alargamiento).....	66
3.2.7	Compresión .....	68
3.2.8	Flexión .....	69
3.2.9	Impacto (tenacidad) .....	69
3.2.10	Dureza .....	70
3.2.11	Temperatura de ablandamiento.....	74
3.2.12	Temperatura de flexión.....	74
3.2.13	Conductividad Térmica .....	75
3.2.14	Calor Continuo o Temperatura de uso continuo .....	75
3.2.15	Temperatura de Fragilización .....	76
3.2.16	Flamabilidad, inflamables o ignicible .....	76
3.2.17	Resistividad Eléctrica.....	78
3.2.18	Constante y resistencia dieléctrica .....	78
3.2.19	Resistencia al Arco .....	78
3.2.20	Índice de refracción .....	80
3.2.21	Transmitancia .....	80
3.2.22	Densidad óptica.....	81
3.2.23	Resistencia a productos químicos .....	82
3.2.24	Intemperismo.....	84
3.3	Modificación de propiedades.....	86
3.3.1	Aditivos.....	88
3.3.1.1	Plastificantes.....	90
3.3.1.2	Estabilizadores de proceso .....	91
3.3.1.3	Agentes antiestáticos.....	93

3.3.1.4	Agentes de acoplamiento.....	94
3.3.1.5	Agentes piretardantes o retardante a la flama .....	95
3.3.1.6	Agentes espumantes .....	96
3.3.1.7	Lubricantes .....	97
3.3.1.8	Agentes nucleantes.....	99
3.3.1.9	Polímeros modificadores, aleación polimérica .....	100
3.3.1.10	Antibacteriano y antimoho.....	101
3.3.2	Cargas .....	101
3.3.3	Reforzantes .....	104
3.3.4	Pigmentos y Colorantes.....	106
3.3.4.1	Tintes .....	108
3.3.4.2	Pigmentos .....	108
3.3.4.3	Colorantes.....	109
4.	Procesos de transformación .....	115
4.1	Procesos de transformación para materiales termoplásticos. ....	118
4.1.1	Moldeo por extrusión .....	118
4.1.2	Moldeo por inyección.....	123
4.1.3	Moldeo por soplado .....	128
4.1.5	Moldeo por compresión .....	132
4.2	Procesos de transformación para materiales termofijos.....	133
4.2.1	Moldeo por compresión .....	133
4.2.2	Moldeo por transferencia .....	135
4.2.3	Moldeo por fundición (cast) o vaciado .....	137
4.2.4	Moldeo por inyección del polímero termofijo .....	138
4.2.5	Moldeo con polímeros reforzados con fibras (FRP).....	139
4.2.6	Moldeo por pultrusión .....	140
4.2.7	Moldeo por inyección - reacción (RIM) .....	143
4.2.8	Moldeo por transferencia de resina (RTM) .....	146
4.3	Procesos secundarios .....	147
4.3.1	Métodos de unión del plástico .....	148
4.3.2	Pintado .....	152
4.3.3	Impresión.....	153
4.3.4	Métodos de metalizado.....	154
4.3.5	Otros.....	154
5.	Caracterización de Plásticos.....	157
5.1	Identificación de plásticos.....	163
5.1.1	Claves para la identificación de materiales.....	164
5.1.2	Identificación Química .....	166

5.1.3	Identificación Instrumental .....	168
5.1.4	Identificación Empírica.....	171
6.	Preparación de materiales para proceso .....	177
6.1	Reciclado.....	178
6.1.1	Reciclaje mecánico.....	181
6.1.2	Reciclaje químico.....	185
6.2	Mezclado .....	189
6.3	Secado .....	193

## **Antecedente e Introducción**

El proyecto “Formación de Recursos Humanos en Tecnología de Transformación de Plásticos” que se desarrolla en el Centro Nacional de Actualización Docente (CNAD) de noviembre de 2010 a la fecha, busca contribuir para que los bachilleratos tecnológicos oferten mano de obra calificada a la industria del plástico en México. En septiembre de 2011, como resultado del proyecto se inicia en tres planteles de la Dirección General de Educación Tecnológica Industrial (DGETI), el Bachillerato Tecnológico en Transformación de Plásticos (BTTP). Los tres planteles son Centro de Estudios Tecnológicos Industrial y de Servicios (CETIS) No. 6 del Distrito Federal, el Centro de Bachillerato Tecnológico Industrial y de Servicios (CBTIS) No. 237 de Tijuana, B.C. y No. 271 de Cd. Victoria, Tamaulipas.

La capacitación que se realiza es mediante “Sistema-Cascada” y se desarrolla de tal forma que la Agencia Internacional de Cooperación del Japón (JICA por sus siglas en inglés) a través de los expertos japoneses realizan la transferencia técnica a instructores del CNAD, en las áreas de materiales, proceso de inyección y moldes para inyección de plásticos; instructores del CNAD a su vez capacitan a los docentes de los planteles pilotos, en mismos y otros temas de transformación de plásticos, que complementan el programa de estudios del BTTP. Los docentes de los planteles son quienes directamente preparan a los alumnos, que al concluir pueden ingresar al nivel superior o insertar a las PyMES mexicanas, de esta forma se fortalece al sector de transformación de plásticos y a todos los sectores vinculados al mismo, mediante la obtención de Recurso Humano preparado.

Por lo anterior y en este sentido de cooperación, es que se presenta el “Manual del Docente para la impartición del Módulo I “Prepara compuestos para moldeo” del Bachillerato Tecnológico en Transformación de Plásticos, como una herramienta que facilite y permita guiar a los docentes a generar sus clases y transferencia de conocimientos a los alumnos de los planteles que cuenten con el BTTP.

## **Objetivo general**

Ayudar al docente de los planteles del BTTP a planear y preparar las clases del módulo I, a través de un manual que les permita reafirmar la teoría obtenida en los diplomados, cursos cortos, de capacitación y actualización que recibieron en el CNAD.

## **Objetivos particulares:**

- Reafirmar conceptos relacionados con la preparación de compuestos para moldeo de plásticos.
- Proponer los temas mínimos necesarios para el logro de las competencias y contenidos a desarrollar en el módulo I del BTTP.
- Sugerir una forma sencilla de transferir los conocimientos a los alumnos del BTTP.
- Proponer prácticas para que los alumnos reafirmen la teoría aprendida en clase.
- Proporcionar ejemplos que relacionen los conocimientos adquiridos con los procesos de transformación de plásticos.
- A través del CNAD, mejorar las versiones del manual con la cooperación e intercambio de experiencias entre los docentes que impartan el módulo I del BTTP.

# CONTENIDO DEL MÓDULO I

## MÓDULO I

Información General	
<p><b>PREPARA COMPUESTO PARA MOLDEO</b></p> <p style="text-align: right; margin-top: 20px;">272 horas</p>	<p><b>// SUBMÓDULO 1</b> Mide las propiedades de los plásticos para el moldeo 112 horas</p> <hr/> <p><b>// SUBMÓDULO 2</b> Formula compuestos para productos moldeables 96 horas</p> <hr/> <p><b>// SUBMÓDULO 3</b> Mezcla compuestos para moldeo 64 horas</p>

OCUPACIONES DE ACUERDO A LA CLASIFICACIÓN MEXICANA DE OCUPACIONES (CMO)	
1204	Analista de materia prima
5380	Mezclador de colores

SITIOS DE INSERCIÓN DE ACUERDO AL SISTEMA DE CLASIFICACIÓN INDUSTRIAL DE AMÉRICA DEL NORTE (SCIÁN-2007)	
326191	Fabricación de productos de plástico para el hogar con y sin reforzamiento
326198	Fabricación de otros productos de plástico con reforzamientos

## MÓDULO I

PREPARA COMPUESTO PARA MOLDEO

**RESULTADO DE APRENDIZAJE**  
Al finalizar el módulo el estudiante será capaz de:

- Preparar compuesto para el moldeo
  - Medir las propiedades de los plásticos para el moldeo
  - Formular compuestos para productos moldeables
  - Mezclar compuestos para moldeo

COMPETENCIAS / CONTENIDOS POR DESARROLLAR			
No.	PROFESIONALES	SUBMÓDULO	SITUACIONES
1	Mide índice de fluidez	1	En materiales termoplásticos y PVC. En materiales reciclados. De acuerdo a la Norma ASTM D1238-10 Asegurando que el reporte elaborado cuente con información correcta y clara Orientando el trabajo al mejor uso de los materiales de acuerdo a los procesos de transformación del producto.
2	Mide propiedades mecánicas	1	En probetas para tensión de acuerdo a la Norma ASTM D638 en materiales termoplásticos y termofijos Asegurando que el reporte elaborado cuente con información correcta y clara Orientando el trabajo al mejor uso de los materiales de acuerdo a los requerimientos del producto.
3	Mide punto de fusión	1	En materiales termoplásticos, amorfos cristalinos de acuerdo a método Fisher Asegurando que el reporte elaborado cuente con información correcta y clara Orientando el trabajo al mejor uso de los materiales de acuerdo a los procesos de transformación del producto.
4	Mide densidad	1	En materiales termoplásticos utilizando diferentes soluciones de líquidos, como agua con sal, metanol, solución saturada de MgCl <sub>2</sub> Asegurando que el reporte elaborado cuente con información correcta y clara Orientando el trabajo al mejor uso de los materiales de acuerdo a los requerimientos del producto.

**RESULTADO DE APRENDIZAJE**

Al finalizar el módulo el estudiante será capaz de:

- Preparar compuesto para el moldeo
  - Medir las propiedades de los plásticos para el moldeo
  - Formular compuestos para productos moldeables
  - Mezclar compuestos para moldeo

**COMPETENCIAS / CONTENIDOS POR DESARROLLAR**

No.	PROFESIONALES	SUBMÓDULO	SITUACIONES
5	Mide humedad	1	Con higrómetro, en materiales plásticos commodities como: PET, PEAD, PEBD, PP, PS y en materiales de ingeniería como: PC, ABS. Asegurando que el reporte elaborado cuente con información correcta y clara. Orientando el trabajo al mejor uso de los materiales de acuerdo a los procesos de transformación del producto.
6	Pesa plástico	2	De acuerdo a la hoja de producción y requerimiento técnico. Orientando el trabajo al mejor uso de los materiales de acuerdo a los procesos de transformación del producto. Utilizando los recursos materiales con responsabilidad y de acuerdo las hojas de producción para evitar mermas.
7	Selecciona aditivos	2	De acuerdo a la hoja de producción y requerimiento técnico. Orientando el trabajo al mejor uso de los materiales de acuerdo a los procesos de transformación del producto. Utilizando los recursos materiales con responsabilidad y de acuerdo las hojas de producción para evitar mermas.
8	Pesa aditivos	2	De acuerdo a la hoja de producción y requerimiento técnico. Orientando el trabajo al mejor uso de los materiales de acuerdo a los procesos de transformación del producto. Utilizando los recursos materiales con responsabilidad y de acuerdo las hojas de producción para evitar mermas.
9	Seca materiales higroscópicos	2	En los plásticos de ingeniería como: PC y PET. Orientando el trabajo para evitar inconsistencias en los procesos de transformación y defectos en el producto.

**RESULTADO DE APRENDIZAJE**

Al finalizar el módulo el estudiante será capaz de:

- Preparar compuesto para el moldeo
  - Medir las propiedades de los plásticos para el moldeo
  - Formular compuestos para productos moldeables
  - Mezclar compuestos para moldeo

**COMPETENCIAS / CONTENIDOS POR DESARROLLAR**

No.	PROFESIONALES	SUBMÓDULO	SITUACIONES
10	Tamiza aditivos y materiales	2	De acuerdo a la hoja de producción y requerimiento técnico. Orientando el trabajo para evitar inconsistencias en los procesos de transformación y defectos en el producto.
11	Mezcla materiales y aditivos	3	De acuerdo a la hoja de producción y requerimiento técnico. Orientando el trabajo para evitar inconsistencias en los procesos de transformación y defectos en el producto. Privilegiando la confidencialidad que atiende a los intereses colectivos más que a los intereses particulares.
12	Mide contracción al moldeo	3	En materiales plásticos amorfos y cristalinos, de acuerdo con la Norma ASTM D6289-08. Orientando el trabajo para evitar inconsistencias en los procesos de transformación y defectos en el producto.

## Consideraciones Generales

El presente manual ha sido elaborado para que se facilite su lectura y comprensión. Dentro de él localizará una serie de símbolos que le ayudarán a reforzar su aprendizaje mediante la propuesta de actividades sugeridas. El significado de dicha simbología se detalla a continuación:

Símbolo	Simbología
	Actividad individual
	Trabajo en equipo
	Investigación
	Comentar con sus compañeros

Se invita a todos los docentes que imparten el módulo I del BTTP a mejorar la versión de este manual del docente, compartiendo sus ideas, experiencias, conocimientos y habilidades didácticas que hayan adquirido en la impartición del módulo como en su trayectoria profesional, el medio será a través de la coordinación del CNAD que estará representado por sus docentes o instructor asignado a este módulo. Así mismo a respetar el trabajo, ideas, información, derechos de autor, etc., que se utilicen y mencionen en el manual.

### **Propuesta de contenido de acuerdo a los Submódulos del BTTP**

#### **Sub-módulo 1 - Mide las propiedades de los plásticos para el moldeo**

2. Clasificación de Polímeros
3. Propiedades de los materiales plásticos
5. Caracterización de plásticos

#### **Sub-módulo 2 - Formula compuestos para productosmoldeables**

1. Polímeros plásticos
3. Propiedades de los materiales plásticos (propiedades)

#### **Sub-módulo 3 - mezcla compuestos para moldeo**

3. Propiedades de los materiales plásticos (modificación de propiedades)
4. Procesos de Transformación
6. Preparación de Materiales para proceso



# Manual del Docente

Para la impartición del  
Bachillerato Tecnológico en Transformación de Plásticos



## Tema 1

# Polímeros plásticos



## 1. Polímeros plásticos

### 1.1 Historia de los polímeros

Los polímeros plásticos han tenido su desarrollo tecnológico a mediados del siglo XX y principios del XXI pero inician a final del siglo XIX, por lo que es importante hacer conocer al alumno la historia de estos materiales a partir de esta fecha, inducir al alumno a conocer el avance y evolución de los materiales plásticos en el transcurso del tiempo.

#### RESEÑA HISTÓRICA DE LOS POLÍMEROS

Desde el principio de los tiempos el hombre ha sido dependiente de los materiales tanto animales como vegetales para suplir sus necesidades de sostenimiento, refugio, alimentación y otros requerimientos. Con este fin se utilizaron durante miles de años resinas naturales y gomas. Por ejemplo la cultura antigua griega utilizaba el ámbar: los romanos, la goma de mascar, y los indígenas sudamericanos utilizaron el caucho natural extraído de los árboles para diversas aplicaciones, y se tiene conocimiento del uso del asfalto en tiempos pre bíblicos. Aunque las primeras investigaciones que se realizaron sobre el caucho se llevaron a cabo desde 1761, la estructura molecular de los polímeros sólo se entendió hasta el siglo XX.



Alrededor de 1830 Charles Goodyear desarrolló el proceso de vulcanización, que consistía en mezclar caucho natural con azufre a cierta temperatura. El caucho vulcanizado presentaba mejores características que el caucho natural. Su uso más común en la actualidad son las llantas.

A finales del siglo XIX se vio la necesidad de reemplazar las bolas de billar hechas de marfil animal, para lo cual John Wesley Hyatt desarrolló el así llamado celuloide, producto considerado como el primer termoplástico. Fue a principios del siglo XX cuando se desarrolló el primer polímero completamente sintético llamado Bakelita, inventado por Leo Baekeland, considerado como el primer polímero termoestable. Es de gran importancia debido a sus características como aislante eléctrico.

En 1920 Hermann Staudinger se opuso a las apreciaciones de los investigadores de la época y propuso que el comportamiento viscoso particular de las soluciones poliméricas no se debía a la formación de micelas sino a la longitud de las moléculas que constituían la solución. Postuló así, por primera vez, la existencia de las macromoléculas.



Hermann Staudinger  
(1881-1965)\*

En 1927 se desarrollaron el acetato de celulosa y el cloruro de polivinilo, lo que permitió producir el PVC (Cloruro de polivinilo), uno de los materiales actualmente más utilizados. A partir del año 1930 se inventaron la gran mayoría de los polímeros de más común aplicación como lo son: Nylon (Poliamidas), PVA (Acetato de polivinilo), polímeros acrílicos, PS (Poliestireno), PU (Poliuretano), y Melamina. A partir de la II Guerra Mundial se desarrollaron también otros de gran importancia como PE (Polietileno), PTFE (Politetrafluoroetileno), ABS (Acrilonitrilo-butadieno-estireno), LPE (Polietileno lineal), PP (Polipropileno), POM (Poliacetal), PET (Polietileno-tereftalato), PC (Policarbonato), entre otros.



Fuente de imágenes: Internet -Google

En la imagen se ven objetos de uso cotidiano producidos a partir de algunos materiales poliméricos. Aparecen de izquierda a derecha en orden descendente: Poliestireno, celulosa, policarbonato (CD), cloruro de polivinilo, polietileno, poliéster, Poliacrilonitrilo, nylon resina epóxica, poliuretano, Polietersulfona.

A partir del desarrollo de estos materiales, las investigaciones se orientaron hacia aplicaciones más específicas, desarrollando materiales poliméricos como por ejemplo el ultra high molecular weight high density polyethylene (PE-UHMW), que puede alcanzar una resistencia de más de 200.000 Mpa.

Existen diferentes medios que presentan la historia de los plásticos, se propone presentar a los alumnos a través de videos y/o documentales como ha sido esta.

Algunos videos de referencia son los siguientes:

- Maravillas Modernas “El plástico”. History Chanel.com
- Historia de plásticos. Cipres ANIQ
- <http://myplastic.modip.ac.uk/>

#### Ejercicio Sugerencia para contenido 1.1



- Buscar los videos presentados en la red y realizar lo siguiente:
  - Una línea de tiempo con la historia de los plásticos.
  - Realizar un resumen de la historia de los plásticos.
- Aplicar un cuestionario de preguntas establecidas del video.

Observaciones: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

#### Evolución de materiales plásticos

1930 Obtención e investigación de materias primas que se utilizan en síntesis de muchos polímeros. En 1908 el francés Jacques E. Brandeberger inventa el **celofán** un polímero derivado de la celulosa,. En un principio se utilizó para envolver alimentos.

Melamina – La Urea Formaldehído en 1920 (Plaskon)

1930 y 1940 por Cyanamid, Ciba y Henkel. Se utiliza en la elaboración de utensilios de cocina.

PVC – En 1834 se descubre el cloruro de vinilo, pero es hasta 1926 Waldo Lonsbury de BF Goodrich Lo Polimeriza.

En 1920 El químico alemán Hermann Staudinger aventuró que los plásticos se componían de macromoléculas. Los esfuerzos dedicados a probar esta afirmación iniciaron numerosas investigaciones e implementación científica que produjeron enormes avances en esta parte de la química.

**Nylon** – En 1931 el químico Wallace Carothers de Du-Pont introdujo un polyamide.

Pero es hasta 1936 que se optimiza y vende como “fibra 66” las mujeres hicieron fila por las medias de nylon en 1940 en EEUU.

En 1953, el químico alemán Karl Ziegler desarrolló el polietileno, y en 1954 el italiano Giulio Natta el polipropileno, que son los dos plásticos más utilizados en la actualidad.

En los años 60’s y 70’s se ha difundido la información y aprovechamiento de los plásticos.

En los años 70’s y 80’s se ha optimizado el uso de los plásticos, sin dejar de investigar.

Del año de 1990 al 2000 las investigaciones se orientan a la combinación de polímeros para formar mezclas poliméricas y aleaciones plásticas, siendo la innovación el motor del desarrollo tecnológico de esta industria.

En los últimos años (2000-2011) a parte de la combinación de polímeros, mezclas poliméricas y aleaciones, se busca la obtención de polímeros a partir de nuevos materiales (bio-plásticos) y procesos (reciclado físico y químico).



Fuente de imágenes: Internet -Google

## 1.2 Definición de plásticos

Plásticos es el nombre que se le da a comúnmente a un grupo de materiales de uso común y con características representativas del mismo, sin embargo existen formas distintas de nombras a este tipo de materiales como es: Polímero o Macromolécula, por lo que es importante entender la diferencia y similitud de estas palabras con los plásticos.

**Polímero.-** Del Griego Poly (muchos) y Meros (unidad)

Una molécula grande que consiste en muchas moléculas pequeñas (monómeros) unidas a través de enlaces.

Los **polímeros** son **macromoléculas** constituidas por la unión de un gran número de moléculas más pequeñas. Las moléculas pequeñas que se unen son los **monómeros**.

Y la reacción por la cual se unen se denomina **polimerización**.

### ¿Qué es el plástico?

Es una combinación de macromoléculas (polímeros) que cuenta con más de 10,000 unidades de masa molecular, lo cual fue formado por la repetición de enlaces químicos de los compuestos, y tiene plasticidad y elasticidad al mismo tiempo.

### Macromoléculas:

Se refiere a las grandes combinaciones cuya masa molecular normal es mayor a 10,000.

Por la repetición de enlaces químicos de combinaciones se incrementa la masa molecular convirtiéndose en material de macromoléculas.

Hay 2 clases de macromoléculas; macromoléculas naturales y sintéticas. El hule, plásticos, fibras y papel son materiales de macromoléculas.

La palabra “**plástico**” proviene de la palabra griega, “*plastikos*”. Su significado es “materia que tiene plasticidad”.

### Plasticidad:

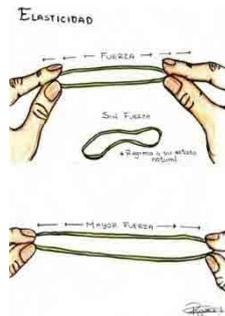
Es la característica de ser deformado en forma permanente cuando el objeto recibe una fuerza exterior.

Es la característica que se presenta cuando se deforma por una fuerza que rebasa el límite de elasticidad y la deformación permanece aun cuando se quite dicha fuerza exterior.

Latermo-plasticidad es la característica presentada al aplicarse calor.

### **Elasticidad:**

Cuando un objeto recibe una fuerza exterior, se genera una deformación, la cual tiende a regresar a su estado original.



La elasticidad es esta característica de regresar a la forma original, y al objeto que tiene esta característica se le llama elástico.

El plástico tiene 3 características y que serán un punto de partida para trabajar y que se debe explicar a los alumnos del BTTP:

- (1) La temperatura de calentamiento del acero es de más de 1,000 grados centígrados, mientras que la temperatura para ablandar los plásticos (temperatura de ablandamiento) es en su mayoría de 100 a 250 grados centígrados.



La razón por la que se considera fácil trabajar con plásticos es su "temperatura fácil para trabajar".

- (2) El plástico tiene la flexibilidad para fabricar productos con mucha libertad mediante el proceso de fundición o ablandamiento, poner el material en moldes y posteriormente enfriarlo para solidificarlo.



- (3) Se denomina “transformación (procesamiento)” al proceso en que se fabrican productos de plástico de diferentes formas terminados y en proceso, utilizando materiales plásticos.



### 1.3 Nomenclatura

La nomenclatura de polímeros de IUPAC es una estandarización por convención de los nombres de los polímeros establecidos por la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC) y descrito en su publicación "Compendio de polímero de terminología y nomenclatura" (Compendium of Polymer Terminology and Nomenclature), que también es conocido como "El libro púrpura" (Purple Book). La IUPAC y la Chemical Abstracts Service (CAS) hacen recomendaciones de nomenclaturas similares para el nombramiento de polímeros.

\* La IUPAC reconoce que una serie de polímeros comunes tienen nombres semi-sistemáticos o triviales basados en fuentes que están bien establecidas por el uso, y no pretende que sean sustituidas inmediatamente por los nombres basados en la estructura química. Sin embargo, esperan que para la comunicación científica se mantenga al mínimo el uso de nombres semi-sistemáticos o triviales para los polímeros basadas en su origen.

Fuente: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.mx/2013/09/nomenclatura-iupac.html>

La ciencia de los polímeros ha llevado a que exista una gran diversidad en su nomenclatura, a pesar que IUPAC, es la encargada de regularla, debido a las dificultades que se ha encontrado para nombrar a los polímeros plásticos, se ha encontrado que los tres sistemas más utilizados son:

- ✓ Nombres comunes (fuente u origen del polímero)
- ✓ La estructura del polímero
- ✓ Nombres comerciales

Lo anterior debido a que existe poca lógica detrás del nombre, algunos nombres que provienen de su lugar de origen como es a la planta denominada “Hevea Brasiliensis” mejor conocido como caucho, o a que se utilizan distintas nomenclaturas o debido a que el nombre se forma uniendo el prefijo “poli” al nombre del monómero real, supuesto o del reactivo fuente del cual deriva el polímero, también se utilizan abreviaturas o los nombres comerciales.

### acrónimo.

(Del gr. ἄκρος 'extremo' y -ónimo).

**1. m.** Tipo de sigla que se pronuncia como una palabra;

p. ej., o(bjeto) v(olador) n(o)i(dentificado).

**2. m.** Vocablo formado por la unión de elementos de dos o más palabras, constituido por el principio de la primera y el final de la última,

p. ej., ofi(cina infor)mática, o, frecuentemente, por otras combinaciones,

p. ej., so(und) n(avigation) a(nd) r(anging), Ban(co) es(pañol) (de) (crédi)to.

Fuente: Real Academia Española ©

En la industria del plástico existen diferentes listas de acrónimos para nombrar a los materiales plásticos. La diferencia entre ellas existe debido al idioma, regiones o hasta la persona que las haya elaborado, por lo que es importante comentar y enseñar al alumno que con el uso y frecuencia que tenga de estas listas es como llegara al entendimiento de las mismas.

### Ejercicio Sugerencia para contenido 1.3



Actividad individual

- Buscar tablas de los acrónimos para polímeros plásticos.
- Juegos de memoria que fomente el uso de acrónimos y los nombres de polímeros.

Observaciones: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Ejemplo de Acrónimos utilizados en el BTPP.

**Plásticos de commodities (cristalinos)**

Signos	Denominación del polímero	Características
PE	Polietileno	Ligero, flexible, buen aislamiento eléctrico, buena resistencia a los fármacos, buen nivel de sellado por calor con resistencia al agua, malo para impresión y adhesión.
PP	Polipropileno	Más transparente que el PE, alta temperatura de ablandamiento, resistente a las flexiones repetidas, malo para impresión y adhesión.
PET	Polietileno-tereftalato	Buena termoresistencia, buen aislamiento eléctrico, eficiente en la barrera de gases, buena resistencia a los solventes. La película orientada es resistente.

**Plásticos de commodities (amorfo)**

Signos	Denominación del polímero	Características
PS	Poliestireno	Transparente, buen aislamiento eléctrico, poco resistente a los solventes, frágil, baja temperatura de ablandamiento.
SAN	Copolímero de acrilonitrilo-estireno	Transparente, fuerte resistencia, mejor termoresistencia que el PS, resistente al clima, buena resistencia al aceite, poca formabilidad que el PS.
ABS	Copolímero de acrilonitrilo-butadieno-estireno	Resistente, buen brillo, buena resistencia a fármacos y al aceite. Buena propiedad para galvanización
PMMA	Polimetilmetacrilato	Transparente, buena resistencia al clima y buenas propiedades ópticas.
PVC	cloruro de polivinilo	Buena resistencia a fármacos, buen aislamiento eléctrico, poca termoresistencia. Se generan gases de cloruro de hidrógeno al quemarse.
PVdC	cloruro de polivinilideno	Estable para fármacos. Difícil de transmitir gases y vapor. Incombustible. (Se usa bajo la copolimerización.)
PVAc	Polivinilacetato	La temperatura de transición vítrea es 28°C. HDT: 38°C. No es apto para materiales de moldeo. Se usa para pegamentos, pintura y chicle para comer.
PVA	Polivinilalcohol o alcohol polivinílico	Fibra sintética de vinilón. Difícil de electrizar. Baja capacidad para transmitir oxígenos por lo que se usa para la película de empaques para alimentos. La propiedad de absorción de agua es grande.

Fuente: Presentación Misión Japonesa M1 – 2.2

**Plásticos de ingeniería (cristalinos)**

Signos	Denominación del polímero	Características
PA	Poliamida	Resistente, buena resistencia al aceite y al desgaste, eficiente en la barrera de gases, buena higroscopicidad.
POM	Polioximetileno	Propiedades similares a las de la PA, buena resistencia a <i>creep</i> (deformación progresiva) y a los solventes. (Al descomponerse genera olor a formalina.)
PBT	Polibutileno tereftalato	Buena termoresistencia, buen aislamiento eléctrico, eficiente en la barrera de gases, buena resistencia a los solventes. La película orientada es resistente.
PE-UHMW	Polietileno de ultra alto peso molecular	Buena resistencia al desgaste, golpes, eficiente para la auto-lubricación.

### Plásticos de ingeniería (amorfos)

Signos	Denominación del polímero	Características
PC	Policarbonato	Resistente, buenas propiedades eléctricas, buena termoresistencia, buena resistencia al frío, transparente.
m-PPE	óxido de polifenileno modificado	Resistente, buena termoresistencia, buena resistencia a <i>creep</i> (deformación progresiva) y al vapor de agua.

### Plásticos de superingeniería (cristalinos)

Signos	Denominación del polímero	Características
PPS	sulfuro de poli-fenileno	La termoresistencia, incombustibilidad, resistencia a fármacos, aislamiento eléctrico, fluidez en estado de fusión son altos.
LCP	polímero de cristal líquido	Baja viscosidad en estado de fusión, termo resistente, alta resistencia (gran anisotropía), bajo coeficiente de dilatación lineal, baja higroscopicidad, excelente estabilidad en dimensiones.
PEEK	polieteretercetona	Termo resistente permite su uso continuo a la temperatura de 240 grados centígrados. Buena incombustibilidad, excelente resistencia a la fatiga y a los fármacos.
PTFE	polímero de fluocarbono	Resina de flúor. Excelente termoresistencia, resistencia al frío, a fármacos, al agua caliente, al clima. No adherente, poca resistencia al desgaste. Excelente propiedad en alta frecuencia.
PEN	polietileno naftalato	Temperatura de 230 grados centígrados para uso continuo. Buena resistencia a <i>creep</i> (deformación progresiva), buena propiedad tribológica, resistente al agua caliente y a fármacos, buena incombustibilidad y resistencia a la fatiga.

Fuente: Presentación Misión Japonesa M1 – 2.2

### Plásticos de superingeniería (amorfos)

Signos	Denominación del polímero	Características
PAR	Polialilato	Buena termoresistencia, eficiente en la barrera para rayos ultravioleta, buena resistencia a los golpes, dureza en la capa superficial, buena resistencia a <i>creep</i> (deformación progresiva). Débil al agua caliente y al vapor de agua.
PSF	Polisulfona	Transparente, excelente ductilidad, termoresistencia, resistencia a la hidrólisis. Débil a los solventes orgánicos. Buena resistencia a <i>creep</i> (deformación progresiva).
PEI	Polieter imida	Transparente, excelente termoresistencia, propiedades mecánicas, incombustibilidad, propiedades eléctricas. Débil al a los solventes orgánicos.
PI	poliimida	Termo resistente, permite su uso continuo a la temperatura de 250 grados centígrados. Excelente incombustibilidad, resistencia a la fatiga, resistencia mecánica, resistencia al desgaste y a <i>creep</i> (deformación progresiva).
PES	Polieter sulfona	Transparente. Excelente termoresistencia, resistencia a la hidrólisis, resistencia a <i>creep</i> (deformación progresiva). Buena incombustibilidad, resistencia a fármacos.
PAI	Poliamida-imida	Temperatura de 250 grados centígrados para uso continuo, incombustibilidad, resistencia a la fatiga y al desgaste.

## Plásticos Termofijos

Signos	Denominación del polímero	Características
PF	resina fenólica	Buena propiedad eléctrica, resistencia, termoresistencia. (Color oscuro y débil con álcali.)
UF	urea formaldehído	Incoloro y libre para pintarse. Otras propiedades son similares a las del PF. Económico. No es bueno en termoresistencia ni resistencia al agua.
MF	melamina formaldehído	Se parece al UF, pero la dureza es grande y buena termoresistencia y resistencia al agua.
UP	poliéster no saturado	Es posible moldear a baja presión. El reforzado con fibra de vidrio es bastante resistente.
DAP	resina dialil-ftalato	Es posible moldear a baja presión. Bueno en aislamiento eléctrico, estabilidad dimensional, resistencia a los fármacos.
EP	epoxi	Buena adhesión con metal y sustancia inorgánica. Buena resistencia a los fármacos.
SI	silicona	Bueno en aislamiento eléctrico, termoresistencia, buena repelencia al agua. (Hay materiales en líquido, viscoso y resina.)
PUR	poliuretano	Tiene elasticidad, resistente, buena resistencia al desgaste y al aceite. (Débil con ácido, álcali y agua caliente.)
PI	poliimida	Buena termoresistencia, resistencia a la oxidación a alta temperatura, excelente resistencia, buen aislamiento eléctrico.

Fuente: Presentación Misión Japonesa M1 – 2.2

### 1.4 Obtención

Similar a la clasificación por origen es el término de obtención de los polímeros plásticos. En el sentido de esta definición tomaremos el origen de los polímeros plásticos o plásticos. Por naturaleza los polímeros plásticos se clasifican en dos principalmente: Naturales y Sintéticos.

Los Polímeros Naturales son aquellos que provienen directamente del reino vegetal o animal, como materia prima. Para el caso de los plásticos, carecen para su obtención de procesos unitarios, es decir que no existe transformación química a través de alguna operación donde haya un intercambio de energía del tipo de físico y/o químico en el cambio de una materia prima en otro producto de características diferentes.

#### Ejemplo de polímeros naturales:



Caucho



Seda



Lana



Lino

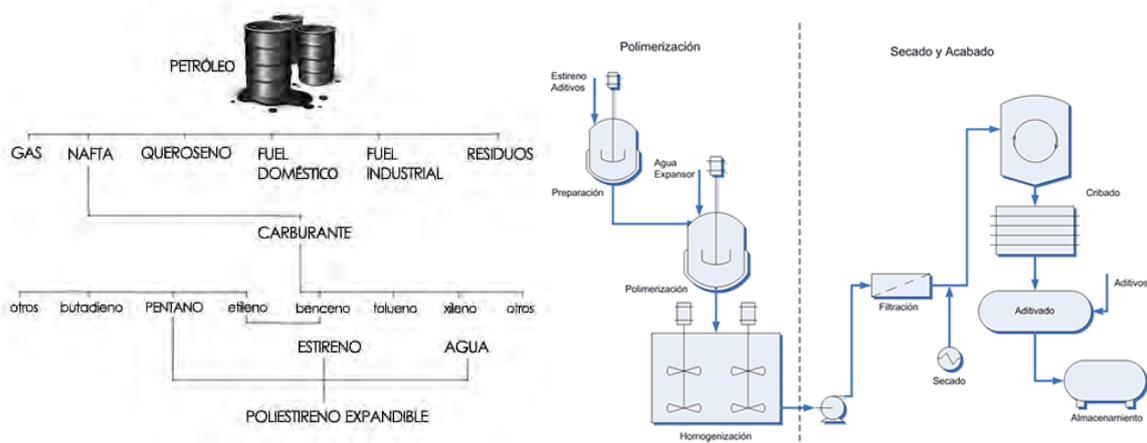


Algodón

Fuente de imagen: <http://editecnolog.blogspot.mx/>

En cambio en los polímeros sintéticos que provienen también de algún recurso natural como es el petróleo, intervienen diferentes operaciones unitarias para su obtención, como son la extracción, destilación, secado, separación, filtración, centrifugado, trituración, cristalización, entre otras.

Pero principalmente existen cambios químicos en la reacción o reactores, como es la polimerización, oxidación, nitración, reducción, esterificación, etc., a todas ellas se le conoce como procesos unitarios.



Fuente: <http://policres.es/eps.html> Fuente: <http://www.textoscientificos.com/polimeros/poliestireno/produccion>

\* La necesidad de reducir el alto grado de dependencia de los compuestos de origen fósil, hace pensar en la incorporación dentro de la cadena del petróleo de materias primas renovables, que no sólo afecten a la producción energética sino también a los productos derivados de la industria petroquímica, como los plásticos. Esta posibilidad viene dada entre otras, por la producción de polímeros biodegradables, a partir de una fuente de carbono residual como materia prima.

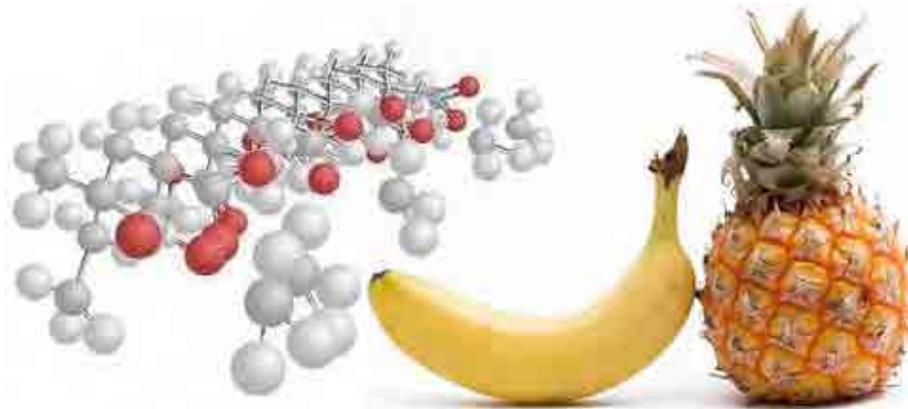
Para la producción de materiales plásticos comunes, se usan reservas fósiles no renovables, lo que contribuye al agotamiento de las reservas energéticas naturales que el planeta posee, contribuyendo al aumento de los gases de efecto invernadero (GEI). Estos materiales convencionales, por su propia naturaleza, son estables desde el punto de vista químico, lo que quiere decir que permanecen inalterados durante largos periodos de tiempo en el medio ambiente

Los biopolímeros plásticos de origen renovables son unas estructuras moleculares compuestas por cadenas de monómeros, que en conjunto poseen una estructura y propiedades similares a los plásticos de origen fósil. Usando como materia prima para la fermentación bacteriana de fuentes de carbono de origen renovable, como pueden ser los azúcares procedentes de cultivos energéticos o los residuos generados en diferentes industrias (biodiesel, aguas residuales, biomasa...) se

pueden conseguir dichos biopolímeros, con la propiedad fundamental de que son biodegradables y totalmente inocuos en el momento de su descomposición.

En el caso de usar como materia prima, los residuos obtenidos en la industria del biodiesel (glicerina cruda), los biopolímeros con mayor proyección son el PLA (ácido poliláctico) y el PHA (polihidroxicarbonatos), obtenidos mediante fermentación bacteriana y con propiedades similares a los termoplásticos.

Fuente: [http://www.madrimasd.org/blogs/renovables\\_medioambiente/2009/07/24/122251](http://www.madrimasd.org/blogs/renovables_medioambiente/2009/07/24/122251)



Fuente:

<http://www.ingenieros.es/noticias/ver/biopolandiacutemeros-nuevos-plandaacutesticos-biodegradables-a-base-de-desechos-de-piandntildea-y-banano/3080>

Para las personas con perfil profesional químico cuando se habla de obtención de materiales, sin duda a la mente llega los mecanismos de polimerización. El proceso de construir una molécula polimérica, y por ende obtener un material plástico, se denomina polimerización.

### Polimerización de Adición

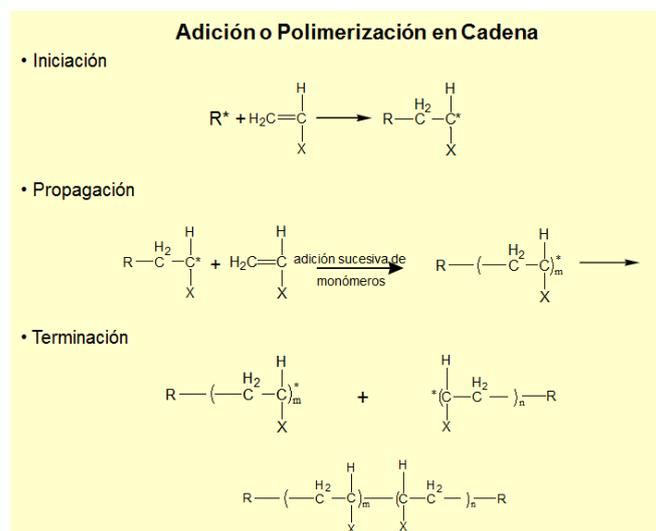
Los polímeros son sintetizados por la adición de monómeros insaturados a la cadena creciente. Un monómero insaturado es aquel que tiene un enlace covalente, o doble, entre sus átomos, estos enlaces covalentes son bastante reactivos y al ser eliminados permiten que el monómero se pueda acoplar con otros monómeros insaturados.

Obviamente, cuando se va a iniciar la reacción, el primer monómero no es capaz por sí solo de romper el enlace covalente, por lo que se utilizan *iniciadores*. Los iniciadores son moléculas que tienen la particularidad de romper por sí mismas uno de sus enlaces. A continuación esta la propagación de la cadena de donde proviene el nombre de adición, lo anterior porque se va agregando más del mismo monómero

que atrae otro monómero, rompiéndole el enlace covalente y acoplándolo. Así puede continuar indefinidamente la reacción formando la cadena polimérica.

La reacción tiene que acabar, para ello hay dos maneras. La primera es llamada acoplamiento. Sucede cuando dos electrones no apareados de dos cadenas diferentes que están creciendo se encuentran, permitiendo que sus respectivas cadenas se acoplen.

La segunda forma de terminación de la reacción es llamada desproporcionalización. Cuando se encuentran las dos cadenas crecientes, uno de los electrones desapareados en lugar de acoplarse sencillamente con el de la otra cadena, lo que hace es arrebatárle un átomo de hidrógeno, terminando su crecimiento y dejando a la última cadena con dos electrones desapareados entre los cuales se forma un enlace doble que también cierra esta cadena.



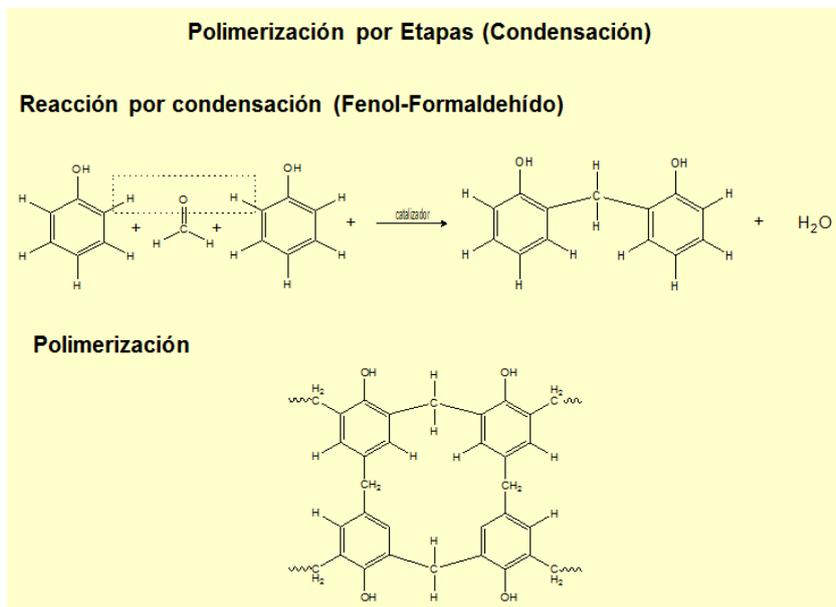
Ejemplo: Reacción por Adición

## Polimerización de Condensación

A diferencia de la polimerización de adición, en la polimerización de condensación algunos átomos del monómero no son incluidos en el polímero resultante, por lo que se produce una pequeña molécula como residuo. Usualmente agua o gas de ácido clorhídrico (HCl). Los pasos son similares a la polimerización por adición pero los monómeros son distintos.

Los procesos de polimerización descritos anteriormente se utilizan para la obtención tanto de polímeros termoplásticos como de polímeros fijos.

Debe anotarse que los procesos de polimerización no son perfectos, en el sentido de que no ofrecen la posibilidad de obtener cadenas exactamente con la misma cantidad de monómeros.



Ejemplo: Reacción por Condensación

#### Ejercicio Sugerencia para contenido 1.4



- Polímeros Naturales y ejemplos.
- Polímeros Sintéticos y ejemplos.
- Polímeros Biodegradables ejemplos.
- Reacciones de Polimerización.
- Realizar exposición de los temas anteriores.

Observaciones: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Fuente: [http://docencia.udea.edu.co/ingenieria/moldes\\_inyeccion/unidad\\_1/polimerizacion.html](http://docencia.udea.edu.co/ingenieria/moldes_inyeccion/unidad_1/polimerizacion.html)



# Manual del Docente

Para la impartición del  
Bachillerato Tecnológico en Transformación de Plásticos



## Tema 2

# Clasificación de polímeros



## 2. Clasificación de Polímeros Plásticos

Clasificación es un concepto vinculado con el verbo clasificar, que se refiere de acuerdo al diccionario de la Real Academia Española a la acción y efecto de clasificar, es decir de organizar o situar algo según una determinada directiva o prueba.

En el mundo o área de los materiales o polímeros plásticos de acuerdo a esta definición encontramos varias formas de clasificarlos. Por lo anterior es importante hacer comprender a los alumnos que podrán existir clasificaciones muy básicas o generales, así como muy específicas relacionadas con alguna propiedad de dicho material. Es decir, que al final de conocer cuáles son las clasificaciones más comunes que debe conocer, podrá identificar a la que pertenece y tendrá la seguridad de crear sus propias clasificaciones.

### 2.1 Clasificación por origen.

Como todos los materiales que se han estudiado o estudian en la actualidad, tienen un origen. La palabra origen, que deriva del término latino *origo*, refiere al comienzo, inicio, irrupción, surgimiento o motivo de algo. A partir de este significado, el término tiene múltiples usos.

En el sentido de esta definición tomaremos el origen de los polímeros plásticos o plásticos. Por naturaleza los polímeros plásticos se clasifican en dos principalmente: **Naturales y Sintéticos.**

Los Polímeros Naturales son aquellos que provienen directamente del reino vegetal o animal, como materia prima. Para el caso de los plásticos, carecen para su obtención de procesos unitarios, es decir que no existe transformación química a través de alguna operación donde haya un intercambio de energía del tipo de físico y/o químico en el cambio de una materia prima en otro producto de características diferentes.

Ejemplo de polímeros naturales:

Lana, seda, algodón, celulosa, almidón, proteínas, caucho natural (latex o hule), ácidos nucleicos como adn entre otros.



Caucho



Seda



Lana



Lino

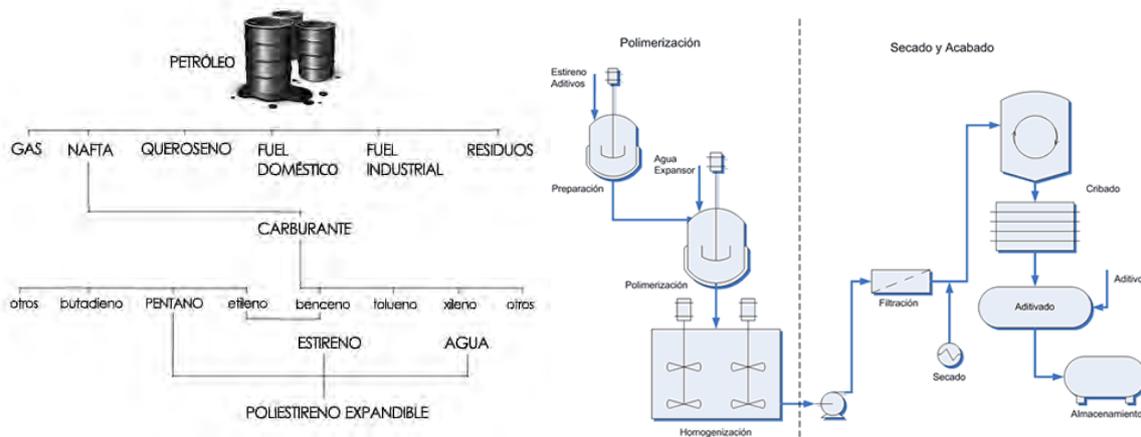


Algodón

Fuente de imagen: <http://editecnolog.blogspot.mx/>

En cambio en los polímeros sintéticos que provienen también de algún recurso natural como es el petróleo, intervienen diferentes operaciones unitarias para su obtención, como son la extracción, destilación, secado, separación, filtración, centrifugado, trituración, cristalización, entre otras.

Pero principalmente existen cambios químicos en la reacción o reactores, como es la polimerización, oxidación, nitración, reducción, esterificación, etc., a todas ellas se le conoce como procesos unitarios.



Fuente: <http://policres.es/eps.html> Fuente: <http://www.textoscientificos.com/polimeros/poliestireno/produccion>

En conclusión, en la clasificación por origen, vamos a diferenciar a los polímeros naturales de los polímeros sintéticos por la forma de obtenerlos como materia prima hasta antes de ser usados o aplicado en un proceso de transformación.

### Ejercicio Sugerencia para contenido 2.1



- Buscar la definición de polímero natural y polímero sintético.
- Buscar ejemplos de polímeros plásticos naturales.
- Buscar ejemplos de polímeros plásticos sintéticos.
- Buscar definición de operaciones y procesos unitarios.

Observaciones: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

## 2.2 Clasificación por estructura o morfología

¿Qué es morfología de los plásticos?

Es el estudio de la estructura molecular de los polímeros plásticos. Y será la directiva que tomaremos para clasificar a los plásticos por estructura o morfología.

El comportamiento de la estructura molecular de un termoplástico se describe básicamente en los siguientes puntos:

- 1) En los polímeros termoplásticos son macromoléculas donde los átomos están conectados en forma de cadena.
- 2) Las cadenas macromoleculares están enredadas, consecuentemente existe una fuerte fuerza de atracción entre moléculas, por lo que no se pueden mover libremente, lo cual hace que el material sea duro.
- 3) Cuando sube mucho la temperatura, el movimiento de las cadenas moleculares se torna muy activo, reduciendo la fuerza intermolecular. Se ablanda, funde y empieza a fluir, mostrando plasticidad. Este material se solidifica al enfriarse.

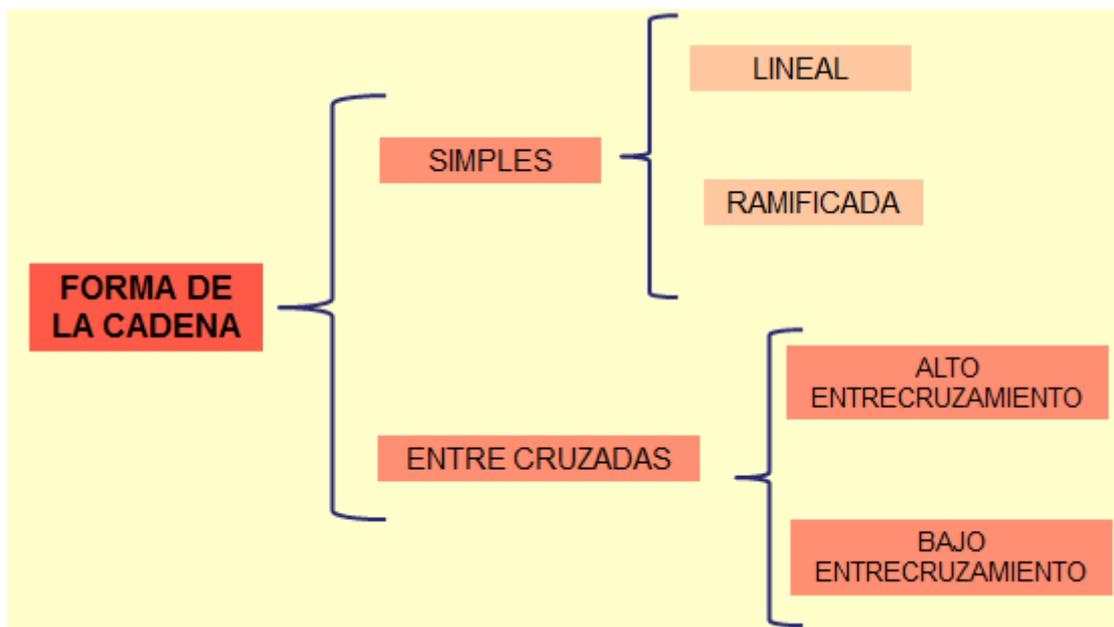


Fig. 2.2 Clasificación por forma de cadena.

### 2.2.1 Clasificación por tipo de cadena molecular

Para el caso de los polímeros que se basan en moléculas simples, las cadenas lineales han sido polimerizadas a partir de monómeros de funcionalidad 2 permitiendo así la formación de cadenas cortas o largas.

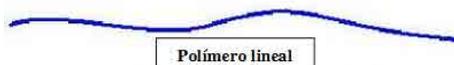


Fig. 2.2.1 Polímero lineal.

Existen procedimientos de reacción catalítica que permiten hacer injertos controlados a las cadenas lineales, para obtener ramificaciones posteriores cuyo fin principal es mejorar las propiedades mecánicas del material, de esta forma obtenemos la estructura ramificada.

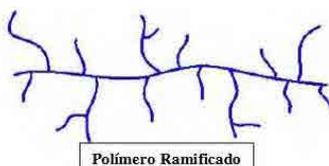


Fig. 2.2.2 Polímero Ramificado.

Cuando las moléculas tienen alta funcionalidad forman enlaces entre cadenas, entrecruzándose, construyendo redes y extendiéndose de forma tridimensional (comportamiento común de las resinas termofijas). Es importante mencionar que no todos los entrecruzamientos se dan por efecto natural de la polimerización, puede darse por un agente externo a la molécula como es el caso de vulcanizar el poliisopreno con azufre.

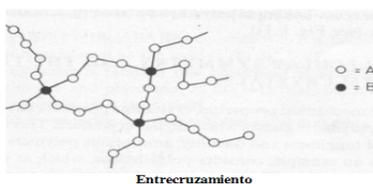


Fig. 2.2.3 Polímero Entrecruzado.

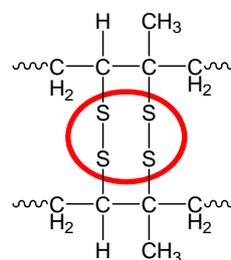


Fig. 2.2.4 Vulcanización de Poliisopreno.

De esta forma tendremos una clasificación por la forma de la estructura molecular.

### Ejercicio Sugerencia para contenido 2.2.1



Actividad individual

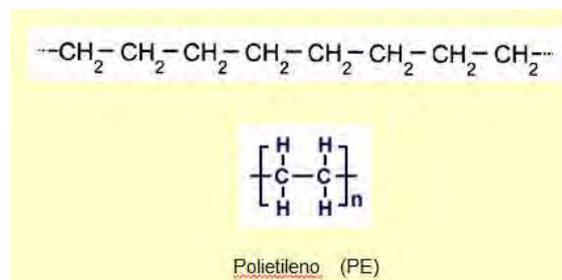
- Realizar un diagrama ilustrado con la clasificación por forma de estructura.

### 2.2.2 Clasificación por átomos en el tipo de cadena.

Para realizar la clasificación por átomos en el tipo de cadena primeramente definiremos básicamente que un átomo, como la partícula más pequeña, indivisible e inalterable de un elemento sin perder sus propiedades químicas.

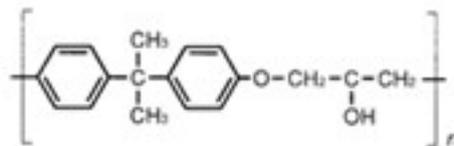
En los polímeros plásticos tendremos principalmente la formación de cadenas moleculares de dos tipos: homocadena y heterocadena.

Polímeros de homocadena. Son polímeros en los cuales la cadena principal consiste de un solo tipo de átomo, usualmente carbono.



Ejemplo: Cadena principal del polietileno.

Polímeros de heterocadena. Polímeros en los que la cadena principal está conformada por más de una clase de átomos.



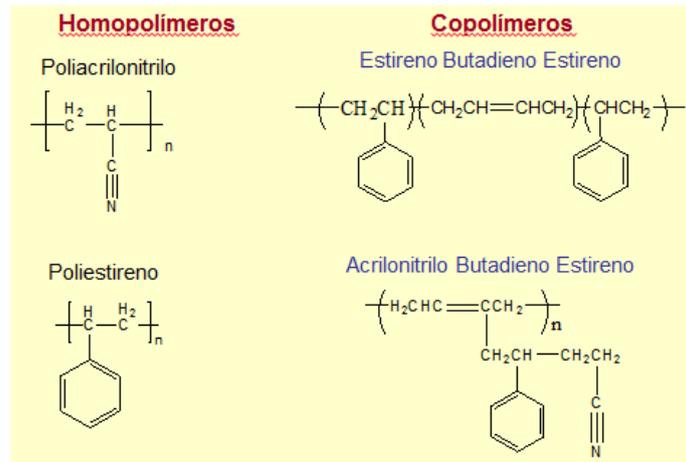
Ejemplo: Cadena principal de la resina epoxi .

### 2.2.3 Clasificación por unidad estructural.

Se le llama a la unidad estructural de los polímeros plásticos a la unidad que se repite para constituir al polímero, monómero. Tomando en cuenta lo anterior, tendremos dos tipos en esta clasificación: homopolímeros y copolímeros.

Homopolímero. Es cuando el polímero plástico está formado por un solo tipo monómero.

Por el contrario, cuando se tienen materiales poliméricos con dos o más tipos de monómeros en la misma cadena, el polímero se conoce como un copolímero.

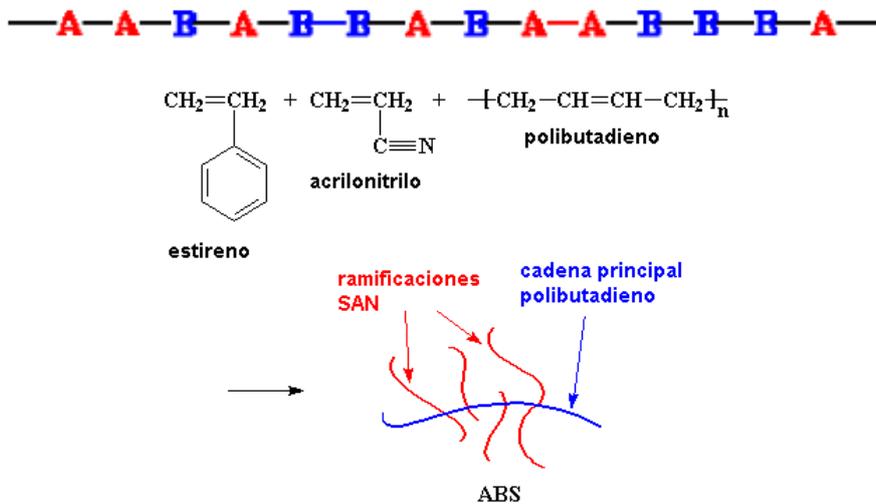


Ejemplo: Homopolímeros y Copolímeros.

Una sub-clasificación de los copolímeros, es la forma en como su arreglo estructural se presenta u obtienen a través de su polimerización, esto se logra mediante catalizadores específicos y reactores que controlan la reacción de polimerización.

Estos arreglos son los siguientes:

**Aleatorios:** Los monómeros en la cadena molecular del copolímero no presentan ningún orden específico, cada uno de los monómeros que lo componen se coloca de una forma aleatoria.

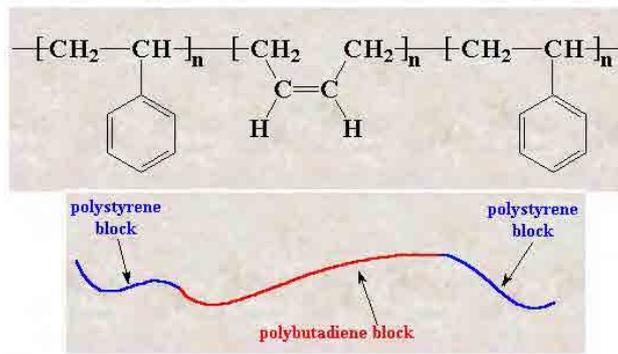


Ejemplo: Copolímero Aleatorio, Estireno – Acrilonitrilo + Butadieno. (ABS)

Fuente de imagen: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.mx/2011/06/poliacrilonitrilo.html>

**Bloque:** Las unidades repetitivas o monómeros de cada clase aparecen organizadas en forma de bloque a través de la cadena molecular del copolímero.

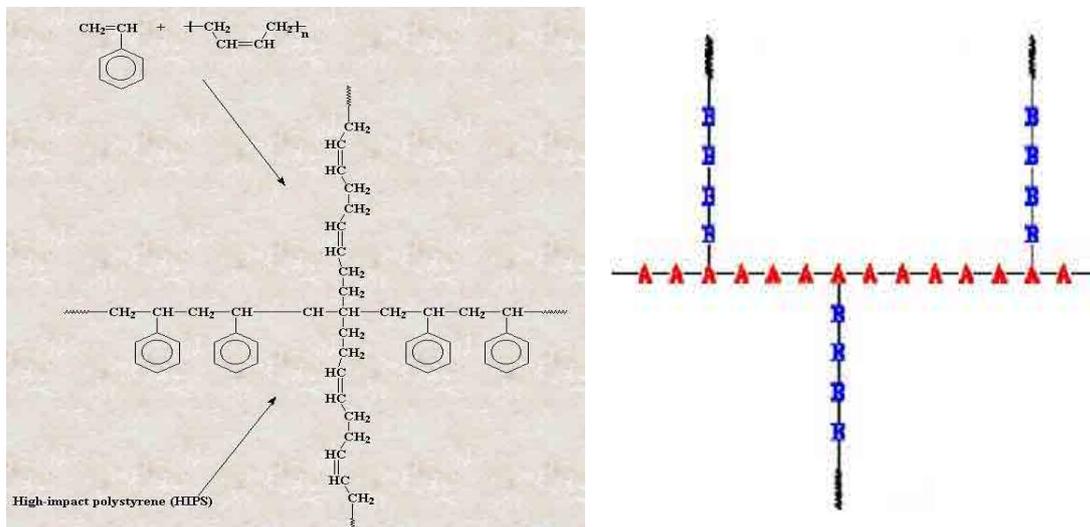




Ejemplo: Copolímero en bloque, Estireno – Butadieno – Estireno. (SBS)

Fuente de imagen: <http://pslc.ws/spanish/sbs.htm>

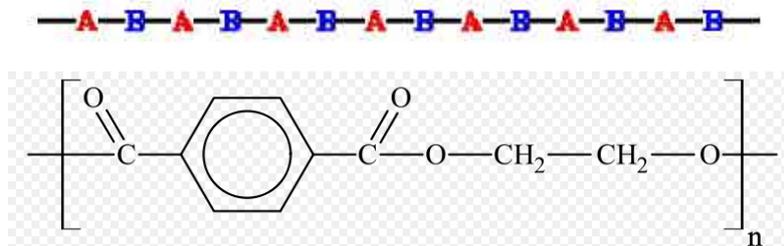
**Injertados:** Se forman cuando cadenas de una clase se unen a la estructura de un polímero diferente a través de una polimerización de radicales libres.



Ejemplo: Copolímero en Injertado, Poliestireno – Polibutadieno (HIPS) Poliestireno de Alto Impacto.

Fuente de imagen: <http://pslc.ws/spanish/styrene.htm#hips>

**Alternados:** Las unidades repetitivas que constituyen el polímero aparecen de forma alternada a lo largo de la cadena.



Ejemplo: Copolímero en Alternado, Tereftalato - Polietileno. (PET)

Fuente de imagen: <http://www.eis.uva.es/~macromol/curso04-05/pet/estructuraquimica.html>

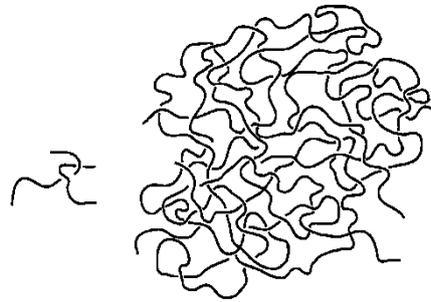
## 2.2.4 Clasificación por ordenamiento molecular.

Una de las clasificaciones más importantes y usadas con los polímeros plásticos es la que corresponde al ordenamiento molecular y que se divide en: Polímeros amorfos y Polímeros cristalinos.

### Amorfos (Termoplásticos)

Son aquellos que en su proceso de solidificación no generan ningún tipo de arreglo o estructura molecular, las cadenas poliméricas se ubican aleatoriamente. Se presentan en forma desordenada unas encima de otras, haciendo una analogía simple con la forma del espagueti en un plato.

with entanglements



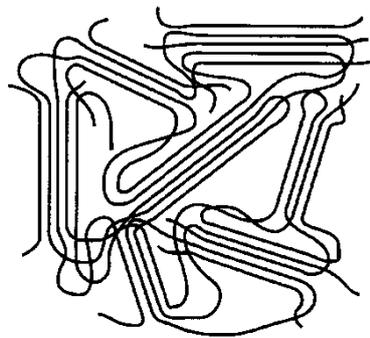
e.g. PVC, PS, PMMA, SAN

### Cristalinos (Termoplásticos)

Las moléculas se organizan en zonas con arreglos tridimensionales ordenados.

Puede formar redes gracias a las interacciones entre moléculas.

Los cristalinos tienen cierto ordenamiento molecular generado por la regularidad de las moléculas.



e.g. PE,PP,PA,POM

#### Ejercicio Sugerencia para contenido 2.2.2.4



- Buscar significado de polimerización.
- Exponer diferentes tipos de polimerización.
- Ejemplos de copolímeros plásticos.

Observaciones: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

#### Páginas de referencia:

[http://docencia.udea.edu.co/ingenieria/moldes\\_inyeccion/unidad\\_1/polimerizacion.html](http://docencia.udea.edu.co/ingenieria/moldes_inyeccion/unidad_1/polimerizacion.html) (Polimerización)

<http://pslc.ws/spanish/copoly.htm> (Tipos de estructura y polímeros)

<http://www.eis.uva.es/~macromol/curso04-05/pet/estructuraquimica.html>

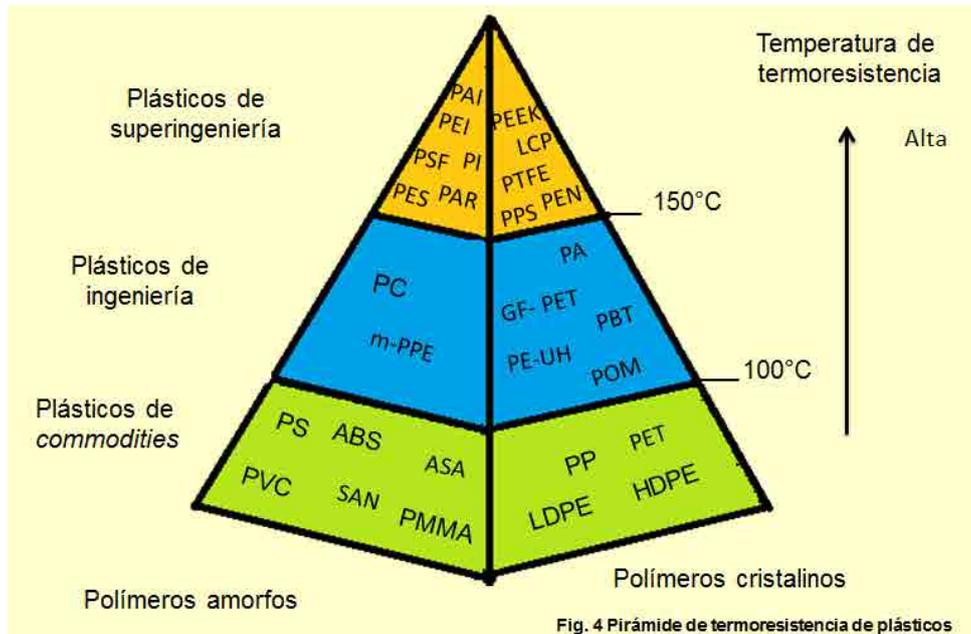
### 2.3 Clasificación por consumo

Aunque resulta un poco subjetiva, la clasificación por consumo de los plásticos, se hace de acuerdo a su importancia comercial y sus aplicaciones en el mercado. Para el caso del BTTP usaremos la pirámide de termo-resistencia que nos permite identificar de acuerdo a la temperatura de uso continuo la clasificación correspondiente.

En esta clasificación se encontrarán términos como: productos commodities o comunes, productos técnicos o de semi-ingeniería, de ingeniería, super ingeniería, etc.

Es importante que el alumno aprenda y comprenda que esta clasificación depende sin duda del desarrollo tecnológico, cultural industrial entre otros factores socioeconómicos que tiene el país, región o ciudad, es decir, que es razonable que los países como las regiones o ciudades son diferentes por muchos factores, por lo tanto el consumo y fabricación de productos será distinto.

Por lo anterior y para hacer más objetiva la clasificación por consumo, para el caso del BTTP usaremos la pirámide de termoresistencia, en ella se presenta una clasificación que se considera a nivel mundial por tres tipos de materiales plásticos: **commodities o de uso común, ingeniería y super-ingeniería**; y está basada en la temperatura de uso continuo del material plástico.



Ejemplo: Pirámide de termoresistencia

Fuente de imagen: Presentación Misión Japonesa M1-2.2

La temperatura de uso continuo es un tema que se desarrollará y analizará en diferentes momentos del BTTP, por lo que será importante en este momento explicar a los alumnos el concepto básico de lo que significa.

### Temperatura.

(Del lat. *temperatūra*).

1. f. Magnitud física que expresa el grado o nivel de calor de los cuerpos o del ambiente. Su unidad en el Sistema Internacional es el kelvin (K).

### Uso.

(Del lat. *usus*).

1. m. Acción y efecto de usar.
2. m. Ejercicio o práctica general de algo.

### Continuo, nua.

(Del lat. *continūus*).

1. adj. Que dura, obra, se hace o se extiende sin interrupción.
2. adj. Dicho de dos o más cosas: Que tienen unión entre sí.
3. adj. Constante y perseverante en alguna acción.

Fuente: <http://lema.rae.es/>

Haciendo la unión de estos conceptos encontramos que la temperatura de uso continuo, será el grado de calor o del medio ambiente a la cual el material plástico será expuesto de forma continua y/o constantemente para ser usado de acuerdo a la función para la cual fue diseñado.

En el diseño y fabricación de un producto plástico, se toma en cuenta las condiciones a las cuales será usado o estará expuesto el producto,

Ejemplo:

Rejillas del refrigerador----- más o menos de 2 a 4°C

Contenedor de anticongelante de un auto ----- más o menos 150°

Una computadora ----- más o menos 50°

### Ejercicio Sugerencia para contenido 2.3



- Realizar una tabla de información, que compare los diferentes productos plásticos (10 productos), donde tome en cuenta: nombre del producto, usos, condiciones de uso e incluyendo un aproximado de su temperatura de uso continuo.

#### 2.3.1 Los commodities

Se les clasifica y conoce como material común o commodities a los materiales plásticos más utilizados y de mayor consumo, a los de mayor volumen de fabricación. Se caracterizan por ser económicos y de propiedades físicas básicas.

Para el BTTP se tomará en consideración la definición anterior junto con el concepto de temperatura de uso continuo, por lo tanto, se tiene que los materiales plásticos comunes o commodities: son materiales que se usan en la fabricación de productos plásticos de un uso común, que no requieren ser expuestos a una temperatura mayor a los 100°C. Misma temperatura en la cual las propiedades mecánicas de estos productos no se ven afectadas para el funcionamiento o uso.

Aunque tienen un comportamiento bueno de sus propiedades, estas no son sobresalientes y su precio es de un nivel moderado en el mercado.

Los materiales commodities que se indican en la pirámide de termoresistencia quedan clasificados de la siguiente forma:

## Materiales Cristalinos.

- Polietilen Tereftalato (PET)
- Polietileno de baja densidad (LDPE)
- Policloruro de vinilo (PVC)
- Polietileno de alta densidad (HDPE)



Polietilen tereftalato (PET)

## Materiales Amorfos.

- Poliestireno
- Copolímero de acrílico nitrilo butadieno estireno (ABS)
- Copolímero de acrílico nitrilo estireno (SAN)
- Copolímero de acrílico nitrilo estireno acrilato (ASA)
- Polimetil metacrilato (PMMA)



Polietileno baja densidad (LDPE)



Policloruro de vinilo (PVC)



Polietileno de alta densidad (HDPE)



Polipropileno



Poliestireno



Otros

Fuente de imagen: <http://www.azulambientalistas.org/las-claves-para-entender-los-simbolos-de-reciclaje.html>

## 2.3.2 Plásticos de ingeniería

Se clasifica y conoce para aquellos plásticos que se presentan un alto desempeño funcional con un excelente conjunto de propiedades como resistencias mecánicas y límites de temperaturas elevadas. Suelen ser más caros y sus aplicaciones son más complejas que un plástico común.

Se tiene que los plásticos de ingeniería, se usan en la fabricación de productos plásticos con aplicaciones más especializadas y que requieren ser expuestos a un uso continuo o frecuente a una temperatura mayor a los 100°C y menor a 150°C. En este rango de temperatura, las propiedades mecánicas de estos productos no se ven

afectadas en menos del 50% de los valores iniciales durante un periodo aproximado de 100.000hrs., de uso.

Los materiales de ingeniería que se indican en la pirámide de termoresistencia quedan clasificados de la siguiente forma:

#### Materiales Amorfos.

- Policarbonato (PC)
- Polifenol éter modificado (m-PPE)



Faros de PC

#### Materiales Cristalinos

- Poliamida (PA)
- Polietilen Tereftalato + fibra de vidrio (GF+PET)
- Polibutileno Tereftalato (PBT)
- Polietileno de ultra alto peso molecular (PE-UHMW)
- Polióxido de metileno o poliacetal (POM)



Estructura de m-PPE y PA



Partes de motor de PA



Bocinas de PET + GF



Maquinados de POM



Maquinados de UHMW-PE



Conectores de PBT

Fuente imágenes:

<http://www.polyplastics.com/en/product/lines/gfpet/>

<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.mx/2011/12/pbt.html>

<http://www.nhaceros.com/publico/productos/UHMW-PE>

<http://www.mticali.com/poliacetal.html>

### 2.3.3 Plásticos de súper ingeniería

Tienen una resistencia térmica superior a los plásticos de ingeniería. En uso y aplicaciones se relacionan principalmente con la industria automotriz o aeroespacial, lo anterior debido a que poseen mejores propiedades, tienen alta funcionalidad, resistencia térmica y durabilidad, se usan como materiales alternativos de metales.

Para los plásticos de superingeniería, la referencia de su resistencia térmica mínima es de 150°C como la temperatura de uso continuo y prolongado.

Los materiales de súper-ingeniería que se indican en la pirámide de termoresistencia quedan clasificados de la siguiente forma:

### Materiales Cristalinos

- Polímero Sulfato de polifenileno (PPS)
- Polímero de Cristal Líquido (LCP)
- Polímero de Polieter éter cetona (PEEK)
- Politetrafluoruro de etileno o teflón (PTFE)



Tubería PPS

### Materiales Amorfos

- Polisulfona (PSF)
- Polialilato (PAR)
- Polieter sulfona (PES)
- Poliamida imida (PAI)
- Polieter imida (PEI)



Engranaje PEEK



Cubiertas Motor LCP



Piezas PTFE



Válvula PSF



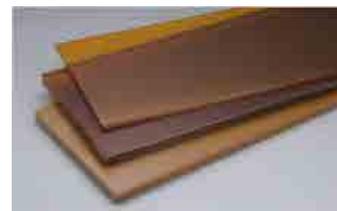
Tubo lente de cámara PAR



Cojinetes equipo de oficina PES



Casquillo de PAI



Lamina de PEI

Fuente imágenes:

<http://www.plastico.com/temas/Grado-de-resina-PPS-Fortron+3088619?tema=3710000>

<http://www.plastico.com/temas/Polimeros-para-la-industria-automotriz-y-aeroespacial-Victrex-PeeK-90HMF40+3093520?tema=3710000>

<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.mx/2011/08/polieter-eter-cetona-peek.html>

[http://spanish.ptfefep.com/china-teflon\\_ptfe\\_machining\\_cnc\\_turning\\_parts\\_dielectric\\_and\\_non\\_stick-1874235.html](http://spanish.ptfefep.com/china-teflon_ptfe_machining_cnc_turning_parts_dielectric_and_non_stick-1874235.html)

<http://spanish.alibaba.com/product-tp-img/conductor-t-rmico-de-pl-stico-de-la-v-lvula-del-cilindro-hecho-de-polisulfona-la-v-lvula-del-cilindro-139517965.html>

## 2.4 Clasificación por Familias

De acuerdo a una de las definiciones de la palabra familia, dice el la real academia española, que es el conjunto de objetos que presentan una característica común, por lo tanto en los materiales plásticos existe esta clasificación, así que hablaremos de las principales familias y alguna de sus características común.

Es importante que los alumnos del BTTP conozcan esta clasificación por que en ciertos lugares de la vida laboral es como se conoce o estudia a los polímeros plásticos, entre los más usuales se encuentran: las Poliolefinas, los Vinílicos, los Estirénicos, los Acrílicos, las Poliamidas, los Poliésteres, las Resinas Epoxi, los Fluoropolímeros entre otros.

### 2.4.1 Poliolefinas.

Las poliolefinas son termoplásticos parcialmente cristalinos del grupo de los plásticos comunes, los representantes más importantes son el Polietileno – Polietileno de baja densidad (LDPE), el Polietileno lineal de baja densidad (LLDPE), y el Polietileno de alta densidad (HDPE), el polipropileno (PP) y el Copolímero de etileno y acetato de vinilo (EVA), se distinguen también por una excelente estabilidad química, una baja absorción de agua y unas buenas propiedades de aislamiento eléctrico.

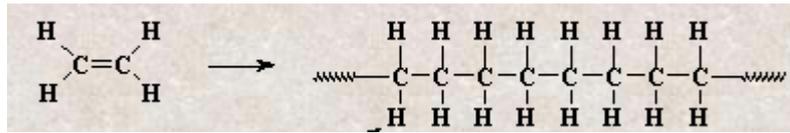
Ejemplo:

- LDPE: filmes, bolsas comerciales, filme para uso agrícola, recubrimiento para los cartones de leche, recubrimiento de cables, bolsas industriales para soportar grandes pesos.
- LLDPE: filme retractile, filme para uso industrial, contenedores de paredes finas y bolsas para mucho peso y peso medio así como bolsas pequeñas.
- HDPE: cofres y cajas, botellas (para alimentos, detergentes, cosmética), contenedores para alimentos, juguetes, tanques de gasolina, embalajes y filmes de uso industrial y tuberías.
- PP: Envases para alimentos: yogurt, margarina, bolsas para dulces y aperitivos, envases para microondas, fibras de alfombras, mobiliario de jardín, envases y aplicaciones médicas, maletas, aplicaciones en la cocina y tuberías.

Fuente: <http://www.plasticseurope.es/que-es-el-plastico/tipos-de-plasticos/poliolefinas.aspx>

### 2.4.2 Vinílicos

La característica de esta familia es que en la cadena principal de sus moléculas está formada exclusivamente por átomos de carbono, contienen dobles enlace carbono - carbono. El polímero vinílico más simple es el polietileno:



Ejemplo, Monómero de Etileno – Polietileno

Fuente de imagen: <http://www.pslc.ws/spanish/vinyl.htm>

Posteriormente por medio de la polimerización un hidrogeno del etileno es remplazado por un átomo o un grupo atómico, produciendo polímeros vinílicos más sofisticados. Los polímeros vinílicos constituyen una gran familia en la que se encuentran las Poliolefinas, los Estirénicos y vinílicos halogenados, estos últimos los más representativos y donde se encuentra el Policloruro de vinilo (PVC), Policloruro de vinilo rígido (PVC-R), Policloruro de vinilo flexible (PVC-F), el Policloruro de vinilideno (PVdC) y el politetrafluoruro de etileno (PTFE) o teflón.

Ejemplo:

El PVdC es uno de los materiales favoritos de los diseñadores porque proporciona soluciones tangibles y diferentes a las necesidades de los envases y embalajes.

La combinación de propiedades del PVC hace posible que ofrezca unas ventajas de comportamiento que son difíciles de igualar. Este material es duradero, ligero, resistente, resistente al fuego, posee propiedades aislantes excelentes y baja permeabilidad. Variando la utilización de aditivos en la fabricación de los productos de PVC, se consiguen las características de resistencia, rigidez, color y transparencia que se ajustan a la mayoría de las aplicaciones.

Los fluoropolímeros tienen cualidades únicas, entre las que se encuentra una gran resistencia, versatilidad, duración, y una resistencia poco frecuente a los productos químicos (disolventes, ácidos y bases) y al calor.

Fuente:

<http://www.pvc.org/en/p/what-is-pvc>, <http://www.pslc.ws/spanish/vinyl.htm>,  
<http://www.plasticseurope.es/que-es-el-plastico/tipos-de-plasticos/fluoropolimeros.aspx>,  
<http://www.plasticseurope.es/que-es-el-plastico/tipos-de-plasticos/pvdc.aspx>,  
<http://www.plasticseurope.es/que-es-el-plastico/tipos-de-plasticos/pvc.aspx>

### 2.4.3 Estirénicos

El término estirénicos o polímeros estirénicos se utiliza para describir a una familia de polímeros plásticos que utilizan al estireno como bloque principal. En esta familia se encuentra el Poliestireno (PS) incluye el de uso general, cristal, alto impacto y mediano impacto, Poliestireno expansible (EPS), el Copolímero de acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), el Copolímero de acrilonitrilo estireno (SAN), Copolímero butadieno estireno (SBR), Copolímero de acrilonitrilo butadieno acrilato (ASA) y la resina poliéster no saturada (UP), esta ultimo material termofijo.

Ejemplo:

- El PS, o Poliestireno: un polímero termoplástico que se ablanda con el calor y que puede convertirse en productos semi-terminados como films y láminas, así como una amplia gama de artículos terminados.
- EPS, o Poliestireno expandido, un producto termoplástico ligero, resistente y que ofrece un aislamiento térmico excelente, lo que le hace idóneo en las industrias del empaçado y de la construcción.

- ABS, o Copolímero de acrilonitrilo butadieno estireno: un material de polímero termoplástico opaco producido a partir de los monómeros acrilonitrilo, 1,3-butadieno y estireno. Resistente y durable incluso a bajas temperaturas, tiene una buena resistencia al calor y a los productos químicos y se procesa fácilmente.
- SAN - Copolímero de estireno y acrilonitrilo: un material de polímero termoplástico transparente con estructura amorfa producido a partir de los monómeros estireno y acrilonitrilo.
- UPR, o Resinas de poliéster insaturadas: polímeros durables, resinosos, derivados del estireno y utilizados principalmente en las industrias de la construcción, la construcción naval, la automoción y eléctrica.
- SBR, o Caucho estireno-butadieno: un caucho fabricado a partir del estireno.

Fuente:

<http://www.plasticseurope.es/que-es-el-plastico/tipos-de-plasticos/polimeros-estirenicos.aspx>

<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.mx/2012/05/asa.html>

## 2.4.4 Acrílicos

Los acrilatos son una familia de polímeros que pertenece a un tipo de polímeros vinílicos. Los poliácrlatos derivan obviamente de monómeros acrilatos, los monómeros acrilato son ésteres que contienen grupos vinílicos, es decir, dos átomos de carbono unidos por una doble ligadura, directamente enlazados al carbono de la cadena principal del polímero.

Los materiales poliméricos representativos de esta familia son: Polimetil metacrilato (PMMA) y Poliácrlonitrilo (PAN)

Ejemplo:

Polimetilmetacrilato. Es una resina sintética que tiene el aspecto de vidrio. Es también llamada como Vidrio orgánico. Su transparencia, ligereza, resistencia a los impactos, aislamiento térmico e inalterabilidad a la intemperie y al paso del tiempo, lo convierten en un material versátil en cuanto a sus aplicaciones y cuya funcionalidad es apreciada a simple vista, en muchos de los elementos que nos rodean en la vida cotidiana. Se emplea en construcción, en óptica y en muchas aplicaciones de la vida cotidiana.

El Poliácrlonitrilo por si solo no presenta muchas aplicaciones, pero si se utiliza para hacer otro polímero, la fibra de carbono, y también interviene en la fabricación de otros Copolímeros. Los Copolímeros que contienen principalmente Poliácrlonitrilo, se utilizan como fibras para hacer tejidos, como medias y suéteres, o también productos para ser expuestos a la intemperie, como carpas y otros.

Fuente:

<http://www.ecured.cu/index.php/Polimetilmetacrilato>

<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.mx/2011/06/poliacrlonitrilo.html>

## 2.4.5 Poliésteres

Los poliésteres se pueden presentar en forma de plásticos o fibras, tienen cadenas hidrocarbonadas que contienen uniones éster, de ahí su nombre. Los poliésteres, en función de las condiciones de transformación y del tipo del material pueden estar disponibles en un estado amorfo-transparente o cristalino-opaco.

Los materiales plásticos representativos de esta familia es: Polietilen tereftalato (PET), Polibutilen tereftalato (PBT), Polietilennaftalato (PEN) y una familia especial de poliésteres es el policarbonato (PC).

Unas de las principales características de este tipo de materiales son:

- Buena resistencia mecánica
- Rigidez y dureza elevadas
- Baja resiliencia
- Excelente resistencia a la fluencia
- Bajísima dilatación térmica
- Elevada estabilidad de forma y dimensional
- Buena resistencia a ataques por productos químicos (ácidos)
- Excelentes características de deslizamiento/fricción
- Resistencia al desgaste
- Bajísima absorción de agua

Fuente:

<http://www.ensinger.es/es/materiales/plasticos-de-ingenieria/poliesteres/#c16228>

## 2.4.6 Poliamidas

Las poliamidas (PA), también conocidas como nylon, son polímeros semi-cristalinos, se distinguen dos tipos: Poliamidas estructuradas a partir de un solo material de partida (ej. PA 6) y poliamidas estructuradas a partir de 2 materiales de partida (ej. PA 66), también se dividen en tres grupos según la forma de copolimerización del monómero.

Las poliamidas poseen un magnífico cuadro de propiedades mecánicas, una tenacidad muy elevada y unas excelentes características de deslizamiento y resistencia al desgaste. Sus propiedades varían desde la dura y tenaz (PA 66) hasta la blanda y flexible (PA 12), existe gran diferencia en su temperatura de fundición.

En función del tipo de material, las poliamidas absorben diferentes cantidades de humedad, con lo cual se ven influenciadas las características mecánicas y la precisión dimensional.

Unas de las principales características de este tipo de materiales son:

- una resistencia mecánica, dureza, rigidez y tenacidad medias-elevadas
- una elevada capacidad de amortiguación mecánica
- buena resistencia a la fatiga
- excelente resistencia al desgaste
- buenas propiedades de deslizamiento
- en la mayoría de los casos, elevada absorción de humedad
- en la mayoría de los casos, reducida estabilidad dimensional

Fuente:

<http://www.ensinger.es/es/materiales/plasticos-de-ingenieria/poliamida/>

## 2.4.7 Sistemas Formaldehídos

La mayor parte de la producción de formaldehído a sido destinada a la fabricación de resinas. Estas resinas son usadas como adhesivos para la fabricación de elementos de madera unidos que comprenden tablas de aglomerado, tablas de fibras, y madera terciada. Los materiales representativos de esta familia son: la resina fenol formaldehído o resina fenólica (PF), la resina urea formaldehído (UF) y resina melamina formaldehído (MF).

Ejemplo:

Las resinas de fenol-formaldehído son usadas como componentes para el moldeo. Sus propiedades térmicas y eléctricas permiten que sean usadas en componentes eléctricos y en automóviles. La fabricación de madera terciada es el mayor mercado para las resinas de fenol-formaldehído.

Las resinas de urea-formaldehído son también usadas como componentes de moldeo y como componentes húmedos que otorgan resistencia al papel. La fabricación de tablas de aglomerado es el mayor mercado para las resinas de urea-formaldehído.

Las resinas de melamina-formaldehído son usadas como láminas decorativas, componentes para moldeo de utensilios usados para comer.

Fuente:

<http://www.textoscientificos.com/quimica/formaldehido/usos>

## 2.4.8 Sistema poliéster no saturado

Las resinas de poliéster no saturado (UP) son polímeros duraderos de resinas derivadas del estireno. Habitualmente se utilizan en combinación con un material de refuerzo como la fibra de vidrio para formar un plástico reforzado con fibra (FRP), entre las resinas de poliéster podemos encontrar como las más comunes: lasortoftálticas y las isoftálticas. pre-aceleradas y no pre-aceleradas (vírgenes).

Ejemplo:

Tiene características excelentes entre las que están:

- Poco peso
- Alta ratio de resistencia por peso (más fuerte que el acero kilo-por kilo)
- Rigidez
- Resistencia a los productos químicos
- Buenas propiedades de asilamiento eléctrico
- Mantenimiento de la estabilidad dimensional en una amplia gama de temperaturas.

Fuente:

<http://www.eafit.edu.co/servicios/centrodelaboratorios/infraestructura/laboratorios/Documents/Guia%20de%20manejo%20de%20resinas.pdf>

<http://www.plasticseurope.es/que-es-el-plastico/tipos-de-plasticos/resinas-de-poliester-no-saturado.aspx>

<http://www.upresins.org/upload/documents/webpage/safety-guidelines/spanish/Guide-4.pdf>

## 2.4.9 Sistema Epoxico

Las resinas epoxi (EP) son una de las historias de éxito más sobresalientes de la industria de los plásticos. Como son una familia de resinas sintéticas, su estado físico

puede ser cualquiera, desde un líquido de viscosidad baja a un sólido de alto punto de fusión. "Cruzada" con una gran variedad de agentes para vulcanizar o endurecer, forma una gama de materiales con combinaciones de propiedades únicas, que ofrecen una aportación considerable a todas las industrias más importantes.

Ejemplo:

- Los aviones y la ingeniería aeroespacial
- Automoción
- Construcción e ingeniería a gran escala
- Sector químico
- Electricidad
- Electrónica
- Alimentación y bebidas
- Navegación
- Ocio
- Ingeniería ligera

Su gama de aplicaciones va desde las aplicaciones para usos domésticos a proyectos de construcción a gran escala, de textiles industriales a satélites y de la protección interna de latas para comida y bebida a la protección externa de las estructuras marinas.

Fuente:

<http://www.plasticseurope.es/que-es-el-plastico/tipos-de-plasticos/resinas-epoxi.aspx>

[http://www.epoxi.depintur.com/que\\_es\\_el\\_epoxi.html](http://www.epoxi.depintur.com/que_es_el_epoxi.html)

#### **2.4.10 Poliuretanos**

El poliuretano (PUR) es un plástico obtenido por la reacción de poliol e isocianato en la presencia de catalizadores y aditivos. Dependiendo del poliol e isocianato empleado, se obtendrá una gran variedad de productos que son clasificados conforme a su estructura física en flexibles convencionales o "slab", flexibles moldeados, rígidos, elastómeros, recubrimientos y adhesivos. Son los polímeros mejor conocidos para hacer espumas, componen una de las familias de polímeros más versátiles que existen.

Fuente:

<http://www.polioules.com.mx/poliuretanos.html>

#### **2.4.11 Siliconas**

Las siliconas (SI) son polímeros que incluyen silicio junto con carbono, hidrógeno, oxígeno, y en ocasiones otros elementos químicos. Algunas formas comunes incluyen el aceite de silicona, grasa de silicona, caucho de silicona y resina de silicona. Si las cadenas son cortas, se constituye en aceite, y si son largas, se constituye en caucho.

Son compuestos inertes, sintéticos con una gran variedad de formas y usos, por lo general son resistentes al calor y similares a los elastómeros, que se utilizan en

selladores, adhesivos, lubricantes, aplicaciones médicas (por ejemplo, los implantes mamarios), utensilios de cocina, y aislamiento térmico. En las resinas silicónicas de estructura reticular tridimensional, se encuentran barnices y materiales para moldeo.

Fuente:

<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.mx/2011/12/siliconas.html>

<http://www.monografias.com/trabajos96/silicona/silicona.shtml#ixzz2xxYFmPcq>

## 2.4.12 Elastómeros

Los materiales **elastómeros** son aquellos materiales que están formados por polímeros que se encuentran unidos mediante enlaces químicos, adquiriendo una estructura final ligeramente reticulada. La principal característica de los materiales elastómeros es la alta elongación o elasticidad y flexibilidad que disponen dichos materiales frente a cargas antes de fracturarse o romperse.

Ejemplos

- Goma natural - material usado en la fabricación de juntas, tacones y suelas de zapatos.
- Poliuretanos - Los poliuretanos son usados en el sector textil para la fabricación de prendas elásticas como la lycra, también se utilizan como espumas, materiales de ruedas, etc...
- Polibutadieno - material elastómero utilizado en las ruedas o neumáticos de los vehículos, dadas la extraordinaria resistencia al desgaste.
- Neopreno - Material usado principalmente en la fabricación de trajes de buceo, también es utilizado como aislamiento de cables, correas industriales, etc...
- Silicona - Material usado en una gama amplia de materiales y áreas dado a sus excelentes propiedades de resistencia térmica y química, las siliconas se utilizan en la fabricación de chupetes, prótesis médicas, lubricantes, moldes, etc...

Fuente:

<http://www.losadhesivos.com/elastomero.html>

<http://mundodellantas.blogspot.mx/2011/11/elastomeros-mas-comunes.html>

### Ejercicio Sugerencia para contenido 2.4.1 al 2.4.12



Actividad individual

- Realizar una tabla de los materiales que pertenecen a cada familia.
- Buscar características, propiedades por familia.
- Realizar fichas con la información encontrada.

## 2.5 Clasificación por comportamiento térmico

Llegamos a la clasificación más conocida y representante de los polímeros plásticos o materiales plásticos, sin duda con la que nos encontramos en bibliografía, en la vida cotidiana y en la industria, es por ello que debemos explicar desde este momento a los alumnos del BTTP la definición, importancia y características principales de cada una de los tipos de materiales que integran esta clasificación.

Como se ha ido desarrollando en otros temas, entendamos primero el significado de las palabras:

### Comportamiento.

(De *comportar*).

1. m. Manera de comportarse.

### Comportar.

4. prnl. Portarse, conducirse.

### Térmico, ca.

(Del gr. *θέρμη*, calor).

1. adj. Perteneciente o relativo al calor o la temperatura.

Por lo tanto, la clasificación por comportamiento térmico es aquella que toma en consideración la forma o manera de portarse o conducirse de los materiales plásticos ante el calor o la temperatura. Y debido a dicho comportamiento la clasificación que se les da se agrupa principalmente en dos tipos: Termoplásticos y Termofijos.

Además de ocupar el comportamiento al calor o temperatura, para definir a los polímeros o materiales termoplásticos y termofijos se ocupa diferentes características que nos ayudará a identificarlos, es por eso que antes de tener una definición explicaremos algunos de sus comportamientos.

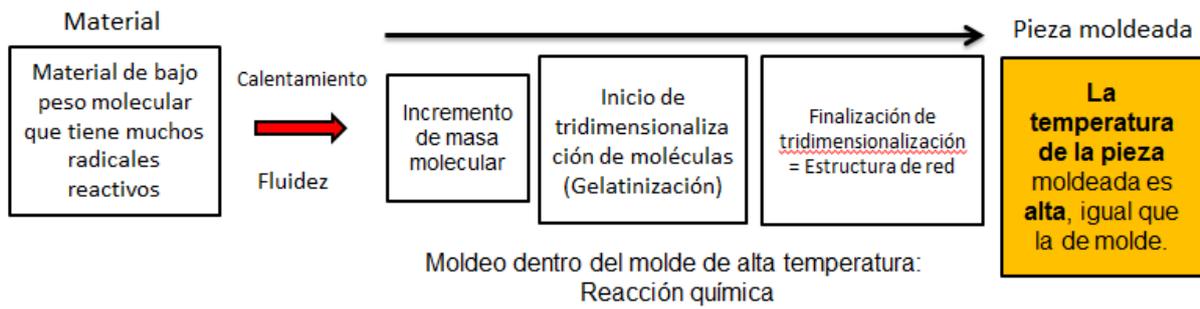
El proceso básico de moldeo primario de los materiales plásticos nos ayudará a explicar el comportamiento de los materiales:

#### **2.5.1 Partiendo de tener el polímero plástico como materia prima:**

Termofijos, son materiales de bajo peso molecular que tienen muchos radicales reactivos, es decir que generan enlaces en una reacción química que se lleva a cabo durante su transformación por lo cual no se pueden ser reprocesados. Los materiales más representativos de ellos son líquidos, es decir las resinas.

En cambio los termoplásticos, son materiales de alto peso molecular que no tienen radicales reactivos, es decir que ellos en la reacción de polimerización para su obtención encontraron un equilibrio estructural. Por su alto peso molecular se presentan en forma sólida como polvos, pellets y/o lentejas. Por lo anterior al aplicarles calor se funden y pueden ser reprocesados nuevamente.

### 1. Material termofijo



### 2. Material termoplástico

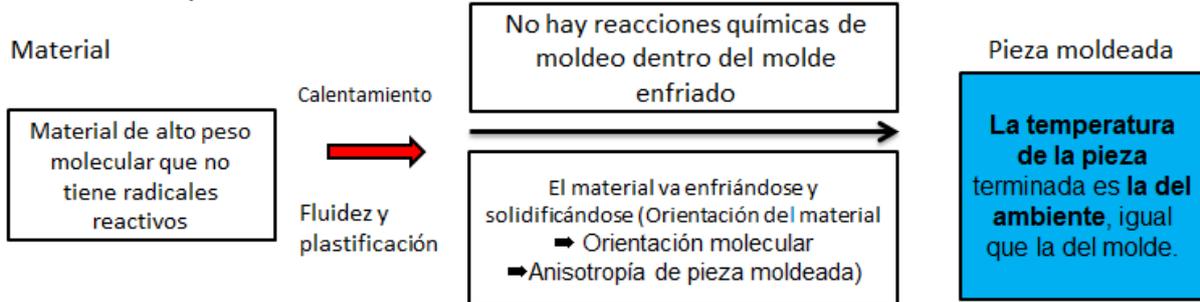


Fig. Diferencia entre el material termofijo y el termoplástico

Fuente: Presentación Misión Japonesa M1-1 (Instituto Municipal de Investigación Técnica de la ciudad de Osaka, "Texto de Plástico" (2009), p10, Editorial PlasticAge)

### 2.5.2 Antes del procesamiento primario

Los materiales termoplásticos se calientan a la temperatura de ablandamiento o a una temperatura más alta que la de fusión para fundirlo, así dar fluidez y plastificación.

A algunos de los materiales termofijos se aplica calentamiento para ablandarlos y generar fluidez, otros materiales como las resinas por su bajo peso molecular se encuentran como líquido viscoso.

### 2.5.3 Durante el procesamiento

En los termoplásticos, no hay reacciones químicas dentro del molde y el material va enfriándose y solidificándose (durante este proceso existe la orientación molecular).

Para el caso de los materiales termofijos, después del calentamiento existen reacciones químicas (exotérmicas) que además de generar calor, provocan un incremento de masa molecular e inician la formación de enlaces tridimensionales a lo que se conoce como curado.

## 2.5.4 Solidificación y endurecimiento.

La **solidificación** es un fenómeno en que el material termoplástico en estado de ablandamiento o fundición, se solidifica por enfriamiento. La pieza se elabora en un molde de una temperatura más baja que la de fusión del material, se debe enfriar para solidificarse hasta llegar a un nivel estable en que ya no se presente la contracción y se pueda mantener la forma por lo menos hasta extraer la pieza moldeada.

El **endurecimiento** es un fenómeno que se presenta en el polímero termofijo. El material puesto dentro de moldes frío o caliente es del radical funcional de bajo peso molecular, y por acción del calor o del catalizador que es un agente endurecedor, ocurren enlaces (reacción de enlaces cruzados de plástico), formando la estructura de red tridimensional.

Las formas de reacción del endurecimiento varían según el tipo de material. El agente endurecedor es importante para controlar la velocidad y el nivel de reacción.

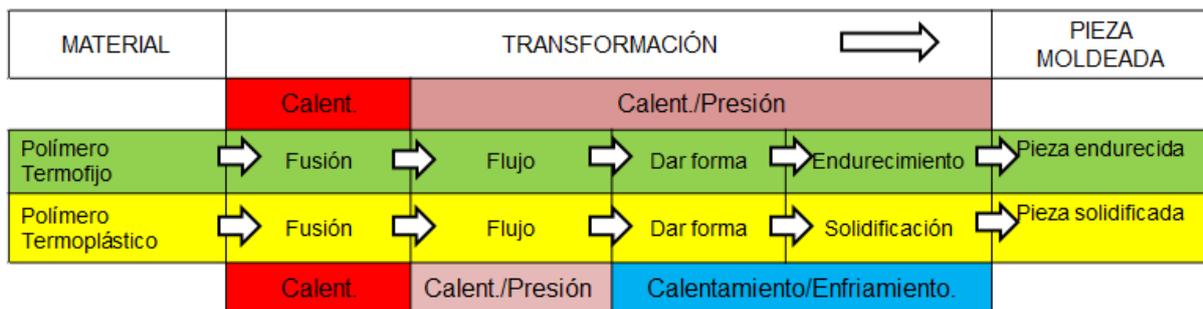


Fig. Proceso Básico

Fuente: Presentación Misión Japonesa M1-1 (Instituto Municipal de Investigación Técnica de la ciudad de Osaka, "Texto de Plástico" (2009), p50, Editorial *PlasticAge*)

## 2.5.5 Estructura Molecular

Los polímeros termoplásticos se caracterizan por tener una estructura macromolecular lineal de forma cristalina y amorfa.

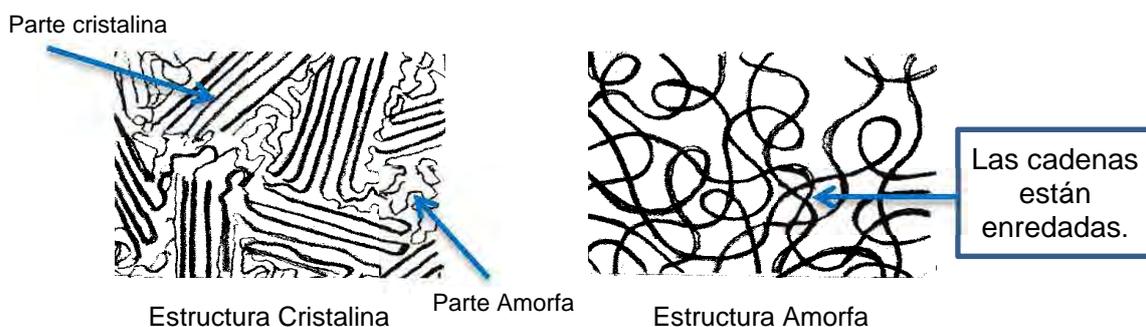


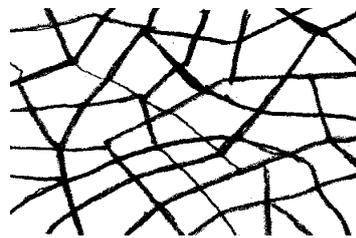
Fig. Estructura Amorfa y Cristalina

Fuente: Presentación Misión Japonesa M1-1

**Los polímeros amorfos** tienen cadenas macromoleculares en forma desordenada (polímeros sin forma), mientras que los **polímeros cristalinos** tienen una estructura cristalina en la que una parte de las cadenas largas están direccionadas en forma ordenada.

Sin embargo, no siempre tienen una estructura cristalina los polímeros cristalinos. El nivel de cristalización es un 70 a 80% para PE-HD, y 35 a 45% para PA y 70 a 80% para POM.

Mientras que los polímeros termofijos muestran una estructura macromolecular reticular en forma de red tridimensional.



Estructura red tridimensional

Fig. Estructura termofijos

Fuente: Presentación Misión Japonesa M1-1

### 2.5.6 Reprocesamiento

El Endurecimiento por calentamiento ocurre por efecto del aditivo endurecedor al ser calentado, provocando la reacción de enlaces que conectan las cadenas macromoleculares. Por lo anterior, es difícil de volver a fundirse aun con calor posterior, evitando el cambio en la estructura. Por lo que los materiales termofijos no pueden ser reprocesados.

Como una de las características del material termoplástico por el tipo de estructura molecular, al aplicar calor se pueden volver a fundir sin que exista una reacción química, solo es un cambio físico. Por lo tanto es posible reprocesarlos.

### Ejercicio Sugerencia para contenido 2.5



Trabajo  
En equipo

- Características de los materiales termoplásticos.
- Características de los materiales termofijos.
- Realizar una tabla de las diferencias entre estos materiales.

### 2.5.7 Comportamiento térmico de los termoplásticos (Amorfos y Cristalinos)

Al aumentar la temperatura, el ablandamiento del polímero **amorfo** se desarrolla en un rango amplio de temperatura, pero la fuerza intermolecular de un lado disminuye y

la distancia entre las cadenas principales se hace más amplia, por lo que la transición del estado de vidrio al de hule es rápida.



Fig. Temperatura de transición vítrea

Fuente: Presentación Misión Japonesa M1-2.1

El comportamiento de polímero cristalino al aumentar la temperatura, primeramente la parte amorfa inicia con el movimiento micro molecular manteniendo el estado sólido, en un rango de temperatura en la que se encuentra la temperatura ambiente, la parte amorfa(fundiéndose) y la parte cristalina que aún se encuentra sólida manteniendo un estado elástico. Al llegar y rebasar la temperatura de fusión de cristales, hace una rápida transición a la sustancia fundida en un rango cerrado de temperatura generando el estado líquido.

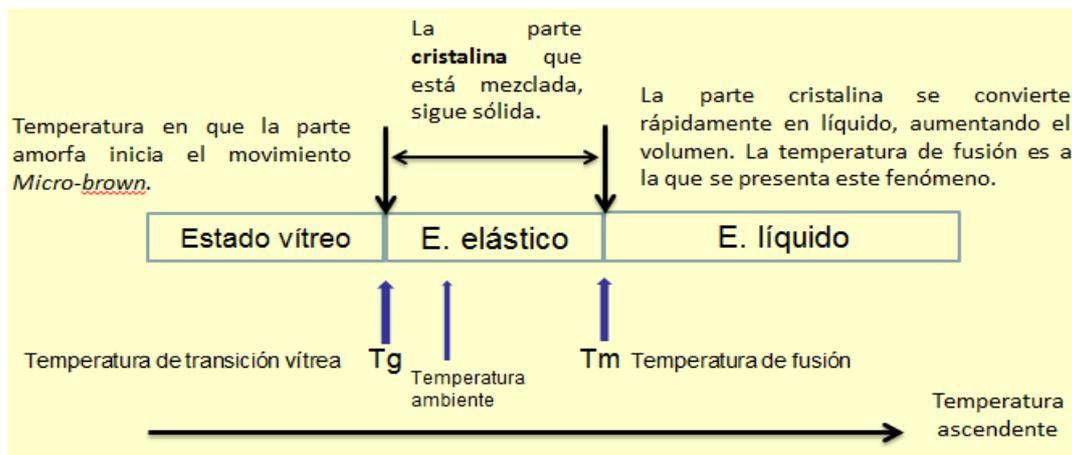


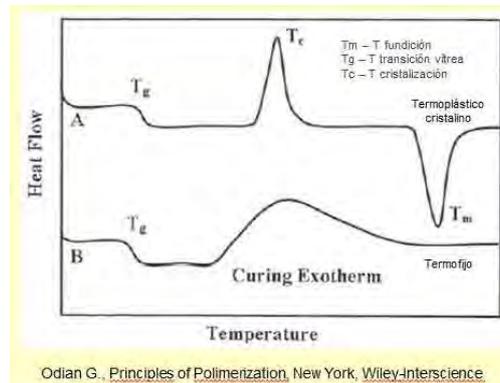
Fig. Temperatura de transición vítrea y fusión

Fuente: Presentación Misión Japonesa M1-2.1

## 2.5.8 Comportamiento térmico de los Termofijos

Los polímeros termofijos se caracterizan por solo tener la temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ), el comportamiento que tiene este tipo de materiales al aumentar la

temperatura de curado debido a la reacción química exotérmica que se genera al procesarlos. Al terminar de endurecer y con el tiempo enfría a temperatura ambiente.



En conclusión, la clasificación por comportamiento térmico divide a los materiales plásticos en polímeros termoplásticos y polímeros termofijos, y para cada una de estas clasificaciones encontramos características que definen al material pertenecer a cada una de estas categorías.

### Árbol de clasificación de plásticos

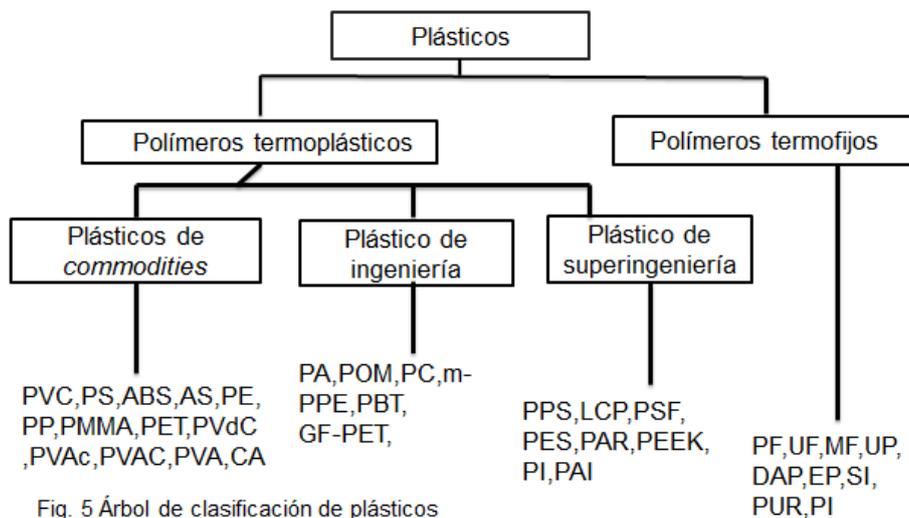


Fig. 5 Árbol de clasificación de plásticos

Fuente: Toshihide Inoue, coautor, "Engineering Plastics" p2 (2004), Kyoritsu Shuppan

### Fig. Clasificación de Polímeros

Fuente: Presentación Misión Japonesa M1-2.2



**Manual del Docente**  
Para la impartición del  
**Bachillerato Tecnológico en Transformación de Plásticos**



**Tema 3**  
**Propiedades de los  
materiales plásticos**



### 3. Propiedades de los materiales plásticos

El ser humano se divide en dos géneros hombres y mujeres, dentro de cada género hay diferentes personas que tienen habilidades, cualidades o características similares y pero también muy diferentes una de otras.

Ej. Hablando de dos personas físicamente normales con una condición física similar, pueden correr al mismo tiempo y una tendrá más resistencia que la otra o una será más rápida que otra y así en diferentes características.

Lo mismo sucede con los polímeros plásticos, como estudiamos en la clasificación, los materiales plásticos pueden pertenecer a varios grupos, asimilar apariencia, origen, nombre, etc., y así mismo entender que tiene propiedades físicas y químicas como cualquier otro material plástico.

Pero cuando hablamos en específico de un material, es entender que estas propiedades pueden ser mejores, iguales, peores o incluso no tenerlas a diferencia de otro material plástico.

Por eso es importante que los alumnos del BTTP, conozcan y comprendan cuales son las propiedades físicas y químicas que se presentan comúnmente en los polímeros plásticos, qué relación existe con su morfología, cómo podemos mejorar o mejorarlas y para qué nos sirve conocer esta información.

Primeramente y como se ha hecho en otros temas, definiremos el termino propiedad, para entenderlo.

#### **Propiedad.**

3. f. Atributo o cualidad esencial de alguien o algo.

Real Academia Española © Todos los derechos reservados

Usando la definición anterior, entenderemos que comprenderemos los atributos o cualidades físicas y químicas de los polímeros plásticos.

#### **3.1 Propiedades químicas y físicas**

Las **propiedades físicas** son aquellas que se pueden medir sin que se afecte la composición o la identidad de la sustancia, aquellas que logran cambiar la materia sin alterar su composición. Por ejemplo; cuando moldeas un trozo de plastilina, sus átomos no se ven alterados de ninguna manera, pero exteriormente cambia su forma.

Ejemplo de estas propiedades son: la densidad, el punto de fusión, el punto de ebullición, entre otras.

Las **propiedades químicas**, son las cuales se observan cuando una sustancia sufre un cambio químico, es decir, una transformación de su estructura interna, convirtiéndose en otras sustancias nuevas. Dichos cambios químicos, pueden ser reversibles o irreversibles, cuando éstos últimos ocurren en una sola dirección (como en la combustión de la madera).

Para poder comprender la importancia de las propiedades físicas y químicas de los polímeros plásticos es importante hacer un análisis de la diversidad de productos y funciones principales que tienen las piezas de plástico, para poder inducir que de acuerdo al uso es importante elegir un material.

Ej.

- Como contenedor de sustancias químicas.
- Partes internas de automóvil.
- Carcasa de aparatos electrodomésticos.
- Piezas de motores (autos, aviones, etc.)
- Piezas mecánicas.
- Productos médicos.
- Empaque alimenticios.
- Infinidad de productos y usos.



Fuente de imagen: Internet

Hacer comprender al alumno del BTTP, que cada pieza de material plástico, cumple con una función principal y que las condiciones de uso son diferentes, es decir, unas están expuestas a temperaturas distintas al medio ambiente, en contacto con sustancias químicas, corrientes eléctricas, a esfuerzos mecánicos, a una cantidad enorme de condiciones de uso o combinaciones de ellas.

Por lo cual explicaremos cuales son algunas de las propiedades principales y las características que se estudian en los materiales plásticos, así como los factores que intervienen en las propiedades de los plásticos.

### Ejercicio Sugerencia para contenido 3.1



- Definición de propiedades físicas y químicas de los materiales en general.
- Hacer un mapa conceptual de las propiedades físicas y químicas de los materiales plásticos.

Observaciones: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Fuente:

<http://tecnologia-materiales.wikispaces.com/Propiedades+F%C3%ADsicas>

<http://aprendeenlinea.udea.edu.co/lms/ocw/mod/resource/view.php?inpopup=true&id=226>

Existen 3 factores importantes que determinan el comportamiento de las propiedades físicas y químicas en los materiales plásticos:

1. Estructura química (Moléculas, cadena principal, cadenas laterales, etc.)
2. Estructura de polímero (Masa molecular, ramificación, reticulado, copolimerización, cristalización, etc.)
3. Mejoramiento de propiedades mediante los aditivos y las combinaciones (Varios tipos de aditivos, reforzadores de fibra, aleación de polímeros, etc.).

Describiremos algunas características de los elementos que integran estos factores:

#### **Estructura molecular.**

La cadena principal controla la flexibilidad de la molécula, que depende de la capacidad de rotación de los enlaces, y por ende la temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ) y la temperatura de fusión ( $T_m$ ).

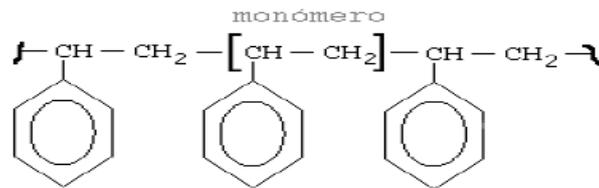
Un nivel de estructura básico (cadena principal) influye sobre un nivel de estructura intermedia (del que hace parte la flexibilidad) que finalmente afecta las propiedades del polímero a otros niveles superiores ( $T_g$  y  $T_m$ ).

Así, todos los niveles de estructura se encuentran interrelacionados.

#### **Grupos laterales.**

El monómero también provee grupos laterales a la cadena de polímero. Estos grupos laterales pueden ir desde simples átomos de hidrógeno hasta grupos complejos y cadenas que pueden formar redes.

Por ejemplo, el estireno tiene un anillo de benceno.



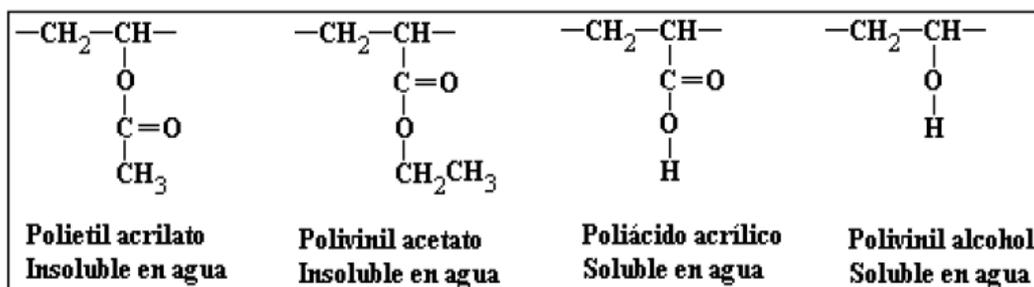
Estructura de Poliestireno

Ejemplo: Estructura molecular Poliestireno.

Los grupos laterales de las cadenas influyen en diversas propiedades, como el empaquetamiento de la cadena (**crystalinidad**), su interacción y su reactividad química.

La **reactividad** de la molécula también se ve afectada por los grupos laterales. Cuando éstos presentan volúmenes grandes estirenicos disminuye la reactividad, debido a la imposibilidad de los grupos reactivos de atacar los sitios activos de la otra molécula.

Finalmente, los grupos laterales pueden influir en la **solubilidad** de un polímero.



Efecto de los grupos laterales en la solubilidad.

Ejemplo: Efecto de la Solubilidad por grupos laterales.

## Grupos terminales

Las moléculas de la mayoría de los polímeros contienen grupos terminales que, por definición, son diferentes de los monómeros que forman el polímero y que, generalmente no son tenidos en cuenta debido a la longitud de la cadena polimérica, y al pequeño tamaño de estos grupos.

Los grupos terminales no afectan las propiedades de los polímeros con contadas excepciones. Los grupos terminales, por otro lado, juegan un papel importante en la síntesis de polímeros, ya que todos los métodos de síntesis consisten esencialmente en la interacción de los grupos terminales de las cadenas que están en crecimiento, con las moléculas de monómero o con otro grupo terminal.

## Peso molecular y su distribución

Una característica más importante que diferencia los polímeros de otras moléculas es su alto peso molecular. Esta característica es responsable de muchas de las propiedades útiles de los polímeros como: su resistencia mecánica, la temperatura de transición vítrea de **plásticos amorfos**, la temperatura de fusión de fibras y películas **semicristalinas** y la elasticidad de los cauchos.

Un polímero no tiene un peso molecular sino que tiene una distribución de pesos moleculares ya que se trata de una mezcla de cadenas con pesos moleculares diferentes.

**Estructura de polímero**, Ver la clasificación por cadena (contenido 2.2 de este manual).

**Mejoramiento de Propiedades**, Se desarrollará más adelante este tema (contenido 3.3 de este manual).

### 3.2 Propiedades específicas de materiales plásticos

Existe una variada cantidad de propiedades físicas y químicas con las que cuentan los materiales plásticos, para poder comprenderlas es importante explicar a los alumnos del BTTP las más representativas y principales propiedades que se consideran para su transformación, aplicación y/o diseño de la pieza.



Figura 3.2 Propiedades comunes de los plásticos.

## reología.

1. f. Fís. Estudio de los principios físicos que regulan el movimiento de los fluidos.

Real Academia Española © Todos los derechos reservados.

Uno de los estudios que realiza es la medición de **índice de fluidez (MFI)**, que una forma simple de definir es como: la tasa de flujo másico del polímero que pasa a través de un capilar en condiciones de temperatura adecuada y controlada. Esta propiedad se utiliza particularmente para indicar la uniformidad de la tasa y flujo del polímero en un proceso de transformación.

El índice de fluidez es una medida indirecta de la masa molecular y de la procesabilidad de los termoplásticos. No es una propiedad intrínseca del polímero sino un parámetro empírico que depende de las propiedades físicas y de la estructura molecular del polímero. La medida del índice de fluidez es inversamente proporcional a la viscosidad del material en estado fundido y ésta también lo es al peso molecular del polímero.

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/7903169/Indice-de-Fluidez>

Diferentes formas de explicar lo anterior es:

- Si la viscosidad de un material plástico fundido es alta, su índice de fluidez es pequeño.
- Si la viscosidad de un material plástico fundido es baja, su índice de fluidez es alto.
- Si un material plástico tiene índice de fluidez alto, su peso molecular es bajo.
- Si un material plástico tiene índice de fluidez bajo, su peso molecular es alto.

Las propiedades físicas, son las cualidades que caracterizan a un material plástico, se distinguen por no presentar modificación en la estructura molecular, se les llama propiedades específicas.

Ejemplo: densidad, contracción, absorción, permeabilidad.

Propiedades de los materiales

### 3.2.1 Densidad.

Es una medida de cuánto material se encuentra comprimido en un espacio determinado; es la cantidad de masa por unidad de volumen.

1. **f.Masa.**Magnitud física que expresa la cantidad de materia que contiene un cuerpo. Su unidad en el Sistema Internacional es el kilogramo (kg).
2. **m.Volumen.**Magnitud física que expresa la extensión de un cuerpo en tres dimensiones: largo, ancho y alto. Su unidad en el Sistema Internacional es el metro cúbico (m<sup>3</sup>).

Real Academia Española © Todos los derechos reservados

La densidad de una materia representa cuántos gramos o kilogramos hay por unidad de volumen. Hay sustancias que tienen más átomos por unidad de volumen que otros, en consecuencia tienen más gramos, o kilogramos, por unidad de volumen. Por lo tanto, hay sustancias que tienen más densidad que otros.

Ej. La densidad del agua, es de 1 gr/cm<sup>3</sup>. Esto significa que si tomamos un cubo de 1 cm de lado y lo llenamos de agua, el agua contenida en ese cubo tendrá una masa de un gramo.

Los materiales plásticos no son la excepción en estas definiciones y cada material tiene una densidad

En los plásticos se utilizan tres términos:

- Densidad neta (producto)
- Densidad relativa (diferentes materiales)
- Densidad aparente (tipo de pellets)

La **densidad neta** es la masa del producto por unidad de volumen. La unidad del SI para la densidad es kilogramos por metro cúbico, si bien habitualmente se expresa en gramos por centímetro cúbico.

La **densidad relativa** se define como la relación entre las masas de un volumen determinado de material y de un volumen equivalente de agua a 23 °C (densidad del agua 1 g / cm<sup>3</sup>). El resultado es a-dimENSIONAL, es decir, sin unidades. En los materiales plásticos es la densidad relativa que caracteriza a cada material.

Gran parte de los polímeros tienen una densidad entre 0,9 y 1,3 los fluoro-plásticos tienen en general una densidad alrededor de 2.

La **densidad aparente** es el cociente entre la masa de un determinado material sólido (ya sea granulada, polvo, espumado) por unidad de volumen. Es decir cuánto ocupará dicho material considerando el volumen real debido a su morfología. Es útil

para el diseño de tolvas y tanques de almacenaje y fines de logística (diseño de galpones para estiba de material, container, etc.).

Conocer y entender la densidad de los materiales plásticos, nos ayuda a seleccionar proceso de transformación, a entender el manejo del material, también en el diseño de las tolvas, cañón y husillo, así como; el peso de los productos y la productividad del proceso.

Fuente:

[http://www.profesorenlinea.com.mx/fisica/Densidad\\_Concepto.htm](http://www.profesorenlinea.com.mx/fisica/Densidad_Concepto.htm)

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/mass.html>

<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.mx/2011/06/propiedades-fisicas.html>

### Ejercicio Sugerencia para contenido 3.2.1



- Buscar tipos de presentación de los materiales plásticos como materia prima.
- Buscar tablas de la densidad relativa de diferentes materiales plásticos.
- Comentar y comparar con sus compañeros.

Nombre DEL PlÁSTICO	Densidad
HDPE	0.94~0.96
LDPE	0.914~0.928
LLDPE	0.92~0.94
PP (Homo-polymer)	0.90~0.91
GP PS	1.05
HI PS	1.00~1.05
AS	1.06~1.08
ABS	1.16~1.21
ABS High-impact	1.01~1.05
PVC soft	1.16~1.35
PVC rigid	1.38~1.55
PMMA	1.15~1.19
PET	1.33~1.40

Fig. Densidad de plásticos comunes M2-2

Nombre del plástico	Densidad
PA6	1.12~1.15
PA66	1.13~1.16
PA66GF33%	1.33~1.34
PA610	1.07~1.09
POM (homo-polymer)	1.41~1.43
PC	1.20~1.24
PCGF30%	1.40~1.43
PBT	1.31~1.32
PBT GF30%	1.48~1.53
PPE modify	1.08

Fig. Densidad de plásticos de ingeniería M2-2

Nombre del plástico	Densidad
PPS (para no reforzados)	1.34
PSF (amorfo)	1.24
PES (amorfo)	1.37
PSU (amorfo)	1.24-1.25
PPSF (amorfo)	1.29
PAR (amorfo)	1.21
LCP tipo II GF30	1.62
PEEK	1.32
PI (térnico)	1.36-1.43

Fig. Densidad de plásticos de súper-ingeniería M2-2

### 3.2.2 Contracción.

contracción

1. f. Acción y efecto de contraer o contraerse.

contraer o contraerse

7. prnl. Reducirse a menor tamaño. U. t. c. tr.

*Real Academia Española © Todos los derechos reservados*

Los materiales plásticos como materia prima (pellets), se calientan al procesarlos en el equipo de de transformación de plásticos, el material calentado se funde y expande dentro del molde. Cuando el material se enfría dentro del molde y se solidifica tomando la forma, la pieza se contrae en comparación con las dimensiones del diseño del molde.

Por lo tanto se entiende como contracción, cuando existe un cambio en el volumen que sufre una pieza cuando se enfría una vez transformada. Es decir disminuye todas o algunas de sus dimensiones a lo largo, ancho y/o alto.

Mientras que la deformación o distorsión, es el cambio de forma de una pieza cuando se enfría una vez transformada.

La **dilatación** de una forma general, cuando aumentamos la temperatura de un cuerpo (sólido o líquido), aumentamos la agitación de las partículas que forman ese cuerpo. Esto causa un alejamiento entre las partículas, resultando en un aumento en las dimensiones del cuerpo (dilatación térmica). Por otra parte, una disminución en la temperatura de un cuerpo, acarrea una reducción en sus dimensiones (construcción térmica).

Existen tres tipos de dilatación:

- Dilatación lineal.
- Dilatación superficial.
- Dilatación volumétrica.

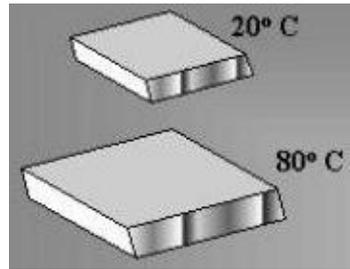


Fig. Dilatación lineal.

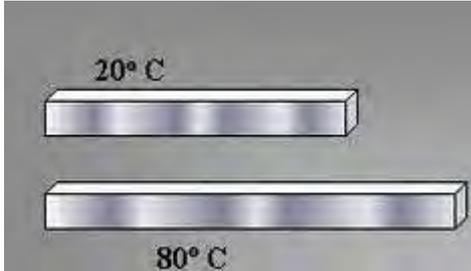


Fig. Dilatación volumétrica

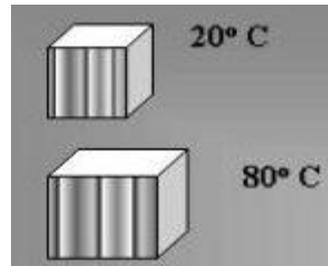


Fig. Dilatación superficial.

Más allá que la dilatación de un sólido suceda en todas las dimensiones, puede predominar la dilatación de apenas una de sus dimensiones sobre las demás. O aún, podemos estar interesados en una única dimensión del sólido. En este caso, tenemos la dilatación lineal. La dilatación superficial corresponde a la variación del área de una placa, cuando es sometida a variación de temperatura. Para la dilatación volumétrica, vamos a considerar la variación del volumen, esto es, en las tres dimensiones del sólido (largo, ancho y alto).

La contracción no está solo relacionada con la dilatación térmica, intervienen otros mecanismos como la solidificación y la cristalización del polímero. La transición térmica de un material polimérico está íntimamente ligada a la estructura molecular.

Dependiendo de la naturaleza del plástico, si el polímero plástico es amorfo, su contracción es menor, mientras que en el polímero cristalino la contracción es mayor. Lo anterior se refiere a la proporción de concentración de la pieza moldeada en comparación con las dimensiones originales del molde y se expresa en porcentaje.

Material	Tasa de contracción de moldeo (%)
ABS	0.4 ~0.9
PS	0.4 ~0.7
SAN	0.2~0.7
EVA	0.2~0.7
PP	1.0~2.5
PP GF40%	0.2~0.8
HDPE	2.0~6.0
PMMA	0.1~0.4
PA6	0.5~1.5
PA66	0.8~1.5
POM	2.0~2.5
PBT GF30%	0.2~0.8
PC	0.5~0.7
PPS GF40%	0.2~0.4
m-PPE	0.1~0.5
PET	0.2~0.4

Fig. Contracción de materiales plásticos M2-5.

La importancia de la contracción de los materiales plásticos al conocer su tasa de contracción, es para utilizarla en cálculos de las dimensiones de la cavidad en el diseño de moldes.

Fuente: <http://fisica.laguia2000.com/conceptos-basicos/dilatacion-termica>.

### Ejercicio Sugerencia para contenido 3.2.2



- Buscar significado de contracción, dilatación, polímeros amorfos y cristalinos, etc.
- Buscar tablas de tasa de contracción de diferentes materiales plásticos.
- Relacionar las características que se involucran en la concentración.

### 3.2.3 Absorción

Es una medida de cuánto material se encuentra comprimido en un espacio determinado; es la cantidad de masa por unidad de volumen.

absorción.

1. f. Acción de absorber.

absorber.

1. tr. Dicho de una sustancia sólida: Ejercer atracción sobre un fluido con el que está en contacto, de modo que las moléculas de este penetren en aquella.

Real Academia Española © Todos los derechos reservados

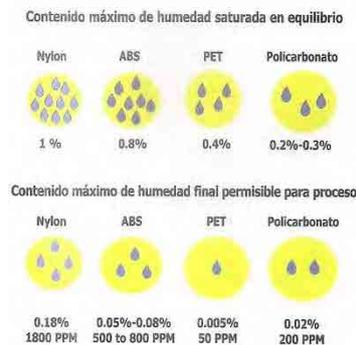
La absorción de la humedad es la capacidad del material a absorber humedad del entorno (aire, agua).

El ambiente siempre contiene agua y vapor. Mientras más alta este la temperatura más alto es el contenido de agua (humedad alta en un día de verano, baja humedad en un día frío de invierno). El contenido de agua es dado a medida que la humedad relativa es relacionada a él valor de la temperatura.

Podemos separar los polímeros en dos grupos definidos: los que son higroscópicos y los que no. Un material higroscópico es aquel que absorbe humedad del medio ambiente.

Los materiales poliméricos no higroscópicos como el polietileno, polipropileno, poliestireno, PVC, pueden acumular humedad solamente sobre la superficie del material si son expuestos en condiciones de alta humedad.

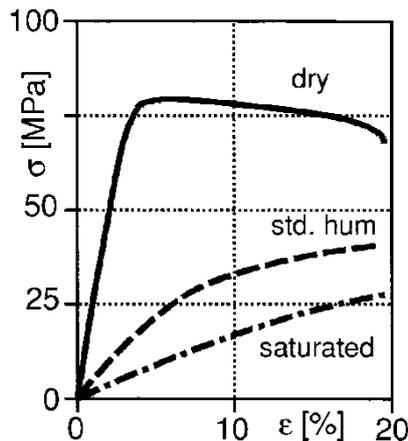
En cambio, los materiales higroscópicos como el nylon, ABS, PET, policarbonato, tienen mucha afinidad por el agua, por lo tanto absorben la humedad dentro de su estructura molecular.



Fuente: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.mx/2011/06/deshidratacion-de-de-plasticos.html>

Las poliamidas muestran un valor de absorción de agua mayor que el resto de los plásticos de ingeniería. Esto provoca distorsiones dimensionales en las piezas acabadas, reducción de la resistencia mecánica y un cambio de las propiedades de aislamiento.

### Stress-Strain Diagram:



Dibujo Influencia de absorción de agua de PA6 en las propiedades mecánicas,  
Gottfried W. Ehrenstein, "Polymeric Materials" HANSER, 2001. p244

El grado de absorción de humedad depende del tipo de plástico y de las condiciones del entorno como son la temperatura, humedad y el tiempo de contacto. Para poder eliminar la humedad de los materiales plásticos como materia prima, existe el proceso de secado. (Se deberá ver en el módulo de inyección del BTTP)

No secar el material antes de procesarlo, puede influenciar en las propiedades de material como son la estabilidad dimensional, resistencia mecánica y las propiedades eléctricas. Así mismo; provoca defectos de procesamiento tanto en proceso, en la pieza y acabado de productos. (Se deberá ver en el módulo de inyección del BTTP)

Fuente:

<http://www.ensinger.es/es/informacion-tecnica/propiedades-tecnicas-de-los-plasticos/otras-propiedades/absorcion-de-humedad/>

<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.mx/2011/06/deshimidificacion-de-de-plasticos.html>

#### Ejercicio Sugerencia para contenido 3.2.3



Trabajo  
En equipo

- El proceso de secado de materiales plásticos.
- Buscar tablas de tiempo de secado de materiales plásticos.
- Exponer y comparar contenidos con el resto del grupo.

#### 3.2.4 Permeabilidad

**permeable.**

adj. Que puede ser penetrado o traspasado por el agua u otro fluido.

La capacidad que tiene un material de permitir que un vapor de agua o gas lo atraviese, esto dependerá a la forma de su estructura. Los polímeros plásticos

existen dos tipos de estructuras moleculares conocidas los polímeros amorfos y cristalinos.

No existe una estructura completamente cristalina, sabemos que hay partes amorfas y es en estas zonas donde tiene lugar la característica de la permeabilidad, esta condición de amorfo/cristalino del material se mide en porcentaje de cristalinidad, mientras mayor sea este porcentaje, la densidad será mayor y menor la permeabilidad a los gases y vapor de agua, ya que existe menos espacios en las zonas cristalinas.

Los materiales amorfos por su arreglo al azar, contienen huecos que abren y cierran debido al movimiento natural de las moléculas, cuya magnitud depende de la temperatura y permiten el paso de átomos o moléculas de los elementos permeantes.

Tabla. PERMEABILIDAD DE MATERIALES PLÁSTICOS

PERMEABILIDAD DE MATERIALES PLÁSTICOS				
Material	Densidad g/cm <sup>3</sup>	WVTR	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>
LDPE	0.91-0.925	1.0-1.5	1967	445
HDPE	0.94-0.927	0.3-0.4	345	111
PVC sin aditivos	1.19-1.35	0.9-2	970	5-20
BOPP	0.884-0.901	0.25-0.7		150
PET	1.38-1.41	1.8-3.0		4.8-9
PA Nylon 6	1.01-1.88	6-22	160	0.02
PVDC	1.86-1.88	0.01-0.1	4	0.02
EOVH	1.25	2-6		0.01-1.15
EVA	0.94	3.9		515-545
Ionómero	0.94-0.96	1.3-2.1	226-484	
PTFE	1.37-1.39	0.9-1.2	16	6
WVTR	g/24h/100 in <sup>2</sup> /mil			
CO <sub>2</sub> y O <sub>2</sub>	cm <sup>3</sup> /24h/100, in <sup>2</sup> /mil			

Fuente: <http://www.tecnomaq.com.mx>

Fuente:

[http://www.tecnomaq.com.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=25:la-permeabilidad-ii-&catid=5:plasticos-y-conversion&Itemid=13](http://www.tecnomaq.com.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=25:la-permeabilidad-ii-&catid=5:plasticos-y-conversion&Itemid=13)

#### Ejercicio Sugerencia para contenido 3.2.4



Investigación

- Usos de la permeabilidad en materiales plásticos.
- Relacionar los conceptos de densidad, polímeros cristalinos y amorfos con permeabilidad.

Propiedades mecánicas.

Las propiedades mecánicas de los materiales nos permiten diferenciar un material de otro ya sea por su composición, estructura o comportamiento ante algún efecto físico o químico, estas propiedades son usadas en dichos materiales de acuerdo a algunas necesidades creadas a medida que ha pasado la historia, dependiendo de los gustos y propiamente de aquella necesidad en donde se enfoca en el material para que este solucione a cabalidad la exigencia creada.

La mecánica de materiales estudia las deformaciones unitarias y desplazamiento de estructuras y sus componentes debido a las cargas que actúan sobre ellas, así entonces nos basaremos en dicha materia para saber de que se trata cada uno de estos efectos físicos, aplicados en diferentes materiales plásticos de acuerdo a su estructura y forma.

Por lo anterior en productos plásticos, clasificaremos la importancia de estas propiedades de acuerdo a la aplicación de fuerza y se representa de la siguiente manera:

1. Es posible aplicarle una fuerza exterior a una velocidad constante y despacio. Se expresa mediante la tensión, elasticidad, rigidez, dureza, etc.
2. Es posible aplicarle una fuerza exterior impactante. Se expresa mediante la resistencia al impacto, etc.
3. Es posible aplicarle una fuerza exterior durante un tiempo prolongado. Se expresa mediante la resistencia a la fluencia. (se cambia con el transcurso del tiempo)
4. Es posible aplicarle una fuerza exterior de una manera cíclica. Se expresa mediante la resistencia a la fatiga. (Durabilidad en tiempo prolongado)

Las pruebas mecánicas consideran estas fuerzas por separado o combinadas. Las pruebas de tracción, compresión y cizalla sirven sola para medir una fuerza, mientras que las de flexión, impacto y dureza implican dos o más fuerzas simultáneas.

### **3.2.5 Tensión o tracción**

Fuerzas de tensión o tracción: La fuerza aplicada intenta estirar el material a lo largo de su línea de acción.

Resistencia a la tracción y elongación de rotura, es el máximo esfuerzo que un material puede resistir antes de su rotura por estiramiento desde ambos extremos con temperatura, humedad y velocidad especificadas.

La resistencia es una propiedad mecánica que usted podría relacionar acertadamente, pero no sabría con exactitud qué es lo que queremos significar con la palabra "resistencia" cuando hablamos de polímeros. En primer lugar, existen varios tipos de resistencia. Está la resistencia a la tensión, un polímero tiene esta resistencia si soporta un estiramiento.

En plásticos se mide la resistencia a la tensión al cede y a la ruptura.



Figura. Fuerza de tensión

Fuente: <http://blog.utp.edu.co/metalografia/2012/07/31/2-propiedades-mecanicas-de-los-materiales/>

### 3.2.6 Elongación (alargamiento)

La resistencia a la tracción o tenacidad es el máximo esfuerzo que un material puede resistir antes de su rotura por estiramiento desde ambos extremos con temperatura, humedad y velocidad específica.

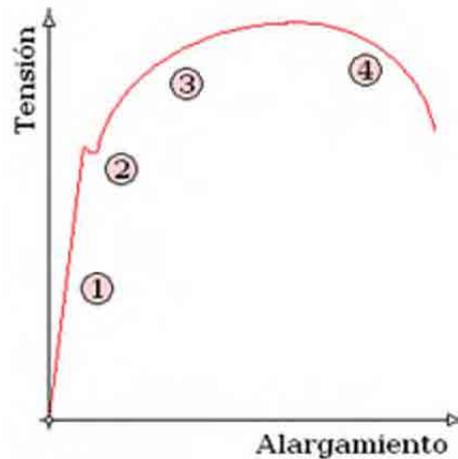
Pero las propiedades mecánicas de un polímero no se remiten exclusivamente a conocer cuán resistente es. La resistencia nos indica cuánta tensión se necesita para romper algo. Pero no nos dice nada de lo que ocurre con la muestra mientras estamos tratando de romperla. Ahí es donde corresponde estudiar el comportamiento de elongación de la muestra polimérica.

La elongación a la rotura, también conocida como deformación a la rotura, es la relación entre la variación de longitud y la longitud inicial después de que falle el material en el ensayo de tracción. Expresa la capacidad del material a resistir los cambios de forma sin que se produzca ninguna fisura interna.

Curva tensión-deformación.

En el ensayo a la tracción se mide la deformación (alargamiento) de la probeta entre dos puntos fijos de la misma a medida que se incrementa la carga aplicada, y se representa gráficamente en función de la tensión (carga aplicada dividida por la sección de la probeta). En general, la curva tensión-deformación así obtenida presenta cuatro zonas diferenciadas:

## Curva Tensión - Deformación



1. Deformaciones elásticas: en esta zona las deformaciones se reparten a lo largo de la probeta, son de pequeña magnitud y, si se retirara la carga aplicada, la probeta recuperaría su forma inicial (recuperación elástica (1)). El coeficiente de proporcionalidad entre la tensión y la deformación se denomina módulo de elasticidad (2) o de Young y es característico del material. La tensión más elevada que se alcanza en esta región se denomina límite de fluencia (yieldpoint) y es el que marca la aparición de este fenómeno.
2. Fluencia o cedencia. Es la deformación brusca de la probeta sin incremento de la carga aplicada. El fenómeno de fluencia se da cuando las impurezas o los elementos de aleación bloquean las dislocaciones de la red cristalina impidiendo su deslizamiento, mecanismo mediante el cual el material se deforma plásticamente. Alcanzado el límite de fluencia se logra liberar las dislocaciones produciéndose la deformación bruscamente. La deformación en este caso también se distribuye uniformemente a lo largo de la probeta pero concentrándose en las zonas en las que se ha logrado liberar las dislocaciones. No todos los materiales presentan este fenómeno, en cuyo caso la transición entre la deformación elástica y plástica del material no se aprecia de forma clara.
3. Deformaciones plásticas: si se retira la carga aplicada en dicha zona, la probeta recupera sólo parcialmente su forma quedando deformada permanentemente. Las deformaciones en esta región son más acusadas que en la zona elástica.
4. Estricción. Llegado un punto del ensayo, las deformaciones se concentran en la parte central de la probeta apreciándose una acusada reducción de la sección de la probeta, momento a partir del cual las deformaciones continuarán acumulándose hasta la rotura de la probeta por esa zona. La estricción es la responsable del descenso de la curva tensión-deformación;

realmente las tensiones no disminuyen hasta la rotura, sucede que lo que se representa es el cociente de la fuerza aplicada (creciente) entre la sección inicial y cuando se produce la estricción la sección disminuye, efecto que no se tiene en cuenta en la representación gráfica. Los materiales frágiles no sufren estricción ni deformaciones plásticas significativas, rompiéndose la probeta de forma brusca. Terminado el ensayo se determina la carga de rotura, carga última o resistencia a la tracción: la máxima resistida por la probeta dividida por su sección inicial, el alargamiento en (%) y la estricción en la zona de la rotura.

Fuente:<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.mx/2011/06/propiedades-mecanicas.html>  
<http://blog.utp.edu.co/metalografia/2012/07/31/2-propiedades-mecanicas-de-los-materiales/>  
<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.mx/2011/06/propiedades-mecanicas.html>

### 3.2.7 Compresión

La resistencia a la compresión es el máximo esfuerzo que un material rígido puede resistir bajo compresión longitudinal. No es necesario el esfuerzo en el punto de rotura, pero es de significación en materiales que quebrantan bajo una cierta carga.

El ensayo de compresión es un ensayo técnico para determinar la resistencia de un material o su deformación ante un esfuerzo de compresión.

El ensayo de compresión también puede aplicarse a productos confeccionados con elastómeros destinados a contener aire en su interior tales como balones de fútbol o neumáticos. En los cuales es útil conocer cuanta presión son capaces de resistir sin deformación permanente o cuanta presión son capaces de resistir sin romperse o estallar

Otros ensayos de compresión son aplicados a envases plásticos para la industria alimenticia.

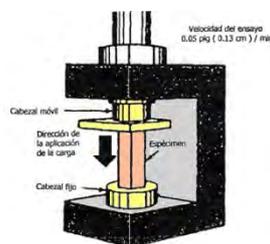


Figura. Compresión

Fuente: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.mx/2011/06/propiedades-mecanicas.html>

Fuente:  
<https://www.uclm.es/profesorado/porrasysoriano/elementos/Tema01.pdf>  
<http://www.utp.edu.co/~gcalle/Contenidos/Compresion.pdf>  
<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.mx/2011/06/propiedades-mecanicas.html>

### 3.2.8 Flexión

La resistencia a la flexión estática, también conocida como módulo de rotura, representa el máximo esfuerzo desarrollado en la superficie de la probeta en forma de barra, soportada cerca del extremo y cargada en el centro hasta que ocurra la falla. El ensayo es aplicable solamente a materiales rígidos.

En plásticos es importante medir la resistencia y módulo de flexibilidad.

Nos ayuda a seleccionar la aplicación adecuada para un material, como rígidos para elaborar electrodomésticos, estuches o materiales flexibles para mangueras, suelas.

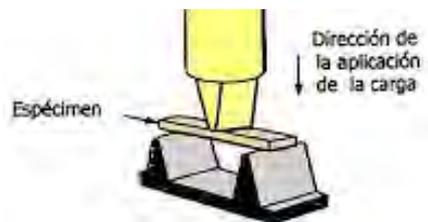


Figura. Flexión

Fuente: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.mx/2011/06/propiedades-mecanicas.html>

Fuente: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.mx/2011/06/propiedades-mecanicas.html>

### 3.2.9 Impacto (tenacidad)

La resistencia al impacto representa la resistencia o tenacidad de un material rígido a la repentina aplicación de una carga mecánica. Es convencionalmente determinado por medición de la energía requerida para fracturar una probeta bajo condiciones normalizadas.

El impacto es convenientemente obtenido por la caída de un péndulo. La probeta se mantiene de forma tal que sea rota por un simple vaivén.

Dos tipos principales de máquinas de ensayo son usadas:

- (1) La Izod en la cual una barra es fijada por un extremo como una viga en voladizo vertical y golpeada a una dada distancia encima de una especificada muesca, a través de la barra.
- (2) La Charpy, donde la probeta está en forma horizontal y soportada cerca de cada extremo y golpeada en el centro.

La máquina pendular es práctica en el uso como control.

La utilizamos para seleccionar la aplicación adecuada como lentes, cajas de refresco, equipo de seguridad, teléfonos, partes de auto expuesto a golpes, etc.

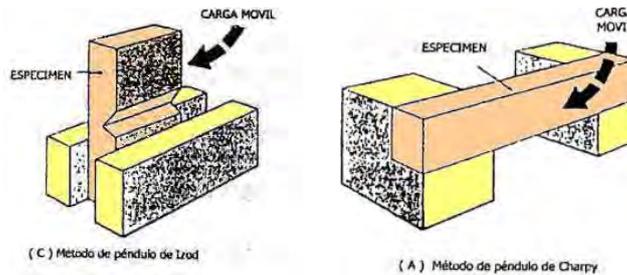


Figura. Impacto

Fuente: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.mx/2011/06/propiedades-mecanicas.html>

### 3.2.10 Dureza

La característica de ser rayado o penetrado sobre la superficie. La dureza expresa la resistencia a la deformación. Es una propiedad compleja y cuando se accede a métodos por indentación o penetración, factores como módulo elástico, resistencia al flujo, plasticidad y tiempo quedan involucrados.

Nos permite identificar que material es más fácil o difícil de rayar y determinar así su aplicación.

Valores altos se utiliza por ejemplo en carcasa de aparatos electrodomésticos, los valores bajos se utilizan en sellos, recubrimiento de alambres, tenis.

La dureza Mohs es cualitativa, basada en una creciente de resistencia al rayado por minerales, desde talco (1) hasta diamante (10). La Brinell, por impresión de una bola de acero duro, igual que la Rockwell es por penetración de un penetrador de punta semiesférica.

Escala de Mohs (1882)  
Aplicación en geología o mineralogía  
Cada material es rayado por los de escala superior

Material	Escala
Talco	1
Yeso	2
Caliza	3
Fluorita	4
Apatita	5
Feldespato	6
Cuarzo	7
Topacio	8
Safiro (corindón)	9
Diamante	10

Material	Brinell, HB
Nylon	12
Polietileno baja densidad	2
Polietileno alta densidad	4
Polipropileno	7
Poliestireno	20
Cloruro de polivinilo	10

Figura. Escala dureza Mohs y Brinell

Fuente: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.mx/2011/06/propiedades-mecanicas.html>

Dependiendo del tipo de punta empleada y del rango de cargas aplicadas, existen diferentes escalas, adecuadas para distintos rangos de dureza.

Las escalas de uso industrial actuales son las siguientes:

- Dureza Brinell: Emplea como punta una bola de acero templado o carburo de W. Para materiales duros, es poco exacta pero fácil de aplicar. Poco precisa con chapas de menos de 6mm de espesor. Estima resistencia a tracción.
- Dureza Knoop: Mide la dureza en valores de escala absolutas, y se valoran con la profundidad de señales grabadas sobre un mineral mediante un utensilio con una punta de diamante al que se le ejerce una fuerza estándar.
- Dureza Rockwell: Se utiliza como punta un cono de diamante (en algunos casos bola de acero). Es la más extendida, ya que la dureza se obtiene por medición directa y es apto para todo tipo de materiales.

Se suele considerar un ensayo no destructivo por el pequeño tamaño de la huella.

- Rockwell superficial: Existe una variante del ensayo, llamada Rockwell superficial, para la caracterización de piezas muy delgadas, como cuchillas de afeitar o capas de materiales que han recibido algún tratamiento de endurecimiento superficial.
- Dureza Rosiwal: Mide en escalas absoluta de durezas, se expresa como la resistencia a la abrasión medias en pruebas de laboratorio y tomando como base el corindón con un valor de 1000.
- Dureza Shore: Emplea un escleroscopio. Se deja caer un indentador en la superficie del material y se ve el rebote. Es adimensional, pero consta de varias escalas. A mayor rebote, mayor dureza. Aplicable para control de calidad superficial. Es un método elástico, no de penetración como los otros. Existen durómetros portátiles.
- Dureza Vickers: Emplea como penetrador un diamante con forma de pirámide cuadrangular. Para materiales blandos, los valores Vickers coinciden con los de la escala Brinell. Mejora del ensayo Brinell para efectuar ensayos de dureza con chapas de hasta 2mm de espesor.
- Dureza Webster: Emplea máquinas manuales en la medición, siendo apto para piezas de difícil manejo como perfiles largos extruidos. El valor obtenido se suele convertir a valores Rockwell.

Fuente: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.mx/2011/06/propiedades-mecanicas.html>

### Ejercicio Sugerencia para contenido 3.2.5 a 3.2.10



- Buscar definiciones de las propiedades mecánicas de los materiales.
- Relacionar la medición de propiedades mecánicas con el uso de materiales plásticos.

### Propiedades Térmicas.

Son las características que presentan los materiales plásticos al comportamiento con la temperatura, exposición al calor o fuego. Estas propiedades nos ayudan a determinar las condiciones de procesamiento y a seleccionar material para una aplicación específica.

Alguna de las principales características que presentan los polímeros plásticos con el comportamiento son las siguientes:

- Al calentar el polímero, se vuelve blando, bajando la resistencia.
- El enlace de hidrógeno entre las cadenas moleculares vecinales y la fuerza de van der Waals son relativamente débiles, por lo tanto al subir la temperatura, la unión se reduce, aumentando el *Micro-brownmovement*.

- Tiene la ventaja de facilitar el moldeo debido a tener la temperatura de transición vítrea cercana a la temperatura ambiente, pero su desventaja es tener propiedades físicas sensibles a la temperatura.
- Para entender las propiedades térmicas, se dividen en las siguientes 3 áreas; (1) comportamiento térmico, (2) propiedades térmicas, (3) termoresistencia.
- Las propiedades térmicas consisten en la temperatura específica, coeficiente de conductividad térmica, el coeficiente de difusión térmica, el coeficiente de expansión lineal. Son necesarios para el cálculo de calentamiento y enfriamiento CAE.



### Comportamiento térmico de los termoplásticos (Amorfos y Cristalinos)

Al aumentar la temperatura, el ablandamiento del polímero **amorfo** se desarrolla en un rango amplio de temperatura, pero la fuerza intermolecular de un lado disminuye y la distancia entre las cadenas principales se hace más amplia, por lo que la transición del estado de vidrio al de hule es rápida.

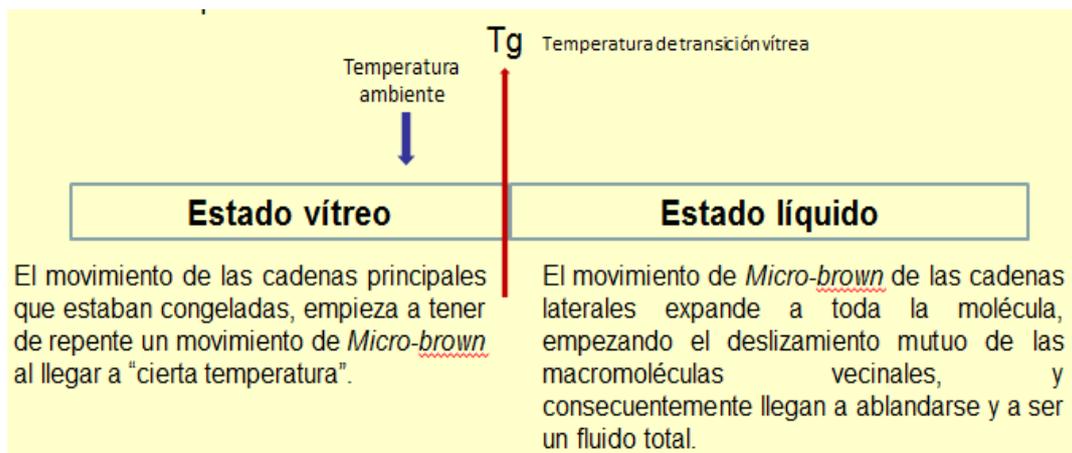


Fig. Temperatura de transición vítrea

Fuente: Presentación Misión Japonesa M1-2.1

El comportamiento de polímero cristalino al aumentar la temperatura, primeramente la parte amorfa inicia con el movimiento micro molecular manteniendo el estado sólido, en un rango de temperatura en la que se encuentra la temperatura ambiente, la parte amorfa (fundiendo) y la parte cristalina que aún se encuentra sólida manteniendo un estado elástico. Al llegar y rebasar la temperatura de fusión de cristales, hace una rápida transición a la sustancia fundida en un rango cerrado de temperatura generando el estado líquido.

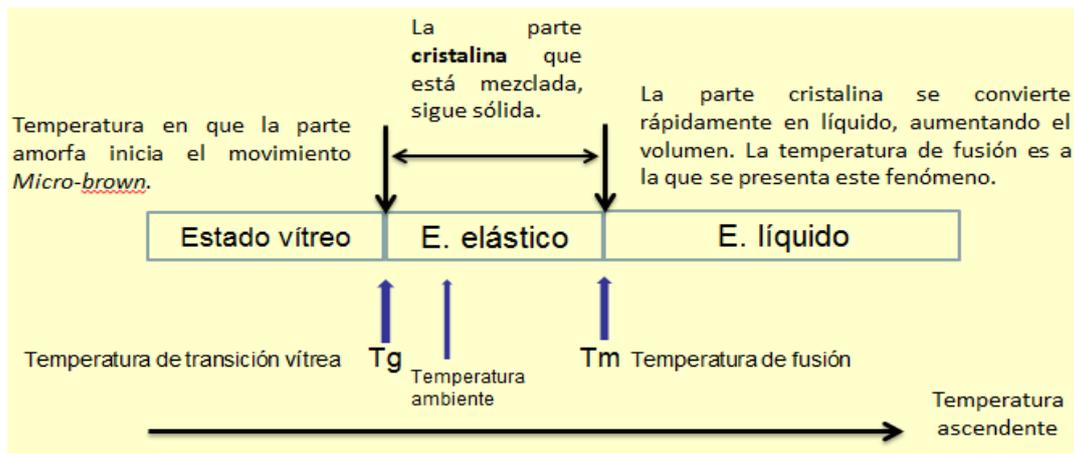
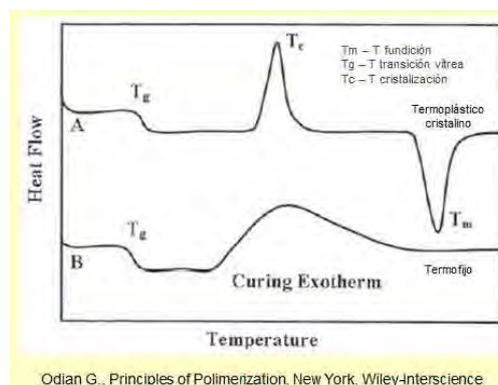


Fig. Temperatura de transición vítrea y fusión

Fuente: Presentación Misión Japonesa M1-2.1

## Comportamiento térmico de los Termofijos

Los polímeros termofijos se caracterizan por solo tener la temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ), el comportamiento que tiene este tipo de materiales al aumentar la temperatura de curado debido a la reacción química exotérmica que se genera al procesarlos. Al terminar de endurecer y con el tiempo enfría a temperatura ambiente.



## Propiedades Térmicas

### **3.2.11 Temperatura de ablandamiento**

Los termoplásticos no disponen de un punto de fusión determinado que defina el tránsito de sólido a líquido con exactitud. Se trata más bien de un reblandecimiento paulatino con el aumento de la temperatura.

La temperatura que resiste un cuerpo antes de deformarse, sin recibir esfuerzo mecánico. En los plásticos se llama temperatura de ablandamiento Vicat, y nos determina a que temperatura se reblandece el material.

Las propiedades mecánicas de alta temperatura de plásticos pueden limitar su aplicación generalizada. Algunos polímeros son capaces de soportar temperaturas de 200 grados o superiores, y sin embargo otros fracasan antes de llegar a 100. La prueba de Temperatura de Reblandecimiento Vicat (VST) permitirá al usuario medir la capacidad de su producto para retener las propiedades superficiales a estas altas temperaturas.

Se aplica en películas, para envases de líquidos calientes, láminas y exteriores.

Fuente: <http://www.instron.com.es/wa/solutions/details.aspx?PageID=1716>

<http://www.zwick.com.mx/es/aplicaciones/plasticos/termoplasticos-compuestos-de-moldeo/hdt-y-vicat.html>

### **3.2.12 Temperatura de flexión**

La temperatura que soporta el material antes de deformarse ante una carga continúa.

Otra magnitud a medir es la temperatura de deformabilidad por calor a la que una probeta prismática se somete a flexión y se calienta con un aumento de temperatura determinado. Al llegar a la temperatura de deformabilidad, la probeta ha alcanzado una flexión determinada por la norma. Dado que este resultado dado por la temperatura depende de la carga seleccionada, la geometría de la probeta, la velocidad de calentamiento y la flexión elegida, la temperatura de flexión bajo carga representa un valor aplicable para comparar diferentes materiales entre sí. La medición de la deformabilidad de plásticos a temperatura puede estar solapada por tensiones de material internas.

Nos ayuda a seleccionar materiales que puedan aplicarse a temperaturas altas y que soporten una carga.

Fuente: <http://www.zwick.com.mx/es/aplicaciones/plasticos/termoplasticos-compuestos-de-moldeo/hdt-y-vicat.html>

### 3.2.13 Conductividad Térmica

La conductividad térmica (también conocida como coeficiente de conductividad térmica) de un plástico define su capacidad de transportar energía térmica (calor) a través de él mismo. Hay resaltar que la conductividad térmica se refiere únicamente a la conducción de calor y no a la transferencia por convección o radiación.

Los plásticos suelen ser muy malos conductores de calor, aislantes. Sin embargo, la conductividad térmica se puede incrementar con la adición de fibras de carbono o carbón black.

Nos sirve para conocer los plásticos que tienen buen aislamiento térmico, se utiliza para recipientes que contienen líquidos calientes, partes de auto entre otros.



Fuente:

<http://www.ensinger.es/es/informacion-tecnica/propiedades-tecnicas-de-los-plasticos/propiedades-termicas/coeficiente-conductividad-termica/>

### 3.2.14 Calor Continuo o Temperatura de uso continuo

La característica de soportar altas temperaturas en un lapso de tiempo sin esfuerzo mecánico, hasta llegar a su degradación. En los plásticos se mide la resistencia al calor continuo para productos que serán sometidos a elevadas temperaturas sin esfuerzo.

Al aplicar calor continuo a los termoplásticos amorfos, sufren un reblandecimiento, es decir, la transición a un estado termo-elástico. De esta zona, con pequeñas fuerzas se provocan grandes deformaciones; si se sigue calentando se incrementa la movilidad térmica de las moléculas provocando que las cadenas puedan deslizarse unas frente a otras. Esta zona limita con la temperatura de descomposición.

Los termoplásticos semi-cristalinos poseen fragmentos amorfos (flexibles) en el intervalo de temperaturas de uso así como cristalinos (rígidos). Al aumentar la temperatura es posible moldearlos cuando los fragmentos cristalinos alcanzan el intervalo de la temperatura de fusión. Inmediatamente sigue el estado termoplástico y al seguir aumentando la temperatura, este estado se caracteriza por la transparencia

que adopta el plástico antes opaco. Esta zona limita la temperatura de descomposición del plástico.

Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos32/plasticos/plasticos.shtml#ixzz33tFf36BF>

### 3.2.15 Temperatura de Fragilización

La característica de que tienen los materiales para soportar bajas temperaturas, la temperatura de fragilización, esto es, bajar la temperatura lo suficiente para que material como el hule pueda comportarse como un material rígido, quebradizo o con facilidad se hace pedazos.

Se aplica a los plásticos que estarán sometidos a temperaturas bajas extremas y pierden tenacidad, así como a materiales plásticos como elastómeros se hagan rígidos y puedan fácilmente molerse.



Fuente: <http://www.cryoinfra.com/aplicaciones/item/65-molienda-criog%C3%A9nica-n2>

### 3.2.16 Flamabilidad, inflamables o ignicible

Es una característica que presentan los materiales a prenderse, a sostener la combustión, resistir al fuego, formar humo y su toxicidad.

El comportamiento frente al fuego de las materias plásticas, al igual que todas las demás propiedades, es extremadamente diverso, y lo mismo que en cualquier otro material, depende también de la forma del objeto y del estado de agregación de la materia. No puede olvidarse que prácticamente nunca se presentan aislados sino asociados con otros elementos: mamposterías, metales, maderas, etcétera.

Al proceso de combustión de los plásticos podemos dividirlo en cinco etapas:

- 1) Calentamiento: La temperatura de los plásticos aumenta hasta alcanzar su temperatura de descomposición (según el tipo de polímero, entre 180° y 500°).
- 2) Descomposición: Los plásticos se descomponen en productos volátiles de bajo peso molecular, ya que están formados por cadenas de moléculas más pequeñas.

- 3) Ignición: Con O<sub>2</sub> (oxígeno) y cuando la temperatura de alguna zona supera el punto de inflamabilidad de los gases producidos durante la descomposición, se tiene la formación de la llama. Por ejemplo: se señalan las temperaturas de auto-ignición de: los siguientes materiales: Polietileno 350°C, Polipropileno 350°C, PVC 450°C, Poliestireno 490°C, Madera 260°C, Algodón 250°C.
- 4) Combustión: Es la continuación en el tiempo, con llama creciente.
- 5) Propagación: En la medida que aumenta la temperatura de los materiales próximos a las primeras llamas, superando su temperatura de auto-ignición, el incendio se propaga.

En los plásticos existen diversas organizaciones que han normalizado de acuerdo al tipo de material y aplicación.



Fuente: <http://ecoplas.org.ar/pdf/1.pdf>

#### Ejercicio Sugerencia para contenido 3.2.11 a 3.2.16



Investigación

- Buscar definiciones de las propiedades térmicas de los materiales plásticos.
- Relacionar la pirámide de termoresistencia con el uso de materiales plásticos.

#### Propiedades Eléctricas

Los polímeros generalmente no disponen de electrones libres se consideran con buen comportamiento como aislantes, son materiales no conductores de la electricidad. Las propiedades como la resistencia superficial y rigidez dieléctrica son claves para materiales aislantes. Para aumentar la conductividad de los plásticos se añaden aditivos y cargas específicas. El tipo de aditivo que se añade al plástico puede ser tal que los pueden convertir en materiales “superconductores”.

Estas propiedades, describen el comportamiento eléctrico del material plástico que permite el flujo de corriente eléctrica a través de él.

Fuente: <http://www.ensinger.es/es/informacion-tecnica/propiedades-tecnicas-de-los-plasticos/propiedades-electricas/>  
[http://ruc.udc.es/dspace/bitstream/2183/9641/1/CC\\_32\\_art\\_3.pdf](http://ruc.udc.es/dspace/bitstream/2183/9641/1/CC_32_art_3.pdf)

### 3.2.17 Resistividad Eléctrica

La oposición que presentan los materiales al paso de la corriente eléctrica o la resistividad volumétrica es conocida la resistencia eléctrica específica de un material al paso de corriente eléctrica a través de él, o simplemente resistencia eléctrica. La unidad de medida utilizada es el Ohm.

Los valores de la resistividad volumétrica siguen la ley de Ohm: son independientes del voltaje aplicado. En el caso de los plásticos, la resistividad volumétrica depende de la longitud y la sección del material ensayado.



Fuente: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.mx/2011/06/propiedades-electricas.html>

### 3.2.18 Constante y resistencia dieléctrica

La característica de los materiales de poder almacenar la energía electrostática dentro de ellos y la oposición al paso de la corriente eléctrica.

La rigidez dieléctrica es el máximo gradiente de potencial que un material aislante puede resistir sin rotura. Usualmente es expresado en voltios por mil, siendo esta unidad un milésimo de pulgada, o en kV/mm o afines. En corriente alternada depende de los ciclos.

Constante dieléctrica, es una medida de deformación interna o almacenamiento de energía que ocurre cuando un campo eléctrico es aplicado a un no conductor.

En los plásticos se requieren valores bajos en el uso de circuitos electrónicos y eléctricos. Los polímeros hidrocarbónicos, polietileno, poliestireno, polipropileno muestran altos valores.



Fuente: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.mx/2011/06/propiedades-electricas.html>

### 3.2.19 Resistencia al Arco

El arco eléctrico es un fenómeno producido tras una descarga que tiene lugar cuando la tensión eléctrica presente entre dos puntos supera el límite de rigidez dieléctrica

del gas interpuesto; si existen las condiciones oportunas, se forma un plasma que conduce la corriente eléctrica hasta que interviene la protección aguas arriba.

La característica que tienen los materiales al tiempo que tardan en soportar la acción de un alto voltaje sobre su superficie, hasta antes de su fractura física.

En los materiales plásticos medir esta propiedad, nos ayuda a saber que plásticos aguantan cargas altas de electricidad.

Fuente: <http://www.voltimum.es/articulo/arco-electrico>  
[http://ruc.udc.es/dspace/bitstream/2183/9641/1/CC\\_32\\_art\\_3.pdf](http://ruc.udc.es/dspace/bitstream/2183/9641/1/CC_32_art_3.pdf)

Polímero	Resistividad en volumen ( $\Omega\text{m}$ )	Rigidez dieléctrica (kV/cm)	Constante dieléctrica ( $\epsilon$ )		Factor de potencia ( $\cos \phi$ )	
			60 Hz	10 <sup>6</sup> Hz	60 Hz	10 <sup>6</sup> Hz
P.T.F.E.	> 10 <sup>20</sup>	180	2,1	2,1	< 0,0003	< 0,0003
Polietileno (LD)	10 <sup>20</sup>	180	2,3	2,3	< 0,0003	< 0,0003
Poliestireno	10 <sup>20</sup>	240	2,5	2,55	< 0,0003	< 0,0003
Polipropileno	> 10 <sup>19</sup>	320	0,15	2,15	0,0008	0,0004
P.M.M.A.	10 <sup>16</sup>	140	3,7	3,0	0,06	0,02
P.V.C.	10 <sup>17</sup>	240	3,2	2,9	0,013	0,016
P.V.C. (plastificado)	10 <sup>15</sup>	280	6,9	3,6	0,082	0,089
Nylon 66 *	10 <sup>15</sup>	145	4,0	3,4	0,014	0,04
Policarbonato	10 <sup>18</sup>	160	3,17	2,96	0,0009	0,01
Fenólicas	10 <sup>13</sup>	100	5,0-9,0	5,0	0,08	0,04
Urea-formaldehído	10 <sup>14</sup>	120	4,0	4,5	0,04	0,03

\* Contenido de agua, 0.2%

Fig. Propiedades eléctricas de algunos materiales plásticos

Fuente: [http://ruc.udc.es/dspace/bitstream/2183/9641/1/CC\\_32\\_art\\_3.pdf](http://ruc.udc.es/dspace/bitstream/2183/9641/1/CC_32_art_3.pdf)

### Ejercicio Sugerencia para contenido 3.2.17 a 3.2.19



Investigación

- Buscar definiciones de las propiedades eléctricas de los materiales plásticos.
- Relacionar estas propiedades con las aplicaciones de materiales plásticos.

### Propiedades Ópticas

Son las características específicas de los materiales plásticos al comportamiento de la luz a través de ellos. La mayoría de los polímeros son transparentes e incoloros, por lo que se utilizan como recubrimientos y en envasados que requieran transparencia. El poliestireno y polimetilmetacrilato destacan por su claridad óptica incluso mucho superior a la de muchos vidrios inorgánicos, de ahí sus aplicaciones como ventanas de las cabinas de aviones, lentes, fibras ópticas, etc.

Otros polímeros son translúcidos y blanquecinos como los polietilenos aunque en filmes son transparentes y algunos como las resinas fenólicas y las poliamidas, tienen color amarillento y son translúcidos u opacos. Las propiedades ópticas están relacionadas con la estructura química y la morfología de material.

En los plásticos sólidos es un caso complejo que involucra diferentes características como índice de refracción, transparencia, brillo, opacidad e índice de amarillamiento.

Fuente: [http://ruc.udc.es/dspace/bitstream/2183/9641/1/CC\\_32\\_art\\_3.pdf](http://ruc.udc.es/dspace/bitstream/2183/9641/1/CC_32_art_3.pdf)  
[http://es.wikiversity.org/wiki/Relación\\_entre\\_la\\_estructura\\_y\\_las\\_propiedades\\_ópticas](http://es.wikiversity.org/wiki/Relación_entre_la_estructura_y_las_propiedades_ópticas)  
<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.mx/2011/06/propiedades-opticas.html>

### 3.2.20 Índice de refracción

Otro fenómeno que se produce al transmitirse la luz es la refracción, la cual consiste en un cambio de velocidad de la luz al pasar de un medio a otro; éste puede ser aire - agua - aire o aire - vidrio - aire. Por ejemplo, si se mete un popote a un vaso con agua, se observa que el popote, aparentemente, se dobla. Esto se debe a que la luz pasa de una sustancia menos densa a otra más densa.

El índice de refracción en los materiales plásticos es la propiedad que tiene el material de desviar la luz cuando ésta pasa a través de él. En los materiales plásticos esto depende de la estructura química y de su pureza.

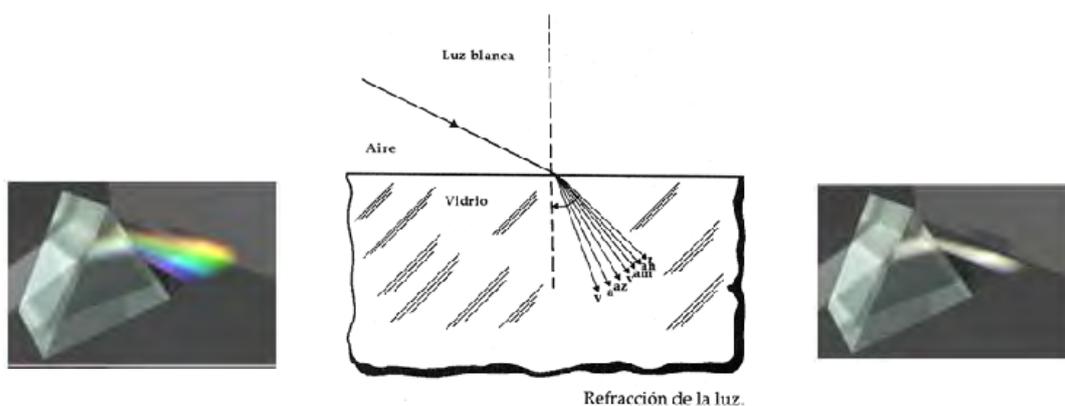


Fig. Refracción de la luz

Fuente: [http://www.pps.k12.or.us/district/depts/edmedia/videoteca/curso3/htmlb/SEC\\_71.HTM](http://www.pps.k12.or.us/district/depts/edmedia/videoteca/curso3/htmlb/SEC_71.HTM)

### 3.2.21 Transmitancia

La transmitancia se define como la cantidad de energía que atraviesa un cuerpo en una determinada cantidad de tiempo. Existen varios tipos de transmitancia, dependiendo de qué tipo de energía consideremos. La transmitancia óptica se refiere a la cantidad de luz que atraviesa un cuerpo, en una determinada longitud de onda. Cuando un haz de luz incide sobre un cuerpo translúcido, una parte de esa luz es absorbida por el

mismo, y otra fracción de ese haz de luz atravesará el cuerpo, según su transmitancia.

En los materiales plásticos se considera la propiedad que presentan éstos al permitir el paso de la luz a través de ellos, lo anterior nos ayuda a identificar los materiales adecuados para aplicaciones específicas donde se requiere de buena a excelente transmitancia de luz.



Fig. Aplicaciones productos (transmitancia)

Fuente: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.mx/2011/06/propiedades-opticas.html>

### 3.2.22 Densidad óptica

La densidad óptica es el grado de opacidad de cualquier medio translúcido, algunas veces expresadas como el logaritmo de la opacidad.

La opacidad de un material es la inhabilidad de transmitir luz, teniendo una transmitancia de luz de cero (0). Con materiales en capa fina, la opacidad depende del espesor (aunque normalmente opaco, el oro, laminado lo suficientemente fino, transmite algo de luz).

Fuente: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.mx/2011/06/propiedades-opticas.html>

Tabla. Índice de refracción de materiales

Material	Índice de refracción
En el vacío	1.0
En el medio ambiente	1.0003
En el agua	1.33
Etanol	1.36
Vidrio de cuarzo	1.45
Polimetilmetacrilato	1.4893
Cristal	1.59
Poliestireno	1.59-1.592
Poliétileno-tereftalato	1.576

Revisado por la Federación de la Industria de Plásticos de Japón; "Entender bien los plásticos" (2010) p35.

Editorial *Nippon Jitsugyo Publishing*

### Ejercicio Sugerencia para contenido 3.2.20 a 3.2.22



- Buscar definiciones e información de las propiedades ópticas de los materiales plásticos.
- Relacionar estas propiedades con las aplicaciones de materiales plásticos.

### Propiedades Químicas

Como se habló en el punto 3.1, las propiedades químicas este Son características que se manifiestan cuando hay cambios dentro de su estructura molecular a consecuencia de una reacción química, algunas características que se presentan son las siguientes:

#### 3.2.23 Resistencia a productos químicos

- Las propiedades de resistencia a los fármacos y al deterioro químico tienen una relación íntima con los enlaces químicos.
- El parámetro de solubilidad, que es un parámetro para mostrar la afinidad con los plásticos, es calculado con base en los valores de propiedades mecánicas.
- Los polímeros que tienen estructuras de cadenas, cuentan con masa molecular grande. Cuanto más largas sean las cadenas moleculares, es más grande la fuerza de atracción entre las moléculas, aumentando la resistencia a las sustancias químicas.
- Cuando hay un átomo que no sea carbono en las cadenas moleculares, se presenta cierta debilidad hacia el álcali y el ácido.
- Cuando sean más cristalinos y tengan secuencias moleculares ordenadas, es más alta la resistencia a las sustancias químicas.
- Los plásticos amorfos tienen débiles restricciones entre moléculas, consecuentemente son fáciles de disolver en las sustancias químicas. El poliestireno y la resina acrílica son fáciles de disolver en thíner.

Los termofijos tienen estructura tridimensional de enlaces sólidos, por lo que aunque se extiende la distancia entre moléculas, no se destruyen las moléculas de polímeros.

Consecuentemente no son solubles en sustancias químicas.

Hay plásticos que usaran en ambientes químicos o para transportarlos.

Fuente: <http://www.ensinger.es/es/informacion-tecnica/propiedades-tecnicas-de-los-plasticos/otras-propiedades/resistencia-quimica>

## Resistencia química de los plásticos de uso general (Solventes orgánicos)

Solventes	PVC※1	PVC※2	PS	ABS	PE	PP
Acetona	×	×	×	×	△	△
Benceno	×	×	×	△	△	△
Tetraclorometano	×	×	×	×	×	△
Cloroformo	×	×	×	×	×	×
Cresol	⊙	△		×	○	○
Dietiléter	△	×		×	×	△
Alcohol etílico	○	×		△	○	○
Tetrahidrofurano	×	×	×	×	×	△
Tolueno	×	×		×	△	△
Xileno	×	×	×	×	○	△
Tricloroetileno	×	×	×	×	△	△
Gasolina	○	×		△	○	○
Aceite	○	△		⊙	△	○

### 8. (1) Resistencia química de los plásticos

#### Resistencia química de los plásticos de ingeniería (ácido y álcali)

Solventes	PA	POM	PMMA	PC	PTFE	
10% ácido hidríclórico	○		○	⊙	⊙	
38% ácido hidríclórico	×		○	△	⊙	
10% ácido sulfúrico	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	
98% ácido sulfúrico	×	×	×	×	⊙	
10% ácido nítrico	△	△	△	⊙	⊙	
61% ácido nítrico	×	×	×	×	⊙	
Hidróxido de sodio	⊙	⊙	○	△	⊙	
Hidróxido de potasio	○	○	△	×	⊙	

Ohishi, "Durabilidad de los plásticos", Kogyo Chosakai Publishing Co., Ltd. P 107, 1975

⊙: Casi no se presenta la reacción.

○: Hay un poco de reacción pero es posible utilizar en la aplicación práctica dependiendo de su condición.

△: No es conveniente utilizar en la aplicación práctica.

×: No es apto para utilizar.

Fig. Resistencia Química de materiales plásticos M2-8.

## Resistencia química de los plásticos de ingeniería (solventes orgánicos)

Solventes	PA	POM	PMMA	PC	PTFE	
Acetona	△	△	×	×	⊙	
Benceno	○	△	△	×	⊙	
Tetraclorometano	×	×	×	△	○	
Cloroformo	×	×	×	×	○	
Cresol	×		×	×	⊙	
Dietiléter	○			△	○	
Alcohol etílico	○		×	○	⊙	
Tetrahidrofurano	×	×	×	×	⊙	
Tolueno	○	○	△	×	○	
Xileno	○	○	△	×	⊙	
Tricloroetileno	×	×	×	×	⊙	
Gasolina	○	⊙	△	○	⊙	
Aceite	○	⊙	△	⊙	⊙	

Ohishi, "Durabilidad de los plásticos", Kogyo Chosakai Publishing Co., Ltd. P 107, 1975

⊙: Casi no se presenta la reacción.

○: Hay un poco de reacción pero es posible utilizar en la aplicación práctica dependiendo de su condición.

△: No es conveniente utilizar en la aplicación práctica.

×: No es apto para utilizar.

Fig. Resistencia Química de materiales plásticos M2-8.

### 3.2.24 Intemperismo

Los factores atmosféricos como la radiación solar, temperatura ambiente, las precipitaciones, el oxígeno del aire, humedad, etc., provocan fenómenos de degradación o envejecimiento en los materiales plásticos.

Las condiciones medioambientales en general influyen las propiedades de los plásticos, pero en particular la radiación UV tiene un impacto especialmente negativo en las propiedades ópticas y mecánicas.

Cambios ópticos:

- Los plásticos se amarillean.
- Lixiviación de plásticos tintados.
- Decoloración y agrietamiento de la superficie de los plásticos.



Cambios en las propiedades mecánicas:

- Fragilidad del material.
- Disminución de la resistencia mecánica, elasticidad y dureza.
- Agrietamiento del material.
- Añadir aditivos para pigmentar en negro los plásticos es una buena manera para protegerlos contra la radiación UV. Los fluoropolímeros, PTFE y PVDF, presentan una resistencia intrínseca a la radiación UV.



Fuente: <http://www.ensinger.es/es/informacion-tecnica/propiedades-tecnicas-de-los-plasticos/otras-propiedades/comportamiento-a-la-intemperie/>

### Ejercicio Sugerencia para contenido 3.2.23 a 3.2.24



- usar definiciones e información de las propiedades químicas de los materiales plásticos.
- Relacionar estas propiedades con las aplicaciones de materiales plásticos.

Todos los polímeros plásticos manifiestan las propiedades químicas y físicas, pero como al inicio se comentó... una analogía para entender las propiedades en los plásticos es considerar a un material como una persona, es decir, cada material manifestará un comportamiento similar o muy diferente a otro, tendrá las características necesarias para ser usado en aplicaciones muy específicas gracias a las propiedades que le permitirá funcionar en condiciones relacionadas con temperatura, medio ambiente, fuerza, etc.

Conocer las propiedades de los materiales, permitirá que los alumnos del BTTP más adelante puedan estudiar e interpretar de forma correcta las características que presenta en particular cada uno de los polímeros plásticos.

### Ejercicio Sugerencia para contenido 3.2



- Las diferentes propiedades de los polímeros plásticos.
- Comparar tomando en cuenta la clasificación de termoresistencia las propiedades que manifiestan.
- ¿Para qué nos ayuda conocer las propiedades del material?
- ¿Existe un materiales que sus propiedades físicas y químicas sean las mejores? y ¿Cuál es?

Observaciones: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

### 3.3 Modificación de propiedades

En este tema se hablara de la modificación de propiedades de los materiales plásticos, es importante que el alumno del BTTP entienda que no existe un material que cumpla satisfactoriamente con todas las propiedades físicas o químicas en determinado uso, es decir que un material que tiene excelentes propiedades mecánicas, puede carecer de propiedades térmicas o puede ser difícil de procesar o con poca resistencia química.

Por lo anterior el alumno deberá conocerque existe una posibilidad de modificar y mejorar las propiedades o características de un material a través de la preparación de compuestos para moldeo.

Para entender la preparación de compuestos, explicaremos que la transformación de los plásticos abarca los mismos procesos que se emplean en la obtención del polímero fabricado en la planta de polimerización yque es utilizado para productos finales.

Estos procesos están divididos principalmente en tres áreas:

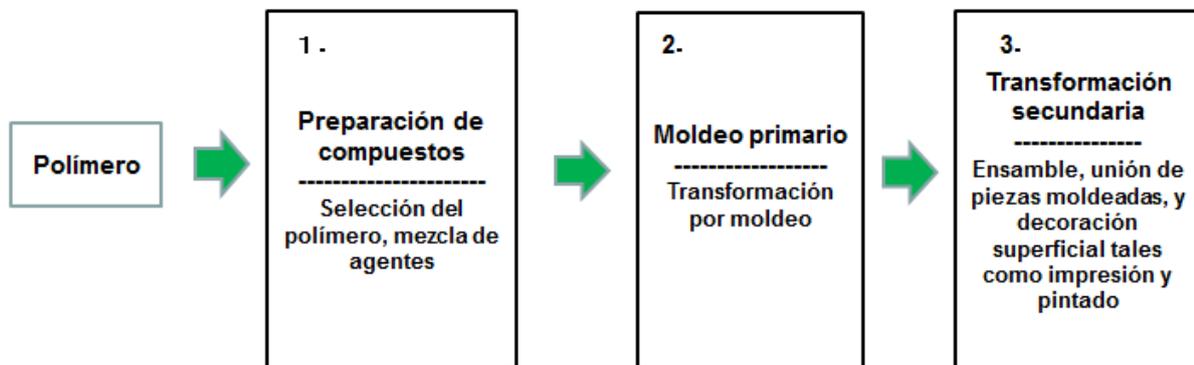


Fig. Área de transformación de plásticos M1-1.

Durante el desarrollo del BTTP se hablara de estas tres áreas, pero es razón principal del módulo I del BTTP que es denominado “Prepara compuestos para moldeo” que se apega completamente a el área 1de las tres que se acaban de mencionar.

#### Preparación de compuestos

El proceso en que se mezclan agentes al polímero antes de moldear los productos plásticos, es denominado “preparación de compuestos o *compounding*”.Esta mezcla se denomina “material para moldeo de plásticos”, los ingredientes para los compuestos son: aditivos, colorantes, llenadores entre otros, y **sirven para mejorar diferentes cualidades y propiedades.**

Los aditivos permiten aumentar el manejo, mejorar las propiedades de la superficie, alargar la vida útil del producto moldeado. Algunos llenadores sirven como agentes reforzantes para aumentar la resistencia y la rigidez del plástico. También sirven para mejorar las propiedades dimensionales.

Hay que prepararlos hasta obtener características y dimensiones manejables para la máquina de moldeo. También hay que seleccionar las formas apropiadas para la máquina ya sea pellets, lentejas o polvos.

Para entender porque se dice que para obtener los polímeros se realiza también una preparación de materiales, se describe la siguiente imagen:

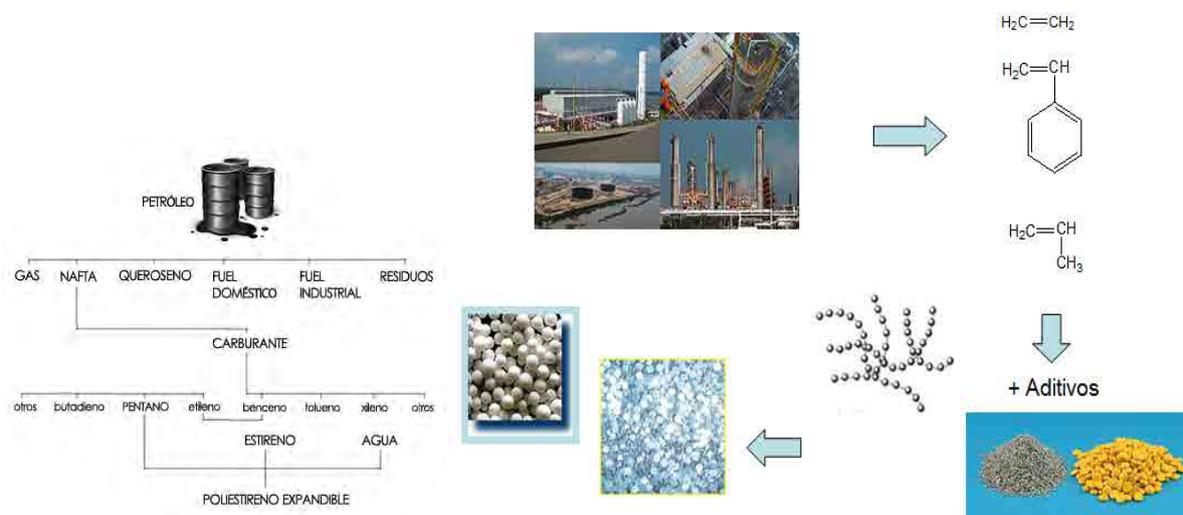


Fig. Obtención de Polímero Plástico (pellet).

Existen grandes empresas del sector químico o petroquímico a nivel mundial que cuentan con la infraestructura necesaria para obtener los elementos o reactivos necesarios para llevar a cabo las reacciones de polimerización de materiales plásticos a grandes volúmenes, en el proceso de obtención es necesario agregar al mismo proceso aditivos que permitan modificar la base del polímero y así mejorar sus propiedades y de esa forma se obtiene el mismo polímero base con diferentes características.

### Ejercicio Sugerencia para contenido 3.3



Actividad individual

- Buscar empresas que fabrican polímeros.
- Buscar polímeros plásticos con diferente grado o presentación y buscar sus diferencias.
- Realizar un reporte de que propiedades cambian con los diferentes grados o presentaciones de un mismo material.

### 3.3.1 Aditivos

Como se ha comentado al inicio del tema, el uso de los aditivos se ha determinado por diferentes razones entre las que se encuentran las siguientes:

- El plástico tiene muchas aplicaciones y las funciones requeridas varían dependiendo del uso o según la pieza.
- Se ha desarrollado una gran variedad de plásticos, pero en muchos casos no es posible satisfacer fácilmente la gran diversidad de usos. Por consiguiente, se está llevando a cabo el mejoramiento de las propiedades de los plásticos.
- Mezclando en los polímeros básicos los materiales de refuerzo y de relleno y los aditivos, se obtienen compuestos de moldeo capaces de:
  - 1) Prevenir el deterioro de propiedades por calor o luz;
  - 2) Mejorar las propiedades requeridas;
  - 3) Mejorar lamoldeabilidad.
- Los componentes son importantes para optimizar tanto la selección de materiales como la técnica de moldeo.

¿Que son los aditivos?

Son las sustancias que se agregan a otras para aumentar o mejorar sus cualidades, físicas, mecánicas y de proceso.

¿Que son los aditivos para plásticos?

Se consideran aditivos para plástico a todos aquellos materiales que van dispersos físicamente en una matriz polimérica, sin afectar su estructura molecular.

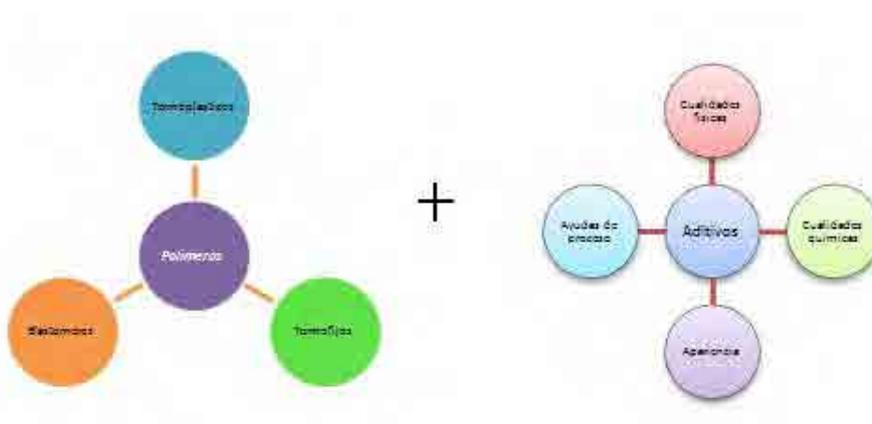


Fig. Polímeros + Aditivo.

El término aditivo se usa para describir aquellos materiales que se han dispersado en una matriz polimérica sin afectar significativamente la estructura molecular del polímero. Los agentes entrecruzantes y los catalizadores de termofijos normalmente se excluyen de esta clasificación.

Los aditivos presentan ciertas características que se toan en cuenta para su uso, estas características son las siguientes:

Compatibilidad y Movilidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Efectividad en el propósito requerido</li> <li>• Economía</li> <li>• Su desempeño determina su elección</li> <li>• Interacción molecular</li> </ul>
Migración y consumo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No volatilizarse</li> <li>• No exudar</li> <li>• Buenas propiedades</li> </ul>
Efectos Adversos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Una mejora pude deteriorar otra propiedad</li> <li>• Antiestética</li> <li>• Contaminación de líquidos</li> <li>• Vehículo de migración</li> <li>• Falla dieléctricas</li> <li>• Fallas mecánicas</li> </ul>

Fig. Características de selección de aditivos.

Los aditivos pueden clasificarse en orgánicos y sintéticos. Por su presentación pueden dividirse en líquidos, polvos y masterbash.



Fig. Ejemplo de presentación de aditivos

Los aditivos se clasifican según su función y no por su estructura química, y principalmente algunos de ellos son:

- 1.- Plastificantes. 2.- Estabilizadores. 3.- Agentes antiestáticos
- 4.- Agentes de acoplamiento. 5.- Retardantes de flama. 6.- Agentes espumantes.
- 7.- Lubricantes. 8.- Rellenos (cargas). 9.- Reforzantes.
- 10.- Colorantes.

### Ejercicio Sugerencia para contenido 3.3.1



Trabajo  
En equipo

- Buscar las características de los anteriores aditivos.
- Comentar los beneficios de los aditivos en los productos.
- Promover debate si los aditivos son buenos para el ser humano.

#### 3.3.1.1 Plastificantes

Substancias de baja volatilidad que incrementan el flujo de los materiales plásticos, además de disminuir la temperatura de transición vítrea y de fundido.

Los plastificadores para plásticos son aditivos, casi siempre ftalatos que dan a plásticos duros como el PVC la flexibilidad y durabilidad deseadas. Suelen estar basados en ésteres de ácidos poli-carboxílicos con alcoholes alifáticos lineales o ramificados de cadena moderadamente larga. Los plastificadores trabajan incrustándose entre las cadenas de polímeros espaciándolas (incrementando el "volumen libre"), descendiendo así de forma significativa la temperatura de transición vítrea para el plástico haciéndolo más suave. Algunos plastificadores se evaporan y tienden a concentrarse en un espacio cerrado; el "olor a coche nuevo" suele estar causado por plastificadores que se evaporan del interior del coche.

- Se emplean principalmente para polímeros que son vítreos a temperatura ambiente.
- Sus moléculas interactúan fuertemente entre las cadenas del polímero y vuelven flexibles.
- Bajan las regiones de transición a temperaturas menores.
- Siendo compatible con el polímero principal, funciona para mejorar su moldeo y otorga flexibilidad al producto moldeado. Variando la dosis del aditivo, se puede regular el nivel de dureza.
- Se demandan buena miscibilidad, baja volatilidad. estabilidad frente a la luz y al calor, flexibilidad en baja temperatura, anti-lixiviación, resistencia a la migración, entre otras cosas.
- Se utiliza más frecuentemente para el Policloruro de vinilo y de vinilideno. No es necesario agregarlo para el polietileno.



Foto. Ejemplo uso de plastificante en PVCLámina de plástico para uso agrícola, salvavidas

Fuentes: Presentación expertos japoneses M1-2.4

Tecnología de Polímeros. M. Beltrán y A. Marcilla

<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.mx/2011/02/aditivos-y-rellenos-para-polimeros.html>

### Ejercicio Sugerencia para contenido 3.3.1.1



- Buscar tablas y características de los plastificantes.
- Comentar los beneficios de los aditivos y uso en que productos.

### 3.3.1.2 Estabilizadores de proceso

Estos aditivos ayudan a inhibir o retardar el mecanismo de oxidación, degradación de los polímeros, que se produce durante su fabricación o transformación.

La forma de deterioro entre el Policloruro de vinilo y otros plásticos es diferente, por lo que los aditivos estabilizadores que se usan son distintos.

1. En el caso del Policloruro de vinilo, al ser calentado bajo la presencia del oxígeno o al recibir radiación ultravioleta, suelta el cloruro de hidrógeno, y tras la reacción de descomposición se colorea.

A fin de complementar o neutralizar el cloruro de hidrógeno soltado, se debe sin falta agregar el agente estabilizador al momento de su elaboración. Se añade el antioxidante al mismo tiempo.

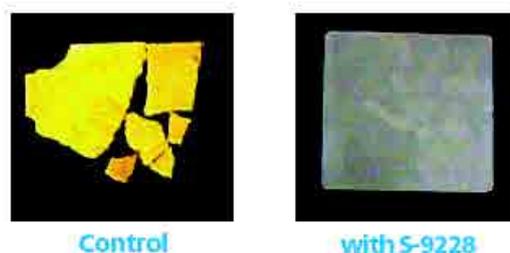


Foto. Ejemplo degradación y amarillamiento de un material

Los estabilizantes ejercen una acción retardante sobre el proceso de degradación. Un buen estabilizante debe ser capaz de controlar los procesos que tienen lugar durante la descomposición de los polímeros, deben tener buena compatibilidad con el polímero, efectividad a bajas concentraciones, no afectar a otras propiedades de la formulación, bajo coste, y en ocasiones, estar exentos de color, olor y toxicidad.

En general, se supone que los antioxidantes interrumpen las reacciones de degradación combinándose con los radicales libres o con los peróxidos formados, dando lugar a especies no reactivas. Muchos de los antioxidantes (también conocidos como estabilizantes primarios) son fenoles estéricamente impedidos o aminas aromáticas.

Los estabilizantes ultravioleta generalmente se utilizan junto con los antioxidantes. La energía de la radiación UV que alcanza la superficie de la tierra puede ser lo suficientemente elevada para producir la rotura de los enlaces covalentes en los polímeros, con el amarilleo de su superficie y la consiguiente pérdida de propiedades. Estos estabilizantes absorben energía a una longitud de onda que resultaría perjudicial para los polímeros y la reemiten a una longitud de onda diferente. Se utilizan las 4-alcóxibenzofenonas, benzotriazoles, acrilonitrilo sustituidos, entre otros.

Los estabilizantes térmicos generalmente se emplean con polímeros halogenados. Dentro de las sustancias que pueden actuar como estabilizantes están los carboxilatos metálicos de Cd y Zn y de otros metales como Pb, Ba, Sn.

Durante el proceso de polimerización se emplean catalizadores metálicos, que pueden dejar rastros en el polímero producido. Los iones más activos son los de: Fe, Co, Ni, Mn, Ti, V, Cu. Por esa razón desde ese momento se le agregan aditivos como estearato de calcio o de zinc.

Se busca que este tipo de aditivos cumpla con las siguientes características:

- Alta efectividad
- Incoloros
- No tóxicos
- No volátiles
- Estabilidad
- Bajo costo

Fuentes: Presentación expertos japoneses M1-2.4

Tecnología de Polímeros. M. Beltrán y A. Marcilla

<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.mx/2011/02/aditivos-y-rellenos-para-polimeros.html>

### Ejercicio Sugerencia para contenido 3.3.1.2



Trabajo  
En equipo

- Buscar propiedades y características de los estabilizantes.
- Investigar cómo actúan.

### 3.3.1.3 Agentes antiestáticos

Inhibe la electrización. Muchos plásticos son propensos a cargarse con electricidad estática. Como agente antiestático, se utiliza el surfactante que inhibe este fenómeno de electrización. Al aplicarse el agente antiestático en la superficie del plástico, se forman capas continuas y se incrementa la conductividad eléctrica en la superficie, permitiendo una rápida descarga de la electricidad estática, lo cual previene la acumulación eléctrica.

Debido a este fenómeno de electrización, se adhieren partículas de basura o polvo a los productos de plástico y los ensucia.

Los agentes antiestáticos, se utilizan para reducir la acumulación de cargas electrostáticas en la superficie de los plásticos debido a su inherente mala conductividad eléctrica. Atraen la humedad para aumentar la conductividad superficial y así se reduce la posibilidad de que se produzca una chispa o descarga.

Los agentes antiestáticos internos son de diferentes polaridades:

- A. Los compuestos catiónicos trabajan mejor en polímeros polares, por ejemplo: PVC y ABS, pero pueden afectar la estabilidad térmica del polímero. No son grado FDA, pueden ser sales cuaternarias de amonio, fosfonio o sulfonio a menudo unidas a un radical alquilo de cadena larga. Se utiliza entre 1 y 2%.
- B. Los compuestos no iónicos son de baja polaridad y son ideales para poliolefinas, son grado FDA y comprenden: ésteres de ácidos grasos, etanol-amidas, aminas etoxiladas, compuestos de glicerol. Se pueden aplicar entre el 0,05 y el 2,5%. Los agentes antiestáticos internos se añaden al polímero antes o durante el proceso de moldeo. El agente se disuelve en el polímero fundido y a medida que éste se enfría reduce su afinidad por el polímero y aflora a la superficie de manera que los grupos iónicos o higroscópicos de la molécula activa puedan dirigirse a la atmósfera. En caso de pérdida del aditivo por exposición a solventes o fricción la porción del agente antiestático que está en el interior migrará para restablecer las propiedades antiestáticas.

El paso más difícil en la creación de un acabado antiestático en los productos plásticos de ingeniería es para que una película de agente antiestático mezclado con la resina, migre a la superficie durante el proceso de moldeo.

A través de la investigación detallada de la solubilidad de los agentes antiestáticos en resina, KAO ha desarrollado un agente anti-estático de acción rápida que migra a la superficie alrededor de una hora después del moldeo. Esto ha llevado a la dramática reducción de los costos al eliminar el tiempo de envejecimiento entre el moldeo y la entrega.



Foto. Los efectos de agentes antiestáticos en productos plásticos (ejemplo de resultados de prueba en cámara sucia)

Fuente: Presentación expertos japoneses M1-2.4

[http://biblioteca.sena.edu.co/exlibris/aleph/u21\\_1/alephe/www\\_f\\_spa/icon/45896/Informador65/htmls/aditivos.html](http://biblioteca.sena.edu.co/exlibris/aleph/u21_1/alephe/www_f_spa/icon/45896/Informador65/htmls/aditivos.html)

Askeland, D.R (2001). Ciencia e Ingeniería de los materiales. Ed. Thomson-Paraninfo.

Mangonon, P.L (2001). Ciencia de materiales: selección y diseño. Ed. Pearson Educación.

### Ejercicio Sugerencia para contenido 3.3.1.3



Trabajo  
En equipo

- Buscar propiedades y características de los antiestáticos.
- Comentar los el funcionamiento y sus aplicaciones.

### 3.3.1.4 Agentes de acoplamiento

Los agentes de acoplamiento mejoran la adhesión del plástico a los materiales de relleno inorgánicos, como las fibras de vidrio. Para ello se utilizan silanos y titanatos.

Cuando se utiliza en polímeros, titanatos pueden aumentar la adherencia, mejorar la resistencia al impacto y propiedades mecánicas; Reducir la fragilidad; permitir mayores cargas de relleno, la dispersión de partículas Optimizar; Aumentar el flujo de polímeros con y sin carga a temperaturas de proceso más bajas; prevenir la separación de fases , y puede tener otros efectos .

Reactividad de protones permite el acoplamiento a casi todos los sustratos inorgánicos y orgánicos tales como CaCO<sub>3</sub>, carbonatos, negro de humo, grafito, minerales, nano-partículas, sílices, silicatos, metales, óxidos metálicos, peróxidos, hidratos, acetatos, boratos, sulfatos, nitratos, nitraminas, aramida, pigmentos orgánicos, materiales celulósicos, azufre, azodicarbonamida, polímeros, etc.

Fuente: Presentación expertos japoneses M1-2.4

<http://www.capatue.com/english/index.asp> (Nanjing Capatue Chemical Co., Ltd.)

### **3.3.1.5 Agentes pirotardantes o retardante a la flama**

Algunas de las principales características que se toman en cuenta para la aplicación de estos aditivos son las siguientes:

- Se les exige la propiedad pirotardantes a los plásticos empleados en los aislantes eléctricos, los materiales de construcción y los vehículos.
- Los pirotardantes de tipo aditivo se dividen en los grupos de halógeno (bromo, cloro) y de fósforo.
- Los compuestos halógenos impiden el suministro de aire, mientras que los compuestos de éster fosfatado bajan la temperatura de combustión, consecuentemente elevan la propiedad pirotardante.
- El trióxido de antimonio empleado al mismo tiempo se gasifica impidiendo el contacto con el aire, y eleva así la propiedad pirotardante.

Los retardantes de flama reducen la inflamabilidad de los plásticos. Aíslan el plástico, crean una reacción endotérmica enfriadora, recubren el plástico para eliminar el oxígeno o influyen negativamente sobre la combustión. Pueden ser inorgánicos (Alúmina trihidratada, óxido de antimonio o borato de zinc) u orgánicos (ésteres fosfóricos y compuestos halogenados). El más utilizado es la ATH y es muy eficaz en termofijos y en ciertos termoplásticos.

Los éteres bifenílicos poli-bromados, PBDE, y otros compuestos bromados se hallan entre los más efectivos y económicos retardantes de flama, especialmente aquellos que se emplean como aditivos en las formulaciones de plásticos. A mediados de los años 1990, los compuestos bromados representaban hasta 25% de la producción mundial de retardantes de flama, estimada en 600,000 toneladas anuales.

Los PBDE se utilizan mucho en circuitos electrónicos impresos y en corazas de plástico para computadoras, televisores y otros equipos electrónicos. También se encuentran en ropa y equipo de protección contra fuego, y en telas tratadas para

diversos usos, en aparatos electrodomésticos y en artículos de oficina, en interiores automotrices, en alfombras y en recubrimientos arquitectónicos. Se cree que los PBDE se liberan gradualmente al ambiente a lo largo del ciclo de vida de la mayoría de estos productos



Foto. Ejemplo de aplicación de aditivo con retardante de flama.(<http://www.proseguridad.com.ve/>)

Fuente: Presentación expertos japoneses M1-2.4  
<http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/438/cap4.html>

### 3.3.1.6 Agentes espumantes

Se agrega para obtener resinas ligeras con alta resistencia térmica, mezclándolo con el polímero antes del moldeo, para que se generen espumas por el calentamiento o aplicándolo a presión durante el moldeo para que se forme estructura esponjosa o celular en el producto.

Tenemos el espumante del grupo inorgánico que genera espumas continuas (el propósito principal: absorción de impactos, aislamiento acústico y peso ligero), y el del grupo orgánico que produce espumas independientes (el propósito principal: aislamiento térmico).

Los agentes espumantes usados en la producción de plásticos celulares se dividen en físicos y químicos, de acuerdo a si el gas se genera por un proceso físico (evaporación, sublimación) o por proceso químico (rotura de la estructura química o por otras reacciones químicas).

En ambos casos la evaporación o descomposición del agente espumante debe producirse durante el procesado, una vez que el polímero se encuentra fundido en el interior del molde. Los agentes espumantes físicos son normalmente líquidos de bajo punto de ebullición, que son solubles en la matriz polimérica. Ejercen su acción

cuando se llevan a las condiciones de evaporación al incrementar la temperatura y/o reducir de la presión del sistema. Son, por ejemplo, pentano, heptano, cloruro de metileno, etc.

Los agentes espumantes químicos son sustancias químicas, compatibles o finamente dispersas en el polímero, se descomponen a la velocidad requerida en un intervalo estrecho de temperatura. Los más importantes comercialmente son: azodicarbonamidas, benceno-sulfonil hidracina, azobisbutironitrilo, etc.

### Proceso de formación de espuma (formación primaria)

- Al aplicarse vapor a la materia prima en pequeñas perlas, se ablanda la resina de poliestireno y las perlas comienzan a expandirse debido a la acción del aditivo espumante incorporado en la materia prima.
- Las perlas contienen el aditivo espumante a fin de aumentar su volumen 50 veces más. El aditivo espumante es producto de hidrocarburo como butano, pentano, etc.



Imagen. Proceso de formación de espuma PS, M1-2.4

### Proceso de moldeo

Se llena el molde con las perlas expandidas en formación primaria y se vuelve a aplicar vapor. Las perlas expandidas una vez más se expanden por el calor, obteniéndose un producto moldeado con la forma del molde.

Fuente: Presentación expertos japoneses M1-2.4  
Tecnología de Polímeros. M. Beltrán y A. Marcilla

#### 3.3.1.7 Lubricantes

El lubricante es una sustancia que introducida entre dos superficies móviles reduce la fricción entre ellas, facilitando el movimiento. Al moldear materiales ya sea en polvo, sólidos o pellets, el aditivo lubricante funciona para reducir la resistencia de fricción:

- Lubricación de la superficie entre los materiales de moldeo y las paredes interiores del cilindro de la máquina moldeadora (lubricación exterior)
- Reducción de la resistencia a la fricción entre los materiales de moldeo (lubricación interna)

Y mejorar la fluidez, la estabilidad térmica y el manejo de los polímeros fundidos. Además, se obtienen los siguientes resultados:

- Mejoramiento de la superficie del producto moldeado, y del antibloqueo de las películas.
- Efecto lubricante posterior al moldeo (exudación del lubricante a la superficie en el proceso de enfriamiento interior del molde, incrementando la propiedad desmoldante)

Como componente principal, se utilizan en forma combinada los grupos de hidrocarburos, ácidos grasos, amidas alifáticas, sales metálicas, etc. Para las vajillas y los envases de alimentos, se demanda baja toxicidad.

En la industria de transformación de plásticos es frecuente que en diferentes etapas del procesamiento del polímero aparezcan problemas como consecuencia de una fricción excesiva.

Se incorporan lubricantes para disminuir las fuerzas de rozamiento entre dos superficies, que en el caso de los plásticos se localizan entre el propio material y las existentes entre el fundido y las superficies metálicas de los equipos de transformación.

Los lubricantes evitan que los polímeros se peguen a la maquinaria de fabricación y procesamiento y que los objetos moldeados puedan extraerse del molde con facilidad y pueden disminuir la viscosidad. Una vez que se extraen los productos del molde, los lubricantes pueden exudar desde el plástico y evitar que los productos se adhieran entre sí, para proporcionar características antiadherentes y de deslizamiento a la superficie plástica.

Suelen ser productos específicos para cada polímero a transformar. Generalmente los lubricantes son sales sódicas del ácido esteárico, ceras, aceites, etc. Existe una enorme gama de marcas patentadas que se pueden utilizar en tan variados productos, y diversas condiciones de obtención.

## **A. Lubricantes internos.**

Lubricantes internos, los cuales lubrican los gránulos de polímero, y los de otros aditivos, durante el proceso de transformación. Esto permite una fusión más fácil y más fría, con un riesgo reducido de daño térmico. Estos materiales son, con frecuencia, por lo menos parcialmente miscibles con el polímero fundido. Idealmente, los lubricantes internos deben ser compatibles con el polímero sólo a altas temperaturas.

## **B. Lubricantes externos.**

Tienen como misión reducir y controlar la adhesión entre el polímero y las partes metálicas de los equipos de transformación.

Los lubricantes externos, que son esencialmente inmiscibles. Lubrican la mezcla para proteger la maquinaria que se usa en el proceso, de esta manera se logra el grado correcto de fricción para que se lleve a cabo el proceso y se evita el exceso de fricción que provocaría también una temperatura local demasiado alta y la degradación. Es muy importante tener la proporción correcta de lubricante en la preparación, ya que un exceso deteriora la mezcla y el proceso posterior.

Se emplean muchos lubricantes distintos como ingredientes en los plásticos. Como ejemplos, se pueden mencionar ceras, como ozoquerita, carnauba, parafina y ácido esteárico. Asimismo, se emplean como lubricantes jabones metálicos como estearatos metálicos de plomo, cadmio, bario, calcio y zinc.

Algunos plásticos presentan propiedades de anti pegajosidad y auto lubricantes. Entre los ejemplos se incluyen polifluorocarbonos, poliamidas, polietileno y plásticos de silicona. A veces, se utilizan como lubricantes en otros polímeros. No debe olvidarse que deben seleccionarse cuidadosamente los aditivos por sus posibles efectos tóxicos y según el servicio pretendido.

Fuente: Presentación expertos japoneses M1-2.4  
Tecnología de Polímeros. M. Beltrán y A. Marcilla

### **3.3.1.8 Agentes nucleantes**

Son aditivos que cumplen con diferentes funciones benéficas, sobre todo en los cristalinos, donde reducen el tiempo de ciclo e incrementan la claridad. Se conocen como "clarificantes". Efectos: se incrementa la cristalización y con ello es posible solidificar una pieza con mayor rapidez.

El tamaño de los cristales disminuye con lo que se alteran las cualidades ópticas y mecánicas. (Resistencia a la tensión, claridad, dureza)

El nucleante es un agente eficaz para formar núcleos de cristal y desarrollarlo. Al agregarse el nucleante en el momento del moldeo de polímeros cristalinos, se forman los núcleos del cristal durante el enfriamiento y se generan grandes cantidades de cristales esféricos uniformes, lo cual permite obtener productos homogéneos, aumentando la transparencia, resistencia a los golpes y estabilidad dimensional.

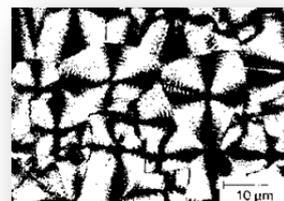


Foto. Cristal de PE

De esta manera, se impulsa el crecimiento del cristal.

Fuente: Presentación expertos japoneses M1-2.4

<http://www.plastico.com/temas/La-accion-de-los-agentes-nucleantes-en-el-polipropileno+3031684>

### 3.3.1.9 Polímeros modificadores, aleación polimérica

Los polímeros modificadores (polímeros de mezclado) son aditivos que se agregan con el fin de mejorar los defectos de los materiales plásticos, así como sus propiedades como la resistencia a los golpes y al solvente, la moldeabilidad, la termoresistencia, la propiedad tribológica, la contractibilidad, la propiedad piroretardante, la barrera de gas, entre otras.

Aleación polimérica: Es una mezcla de dos polímeros distintos. Se selecciona la manera de mezclar tomando en consideración las propiedades de los dos tipos de polímeros. Si la afinidad entre los dos es baja, se utiliza como intermediario un “aditivo compatibilizador” de alta afinidad con ambos (Copolímero en bloque).

Tabla. Propósito y aplicaciones de aleaciones poliméricas. M1-2.4

Polímero de base	Aditivo modificador	Propósitos	Aplicaciones
PPE	PS	Moldeabilidad	Chasis de artículos eléctricos
PPE	PA	Moldeabilidad, resistencia al solvente	Autopartes
PA	EPDM	Resistencia a los golpes, estabilidad dimensional	Partes de apariencia de automóvil
PA	ABS	Estabilidad dimensional	Partes de apariencia de automóvil
ABS	PC	Termorresistencia	Partes exteriores de artículos eléctricos
PC	PBT	Resistencia al solvente	Autopartes
PC	ABS	Galvanizabilidad	Autopartes
ABS	PVC	Efecto piroretardante	Partes exteriores de artículos eléctricos
PS	EPDM	Resistencia a los golpes	Partes exteriores de artículos eléctricos
PP	EPDM	Resistencia a los golpes	Parachoques de vehículos
POM	PE	Propiedad lubricante	Piezas tribológicas

Fuente: Presentación expertos japoneses M1-2.4

### 3.3.1.10 Antibacteriano y antimoho

La propiedad antibacteriana se refiere a la función de inhibir la multiplicación de bacterias y moho.

El propósito de agregar el aditivo es:

- Prevenir el deterioro del aspecto exterior y el mal olor del producto.
- Prevenir infecciones en hospitales, conseguir propiedades antibacterianas.

En los aditivos antibacterianos y antimoho para plásticos, tenemos compuestos inorgánicos y orgánicos. Están compuestos de metales antibacterianos como la plata y portadores como la zeolita.

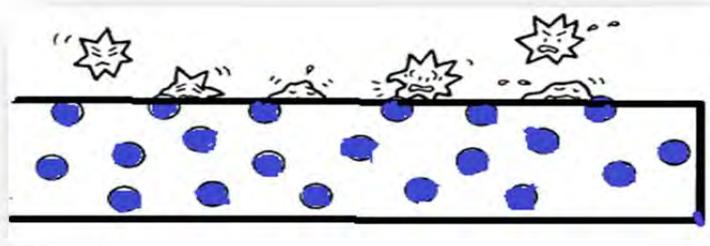


Figura. Los iones de plata superficiales son envueltos por las bacterias y luego toman acciones.  
Fuente: Presentación expertos japoneses M1-2.4

#### Ejercicio Sugerencia para contenido 3.3.1.4 al 3.3.1.10



- Buscar las características de los estos aditivos.
- Realizar tablas comparativas.
- Comentar los el funcionamiento y sus aplicaciones en el mercado.

Observaciones: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

### 3.3.2 Cargas

Según la norma ASTM-D-883 de la American Society for Testing and Materials, un relleno es un material relativamente inerte que se incorpora al plástico para modificar su resistencia mecánica, estabilidad, propiedades de uso, aumentar su procesabilidad u otras características y en el caso de los termofijos, disipar el calor de la reacción de curado. También se usan para disminuir su precio a base de reducir el costo del material.

Son materiales relativamente inertes adicionados a los polímeros (ASTM) que tienen los siguientes propósitos:

- Reducen el costo
- Aumentar el volumen
- Tienen menor resistencia que los plásticos reforzados.
- Se clasifican de acuerdo a función, origen, composición o morfología.

El tamaño y la forma de la carga influyen enormemente en el material compuesto. La relación entre dimensiones de una carga es el cociente entre la longitud y la anchura.

Las escamas o fibras mantienen relaciones entre sus dimensiones que las permiten resistir el movimiento o el realineamiento, por lo cual mejoran la resistencia.

Tabla 12. Cargas usadas en polímeros comerciales.

Partícula		Fibra	
Orgánico	Inorgánico	Orgánico	Inorgánico
Harina de madera	Vidrio	Celulosa	Asbestos
Corcho	Carbonato de calcio	Lana	Vidrio
Cáscara de nuez	Óxido de berilio	Carbono/grafito	Sulfato de calcio
Almidón	Óxido de hierro	Nylon	Boro
Carbono	Carbonato de calcio	Poliéster	Alumina
	Dióxido de titanio	Aramido	
	Óxido de zinc		
	Zirconio		
	Alumina		
	Silicio		
	Silicatos		
	Arcillas		

Figura. Cargas para polímeros.

En las esferas no existe relación entre dimensiones, por lo que estos elementos se asocian a materiales compuestos con propiedades isotrópicas. Las laminillas metálicas se utilizan en materiales compuestos de partículas para formar una barrera o capa eléctrica en la matriz de polímero.

Entre los materiales de relleno naturales se encuentran los derivados de la celulosa, como por ejemplo el serrín, la  $\alpha$ -celulosa, la harina de cáscaras, el almidón, y los rellenos de origen proteínico como los restos de soja. Anualmente se utilizan aproximadamente 40000 toneladas de rellenos celulósicos en la industria americana de los polímeros.

Formas	Materiales (tipos)	Características
Polvos (inorgánico) de 0.015 a 100µm	Sílice, mica, arcilla, negro de carbono Bisulfato de molibdeno Negro de carbono, grafito Mica, talco, almina (en polvo) Sulfato de bario	Mejorar la termoresistencia y la capacidad de aislamiento (efecto de adsorción) (efecto de prevención de fuga de flujo) Mejora la resistencia al desgaste (efecto de la tribológica) Agregar la conductividad eléctrica, mejorar el coeficiente de conductividad térmica (efecto de la conductividad) y reducir el coeficiente de fricción. Mejorar la temperatura de deflexión bajo carga del material de forma plana Termoresistente y resistencia al desgaste
Esferas (inorgánico)	Esfera de vidrio: Granularidad: menor a 0.1mmΦ	Se usa para reducir el nivel de pandeo del plástico de ingeniería. El coeficiente de llenado es alto gracias a la forma esférica. Tiene excelentes propiedades físicas, químicas y eléctricas.
Forma de tela (orgánico)	Tela de fibra sintética (fibra acrílica) Tela de algodón, lino, fieltro Papel (papel kraft)	Se usa para la resina de poliéster no saturado. Se mejora la resistencia al golpe, el peso específico y la resistencia mecánica. Se usa para la resina fenólica. Se usa para el material laminado. Se mejora la resistencia mecánica.
Forma de fibra	Fibra de vidrio (Roving, choppedstrand, fibra corta, fibra sintética)	Se agrega la alta resistencia. Se mejora la termoresistencia (efecto de refuerzo). Mejoras en la resistencia al golpe y en estabilidad dimensional.

Figura.Comparación de las cargas.

Instituto Municipal de Investigación Técnica de la ciudad de Osaka, "Texto de Plástico"(2009), p230, Editorial *PlasticAge*.

El serrín, que se fabrica por molido de desgaste de restos de madera, se utiliza como relleno para las resinas fenólicas, las resinas de urea oscuras, las poliolefinas y el PVC. La harina de cáscaras, que no tiene la estructura fibrosa del serrín, se fabrica moliendo cáscaras de cacahuete y de nuez. Se usa como sustituto del serrín.

También es posible añadir polímeros incompatibles para aumentar la resistencia al impacto de otros polímeros como el poliestireno. Otras resinas troceadas como las siliconas o los polifluorocarbonos se pueden añadir para aumentar la lubricidad de los plásticos. Por ejemplo, una dispersión fundida en caliente de politetra-fluoroetileno en polisulfuro de fenileno se utiliza como recubrimiento anti adhesivo para utensilios y recipientes de cocina.

Puesto que el butirato-acetato de celulosa es compatible con las resinas de poliéster sin curar, pero incompatible con la resina curada, es posible añadir esta sustancia a una pre-mezcla para reducir la contracción durante el curado. Para reducir la rugosidad superficial se añade polietileno finamente dividido, que también es incompatible con las resinas de poliéster, en lo que se denomina método de las resinas de bajo perfil.

### 3.3.3 Reforzantes

Es frecuente confundir los refuerzos con las cargas. Éstas son partículas pequeñas que favorecen sólo ligeramente su firmeza. En cambio, los refuerzos son ingredientes que aumentan la solidez, la resistencia al impacto y la rigidez. Una de las principales razones por las que se confunden es que algunos materiales pueden actuar como carga, refuerzo o ambas cosas.

Existen muchos refuerzos fibrosos, pero la mayoría de las teorías que se han desarrollado han sido el resultado de los estudios sobre la fibra de vidrio, que es el refuerzo para polímeros más ampliamente utilizado.

Los materiales de refuerzo se adicionan a los polímeros con el fin de incrementar las propiedades mecánicas (módulo de elasticidad, resistencias a la tracción, a la compresión y a la abrasión, la tenacidad), la estabilidad dimensional y térmica, etc.

Refuerzo es el término que se usa para denotar el incremento en el módulo y la tenacidad obtenida, más rígida y fuerte que el polímero base.

- 1) Se utiliza para encapsular fibras.
- 2) Se incorporan fibras cortas o pequeñas partículas.

Fibras: diámetros de 1 a 10 micras y longitud en milímetros.

Whiskers: Cristales delgados elongados con óxido de aluminio, carburo, silicio, carbono, nitruro de silicio, hierro, níquel y cobre.

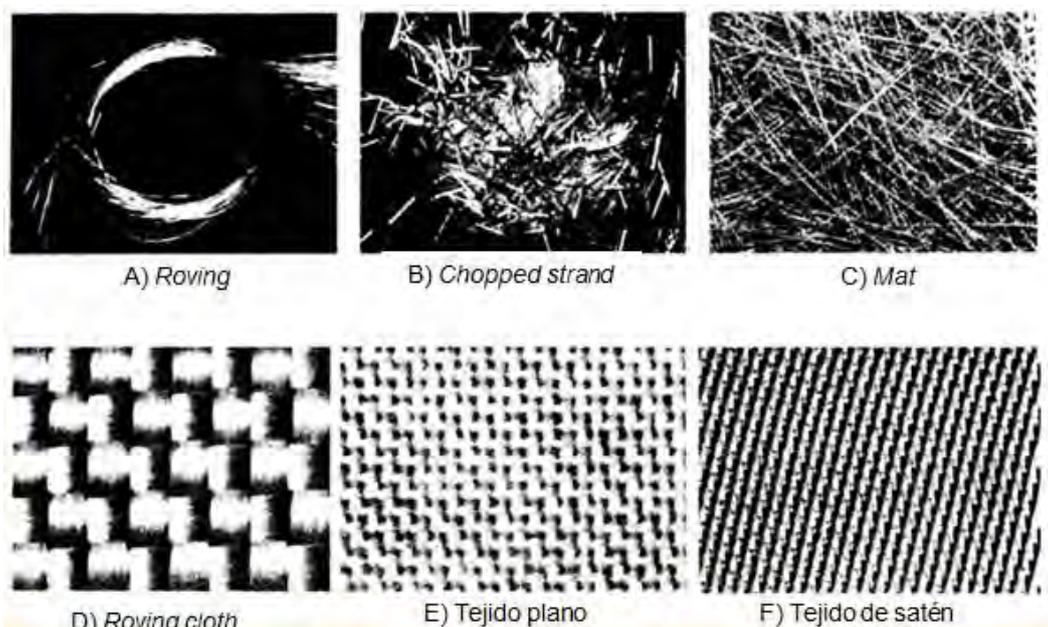


Foto 1. Formas de los agentes reforzantes de fibra de vidrio

Instituto Municipal de Investigación Técnica de la ciudad de Osaka, "Texto de Plástico"(2009),p228, Editorial *PlasticAge*

Una de las características del plástico reforzado es su excelente propiedad mecánica y ésta proviene del agente reforzante de fibra (material reforzante). El agente reforzante ayuda a revelar su cualidad dinámica unida por polímeros del material principal.

- (1) La resistencia a la tensión es grande
- (2) El módulo elástico es grande, la adherencia con polímeros es buena
- (3) Buena termoresistencia, buena resistencia a la corrosión y al desgaste
- (4) La facilidad de manejo y el costo son bajos.

Clasificación	Materiales	Formas	Objetivo y efectos
Inorgánicos	Fibra de vidrio Peso específico:2.54	<i>Roving</i> <i>Chopped strand</i> Fibras cortas <i>Cloth</i>	Busca mejorar la resistencia mecánica, termoresistencia y estabilidad dimensional. Son grandes los efectos de reforzamiento en moldeos por <i>filament winding</i> , compresión e inyección.
	Fibra de boro Peso específico: 2.56	<i>Roving</i> <i>Cloth</i>	La resistencia a la compresión es doble de la resistencia a la tensión, por lo que es resistente a golpes. También es estable en dimensiones y resistente a las balas, por lo tanto es apropiado para los equipos militares.
Orgánicos	Fibra de carbono Peso específico:1.74-1.84	<i>Roving</i> <i>Prepreg</i> de la forma de mesa <i>Cloth</i>	Se utiliza este material en áreas en que se requiere una alta resistencia general y resistencia a las balas que no puede dar la fibra de vidrio. Es más ligera que la fibra de vidrio.
	Fibra de aramida Peso específico:1.45-	<i>Roving</i> <i>Prepreg</i> de la forma de mesa <i>Cloth</i>	Se utiliza este material en áreas en que se requiere una alta resistencia general y resistencia a las balas que no puede dar la fibra de vidrio. Es más ligera que la fibra de vidrio. En el área de la industria aeronáutica se usa mezclándola con la fibra de carbono

Figura.Comparación agentes reforzantes.

Instituto Municipal de Investigación Técnica de la ciudad de Osaka, "Texto de Plástico"(2009), p227-230, Editorial *PlasticAge*.

### Ejercicio Sugerencia para contenido 3.3.2 y 3.3.3



Trabajo  
En equipo

- Buscar las características y beneficios de los refuerzos y aditivos.
- Relacionar la presentación del material y su aplicación.
- Comentar las aplicaciones en el mercado.

Observaciones: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

### 3.3.4 Pigmentos y Colorantes

Una de las características del plástico es la posibilidad de colorearlo y ofrecer materiales de aspecto (colores) variables.

(1) Objetivos de la coloración:

- Identificación e indicación de las piezas
- Decoración y mejoramiento del valor de los productos
- Protección del contenido, intercepción de luces transmitidas, mejoramiento de la resistencia a la intemperie
- Mejoramiento de las propiedades ópticas
- Absorción térmica / Reflexión térmica
- Ajuste de la tonalidad (entre diferentes lotes o materiales)

(2) Coloración

Se utilizan tintes, pigmentos inorgánicos y orgánicos. Para los colorantes, se requieren las siguientes características:

- Vivacidad de colores y alta capacidad de coloración
- Alta dispersabilidad
- Excelente resistencia térmica al calor
- Excelente resistencia a la intemperie
- Alta resistencia a la migración de color

(3) Presentación de los colorantes

La coloración se realiza de manera interna, y entre las presentaciones de los colorantes se encuentran:

- Colorantes en pasta (Colorantes líquidos),
- Colorantes secos (en polvo),
- *Masterbatch*
- Resina colorada.

Se llama **colorante** a la sustancia capaz de absorber determinadas longitudes de onda de espectro visible.

Los colorantes son sustancias que se fijan en otras sustancias y las dotan de color de manera estable ante factores físicos/químicos como por ejemplo: luz, lavados, agentes oxidantes, etc.

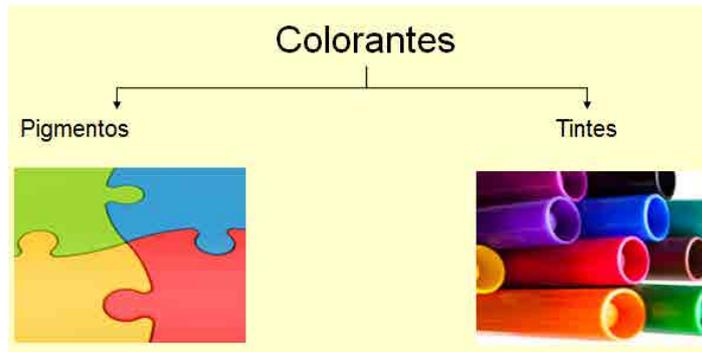


Imagen. Clasificación de colorantes

Los colorantes actúan como partes absorbentes o reflectantes del espectro o por transmisión de cierta longitud de onda (colores transparentes), estos efectos pueden combinarse con estructuras multi-laminares o mediante el uso de patrones de interferencia para lograr un efecto.

Las propiedades afectadas son las relacionadas con la apariencia, algunos pigmentos pueden dar protección contra la luz UV. Se emplean materiales orgánicos, inorgánicos, perlescentes, metálicos y de efectos especiales.

Pueden contaminar otros materiales/equipos, a menos que se mantengan separados o se empleen formas libres de polvo/no contaminantes, puede ocurrir migración si no se formulan correctamente.

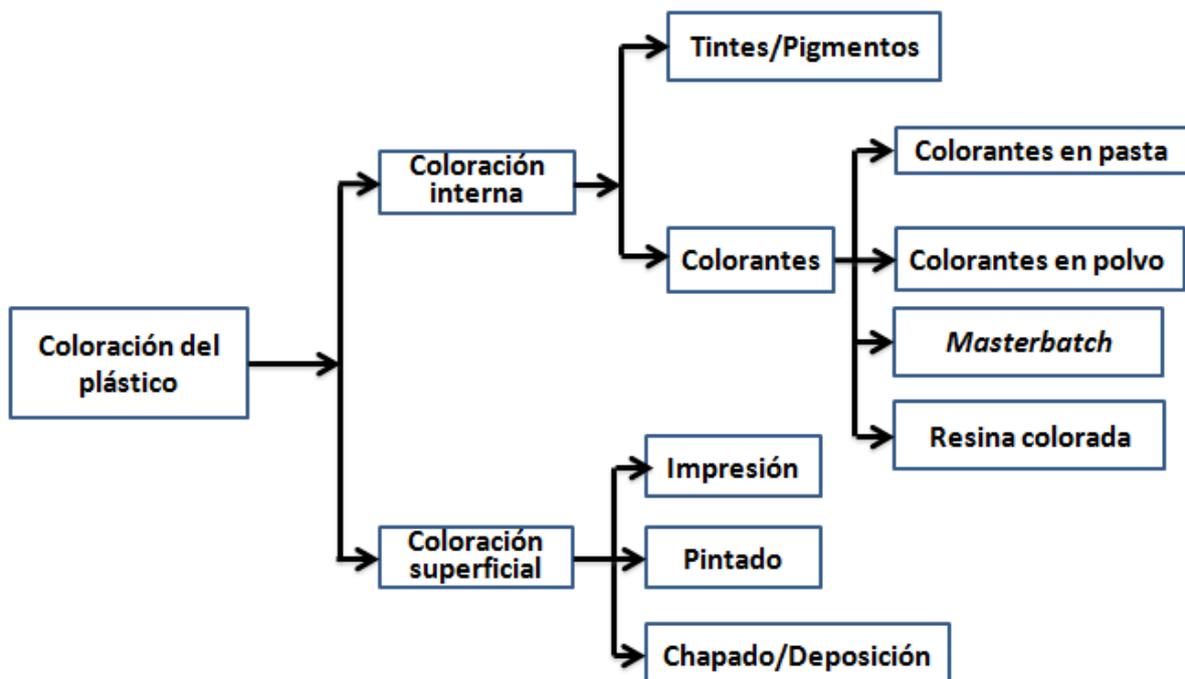


Imagen. Métodos de coloración de plásticos M2-6

### 3.3.4.1 Tintes

Son sublimables y tienen desventajas por tener poca resistencia al calor y al clima y presentar fácilmente la migración de color. Se utilizan principalmente los tintes solubles en aceite.

#### (1) Tintes de antraquinona

Hay mucha variedad. Tienen una tonalidad viva y una alta solidez frente a la luz. Son los tintes de uso más frecuente.

#### (2) Tintes azoicos

En su estructura tienen grupo azoico (-N=N-) y también ofrecen mucha variedad. Generalmente son inferiores con respecto a la resistencia al calor y al clima.

#### (3) Tintes solubles en aceite

Son los tintes azoicos que tienen grupo hidroxilo, grupo amino, etc. y no tienen grupo nitro ni grupo carboxilo. Tienen una tonalidad viva y alto poder colorante, pero generalmente son inferiores en la resistencia al calor.

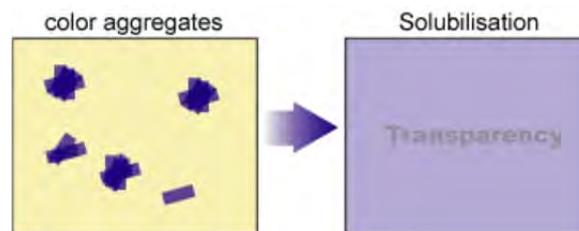


Imagen. Efecto de solubilidad de tinte

Los tintes se caracterizan por:

- Proporcionar colores transparentes y brillantes.
- Baja retención de color
- Estabilidad térmica limitada
- Pueden sufrir migración

### 3.3.4.2 Pigmentos

Los pigmentos inorgánicos se utilizan para una amplia variedad de plásticos, mientras el uso de pigmentos orgánicos es limitado según los tipos de plástico y la temperatura de moldeo. En caso de que la temperatura de moldeo exceda a 300°C, casi siempre se utilizan los pigmentos inorgánicos.

Las tres condiciones principales que requieren los pigmentos para el plástico:

1. Resistencia al calor

2. Resistencia a la migración de color.
3. La resistencia al clima dependerá de su uso, pero es la condición que casi siempre se toma en cuenta.

Igual que la capacidad de obliteración del pigmento, cuanto más pequeño es el diámetro de partícula, más grande es la capacidad de coloración. El diámetro de la partícula del pigmento que presenta la capacidad de coloración más grande, tiene el índice de refracción grande y el coeficiente de absorción chico.



Imagen. Forma de partículas de los pigmentos  
 Redactado por la Sociedad Japonesa de Materiales de Color:  
 Manual de Ingeniería de Materias de Color, p.237 (1989) Asakura Publishing Co., Ltd.

Otras características que presentan los pigmentos son las siguientes:

- Los pigmentos usualmente se abastecen como polvos secos.
- Se debe tener cuidado en su manejo porque vuelan partículas
- Toxicidad, impacto ambiental
- Costo elevado.

### 3.3.4.3 Colorantes

La definición simple de colorantes es, la sustancia añadida que da color. El pellet colorado es el material de resina en pellet al que se aplica la coloración a una concentración específica utilizando los colorantes en polvo o *masterbatch*. Tiene una excelente dispersión, ofrece gran eficiencia en las operaciones y se utiliza ampliamente.

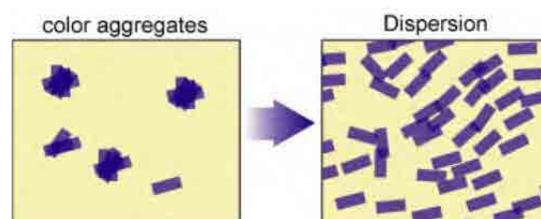


Imagen. Efecto de dispersión del colorante

Las principales características para seleccionar entre un colorante y un tinte depende de:

- Tamaño y distribución de partícula.
- Migración.
- La compatibilidad de la matriz polimérica
- La necesidad de solubilidad
- La estabilidad del colorante durante su uso, exposición a la luz, aire y humedad; y durante el procesamiento
- Profundidad del color
- Resistencia a la migración
- Grados FDA

Colorante en pasta

### **(1) Colorantes en pasta para PVC**

Se hacen mezclando los pigmentos en el plastificante de PVC y se utilizan para el PVC blando. Al hacer un compuesto en una mezcladora Banbury, entre otros, se alimentan estos colorantes al mismo tiempo que otras materias primas.

### **(2) Colorantes en pasta para resina termofija**

Los usos representativos son para poliéster no saturado, resina epóxica, poliuretano, etc. Se fabrican de la misma manera que los colorantes en pasta para PVC, utilizando como vehículo el poliéster no saturado en forma de líquido, la resina epóxica en forma de líquido y el poliol, respectivamente.

Colorantes líquidos

Son los colorantes que se utilizan en el sistema de colorante líquido. Los colorantes en forma de líquido se alimentan directamente a la máquina de moldeo. Se utilizan para poliolefinas, PS, ABS, PVC, PET, etc. Como vehículo, se emplean el aceite vegetal, plastificante, agente tensoactivo no iónico, etc. La viscosidad de los colorantes es un factor importante ya que afecta la precisión de dosificación de la máquina inyectora.

Los sistemas de colorante líquido, en donde los pigmentos se dispersan en un portador líquido y se entregan a la máquina por medio de equipo especializado de dosificación, han estado presentes desde la década de 1970, pero en años recientes la tecnología ha avanzado de manera significativa.

La naturaleza misma de un líquido significa que se requieren porcentajes de aplicación menores para lograr un color fuerte y consistente. Con tal dosificación

precisa, en donde se pueden lograr dosificaciones de hasta 0.001%, es posible alcanzar mejoras importantes en la eficiencia de proceso y la consistencia del color, lo cual lleva a una mejoría en la calidad del producto y menores tasas de desperdicio.

### Colorantes en polvo

Los colorantes en polvo, son las mezclas de **pigmentos** y **agentes dispersantes** en forma de polvos. Es el método de coloración más económico y se utilizan para casi todos los tipos de resina termoplástica.

Funciones de los agentes dispersantes:

- (1) Los dispersantes muy finos se meten entre las partículas de pigmentos y evitan la floculación de pigmentos al mezclar los colorantes en polvo con la resina y/o al recibir la compresión en la máquina de moldeo antes de la fundición.
- (2) Adherir uniformemente los colorantes en polvo en la superficie de los pellets de resina.
- (3) Se funden dentro de la máquina de moldeo antes que la resina y cubriendo la superficie de los pigmentos convertidos en forma de líquido, evitan su floculación.
- (4) Mojan la superficie de los pigmentos, y esto facilita a los pigmentos integrarse con la resina cuando ésta llegue a fundirse.

Los agentes dispersantes sirven para evitar el esparcimiento y mejorar la dosificación. El tamaño de un gránulo es de 1 a 2 mm y tiene forma de cilindro o esfera.

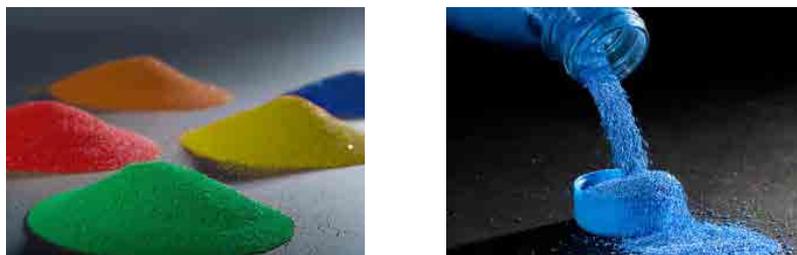


Imagen. Colorante en polvo

### Masterbatch

El *masterbatch* se refiere a los colorantes en pellets, escamas o láminas que se fabrican mezclando en la resina un 5 a 50% de su peso de los pigmentos. Por lo tanto es la concentración de aditivo (en este caso colorante) en el polímero base para usar directamente en una mezcla de material virgen en el proceso.

Para el uso del *masterbatch*, se mezcla con los materiales de moldeo que se van a colorar, diluyendo a razón de 1:4, 1:9, 1:19, 1:29, etc.

La **concentración de los pigmentos** en el *masterbatch* tiene una relación estrecha con la **dispersión** y la **distribución**, y está íntimamente relacionada con la **razón de dilución**. Se expresa de las siguientes maneras:

- (1) Se expresa como número de veces que está más concentrado con respecto a los pellets coloreados que se toman como referencia. (Ejemplo: *Masterbatch* 20 veces más concentrado)
- (2) Se expresa por la razón de dilución o la cantidad aditiva. Prácticamente se expresa más de esta manera.



Imagen. Pellets de Masterbatch



Imagen. Colorantes en polvo, gránulos y escamas

Fuente: Presentación expertos japoneses M1-2.4

#### Ejercicio Sugerencia para contenido 3.3.4



Trabajo  
En equipo

- Buscar características y diferencias de los pigmentos y colorantes.
- Realizar exposición del tema
- Comentar las aplicaciones en el mercado.

Observaciones: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

#### Sugerencia

Sin duda la parte esencial del módulo I del BTTP “Prepara compuestos para moldeo” esta basado en las propiedades y modificación de las mismas en los materiales plásticos, por lo que será de gran importancia buscar y complementar la información que en este manual se proporciona, pero la claridad que tengan los alumnos en el concepto de lo que significa cada propiedad o característica y la relevancia que tiene en el uso y aplicación en productos clasificados por su consumo.

Información adicional para aditivos, cargas y reforzantes.

Tabla. Tipos de Pigmentos

Pigmentos Inorgánicos	
1. Dióxido de titanio (rutile, anatase)	Polvo de alta cobertura debido a su alto índice de refracción. Ampliamente usado para pigmentación blanca.
2. Sulfuros de cadmio, sulfa-selenuros	Usados para tonos amarillos-naranjas. Pueden acelerar la degradación del polímero.
3. Molibdatos y cromatos de plomo.	Usados para tonos amarillos-naranjas.
4. Óxido de cromo	Pigmentos verdes.
5. Azules ultramarinos (silicatos polisulfuros de sodio, aluminio)	Tonos azul rojizo.
Pigmentos Orgánicos	
1. Benzidene y sus derivados	Usado para tonos amarillos-naranja. Buena estabilidad térmica.
2. Ftalocianina de cobre	Usado para tonos azules, buena estabilidad térmica.
3. Ftalocianina de cobre clorada	Usado para tonos verde-azules. Buena estabilidad térmica.
4. Anilina negra	Usado para tonos negro azulados-verdosos.
Pigmentos "lamellares"	
1. Carbonato de plomo básico	Proporciona una apariencia debido la reflectancia alta de su superficie  Color dorado-bronce Imparten estabilidad térmica y a la luz.
2. Fosfato de plomo hidrogenado y arsenato	
3. Oxiclورو de bismuto	
4. Hojuelas de aluminio	
5. Hojuelas de aleaciones de cobre	
6. Hojuelas de cobre	

Tabla. Mezcla para plásticos commodities

	PE	PP	PVC	PS	SAN	ABS	PET
Antioxidante	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
Lubricante	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
Nucleante	⊙	⊙					⊙
Estabilizador			⊙	⊙			
Colorante	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
Antiestático	○	⊙		⊙	⊙	⊙	
Plastificante			⊙				
Pirorretardante		○		⊙	○	○	○
Absorbente a los rayos ultravioleta	○	○	○	⊙	○	○	⊙
Antebacteriano			○			○	
Material de refuerzo		○		○	○	○	○
Material de relleno	○	○	○			○	○
Modificador de polímeros	○	○	○	○	○	○	○
Espumante				○			

⊙ : Básico    ○ : Modificador

Tabla. Mezcla para plásticos de ingeniería

	PMMA	POM	PA	PBT	PC	m-PPE	PPS
Antioxidante	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
Lubricante	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
Nucleante		⊙	⊙	⊙			⊙
Estabilizador						⊙	
Colorante	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
Antiestático			○		⊙	○	
Pirorretardante	○	○	○	⊙	○	○	
Absorbente a los rayos ultravioleta	○	⊙	○	○	⊙	⊙	
Antibacteriano			○	○	○		
Material de refuerzo		○	○	○	○	○	⊙
Material de relleno		○	○	○	○	○	⊙
Modificador de polímeros	○	○	○	○	○	○	○

⊙ : Básico    ○ : Modificador

Tabla. Mezcla para polímeros termofijos

	PF	UF	MF	EP	PDAP	UP	PI	PUR
Material de relleno	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	○	⊙
Lubricante	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	○
Colorante	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙		⊙	⊙
Endurecedor	⊙			⊙	⊙	⊙		⊙
Material de refuerzo	○	○	○	○	⊙	⊙	○	○
Absorbente a los rayos ultravioleta								⊙
Pirorretardante			○	○		○		○
Espumante			○					⊙

⊙ : Básico    ○ : Modificador

PF: Resina fenólica

UF: Resina de urea-formaldehído

MF: Melamina-formaldehído

EP: Resina epóxica

UP: Resina de poliéster insaturado

PDAP: Resina de dialilftalato

PI: Poliimida

PUR: Poliuretano

Fuente: Presentación expertos japoneses M1-2.4

**Manual del Docente**  
Para la impartición del  
**Bachillerato Tecnológico en Transformación de Plásticos**



**Tema 4**  
**Procesos de**  
**transformación**



#### 4. Procesos de transformación

Hay una inmensa diversidad de productos plásticos, de diferentes materiales, de formas muy distintas, para una infinidad de aplicaciones. Las características que tienen cada uno de los materiales y sus condiciones de procesamiento se suman a la complejidad y exactitud que se requiere en las dimensiones de la pieza, sin olvidar la función principal que tendrá la pieza.

Una forma muy simple de abordar el tema con los alumnos del BTTP, es haciendo un ejercicio donde mencionen los productos plásticos que existen a su alrededor del entorno en el que se encuentran, comparar la diferencia de formas físicas y aplicaciones que tienen cada uno de estas piezas o productos. Después imaginar el método o proceso que se ocupó para llegar a esa forma.

Otra analogía que nos permite observar esta gran variedad de formas y aplicaciones en un solo producto es, la cantidad de piezas plásticas que hay en un automóvil.

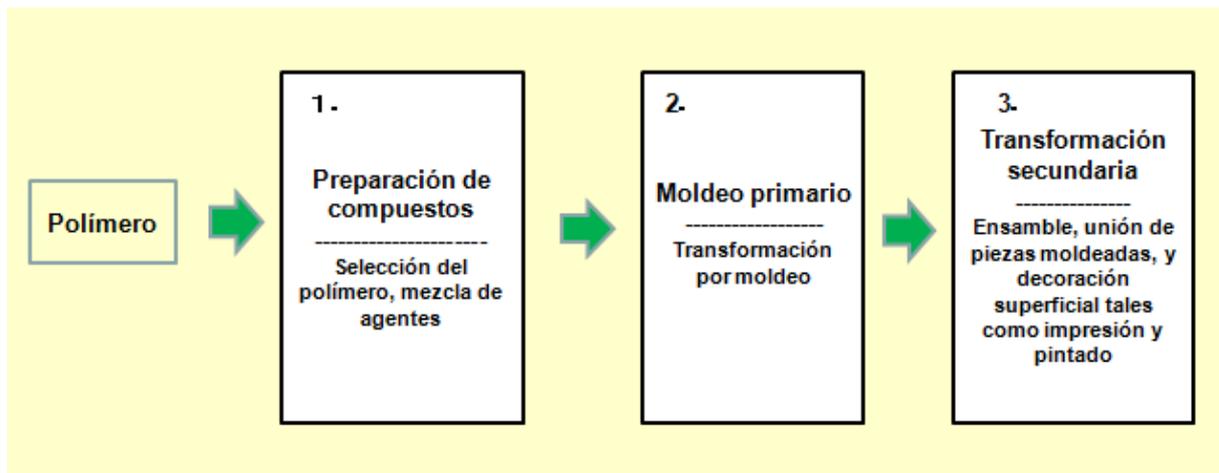
Algunos plásticos muy resistentes se utilizan para fabricar piezas de motores, como colectores de toma de aire, tubos de combustible, botes de emisión, bombas de combustible. Muchas carrocerías de automóviles están hechas con plástico reforzado con fibra de vidrio.



Figura. Piezas plásticas en un auto

Fuente: <http://myprofetecnologia.wordpress.com/>

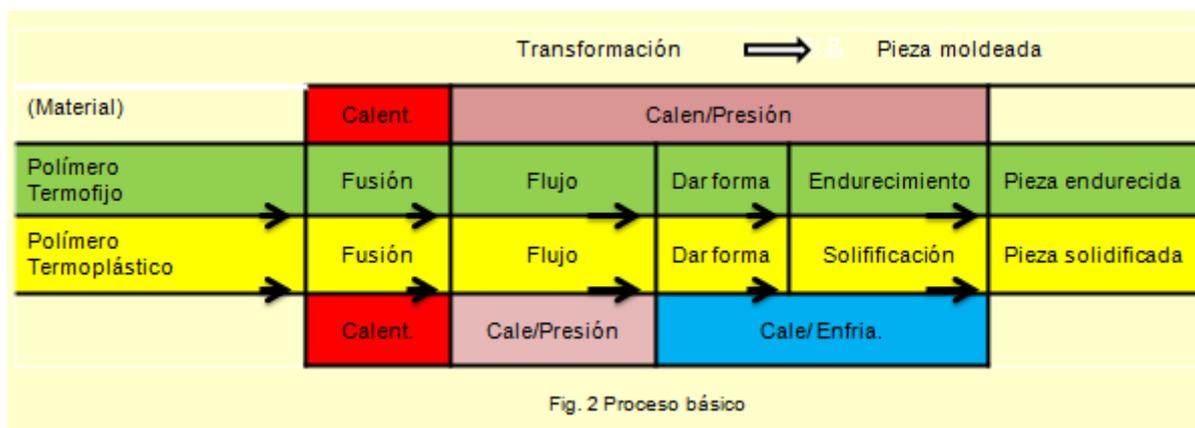
La transformación de los plásticos abarca todos los procesos en que el polímero fabricado en la planta de polimerización es utilizado para productos finales. Se puede dividir en las siguientes 3 áreas.



### Moldeo Primario

El moldeo primario es el proceso de transformación que se ocupa para dar la forma a la pieza. También es importante recordar que en la clasificación por comportamiento térmico de los materiales plásticos tenemos dos tipos de materiales: termoplásticos y termofijos. En bibliografía se tiene documentado y cuales son los principales procesos de transformación para cada tipo de material. Por lo anterior la forma en que se propone explicar a los alumnos del BTTP es a través de esta clasificación.

Se debe analizar el comportamiento de cada tipo de material, que se ejemplifica en la siguiente imagen:



**Fusión:** Se calienta el material a la temperatura de ablandamiento o a una temperatura más alta que la de fusión para fundirlo.

**Flujo:** Se aplica presión a los polímeros fundidos para meterlos posteriormente a moldes o a dados.

**Dar forma:** Se aplica aún más presión para que los polímeros dentro de moldes o dados tengan su forma.

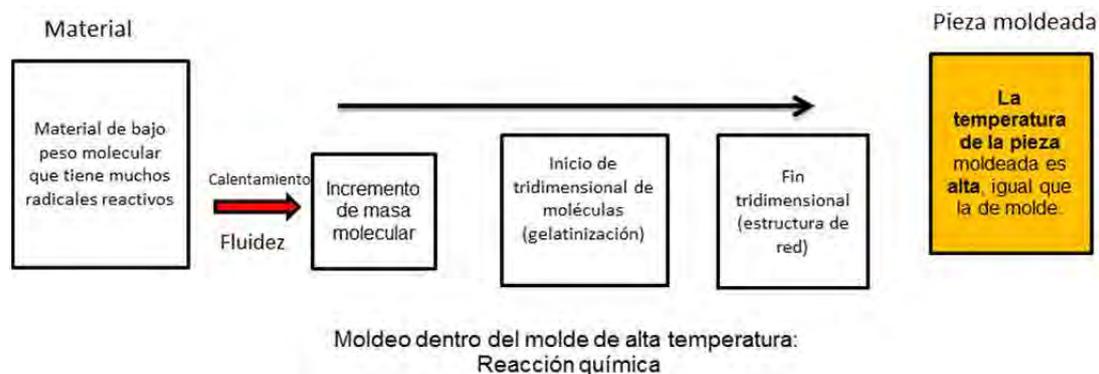
**Solidificación:** Aun aplicando presión se enfría el material para que solidifique y fije su forma.

**Endurecimiento:** En caso del plástico termofijo, su forma se fija por reacciones de enlaces cruzados y este proceso se denomina “proceso de endurecimiento o curado”.

Por lo anterior encontramos las siguientes conclusiones:

1. En los procesos de transformación para productos termoplásticos se ocupan tres etapas, la primera el calentamiento para fundir, la segunda es la presión y calentamiento para hacer llegar el material al molde y la tercera es aplicar enfriamiento para solidificar la pieza o producto final. En cambio los materiales termofijos solo expresan dos etapas, la primera es mantener el material de forma fluida o aplicando calentamiento para re-emblandecer, la segunda es aplicar presión para hacer llegar el material al molde y esperar a que endurezca.
2. Los materiales termoplásticos solidifican por el efecto del enfriamiento, en cambio los materiales termofijos endurecen por el efecto de curado que se lleva a cabo por efecto de las reacciones químicas que generan los enlaces entre cruzados tipo red.

### 1. Material termofijo



### 2. Material termoplástico

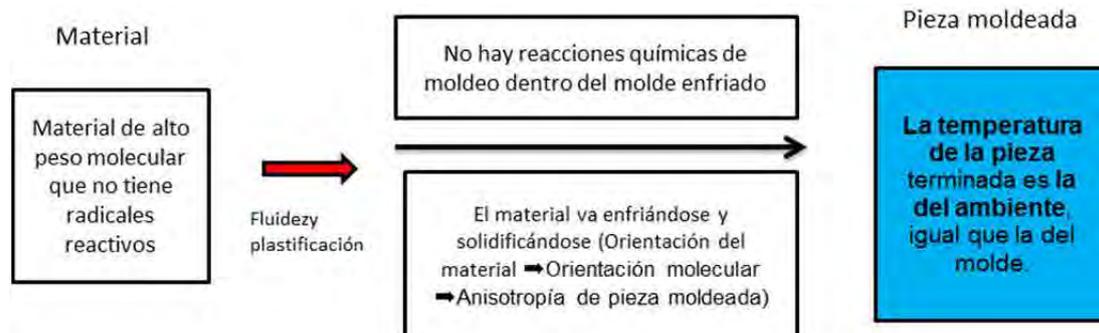


Fig. Diferencia entre el material termofijo y el termoplástico

Fuente: Instituto Municipal de Investigación Técnica de la ciudad de Osaka, “Texto de Plástico” (2009), p50, Editorial *Plastic Age*.

#### **4.1 Procesos de transformación para materiales termoplásticos.**

Unas de las características que presentan los materiales termoplásticos en el proceso de transformación son las siguientes:

1. Se calienta el material y se moldea en estado líquido con moldes o dados para darle forma y posteriormente sacar el producto ya solidificado.
2. El producto moldeado se plastifica al re-calentarlo, por lo tanto es reciclable.
3. Este material permite realizar diferentes moldeos como la inyección, en donde la operación concluye en segundos con la velocidad y alta presión de manera no continúa. Hasta la extrusión a baja velocidad y presión para producir de manera continúa de películas largas y delgadas, placas y tubos. También existen otros métodos de moldeo combinados (Ej. el sistema para moldear tapas para botellas de bebidas).
4. Es posible moldear artículos huecos. Existe el moldeo por soplado en el que una extrusora inyecta el material en moldes, y existe el rotomoldeo en el que se pone el material en polvo en moldes y se sinteriza para fabricar artículos huecos de gran tamaño.
5. Existe el moldeo al vacío o por aire comprimido de las envolturas para nuestra vida cotidiana. Las instalaciones y moldes para este método son baratos y consecuentemente el producto es económico, igual que en el termoformado.
6. No todos los materiales son aplicables para los métodos de moldeo. Para moldear de manera económica una pieza de forma y dimensión conforme a ciertas especificaciones, hay que seleccionar el material y método apropiados.

##### **4.1.1 Moldeo por extrusión**

- (1) Es un método apto para producir artículos largos como barras, placas, tubos y mangueras.
- (2) La máquina extrusora consiste principalmente de 3 partes;
  - 1) Cilindro calentador que calienta y funde (plastifica) el material,
  - 2) Dado que sirve para dar forma uniforme los polímeros plastificados,
  - 3) Colector que sirve para recoger el producto terminado. Es decir una vez que sale el producto de la extrusora, se enfría y solidifica, y su superficie empieza

a solidificarse. Posteriormente el producto avanza solidificándose con agua o con aire para llegar al colector.

- 4) Además, hay enrolladores y cortadores. Dependiendo de la forma del dado, se puede moldear de manera continua productos largos de diferentes perfiles con una sección uniforme, tales como películas, láminas delgadas, tubos, perfiles y monofilamentos.

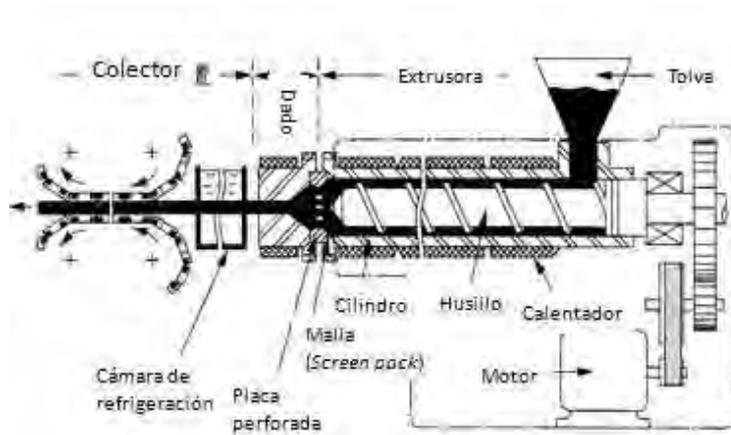


Figura: Mecanismo de una extrusora de eje simple, M1-2

Fuente: Texto de plástico del Instituto de Investigaciones Técnicas de la Ciudad de Osaka (2009) p273, *Plastic Age Co. Ltd.*

Existen extrusoras de eje simple y de doble eje, el tamaño de la extrusora de eje simple se expresa por el diámetro exterior del husillo.

Combinándose con diferentes dados, su aplicación es amplia y se utiliza comúnmente para materiales termoplásticos.

Elementos básicos de la extrusora

- (1) Cilindro:

Se le denomina también cañón o barril. Es un cilindro en que se mete el husillo y está hecho de un acero con tratamiento anticorrosivo y anti-abrasivo. Se calienta con una banda calentadora o resistencias desde el exterior. Para el control de temperatura, se emplea la refrigeración por aire o agua.

- (2) Placa perforada o plato rompedor.

Es un disco con varias perforaciones montado al adaptador de dado que se encuentra entre la punta de la extrusora y el dado. Su finalidad es regular el flujo con la contrapresión, ayudar a mejorar el amasamiento, sostener la malla (filtro) y al mismo tiempo eliminar objetos extraños del material fundido.

### (3) Husillo.

Por su mecanismo de operación, el husillo se divide en:

Sección de alimentación; Enviar pellet desde tolva hacia el interior del husillo.

Sección de compresión; Es la sección que comprime y envía la espuma hacia la tolva. Los pellets, al mismo tiempo que funde y plastifica el material.

Sección de medición; Es la sección que mide el material para expulsar una determinada cantidad fundida. (La rosca del husillo funciona como medidor).



Figura: Función del husillo, M1-2

Fuente: Texto de plástico del Instituto de Investigaciones Técnicas de la Ciudad de Osaka (2009) p274, Plastic Age Co. Ltd.

### Extrusora de doble eje

Es una extrusora que emplea dos husillos colocados paralelamente. Comparándola con la de eje simple, tiene mayor capacidad de amasamiento (mezclado). Actualmente predomina el tipo de colocación horizontal.

### Extrusión de tubos y perfiles

Producir piezas de forma irregular cuyo corte de sección es de media luna, L, T, U, entre otros.

Se ha venido realizando desde hace tiempo la extrusión con cloruro de polivinilo duro, polietileno, polipropileno entre otros.

Predomina el tamaño de  $\Phi$  5 a 1000mm. También existen piezas grandes de  $\Phi$  500 a 3,000mm.

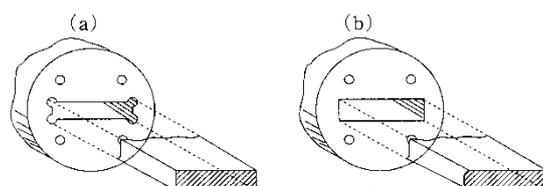


Figura: Dado para perfiles, M1-2

Fuente: Texto de plástico del Instituto de Investigaciones Técnicas de la Ciudad de Osaka, (2009) p281, Plastic Age Co. Ltd.

## Extrusión de película y lámina con T-die

Cuando el espesor es igual o mayor que 0.25mm, al producto se le llama lámina y, cuando el espesor es menor que lo anterior, película. Sucesivamente, el material cuyo espesor es de 0.25 a 0.8mm es lámina delgada, el de 0.8mm o mayor es lámina gruesa.

Extrusión con T-die: El dado se coloca perpendicularmente a la orientación de la extrusora y viendo desde arriba se ve la forma de letra "T".

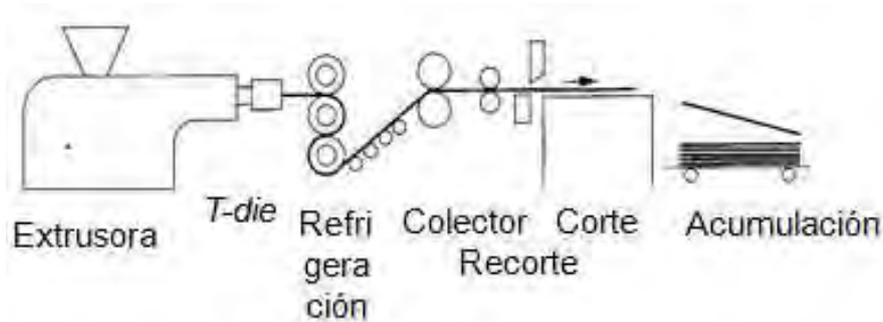


Figura: Proceso de formado de lámina con T-die, M1-2

Fuente: Texto de plástico del Instituto de Investigaciones Técnicas de la Ciudad de Osaka, (2009) p278, PlasticAge Co. Ltd.

## Extrusión por inflado

Las películas son producidas no sólo por extrusión con T-die, sino también por extrusión por inflado con Ring die.

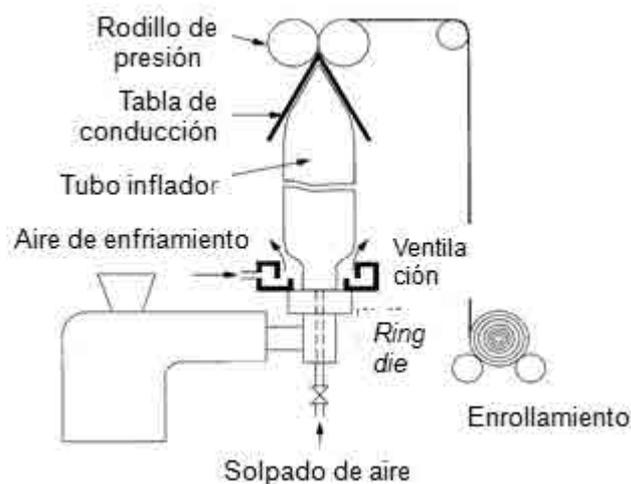


Figura: Formado de películas por inflado, M1-2

Fuente: Texto de plástico del Instituto de Investigaciones Técnicas de la Ciudad de Osaka, (2009) p279, Plastic Age Co. Ltd.

## Laminado

El laminado es una película que consiste en varias capas de diferentes tipos de plástico y posee características que una película simple no puede lograr.

El método de laminado consiste en sobreponer una película adicional a una película ya solidificada.

Existe también otro método de laminado llamado “co-extrusión” que consiste en sobreponer láminas no solidificadas. En este método hay dos diferentes procesos; 1) en el que se juntan películas dentro del dado y 2) en el que se juntan inmediatamente después de ser expulsadas del dado.

Por otra parte, hay otros métodos en que se extruye directamente sobre una película ya existente y se la enfría, o se pegan dos películas con un adhesivo.

## Extrusión y laminado

El laminado es un método para producir de manera continua películas compuestas, formadas por una película y un material base. En este método se sobreponen películas plásticas como polietileno, cloruro de polivinilideno, etc., expulsadas del T-die sobre el material base como papel (kraft), celofán, papel aluminio, etc. y posteriormente se pega a presión metiéndolos entre el rodillo de enfriamiento y el rodillo de presión.

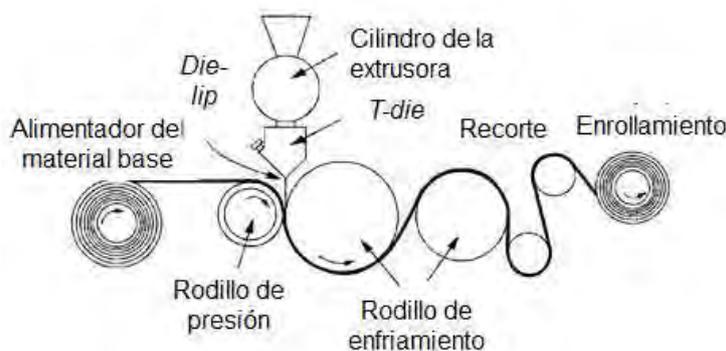


Fig.-8 a Proceso de extrusión y laminado

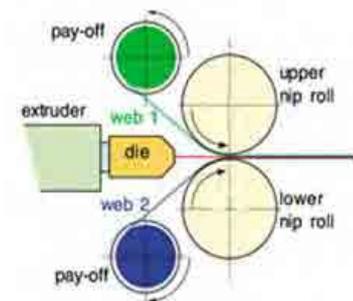


Fig.-8 b Esquema de extrusión y Laminado multicapas

## Figura: Extrusión y laminado, M1-2

Fuente: Texto de plástico del Instituto de Investigaciones Técnicas de la Ciudad de Osaka (2009) p280, *Plastic Age Co. Ltd.*,  
*Chris Rauwendaal, Carl Nanser Verlag: Understanding Extrusion p37 (2010)*

### Ejercicio Sugerencia para contenido 4.1.1



- Buscar videos que muestren el proceso de extrusión.
- Relacionar aplicaciones y productos que se obtienen por proceso de extrusión.

Observaciones: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

### 4.1.2 Moldeo por inyección

El moldeo por inyección es un proceso semi-continuo que consiste en inyectar un polímero en estado fundido (o ahulado) en un molde cerrado a presión y frío, a través de un orificio pequeño llamado gate (compuerta).

En ese molde el material se solidifica, comenzando a cristalizar el polímero, la pieza o parte final se obtiene al abrir el molde y sacar de la cavidad la pieza moldeada.

Máquina de inyección



Figura: Máquina de inyección.

## Unidad de inyección

La función principal de la unidad de inyección es la de fundir, mezclar e inyectar el polímero. Para lograr esto se utilizan husillos de diferentes características según el polímero que se desea fundir, la unidad de inyección debe considerar tres condiciones termodinámicas:

- La temperatura de procesamiento del polímero.
- La capacidad calorífica del polímero  $C_p$  [cal/g °C].
- El calor latente de fusión, si el polímero es semicristalino.

El proceso de fusión involucra un incremento en el calor del polímero, que resulta del aumento de temperatura y de la fricción entre el barril y el husillo. La fricción y esfuerzos cortantes son básicos para una fusión eficiente, dado que los polímeros no son buenos conductores de calor. Un incremento en temperatura disminuye la viscosidad del polímero fundido; lo mismo sucede al incrementar la velocidad de corte. Por ello ambos parámetros deben ser ajustados durante el proceso. Existen, además, metales estándares para cada polímero con el fin de evitar la corrosión o degradación. Con algunas excepciones —como el PVC—, la mayoría de los plásticos pueden utilizarse en las mismas máquinas.

La existencia de una parte extra llamada cámara de reserva. Es allí donde se acumula el polímero fundido para ser inyectado. Esta cámara actúa como la de un pistón; toda la unidad se comporta como el émbolo que empuja el material. Debido a esto, una parte del husillo termina por sub-utilizarse.

La inyección es un proceso secuencial que está conformado por un conjunto de etapas que se denomina ciclo de inyección. El parámetro más importante, desde el punto de vista económico, es la duración o el tiempo de ciclo, pues finalmente de este dependen la productividad y el costo del proceso.

## Unidad de cierre.

Consiste de una prensa conformada por dos placas portamoldes, una móvil y otra fija.

El sistema de accionamiento de la placa móvil puede ser un mecanismo de palancas acodadas, accionado hidráulicamente, un cilindro hidráulico o un sistema eléctrico de tornillo sin fin accionado por un motor.

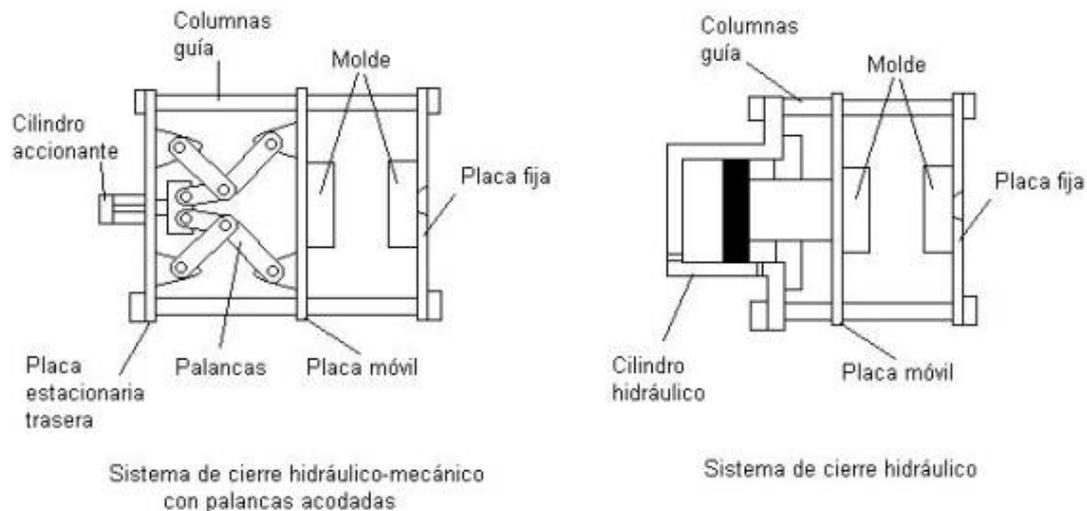


Figura: Sistema de cierre de una máquina de inyección.

El parámetro fundamental para dimensionar una unidad de cierre es su fuerza para mantener el molde cerrado. Usualmente se da este valor en toneladas (ton). Otros parámetros importantes en una unidad de cierre son: la distancia mínima entre placas, la distancia máxima de apertura, las dimensiones de las placas y la distancia entre columnas, la carrera del sistema de expulsión. Estos datos se utilizan para dimensionar los moldes.

La unidad de potencia

Es el sistema que suministra la potencia necesaria para el funcionamiento de la unidad de inyección y de la unidad de cierre. Los principales tipos de sistemas de potencia se pueden clasificar como:

- Sistema de motor eléctrico con unidad reductora de engranajes.
- Sistema de motor hidráulico con unidad reductora de engranajes.
- Sistema hidráulico directo.

Sistema de potencia eléctrico: El sistema eléctrico se utiliza generalmente en máquinas relativamente pequeñas. Este sistema se emplea tanto para el giro del tornillo como para la apertura y cierre del molde. La máquina emplea dos sistemas mecánicos de engranajes y palancas acodadas, uno para el cierre del molde y otro para el tornillo.

Cada uno accionado por un motor eléctrico independiente. El accionamiento del tornillo cuando realiza la inyección lo ejecuta un cilindro hidráulico. En los sistemas con motor eléctrico, la velocidad puede ajustarse sólo en un determinado número de valores, lo cual puede ocasionar problemas en la reproducción de parámetros de

operación y dificultar la obtención de piezas con una calidad constante. Los motores eléctricos generan grandes torques de arranque, por lo que debe tenerse precaución al usar tornillos con diámetros pequeños para evitar que se rompan.

Sistema de potencia hidráulico: Los motores hidráulicos son los más comúnmente utilizados, su funcionamiento se basa en la transformación de la potencia hidráulica del fluido en potencia mecánica. A diferencia de los sistemas electromecánicos, donde la potencia es transmitida a través de engranajes y palancas, en un sistema con fluidos estos elementos se sustituyen, parcial o totalmente, por tuberías de conducción que llevan el fluido a presión a los pistones de inyección y de cierre del molde. El fluido que más se utiliza es el aceite debido, principalmente, a sus propiedades lubricantes en aplicaciones que involucran grandes cargas. En los sistemas hidráulicos es común utilizar presiones que varían entre los 70 y 140 kg/cm<sup>2</sup>. Las ventajas del motor hidráulico con respecto al eléctrico pueden resumirse principalmente en:

- Fácil variación de velocidades, regulando el volumen de fluido.
- La relación entre el torque y la velocidad es aproximadamente lineal. El límite de torque se determina por la presión limitante y el torque de arranque es aproximadamente igual al de funcionamiento.
- Permite arranques y paradas rápidos debido al pequeño momento de inercia.
- Permite relaciones bajas de peso potencia, lo que posibilita alcanzar altas velocidades de inyección del material.

#### Parámetros de una inyectora

Las principales características utilizadas para dimensionar y comparar máquinas inyectoras son:

- Capacidad o fuerza de cierre: usualmente se da en toneladas (ton)
- Capacidad de inyección: es el volumen de material que es capaz de suministrar la máquina en una inyección (cm<sup>3</sup>/inyección). Es común dar este valor en gramos, tomando como referencia la densidad del poliestireno.
- Presión de inyección: es la presión máxima a la que puede bombear la unidad de inyección el material hacia el molde. Usualmente se trabaja a un 60% de esta presión o menos.

- Capacidad de plastificación: es la cantidad máxima de material que es capaz de suministrar el tornillo, por hora, cuando plastifica el material; se da en kg/h.
- Velocidad de inyección: es la velocidad máxima a la cual puede suministrar la unidad de inyección el material hacia el molde; se da en  $\text{cm}^3/\text{s}$ .

**Manipulación de equipo de inyección y periféricos.**  
**“Temperatura, Tiempo, Presión, Velocidad, Posición-Cantidad”**

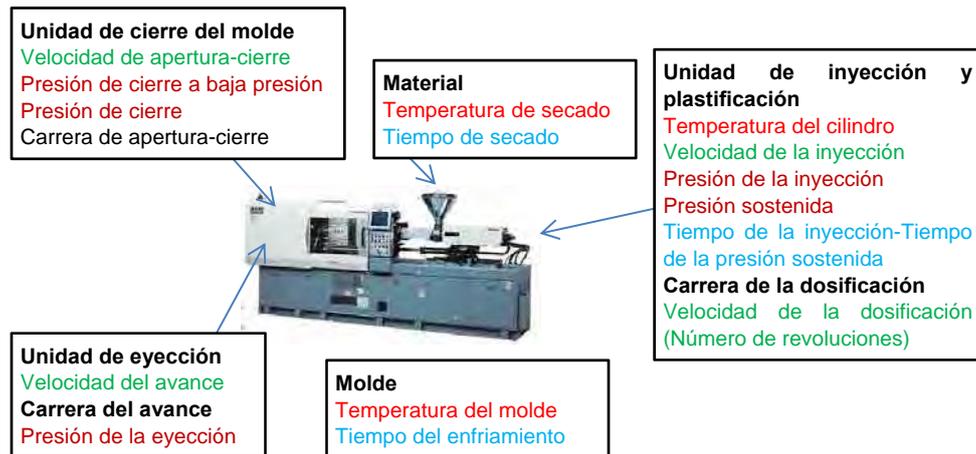


Figura: Parámetros de una máquina de inyección.

### La unidad de control

Este sistema básicamente contiene un controlador lógico programable (PLC) y controladores PID para las resistencias eléctricas del barril y de la boquilla. El PLC permite programar la secuencia del ciclo de inyección y recibe señales de alarma, por sobrepresión o finales de carrera, para detener el ciclo. Los controladores PID son los más adecuados para el control de temperatura debido a su elevada velocidad de respuesta para mantener la temperatura a los niveles requeridos.

### El Ciclo de Inyección

El ciclo de inyección se puede dividir en las seis siguientes etapas:

1. Se cierra el molde vacío, mientras se tiene lista la cantidad de material fundido para inyectar dentro del barril. El molde se cierra en tres pasos: primero con alta velocidad y baja presión, luego se disminuye la velocidad y se mantiene la baja presión hasta que las dos partes del molde hacen contacto, finalmente se aplica la presión necesaria para alcanzar la fuerza de cierre requerida.

2. El tornillo inyecta el material, actuando como pistón, sin girar, forzando el material a pasar a través de la boquilla hacia las cavidades del molde con una determinada presión de inyección.
3. Al terminar de inyectar el material, se mantiene el tornillo adelante aplicando una presión de sostenimiento antes de que se solidifique, con el fin de contrarrestar la contracción de la pieza durante el enfriamiento. La presión de sostenimiento, usualmente, es menor que la de inyección y se mantiene hasta que la pieza comienza a solidificarse.
4. El tornillo gira haciendo circular los gránulos de plástico desde la tolva y plastificándolos. El material fundido es suministrado hacia la parte delantera del tornillo, donde se desarrolla una presión contra la boquilla cerrada, obligando al tornillo a retroceder hasta que se acumula el material requerido para la inyección.
5. El material dentro del molde se continúa enfriando en donde el calor es disipado por el fluido refrigerante. Una vez terminado el tiempo de enfriamiento, la parte móvil del molde se abre y la pieza es extraída.
6. El molde cierra y se reinicia el ciclo.

**Ejercicio Sugerencia para contenido 4.1.2**



- Buscar videos que muestren el proceso de inyección.
- Relacionar aplicaciones y productos que se obtienen por proceso de inyección.

Observaciones: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

**4.1.3 Moldeo por soplado**

El moldeo por soplado es llamado también moldeo de producto hueco y permite fabricar piezas huecas.

Para producir recipientes de plástico, botellas de shampo y mayonesa, etc. que tienen bocas estrechas y que están huecos por dentro, se emplea el moldeo por soplado. Dependiendo de la forma de la cavidad del molde, es factible producir diferentes recipientes. El taque de combustible de los automóviles, los tanques industriales, los tanques de queroseno, etc. Son ejemplos de piezas de gran tamaño.

Se clasifican el moldeo por extrusión – soplado y el moldeo por inyección - soplado. Los materiales aplicados para este moldeo son; polietileno(PE), Policloruro de vinilo(PVC), poliamida(PA), policarbonato (PC), polietilentereftalato (PET), polipropileno (PP).

### Moldeo por soplado directo

Es un método de moldeo en el que se realiza el moldeo por soplado inmediatamente después de extruir o inyectar el parison a una temperatura mayor al punto de fusión en el caso de los polímeros cristalinos, y a una temperatura mayor al punto de plastificación en el caso de los polímeros amorfos.

Los productos soplados por este método no son orientados. Dependiendo del método de elaboración del parison, se dividen en:

- (1) Moldeo por soplado de extrusión continua
- (2) Moldeo por inyección y soplado (Injection Blow Molding)

### Moldeo por soplado de extrusión continua

Es el método en que se extruye continuamente el parison y se realiza el moldeo por soplado. Es el método más popular y apto para la producción de altos volúmenes. Para extruir material fundido se utiliza una máquina de tipo extrusora.

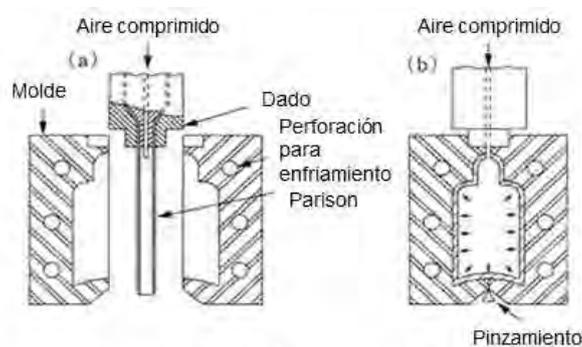


Fig. Moldeo por soplado

Fuente: Texto de plástico del Instituto de Investigaciones Técnicas de la Ciudad de Osaka, (2009) p283, Plastic Age Co. Ltd.

## Moldeo por inyección y soplado

Es el método en que, (1) se elabora el parison con fondo usando el moldeo por inyección y posteriormente, (2) se extrae el parison montado en el molde de núcleo, (3) se traslada inmediatamente al siguiente molde, (4) se inyecta el aire comprimido desde la parte central del molde de núcleo. Es menos productivo en comparación con el moldeo por soplado de extrusión continua.

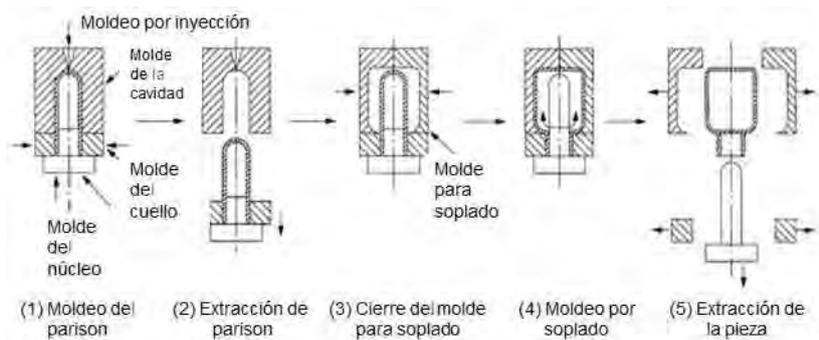


Fig.- Método de inyección y soplado directo

Fuente: Texto de plástico del Instituto de Investigaciones Técnicas de la Ciudad de Osaka, (2009) p284, *Plastic Age Co. Ltd.*

## Moldeo por soplado y estirado

Se calienta el parison previamente formado a una temperatura "mayor que la de ablandamiento pero menor que el punto de fusión", es decir, a la temperatura de un rango en que se facilita la deformación pero que no alcanza la fundición.

Se coloca en el molde el parison en un estado en que las moléculas de los polímeros amorfos pueden moverse, pero las del polímero cristalizado no pueden. Posteriormente se inyecta aire comprimido en su interior para inflarlo.

Las moléculas de los polímeros amorfos pueden moverse cambiando la posición entre ellos mismos. Por lo que las moléculas se ensanchan y quedan ordenadas en un estado estable en relación con aquellas que las rodean.

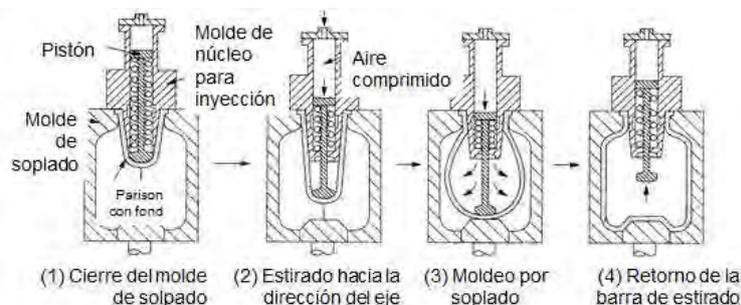


Fig.- Método de moldeo por inyección, estirado y soplado  
(Principio del método de estirado consecutivo por 2 ejes)

Fuente: Texto de plástico del Instituto de Investigaciones Técnicas de la Ciudad de Osaka, (2009) p285, *Plastic Age Co. Ltd.*

#### 4.1.4 Moldeo por termoformado

El método de moldeo en que se forma la lámina o película de polímero termoplástico con una fuerza exterior, se llama el formado de lámina (*sheetforming*) y el termoformado es su método principal de fabricación.

En el termoformado, se agrega una fuerza exterior al material ablandado con calor. Es conveniente para producir piezas grandes de lotes pequeños. Existen el formado al vacío, formado por soplado libre (*Free blow mold*), formado por aire comprimido, entre otros.



Fig.- (a) Aparato de calentamiento para doblado, y (b) dispositivo para enfriamiento)

Fuente: Texto de plástico del Instituto de Investigaciones Técnicas de la Ciudad de Osaka, (2009) p311, *Plastic Age Co. Ltd.*

#### Moldeo al vacío

Es el método en que, por medio de perforaciones pequeñas o ranuras del molde, se succiona una lámina hacia el molde al bajar la presión del aire del área entre el molde y la lámina para formarla. Después de enfriarla, se sopla para descargar las piezas terminadas.

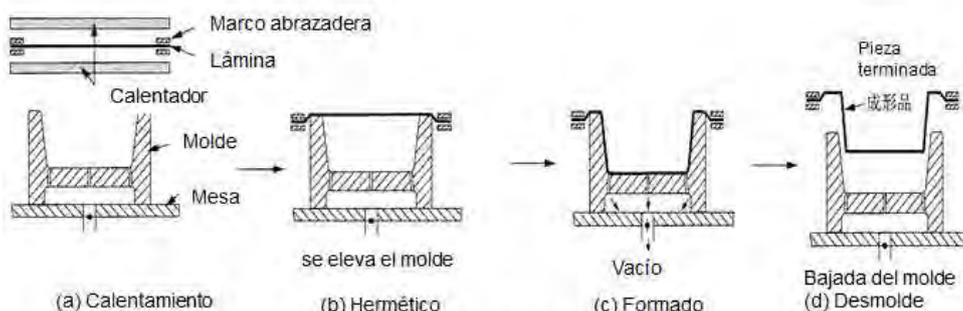


Fig.- Proceso de formado al vacío  
(Método directo, (formado tipo hembra))

Fuente: Texto de plástico del Instituto de Investigaciones Técnicas de la Ciudad de Osaka, (2009) p312, *Plastic Age Co. Ltd.*

#### Moldeo por insuflación de aire comprimido

Es el método de formado en el que, en lugar de succionar la lámina al vacío, se aprieta la lámina contra el molde por acción del aire comprimido. Se usa el aire comprimido aumentando unas veces la presión atmosférica. Lo cual quiere decir que

la presión de formado es mayor que la del formado al vacío y tiene la alta reproductividad del molde como ventaja.

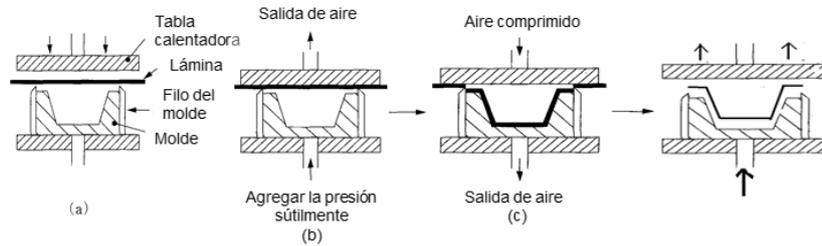


Fig.- Formado por insuflación de aire comprimido

Fuente: Texto de plástico del Instituto de Investigaciones Técnicas de la Ciudad de Osaka, (2009) p314, *Plastic Age Co. Ltd.*

#### 4.1.5 Moldeo por compresión

Las tapas para las botellas de PET para bebidas son formadas por compresión, utilizando como material el polímero termoplástico.

Método de formado de tapas: Con la extrusora se plastifica el polipropileno de manera continua para obtener una masa de polímero fundido. La misma masa de polímero es puesta en cada cavidad del molde para comprimirla y darle la forma de la tapa. Las mismas tapas son formadas por compresión ya que se requiere de la productividad a alta velocidad.

El sistema de la máquina de formado por compresión de tapas consiste de: (1) Extrusora, (2) Cortador, (3) Máquina de formado por compresión de tipo rotatorio

Características: (1) Productividad a alta velocidad, (2) Efectividad en la expulsión de resinas a baja temperatura, (3) Reducción del costo de los moldes, (4) Formado sin gate(esclusa) (Buen estado de la superficie y alta aptitud para la impresión) Se puede producir piezas de alto valor agregado, hecho con el formado por compresión de multicapas, por ejemplo la tapa de barreras multicapa, entre otros.

#### Ejercicio Sugerencia para contenido 4.1.3 al 4.1.5



- Buscar videos que muestren los diferentes procesos.
- Relacionar aplicaciones y productos que se obtienen por este tipo de proceso.

Observaciones: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

## 4.2 Procesos de transformación para materiales termofijos.

Antes del moldeo, los materiales termofijos son sustancias de bajo peso molecular (en estado líquido o sólido) y tienen plasticidad a temperatura ambiente o al recibir calor. Estos materiales van a generar reacciones químicas por acción de los agentes endurecedores, catalizadores, calor o luz, convirtiéndose en plásticos termofijos con carácter insoluble e infusible. Por tanto, el trabajo de transformación por moldeo se debe realizar mientras el material no pierda su fluidez.

- 1) Moldeo por compresión que se usa tradicionalmente.
- 2) Se puede transferir el material de moldeo. Moldeo de transferencia como para encapsular semiconductores.
- 3) Moldeo de laminado que permite moldear piezas grandes con formas complicadas hasta tarjetas para circuitos impresos.
- 4) Moldeo por inyección, este moldeo ha sido ampliamente difundido gracias al desarrollo avanzado del mejoramiento del materiales que ha hecho más fácil la automatización del proceso.
- 5) Pottingmolding que se usa para fabricar tinas grandes transparentes o productos de cristales orgánicos.
- 6) Moldeo de plásticos reforzados con fibras para fabricar piezas grandes, para autobuses, cascos de lancha, tanques, entre otros. (Moldeo por pultrusión para fabricar materiales de construcción y estructura).
- 7) Moldeo RIM (ReactionInjectionMolding), por ejemplo, para hacer espumado de poliuretano.
- 8) Moldeo de transferencia de resina (RTM) para fabricar partes para aviones y defensas de automóviles.

### 4.2.1 Moldeo por compresión

- 1) Preparación de tabletas para moldear.
- 2) Aplicar precalentamiento dieléctrico a las tabletas.
- 3) Meter el material a la cavidad del molde precalentado (Fig. 2 (a))
- 4) Para moldear el polímero de condensación, se hace el venteo de gases, utilizando primero la baja presión de cierre del molde, y posteriormente con la alta presión de cierre del molde se da la forma al material. (Fig. 2 (b)).
- 5) Sacar la pieza moldeada (Fig.2 (c)).

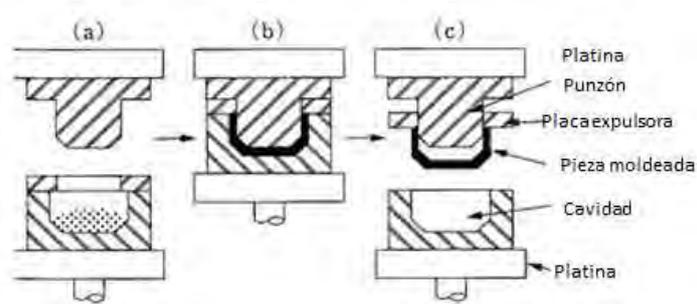


Figura: Moldeo por compresión

Fuente: Texto de plástico del Instituto de Investigaciones Técnicas de la Ciudad de Osaka, (2009) p243, *Plastic Age Co. Ltd.*

## Condiciones de moldeo por compresión

Presión de moldeo:

Resina de poli condensación (PF, UF, MF)

Durante la reacción de curado, el oligómero genera gases, los cuales deben extraerse.

1) Cierre de molde con baja presión: Se cierra con unos 5MPa. Después de cerrar el molde, baja la presión al nivel cero para sacar los gases, pero inmediatamente después sube la presión a un nivel alto. (de 15 a 30 MPa)

Resina de adición y polimerización (UP, DAP, EP)

Se llena el material ablandado hasta los rincones de las cavidades del molde, por lo tanto es suficiente trabajar con una presión baja de 10 MPa.

La temperatura de moldeo tiene una relación directa con la velocidad de curado del material. Cuando la temperatura es alta, el tiempo de curado es corto, pero el deterioro térmico del material y la deformación de moldeo son mayores. Según experiencias, para trabajar con las temperaturas del molde (temperaturas de molde mostradas en la tabla 1 anterior), el espesor de la pieza moldeada es aprox. 1mm, el tiempo de curado es aprox. 1 minuto.

## Estructura básica del molde para compresión

Si se coloca el material en la parte inferior del molde (cavidad) y después se cierra la parte superior de molde (núcleo) para aplicar presión, el material sobrante se derrama por la parte de la separación del molde, quedando como rebaba.

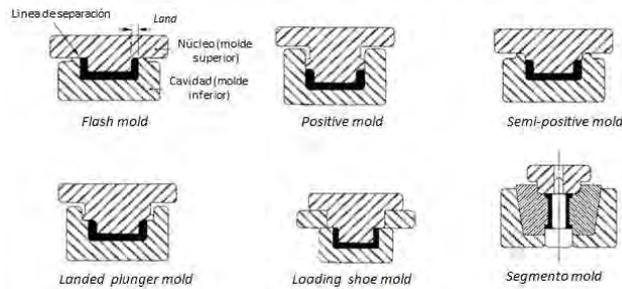


Figura: Estructura básica del moldeo por compresión

Fuente: Texto de plástico del Instituto de Investigaciones Técnicas de la Ciudad de Osaka, (2009) p247, *Plastic Age Co. Ltd.*

### Características del moldeo por compresión

1. Moldeo con baja presión: El flujo de material se presenta solamente dentro de la cavidad, lo cual permite moldear con baja presión. Además, moldear con baja presión genera pocas deformaciones de moldeo.
2. Bajo costo de equipos: La estructura de la máquina de moldeo es sencilla, y el molde es relativamente sencillo. Por lo anterior, el costo general de las máquinas y equipos es bajo.
3. Rango amplio para seleccionar materiales: No se requiere de alta fluidez.
4. Baja orientación del agente llenador: El flujo de material en el molde es bajo, esto hace pequeña la orientación del agente llenador, consecuentemente le da buena estabilidad dimensional.
5. Poco desperdicio de material: Hay poco desperdicio de material a tirar como sprue, runner y cull.

Fuente: *Kiichi Hasegawa*: "Transformación por moldeo", vol.10 No3 201 (1998)

### 4.2.2 Moldeo por transferencia

- 1) En este método, el material ablandado por calentamiento en una olla, es enviado a presión a la cavidad del molde vía *sprue* ➔ *runner* ➔ *gate*. Posteriormente el material se endurece.
- 2) En el moldeo por transferencia se han desarrollado nuevas técnicas, por ejemplo, para dar alta precisión dimensional y la técnica de moldeo con insertos con el fin de hacer posible la fabricación de piezas difíciles.
- 3) Se usa mucho en los moldes para encapsular semiconductores MPU y para moldear piezas electrónicas.
- 4) Las medidas de prevención para evitar envolver gases o burbujas de aire generados durante el moldeo, así como el balanceo de *runner* en el molde de múltiples cavidades son técnicas importantes.

Hay 2 métodos:

(1) Moldeo por transferencia con olla

En este método, se coloca el material en la olla de la máquina moldeadora y se inyecta el material por medio de un émbolo (pistón auxiliar). Los siguientes son los métodos en que se aprovecha este método;:

- 1) **Moldeo para encapsular:** Se moldea para encapsular semiconductores con materiales de buena fluidez.
- 2) **Moldeo para encapsular a baja presión:** Con el propósito de no atrapar burbujas de aire dentro de la pieza moldeada al momento de inyectar el material, se reduce la presión interior del molde para inyectar el material.

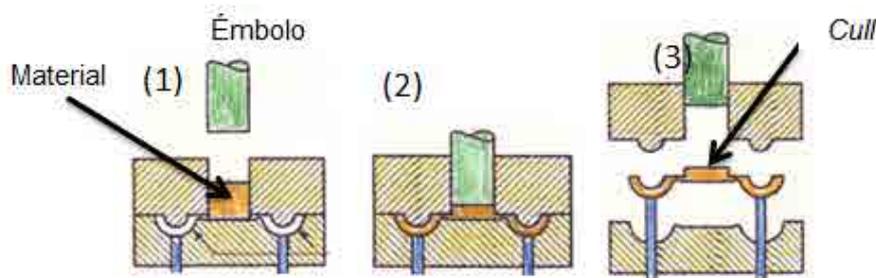


Fig. 8 Esquema de pasos de moldeo

Figura: Moldeo por transferencia con émbolo

Fuente: Texto de plástico del Instituto de Investigaciones Técnicas de la Ciudad de Osaka, (2009) p249, *Plastic Age Co. Ltd.*

(2) Moldeo por transferencia con émbolo

Se puede utilizar la prensa de moldeo por compresión convencional. Solamente el molde tiene que ser de transferencia.

- 1) Se colocan las tabletas en la olla del molde y posteriormente se le aplica presión por el émbolo del molde macho. La presión que se aplica es de 5 a 10MPa.
- 2) Se hace simultáneamente el cierre del molde y la penetración a presión. Deben cerrar bien el molde para que no se abra.
- 3) El sistema de olla requiere del desarmado, limpieza y armado del molde para cada operación para quitar cull. Se usa esta técnica para elaborar prototipos.
  - a) Se colocan las tabletas precalentadas.
  - b) Se aplica la presión para meter el material de moldeo a la cavidad.

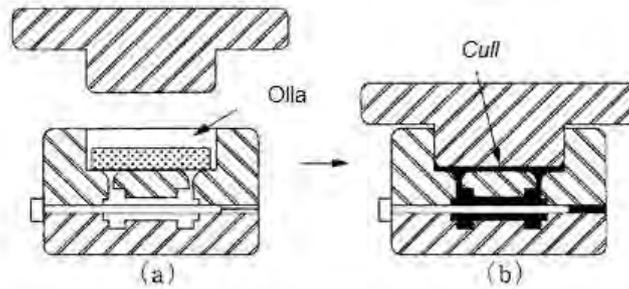


Figura: Moldeo por transferencia con olla

Fuente: Texto de plástico del Instituto de Investigaciones Técnicas de la Ciudad de Osaka, (2009) p249, *Plastic Age Co. Ltd.*

### Características del moldeo por transferencia

- 1) Es posible moldear a baja presión si el material es de buena fluidez.
- 2) Al momento de inyectar, se genera calor por fricción de cortes en las partes del runner y el gate, lo cual permite reducir el tiempo de curado.
- 3) Es fácil la automatización, así como como la aplicación de múltiples cavidades.
- 4) Se puede tener menos deformaciones de moldeo por medio del curado uniforme.
- 5) La precisión dimensional es buena debido a que se coloca el material después de haber cerrado el molde.
- 6) Se requiere de la alta fuerza de cierre del molde. (Unas 3 veces mayor que la fuerza de la máquina de moldeo por compresión.)
- 7) Hay desperdicio de material. (Cull, runner, etc.)
- 8) El agente llenador de fibra queda orientado, facilitando la presencia del pandeo en piezas moldeadas.

Fuente: Texto de plástico del Instituto de Investigaciones Técnicas de la Ciudad de Osaka, (2009) p249, *Plastic Age Co. Ltd.*

### 4.2.3 Moldeo por fundición (cast) o vaciado

Es un método de moldeo en que primero se coloca el material líquido o el monómero en el molde y posteriormente se cura para posteriormente ser extraído del molde.

Como materiales líquidos existen 1) resina fenólica, 2) epoxi, 3) poliéster no saturado, 4) urea formaldehído, 5) poliuretano, 6) silicona, y como monómero, existen los prepolímeros de 7) polimetilmetacrilato para hacer piezas de moldeo por fundición.

Se usa este método para fabricar piezas de gran tamaño, lentes para anteojos, herramientas entre otros y también para proteger algunas partes y componentes del medio ambiente o para fijarlos en algún lugar.

La lámina acrílica es un producto moldeado por fundición. Se vierte el prepolímero de polimetilmetacrilato en el molde hecho con dos vidrios reforzados, donde se hace la reacción química para obtener este producto

### Potting

- El moldeo en que se insertan las piezas eléctricas o circuitos eléctricos es denominado “*potting*”.
- Se usa esta técnica para proteger algunas partes de la humedad aislándolos del aire del medio ambiente para prevenir el deterioro o fijar circuitos.
- En el método de *potting*, se hace la encapsulación utilizando una caja protectora (o un estuche) como muestra la fig. 9, y se denomina *potting* solamente cuando la caja protectora esté integrada con todas las otras partes.

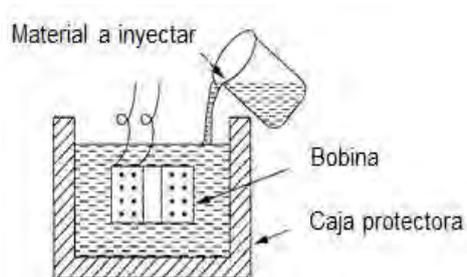


Fig. 7 Potting

Fuente: Texto de plástico del Instituto de Investigaciones Técnicas de la Ciudad de Osaka, (2009) p292, *Plastic Age Co. Ltd.*

#### 4.2.4 Moldeo por inyección del polímero termofijo

- 1) Características: En el cilindro no se llega al estado de fundición perfecta, sino al estado de semi-fundición a una temperatura menor que 100 °C en que se puede mantener una fluidez. Si sube más la temperatura, avanza el curado, perdiendo rápidamente la fluidez, y consecuentemente impidiendo el trabajo de llenado. La misma función que el calor de precalentamiento de tableta para el moldeo por compresión.
- 2) Materiales aplicables para el moldeo por inyección:  
Son a) resina fenólica, b) resina dialil-ftalato (DAP), c) poliéster.

3) Puntos clave de moldes:

- a) La reacción de endurecimiento ocurre dentro del molde, por esta razón se mantiene alta la temperatura del molde.
- b) El molde debe tener una estructura fácil de limpiar ya que se debe tomar en consideración la posibilidad de tener rebabas.
- c) Hay mucho desgaste, por lo que son inevitables las rebabas. Por lo anterior, se debe dar tratamiento térmico al material de molde.
- d) Se aplica el cromado a la superficie de la cavidad de molde como parte de las medidas de desmoldeo y anticorrosivas.
- e) Se lleva a cabo el curado dentro del molde, por lo que el calentamiento debe realizarse de manera uniforme.

Fuente: Instituto Municipal de Investigación Técnica de la ciudad de Osaka, "Texto de Plástico" (2009),p309, Editorial PlasticAge

#### 4.2.5 Moldeo con polímeros reforzados con fibras (FRP)

Clasificación:

- 1) Contact-pressuremolding: En este método se coloca por capas la fibra de vidrio impregnada con polímero de tipo roomtemperaturecuring en el molde y se deja curar. Se usa para fabricar lanchas y tinas para baño.  
Hay diferentes métodos; a) Hand lay up method, b) Spry up method.
- 2) Moldeo de alta presión: Se usa el molde con alta presión de 1 a 30MPa.  
a) Método SMC, b) Método BMC
- 3) Moldeo continuo: En este método hay 3 sub-métodos.
  - a) Filamentwindingmethod (FW): Tubo, tanque, cilindros de gas, etc.
  - b) Pultrusionmethod: Se pueden obtener productos de mayor resistencia a la dirección del eje de estirado. Materiales de construcción como láminas y barras cuadradas.
  - c) Moldeo de laminado continuo: Lámina ondulada, lámina plana, contenedor, productos aplicados.

Fuente: Instituto Municipal de Investigación Técnica de la ciudad de Osaka, "Texto de Plástico" (2009),p309, Editorial PlasticAge

#### Hand Lay up molding

Hay diferentes métodos de fabricar plástico reforzado con fibras (PRF) como plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV) y plástico reforzado con fibra de carbono

(PRFC). En su mayoría se usa el polímero termofijo y se debe mezclar el agente reforzante de fibras ( $\Phi$  13 micras y larga). Los productos de esta técnica son tinas de baño, cascos de lancha, tanques de gran tamaño.

Este método de Hand Lay Up sirve para moldear productos grandes en una sola pieza.

- 1) Elaboración del molde: madera, FRP.
- 2) Se aplica el desmoldante y una capa de gel. Encima de ellos, se coloca el reforzante de fibras.
- 3) Con rodillo o brocha se unta el material para moldeo en varias capas.
- 4) Se calienta para endurecer. Se quita del molde y luego se hace el trabajo de acabado para terminarlo como una lancha.



Figura: Proceso de Hand Lay Up Molding

Fuente: Editado por La Federación de Industria de Plásticos de Japón; "Plásticos, fácil de entender", p122(2010), Editorial NipponJitsugyo Publishing

#### 4.2.6 Moldeo por pultrusión

Es un método de moldeo de plástico reforzado. Se jalan las fibras largas y posteriormente se impregna en resina. Se les da forma, se pasan por un molde caliente para endurecerlas. Luego se cortan.

Se puede obtener productos con mayor resistencia a la dirección axial. Este método se usa para fabricar materiales de construcción y de estructura.

La pultrusión es un proceso continuo, automático y de molde cerrado, especialmente diseñado para altos volúmenes de producción, en cuyo caso es económicamente muy rentable.

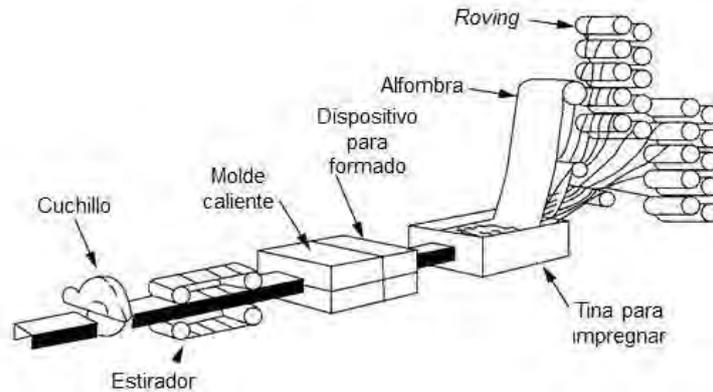


Figura:Proceso de Pultrusión

HisaoMorimoto: Prácticas de FRP, p240 Asociación dePublicaciones de Polímeros, 1984

Instituto Municipal de Investigación Técnica de la ciudad de Osaka, "Texto de Plástico" (2009),p307, Editorial PlasticAge

Básicamente consiste en tirar de los refuerzos impregnados con resina y el correspondiente sistema catalítico, a través de un molde a alta temperatura, de tal manera que se produce el curado de la resina en su interior y se obtienen perfiles de sección constante con la geometría del molde. Los refuerzos son impregnados con la resina mediante un baño de resina situado a la entrada del molde o por inyección de ésta en el interior del molde.

El proceso de pultrusión se utiliza para la obtención de piezas sólidas o huecas de sección constante, sustituyendo así a materiales tradicionales como son el acero, el hormigón o la madera. Una de las principales características de este proceso es la gran variedad de materiales que se pueden utilizar diferentes tipos de resinas, fibras, cargas, etc.) Cubriendo un amplio espectro de propiedades del composite final.

Más del 90% de los productos fabricados mediante pultrusión son de fibra de vidrio-poliéster. Cuando se requiere una alta resistencia a la corrosión se usan resinas de viniléster. Si es una combinación de altas propiedades mecánicas y eléctricas se usan las resinas de epoxi y cuando se necesitan combinar una alta resistencia a la temperatura y altas propiedades mecánicas se usan las resinas epoxi combinadas con fibras de aramida o de carbono

#### Descripción del proceso

La pultrusión es un proceso utilizado para la producción de tramos continuos de formas estructurales de plásticos reforzados con fibra. Las materias primas incluyen una mezcla de resina líquida (que contiene resinas, cargas y aditivos especializados) y fibras de refuerzo. El proceso consiste en tirar de estas materias primas (en lugar de empujar, como es el caso de extrusión) a través de una matriz de acero caliente, para formar, usando un dispositivo de tracción continua. Los materiales de refuerzo

son suministrados en forma continua, tales como, rollos de fieltro de fibra de vidrio (mat) y/o hilos de fibra de vidrio (roving).

Los refuerzos son saturados con la mezcla de resina ("wet-out") en la impregnación de resina y tirados a través de la matriz. La gelificación (o endurecimiento) de la resina se inicia por el calor del dado. El perfil rígido curado, formado se corresponde con la forma del dado.

Mientras que el diseño de la máquina de pultrusión varía con la geometría de la pieza, el concepto básico del proceso de pultrusión se describe en el siguiente esquema.



Fuente: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.mx/2011/07/pultrusion.html>

### Pullwinding

La tecnología pullwinding se parece mucho a la pultrusión tradicional y se aplica únicamente a los perfiles de forma tubular.

En el pullwinding se usan roving de vidrio colocados longitudinalmente en circunferencia respecto al eje del perfil.

La estructura así obtenida después de la polimerización en el molde calentado como en la pultrusión tradicional, da origen a un producto con rigidez muy superior gracias a una mejor orientación de los refuerzos.

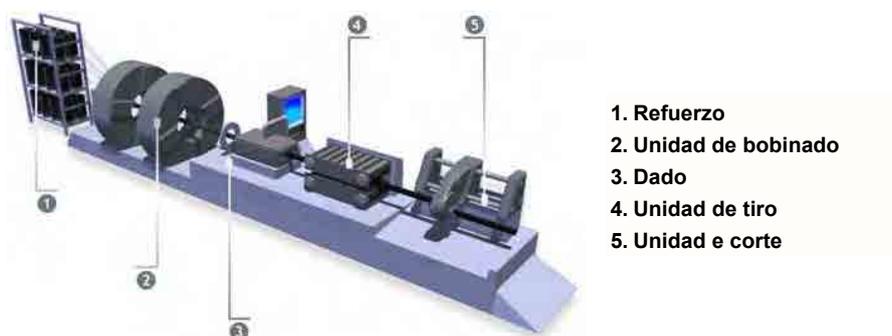


Imagen: Método Pullwinding

Fuente: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.mx/2011/07/pultrusion.html>

## Pultrusión de termoplásticos

A diferencia de la pultrusión tradicional, en la que se utilizan matrices termoendurecedoras, en este proceso se emplean matrices termoplásticas.

Con esta tecnología, por ejemplo, se producen perfiles compuestos en termoplástico con elevadas prestaciones mecánicas, gracias a las propiedades de la matriz de base (poliuretano termoplástico) que permite utilizar, como refuerzo, sobre todo fibra de vidrio longitudinal roving. Los perfiles obtenidos de esta manera presentan características mecánicas transversales superiores a aquellos fabricados con resinas termoendurecedoras reforzadas mat-roving-mat.

La pultrusión termoplástica ofrece además la posibilidad de revestir en continuo los perfiles con otras resinas termoplásticas (coextrusión), mejor aún si son compatibles químicamente, obteniendo también geometrías diversas de aquellas iniciales.

Además de los elevadísimos valores de resistencia mecánica y rigidez, otras ventajas de los perfiles pultrusionados termoplásticos con coextrusión en línea son una mayor resistencia al impacto y a la abrasión, la termoformación del perfil, el comoldeado y el acabado con colores fuertes típico de los perfiles de termoplástico

Fuentes: [www.tifac.org.in](http://www.tifac.org.in), [www.aimplas.es](http://www.aimplas.es), [www.topglass.com](http://www.topglass.com), [www.exelcomposites.com](http://www.exelcomposites.com), [www.ariespultrusion.com](http://www.ariespultrusion.com), [www.tecnipul.com](http://www.tecnipul.com), [www.pultrusions.org](http://www.pultrusions.org)

### 4.2.7 Moldeo por inyección - reacción (RIM)

#### **Moldeo por inyección - reacción (*Reaction Injection Molding* RIM)**

Un sistema representativo es el RIM de poliuretano. Se forma poliuretano por la reacción del isocianato y el poliol. También existe el sistema RIM de nailon.

Es una técnica para producir piezas de plástico mediante la inyección a baja presión de resinas termoestables en moldes.

Se pueden utilizar distintos tipos de moldes (de acero o de aluminio mecanizado, fundición de aluminio, caucho de silicona, resina epoxi), no obstante, son los moldes de resina los que se usan con más frecuencia. Principalmente se realizan moldes para series pequeñas construidos a partir de un modelo producido mediante métodos de prototipo rápido.

Se obtienen piezas de grandes dimensiones, resistentes que pueden ensayarse, mecanizarse, recibir tratamientos posteriores (arenados, deposiciones, metálicas) y

pintarse. Destacamos la flexibilidad de los modelos obtenidos, aunque no de manera multi-direccional.

Las resinas de poliuretano, con sus diferentes formulaciones, nos permiten obtener variedad de plásticos, desde elastómeros hasta policarbonatos.

Ventajas:

- Plazos cortos, Moldes de bajo costo
- Propiedades parecidas al producto final
- Buena precisión en los modelos
- Especialmente adecuado para piezas grandes
- Procesos automatizados
- Alto volumen de producción

Desventajas:

- Alta inversión
- Conocimientos técnicos especializados.

Proceso

En primer lugar, las dos partes del polímero se mezclan entre sí. La mezcla se inyecta en el molde bajo alta presión que utiliza un mezclador intensivo. La mezcla se deja reposar en el molde el tiempo suficiente para que se expanda y cure.

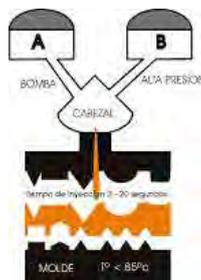


Figura: Mezcla de polímeros

Fuente: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.mx/2011/07/rim.html>

Si agentes de refuerzo se añade a la mezcla, entonces el proceso se conoce como el moldeo por inyección de reacción reforzadas (RRIM). Comúnmente se utilizan agentes de refuerzo como fibra de vidrio, mica y cerámica.

Este proceso se utiliza generalmente para producir paneles de espuma rígida de automoción.

Un subconjunto de RRIM es el moldeo por inyección de reacción estructural (SRIM), que utiliza mallas de fibra para el agente de refuerzo. La malla de fibra es primero ordenada en el molde y luego la mezcla de polímero es moldeado por inyección sobre la misma.

El material más común de procesar por RIM es poliuretano (conocido generalmente como PU-RIM), pero también poliureas, poliisocianuratos, poliésteres, poliepóxidos y nylon 6. Para poliuretano uno de los componentes de la mezcla es poliisocianato y el otro componente es una mezcla de polioliol, surfactante, catalizador y agente de expansión.

Otro material de gran importancia moldeado por inyección reactiva es el polidiciclopentadieno (PDCPD).

Los polímeros PDCPD tienen una alta rigidez, excelente resistencia al impacto, así como un buen aspecto superficial y resistencia a la corrosión lo que lo hace ideal para una amplia gama de aplicaciones.

Mediante el uso de catalizadores se hace posible controlar el punto de inicio de reacción. Esto hace posible hacer grandes piezas de plástico (100kg y superior) en un corto periodo de tiempo. El diciclopentadieno y comonomeros son los materiales inyectados dentro del molde para reaccionar obteniéndose el polímero.

Proceso RIM poliuretano.

Los dos reactivos líquidos (isocianato y polioliol) se almacenan en tanques separados con temperatura de alimentación controlada y equipado con agitadores. Desde de estos tanques, el polioliol e isocianato son alimentados a través de las líneas de suministro a las unidades de medición que, suministran la cantidad precisa de reactivos y presión necesaria, al cabezal mezclador.

Cuando comienza la inyección y las válvulas del cabezal mezclador se abren, los reactivos líquidos entrar en una cámara en el cabezal mezclador a presiones de entre 1.500 y 3.000 psi en el que se mezclan intensamente por el choque de alta velocidad.

De la cámara de mezcla, el líquido fluye en el molde a presión atmosférica aproximadamente y se somete a una reacción química exotérmica, que forman el polímero de poliuretano en el molde. Tiempos de disparo y el ciclo varían, dependiendo del tamaño de la pieza y el sistema de poliuretano utilizado. Un molde de mediano para una pieza elastomérica puede ser llenado en un segundo o menos y estar listo para desmoldar en 30 - 60 segundos.

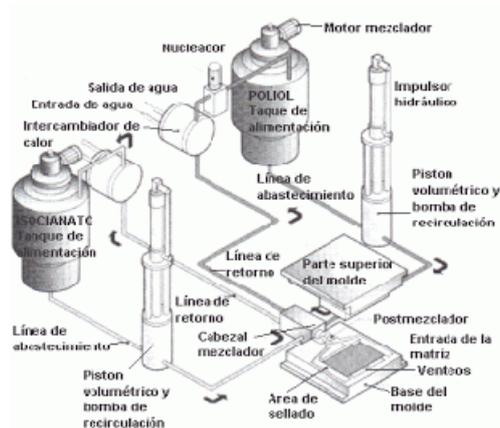


Figura: Sistema Poliuretano RIM

Fuente: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.mx/2011/07/rim.html>

El moldeo por inyección reactiva puede producir piezas fuertes, flexibles y ligeras que pueden ser fácilmente pintadas. También tiene la ventaja de tiempos de ciclo rápido en comparación con los típicos materiales conformados por vacío. La mezcla de dos componentes se inyecta en el molde tiene una viscosidad mucho más baja que fundidos polímeros termoplásticos, por lo tanto, piezas grandes, de peso ligero y de pared delgada puede ser procesado con éxito por RIM. Esta mezcla menos viscosa también requiere menos fuerza de cierre, lo que lleva a un equipo más pequeño y por último, reducir el costo del proceso. Otra ventaja del procesamiento de espuma por RIM es que la pieza puede tener una capa de alta densidad y un núcleo de baja densidad.

Las desventajas son lentos tiempos de ciclo, en comparación con el moldeo por inyección, y materias primas caras.

Fuentes: [www.aseem.net](http://www.aseem.net), [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org), [www.creativeurethanes.com](http://www.creativeurethanes.com), [www.armstrongmold.com](http://www.armstrongmold.com), [www.pslc.ws](http://www.pslc.ws)

#### 4.2.8 Moldeo por transferencia de resina (RTM)

El moldeo por transferencia de resina es el método que se usa para elaborar el plástico reforzado con fibra de carbono (PRFC) usado para las industrias aeronáutica y automovilística. Se corta el material base intermedio como lámina y tela, el cual es laminado y formado para llegar a ser preforma, posteriormente esto es colocado en el molde. Después se inyecta el material principal, resina para impregnarlo y endurecerlo.

A diferencia del *Filamentwindingmolding*, el RTM no recibe limitaciones de la forma del PRFC. Tiene la ventaja de poder dársele formas complejas. Su uso es amplio, por ejemplo, para las partes de apariencia de automóviles y aviones *Boeing*. Sirve para

reducir el peso; en comparación con el acero, su peso es un 50% menor y con aleación de aluminio, un 30%.

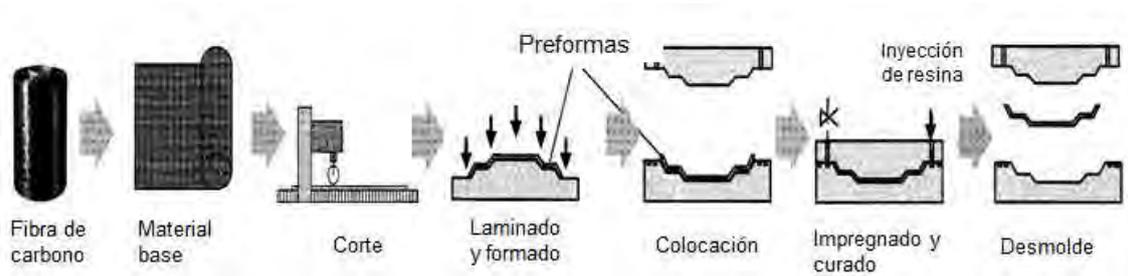


Figura: Sistema Poliuretano RTM

Fuente: Eisuke Wadahara y otros: "Transformación por Moldeo", vol 19, No12, (2007) p751

### Ejercicio Sugerencia para contenido 4.2.1 al 4.2.8



- Buscar videos que muestren los diferentes procesos.
- Relacionar aplicaciones y productos que se obtienen por este tipo de proceso.

Observaciones: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

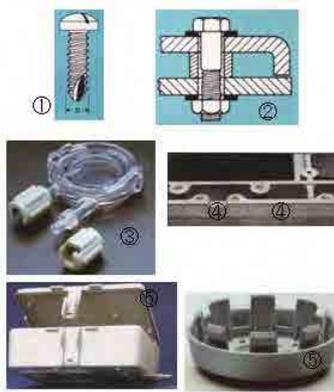
### 4.3 Procesos secundarios

El tratamiento secundario de los productos moldeados de plástico se aplica según los siguientes objetivos y métodos:

1. Diseño y decoración: Se realizará para proporcionar al producto una presentación estética y/o manera de identificación.
  - 1) Pintado, 2) Impresión, 3) Marcado por láser, 4) Metalizado
2. Dar funciones a la superficie: Se mejorarán las funciones de: absorción ultravioleta, antiestática, conductividad eléctrica, anti-roces.
  - 1) Pintado, 2) Deposición al vacío
3. Dar funciones múltiples: Se proporcionarán nuevas funciones mediante la unión con diferentes materiales y cualidades.
  - 1) Adhesión, 2) Snap-fit, 3) Unión por tornillo, 4) Soldadura

4. Dar una libertad en el diseño de la forma del producto: Se unirán las piezas moldeadas para acabar en un producto de forma compleja.

1) Adhesión, 2) Snap-fit, 3) Unión por tornillo, 4) Soldadura



#### 4.3.1 Métodos de unión del plástico

Métodos de unión mecánica:

- 1) Tornillo auto-roscado
- 2) Perno, tuerca, arandela
- 3) Tornillo moldeado
- 4) Press fit (inserción a presión)
- 5) Snap fitting

Fuente: Bayer: Documentos técnicos, "Técnicas de unión de Makrolon"

Unión mediante adhesivo

Se aplica una solución adhesiva al material objeto y después se aprieta a presión y se endurece mediante la volatilización y la reacción del disolvente con lo que se obtiene la adhesión completa.



Foto-2: Elaboración de fuelles de teflón (PTFE)  
Kubopura Corporation, [www.kubopura.com](http://www.kubopura.com)

## Métodos de unión mediante fundición térmica

La soldadura es el método que integra las superficies de unión a través de los procesos de fundición, apretado a presión y solidificación en frío. Existen los siguientes métodos: calentar y fundir mediante una fuente térmica exterior; fundir por auto-calentamiento de la resina; soldar dentro del molde en el proceso de moldeo. A continuación, se comparan diferentes métodos con las hojas y la película.

Concepto	Soldadura por placa caliente	Soldadura por impulso	Soldadura por alta frecuencia	Soldadura por ultra-sonido
Posibilidad de hacer soldadura continua	○	◎	◎	◎
Tiempo de ciclo	Largo	Mediano	Corto	Corto
Apariencia de la parte soldada	Buena	Excelente	Excelente	Excelente
Espesor de la hoja a aplicar	Mediano	Delgado	Delgado a grueso	Delgado
PE	◎	◎	x	○
PP no orientado	◎	◎	x	◎
PP orientado	○	○	x	○
PVC soft	◎	○	◎	○
PET	-	○	x	○

Cuadro: Características de diversos métodos de soldadura de hojas y película

Editado por el Instituto Municipal de Investigación Técnica de Osaka: Conferencia sobre el plástico (2009) p.319, Plastics Age Co., Ltd

Aparte de estos métodos, se utilizan la soldadura térmica por inducción de alta frecuencia, la soldadura por vibración y la soldadura por láser.

### Soldadura por placa caliente

La placa caliente hace contacto con las partes a soldar para fundirlas e inmediatamente después se aplica la presión a las superficies fundidas manteniendo dicha presión hasta que se pegan firmemente para unir las.

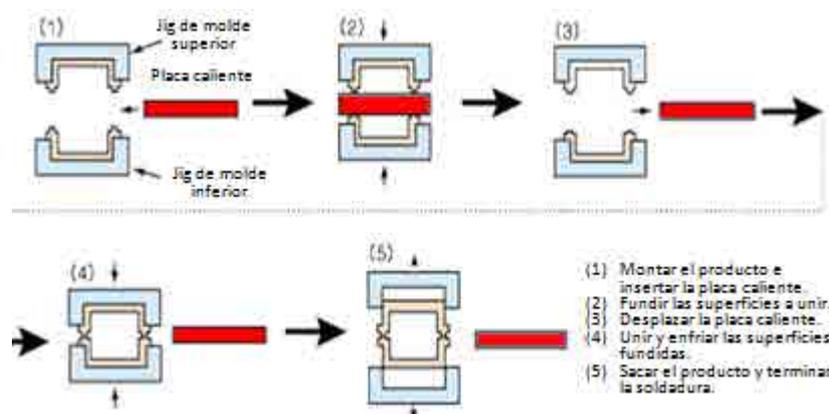


Figura: Proceso de la soldadura por placa caliente, Polyplastics Co.,Ltd., Muestra técnica

Seiichi Honma: Técnicas de tratamiento secundario del plástico (2007) p.68, Kogyo Chosakai Publishing Co., Ltd.

## Soldadura por impulsos

La soldadura por impulsos es apta para la fundición y unión del termoplástico en forma de película u hoja con punto de fusión bajo. Se genera el calor instantáneamente aplicando corriente eléctrica masiva al elemento calentador (cinta de nicromo) ubicado en la punta de la terminal durante un mínimo tiempo. Para esta soldadura, se sujeta el material a soldar con la terminal y se calienta la superficie a soldar.

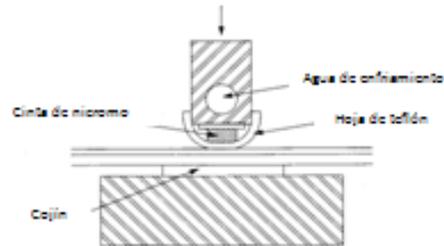


Figura: Proceso de la soldadura por impulsos

Editado por el Instituto Municipal de Investigación Técnica de Osaka: Conferencia sobre el plástico (2009) p.315, Plastics Age Co., Ltd

## Soldadura por alta frecuencia

Se colocan los materiales a soldar (con característica dieléctrica) entre los moldes del electrodo y se aprietan a presión mediante una prensa de aire. Por medio de un campo eléctrico de alta frecuencia, se ocasiona la vibración de las moléculas de los materiales a soldar solamente en su parte apretada a presión con los moldes del electrodo. Con el calor interno generado en este momento se realiza la soldadura.

## Soldadura por ultrasonido

Los elementos PZT (titanato zirconato de plomo) generan vibraciones ultrasónicas cuando se les aplica una corriente eléctrica de alta frecuencia. Por medio del vibrador donde se integran dichos elementos se transmiten las vibraciones ultrasónicas al dispositivo de trabajo, y al mismo tiempo se aplica la fuerza de presión al material plástico colocado firmemente, lo cual hace generar un fuerte calor de fricción en una parte del producto plástico. De esta manera se realiza la fundición y soldadura de las partes a unir.

## Soldadura por vibración

Se ponen juntas las dos superficies a unir y se les aplica presión, y al mismo tiempo se aplican las vibraciones por unos milímetros en dirección horizontal. Las superficies a unir se funden mediante la energía de fricción. Después de suspender las vibraciones, se aplica la presión y se enfría para unir las. En cuanto a la frecuencia

para una máquina de soldadura por vibración, generalmente se utilizan 100Hz (amplitud de vibración: aprox. 3mm) o 240Hz (amplitud de vibración: aprox. 1.5mm) .

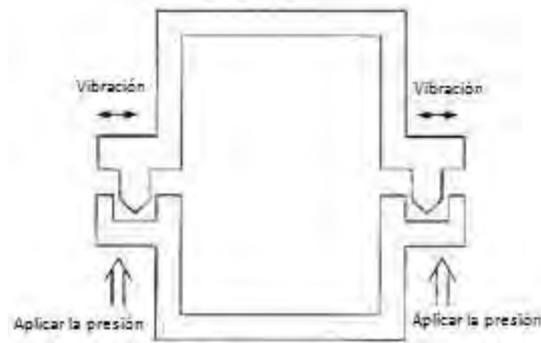


Figura: Principio de la soldadura por vibración

Seiichi Honma: Técnicas de tratamiento secundario del plástico (2007) p.77, Kogyo Chosakai Publishing Co., Ltd.

### Soldadura térmica por inducción de alta frecuencia

Cuando se mete un conductor en el campo magnético de alta frecuencia, inducen en el mismo las corrientes parásitas de alta frecuencia con las que éste se auto-calienta. Como conductor eléctrico se utiliza el hierro (sustancia magnética), aluminio o acero y como adhesivo se aplica una barra redonda de plástico compuesto con polvo magnético u hojas de plástico.

Los materiales se encajan y el conductor se mete en la parte a unir al mismo tiempo que se aplican el calentamiento y la presión.

En el conductor metálico se induce el calor de manera selectiva y se funde el adhesivo de resina de su alrededor. Así se funden las superficies a adherir y se logra la soldadura.

### Soldadura por transmisión laser

El material que transmite el láser (material transmisor) y el material que absorbe láser (material absorbente). Desde el lado del material transmisor se aplica la radiación explorada de rayos láser. En la interfaz de ambos materiales, el material absorbente absorbe los rayos láser y mediante la fricción dinámica intermolecular se genera el calor interno empezando a fundir el material absorbente desde su superficie.

Al mismo tiempo, este calor se transmite al lado del material transmisor que hace contacto y funde alrededor de la interfaz lográndose así la soldadura por fundición de ambas superficies.

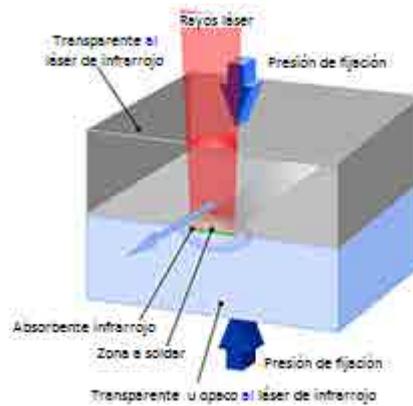


Figura: Diagrama de la soldadura por transmisión láser  
 Seiichi Honma: Técnicas de tratamiento secundario del plástico (2007), Kogyo Chosakai Publishing Co., Ltd.

### 4.3.2 Pintado

El pintado consiste en formar una capa de pintura en la superficie del producto moldeado para mejorar la calidad y funciones de la superficie.

Tiene como objetivo mejorar el diseño y la apariencia tal como la unificación de colores con otros materiales, etc., mejorar la resistencia al clima y la dureza de la superficie, otorgar funciones de anti-electrización, barrera al gas, etc.

Recibe la influencia de las características peculiares de la superficie (brillo, aspereza), del material correspondiente y hay limitaciones en la selección de materiales colorantes. Es más apto para la producción masiva y tiene dificultades en atender a las peticiones particulares.

En cuanto a las técnicas de decoración de la superficie mediante el pintado, se puede aplicar el trabajo a la superficie de acuerdo con la texturización, metalización o mayor brillo. Tiene la ventaja de poder realizar la producción de alta variedad y bajo volumen de acuerdo con la apariencia requerida.

En caso del reciclaje del material: 1) Revisar si se puede separar la capa de pintura del material de base. 2) Triturar todos todos juntos y lo triturado se compone con el material virgen del mismo material de base. Es necesario analizar si la calidad del material a moldear cumple con los requerimientos determinados.

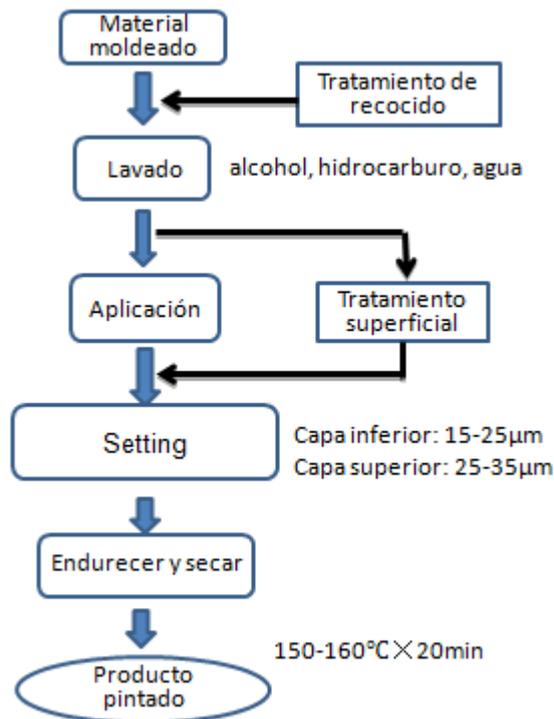


Figura-12: Diagrama del proceso de pintado

Seiichi Honma: Técnicas de tratamiento secundario del plástico (2007) p.94-97, Kogyo Chosakai Publishing Co., Ltd.

### 4.3.3 Impresión

Entre las técnicas de los tratamientos secundarios que otorgan peculiaridades como diseño e identidad, etc. colocando algunas letras y dibujos en la superficie de los productos moldeados de plástico (método de decoración superficial), existen los métodos de impresión. A continuación, se resumen las características de estos métodos. Se utilizan frecuentemente en el termoestampado y en las envolturas y envases de hojas y película.

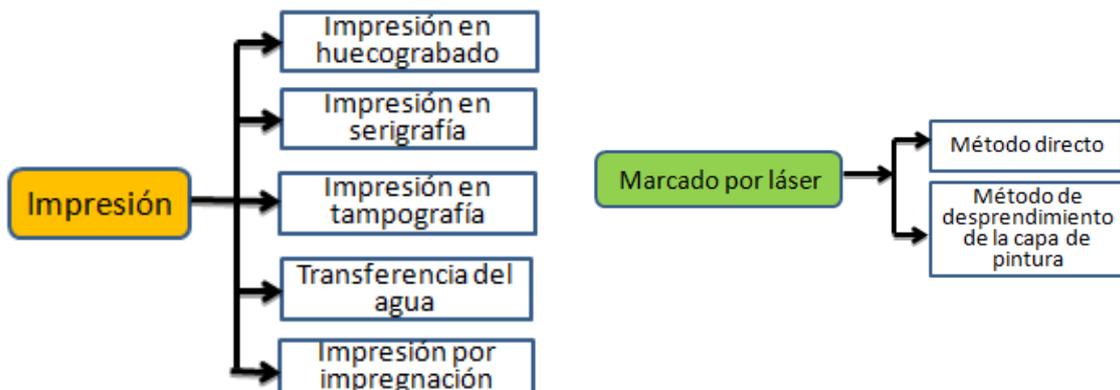


Diagrama sistemático de impresión

Seiichi Honma: Técnicas de tratamiento secundario del plástico (2007) p.110, Kogyo Chosakai Publishing Co., Ltd.

#### 4.3.4 Métodos de metalizado

El chapado en húmedo es el método de formar una capa dentro de una solución de metales disueltos.

El chapado en seco es el método de formar una capa al vacío.

1) Capa delgada y ligera. 2) Se puede realizar la metalización de diversos colores. 3) Se puede aplicar en diversos procesos. 4) En el chapado en húmedo la solución residual presenta una gran carga ambiental generando altos costos por las instalaciones del tratamiento y sus operaciones. Según los métodos de control, es posible ocasionar una contaminación.

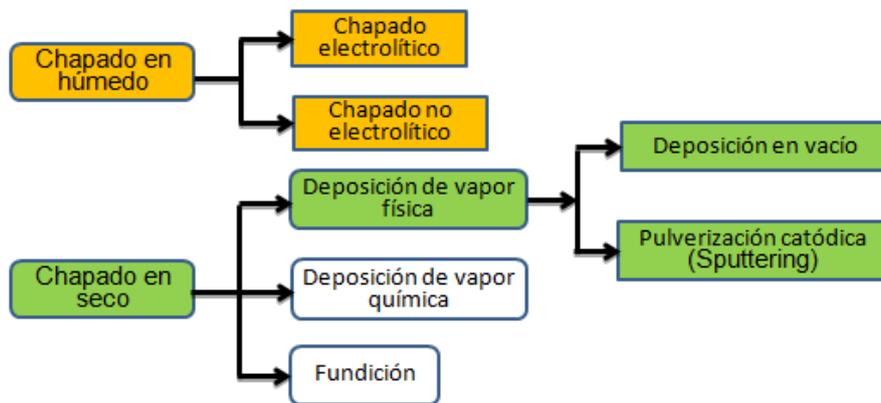


Figura: Diagrama sistemático de la metalización

#### 4.3.5 Otros

##### (1) Tratamiento de entrada del material

Se refiere a eliminar las partes superficiales (land parts) de la entrada restringida del material, después de sacar el producto moldeado. 1) No debe quedar la marca de corte en forma convexa. 2) No se debe cortar hasta la parte del producto.

##### (2) Eliminación de rebabas

Se refiere a eliminar la “resina sobresaliente” de la línea PL del molde y/o la parte de escape de gas.

##### (3) Tratamiento de recocido (annealing)

Se refiere al tratamiento térmico del producto moldeado dentro de una cámara de alta temperatura. 1) Se elimina el esfuerzo residual y se evita una posible deformación y fisuras. 2) Los productos de plástico cristalino cambiarán sus dimensiones en el proceso de ser expuestos a una temperatura más alta que la

de los moldes, presentado posteriormente la cristalización y la contracción térmica. Por ello, se estimula previamente esta reacción.

(4) Acabado pulido

Para el acabado de entrada del material, a veces se realiza el pulido de la superficie o la eliminación de rayas, etc. utilizando un agente abrasivo. El tipo de pulido se seleccionará según el objetivo y la dureza superficial del producto moldeado.

(5) Acondicionamiento de la humedad

La tasa de absorción de agua es 0% en la resina de poliamida (nylon) inmediatamente después de ser moldeada, pero llegará a absorber el agua si la dejamos tal como está. Al absorber el agua, aumentará su dimensión y bajará la resistencia del material. La tasa de absorción de agua se determina según la temperatura ambiente y la humedad relativa en las cuales se vaya a exponer el material. Por lo que este tratamiento se refiere a acondicionar el material a la tasa de absorción de agua correspondiente al ambiente de uso (temperatura, humedad relativa).

**Ejercicio Sugerencia para contenido 4.3**



- Buscar información de los procesos secundarios.
- Exponer sobre los temas investigados.
- Relacionar aplicaciones y productos que utilizan estos procesos.

Observaciones: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_



# Manual del Docente

Para la impartición del  
Bachillerato Tecnológico en Transformación de Plásticos



## Tema 5

# Caracterización



## 5. Caracterización de Plásticos

¿Qué es la caracterización de materiales plásticos? Para entender, primeramente entenderemos el significado de la palabra:

### Caracterizar.

1. tr. Determinar los atributos peculiares de alguien o de algo, de modo que claramente se distinga de los demás. [U. t. c. prnl.](#)

Algo para el BTTP son los materiales plásticos, así que determinaremos las propiedades y características de cada material que permita claramente distinguirla de los demás. Tomando en cuenta lo anterior consideramos la siguiente definición:

### Caracterización de materiales plásticos.

Es la identificación o determinación de las propiedades del material a través de pruebas específicas, repetidas y normalizadas, cuyo resultado se maneja con métodos estadísticos.

Para poder llevar a cabo la caracterización de materiales plásticos es importante enseñar a los alumnos del BTTP, que es importante seguir estándares y normas. En el caso de los materiales plásticos, existen varias organizaciones que regulan las pruebas, estándares y características con las que deben cumplir los productos terminados.

Por lo anterior y para estandarizar el concepto, tomaremos como referencia la definición de **normalización** por parte de la Secretaría de Economía de México, que dice lo siguiente:

Es el proceso mediante el cual se regulan las actividades desempeñadas por los sectores tanto privado como público, en materia de salud, medio ambiente en general, seguridad al usuario, información comercial, prácticas de comercio, industrial y laboral a través del cual se establecen la terminología, la clasificación, las directrices, las especificaciones, los atributos las características, los métodos de prueba o las prescripciones aplicables a un producto, proceso o servicio.

Como uno de los objetivos del BTTP, es crear un pensamiento global de visión internacional del manejo de materiales plásticos, es importante mencionar a los alumnos algunas de las instituciones que regulan y normalizan muchas de las características con las que deben cumplir los materiales plásticos.

### International Organization for Standardization (ISO)

- Produce normas internacionales industriales y comerciales.
- Dichas estándares se conocen como Normas ISO.
- Coordina Normas Nacionales, con la Organización Mundial de Comercio.
- Facilita el intercambio de información.
- Contribuye con estándares comunes para desarrollo y transferencia de tecnología.



### American Society for Testing and Materials (ASTM) International

- Un organismo de normalización de origen EEUU.
- En 2001 asume su nombre internacional.
- Líder en la definición y pruebas de materiales.
- Casi monopolio en la industria petrolera y petroquímica.



### Deutsches Institut für Normung (DIN)

- Organismo Alemán con sede en Berlín.
- Desarrolla normas y estándares como un servicio a la industria.
- 26000 expertos contribuyen con conocimientos y experiencias para la normalización.
- 90% de las normas DIN son de carácter Internacional.



### Food and Drug Administration (FDA)

- Agencia de EEUU.
- Regula alimentos tanto para seres humanos como animales.
- Medicamentos, Cosméticos, Aparatos médicos, productos biológicos, etc.
- Vigila a fabricantes de estos productos solamente después de que éstos han colocado productos inseguros en el mercado.



### American National Standards Institute (ANSI)

- Supervisa el desarrollo de estándares para productos, servicios, procesos y sistemas en los Estados Unidos.
- Es miembro de la ISO y la International Electrotechnical Commission (IEC).
- Aprueba estándares de otras organizaciones.
- Asegura la fabricación de procesos cotidianos.
- Certifica productos y personal.



### National institute of Standards and Technology (NIST)

- Organismo en Estados Unidos, promueve la innovación y la competencia industrial
- Desarrollo de en metrología, estándares y tecnología
- Laboratorios altamente especializados en física, tecnologías de la información, ciencia, químicas, ingeniería eléctrica y electrónica, ciencia e ingeniería material, ingeniería manufacturera, e investigación en la construcción.



### National Electrical Manufacturers Association (NEMA)

- Es un foro para la normalización de los equipos eléctricos.
- Desarrollo de normas técnicas desarrolladas en conjunto con American.
- National Standards Institute (ANSI) o la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC).
- Promueve la seguridad en la fabricación y uso de productos eléctricos.



### National Fire Protection Association (NFPA)

- Es la organización reconocida a nivel mundial
- Especializada en fuego, protección y prevención
- Promociona códigos y normas.
- Investiga, informa y educa
- Acreditado por la American National Standards Institute (ANSI)



### National Sanitation Foundation (NSF)

- Organización no gubernamental.
- Líder mundial en la en el desarrollo de normas, certificación de productos, educación, y de gestión de los riesgos para la salud y la seguridad públicas.



### Society of Plastics Engineers (SPE)

- Apoyo a personas y empresas de la industria del plástico.
- Difunde conocimiento, el fortalecimiento de capacidades y la promoción de los plásticos.
- Mantiene una red mundial de más de 20000 miembros.



### Society of Plastics Industry (SPI)

- Asociación comercial que representa una de las mayores industrias de fabricación en los Estados Unidos.



- Promueve el desarrollo de la industria de plásticos.
- Representa y sirve como portavoz de la industria local, nacional e internacional.
- Promueve el crecimiento, la competitividad y el progreso de la tecnología.

#### Underwriters Laboratories (UL)



- Organización independiente de certificación de seguridad de los productos.
- Evalúa más de 19000 tipos de productos, componentes, materiales y sistemas de cada año con 21 mil millones de marcas.
- Compañía de nivel mundial, incluyen 62 laboratorios, instalaciones de ensayos y certificación prestando un servicio a clientes en 99 países.

Es importante no dejar de mencionar a los alumnos del BTTP, que también existen la Norma Oficial Mexicana (NOM), que parte de cumplir muchos de los estándares y características de las organizaciones que se mencionaron.

#### ¿Para que caracterizar?

Es la pregunta que debemos hacer y responder a los alumnos, no sin antes propiciar que los alumnos respondan y analicen la importancia de la caracterización en los materiales plásticos.

Una vez de realizar la anterior dinámica, a continuación mencionamos unas de las principales motivos por el cual caracterizar:

1. Para aprobar diseños, se refiere a que con la medición de propiedades y características de los materiales se puede considerar aprobar diseños de molde.
2. Especificaciones confiables, verificar y proporcionar especificaciones de un material.
3. Evitar demandas de productos, si las especificaciones no están comprobadas podemos causar una demanda por fallas en alguna propiedad del producto terminado.
4. Cumplir estándares, cuando el producto estará en el mercado local o internacional se debe cubrir con normas específicas.
5. Cumplir especificaciones, cuando fabricamos para un cliente que nos solicita estándares específicos.
6. Control de calidad, hacer pruebas para aprobar el lote producido.

7. Verificar el proceso de manufactura, cuando se encuentran defectos hay que hacer ajustes de proceso.
8. Evaluar productos similares, saber y comparar el producto con la competencia.
9. Establecer historia de nuevos materiales, cuando se desconoce el material o la formulación se caracteriza para conocer las propiedades del material.

¿Cuales son las propiedades o características que se deben medir?

Son las propiedades importantes que se valoran y miden en los materiales plásticos, dentro de ellas entran:

La densidad, a través de las pruebas ASTM D792 y ASTM D1505.

La contracción de moldeo, a través de las pruebas ASTM D955, ISO 2577 o DIN 16901.

La absorción de agua, a través de las pruebas ASTM D570, ISO 62 o DIN 53495.

La permeabilidad, a través de las pruebas ASTM D1434, ISO 1133 o DIN 53380 (gases) DIN53122 (vapor).

El índice de fluidez, a través de las pruebas ASTM D1238 o ISO 1133.

La resistencia a la tensión, a través de las pruebas ASTM D638, ISO 527 o DIN 53 455.

La elongación, a través de las pruebas ASTM D638, ISO 527 o DIN 53 455.

La resistencia a la compresión, a través de las pruebas ASTM D695, ISO 604 o DIN 53454.

La resistencia de flexión, a través de las pruebas ASTM D790, ISO 178 o DIN 53 452.

La resistencia al impacto izod, a través de las pruebas ASTM D256-A o ISO 180.

La resistencia impacto charpy, a través de las pruebas ASTM D256-B, ISO 179 o DIN 53 453.

La dureza Rockwell, a través de las pruebas ROCKWELL ASTM D785, ISO 2039, SHORE ASTM D2240, ISO 868, DIN 53505 o BARCOL ASTM D2583.

La temperatura vicat, a través de las pruebas ASTM D1525, ISO 306 o DIN 53 460.

La temperatura de flexión, a través de las pruebas ASTM D648, ISO 75 o DIN 53 461.

La resistencia conductividad térmica, a través de las pruebas ASTM C177 o DIN 52 612.

La resistencia al calor continuo, a través de la prueba ASTM D756.

La inflamabilidad, a través de las pruebas UL 94 V-0, UL 94 V-1 y UL 94 V-2.

La resistividad volumétrica, a través de las pruebas ASTM D257, ISO IEC 93, 167 o DIN 53 482.

La constante dieléctrica, a través de las pruebas ASTM D635, ISO 1210 o DIN 53 438.

La resistencia al arco, a través de las pruebas ASTM D495 o DIN 53 484.

La resistencia dieléctrica, a través de las pruebas ASTM D149, ISO IEC 243 o DIN 53 981.

El índice de refracción, a través de las pruebas ASTM D542 o ISO 489.

La transmitancia, a través de las pruebas ASTM D1003 o DIN 53 491.

La prueba de inmersión, a través de las pruebas ASTM D543 o ISO 175.

La resistencia a manchas de sulfuro, a través de la prueba ASTM D1712.

El Intemperismo, a través de las pruebas ASTM D1693 o ISO 4599.

Entre otras pruebas que se van actualizando o modificando para cumplir con los estándares o normas establecidas para productos plásticos.

#### Ejercicio Sugerencia para contenido 5



Trabajo  
En equipo

- Se recomienda buscar y explicar cómo es la prueba o procedimiento de medición.
- Realizar las prácticas de medición de propiedades mecánicas: tensión, compresión y flexión.

Observaciones: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

## 5.1 Identificación de plásticos

- (1) "Identificar" significa aclarar qué tipo de plástico es un plástico desconocido.

La composición de plástico se refiere a los elementos componentes de un plástico y su proporción.

- (2) En la identificación del plástico, lo primordial es el análisis de componentes poliméricos, pero se identifican también los ingredientes.

- (3) Una cabal identificación del plástico debe llevarse a cabo mediante análisis cualitativos por fármacos o aparatos, análisis elementales, espectros de absorción de características producidos por la vibración y absorción de moléculas poliméricas, etc.

En el piso de trabajo de moldeo, algunas veces se demanda una identificación rápida de algunas muestras desconocidas.

- (4) Se realiza la identificación de un modo sencillo, combinando la prueba de combustión, la medición de densidad o la de punto de fusión.

Combinando estos métodos con el análisis elemental, el análisis de gas por destilación seca y la prueba de solubilidad, se identifican los polímeros en termoplásticos o termofijos y en cristalinos o amorfos. Además, en polímeros commodities o en plásticos de ingeniería.

- (5) Identificadas las materias primas, se aprovechan para: ① prever las propiedades de productos moldeados; ② el control de calidad y las medidas preventivas contra productos defectuosos en el sitio de moldeo.

## Procedimiento para la identificación de plásticos

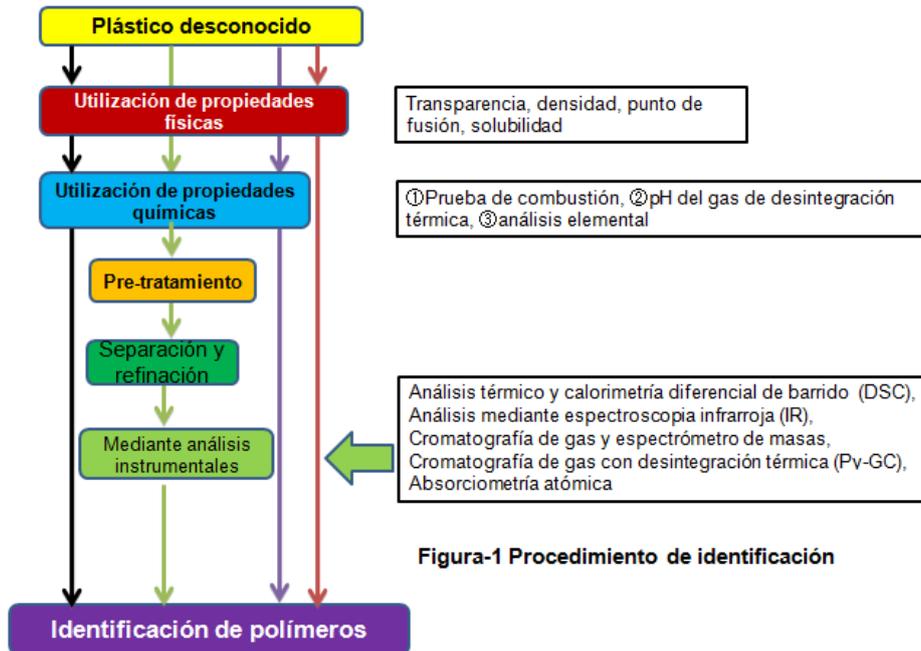


Imagen: Procedimiento de identificación

Fuente: Misión Japonesa M2-2

### 5.1.1 Claves para la identificación de materiales

#### Técnicas de moldeo

- 1) Moldeo por inyección (de pared delgada).
- 2) Moldeo por extrusión: Películas, hojas, tubos, láminas, barras redondas, etc.
- 3) Moldeo por soplado.
- 4) Termoformado y formado al vacío.
- 5) Maquinado secundario.

#### Propiedades químicas

- 1) Combustibilidad.
- 2) Absorción de agua.
- 3) Resistencia a sustancia química (solubilidad de la estructura química).
- 4) Gas de desintegración térmica.

#### Funcionamientos requeridos

- 1) Resistencia a sustancia química.
- 2) Termoresistencia.
- 3) Resistencia mecánica.
- 4) Resistencia al desgaste.

- 5) Requerimiento eléctrico.
- 6) Requerimiento óptico.

### Propiedades físicas

- 1) ¿Transparente u opaco?
- 2) Densidad: Si el plástico está elaborado con un solo polímero, se puede lograr una determinación aproximada mediante la medición de densidad.
- 3) ¿Se funde o se quema al ser calentado?
- 4) ¿Tiene punto de fusión o de ablandamiento?  
Lo representativo de los polímeros termoplásticos es la medición de punto de fusión.
- 5) Se puede medir la solubilidad a través del parámetro de solubilidad (SP).

Se determina a través del solvente que tenga el valor de SP cercano al del polímero en cuestión, y que pueda ser materia prima del buen solvente.

Esta última clave de identificación es la que se conoce como la prueba empírica de identificación de materiales plásticos. Es la que se propone llevar a cabo en el BTTP con los alumnos, se desarrollara la práctica que permita estandarizar el procedimiento de identificación, pero sin duda el mismo ensayo permite que cada maestro pueda diseñar o establecer su procedimiento.

Los tres métodos más utilizados para identificación de materiales plásticos, se representan en la siguiente imagen:



Imagen: Métodos de identificación de materiales plásticos.

### 5.1.2 Identificación Química

Análisis de contenidos elementales mediante análisis químico

El análisis químico es una técnica empleada para determinar, a través de algunas sustancias químicas, los elementos contenidos en el polímero, que permite identificar exactamente el material. En el caso de elementos como nitrógeno, halógeno, azufre y fósforo, es posible realizar el análisis cualitativo rápida y fácilmente usando métodos relativamente sencillos.

Después de quemar el plástico en un crisol de cerámica o platino e incinerarlo en el horno eléctrico a temperatura de 400 a 600 °C, se elabora una solución no diluida; o se efectúa el análisis inorgánico húmedo mediante el gas de desintegración térmica por destilación seca.

- 1) **Nitrógeno:** Se realiza la desintegración térmica de una pequeña cantidad de muestra en un tubo de ensayo, agregándole decenas de tantos de cal sodada (mezcla de óxido de calcio e hidróxido de sodio). Si el gas de desintegración térmica azula el papel de tornasol o el indicador BTB (azul de bromotimol), existe amoníaco y se comprueba la presencia del nitrógeno.
- 2) **Azufre:** Al calentarse una pequeña cantidad de muestra en un tubo de ensayo, agregándole hidróxido de sodio, el azufre se convierte en sulfuro sódico ( $\text{Na}_2\text{S}$ ). Si se le agrega una solución acuosa de acetato de plomo, se obtiene una precipitación negra de sulfuro de plomo.
- 3) **Halógeno:** Después de poner la muestra de plástico en contacto con un alambre de cobre limpio y ardiente, se la acerca a la llama incoloro del mechero Bunsen. Si se observa una reacción de coloración de llama en verde, se comprueba la presencia del halógeno (polímero con contenido de cloro volátil proveniente del cobre haloideo).

Importancia del pre-tratamiento de muestras para el análisis:

- (1) Se limpia y se separa con solvente orgánico el lubricante, el colorante seco, etc., que puede tener el pellet de resina.
- (2) La separación de los componentes poliméricos de los materiales de mezcla se efectúa, por lo general, mediante solvente. En el caso de muestras que contengan sustancias insolubles, a través de la incineración y eliminación de las sustancias orgánicas por desintegración a alta temperatura, se obtienen como residuo sólo los materiales de relleno y de reforzamiento, lo cual facilita la identificación (método de incineración seca).

- (3) Se obtiene cada componente por separado, mediante los procesos de extracción mediante solventes orgánicos, solución, precipitación, filtración, centrifugado, etc. En este caso, lo importante es el comportamiento del plástico ante el solvente.
- 1) Aunque los polímeros termofijos no se disuelven normalmente en el solvente, los componentes no termofijos se pueden obtener por extracción. Éstos permiten hacer análisis para identificarlo.
  - 2) En el caso de los polímeros termoplásticos, se pueden obtener del líquido resultante de la extracción, el plastificante y otros materiales de mezcla para su identificación.
- (4) Si la muestra es de la película de capas múltiples, se calienta dentro del solvente para el desprendimiento de capas y al diluirse se puede separar componentes por disolución.

**Detección de azufre:**  
Comprobación de  $S^{2-}$ : Al agregarse acetato de plomo (II)  $Pb(CH_3COO)_2$ , se genera precipitación negra de sulfuro de plomo (II)  $PbS$ .

**Detección de nitrógeno:**  
Comprobación de  $NH_3$ : Al acercarle al gas generado un papel de tornasol rojo humedecido, éste se vuelve azul.  
Se puede comprobar el  $NH_3$  mediante el cambio de coloración del reactivo Nessler.

**Detección de hidrógeno:**  
Comprobación de  $H_2O$ : Al ponerse en contacto el líquido producido cerca de la boca del tubo con el anhídrido blanco de sulfato de cobre (II), éste se convierte en pentahidrato de color azul.

**Detección de carbono:**  
Comprobación de  $CO_2$ : Al pasar por el agua de cal el gas saliente del tubo, el agua adquiere turbidez blanca.

**Detección de cloro:**  
Comprobación de  $Cu^{2+}$ : Se puede observar la reacción de coloración de llama en verde azulado debido al  $Cu^{2+}$ .

**Al calentarse con hidróxido de sodio  $NaOH$ , el nitrógeno  $N$  se convierte en  $NH_3$  y el azufre  $S$  en sulfuro sódico  $Na_2S$ .**

**Al calentarse la muestra finamente picada y mezclada con óxido de cobre (II) ( $CuO$ ), convierte el elemento carbono  $C$  en  $CO_2$  y el hidrógeno  $H$  en  $H_2O$ .**

**Al calentarse la muestra con alambre de cobre caliente, el cloro  $Cl$  se convierte en cloruro de cobre (II) ( $CuCl_2$ ), mismo que muestra fácilmente una reacción de coloración de llama.**

Imagen: Análisis elemental

Fuente: "Ciencia a través de las Fotos: Química Ilustrada (1999)", página 142, Editorial Suken

### 5.1.3 Identificación Instrumental

Análisis instrumental para la identificación de plásticos

Para poder identificar estructuras poliméricas, materiales de rellenos, aditivos y/o componentes volátiles en los materiales plásticos existen varios instrumentos de alta eficacia y costo. Es importante que el alumno del BTTP, tenga la referencia de que existen estos instrumentos y una sencilla descripción de cómo funciona, por lo anterior presentamos la siguiente tabla:

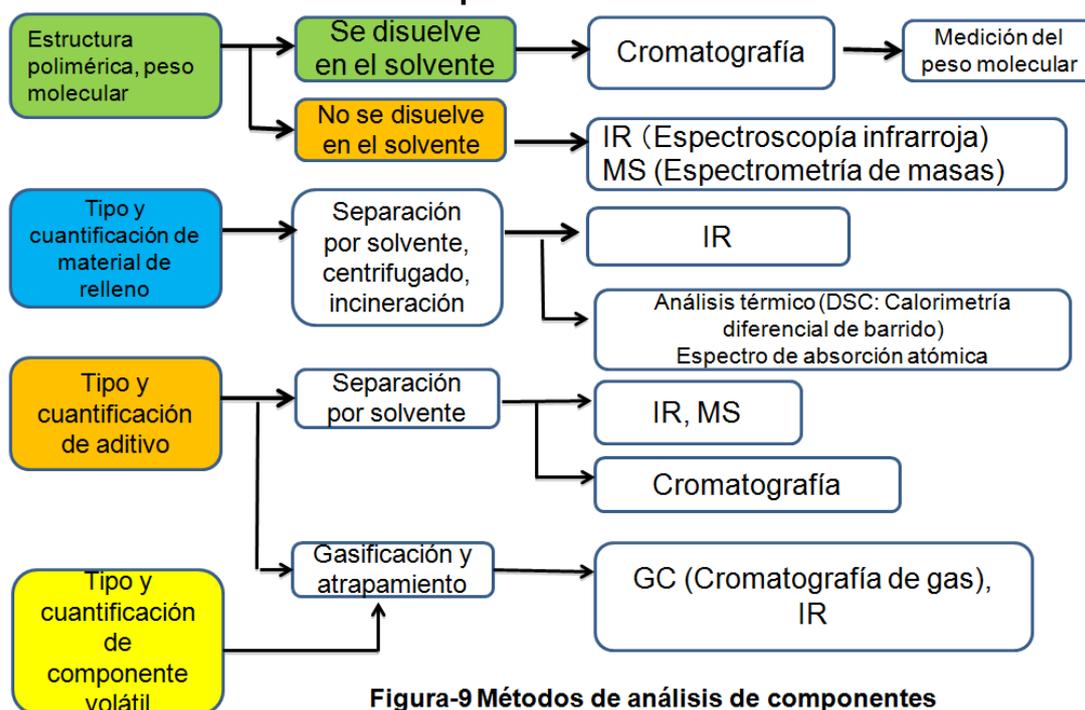


Figura-9 Métodos de análisis de componentes

Imagen: Análisis elemental

Fuente: Misión Japonesa M2-2

#### Calorimetría diferencial de barrido (DSC)

Es una técnica termo analítica para medir la diferencia de calor entre la muestra y la referencia. Primeramente se colocan la muestra y la referencia en sus respectivas bandejas en el mismo horno, donde la temperatura va en ascenso y descenso a una velocidad constante, para analizar las transiciones térmicas de la muestra. En la gráfica se usan las funciones de temperatura y tiempo.

Se pueden identificar los plásticos mediante la medición de: 1) temperatura de fusión, 2) temperatura de transición vítrea, 3) temperatura de desintegración térmica, temperatura de cristalización, etc.

Como por ejemplo, en el caso de los plásticos termofijos se emplea para analizar los estados, la aclaración de la reacción de endurecimiento.

### 8.1(1) Calorimetría diferencial de barrido: Curva de DSC

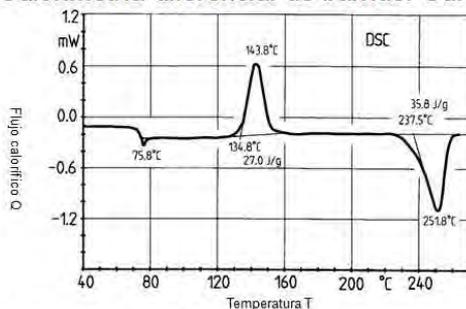


Figura-11 Gráfico del PETP amorfo (película de muestra)

Fuente: Gerd Pötsch Walter Michaeli :Injection Moldin An Introduction, p.39 (1995), HANSEER

Ejemplo: Calorimetría diferencial, M2-2

### Espectroscopia infrarroja

Los rayos infrarrojos funcionan para calentar los objetos que reciben su radiación.

Al exponerse un compuesto orgánico a los rayos infrarrojos, las moléculas del compuesto que tienen la misma frecuencia de vibración que la de rayos infrarrojos absorben estos rayos.

El equipo detecta el estiramiento o contracción del enlace molecular y obtiene el espectro propio de la estructura molecular.

El espectro que se obtiene siempre muestra el mismo modelo de espectro si se trata del mismo objeto, al igual la huella dactilar.

Es un método de medición fácil y capaz de analizar todo tipo de muestras, ofreciendo una buena repetitividad. El método más empleado es el análisis de espectroscopia infrarroja de transformada de Fourier (FT-IR).

### 8.2 (1) Gráficos de absorción característica de infrarroja

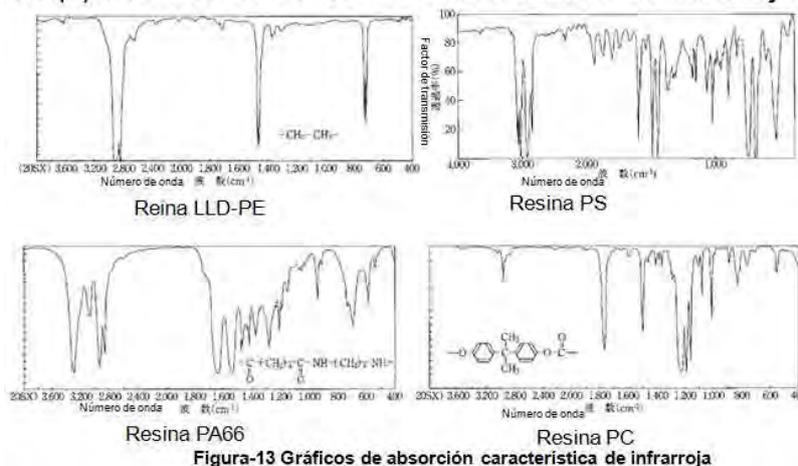


Figura-13 Gráficos de absorción característica de infrarroja

Ejemplo: Espectroscopia infrarroja, M2-2

## Cromatografía de gas (GC) - Espectrómetro de masa (MS)

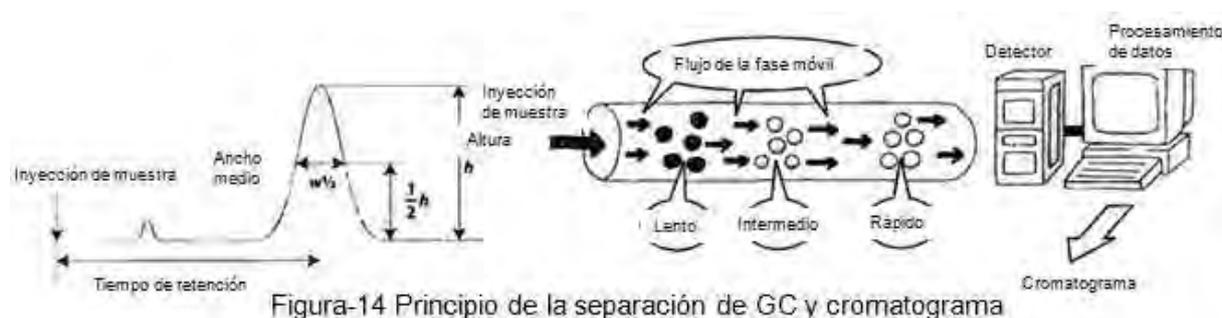
La GC es un método analítico que realiza simultáneamente la separación y la detección de compuestos orgánicos de una mezcla.

En el MS se combina el análisis espectral en el que se realiza la detección a partir de la dispersión de moléculas ionizadas en el vacío.

La combinación de GC-MS es una poderosa técnica de identificación, por la destacada capacidad de separación de la GC y la excelencia cualitativa de MS.

La cromatografía se refiere al método en el que la muestra atraviesa la columna, y se realiza la separación de los componentes a través de sus distintas velocidades.

Se emplea principalmente para analizar compuestos orgánicos, con la finalidad de separar unos componentes de otros de la muestra a analizar, o los ingredientes heterogéneos de la misma.



Ejemplo: Principio de separación GC, M2-2

## Cromatografía de gas con desintegración térmica (PyGC)

Es apropiada para las muestras que no son tan fáciles de prepararse como en el caso del análisis espectroscópico infrarrojo, tales como los plásticos termofijos, distintos tipos de materiales complejos, los vulcanizados como goma, etc. Es útil también para los copolímeros.

En el horno de desintegración, se desintegra de manera momentánea una muestra de 0.1mg aproximadamente, por calentamiento por inducción electromagnética. Se separa el gas que se genera, utilizando la cromatografía de gas con temperatura en ascenso.

Empleando el espectrómetro de masas como detector, se obtiene la masa de cada componente y se determina instantáneamente la estructura química.

Es un equipo de desintegración térmica en diferentes fases, que permite hacer la extracción térmica de materiales de mezcla de la muestra de plástico, como el plastificante, el antioxidante, entre otros, lo que facilita el análisis de los mismos.

Espectrometría de absorción atómica

Se emplea para el análisis de metales.

La espectrometría de absorción atómica (AAS) es un método para medir la absorción de luz del **elemento atomizado**. La **atomización** se realiza de la siguiente manera:

- 1) Espectrometría de absorción atómica con llama, en la que la muestra atraviesa una llama. (Para producir la llama se utiliza la combustión de aire y acetileno, de óxido nitroso y acetileno, etc.)
- 2) Espectrometría de absorción atómica sin llama, en la que se mete la muestra en un tubo de grafito para ser atomizada por calor producido por corriente eléctrica. Se pueden detectar elementos inorgánicos como los metales, y como fuente luminosa se utilizan diferentes lámparas según el compuesto químico a analizar.

#### 5.1.4 Identificación Empírica

Método de identificación de polímeros mediante prueba de combustión

La reacción de combustión depende de la estructura química del polímero o sus elementos componentes. Al quemarse las muestras cerca de la llama incolora del quemador, cada una reacciona a su propia manera.

**La combustibilidad**, el olor, el humo, la ceniza, entre otras cosas, son medios para identificar los polímeros fácil y rápidamente. Se acerca la muestra a la llama del quemador, se observa para identificar el polímero con base en el diagrama del proceso de identificación.

1. Dificultad de combustión: Arde o no arde. **Incombustibilidad: P F , UF, MF, PVDC**, resina de fluorocarbono (alto contenido de nitrógeno y halógeno).
2. Se extingue al alejarse de la llama. Auto-extinguibilidad: PVC, PET, PA
3. Continúa ardiendo aunque se aleja de la llama. Inflamabilidad: Los del grupo de olefinas, como PE y PP, continúan ardiendo con pequeña llama pálida.

**Estado de la llama (Humo):** Sin presencia de humo, con escaso humo, con abundante humo.

**Cambio de estado físico:** Sin goteo, con goteo (caen gotas de polímero mientras arde.)

Es importante observar el **estado posterior a la incineración**: si la incineración deja ceniza blanca o residuo negro.

Finalmente una característica que nos ayudara a identificar un material después de realizar y observar su comportamiento a la flama será: el **olor**.



Foto-1 Combustión de plásticos

Fuente: "Ciencia a través de las Fotos: Química Ilustrada (1999)", página 174, Editorial Suken, M2-2.

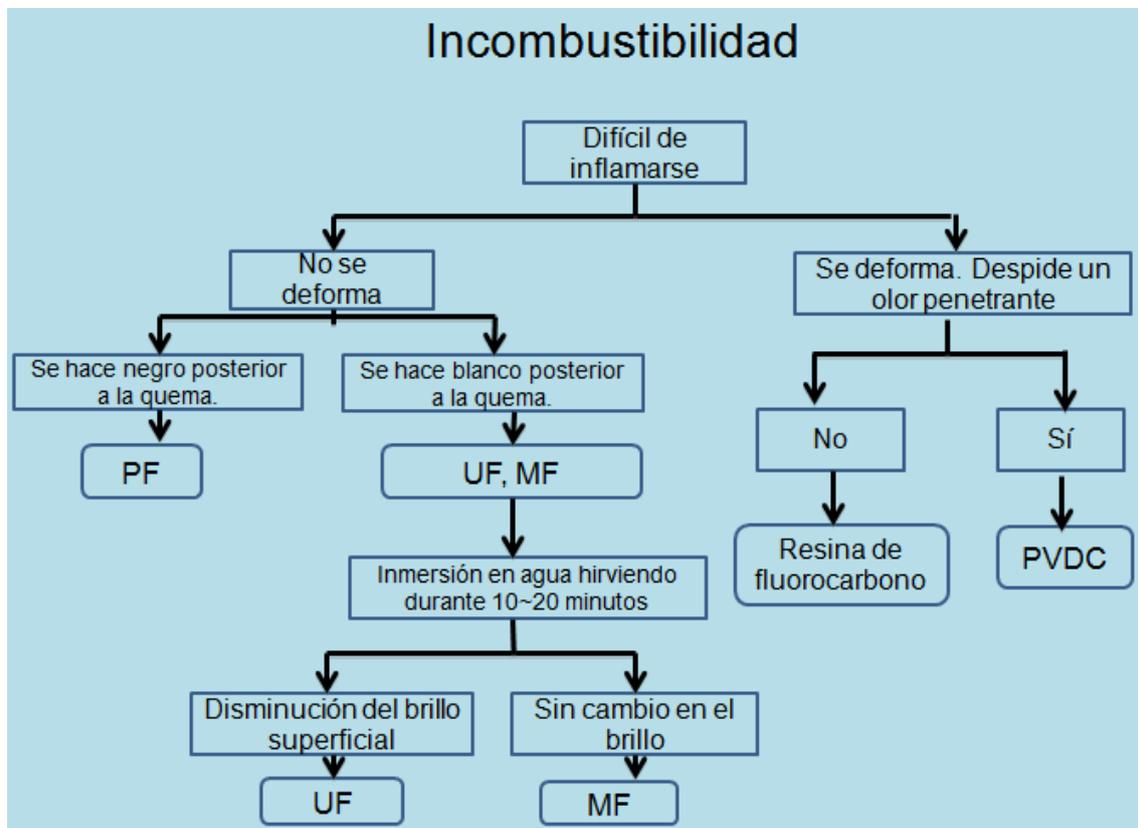


Figura: Diagrama de identificación de polímeros por prueba de combustión: Incombustibilidad

Fuente: Misión japonesa, M2-2.

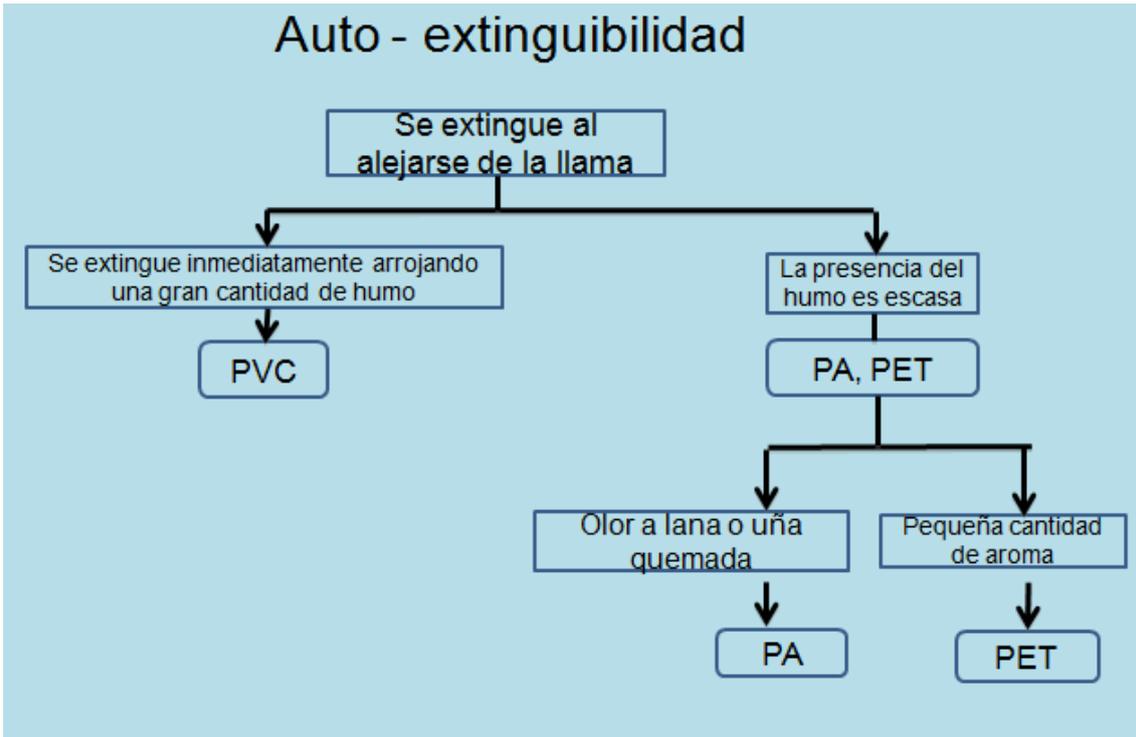


Figura: Diagrama de identificación de polímeros por prueba de combustión: Auto-extinguibilidad  
 Fuente: Misión japonesa, M2-2.

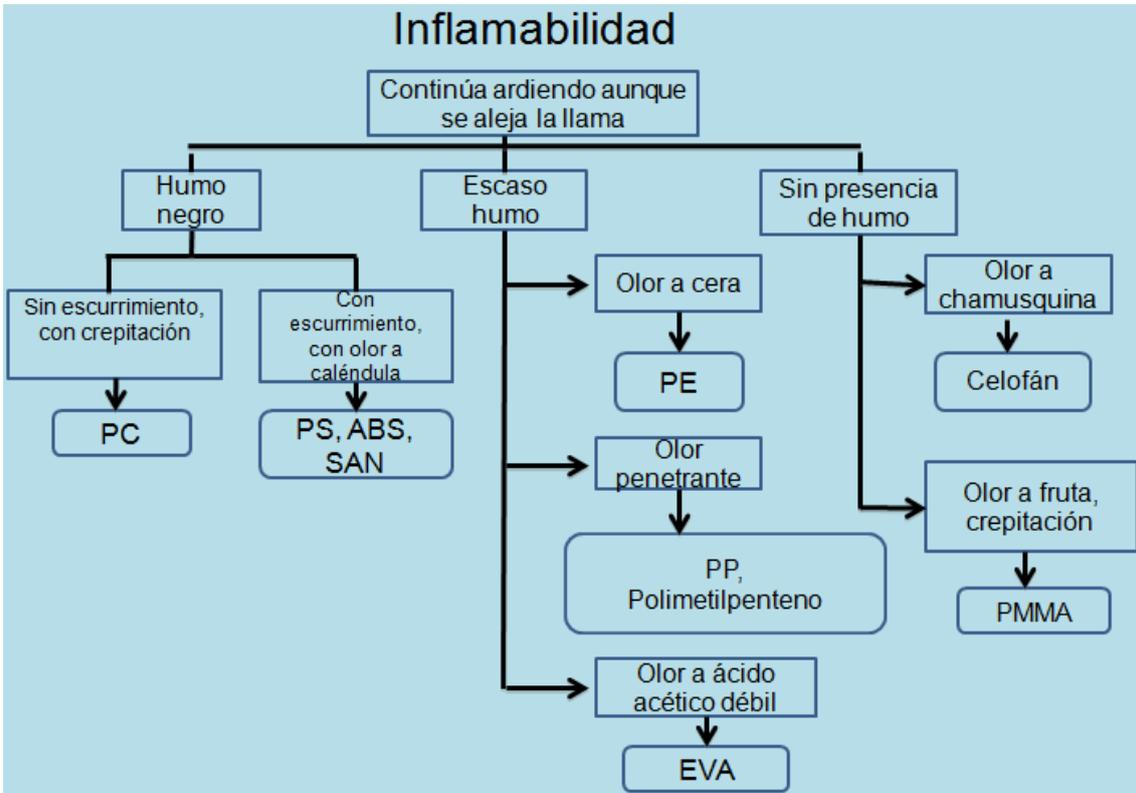


Figura: Diagrama de discriminación de polímeros por prueba de combustión: Inflamabilidad  
 Fuente: Misión japonesa, M2-2.

## Análisis de gases de destilación seca: Clasificación mediante medición de pH

Se genera el gas de desintegración térmica mediante la destilación seca de la muestra en el tubo de ensayo. Con el papel de tornasol se mide el pH del gas para clasificar el polímero. El gas generado por este método es producto de la desintegración térmica del polímero, pero hay que tener precaución ya que contiene, además, componentes volátiles derivados del solvente, aditivo y relleno.

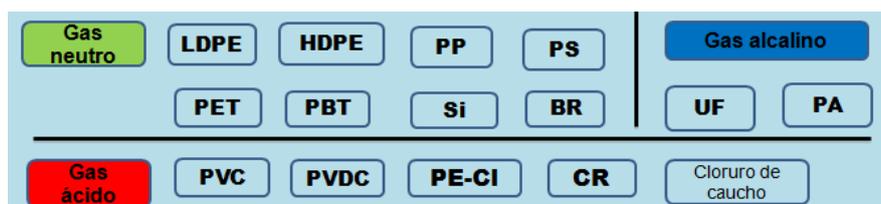


Imagen: Desintegración de plásticos y papel universal de prueba de pH

Fuente: Ciencia a través de las Fotos: Química Ilustrada (1999)", página 174, Editorial Suken, M2-2.

## Olores de gas de destilación seca

El olor que se percibe en la prueba de combustión, se debe al olor de cada monómero que contiene el material plástico despiden por la desintegración térmica. Por ejemplo:

Nombre del plástico	Olor
Resina fenólica: PF	Olor de fenol, olor de formaldehído
Resina de urea: UF	Olor de formaldehído, olor de pescado (amina)
Resina de poliéster insaturado: UP	Olor de monómero de estireno
Resina epóxica: EP	Olor penetrante propio de esta resina
cloruro de polivinilo: PVC	Olor penetrante de ácido clorhídrico
Polietileno: PE	Olor de parafina
Polistireno: PS	Olor de monómero de estireno
Poliamida: PA	Olor de proteína quemada
Polimetilmetacrilato: PMMA	Aroma de metacrilato
Polycarbonato: PC	Olor penetrante propio de esta resina
Poliacetal: POM	Olor de formaldehído
Resina de acetato de celulosa (celuloide)	Olor de ácido acético

## Sistema de identificación por densidad del plástico

Con la ayuda de varias soluciones de densidad mixta regulada y conocida, se introduce la muestra de plástico para realizar la identificación comparativa. Por ejemplo:

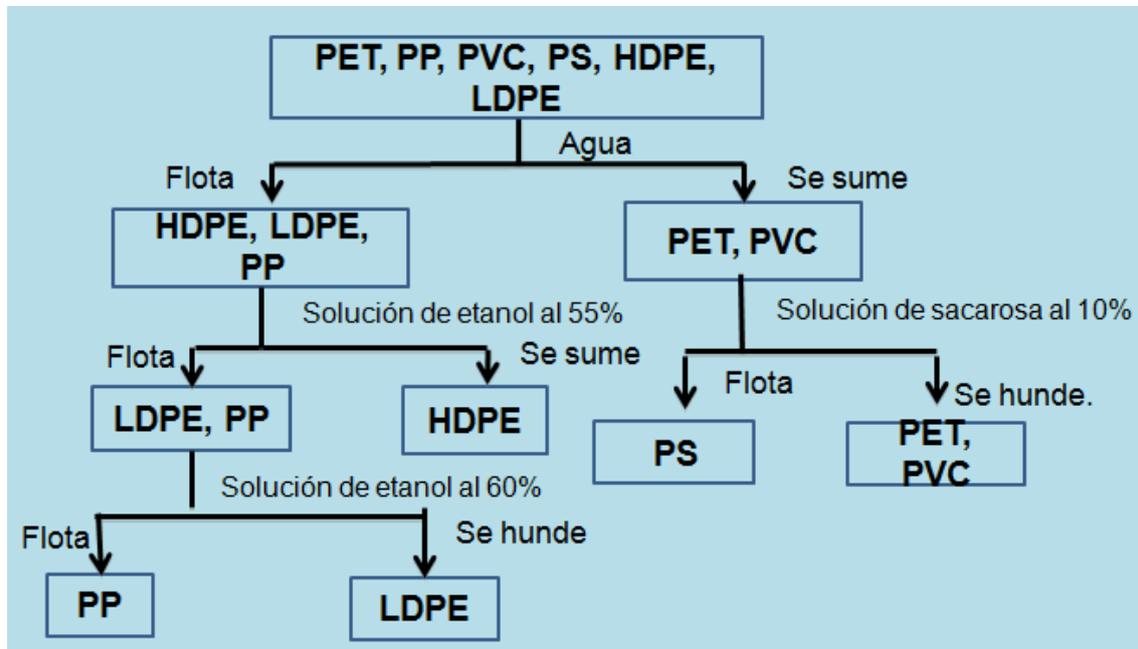


Figura: Diagrama del sistema de identificación por densidad de plásticos de uso general  
Fuente: Misión japonesa, M2-2.

Para tener mejor resultado en este ensayo, es importante conocer la densidad de los diferentes materiales plásticos.

Nombre del plástico	Densidad	Punto de fusión °C	Temperatura de transición vítrea ° C
<b>HDPE</b>	<b>0.94~ 0.96</b>	<b>125~135</b>	<b>-125, &lt;-100</b>
<b>LDPE</b>	<b>0.914~0.928</b>	<b>100~110</b>	<b>-100</b>
<b>LLDPE</b>	<b>0.92~0.94</b>		
<b>PP (Homo-polymer)</b>	<b>0.90~0.91</b>	<b>160~165</b>	<b>-20</b>
<b>GP PS</b>	<b>1.05</b>		<b>90~100</b>
<b>HI PS</b>	<b>1.00~1.05</b>		<b>-85</b>
<b>AS</b>	<b>1.06~1.08</b>		
<b>ABS</b>	<b>1.16~1.21</b>		
<b>ABS High-impact</b>	<b>1.01~1.05</b>		
<b>PVC soft</b>	<b>1.16~1.35</b>		<b>-50~80</b>
<b>PVC rigid</b>	<b>1.38~1.55</b>	<b>212~220</b>	<b>80</b>
<b>PMMA</b>	<b>1.15~1.19</b>		<b>105~120</b>
<b>PET</b>	<b>1.33~1.40</b>	<b>255~260</b>	<b>70~80</b>

**Densidad de plásticos *comodities* y la temperatura de transición**

Fuente: Misión japonesa, M2-2.

Nombre del plástico	Densidad	Punto de fusión °C	Temperatura de transición vítrea °C	Nombre del plástico	Densidad	Punto de fusión °C	Temperatura de transición vítrea °C
PA6	1.12~1.15	223	78	PPS (para no reforzados)	1.34	285-290	85-95
PA66	1.13~1.16	255~265	90	PSF (amorfo)	1.24		190
PA66 GF33%	1.33~1.34			PES (amorfo)	1.37		225-230
PA610	1.07~1.09	210~220		PSU (amorfo)	1.24-1.25		185-190
POM (homo-polymer)	1.41~1.43	165~175	-70	PPSF (amorfo)	1.29		220
PC	1.20~1.24		145	PAR (amorfo)	1.21		193
PC GF30%	1.40~1.43			LCP tipo II GF30	1.62		
PBT	1.31~1.32	220~230	45~60	PEEK	1.32	334-340	143
PBT GF30%	1.48~1.53			PI (térmico)	1.36-1.43		250
PPE modify	1.08						

Densidad de plásticos de ingeniería y la temperatura de transición
Densidad de plásticos de súper-ingeniería y la temperatura de transición

Fuente: Misión japonesa, M2-2.

### Propiedades físicas del plástico transparente

- 1) Se clasifica a grandes rasgos en los grupos PMMA, PC y PS.
- 2) La resina PC difiere de otros materiales transparentes por su alto grado de transparencia, tenacidad y temperatura de formación térmica.
- 3) La diferencia entre los grupos PMMA y PS radica en la densidad y el factor de refracción.

Tabla: Propiedades del plástico óptico

Conceptos	Unidad	PMMA	PC	PS	SAN
Factor de transmitancia óptica	%	92-93	87-89	88-90	90
Factor de refracción	-	1.49	1.59	1.59	1.57
Temperatura de deflexión en caliente	°C	100	138-142	70-100	80-95
Densidad		1.19	1.20	1.06	1.07
Resistencia al impacto Izod	Kg/cm/cm	2.2-2.8	80-100	1.4-2.8	2.5-3.0

Fuente: "Progreso de las Resinas Transparentes" por Fumio Ide, 2001, pág.49, Comisión de Estudios Industriales. M2-2

### Ejercicio Sugerencia para contenido 5.1.4



Trabajo  
En equipo

- Realizar la práctica de identificación empírica.

Observaciones: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

# Manual del Docente

Para la impartición del  
Bachillerato Tecnológico en Transformación de Plásticos



## Tema 6

# Preparación de materiales para proceso

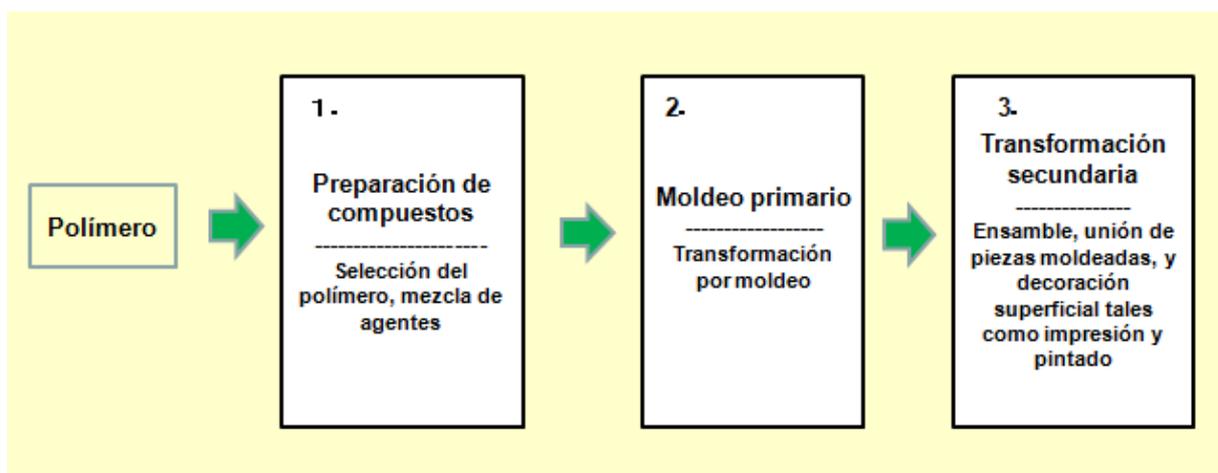


## 6. Preparación de materiales para proceso

La preparación de materiales para procesos es la aplicación de los conocimientos previos que adquirimos durante el desarrollo de este manual, después de conocer las propiedades y características que tienen los materiales plásticos, así como; los aditivos, cargas, reforzantes pigmentos y colorantes que nos pueden ayudar a mejorar algunas de estas propiedades, estamos en la posibilidad de hablar de la preparación de compuestos.

Para el modulo I del BTTP “prepara compuestos para moldeo”, el propósito principal es hacer la selección, mezclas del polímero base con los agentes necesarios, así como; hacer los trabajos previos necesarios para preparar el material que se ocupara en la transformación del material.

Por lo anterior es importante recordar que en el proceso de transformación de los plásticos abarca 3 etapas para lograr un producto final, las cuales son las siguientes:



### Preparación de compuestos (*compounding*)

El proceso en que se mezclan agentes al polímero antes de moldear los productos plásticos, es denominado “preparación de compuestos (*compounding*)”. Esta mezcla se denomina “material para moldeo de plásticos”.

Los ingredientes para los compuestos son aditivos, colorantes, llenadores entre otros, y sirven para mejorar diferentes cualidades y propiedades.

Los aditivos permiten aumentar el moldeo, mejorar las propiedades de la superficie, alargar la vida útil del producto moldeado.

Algunos llenadores sirven como agentes reforzantes para aumentar la resistencia y la rigidez del plástico. También sirven para mejorar las propiedades dimensionales.

A diferencia de la preparación de compuestos o compounding, **la preparación de materiales para el procesamiento**, es hacer los trabajos previos de mezclado o combinación porcentual de material reciclado con material nuevo, así como; el secado previo de material para evitar defectos de producción en algunos procesos primarios de transformación.

Para poder comprender la mezcla de material reciclado o el secado de material, es importante enseñar a los alumnos del BTTP, el significado y características de estos procesos, los cuales describimos a continuación.

## 6.1 Reciclado

Conceptos fundamentales:

**Ciclo:** Período de tiempo o cierto número de años que, acabados, se vuelven a contar de nuevo.

Serie de fases por las que pasa un fenómeno periódico.

**Ciclo:** Del latín *cyclus* (*circulo*), un **ciclo** es cierto **periodo temporal** que, una vez finalizado, vuelve a empezar. También se trata de la **secuencia de etapas que** atraviesa un suceso de características periódicas y del grupo de fenómenos que se reiteran en un cierto orden.



**Medio ambiente:** Es un sistema formado por elementos naturales y artificiales que están interrelacionados y que son modificados por la acción humana. Se trata del entorno que condiciona la forma de vida de la sociedad y que incluye valores naturales, sociales y culturales que existen en un lugar y momento determinado.

Los seres vivos, el suelo, el agua, el aire, los objetos físicos fabricados por el hombre y los elementos simbólicos (como las tradiciones, por ejemplo) componen el medio ambiente.

La conservación de éste es imprescindible para la vida sostenible de las generaciones actuales y de las venideras.

**Reusar:** Es un verbo que está vinculado a volver a usar o usar nuevamente un objeto o producto para un fin parecido o completamente diferente para el que fue realizado.

En este sentido, el término puede usarse como sinónimo de **reciclar** (pero cuidado porque no es lo mismo).



Fuente de imagen: ejemplo de reuso.  
<https://www.google.com.mx/search?rlz>



## reciclar

1. tr. Someter un material usado a un proceso para que se pueda volver a utilizar.
2. tr. Dar formación complementaria a profesionales o técnicos para que amplíen y pongan al día sus conocimientos.
3. tr. Dar una nueva formación a profesionales o técnicos para que actúen en otra especialidad.
4. tr. Tecnol. Someter repetidamente una materia a un mismo ciclo, para ampliar o incrementar los efectos de este. Fuente: *Real Academia Española* ©

**Reciclar:** Someter materiales usados o desperdicios a un proceso de transformación o aprovechamiento para que puedan ser nuevamente utilizables.

Aplicar un proceso sobre un material para que pueda volver a utilizarse como nuevo producto. El reciclaje implica dar una nueva vida a los materiales, lo que ayuda a reducir el consumo de recursos y la contaminación del planeta.

El tratamiento de reciclaje puede llevarse a cabo de manera total o parcial, según cada caso. Con algunos materiales, es posible obtener una materia prima, mientras que otros permiten generar un nuevo producto.

La base del reciclaje se encuentra en la obtención de una nueva materia prima o nuevo producto a partir de un desecho o un bien ya utilizado.

## Ejercicio Sugerencia para contenido 6.1



- Se recomienda analizar a manera de contextualización el reciclado de materiales como el papel, vidrio, acero, para aterrizar con los materiales plásticos.
- Actividad: Inicia con una serie de preguntas abiertas al grupo sobre el reciclado de materiales plásticos.
  - ¿Después de utilizar un producto hecho de plástico que hacemos con él?
  - ¿Cuánto tarda en descomponerse un producto hecho de plástico?
  - ¿Es fácil reciclar a los materiales plásticos?
  - ¿Todos los plásticos se reciclan?
  - ¿Cómo se reciclan los Plásticos?

Observaciones: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Páginas de referencia:

<http://definicion.de/ciclo>

<http://lema.rae.es/drae/>

Los plásticos juegan un papel importante en casi todos los aspectos de nuestras vidas.

Los plásticos se utilizan para la fabricación de productos de uso cotidiano, tales como envases de bebidas, juguetes, muebles y artículos especiales para diversas aplicaciones.

El gran mercado de productos plásticos no sólo se encuentra en envases y embalajes (por ejemplo, botellas de refrescos, tapas, botellas de champú), sino que también se encuentran en los bienes duraderos (como electrodomésticos, muebles) y no duraderos (como, pañales, bolsas de basura, vasos y utensilios, dispositivos médicos) entre otras diversas aplicaciones de mayor nivel técnico y tecnológico.

El uso generalizado de plásticos exige una buena gestión de vida del producto hasta su fin, el plástico es en sí un invento increíble, liviano, resistente y económico, pero es indispensable su reciclado, ya que representan más del 12 % de la cantidad de residuos sólidos en las grandes ciudades y este porcentaje va en aumento, por sí solo no vuelve a formar parte de la naturaleza, por el contrario, la contamina.

El reciclado de plástico comienza con la separación de todos los objetos hechos con este material, para su posterior depósito en los contenedores correspondientes. Allí

son recopilados por empresas que los clasifican y separan según su tipo, para luego venderlos a otras que se encargan del proceso de reciclado en sí.

Hay dos tipos principales de plásticos, los cuales se procesan de forma diferente. Por un lado los llamados termoplásticos, de fácil reciclaje ya que se funden con calor y pueden ser reciclados dándoles una nueva forma. Algunos ejemplos son: PEBD, PEAD, PP, PET, PVC, PS, EPS y PC.

El otro gran grupo de plásticos, comprende a los termoestables o termofijos, que son más difíciles de reciclar ya que para fundirlos es necesario romper la estructura de sus moléculas para lo cual es necesario aplicar mucha energía, misma que al aplicar degrada al material. Forman parte de estos plásticos las resinas fenólicas.

Existen dos Métodos de reciclar el plástico, uno es el **mecánico** y el otro el **químico**.

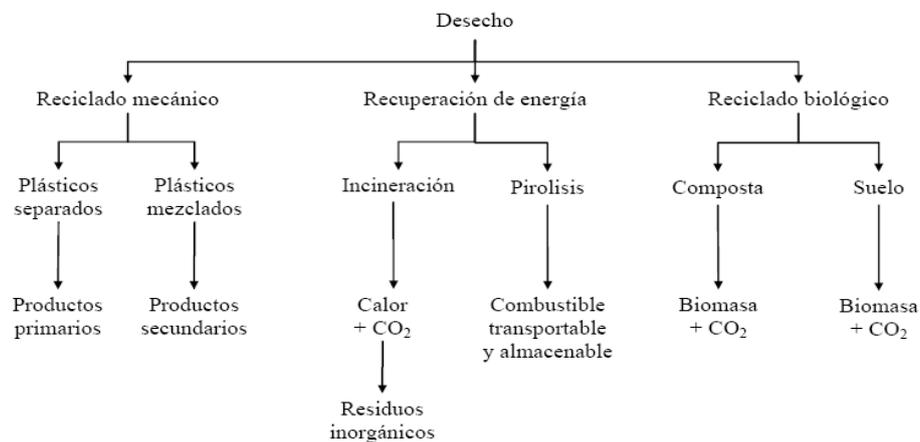


Figura 46. Opciones para el desecho de polímeros.

Fuente de imagen: <https://www.google.com.mx>

### 6.1.1 Reciclaje mecánico.

Es el método más utilizado debido a sus bajos costos. Consiste en cortar o triturar las piezas de plástico en pequeños granos lo más uniforme posible para posteriormente reprocesarlos.

Los procesos de reciclaje mecánico comienzan con las siguientes etapas: trituración, lavado y granceado (homogenización del material y corte en pequeños trozos).

Una vez terminado este proceso, la granza se funde y se le da una nueva forma al plástico, según el método utilizado, en forma de láminas, solidificándose en un molde frío, en forma de piezas huecas introduciendo aire en su interior o utilizando moldes a presión.

La trituración se refiere, a una operación mecánica para aumentar el área superficial del producto de moldeo, fragmentándolo mediante una fuerza dinámica.

El propósito:

- 1) Con la trituración se fragmenta el producto moldeado, además de darle fluidez y así facilitar su manejo.
- 2) Al ser triturado se aumenta la superficie del producto moldeado y se aumenta la velocidad de la transformación física y química. También se mejoran las características de homogeneidad y maleabilidad.

Mecanismo de fragmentación y trituración:

Cuando la energía del cortador rotatorio se convierte en la fuerza de impacto, de fricción, de corte y de contracción y se le agrega al producto moldeado, se genera una deformación y destrucción transformando el esfuerzo interno de un producto moldeado.

Este es el proceso en que se produce más área superficial del producto moldeado.

En el trabajo de fragmentación las fuerzas principales son las de impacto y contracción, mientras que en el trabajo de trituración fina, las fuerzas principales son las de corte y de fricción.

Método

En el molino de corte se aplica el principio de corte. Se corta el producto moldeado con el filo estático y el rotatorio, se granula y se ajusta la granulometría con una criba.



Resina Reciclada  
Pellet nuevo (Resina ABS)



Dosis de Master Bach

Fuente de imagen: <https://www.google.com.mx>

## Trituración continúa

En la trituración continua se realiza la trituración en un circuito abierto o cerrado.

En la trituración con circuito cerrado, el objeto ya triturado por la máquina trituradora continua, se pasa por la máquina clasificadora y las partículas mayores al diámetro establecido, se retornan al punto de origen.

Se trituran nuevamente con la máquina trituradora y solo los productos extraídos del lado del molino de la máquina clasificadora, se suministran nuevamente como material a triturar (material a fragmentar).

Condiciones de la máquina trituradora y método para cambiar las características físicas del producto moldeado

A la trituración le acompaña un fenómeno de calentamiento. Frecuentemente se genera oxidación, ablandamiento, adhesión del material por fusión, y para evitar estos fenómenos hay ocasiones en las que se enfría la máquina trituradora y el producto moldeado.

- (1) Enfriamiento de la camisa de la máquina trituradora
- (2) Aplicación de aire de baja temperatura e inyección de nitrógeno líquido

Puntos clave para seleccionar la máquina trituradora.

Para la trituración de bebederos y coladas moldeados por inyección o el uso común con la trituración del producto moldeado defectuoso o para la trituración con el objetivo de reciclaje o reducción del volumen del producto moldeado por extrusión (perfiles, película, láminas y soplado), se selecciona el tipo de máquina dependiendo de las dimensiones, forma, volumen del objeto a triturar, además de la capacidad de la máquina.

Tipo de plástico a triturar

Se cambia la máquina trituradora óptima (velocidad de rotación del filo rotatorio), dependiendo del tipo de resina a triturar.

- Materiales aptos para velocidad baja (20-30rpm) plásticos duros: PPS, PA, PBT, LCP, etc.
- Materiales aptos para velocidad media (150rpm) y alta (580rpm): plásticos blandos: PP, PE, uretano, elastómero, etc.

## Tamaño del objeto a triturar

El tamaño del objeto a fragmentar determina la cámara de corte (boca de alimentación) de la máquina trituradora

- Forma de la colada
- Dimensiones del producto moldeado: pequeño, mediano, grande.
- Bloque de purga, etc.

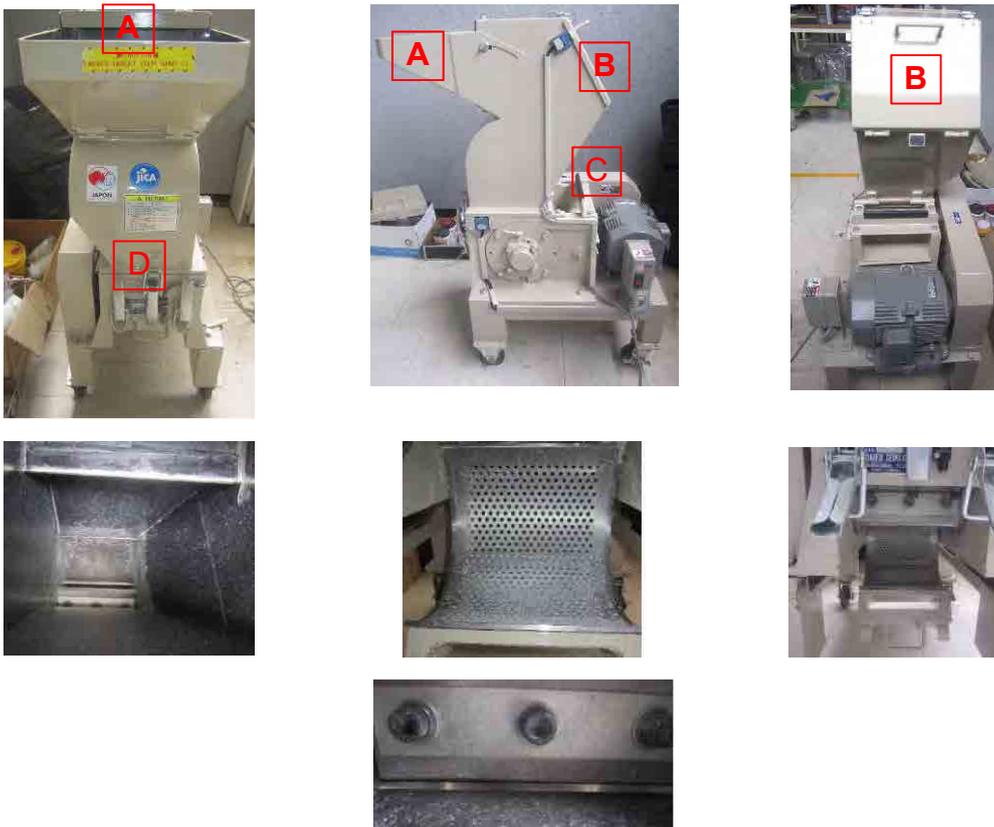
## ¿A qué tamaño se triturará?

Se ajusta la granulometría de la trituración, seleccionando el diámetro de los poros de la criba o reduciendo la holgura entre el filo rotatorio y el fijo.

## Capacidad de procesamiento

Se selecciona el tipo de máquina dependiendo del volumen a triturar (capacidad de procesamiento por hora).

## Estructura de la máquina trituradora ModelDAS-20



Fuente de imagen: Maquinaria CNAD

- 1) La fuerza de trituración es la fuerza de corte que se genera entre el cortador rotatorio y el cortador estático.
- 2) El producto moldeado, alimentado por la parte superior, es triturado y extraído a través de la criba de la parte inferior.
- 3) Modificando el diámetro de los poros de la criba se obtiene la granulometría.

Cuando el objeto triturado es más grande que el diámetro del poro, dicho objeto es levantado por el cortador rotatorio, triturado nuevamente y extraído hasta que llegue al tamaño del diámetro del poro de la criba.

### Medidas de seguridad al moler

- Las cuchillas giran. ⇒ No introduzcan las manos en el interior de la entrada de material.
- Utilicen la cubierta sin falta (utilicen el interruptor de límite).
- Limpieza del interior ⇒ Desactiven sin falta la alimentación eléctrica (desenchufar).
- Falta de limpieza ⇒ Mezcla de materiales extraños
- Tampoco permitan mezcla de objetos ajenos a la resina (sobre todo metales).
- Salpican materiales molidos. ⇒ Lentes de seguridad
- El ruido del molino es alto. ⇒ Medidas contra el ruido (cubre oídos)
- Tengan precaución con el filo de la navaja al limpiar el interior. ⇒ No corten sus dedos.

#### 6.1.2 Reciclaje químico

Se basa en degradar los materiales plásticos, mediante calor o con catalizadores, hasta tal punto que se rompan las macromoléculas y queden solamente moléculas sencillas comúnmente llamadas monómeros. A partir de estos monómeros, se podrían conseguir otros tipos de plásticos o combustibles según la técnica utilizada.

Esta técnica pese a ser menos utilizada que la mecánica, es la más prometedora, ya que al obtener monómeros básicos se pueden volver a hacer plásticos de la misma calidad que los originales.

Principales procesos existentes:

#### **Pirolisis:**

Es el craqueo de las moléculas por calentamiento en el vacío. Este proceso genera hidrocarburos líquidos o sólidos que pueden ser luego procesados en refinerías.

**Hidrogenación:**

En este caso los plásticos son tratados con hidrógeno y calor. Las cadenas poliméricas son rotas y convertidas en un petróleo sintético que puede ser utilizado en refinerías y plantas químicas.

**Gasificación:**

Los plásticos son calentados con aire o con oxígeno. Así se obtienen los siguientes gases de síntesis: monóxido de carbono e hidrógeno, que pueden ser utilizados para la producción de metanol o amoníaco o incluso como agentes para la producción de acero en hornos de venteo.

**Químiolisis:**

Este proceso se aplica a poliésteres, poliuretanos, poliacetales y poliamidas. Requiere altas cantidades separadas por tipo de resinas. Consiste en la aplicación de procesos solvolíticos como hidrólisis, glicólisis o alcoholisis para reciclarlos y transformarlos nuevamente en sus monómeros básicos para la repolimerización en nuevos plásticos.

**Metanólisis:**

Es un avanzado proceso de reciclado que consiste en la aplicación de metanol en el PET. Este poliéster (el PET), es descompuesto en sus moléculas básicas, incluido el dimetiltereftalato y el etilenglicol, los cuales pueden ser luego repolimerizados para producir resina virgen. Varios productores de polietilentereftalato están intentando de desarrollar este proceso para utilizarlo en las botellas de bebidas carbonadas.

Las experiencias llevadas a cabo por empresas como Hoechst-Celanese, DuPont e Eastman han demostrado que los monómeros resultantes del reciclado químico son lo suficientemente puros para ser reutilizados en la fabricación de nuevas botellas de PET.

Estos procesos tienen diferentes costos y características. Algunos, como la chemolysis y la metanólisis, requieren residuos plásticos separados por tipo de resina. En cambio la pirólisis permite utilizar residuos plásticos mixtos.

Perspectivas del reciclado químico:

El reciclado químico se encuentra hoy en una etapa experimental avanzada. Es de suponer que en los próximos años pueda transformarse en una poderosa y moderna herramienta para tratar los residuos plásticos. El éxito dependerá del entendimiento que pueda establecerse entre todos los actores de la cadena: petroquímicas,

transformadores, grandes usuarios, consumidores y municipios, a los fines de asegurar la unidad de reciclado y que la materia prima llegue a una planta de tratamiento.

La sociedad debe estar preparada para tal cambio de tecnología en lo que hace al tratamiento de los residuos plásticos. Por su parte, la industria petroquímica está trabajando en la definición de especificaciones técnicas a los fines de garantizar la calidad de los productos obtenidos a través del reciclado químico.

Si bien el reciclado mecánico se halla en un estado más evolucionado, éste solo no alcanza para resolver el problema de los residuos. No sería inteligente desdeñar cualquier otra forma de tratamiento por incipiente que fuera. Lo que hoy parece muy lejano puede que dentro de las próximas dos décadas se convierta en una realidad concreta. En el caso de los plásticos se debe tener en cuenta que se trata de hidrocarburos, por lo que, para un recurso no renovable como el petróleo, es especialmente importante desarrollar técnicas como el reciclado químico para generar futuras fuentes de recursos energéticos. Los plásticos post-consumo de hoy pueden considerarse como los combustibles o las materias primas del mañana. Además, el reciclado químico contribuirá con la optimización y ahorro de los recursos naturales al reducir el consumo de petróleo crudo para la industria petroquímica.

De todas las alternativas de valorización quizá ninguna esté hecha tan a medida de los plásticos como el reciclado químico. Es muy probable que se transforme en la vía más apropiada de recuperación de los residuos plásticos, tanto domiciliarios como los provenientes del scrap (post-industrial), obteniéndose materia prima de calidad idéntica a la virgen. Esto contrasta con el reciclado mecánico, donde no siempre se puede asegurar una buena y constante calidad del producto final. El reciclado químico ofrece posibilidades que resuelven las limitaciones del reciclado mecánico, que necesita grandes cantidades de residuos plásticos limpios, separados y homogéneos para poder garantizar la calidad del producto final. Los residuos plásticos domiciliarios suelen estar compuestos por plásticos livianos, pequeños, fundamentalmente provenientes de los envases, pueden estar sucios y presentar sustancias alimenticias. Todo esto dificulta la calidad final del reciclado mecánico, ya que se obtiene un plástico más pobre comparado con la resina virgen. Por lo tanto, los productos hechos de plástico así reciclado se dirigen a mercados finales de precios bajos.

Por el contrario, el reciclado químico supera estos inconvenientes, ya que no es necesaria la clasificación de los distintos tipos de resinas plásticas proveniente de los residuos. En este proceso pueden ser tratados en forma mixta, reduciendo costos de

recolección y clasificación. Además, lleva a productos finales de alta calidad que sí garantizan un mercado.

Toda estrategia de gestión integral de los Residuos Sólidos Urbanos debe prever y contemplar la posibilidad del reciclado químico. El tratamiento de los residuos plásticos no puede ser resuelto unilateralmente por uno u otro proceso, debiendo analizarse las diferentes alternativas de reciclado.

Los plásticos reciclados pueden usarse para hacer:

Madera plástica: Creación de mobiliario urbano (bancos, vallas, etc.)

Fibra textil: para la fabricación de ropa, alfombras, cuerdas, etc.

Botellas: la mayoría de las botellas se vuelven a reciclar para obtener más botellas.

Construcción: ladrillos, tuberías, vallas, etc.

Es muy importante que los alumnos del BTTP y consumidores conozcan las distintas aplicaciones que se obtienen a partir del reciclado de plásticos para que así se concienticen de la importancia de reciclar.



Fuente de imagen: <https://www.google.com.mx>

### Ejercicio Sugerencia para contenido 6.1.1



Trabajo  
En equipo

- Se recomienda realizar prácticas sobre el conocimiento del equipo para moler materiales plásticos y el molido de plásticos comunes como PP o PE, entre otros.

Observaciones: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Páginas de referencia:

<http://www.eis.uva.es/~macromol/curso04-05/kevlar/Archivos/6.htm>

<http://elreciclaje.org/content/reciclaje-de-pl%C3%A1stico>

<http://www.azulambientalistas.org/reciclaje-de-plastico.html>

<http://twenergy.com/reciclaje/reciclado-de-plasticos-542>

<http://www.eis.uva.es/~macromol/curso04-05/kevlar/Archivos/6.htm>

## 6.2 Mezclado

### Concepto de mezcla:

Una mezcla es un sistema material formado por dos o más componentes mezclados, pero no combinados químicamente. En una mezcla no ocurre una reacción química y cada uno de sus componentes mantiene su identidad y propiedades químicas. No obstante, algunas mezclas pueden ser reactivas, es decir, que sus componentes pueden reaccionar entre sí en determinadas condiciones ambientales, como una mezcla aire- combustible en un motor de combustión interna

Una mezcla es la combinación física de dos o más sustancias que retienen sus identidades y que se mezclan pudiendo formar según el caso aleaciones, soluciones y coloides.

Las mezclas son el resultado de la incorporación mecánica de sustancias químicas tales como elementos y compuestos, sin que existan enlaces químicos u otros cambios químicos, de forma tal que cada sustancia ingrediente mantiene sus propiedades químicas particulares.

Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Mezcla>

### Mezclas y plásticos

El proceso en que se mezclan agentes al polímero antes de moldear los productos plásticos, es denominado “preparación de compuestos (compounding)”, a esta mezcla se denomina “material para moldeo de plástico”.

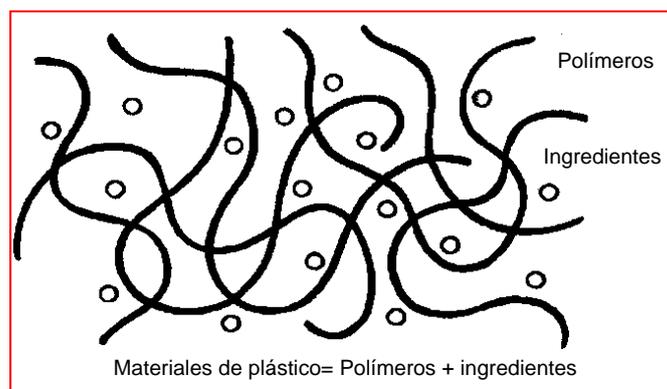
Los ingredientes para los compuestos son aditivos, colorantes, llenadores entre otros, y sirven para mejorar diferentes cualidades. Los aditivos permiten aumentar la moldeabilidad, mejorar las propiedades de la superficie, alargar la vida útil del producto moldeado.

Los aditivos principales son: Plastificantes, estabilizadores, lubricantes, antioxidantes, retardadores de inflamación, colorantes, antiestáticos, endurecedores, espumantes, cargas, reforzantes (fibra de vidrio, fibra de carbono, antibacteriano).

Algunos llenadores sirven como agentes reforzantes para aumentar la resistencia y la rigidez del plástico. También sirven para mejorar las propiedades dimensionales.

Hay que prepararlos hasta obtener características y dimensiones manejables para la máquina de moldeo.

También hay que seleccionar las formas apropiadas para la máquina ya sea *pellet* o partículas.



Pigmentos y colorantes.

Los términos pigmento y colorante se emplean en ocasiones indistintamente, a un que según un uso más correcto los pigmentos son sustancias inorgánicas sólidas inmiscibles y los colorantes son sustancias orgánicas miscibles o relativamente compatibles con el polímero. En cualquier caso estos se usan en concentraciones muy bajas.

Los pigmentos se emplean con tamaño de partículas muy fino de modo que se consiga una dispersión lo mejor posible en el polímero. Están muy extendidos, los más frecuentes son el óxido de titanio para el blanco, negro de humo para el negro, diferentes óxidos de hierro para el ocre o marrones, cromatos como el de plomo (amarillo) o zinc (verde), entre otros. Generalmente se emplean mezclas de pigmentos para conseguir las tonalidades deseadas.

Los colorantes por su parte, a un que se emplean en menor medida, son capaces de proporcionar colores más brillantes, y a diferencia de los pigmentos suelen dar acabados completamente traslucidos, más cuando más compatibles con el polímero. Como contrapartida los colorantes se degradan con mayor facilidad que los

pigmentos y pueden presentar problemas de migración o exudación. Los más habituales son las variaciones del color en el cuerpo de la pieza en mayor y menor concentración.

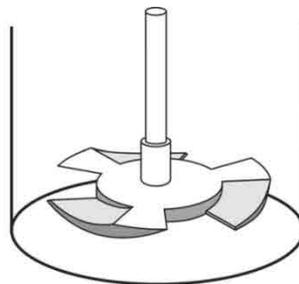
Mecanismo de mezclado.

El tipo de equipo requerido para producir la mezcla de polímeros y aditivos depende sobre todo de su estado físico ya que los polímeros se presentan en formas diferentes que van desde granulados, polvos, planchas, hojuelas, resinas líquidas, etc. Además el tipo de mezclador depende del grado de dispersión que se desea alcanzar entre el polímero y los aditivos. Se distinguen dos tipos de mezclado:

Mezclado extensivo, distributivo, o simplemente mezclado (blending)

Mezclado intensivo o dispersivo (compounding).

El **mezclado extensivo** consiste en mezclar los componentes de una formulación mediante la agitación de los mismos. De este modo se obtienen una mezcla que en principio podría ser separada (aunque en la práctica realmente sería difícil). El equipo requerido es un sencillo mezclador en el que todos los ingredientes se añaden a la vez y está provisto de espas o palas que giran a una velocidad moderada y no es necesario aplicar calor durante el proceso.



Dibujo: Mezclador extensivo (Blending)

El **mezclado intensivo** implica una dispersión de los diferentes componentes mucho más complicada que en el caso anterior. Este tipo de mezclado por lo general implica un cambio en el estado físico de los componentes; el polímero debe estar en estado fundido durante el mezclado, por lo que se deben aplicar altas temperaturas para conseguir la fusión del polímero y en algunos casos de otros componentes de la mezcla y por lo general se requieren cizallas muy elevadas, la mezcla debe de ser granulada o troceada antes de introducir en el proceso de transformación. Los mezcladores de ese tipo son más complejos que los del tipo extensivo.

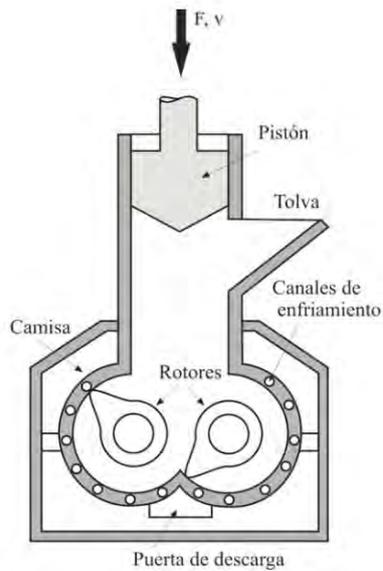


Imagen: Mezclador intensivo tipo Bambury

La siguiente tabla muestra una serie de formulaciones para la obtención de productos plásticos por diferentes procesos de transformación.

Proceso	Formulación	Conc. (phr)
Moldeo Rotacional	Polímero: <i>PVC, E</i> Estabilizante: <i>Estearato Ca/Zn</i> Coestabilizante: <i>Aceite de Soja epoxidado</i> Plastificante: <i>DINP</i> Pigmento	100 2 4 70 0.1
Soplado	Polímero: <i>PVC, S o M</i> Estabilizante: <i>Octoato de Zn</i> Coestabilizante: <i>Aceite de Soja epoxidado</i> Modificador de impacto: <i>ABS</i>	100 0.2 3 10
Inyección	Polímero: <i>PVC, S</i> Estabilizante: <i>carboxilato Ba/Cd/Zn</i> Coestabilizante: <i>Aceite de Soja epoxidado</i> Lubricante: <i>Ácido esteárico</i> Estabilizante UV: <i>negro de carbón</i>	100 2 5 0.4 0.3
Inyección	Polímero: <i>EVA</i> Reticulante: <i>Peróxido de dicumilo</i> Espumante: <i>Azodicarbonamida</i> Ayu. Espumante: <i>ZnO</i>	100 1.5 2.5 1.5
Extrusión	Polímero: <i>PVC, S o M</i> Estabilizante: <i>Estearato tribásico de Pb</i> Plastificante: <i>Trimellitato</i> Retardante de llama: <i>Trióxido de Sb</i> Carga: <i>Carbonato Cálcico</i>	100 7 70 6 50

Fuente de imagen: <https://www.google.com.mx>

## Ejercicio Sugerencia para contenido 6.2



- Se recomienda realizar práctica demostrativa del mezclado de diversos materiales como, agua y azúcar, polvos de diversos colores, así como agua y aceite, para ilustrar la anti-mezcla.
- Se recomienda realizar prácticas de mezclado utilizando una formulación para obtener productos inyectados o extruidos.

Observaciones: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

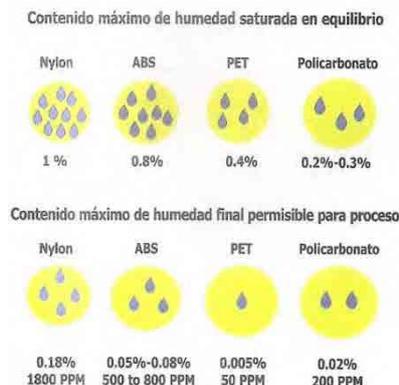
## 6.3 Secado

Procesar muchos materiales con exceso de humedad puede dar lugar a diversos defectos en la producción de las piezas terminadas. Estos defectos pueden ser tanto visuales como también funcionales. En inyección los principales defectos son rechupes, marcas de fisuras en la superficie, degradación del material, baja viscosidad de fusión entre otros. Y en la extrusión también puede llegar a ocurrir que los perfiles tengan la superficie rugosa y ondulada además de los defectos de degradación y baja viscosidad de fusión.

Podemos separar los polímeros en dos grupos definidos: los que son higroscópicos y los que no. Los no higroscópicos como el polietileno, polipropileno, poliestireno, PVC, pueden acumular humedad solamente sobre la superficie del material si son expuestos en condiciones de alta humedad.

En cambio, los materiales higroscópicos como el nylon, ABS, PET, policarbonato, tienen mucha afinidad por el agua, por lo tanto absorben la humedad dentro de su estructura molecular.

El proceso de secado de los materiales se realiza mediante el flujo continuo de aire seco caliente, en silos denominados deshumidificadores. El aire es secado mediante tamices moleculares.

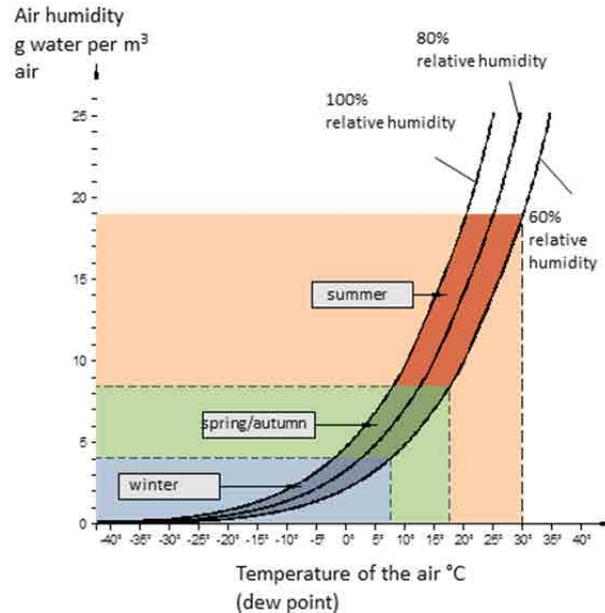


Fuente de imagen: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.mx/2011/06/deshimidificacion-de-de-plasticos.html>

## Aire y humedad del aire

El ambiente siempre contiene agua y vapor. Mientras más alta es la temperatura más alto es el contenido de agua (mayor humedad en un día de verano, como baja humedad en un día frío de invierno).

El contenido de agua es dado a medida que la humedad relativa es relacionada al valor de la temperatura.



La variación de humedad en los pellets o material plástico, varía de acuerdo a la época del año. En la actualidad el cambio climático ha hecho que la combinación de climas varíe durante todo el año.

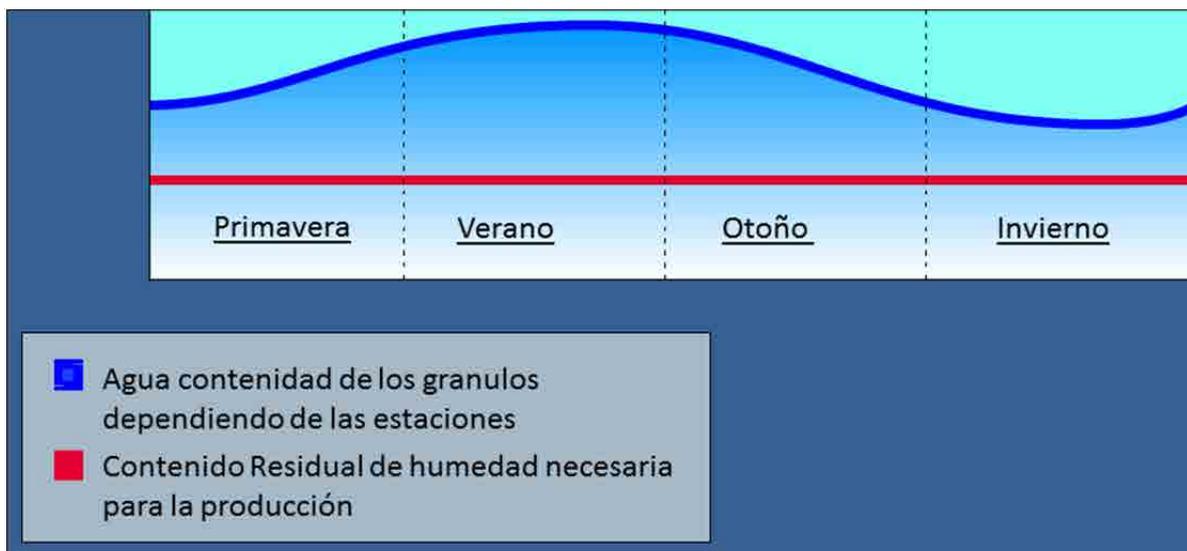


Imagen: Variación de la humedad de los granulos durante el año.

Las consecuencias de tener un material húmedo, se ve reflejado en los defectos del producto terminado, el agua contenida en el material se convierte en vapor durante el proceso provocando destellos y ráfagas.

Otro efecto de la humedad en el material es, activa una reacción química durante el proceso en materiales sensibles a la humedad provocando rupturas en la cadena molecular reduciendo la fuerza mecánica, resultando en fallas de calidad del producto.

Para evitar lo anterior una solución es llevar a cabo un apropiado y suficiente secado del material.

Efectos en el proceso: variaciones en la humedad llevan a variaciones en la viscosidad provocando los efectos de espumado en el material y problemas de llenado.

Efectos en los componentes: forma burbujas, genera ráfagas, ondulaciones y líneas de unión.

Efectos en procesos de acabado: problemas de galvanizado y problemas de pintado

A continuación se muestra una tabla de los efectos de calidad que causa la humedad en los productos finales de los siguientes materiales termoplásticos:

Plástico	Posible daños
Poliamida (PA)	Daños en la superficie Posible reducción térmica
Polycarbonato (PC)	Daños en la superficie Reducción térmica
Poliacrilonitrilo butadieno estireno (ABS)	Daños en la superficie
Polibutilen tereftalato (PBT)	Daños en la superficie
Poliuretano termoplastico (TPU)	Daños en la superficie Posible reducción térmica
Mezcla (PC/ABS)	Daños en la superficie Posible reducción térmica

Existen cuatro parámetros de secado que tienen que considerar las características de ser para un material específico, de influir uno con otro, que determinan la eficiencia del proceso de secado.

- Temperatura
- Volumen de aire
- Tiempo de residencia
- Punto de rocío

Para poder entender la importancia del secado en el procesamiento de materiales poliméricos se explicará la influencia de cada uno de los parámetros antes mencionados.

**Temperatura:** en polímeros higroscópicos las moléculas de agua son conducidas dentro de las cadenas del polímero. El aumento de la temperatura debilita la unión entre las cadenas y las moléculas de agua. Por encima de cierta temperatura, dependiendo del material, las moléculas de agua se mueven libremente.

**Punto de rocío:** la temperatura del punto de rocío es la temperatura a la cual ocurre la condensación del agua. El punto de rocío provoca un aumento de la presión de vapor en el interior del polímero. Este aumento provoca la disminución de la humedad en el material.

**Tiempo:** la deshumidificación del material recién comienza cuando se alcanza la temperatura correcta pero no es instantánea; la humedad tarda un tiempo en migrar del interior del polímero hacia la superficie para luego salir completamente de la superficie del material.

**Flujo de aire:** el aire transfiere el calor y elimina la humedad de la superficie del polímero. Si el flujo de aire no es suficiente el material no llegará a calentarse a la temperatura necesaria durante el tiempo de residencia en la tolva con lo cual el polímero quedará con cierta humedad. En cambio, si el flujo es excesivo el material no logrará enfriar lo suficiente el aire que retorna. Esto no es deseado porque se reduce la capacidad del desecante, aumenta el punto de rocío y puede llegar a dañar al soplador.

Pellets de menor tamaño secarán más rápido por tener una mayor relación superficie/volumen. La humedad del interior tarda menos en salir al exterior de cada partícula de material.

Además, al tener menor tamaño, el aire entre los pellets es menor, con lo cual se reduce el flujo de la corriente de aire para el secado disminuyendo la capacidad de deshumidificación si no se tiene en cuenta el tamaño. Por otro lado, los pellets de mayor tamaño requieren más tiempo de permanencia en la tolva de secado ya que la humedad tarda más en salir a la superficie. Y para el secado, la corriente de aire necesaria es menor al poseer más espacio libre entre partículas del material.

Para el proceso que se realiza debe saberse si el material a utilizar requiere de deshumidificación y, si es así, se deberá contar con el equipo adecuado para poder realizar dicho tratamiento. Por ejemplo: una humedad elevada en el material a

inyectar puede generar inconveniente en las piezas terminadas, pues presentan una fragilidad elevada. Estos inconvenientes en las piezas se pueden hacer manifiesto en corto o largo plazo.

El valor de un parámetro individual debe ser determinado por: evitar el deterioro del material y economizar el proceso.

La misma eficiencia de secado puede ser obtenida con un parámetro muy alto y otro muy bajo.

Temperaturas altas aceleran el proceso de secado debido a una alta velocidad de difusión de vapor. Limitado por: Características del material (punto de plastificación, degradación térmica, pérdida de aditivos, etc.)

- Temperatura alta → bajo tiempo de secado
- Baja temperatura → largo tiempo de secado

El punto de rocío es el contenido de agua en el aire que corresponde a la saturación a cierta temperatura.

Bajo punto de rocío significa:

- Secado rápido.
- Bajo contenido de agua en el aire.
- Gran diferencia de la capacidad de absorción de agua entre gránulos y aire.
- Baja humedad residual en el material (comparando aire caliente / aire seco secado)

Algunos de los tipos de secadores que se ocupan para quitar la humedad de los materiales son los siguientes, es importante mencionar que la diferencia entre ellos, es obviamente la forma y la eficiencia del equipo, por lo anterior es importante recibir las instrucciones correspondientes de uso, así como; las tablas de tiempo de secado y capacidades para cada tipo de material y equipo.

# Secado de materiales plásticos

## Tipos de secador

Secado por convección

Secado por calentador

Secado por deshumidificador

Secado por aire comp

Secado por vacío

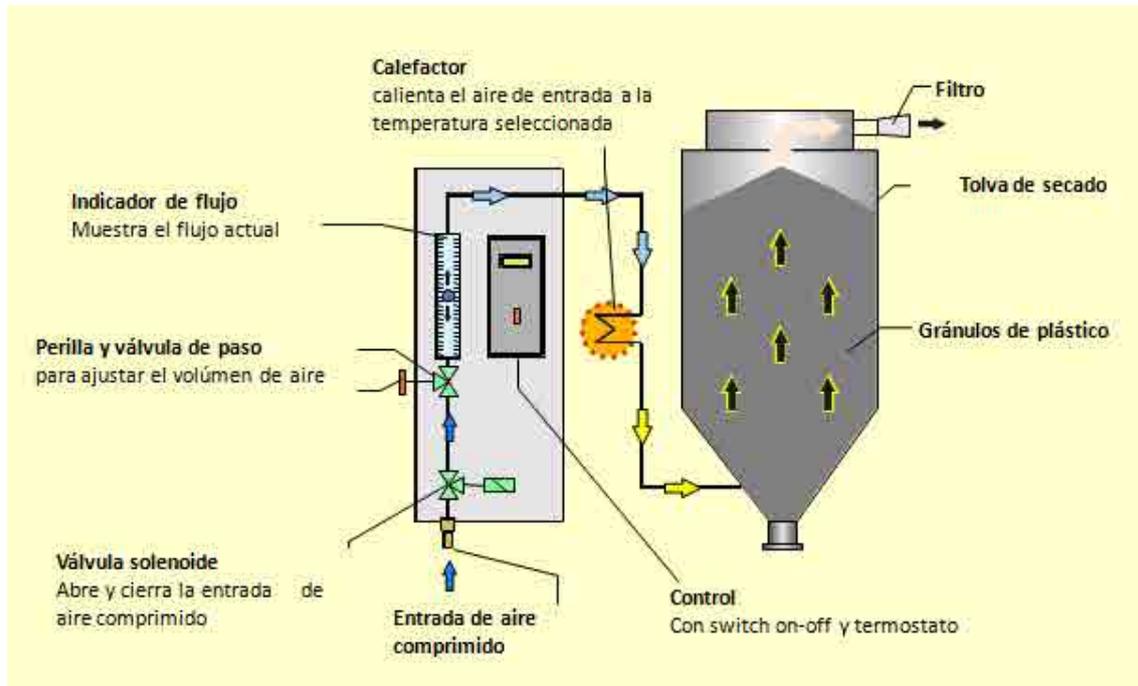
Secado por radiación

Secado por infrarrojo

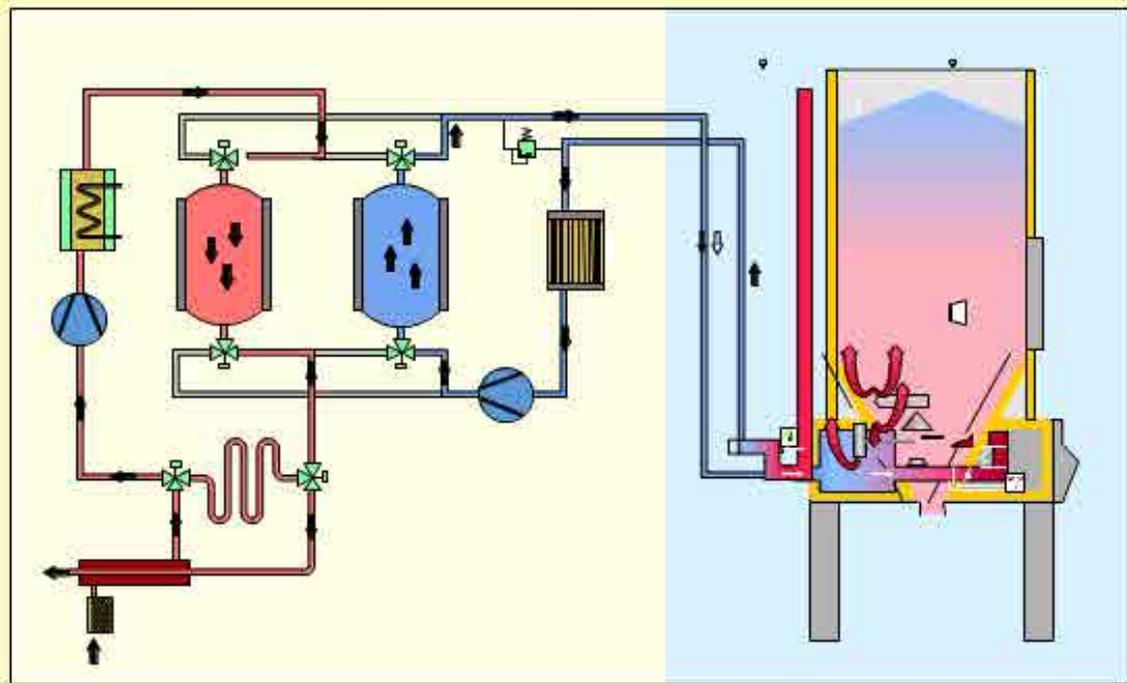
Secado por microondas

Imagen: tipo de secadores.

## Secado por aire comprimido



## Secado por deshumificador



### Ejercicio Sugerencia para contenido 6.3



Trabajo  
En equipo

- Investigar los tipos de secadores, su funcionamiento, así como; su eficiencia, tiempos y capacidad de secado.
- Se recomienda realizar práctica demostrativa de secado de diversos materiales higroscópicos, para entender proceso.

Observaciones: \_\_\_\_\_

---

---

---

---

Páginas de referencia:

<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.mx/2011/06/deshimidificacion-de-de-plasticos.html>





**CENTRO NACIONAL DE ACTUALIZACIÓN DOCENTE**

**BACHILLERATO TECNOLÓGICO  
EN TRANSFORMACIÓN DE PLÁSTICOS**

**CONTENIDO DE CURSO**

**MÓDULO II:**

**MOLDEA PLÁSTICOS MEDIANTE  
EL PROCESO DE EXTRUSIÓN**

**27 DE OCTUBRE 2011**



# CONTENIDO DE URSO



## MÓDULO II “MOLDEA PLÁSTICOS MEDIANTE EL PROCESO DE EXTRUSIÓN”



## MANUAL DEL INSTRUCTOR



# PRESENTACIÓN

Debido al crecimiento espectacular que tendrá en los próximos años el sector de los **PLÁSTICOS** en México y en el mundo, de lo cual no podemos hacer caso omiso. Ya que basta con dar un vistazo a nuestro alrededor para encontrar artículos elaborados con estos materiales. El Centro Nacional de Actualización Docente, es consciente de la imperiosa necesidad de conocer cada vez más y mejor el comportamiento de los plásticos en sus procesos de transformación, es por ello que pone a tu disposición este manual instructor como parte integral del curso “Introducción al proceso de extrusión de plásticos”, con el fin de contar con mejores herramientas para tu desempeño laboral.

## INTRODUCCIÓN DEL MANUAL

Este curso se ha diseñado especialmente para los participantes, por lo que es de vital importancia antes de entregarle esta manual, leerlo y comprenderlo, ya que desarrollas una función muy importante en la DGETI como **instructor** de maestros. Con el único fin de que obtengas una visión general del curso y aunado con tu creatividad y conocimientos logres satisfactoriamente junto con los participantes los objetivos del curso.

Los tiempos en que vivimos suele conocerse como la era de la computadora y sin embargo también podríamos referirnos a ellos como la era de los **PLÁSTICOS** dado que la producción de estos ha sobrepasado a la del acero (en volumen) desde 1979 y en los últimos veinte años el volumen de los plásticos producidos se ha más que duplicado. A pesar de eso la mayoría de los estudiantes que se gradúan de las escuelas públicas y privadas generalmente no están preparados para diseñar productos de plástico. Así se deja que el ingeniero o los técnicos aprendan la ingeniería de plásticos por su propia cuenta regularmente por el método de ensayo y error. Desafortunadamente, este tipo de educación se obtiene a un costo elevado, tanto para la empresa como para la carrera del individuo.

Dentro de la metodología del curso esperamos que tengas una participación muy activa, e intervenciones programadas.

Por una cultura tecnológica de maestro a maestro, te deseamos el mejor de los éxitos.

## **OBJETIVO GENERAL**

El participante describirá detalladamente los elementos que intervienen en el proceso de extrusión de plásticos, materiales más usados, tipos de máquinas, líneas de extrusión, Control del proceso, Seguridad industrial y conceptos generales de calidad.

# ÍNDICE

<b>Tema</b>	<b>Paginas</b>
<b>Tema 1. - Introducción.</b>	5
1.1. - Generalidades.	5
1.2. - Mercado de productos extruidos.	8
<b>Tema 2. - Materiales.</b>	9
2.1. - Índice de fluidez de materiales extruibles.	11
2.2. - Especificaciones técnicas de materiales extruibles.	13
2.3. - Criterios de selección de materiales extruibles.	14
2.4. - Preparación de material.	14
<b>Tema 3. - Tipos de máquinas usadas para el proceso de extrusión.</b>	18
3.1. - Máquinas de extrusión monohusillo.	18
3.2. - Maquina de extrusión de doble husillo.	29
3.3. - Otros tipos de máquinas de extrusión.	31
<b>Tema 4. - Línea de extrusión para la producción de tubería</b>	31
4.1. - Máquina de extrusión.	31
4.2. - Cabezal.	32
4.3. - Dado usado para la producción de tubería de plástico.	33
4.4. - Unidad de calibración.	34
4.5. - Tina de enfriamiento.	34
4.6. - Tren de tiro. (Tirador de oruga.)	35
4.7. - Equipo enrollador.	35
4.8. - Unidad de corte.	36
<b>Tema 5. - proceso.</b>	37
5.1. - Principios del proceso.	38
5.2. - Condiciones de operación.	39
5.3. - Preparación de la máquina.	51
5.4. - Arranque y paro de máquina.	51
5.5. - Hoja de producción.	52
<b>Tema 6.- Otras líneas de extrusión.</b>	53
6.1. - Línea de extrusión para el recubrimiento de cables.	53
6.2. - Línea de extrusión para la producción de placas de plástico.	54
6.3. - Línea de extrusión para la producción de láminas o películas planas.	54

<b>Tema 7. - Seguridad industrial en el proceso de moldeo por extrusión.</b>	54
7.1. - Riesgos de trabajo en el proceso de moldeo por extrusión.	54
7.2. - Equipo de seguridad industrial usado en el proceso de moldeo por extrusión.	55
<b>Tema 8. - Control de calidad en el producto.</b>	55
8.1. - Características de los productos extruidos.	56
8.2. - Especificaciones del producto.	56
8.3. - Defectos de producción más comunes y sus soluciones.	56
<b>Conclusión total del curso.</b>	58
<b>Glosario.</b>	58
<b>Bibliografía.</b>	60

## Tema 1. - Introducción.

### **Proceso de moldeo por extrusión de plásticos.**

La extrusión de plásticos es un proceso industrial de moldeo mediante el cual es posible obtener productos acabados o semi-acabados, de sección transversal uniforme en un régimen continuo, además ofrece las ventajas de técnicas de procesamiento completas y versátiles, incomparable en importancia económica con cualquier otro proceso.

La palabra extrusión se compone de dos vocablos del latín que son: "ex" que significa fuerza y "trudere" que significa empujar.

Consiste en un tornillo (husillo) que gira dentro de un cilindro fijo (cañón) el cual se calienta por medio de unas resistencias (elementos calefactores); dentro del cilindro el material se compacta, se funde, se homogeniza y se presiona contra el dado que va montado en el cabezal de la máquina.-El dado tiene una abertura la cual corresponde a la forma que uno desea producir por medio del moldeo por extrusión.

Podemos definir el moldeo por extrusión como el proceso mediante el cual se producen longitudes ilimitadas de un determinado producto con una sección transversal constante conformando el material al presionarlo para hacerlo pasar a través de una boquilla bajo condiciones controladas.

El consumo de plásticos en el mundo se estima que en la actualidad es al menos 230 millones de toneladas, de los cuales casi el 78% corresponde a termoplásticos y el restante 22% a termofijos. Se considera que el **36% en peso se procesa mediante extrusión**, 32% moldeo por inyección, 10% moldeo por soplado, 6% calandrado, 5% revestimiento, 3% moldeo por compresión y 8% otros.

Como se puede ver el proceso de moldeo por extrusión, es uno de los procesos de mayor aplicación en el mundo en lo que a producción se refiere; esto quiere decir que la mayor cantidad de material plástico procesado para la producción de diferentes piezas, se hace por medio de este proceso.

#### **1.1. - Generalidades.**

Hoy en día no podríamos comprender el procesamiento de los materiales plásticos sin el proceso del moldeo por extrusión, ya que es el proceso de mayor consumo de materias primas de todos los procesos; siendo también además el proceso mediante el cual se produce la película, la cual se considera el producto de más uso en nuestra era.

Otra de las grandes aplicaciones del proceso de moldeo por extrusión es en la producción de la materia prima que se emplea para otros procesos, lo que llamamos granulado, como materia prima virgen.

En éste proceso, una resina es fundida por la acción de temperatura y fricción, la cual es forzada a pasar por un dado encargado de proporcionarle una forma pre definida para luego ser enfriada con el propósito de evitar deformaciones permanentes.

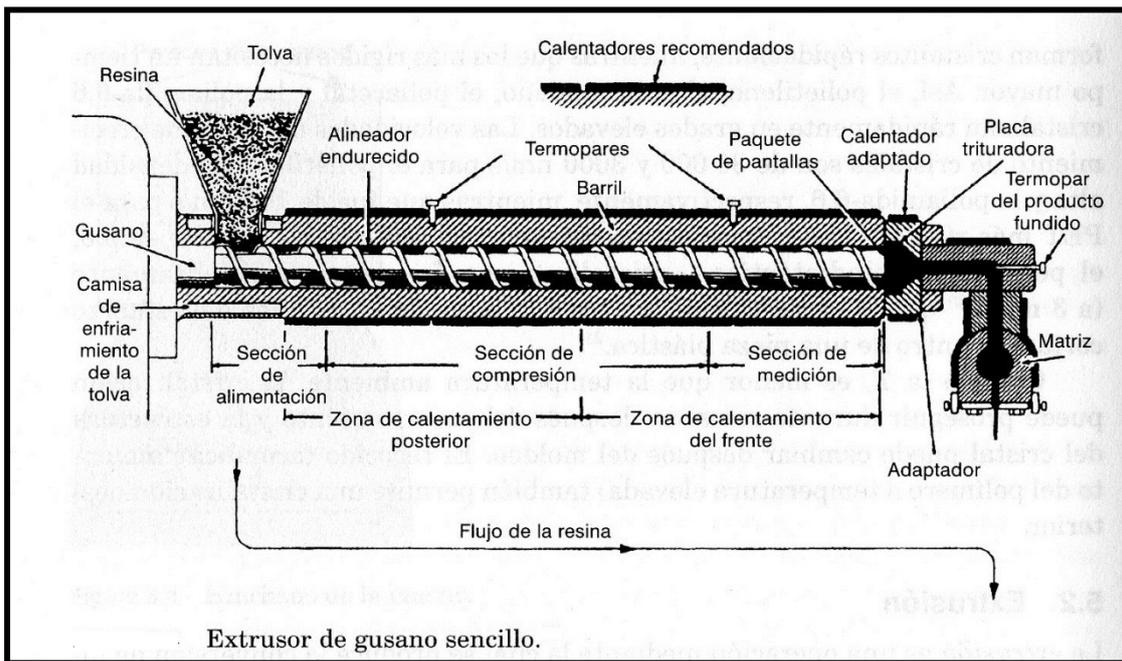
Combinaciones de varias resinas pueden ser usadas para obtener propiedades especiales sean físicas, biológicas o químicas. Algunas veces los plásticos son difíciles de moldear sin añadir aditivos comúnmente llamados plastificantes, muchos de estos aditivos pueden ser usados durante el proceso para mejorar las características del procesamiento del polímero o para alterar las propiedades del producto. Tales aditivos incluyen lubricantes, estabilizadores térmicos, antioxidantes y colorantes.

Las técnicas de extrusión pueden ser usadas para procesar la mayoría de termoplásticos y algunos plásticos termofijos. Las resinas más comúnmente extruidas incluyen polietileno, polipropileno, poliuretano, poliestireno, fluoropolímeros, poliamida, poliéster y cloruro de polivinilo flexible. Los plásticos extruidos muchas veces tienen en la fusión una viscosidad mayor, la cual permite conservar la forma dada por la matriz mientras el producto extruido se encuentra en las etapas de enfriamiento.

Al hablar de extrusión es necesario mencionar a la maquinaria asociada al proceso. Básicamente una máquina extrusora posee un tornillo metálico impulsado por un reductor de velocidad que a su vez está conectado a un motor eléctrico, que se encuentra situado dentro de un cilindro metálico revestido con una camisa que tiene instalada varias resistencias eléctricas. En un extremo del cilindro se encuentra una tolva para alimentar de la materia prima que ingresa en forma de pellets o gránulos, en la punta del tornillo se ubica la salida del material y el dado que le da la forma final al plástico; posteriormente es necesario enfriarlo rápidamente puesto que el material caliente podría perder dicha forma.



<http://www.toshiba-machine.co.jp/english/index.html>



Manual de plásticos V1

## 1.2. - Mercado de productos extruidos.

Se estima que aproximadamente el consumo de plásticos a nivel mundial es de 230 millones de toneladas, siendo el 36% de esa cantidad la que se transforma por medio del proceso de extrusión en productos y semiproductos.- Además también es importante hacer notar que toda la producción mundial de termoplásticos de alguna forma pasa la extrusión, ya que la obtención de la materia prima para los diferentes procesos de moldeo se obtiene por medio del proceso de extrusión.

Otra de las formas en las que prácticamente interviene la extrusión es en el reciclado, ya que todos los residuos de material de otros procesos, así como la recuperación de material de las piezas que durante los procesos salen defectuosas , son enviadas al área de molienda para posteriormente enviarlas a la extrusión para obtener lo que llamamos material recuperado.- Por este motivo es muy común escuchar en la industria cuando se refieren al material de determinado producto que se utilizo por ejemplo, un 80% de material virgen y un 20% de material recuperado.

Aproximadamente son 250 los fabricantes de máquinas de extrusión que están registrados a nivel mundial.

Los productos obtenidos por este proceso van desde aplicaciones cotidianas hasta aplicaciones específicas de alta ingeniería como:

Comodities	Ingeniería
<b>Mangueras, tubos y perfiles, planchas (placas) y películas, filamentos, varillas, recubrimiento de cables, reciclado, etc.</b>	preparación de compuestos de moldeo para productos de aplicaciones de ingeniería como masterbach y preparación con nanocompuestos, fibra óptica, placas de alta resistencia mecánica, películas para filtración de agua, láminas ópticas, entre otros.



## Tema 2. - Materiales.

A continuación encontrarán una pequeña tabla con los porcentos aproximados de los materiales más usados en el moldeo por extrusión.

Material	Por ciento
P.E.	48
P.P.	26
P.V.C.	15
P.S.	9
P.E.T.	2

La siguiente tabla nos indica los porcentos aproximados de los productos más comunes procesados con los materiales de la tabla anterior.

Producto	Por ciento
Películas y láminas.	68
Tubería y perfiles.	13
Recubrimiento de cables.	4
Fibra.	8
Rafia.	7



A continuación encontraremos una tabla, la cual contiene los plásticos más usados en el proceso de moldeo por extrusión, así como el nombre de algunos productos.

Nombre del material.	Abreviación	Rango de temperaturas de proceso en °C	Algunos productos moldeados por extrusión.
<b>Copolimero de policloruro de vinilo.</b>	PVC.	De 180 a 210 °C	Perfiles, láminas planas, tubos.
<b>Policloruro de vinilo con Plastificante.</b>	PVC. Flexible.	De 150 a 190 °C	Mangueras, perfiles, revestimiento de cables, películas, etc.
<b>Policloruro de vinilo.</b>	PVC. Rígido.	De 180 a 200 °C	Tubos, perfiles, placas.
<b>Poliétileno LD. Poliétileno baja densidad.</b>	PELD.	De 130 a 200 °C	Tubos, placas, películas, recubrimiento de cables, monofilamentos.
<b>Poliétileno HD. Poliétileno alta densidad.</b>	PEHD.	De 140 a 220 °C	Tubos, placas, películas, recubrimiento de cables, monofilamentos, cintas.
<b>Polipropileno.</b>	PP.	De 180 a 260 °C	Tubos, láminas planas, placas, monofilamentos, cintas.
<b>Polimetacrilato de metilo.</b>	PMMA.	De 160 a 190 °C	Placas, perfiles, tubos.
<b>Policarbonato.</b>	PC.	De 300 a 340 °C	Placas, perfiles.
<b>Poliámid.</b>	PA.	De 260 a 300 °C	Mangueras, recubrimiento de cables, monofilamentos, tubos.
<b>Poliacetal.</b>	POM.	De 170 a 200 °C	Tubos, perfiles.
<b>Poliestireno. Poliestireno normal.</b>	PS.	De 170 a 210 °C	Películas biorientadas, películas espumadas.
<b>Copolimero de estireno-butadieno.</b>	SB.	De 170 a 220 °C	Placas, perfiles, cerdas.
<b>Acetato de celulosa.</b>	CA.	De 160 a 200 °C	Listones perfilados, láminas planas, tubos.
<b>Terpolimero de acrilonitrilo-butadieno-estireno.</b>	<b>ABS.</b>	<b>De 170 a 220 °C</b>	<b>Placas, tubos, perfiles.</b>

## **Ventajas**

- Secciones transversales complejas.
- Producción a corto plazo.
- Alta productividad.
- Gran amplitud de tolerancias dimensionales.
- Operación continua.
- Bajo costo de maquinaria y de partes en relación a otros procesos.
- Posibilidad de combinación de colores.

## **Limitaciones**

- Las piezas a obtener son de sección transversal constante.
- La mayoría de productos requieren procesos posteriores de acabado

### **2.1. - Índice de fluidez de materiales extruibles.**

El índice de fluidez es la medida de la velocidad de flujo del material plástico, esta medida es inversamente proporcional a la viscosidad y al peso molecular del polímero. Los polímeros con bajo índice de fluidez muestran mayor fuerza cohesiva y elasticidad, pero son más difíciles de procesar debido a su elevada viscosidad. Un peso molecular de promedio bajo equivale a índices de fluidez altos, presentando la masa fundida una viscosidad baja, ideal para procesos de extrusión. El índice de fluidez se sitúan en un intervalo de 0.5 a 40 g/10 min. Esta medida se determina mediante un viscosímetro (Melt flow indexer) en el que una muestra homogénea se funde en el interior de un cilindro caliente a una temperatura definida para cada tipo de polímero, y tras un tiempo predefinido se obliga a pasar la masa fluida por la boquilla.

Refiriéndonos al índice de fluidez de los plásticos, es muy importante saber que en el punto en que se debe de medir dicho índice de fluidez en cada material es en estado fundido, también debemos de saber que el índice de fluidez varia mucho dependiendo del tipo de material; por ejemplo es muy diferente en el polietileno de baja densidad y el polietileno de alta densidad, así como en el polipropileno o el poliestireno.

Con lo anterior queremos dejar muy claro que cada material tendrá su propio índice de fluidez.

#### **Aparato para la determinación del índice de fluidez**

El aparato con el cual se mide el índice de fluidez de un plástico es relativamente sencillo, el cual sirve para medir el flujo de materiales fundidos como se muestra en la figura.



<http://www.google.com.mx/search?q=imagenes+de+productos>

Su funcionamiento consiste prácticamente en este caso en colocar material plástico fundido dentro de un cilindro el cual tiene un pistón con un determinado peso en la parte superior, también como podemos ver lleva un dado capilar en la parte inferior del cilindro.

El índice de fluidez es un método normalizado que nos sirve para conocer rápidamente las propiedades de fluidez de los plásticos, lo cual es muy importante para su procesamiento; en inglés a esta prueba se le conoce como Melt flow rate (MFR).

Podemos concluir diciendo que el índice de fluidez nos indica la masa en gramos de un material plástico fundido que se hace pasar a través de una boquilla (Dado capilar normalizado.) durante 10 minutos con una fuerza del pistón y a una temperatura determinada, tanto las dimensiones del dado, como la fuerza del pistón y la temperatura, están normalizados, por lo cual se tienen que respetar los valores según las normas para obtener los resultados correctos del MFR.

Seguramente nos estaremos preguntando, para que nos sirve conocer el índice de fluidez del material que voy a procesar ?

En la industria, un buen procesador, o sea el especialista de proceso responsable del área de proceso, debe de conocer en que consiste el MFR de un material, ya que él será el responsable de la calidad de procesamiento del material que se vaya a moldear; de tal forma que cuando reciba el lote de material que se va a procesar, deberá de exigir el MFR del material que esta recibiendo para inspeccionar las correctas características de procesabilidad del material que se va a procesar, ya que de lo contrario podría incurrir en una falla técnica, la cual ocasionaría perdida de tiempo y dinero para la empresa.

## 2.2. - Especificaciones técnicas de materiales extruibles.

A continuación encontraremos en una tabla los datos de procesamiento de algunos plásticos utilizados para el moldeo por extrusión.

Material.	Valores aproximados en °C de las temperaturas de proceso.						Presión (bar)	Productos
	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Cabezal	Matriz.		
<b>PVC P Polvo</b>	140	150	160	160	155	155	50 a 100	Granulados.
	210	185	175	155	180	190	150 a 250	Recubrimiento de cables.
<b>PVC P Gran.</b>	180	170	160	150	160	160	60 a 120	Mangueras, perfiles, etc.
	200	180	170	150	180	190	150 a 250	Recubrimiento de cables.
<b>PVC UPolvo</b>	185	175	165	165	160	160	75 a 150	Granulados.
	190	180	170	165	170	180	100 a 200	Tubería, perfiles, etc.
<b>PVC U Gran</b>	155	165	175	190	180	185	100 a 200	Perfiles, placas, etc.
<b>PE LD.</b>	125	125	130	130	130	135	100 a 150	Tubería, cuerpos soplados,etc.
	125	135	135	145	145	145	100 a 170	Películas sopladas.
	155	165	180	195	195	200	150 a 250	Películas planas.
	160	210	230	240	230	235	250 a 350	Recubrimiento de cables.
	160	200	220	240	230	240	250 a 350	Monofilamentos.
<b>PE HD.</b>	140	160	165	165	165	170	100 a 170	Tubería, cuerpos soplados,etc.
	220	190	170	165	165	170	100 a 170	Placas.
	140	160	170	180	180	185	150 a 200	Películas sopladas.
	200	210	240	250	240	245	250 a 400	Recubrimiento de cables.
	200	210	240	250	240	250	250 a 400	Monofilamentos.
<b>PP.</b>	180	200	215	225	225	235	150 a 200	Tubería.
	190	220	245	265	265	265	200 a 300	Películas planas.
	200	230	250	270	270	270	300 a 400	Monofilamentos.
<b>CA.</b>	160	175	195	200	200	205	170 a 200	Películas planas.
<b>PMMA.</b>	160	165	170	170	170	180	50 a 100	Placas.
<b>POM.</b>	170	190	205	200	200	200	50 a 100	Tubería, perfiles, etc.

### **2.3. - Criterios de selección de materiales extruibles.**

De acuerdo a su estructura molecular, así como a su comportamiento térmico, los plásticos se clasifican en: termoplásticos, termofijos y elastómeros. Los termoplásticos se clasifican según su estructura molecular en termoplásticos amorfos y termoplásticos cristalinos.

Prácticamente en la industria nos vamos a encontrar para su procesamiento con más materiales termoplásticos, ya que de acuerdo a sus propiedades de procesabilidad, son generalmente más fáciles de moldear. Podemos considerar por regla general que todos los termoplásticos se pueden extruir solamente cuidando que la masa de plástico a procesar tenga una alta viscosidad en estado fundido, es decir que debemos saber si el grado de fluidez que tiene dicho material sea especial para extrusión, por que cuando el material que salga del cilindro a través del dado, deberá de mantener la forma un corto tiempo sin deformarse y si no tiene la viscosidad requerida se deformara inmediatamente saliendo del dado y causara muchos problemas, y se recurre inútilmente a una serie de cambios en el perfil de temperaturas y a variar también el número de revoluciones del husillo sin obtener prácticamente buenos resultados.

### **2.4. - Preparación de material.**

Muchos de los materiales termoplásticos, se obtienen por el proceso de polimerización en forma de polvo, lo cual también es un grande problema en muchos casos para procesarse directamente en esta forma, ya que como sabemos la materia prima en forma de polvo requeriría de un tratamiento especial por lo volátil que es el polvo.- Por tal motivo y para estar más competitivo y más aceptable con su producto en el área industrial de procesadores, el productor suministra al fabricante el material plástico en forma de granulados, lo cual ya vendría siendo una preparación del material al procesarse para transformarlo de forma de polvo a forma de granulado, lo cual es de mas fácil procesamiento para la obtención de un producto final.- Esta etapa de preparación del material es por parte del fabricante de la materia prima, por ejemplo: Primex, Basf, etc.-Prácticamente cuando es un consumo de gran tonelaje por mes, por ejemplo 40 o 50 toneladas mensuales, en estos casos muchas veces el industrial hace su propia preparación de material, sobre todo se da mucho este caso con el PVC, ya que este material se presta mucho a tener una gran variedad de formulaciones ya que también en la actualidad hay una gran variedad de aditivos con los cuales se pueden tener sus propias formulaciones sin depender directamente del proveedor de materia prima tanto en lo económico como en tiempos de entrega, lo cual en muchos casos son motivo de muchos problemas.

Una formula de PVC puede formularse con diferentes tipos de PVC, así como con diferentes estabilizadores a la luz y al calor, diferentes lubricantes externos e internos, pigmentos, plastificantes y cargas. La más grande preocupación en la preparación del material es la distribución homogénea dentro de la masa de los aditivos que se agreguen, los cuales serán en un rango de 0.001 a 20 % según lo pida la formulación de acuerdo al producto. Prácticamente hay 2 formas para lograr los mejores resultados para una buena homogenización; mezclado en seco y la homogenización en estado plástico del material.

Para el mezclado en seco se recomienda preparar el material y agregados con granulación lo mas fina posible; por eso es que en las etapas de preparación del plástico se incluye la reducción del tamaño del granulado, con el fin de obtener una mejor homogenización.

Estas etapas de preparación de la materia prima, pueden ser las siguientes:

- Reducción del tamaño del granulado. (Molido.)
- Mezclado en estado sólido.
- Mezclado en estado pastoso.

### **Reducción de tamaño del granulado.**

Prácticamente la reducción de tamaño del granulado consiste en cortar el granulado por medio de esfuerzos mecánicos; o sea por medio de molino de cuchillas, triturador de cilindros, etc. Es fácil de entender que con estos medios de molienda obtendremos diferentes tamaños del granulado, lo cual sería un problema para el proceso en el cual se va a emplear ese material, porque como lo anotamos en la preparación, el material que se alimenta, o se dosifica a la máquina para el proceso del producto, debe de ser homogéneo.

De la molienda el material sale de diferentes medidas, para lo cual se recomienda pasarlo por un tamizado que haga mas uniforme el tamaño del granulado para evitarnos de esta forma problemas de calidad en el producto.

Es importante también saber que los materiales plásticos tendrán diferente comportamiento al corte ya que son de diferentes características técnicas según sea su estructura molecular, por lo que es necesario usar diferentes medios de molienda dependiendo del plástico a cortar. Para tener una más clara idea de esta etapa de selección de máquina para la reducción de tamaño del granulado.

## **Máquinas reductoras de tamaño de granulado.**

A continuación también presentamos un molino de cuchillas, ya que esta máquina es de uso común para obtener material recuperado; este molino de cuchillas se usa mucho para re granular las piezas defectuosas o los sobrantes después de algún proceso.

Podemos decir que esta máquina consiste en una carcasa fundida robusta, dentro de la cual se encuentran distribuidas 4 cuchillas fijas y 3 cuchillas de corte que van montadas en un eje que gira; los trozos del material a cortar es llevado por las cuchillas que van montadas en el eje hacia donde están las cuchillas fijas, esta operación se repite hasta que los granulados pasan a través de la criba o rejilla que va en la parte inferior de la carcasa según lo vemos en la siguiente figura.



wittmann.com.mx

Normalmente estos molinos producen mucho ruido según sea el tamaño, o sea que entre más grande sea el molino más ruido producen, por lo que se recomienda principalmente tomar precauciones para evitar daños en los oídos. También se recomienda usar el equipo completo de seguridad, ya que son varios los riesgos en esta área de trabajo.

## **Mezclado.**

Dentro de las etapas de preparación del material que se usará para los diferentes procesos esta el mezclado, el cual lo podemos clasificar en 2 tipos:

- Mezclado por lote. (Batch)
- Mezclado continuo.

Mezclado por lote o conocido en la industria también como mezclado por batch, es el mezclado que no es en una forma continua, sino que es interrumpida.



<http://www.maqs.com.ar/mezcladores.htm>

### **Máquinas amasadoras y mezcladoras.**

Lo más importante de esta etapa de mezclado en la preparación del material, es saber clasificar los materiales que se van a mezclar dependiendo de sus características, ya que estos pueden ser sólido-sólido o sólido-líquido o polvo-polvo o polvo-líquido o pastas, etc.

Lo importante de clasificar los materiales que se van a mezclar es conocer sus características técnicas para poder seleccionar un correcto equipo y lograr los mejores resultados de la mezcla, ya que cuando no se conocen dichos materiales, se cometen una serie de errores, lo cual es pérdida de tiempo y dinero.

### **Mezclado en estado sólido.**

Hay diferentes formas de llevar a cabo la operación de mezclado sólido, por ejemplo por medio de elementos generadores de turbulencia; o sea espas de diferente diseño, las cuales van adentro de una olla de mezclado la cual puede ir abierta o cerrada, según sea la mezcla.

El principio del funcionamiento de estos equipos de mezclado, es aplicar sobre las partículas de los compuestos fuerzas de impacto y fricción buscando una buena distribución, lo cual se logra después de un determinado tiempo.

### **Mezclado en estado pastoso.**

También para esta etapa del proceso existen diferentes formas de llevar a cabo la mezcla de material pastoso o líquido de una determinada viscosidad, dependiendo del volumen a mezclar se usan diferentes capacidades de mezcladoras, las cuales funcionan por medio de unas espas de diferente diseño; por ejemplo para mezclar pastas de P.V.C. se utiliza una especie de batidor extraíble que va colocado

verticalmente, el cual gira dentro de una olla cilíndrica.- Algunas mezcladoras son de doble pared con temperatura regulada.

Para algunos casos de pastas de alta viscosidad, se recomienda hacer un vacío durante la mezcla, para evitar la mayor cantidad de aire posible; estas mezcladoras son cerradas herméticamente con un manómetro instalado y una conexión para una bomba de vacío.

Consideramos que es importante hacer mención en esta parte del tema de mezclado, de las turbo mezcladoras de alta velocidad, las cuales normalmente se combinan con mezcladoras en frío.- Prácticamente esta combinación de caliente / frío tiene aplicación principalmente para la preparación de mezclas en polvo.

### **Tema 3. - Tipos de máquinas usadas para el proceso de extrusión.**

Técnicamente es de suma importancia conocer los tipos de máquinas de extrusión más usadas en la industria, con lo cual podremos programar mejor nuestra producción.

Son varios tipos de máquinas los que existen para el moldeo por extrusión, pero son dos tipos de éstas las más usadas para este proceso.

- Máquinas de extrusión monohusillo.
- Máquinas de extrusión de doble husillo.
- Otros tipos de máquinas de extrusión.

Dentro de las diferentes aplicaciones que tenemos de las máquinas de extrusión, tenemos el ejemplo más reciente que acabamos de tratar en la unidad anterior que es la preparación del material que se alimenta a la máquina de extrusión para la obtención de un determinado producto.- Por ejemplo para producir mangueras de P.V.C. flexible, se alimentará a la máquina granulado (Pellet) de P.V.C. flexible el cual se preparó en una máquina de extrusión en la etapa de "Preparación del Material"

#### **3.1. - Máquinas de extrusión monohusillo.**

Las máquinas de extrusión de un husillo, son las más utilizadas en todo el mundo; estas máquinas se construyen normalmente de husillos de diámetros de 18 mm para máquinas de laboratorio, y de 20 cm. para la extrusión de perfiles y recubrimiento de cables, para la preparación de compuestos se fabrican máquinas de 60cms de diámetro aproximadamente.

Actualmente se construyen máquinas con diámetros de husillo de 30 a 300 mm y en algunos casos se han construido máquinas de 900 mm de diámetro de husillo, las cuales se utilizan para la producción de diferentes productos a grandes velocidades de extrusión.

Estas máquinas de extrusión monohusillo, son las más usadas en la industria actualmente, de todas las partes de una máquina de extrusión, la más importante para el proceso es el husillo, sobre lo cual hablaremos mas adelante con detalle.

Como ya sabemos, varios elementos calefactores rodean el cilindro de la máquina y controlan la temperatura deseada según el perfil de temperaturas del proceso, normalmente cada elemento calefactor tiene independiente su controlador de temperatura. (Termopar.); en la mayoría de los casos, cada zona de calefacción, tiene un sistema de enfriamiento con el fin de tener un buen control de temperaturas, estos sistema de calentamiento y de enfriamiento son muy importantes en el proceso, ya que permiten tener un buen control de la temperatura, principalmente del material, tanto en la zona de entrada de la tolva al cilindro, como durante su procesamiento.

### **Características principales**

Un componente muy elemental de cualquier extrusora es el plastificador con su tornillo y barril, donde resaltan las tres zonas de procesamiento del tornillo: alimentación, transición (o compresión), y fusión. En la extrusión de plásticos, si no se usa el diseño adecuado del tornillo, los productos pueden no alcanzar los requerimientos de desempeño y costos. El eje de acero del tornillo tiene álabes helicoidales los cuales rotan dentro del barril para procesar mecánicamente y movilizar el plástico. Existen tornillos para uso dedicado y para propósito en general, el tipo de tornillo a utilizar depende del material plástico a ser procesado.

Un factor esencial en la extrusión de plásticos es la interacción entre los álabes giratorios y la pared fija del barril. El espacio entre el tornillo y el barril es a menudo extremadamente pequeño y varía dependiendo del tamaño del tornillo, si el plástico es para ser mezclado y transportado, la fricción debe ser baja en la superficie del tornillo pero alta en la pared del barril. Si éste criterio no es tomado en cuenta, el material podría rotar con el tornillo sin moverse en lo absoluto en la dirección axial y salir a través del dado.

### **Partes principales de una máquina de extrusión monohusillo.**

- (1)- Husillo.
- (2)- Cilindro.
- (3)- Tolva.

- (4)- Motor.
- (5)- Transmisión.
- (6)- Elementos calefactores.

### (1) Husillo.

El husillo es la parte más importante de una máquina de extrusión, ya que dependiendo de los materiales que se deseen procesar, será el diseño del husillo el que con especial atención se deberá de seleccionar.

#### Profundidad del filete en la zona de alimentación

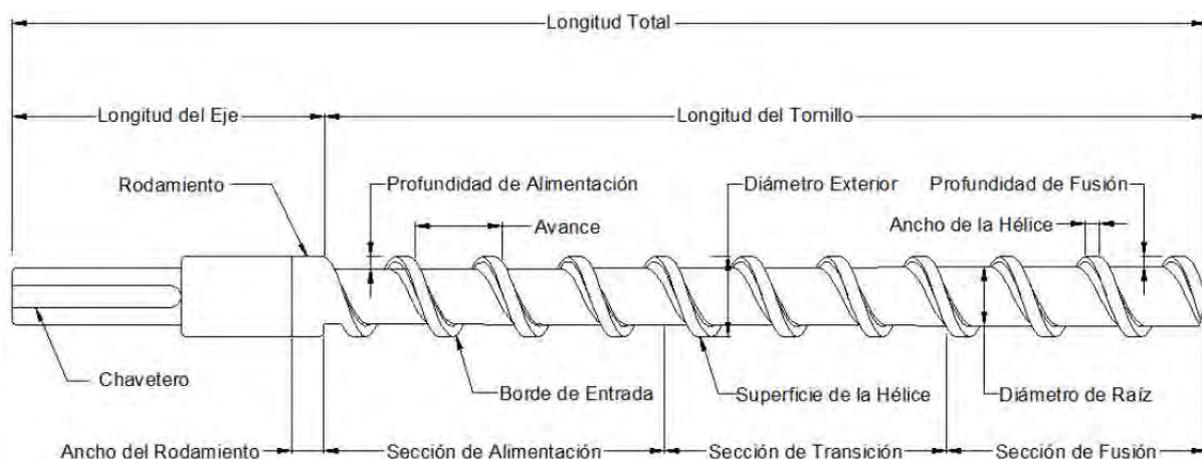
Es la distancia entre el extremo del filete y la raíz del tornillo. En esta parte, los filetes son muy pronunciados con el objeto de transportar una gran cantidad de material al interior de la máquina extrusora, admitiendo el material sin fundir y aire que está atrapado entre el material sólido.

#### Profundidad del filete en la zona de descarga

En gran parte de extrusoras, la profundidad de filete en la zona de alimentación es mucho menor. Como consecuencia se obtiene una reducción de volumen en que el material es transportado, ejerciendo una compresión sobre el material plástico. Esta compresión es útil para mejorar el mezclado del material y para la expulsión del aire que entra junto con la materia prima.

#### Relación de compresión

Como las profundidades de los álabes no son constantes, las extrusoras se diseñan dependiendo del tipo de material a procesar, ya que los plásticos tienen comportamientos distintos al fluir.



La relación entre la profundidad del filete en la alimentación y la profundidad del filete en la descarga, se denomina relación de compresión. El resultado de este cociente es siempre mayor a uno y puede llegar incluso hasta 4.5 para ciertos materiales.

## **Longitud**

Ésta característica tiene una importancia especial ya que influye en el desempeño productivo de la máquina y en el costo de ésta. Funcionalmente, al aumentar la longitud del tornillo y consecuentemente la de la extrusora, también aumenta la capacidad de plastificación y la productividad de la máquina. Comparativamente, operando dos extrusoras bajo las mismas condiciones de velocidad angular y temperatura que sólo difieran en longitud, la máquina de menor longitud no podría alcanzar la capacidad de fundir o plastificar el material después de recorrer toda la extrusora, mientras que la de mayor longitud ocupará la longitud adicional para continuar la plastificación y dosificará el material perfectamente fundido.

La calidad de mezclado y homogeneización del material es otro aspecto que se mejora al incrementar la longitud. Así, en un extrusor pequeño la longitud no es suficiente para fundir el material al llegar al final del mismo y el plástico se dosifica mal mezclado.

Un extrusora de mayor longitud fundirá el material antes de llegar al final y en el espacio sobrante seguirá mezclando hasta entregarlo más homogéneo. Esto es importante cuando se procesan materiales pigmentados o aditivos que requieran incorporarse perfectamente en el producto.

## **Diámetro**

Influye en la capacidad de producción de la máquina y generalmente aumenta en proporción con la longitud del equipo. A diámetros mayores, la capacidad en kg/h (lb/h) es posiblemente superior. Al incrementar esta dimensión debe hacerlo también la longitud del tornillo, ya que el aumento de la productividad debe ser apoyada por una mejor capacidad de plastificación.

Como consecuencia de la importancia que tienen la longitud y el diámetro del equipo, y con base en la estrecha relación que guardan entre sí, se acostumbra especificar las dimensiones principales del tornillo como una relación longitud / diámetro (L/D).

El rango de la relación L/D varía de 6 a 48, teniendo valores comunes entre 24 y 36 (siendo 24 el más popular). Relaciones L/D de 40 o más altas son usadas para alcanzar requerimientos especiales tales como extrusoras con sistemas de venteo que necesitan la extracción de humedad y compuestos volátiles del plástico fundido.

## **Tasa de salida**

La tasa de salida o descarga ( $v$ ), es la velocidad a la cual el plástico se moviliza a través de la extrusora. Generalmente los rangos van desde unos pocos kilogramos hasta más de 5 toneladas por hora y en extrusoras de tornillo doble con rango de diámetros entre 14 y 300 mm (0.55 y 12 pulg.) es posible obtener tasas de salida desde unos pocos kilogramos hasta al menos 30 toneladas por hora.

Otro de los aspectos importantes que se deben de conocer sobre el husillo de una máquina, es su momento de torsión, ya que de acuerdo a los esfuerzos a que se va a someter, es un dato muy importante para tener una más clara idea sobre su vida útil.

Las máquinas de extrusión se construyen con diámetros de husillo estandarizados; los diámetros más comunes que se encuentran en el mercado de máquinas, son los siguientes:

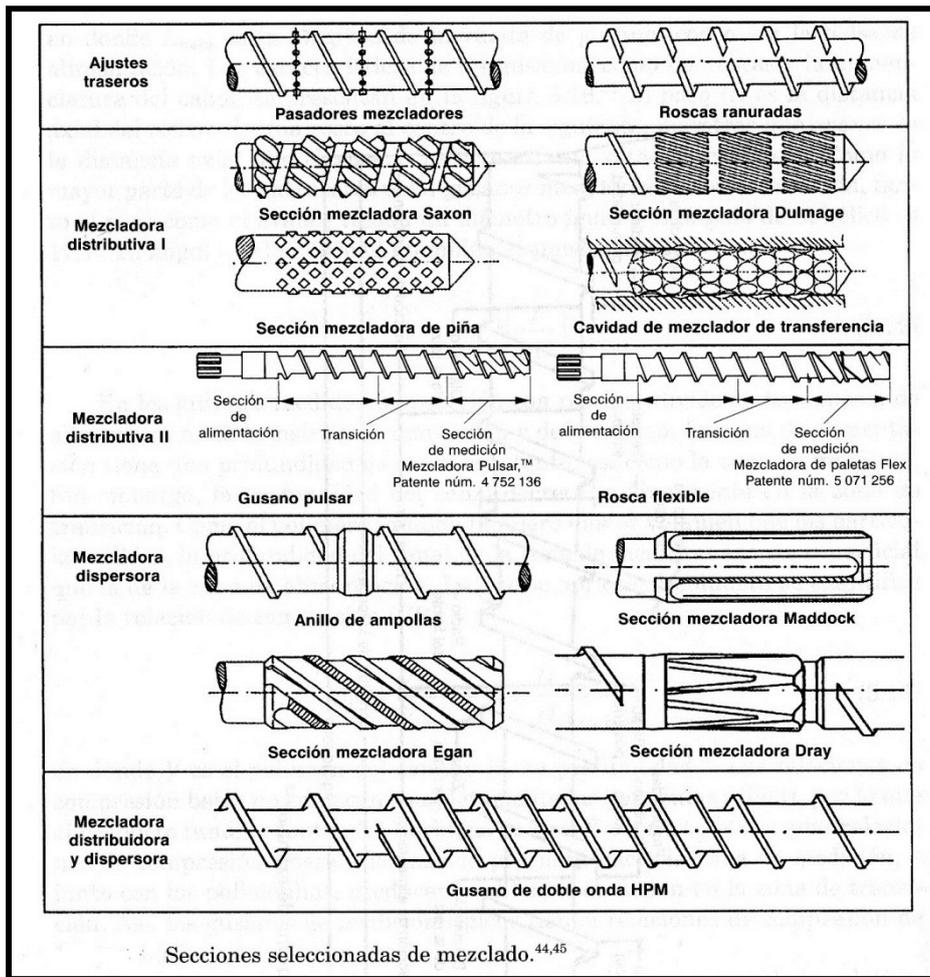
45, 60, 90, 120, 150, 200 y 250 mm y de 20 a 30 D para la longitud.

## **Relación de compresión.**

Es muy importante la relación de compresión de un husillo, la cual se determina con las profundidades del filete **h1** y **h2**, prácticamente esta relación de compresión es la que determina la compactación de la masa del plástico cuando pasa durante el proceso al estado fundido.

Existen varios diseños de husillos para el procesamiento de los diferentes tipos de plásticos, pero todos se basan prácticamente sobre el mismo principio en la diferencia de profundidades del filete **h1** y **h2** como lo muestran las siguientes figuras.

- Husillo de 3 zonas
- Husillo progresivo



Manual de plásticos V1

### Longitud del husillo.

Prácticamente la longitud del husillo determina la capacidad de plastificación de la extrusora, así como su rendimiento, o sea cuantos kilogramos por hora puede procesar. Para un nuevo proyecto es muy importante conocer; en primer lugar el producto que se desea producir, pero también se recomienda hacer en lo posible un estudio sobre los posibles productos que en la misma máquina se puedan producir, para que de esta forma se consideren para el futuro cambios de producción, ya que una inversión de esa magnitud justifica darle el tiempo para todo este estudio.

Tanto la relación de compresión como la longitud del husillo son muy importantes para determinar la compra de una máquina, ya que son los principales factores que determinan el costo de una máquina.

Lo más importante técnicamente es no tener una longitud de husillo corta para que la máquina me salga mas barata, ya que la limitación sería que con una corta longitud de husillo, la máquina no tenga la suficiente capacidad de plastificación, además de que tendría menos capacidad de producción.

También es muy importante considerar que la máquina no este sobrada, o sea que no tenga mas longitud de husillo de la requerida para el proceso, y por consiguiente sobrada relación de compresión, ya que en primer lugar representaría una mayor inversión para la compra de la maquina, y además sería mas cara la operación de la misma.

## **(2) Cilindro. (Cañón.)**

El cañón es un cilindro hueco (tubular), dentro del cual va el husillo; el cilindro de las máquinas monohusillo, normalmente son de una sola pieza; generalmente se utilizan para procesar el P.V.C. flexible.- Para algunos casos estos cilindros de una pieza se fabrican con desgasificación, o sea con una perforación en una determinada posición en la parte superior del cilindro, para permitir la salida de los gases generados durante el proceso.

Los cilindros de una sola pieza con desgasificación se utilizan normalmente para el procesamiento de los siguientes materiales:

- Poliestireno. (PS)
- Copolimero Estireno Butadieno. (SB)
- Arilonitrilo Butadieno Estireno. (ABS)
- Polimetacrilato de metilo. (PMMA)

## **Cilindro (Cañón) de una máquina de extrusión.**

Para el procesamiento de poliolefinas, normalmente el diseño de los cilindros es en 2 partes, ya que en la parte que corresponde a la sección de alimentación, lleva un buje ranurado aproximadamente de 3D de largo y el resto de la longitud del cilindro es liso.

Una de las principales funciones de la parte ranurada del cilindro, es la de aumentar la capacidad de la extrusora, otra de las funciones del buje ranurado es evitar que el material gire con el husillo, además de provocar una alimentación forzada.

## **(3) Tolva de alimentación.**

La tolva es la unidad de la línea de extrusión, mediante la cual se alimenta la materia prima constantemente a la máquina de extrusión.

Existen diferentes diseños de tolvas de alimentación para diferentes usos según sean los materiales a procesar.- Normalmente se usa en muchos casos la tolva de alimentación convencional.

### **Tolva de alimentación convencional.**

El uso de esta tolva de alimentación convencional se recomienda, cuando la materia prima sea virgen y granulada, ya que el material recuperado y el polvo pueden causar algunos problemas de aglomeración.

### **Tolva de alimentación convencional.**

No debemos descuidar las dimensiones, y sobre todo los ángulos de caída del material en la tolva de alimentación, ya que es la causa de una serie de problemas que se presentan en el inicio del proceso.

Según sea la función que deba desempeñar la tolva, tenemos la siguiente clasificación:

- Tolva Convencional.
- Tolva Dosificadora.
- Tolva Secadora.
- Tolva de alimentación forzada. (Crammer.)
- Tolva Vibratoria.

Uno de los problemas más comunes que se encuentra uno en la industria es la aglomeración del material cuando se procesa la materia prima en polvo, sobre todo cuando es P.V.C. ; como posible solución a este problema se recomienda que se use la tolva vibratoria.

### **Tolva de alimentación forzada. (Crammer.)**

Muchas veces aun usando la tolva vibratoria persiste el problema de aglomeración cuando se procesan polvos o material reciclado; en estos casos se debe de usar la tolva de alimentación forzada (Crammer.), siendo el problema en este caso el costo de este tipo de tolva, ya que es mucho mas cara que las tolvas convencionales

### **Tolva secadora.**

Otro de los importantes enemigos de los plásticos, sobre todo para los plásticos higroscópicos, es la humedad, ya que presentan una serie de problemas al procesarse, por lo cual se tienen que secar antes de dosificarse a la máquina de extrusión.- Un determinado grado de humedad se puede eliminar con una tolva secadora, sustituyendo de esta forma la etapa de secado que se tiene que hacer en algunos casos en unidades de secado antes de mandar el material a la tolva de alimentación de la máquina, lo cual representa más tiempo de proceso y mas costos de operación.

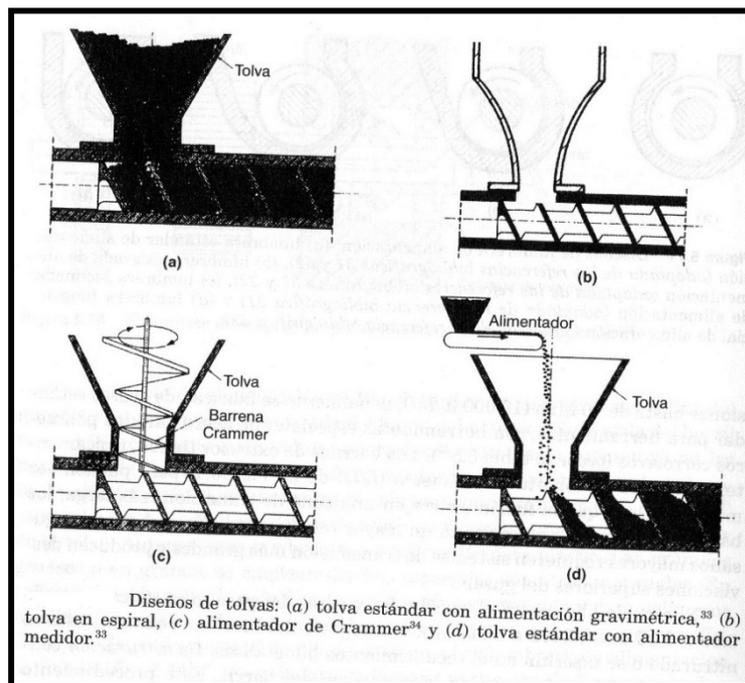
### Sistemas especiales de alimentación.

Muchas veces los problemas de calidad de un producto están relacionados con el control que se tenga en los sistemas de alimentación, ya que cuando se tienen que mezclar pigmentos, aditivos y material recuperado y no se logra una buena homogenización, se presentan una serie de rechazos en la producción, o sea que no pasan el control de calidad. Para estos casos se recomienda usar un sistema gravimétrico de alimentación, según lo mostramos en el siguiente esquema.

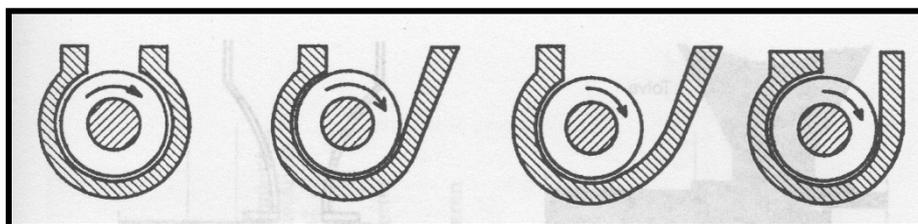
### Sistemas de alimentación automática para líneas de gran producción.

Para máquinas de extrusión de gran producción, normalmente se utilizan sistemas automáticos de alimentación del pellet a la máquina, los cuales consisten en transportar la materia prima de grandes contenedores a la tolva de alimentación de la máquina.

A continuación mostramos un esquema de una instalación de la producción de compuestos, en la cual podemos ver la representación esquemática de los sistemas de alimentación.



Manual de plásticos V1

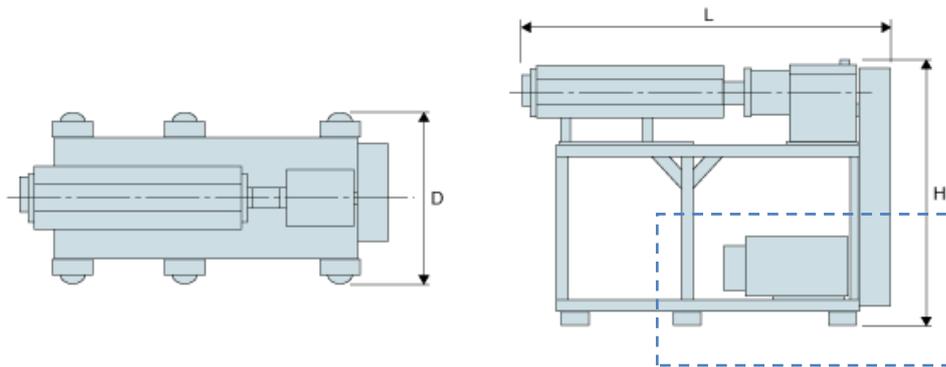


Manual de plásticos V1

#### (4) Motor.

Sabemos que para el accionamiento de cualquier máquina se requiere de un motor; en este caso para el accionamiento de la máquina de extrusión, generalmente se usa un motor eléctrico de una determinada potencia, la cual esta en relación del diámetro del husillo, normalmente las máquinas de extrusión deben de operar a diferentes velocidades, según sea el plástico y el dado que se vaya a utilizar.

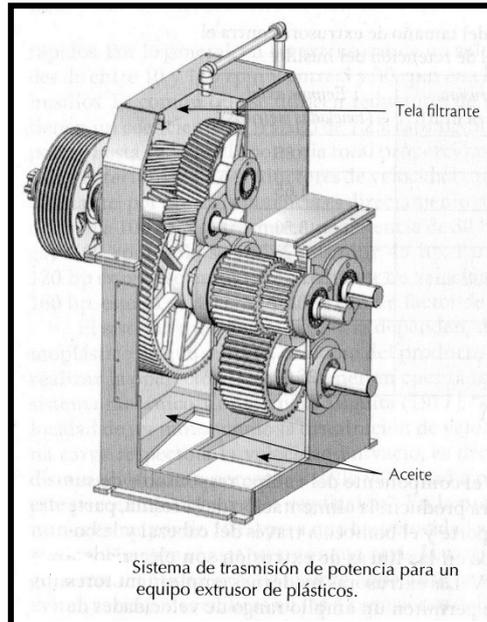
El motor produce la fuerza motriz la cual es transmitida al husillo por medio de una caja de engranes.



#### (5) Transmisión.

Prácticamente es una caja de engranes o variador de velocidad, de una máquina, mediante la cual se reducen o se aumentan las revoluciones por minuto, aumentando o disminuyendo el torque transmitido al eje motriz del husillo, según sea el material a procesar.

El motor principal transmite el movimiento de giro al husillo de la máquina, pero normalmente es a una velocidad mayor de la que se necesita para procesar el material. Para regular la velocidad y el torque requerido para el proceso, la máquina dispone de un dispositivo llamado reductor de velocidad o caja de engranes, con el cual se reducen las revoluciones por minuto y aumenta el torque del eje motriz del husillo.



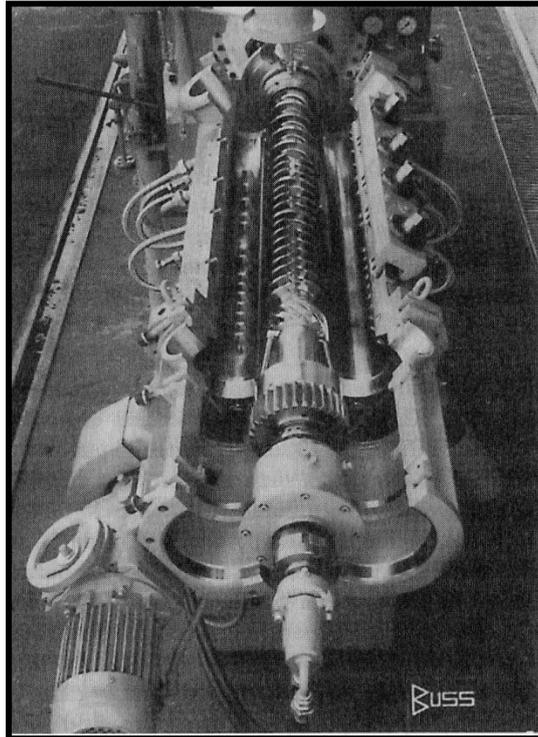
Introducción a la ciencia y tecnología de polímeros

### **Variador de velocidad.**

- 1.- Mecanismo de control manual.
- 2.- Motor c.a.
- 3.- Engrane y piñón de alta velocidad. (Fácilmente intercambiables)
- 4.- Unidad de control.
- 5.- Sistema de muelles compensadores para mantener automáticamente la tensión de la correa.
- 6.- Poleas de gran diámetro con caras internas pulidas.
- 7.- Sistema de ajuste de las poleas con los ejes.
- 8.- Correa de transmisión.

### **(6) Elementos calefactores.**

Prácticamente el cilindro o cañón, va cubierto de los elementos calefactores, los cuales transmiten parte de la energía térmica requerida para el proceso, ya que más de un 40% de la energía necesaria para fundir el plástico, se logra mediante la fricción del husillo contra el material en el interior del cañón.



Manual de plásticos V1

### 3.2. - Máquina de extrusión de doble husillo.

Las máquinas de extrusión de doble husillo no deben de considerarse como máquinas análogas a las monohusillo, ya que prácticamente son muy diferentes, siendo además muy diferentes entre si.

Fue entre los años de 1930 y 1940 cuando apareció el diseño de máquinas de extrusión de varios husillos, actualmente las más usadas para determinados procesos.

Si comparamos el uso que tienen a nivel mundial las extrusoras, podemos considerar que las máquinas de extrusión de un husillo, son las que mayor uso tienen, y las maquinas de extrusión de doble husillo las de menor aplicación, pero de mayor importancia, ya que es en las máquinas en las que normalmente se produce el granulado, el cual sirve como sabemos, como materia prima de todos los procesos.

Estas máquinas de extrusión de doble husillo las podemos clasificar de acuerdo a la siguiente forma:

- Según el sentido de rotación de los husillos.
- De acuerdo a la colocación de los husillos.

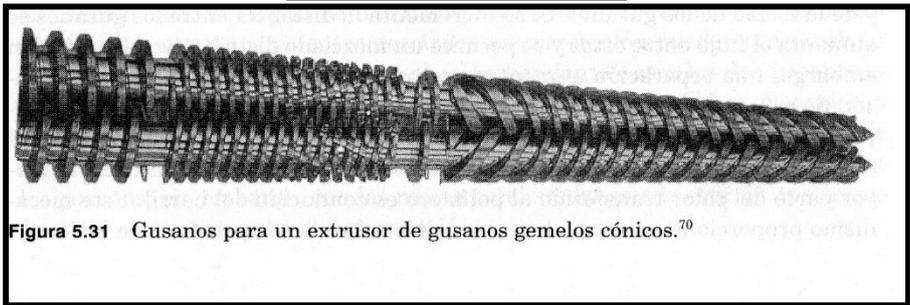
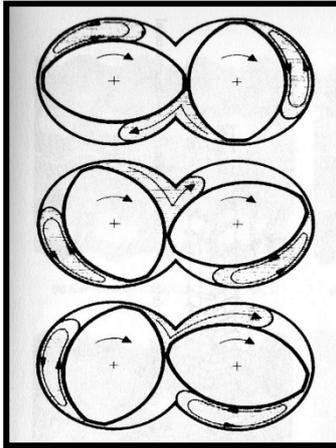


Figura 5.31 Gusanos para un extrusor de gusanos gemelos cónicos.<sup>70</sup>

Manual de plásticos V1

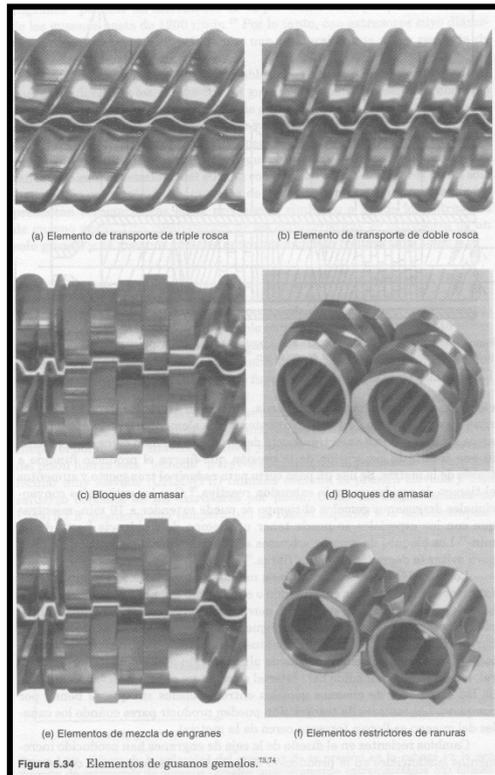


Figura 5.34 Elementos de gusanos gemelos.<sup>73,74</sup>

### 3.3. - Otros tipos de máquinas de extrusión.

Solamente como información técnica para este curso de extrusión, a continuación analizaremos brevemente algunas máquinas que cumplen con los principios básicos del proceso de extrusión.

Para considerar extrusión, se tienen que cumplir 3 importantes pasos de este proceso, que son:

- Material fundido.
- Presión.
- Hacer pasar el material fundido a base de presión a través de una boquilla.

La clasificación más importante que se hace en este proceso para lograr la extrusión, es el sistema utilizado para obtener la presión, y de acuerdo al sistema utilizado para obtener la presión, es como se clasifican las máquinas de extrusión.

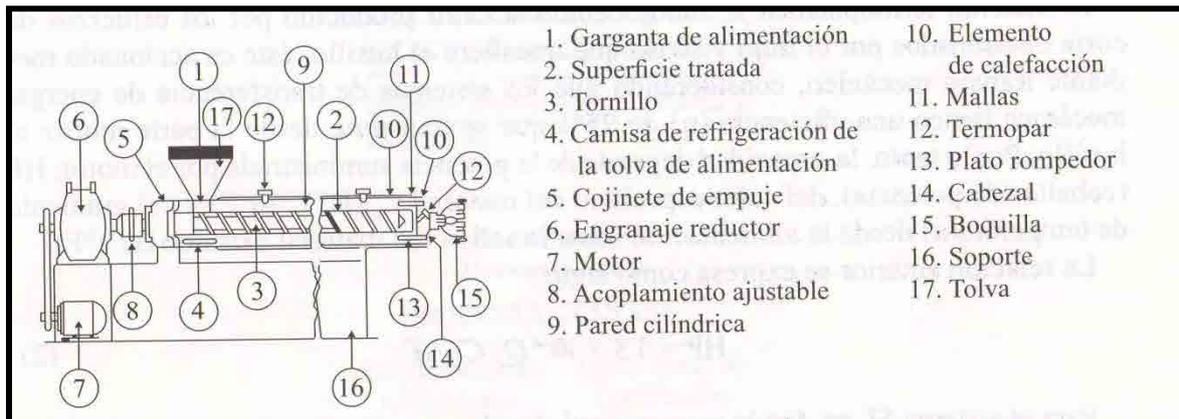
	Máquinas de extrusión de pistón.
Máquinas de extrusión de desplazamiento positivo.	Máquina de extrusión de bomba de engranes. Máquina de extrusión de rodillos.
Máquinas de extrusión de fricción viscosa.	Máquina de extrusión de tambor rotatorio. Máquina de extrusión de husillo. (Monohusillo, Doble husillo y Husillos múltiples.) Máquina de extrusión elastodinámica.
Otros tipos de máquinas de extrusión.	Máquina de extrusión hidrodinámica.

De acuerdo a esta clasificación, las máquinas de extrusión de husillo, se deberían de clasificar en el grupo de las máquinas de extrusión de desplazamiento positivo, pero para una más clara comprensión en este curso, las estamos considerando en el grupo de las máquinas de extrusión de fricción viscosa, ya que es el conocimiento de las monohusillo y doble husillo las que nos interesa cubrir en este diplomado.

## **Tema 4. - Línea de extrusión para la producción de tubería**

### 4.1. - Máquina de extrusión.

Prácticamente para la producción de tubería de plástico, se usa la máquina de extrusión monohusillo, la cual ya tratamos en los temas anteriores.



#### 4.2. - Cabezal.

El cabezal de una máquina de extrusión, es la pieza que va unida al cilindro conocido también como cañón de la máquina.

*Muchos trabajadores se refieren al cabezal como si fuera el dado, y se refieren al dado como si fuera el cabezal, ya que muchas veces el cuerpo del dado es el que se une directamente al cilindro de la máquina.- En otros casos el dado va unido al cuerpo del cabezal, el cual va unido al cilindro de la máquina.*

En estos casos lo que se recomienda es tener cuidado con el uso correcto de términos según sea específicamente la pieza a la que uno se esté refiriendo.

Consideramos que prácticamente no hay ningún problema con el uso de estos términos, lo cual explicaremos con mayor claridad con la siguiente información.

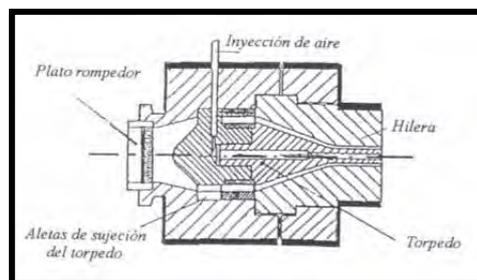
Existen varias formas de sujeción del cabezal o del dado al cilindro de la máquina; cuando se compra un dado, o cuando se necesita seleccionar un cabezal para una máquina, es muy importante considerar el diseño de los elementos de sujeción del dado o cabezal al cilindro de la máquina, ya que es muy importante considerar que prácticamente, cuando la línea está trabajando, es muy común estar limpiando el cabezal o el dado, o el plato rompedor, de tal forma que es una operación que deberá de ser rápida y sobre todo porque esta operación normalmente se hace sobre la marcha, o sea considerando que las piezas están calientes.

Las siguientes figuras nos muestran algunos elementos de sujeción del cabezal al cilindro de la máquina.



### Cabezal con plato rompedor, filtros y válvula.

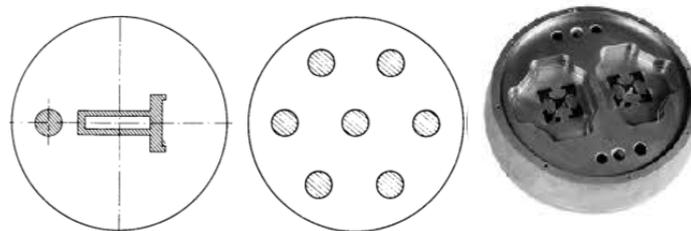
La siguiente figura nos muestra un montaje de cabezal con plato rompedor, filtro de mallas metálicas, tornillos basculantes de fijación y válvula de control de flujo.



### 4.3. - Dado usado para la producción de tubería de plástico.

Son varios los dados usados en el moldeo por extrusión, siendo el dado para la producción de tubería de plástico el más representativo de este proceso.

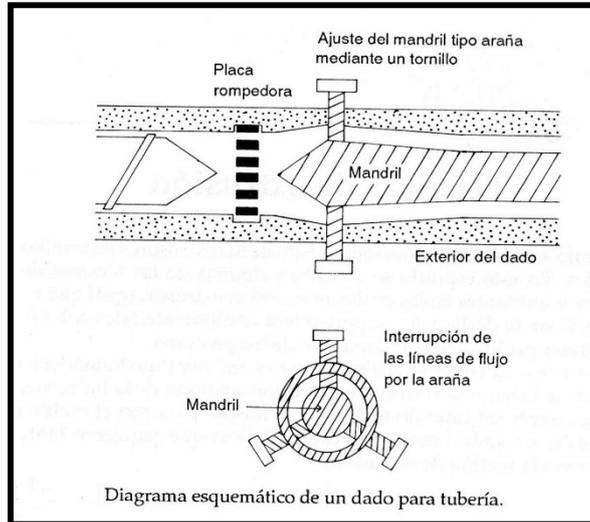
En la siguiente figura, encontramos las partes principales del dado usado en el moldeo por extrusión para producir tubería de plástico.- A continuación, con una proyección trataremos de explicar la función de este dado.



Partes principales de un dado para la producción de tubos de plástico.

1. - Soporte. (Araña.)
2. - Parte del cuerpo del cabezal
3. - Macho.
4. - Hembra.

5. - Tornillos centradores.
6. - Torpedo.
7. - Banda de calefacción.
8. - Conexión con la extrusora



#### 4.4. - Unidad de calibración.

Existen diferentes tipos de calibradores para la calibración en la producción de tubos de plástico.

1. - Calibración externa del tubo con boquillas calibradoras al vacío.
2. - Calibración externa del tubo en tanque al vacío.
3. - Calibración externa del tubo con aire comprimido.

#### Sistema de calibración externa.

#### 4.5. - Tina de enfriamiento.

En la línea de producción de tubos de plástico, la unidad que sigue inmediatamente después de la calibración es la unidad de enfriamiento; esta unidad es de diferentes formas, dependiendo del producto que se esté produciendo, el sistema más sencillo de esta etapa de enfriamiento, es la que llamamos tina de enfriamiento, la cual consiste de una tina abierta con entrada y salida de agua con una recirculación continua.



#### **4.6. - Tren de tiro. (Tirador de oruga.)**

En la línea de producción de tubos, después de la etapa de enfriamiento, va instalada una unidad de tiraje.-La velocidad de esta unidad de tiraje, debe de estar perfectamente bien sincronizada con la producción que este programada en la extrusora, porque de no ser así, se tendrán graves problemas con las dimensiones y la calidad del tubo.

Otro de los problemas que puede uno encontrarse en estas unidades de tiraje, son en su ajuste, ya que de no estar bien apretado, se puede patinar ocasionando problemas; o de lo contrario, si está demasiado apretado, se podrán presentar problemas con la calidad del producto.

Para la producción de tubos y perfiles, son prácticamente muy usadas las unidades de tiraje de oruga, pero según sea el producto, se podrán usar unidades de tiraje de cintas, de rodillos o de tambor.



Tren de tiro de oruga.

#### **4.7. - Equipo enrollador.**

Normalmente en las compañías, uno de las principales preocupaciones es el espacio para el almacenaje de sus productos.- Como sabemos en el proceso de moldeo por extrusión, la producción es continua, por lo tanto se deberá de tener mucho cuidado con el buen funcionamiento y la buena sincronía de la unidad de corte con el sistema

de acomodamiento de los productos; ya sea con los equipos de enrollamiento o de apilamiento.

El equipo de enrollamiento se usa para los productos que se puedan enrollar; por ejemplo cables, películas, tubos de diámetro pequeño o mediano según sea el material, por ejemplo polietileno flexible; además este equipo se usa para una serie de diferentes formas de perfiles, siempre y cuando sean flexibles y se puedan enrollar, el accionamiento de estos equipos se diseña de tal forma que el producto se enrolle con una velocidad constante, ya que el diámetro del carrete aumenta en cada vuelta.

Para el enrolado de película, por lo general se usa accionamiento indirecto; o sea por medio de un rodillo como lo muestra la siguiente figura:

1. - Bobina. ( Rollo )
2. - Rodillo de accionamiento.
3. - Motor.



#### **4.8. - Unidad de corte.**

Antes de estudiar los equipos de corte, es muy importante tomar en cuenta que la producción en una línea de extrusión, es continua; o sea que no podemos detener la producción para hacer los cortes.

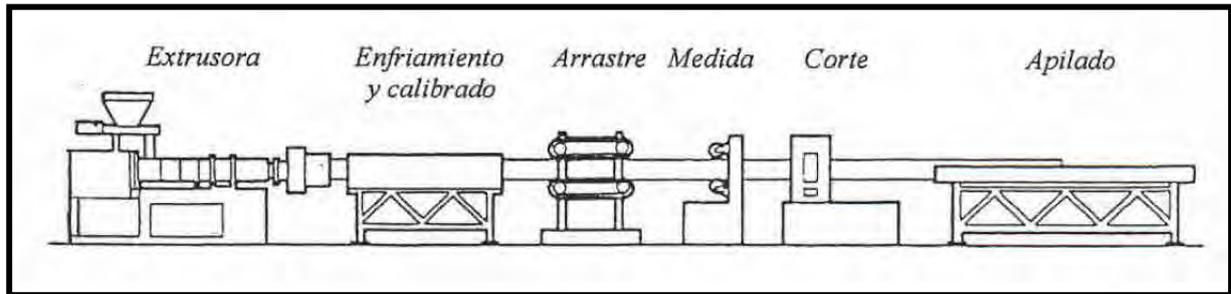
Los factores más importantes que debemos de considerar para seleccionar un equipo de corte, son los siguientes:

- Diámetro del producto.
- Material. ( Grado de flexibilidad )
- Calidad de corte según tolerancias.
- Velocidad de producción.

Prácticamente los cortes son relativamente sencillos y los equipos de corte son baratos cuando las dimensiones del producto son pequeñas; por ejemplo para cortes de tubos no mayores de 15 cm de diámetro, los equipos de corte más comunes son:

- De guillotina.
- Sierra de disco.
- Cuchillas.

Los equipos de corte para tubos de mayor diámetro, son más caros, ya que para lograr la sincronía con la línea de producción, requieren de un diseño especial.



### **Tema 5. - proceso.**

Definimos el moldeo por extrusión como el proceso mediante el cual se producen longitudes ilimitadas de un determinado producto con una sección transversal constante conformando el material al presionarlo para hacerlo pasar a través de una boquilla bajo condiciones controladas.

Como ya sabemos, una línea de extrusión se forma de varias unidades, o sea varias etapas del proceso cada una de las cuales tiene gran importancia para obtener un producto de calidad; la máquina de extrusión es la que marca el inicio de la sincronía que deben de tener cada uno de los equipos de cada unidad de la línea de producción.

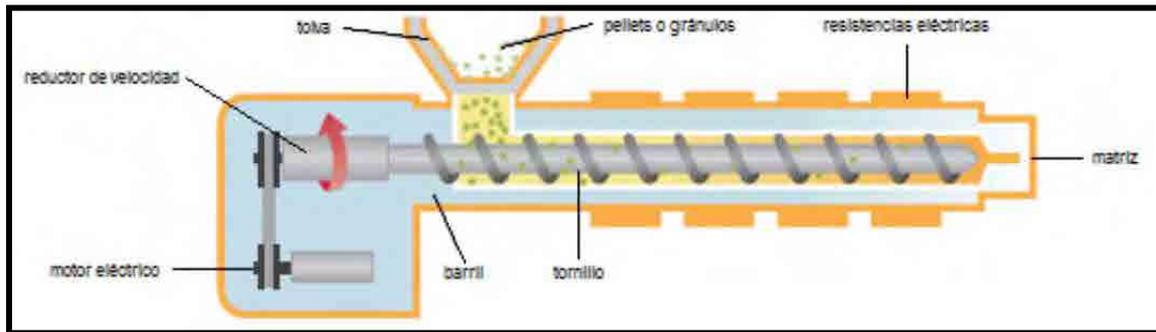
Por ejemplo, la tina de enfriamiento es la etapa del proceso que va inmediatamente después de la máquina de extrusión, la función de la tina de enfriamiento es la de enfriar el producto el cual acaba de salir de la máquina de extrusión, en un determinado tiempo, de tal forma que si ese tiempo de enfriamiento no esta sincronizado con la salida del producto de la máquina, tendríamos problemas, ya sea en la calidad del producto cuando el tiempo de enfriamiento sea menor, o perdida de tiempo en el proceso cuando el tiempo sea más del requerido para el enfriamiento considerando que el tiempo de proceso es un factor muy importante, sobre todo para el calculo de costos.

Así con cada una de las unidades de la línea de producción, según sea el producto, se deberá de tener una correcta sincronía de toda la línea cuidando principalmente la calidad del producto, así como el factor tiempo del proceso.

## 5.1. - Principios del proceso.

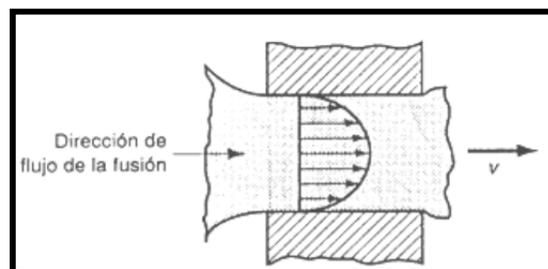
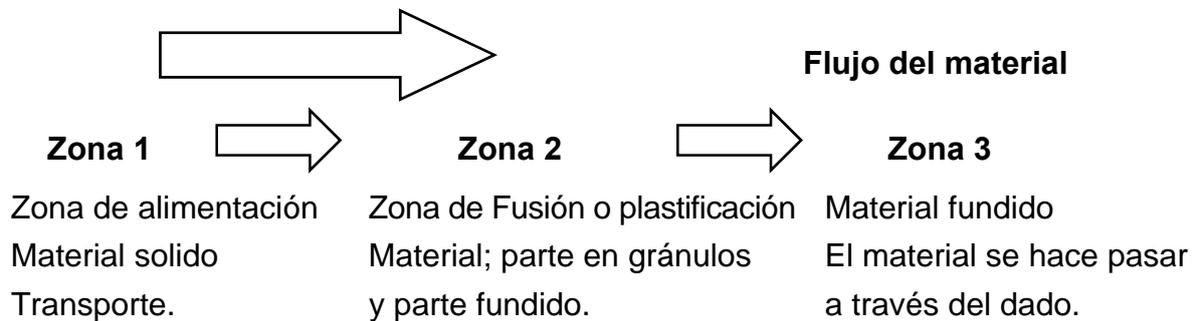
Unidad de plastificación.

Dentro de la máquina de extrusión, la unidad de plastificación es la parte más importante del proceso.-Prácticamente el husillo y el cilindro (Cañón.) son las dos partes de la máquina que forman la unidad de plastificación.



Zonas características durante el proceso de extrusión.

Son 3 las zonas características a las que se somete el material durante el proceso de extrusión.



### Zona 1. - Zona de alimentación.

Esta es la zona en la cual se alimenta el material, ya sea en gránulos o en polvo, a la máquina ; prácticamente el material al caer dentro del cilindro se encuentra en estado sólido.- En esta etapa el material se transporta.

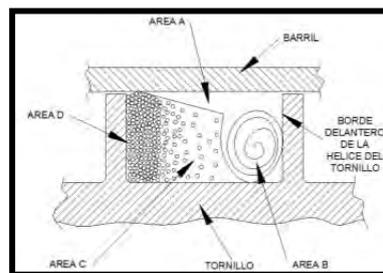
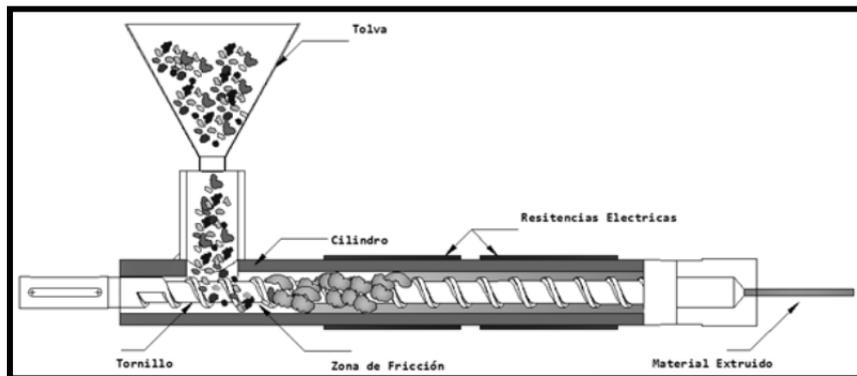
## Zona 2. - Zona de fusión o de plastificación.

Por la forma del diseño del husillo, el material es transportado hacia la punta del husillo de acuerdo al sentido de flujo.- En esta zona el material está siendo transformado de su estado sólido a su estado líquido; o sea se encuentra en la zona de fusión.

## Zona 3. - Zona de bombeo.

Prácticamente en esta zona el material es forzado a pasar por el dado, el cual tiene en su abertura, la forma del producto deseado.

Para entender más claramente el nombre de esta zona de bombeo, diremos que cuando el material es forzado a pasar a través del dado, estamos considerando que el material es bombeado, ya que por la forma del diseño del husillo, se ejerce cierta presión interna en esta etapa del proceso para lograr precisamente la extrusión.



## 5.2. - Condiciones de operación.

Para fijar las condiciones de operación, es muy importante recibir del cliente todas las especificaciones técnicas con las que el producto deberá cumplir la función que va a desempeñar, estas especificaciones están directamente relacionadas con el esfuerzo o esfuerzos a que se vaya a someter el producto, por ejemplo para la producción de una manguera o de un tubo, o de una película, serán diferentes los esfuerzos a que se va a someter cada producto.- Aún en la misma línea del producto se deberán de

tener una serie de consideraciones, por ejemplo para la producción de un tubo, no será el mismo material empleado para la fabricación de un tubo, el cual será usado para transportar agua, que un tubo que será utilizado para que a través de ese tubo circule aceite o algún ácido, o algún otro líquido a diferentes temperaturas.

Muchas veces el fabricante participa parcialmente en el diseño del producto, por ejemplo para determinar el espesor para lograr la resistencia necesaria según sea el uso que vaya a tener el producto.

Según sea la materia prima seleccionada, tanto en calidad como en presentación, o sea granulada o en polvo o con un porcentaje de material reciclado, etc. será como se fijen las condiciones de operación de la línea de proceso.

Del producto y la materia prima seleccionada para su producción, dependerán las condiciones de operación para obtener un producto dentro de especificaciones tanto en dimensiones como con las características mecánicas, físicas y ópticas que exigen las normas de producción.

Las condiciones de operación de la línea de proceso dependerán de las condiciones de operación de la máquina de extrusión, las cuales son principalmente:

- Perfil de temperaturas.
- Revoluciones por minuto del husillo. ( rpm.)
- Presión.

### **Moldeado en la zona de dosificación**

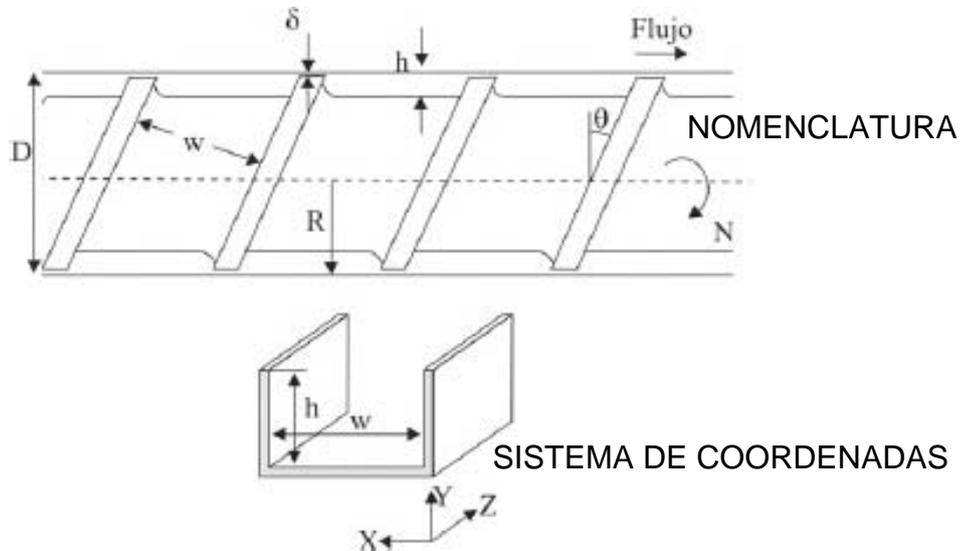
#### **Ecuaciones de velocidad:**

La zona de dosificado es la que ha sido analizada en mayor profundidad desde un punto de vista teórico. Los cálculos se simplifican mucho en esta zona respecto a las otras debido a que el material se encuentra en estado fundido y se puede considerar que es homogéneo. Con ciertas aproximaciones, los resultados del análisis se pueden expresar en forma de ecuaciones simples que son útiles como primera aproximación a la operación de la extrusora en esa zona.

Para hacer el estudio del movimiento del material en el canal del tornillo se realizan algunas suposiciones.

- El canal del tornillo se considera de sección rectangular
- El canal del tornillo se encuentra “desarrollado” y se escoge el sistema de coordenadas

- El cilindro es una superficie plana que se mueve sobre el canal del tornillo, arrastrando el material.
- Se considera que el fundido se comporta como un fluido incompresible.
- Se considera que el fundido tiene un comportamiento newtoniano
- Se supone que el proceso es continuo y que se ha alcanzado régimen estacionario.



Dónde:

$R$  = radio del tornillo

$D$  = diámetro del tornillo

$\Theta$  = ángulo del filete del tornillo con la vertical

$w$  = ancho del canal

$\delta$  = holgura entre el cilindro y el filete

$N$  = número de revoluciones a las que gira el husillo

Hay dos tipos de flujo a lo largo del eje  $Z$ : el movimiento del material es debido en parte al flujo de fricción o flujo de arrastre provocado por el movimiento de la superficie del cilindro (siempre en dirección  $+Z$ , la dirección positiva  $+Z$  es considerada hacia la boquilla). Si hay un impedimento al flujo (una boquilla, una válvula, etc.) se crea un gradiente de presión en dirección  $Z$ . Esto causa un flujo en dirección negativa  $-Z$ , es el flujo de presión o flujo de retroceso.

El análisis del caudal en esa dirección se basa en considerar el flujo newtoniano e isoterma de un fluido incompresible en un canal rectangular de ancho  $w$  y altura  $h$ . Se desprecia  $\delta \ll h$  y se supone que el flujo es un uniforme. Realizando un balance de

cantidad de movimiento sobre un sistema de este se obtiene la siguiente expresión (ec. Navier-Stokes).

$$\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} = \frac{1}{\eta} \left( \frac{dP}{dZ} \right) \dots\dots\dots 1$$

Dónde:

$dP/dZ$  = gradiente de presión a lo largo del canal

$v$  = velocidad del fluido en el canal

$\eta$  = viscosidad del fluido

La ecuación anterior se puede simplificar si se considera que  $w \gg h$ , de modo que

$\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} \ll \frac{\partial^2 v}{\partial y^2}$ , lo que supone despreciar el efecto que puedan tener las paredes del canal en el flujo. Con esto, la ecuación del flujo se simplifica a:

$$\frac{\partial^2 v}{\partial y^2} = \frac{1}{\eta} \left( \frac{dP}{dZ} \right) \dots\dots\dots 2$$

Usando esta última ecuación se obtienen unos resultados que discrepan menos del 10% los obtenidos con la ecuación completa si la relación del ancho del canal ( $w$ ) a la profundidad del mismo ( $h$ ) es mayor de 10. Este es precisamente el caso de la mayoría de los husillos usados en las máquinas de extrusión de plásticos.

La integración de la ecuación (2) proporciona:

$$\frac{dv}{dy} = \frac{y}{\eta} \left( \frac{dP}{dZ} \right) + C_1$$

**Integrando nuevamente:**

$$v = \frac{y^2}{2\eta} \left( \frac{dP}{dZ} \right) + C_1 y + C_2$$

Teniendo en cuenta las condiciones límite: cuando  $y=0$ , es decir, junto al husillo  $v = 0$  Sustituyendo esta condición en la ecuación (3), se obtiene  $C_2 = 0$ . Por otro lado, junto a la pared del cilindro donde  $y = h$ , la velocidad será  $v = V$ , velocidad lineal periférica del cilindro, con lo que resulta;

$$V = \frac{h^2}{2\eta} \left( \frac{dP}{dZ} \right) + C_1 h$$

$$C_1 = \frac{V}{h} - \frac{h}{2\eta} \left( \frac{dP}{dZ} \right)$$

Y sustituyendo el valor de  $C_1$  y  $C_2$  en la expresión (3)

$$v = \frac{V \cdot y}{h} - \frac{h \cdot y}{2\eta} \left( \frac{dP}{dZ} \right) + \frac{y^2}{2\eta} \left( \frac{dP}{dZ} \right)$$

$$\boxed{v = \frac{V \cdot y}{h} + \frac{y(y-h)}{2\eta} \left( \frac{dP}{dZ} \right)}$$

En el segundo miembro de esta ecuación aparecen dos términos. El primero varía linealmente con  $y$ , y depende de la velocidad del husillo, representa el flujo de arrastre o fricción; el segundo, será negativo o cero ( $y$  varía entre 0 y  $h$ ), luego se opone al movimiento del material hacia la boquilla, da un perfil de velocidades parabólico que depende de la caída de presión a lo largo del husillo; por tanto representa el flujo de retroceso o presión. La suma de estos dos términos representa la velocidad resultante en cualquier punto del canal.

### Cálculo del caudal

El caudal de material extruido podrá calcularse como el producto de la velocidad del material por la sección del husillo. Se puede partir de la ecuación (4), integrando el producto de la velocidad por el ancho del canal entre los límites  $y = 0$  e  $y = h$ .

$$Q = \int_0^h w \cdot v \cdot dy = \int_0^h \frac{wVy}{h} dy + \int_0^h \frac{wy(y-h)}{2\eta} \left( \frac{dP}{dZ} \right) dy \quad (5)$$

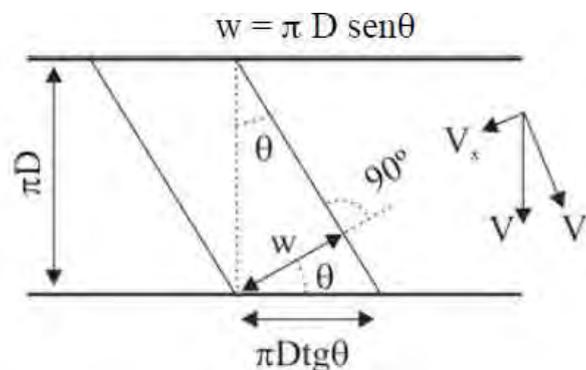
De donde se obtiene

$$Q = \frac{wVh}{2} - \frac{wh^3}{12\eta} \left( \frac{dP}{dZ} \right)$$

Igual que es el caso de la velocidad. El caudal también presenta dos términos. El primero representa el flujo de arrastre, y el segundo el flujo de presión.

$$\begin{aligned} \text{Flujo de arrastre} \quad Q_D &= \frac{wVh}{2} \\ \text{Flujo de presión} \quad Q_P &= -\frac{wh^3}{12\eta} \left( \frac{dP}{dZ} \right) \end{aligned}$$

Interesa ahora escribir la ecuación (6). Que da el flujo de material a través del husillo, en función de las dimensiones del husillo, empleando la notación empleada con anterioridad.



Si imaginamos el husillo cortado a lo largo de una generatriz y desenrollado, despreciando el ancho del filete, tal como se representa en la figura anterior, podemos escribir la siguiente ecuación.

Si  $V$  es la velocidad con que se mueve el cilindro sobre el husillo, en términos de velocidad angular  $V = \pi DN$ , y está dirigida formando un ángulo  $\theta$  con el filete del husillo y tiene dos componentes  $v_z$  y  $v_x$  paralelas al eje  $Z$  y al eje  $X$ , respectivamente.

$$\begin{aligned} v_z &= V \cos\theta = \pi D N \cos\theta \\ v_x &= V \sin\theta = \pi D N \sin\theta \end{aligned}$$

Una partícula de fluido describe un movimiento muy complejo dentro del canal, pero sólo la componente  $v_z$  es responsable del avance del fluido a lo largo del canal. La componente  $X$  actúa en un plano normal al eje  $Z$  y causa un movimiento circulatorio importante para mejorar el mezclado y la transmisión de calor pero no para la capacidad de transporte del tornillo. Por tanto, para calcular el caudal de material basta considerar  $v_z$ .

Sustituyendo los valores así hallados de  $w$  y  $V$  en el primer término de la ecuación (6) tenemos:

$$\frac{whV}{2} = \frac{\pi \cdot D \cdot \text{sen } \theta \cdot h \cdot \pi \cdot D \cdot N \cdot \cos \theta}{2} = \frac{\pi^2 \cdot D^2 \cdot (\text{sen } \theta \cos \theta) \cdot h \cdot N}{2}$$

El segundo término de la ecuación (6) puede expresarse en función de las dimensiones del husillo, teniendo en cuenta que si se desarrolla completamente el tornillo se puede escribir:

$$\frac{L}{Z} = \text{sen } \theta \longrightarrow dZ = \frac{dL}{\text{sen } \theta}$$

Donde  $L$  es la longitud del cilindro y  $Z$  la longitud total del canal del tornillo una vez desenrollado, a lo largo del cual existe un gradiente de presión ( $dP/dZ$ ). De este modo se puede escribir el segundo término de la ecuación (6) como:

$$\frac{w \cdot h^3}{12\eta} \left( \frac{dP}{dZ} \right) = \frac{\pi \cdot D \cdot \text{sen } \theta \cdot h^3}{12\eta} \frac{dP}{dL} \text{sen } \theta = \frac{\pi \cdot D \cdot \text{sen}^2 \theta \cdot h^3}{12\eta} \frac{dP}{dL}$$

Si se considera que la caída de presión a lo largo del husillo es constante y tomando incrementos ( $dP/dL$ ) = cte = ( $\Delta P/L$ ), la ecuación (6) puede escribirse como sigue:

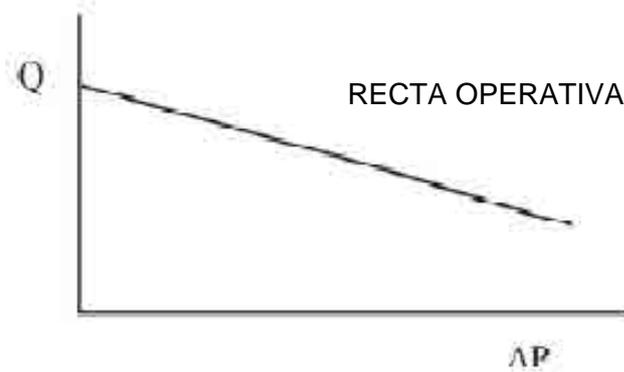
$$Q = \frac{\pi^2 \cdot D^2 \cdot (\text{sen } \theta \cdot \cos \theta) \cdot h \cdot N}{2} - \frac{h^3 \cdot \pi \cdot D \cdot \text{sen}^2 \theta \cdot \Delta P}{12 \cdot \eta \cdot L} \dots\dots\dots 7$$

Que se puede escribir en la forma más general para un determinado husillo

$$Q = AN - B \frac{\Delta P}{\eta} \dots\dots\dots 8$$

Donde  $A$  y  $B$  son constantes del husillo

La ecuación (7) es una recta en una representación de  $Q$  frente a  $\Delta P$  y conocida como ecuación característica del husillo o recta operativa, y tiene gran utilidad en la producción del caudal de salida de una extrusora. (figura siguiente).



Cuando se trabaja en un proceso de extrusión interesa que el caudal de material extruido sea lo mayor posible, pero además, que la pendiente de la recta operativa sea lo menor posible, de modo que pequeñas fluctuaciones en la presión impuesta por la boquilla no afecten demasiado al caudal de material extruido.

### Influencia de variables

El caudal extruido por un sistema husillo-boquilla depende de diversas variables que se pueden agrupar del siguiente modo.

- dimensiones del husillo  $D, L, h, \theta$
- Tipo de polímero,  $\eta$
- Condiciones del proceso,  $N, T$
- Restricción impuesta por la boquilla,  $\Delta P$

Veamos de acuerdo con el modelo propuesto, el efecto que causa cada uno de estos parámetros.

### Efecto de las dimensiones del husillo

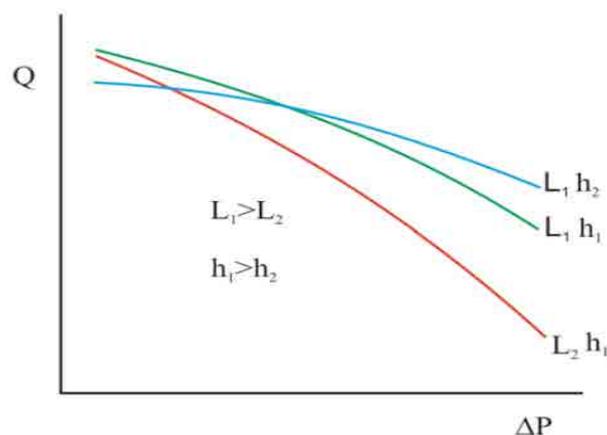
La longitud del husillo no afecta al flujo de arrastre, pero sí que afecta al flujo de presión. Si la zona de alimentación y transición lo permiten, un aumento en la longitud del husillo conlleva una disminución del flujo de presión. El aumento de la longitud del husillo se refleja en la representación de  $Q$  frente a  $\Delta P$  como una disminución en la pendiente de la línea operativa del husillo, tal como se refleja en la ecuación (7).

Otra variable que tiene gran importancia es la profundidad del canal  $h$ , La profundidad del canal afecta tanto al flujo de arrastre como al de presión de modo que un aumento de la profundidad del canal supone un aumento de ambos tipos de flujo. Sin embargo, el efecto de la profundidad del canal es mucho mas pronunciado sobre el flujo de presión, que sobre el flujo de arrastre, puesto que éste parámetro aparece elevado a la tercera potencia en el segundo término de la ecuación (7). Por tanto, con

una pequeña disminución en  $h$  se produce una importante disminución en la pendiente de la línea característica del husillo.

La situación normal en un extrusor es que  $\Delta P > 0$ , ya que la presión a lo largo de la extrusora va aumentando entre la garganta de alimentación (presión atmosférica) y el estrechamiento que suponen el plato rompedor y la boquilla, de modo que según la ecuación (7) el caudal del retroceso se opone al de arrastre. El efecto de  $h$  y  $L$  que hemos comentado corresponde a esta situación normal. En los casos en los que  $\Delta P < 0$ , el caudal de retroceso va en la misma dirección que el de arrastre pudiendo interesar otros valores de  $h$  y  $L$ .

En general cuanto mayor sea el diámetro del husillo mayor será el caudal de material que la máquina sea capaz de extruir. El efecto de otras variables como el ángulo de los filetes.  $\Theta$ , no es tan claro. Nos limitaremos a apuntar que en la práctica el ángulo usado generalmente varía entre  $25^\circ$  y  $30^\circ$ , aunque en algunos casos se utilizan valores tan bajos como  $10^\circ$



#### Efectos de la viscosidad del polímero

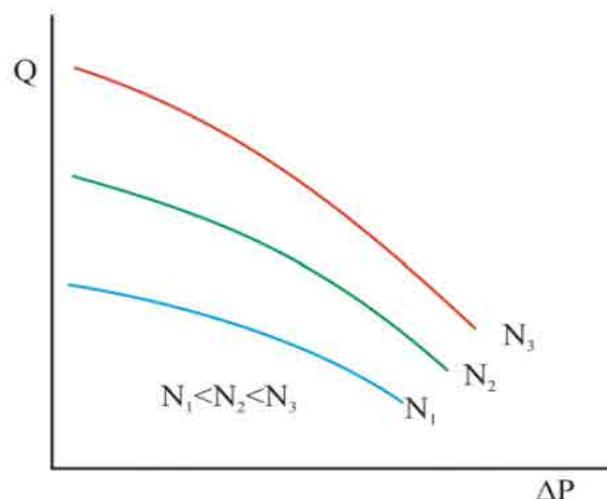
La ecuación (7) sugiere que un incremento en la viscosidad supone una disminución de la pendiente de las rectas. Sin embargo, una mayor viscosidad del polímero supone también un mayor consumo energético, por lo que en ocasiones resulta interesante utilizar materiales de baja viscosidad. La disminución en la viscosidad puede lograrse de varias formas:

- Aumentando la temperatura de la boquilla o el perfil de temperatura a lo largo del cilindro.
- Utilizando un material de menor peso molecular.
- Usando aditivos tales como lubricantes internos o plastificantes.

Cualquiera de estas soluciones puede presentar inconvenientes, como un aumento de los precios, incremento del tiempo de enfriamiento, variación de las propiedades mecánicas del producto, entre otras.

### Efectos de las condiciones de operación

Al aumentar el número de vueltas  $N$ , aumenta el flujo de arrastre, pero de acuerdo con la ecuación (7) el flujo de retroceso no se ve afectado, por lo que se obtiene un mayor caudal. Así, para un mismo husillo, al aumentar el número de vueltas se debería obtener un haz de rectas operativas paralelas con mayor ordenada en el origen, lo que implica que a mayor  $N$ , mayor caudal independientemente de  $\Delta P$ . Sin embargo la experiencia demuestra que al aumentar el número de vueltas en realidad no se obtienen rectas paralelas. Pues el polímero fundido es pseudoplástico, Así al aumentar el número de vueltas por minuto, aumenta la cizalla sobre el material, por lo que disminuye su viscosidad, y en consecuencia aumenta el Flujo de presión o retroceso ( $Q_p$ ). Aumentando también la pendiente de las líneas operativas del husillo, como se aprecia en la siguiente figura.



### Efectos de la restricción de la boquilla

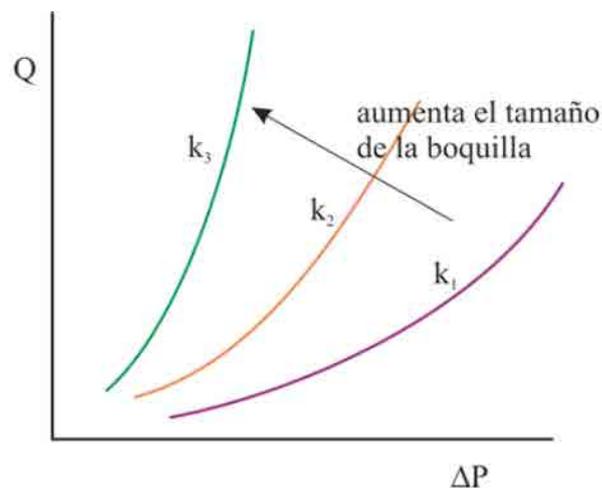
El comportamiento global de la extrusora está determinado por la interacción entre el comportamiento de la boquilla y el husillo. La forma de la boquilla no puede ser cualquiera, pues lógicamente depende de las dimensiones del perfil que se desea obtener.

El flujo del material en la boquilla es debido exclusivamente a la diferencia de presión que se genera entre el punto por donde el material entra a la boquilla y la salida, donde la presión atmosférica. En la boquilla existe sólo flujo de presión en la dirección de salida del material con un perfil de velocidades parabólico. Si la diferencia de presión entre los extremos de la boquilla fuese nula, no habría caudal

de extrusión. En general la cantidad de material que fluye a través de una boquilla en la que hay una diferencia de presión  $\Delta P$  se calcula como:

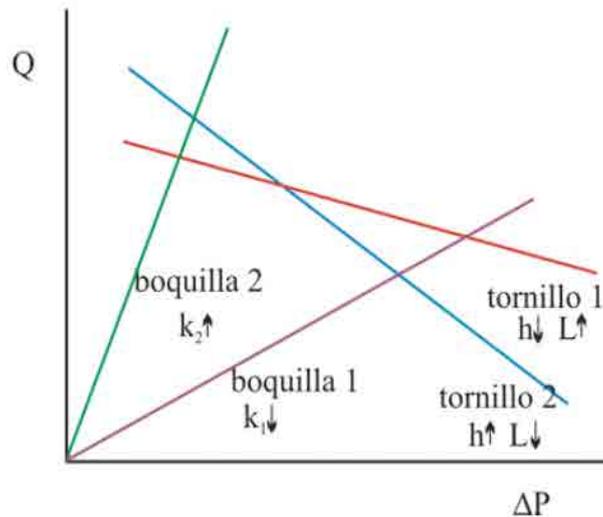
$$Q = k \frac{\Delta P}{\eta}$$

Donde  $k$  es una constante que depende del orificio de salida de la boquilla. Cuanto mayor sea el orificio de salida de la boquilla, mayor será el caudal extruido para una  $\Delta P$  dada.



Al aumentar el tamaño del orificio, aumenta el valor de  $k$ , y por tanto la pendiente de la recta operativa de la boquilla. Para un  $\Delta P$  dado, a mayores dimensiones de la boquilla mayor caudal de material extruido. En la figura siguiente se aprecia que las líneas experimentales de las boquillas no son totalmente rectas, sino que presentan una ligera curvatura y no pasan exactamente por el origen de coordenadas. Esta desviación es característica de los fluidos no newtonianos, como es el caso de los termoplásticos fundidos.

Si se superponen las operativas de la boquilla con las del husillo se obtienen los puntos donde trabaja una extrusora determinada, que se conocen como puntos operativos, como se muestra en la siguiente figura.



La recta característica del husillo 1 en la figura anterior, corresponde a un husillo con relación  $L/h$  mayor que el caso de usar el husillo 2, o lo que es igual, el husillo 1 tiene un canal menos profundo y una mayor longitud que el husillo 2 en la zona de dosificado, de modo que proporciona un caudal más estable y menos dependiente, de modo que proporciona un caudal más estable y menos dependiente de  $\Delta P$ . Ambas rectas vienen referidas a igual número de revoluciones del husillo. Los puntos operativos de un proceso determinado se corresponden en el diagrama anterior con la intersección de la recta operativa del husillo y de la boquilla. Cuando se utiliza una boquilla de abertura grande, como el caso de  $k_2$ , el husillo 2, de canal más profundo y más corto, presenta un punto de operación más alto, por lo que es capaz de extruir más caudal que el husillo 1, Si tenemos una boquilla pequeña, como es el caso del de  $k_1$ , es el husillo 1, poco profundo y largo, el que consigue mayor presión en la boquilla y mayor cantidad de material extruido. Esto quiere decir que el husillo 2 da menor rendimiento en material extruido cuando se utilizan boquillas pequeñas, pero dará mayor rendimiento en caso de usar boquillas suficientemente grandes. Como vemos. La elección del juego boquilla/husillo para trabajar con un determinado material es importante. Diagramas del tipo anterior permiten predecir el tipo de husillo más adecuado para usar una boquilla determinada. Muchas veces el procesador se encuentra con una situación de compromiso en la que se necesita un husillo que trabaje razonablemente bien con diferentes boquillas con un amplio margen de tamaños, en este caso, lo mejor es adoptar un husillo con relación  $L/h$  elevada, puesto que la pendiente de la línea característica del husillo es menor.

En los puntos operativos se cumple que el caudal que pasa por el husillo es el mismo que el caudal que pasa por la boquilla, por lo que igualando las ecuaciones(8) y (9) obtenemos.

$$Q_{\text{tornillo}} = Q_{\text{boquilla}} \longrightarrow AN - B \frac{\Delta P}{\eta} = k \frac{\Delta P}{\eta}$$

De donde:

$$\frac{\Delta P}{\eta} = \frac{AN}{k + B}$$

A partir de la ecuación (10) se puede obtener las dimensiones del husillo que proporcionan el máximo valor de A, es decir, el máximo rendimiento de la máquina de extrusión en lo que respecta a máximo caudal de material extruido para unas determinadas condiciones de trabajo (N) y un determinado material ( $\eta$ ).

### 5.3. - Preparación de la máquina.

Prácticamente sería la preparación de la línea, o sea preparar cada una de las unidades que forman la línea según sea el producto; pero sí, la máquina es la unidad mas importante de toda la línea, ya que de ésta dependen la sincronía que deberá de tener toda la línea de producción.

Refiriéndonos específicamente a la preparación de la máquina, será el precalentamiento que se deberá de tener en la máquina antes de iniciar el arranque.- De acuerdo al producto, se selecciona el material, la máquina, el husillo y todos los parámetros de operación de la máquina, dentro de los cuales esta el perfil de temperaturas lo cual es determinante para lograr un buen resultado del proceso.

El precalentamiento de la máquina se recomienda que se haga paulatinamente, o sea ir subiendo poco a poco la temperatura hasta alcanzar las temperaturas correctas en cada una de las zonas del cilindro.

Cuando ya se tiene el correcto perfil de temperaturas, se recomienda dar una última revisión en cada una de las unidades de la línea, ya que no olvidemos que este proceso es continuo, evitándose de esta forma en gran parte una serie de contratiempos e interrupciones cuando ya se haya arrancado con la producción.

### 5.4. - Arranque y paro de máquina.

Es muy importante diferenciar lo que es el arranque de una máquina nueva, y lo que es el arranque de una máquina después de la interrupción de la producción por ejemplo de un fin de semana, o del arranque de un día para otro.

Cuando es el arranque de una máquina nueva, se recomienda que se revisen cuidadosamente cada una de sus partes, aún en el caso de que el proveedor o vendedor se haga cargo del montaje e instalación y arranque de la máquina.- Se recomienda también la revisión de cada uno de los niveles, conexiones, así como del ajuste que deberán tener cada una de sus partes.

Es muy recomendable prácticamente que la persona que recibe las primeras instrucciones sobre la operación de la máquina, sea el trabajador de mayor confianza y conocimiento del proceso, ya que deberá de estar familiarizado con el conocimiento de dados y husillos que se vayan a usar en la máquina, tanto para el montaje como para el desmontaje.

Antes de poner a trabajar la máquina, se recomienda sacar y meter, o sea conectar y desconectar cada uno de los termopares con el fin de checar que estén funcionando correctamente; cuando se saca y se mete el termopar, uno debe en ese momento estar viendo el tablero de control para percatarse que este el termopar mandando bien la señal.

Prácticamente también es recomendable que cuando se alcanzo en cada zona la temperatura de proceso programada, se arranque la máquina, haciendo girar el husillo, esto se haga poco a poco, o sea empezando con un mínimo de 10 a 15 rpm. y a medida que se va alimentando el material, ir incrementando las rpm. Prácticamente cuando se está alimentando el material, se recomienda estar viendo el amperímetro del husillo, ya que cuando el amperaje baja, quiere decir. Pte continuar la descripción del arranque.

### 5.5. - Hoja de producción.

Reporte No:	Elaborado por:	Fecha :
Denominación de la pieza:	Pieza No. :	Dado No :
Máquina:	Plano No. :	Material :

Máquina :	Molde :	Parámetros.

## **Tema 6. - Otras líneas de extrusión.**

Cuando nos referimos a una línea de extrusión, nos estamos refiriendo a una línea completa de producción para la obtención de diferentes productos partiendo de la materia prima, la cual podrá ser granulada ( Pellets ) o en polvo.

Prácticamente una línea de extrusión se compone de diferentes unidades según el producto a procesar, y aún para una misma línea de un producto se harán necesarias algunas diferentes unidades para la misma línea, por ejemplo nos podemos referir a la extrusión de película, siendo ésta la de mayor consumo en la sociedad a nivel mundial, algunos productos de película que podemos mencionar, son los siguientes:

- Película termoencogible.
- Película stretch.
- Bolsas.
- Bolsas para basura.
- Empaques en general.
- Publicidad, etc, etc.

Otro de los productos que podríamos considerar como un simple tubo o manguera, o sea un producto de forma cilíndrica y hueco, el cual se utiliza normalmente para conducir un fluido, prácticamente tiene una serie de variantes, como son el tamaño, el espesor así como propiedades, consistencia, colores, etc. para sus diferentes aplicaciones, como es en el campo industrial, agrícola, construcción, medico, etc. habiendo substituido a los materiales tradicionales.

Con estos dos ejemplos de productos como son las películas y los tubos, nos damos una clara idea de que para una misma línea de extrusión se harán necesarias diferentes unidades para cumplir con las exigencias técnicas de cada producto, aún siendo de la misma línea.

A continuación tenemos la representación esquemática de algunas líneas completas de producción para el moldeo de diferentes productos.

### **6.1. - Línea de extrusión para el recubrimiento de cables.**

- |                                    |                           |
|------------------------------------|---------------------------|
| 1.- Desenrollador de alambre.      | 6.- Bomba de vacío.       |
| 2.- Enderezador de alambre.        | 7.- Tina de enfriamiento. |
| 3.- Pre-calentador.                | 8.- Probador.             |
| 4.- Maquina de extrusión.          | 9.- Tirador.              |
| 5.- Cabezal para el recubrimiento. | 10.- Enrollador.          |

## 6.2. - Línea de extrusión para la producción de placas de plástico.

- |                           |                       |
|---------------------------|-----------------------|
| 1.- Máquina de extrusión. | 5.- Rodillos de tiro. |
| 2.- Calandra de alisado.  | 6.- Cizalla.          |
| 3.- Cortador de bordes.   | 7.- Ventosas.         |
| 4.- Guía con rodillos.    | 8.- Apilador.         |

## 6.3. - Línea de extrusión para la producción de láminas o películas planas.

- |           |           |
|-----------|-----------|
| 1.- ..... | 5.- ..... |
| 2.- ..... | 6.- ..... |
| 3.- ..... | 7.- ..... |
| 4.- ..... | 8.- ..... |

## Tema 7. - Seguridad industrial en el proceso de moldeo por extrusión.

Son innumerables los riesgos de trabajo que existen en el procesamiento de plásticos, pero también es muy fácil de identificarlos.- Es muy importante saber que en lo que a seguridad industrial se refiere en el procesamiento de los plásticos, el enemigo número uno es el fuego, ya que la mayor parte de accidentes que se tienen registrados en la industria de los plásticos, son ocasionados por el fuego; esto se debe principalmente a que los materiales plásticos prenden, o sea se consumen con el fuego con cierta facilidad y rapidez.

### 7.1. - Riesgos de trabajo en el proceso de moldeo por extrusión.

Normalmente los accidentes registrados son por descuido o por exceso de confianza , ya que por ejemplo sabemos el riesgo que se corre al fumar dentro o cerca de un área en donde se procesan los plásticos, y el como evitarlos es muy fácil, solamente obedeciendo el reglamento de seguridad que normalmente es muy visible en las industrias.

Naturalmente que existen otros riesgos de trabajo, como son las quemaduras, las cuales generalmente se pueden evitar usando correctamente el equipo de seguridad.

Otro de los riesgos comunes en la industria de los plásticos es por ejemplo el no usar los zapatos de seguridad, ya que tanto para evitar quemaduras al pisar una pieza caliente, como para evitar resbalones en las áreas de trabajo, son muy necesarios, ya que es muy común encontrar material granulado en algunos lugares de las áreas de trabajo, lo cual ocasiona resbalarse y en muchos de los casos el resultado son fracturas al caer.

## **7.2. - Equipo de seguridad industrial usado en el proceso de moldeo por extrusión.**

Como parte importante de la exposición, el instructor muestra a los participantes cada una de las partes que forman el equipo de seguridad con la finalidad de que los participantes identifiquen cada una de ellas.

Posteriormente el instructor demuestra por medio de un ejercicio, la forma correcta de usar cada una de las partes, pidiéndoles que cada uno de los participantes ejecute de forma individual el mismo ejercicio.

Por último el instructor muestra el equipo de seguridad a los participantes y los concientiza sobre su uso.

## **Tema 8. - Control de calidad en el producto.**

### **Control de calidad.**

Especialmente en el sector industrial, el control de calidad es de suma importancia, ya que refleja en todos los aspectos la imagen del producto, no solamente en dimensiones sino también en presentación y calidad del material.

El control de calidad en el moldeo por extrusión tiene especial importancia por la exigencia del usuario, ya que no ha sido nada fácil lograr la aceptación de la sociedad en lo que a productos de materiales plásticos se refiere.

Son muchos aspectos los que abarcan el tema de control de calidad de cualquier proceso; en el procesamiento de plásticos tiene especial importancia, ya que no solamente contempla lo que corresponde a dimensiones, sino que también podemos considerar que es determinante para la aceptación del producto el color, el brillo, la textura y la calidad del material.

Por ejemplo, podemos decir que el daño térmico que recibe el material durante el proceso, se refleja en una coloración amarillenta del producto, dicho lo anterior en otras palabras, sería que cuando se procesa el material para la obtención de determinado producto, y no se tiene un buen control del perfil de temperaturas durante el proceso, el resultado va a ser que el producto en lugar de salir con color blanco definido, va a salir con un color amarillento, lo cual estaría fuera de control de calidad, ya que el producto no tendría el color esperado.

Técnicamente de la misma forma podemos referirnos a la textura y dimensiones del producto, ya que cuando no se tienen los conocimientos de operación del equipo, es

muy común que se incurra en este tipo de fallas, ya que dichas fallas equivocadamente se asocian con la calidad del material antes de procesarse y por ningún motivo se acepta la falta de conocimiento para controlar correctamente todos los parámetros de operación de la línea de producción.

Es muy importante resaltar en este caso, la importancia que tiene la capacitación en la industria para ampliar los conocimientos correctos en determinadas áreas de la industria, pero más aún la importancia que tiene el detectar necesidades en la industria para la aplicación correcta del presupuesto que se tenga para ello.

De esta forma los participantes podrán describir lo que significa un buen control de calidad en el moldeo por extrusión.

### **8.1. - Características de los productos extruidos.**

Algunas de las características técnicas de los productos extruidos son muy claras, por ejemplo en algunos de los tantos perfiles que se pueden producir mediante este proceso, como son perfiles para puertas, ventanas, persianas,, los cuales además de cumplir con la buena calidad de los materiales, así como en dimensiones, deben de cumplir también con la buena presentación, como es acabado superficial, color, etc.

Por ejemplo, seguramente no seleccionaríamos el mismo material para producir un perfil para ventana, la cual se va a instalar en Acapulco con otro perfil de ventana que tengamos que instalar en la ciudad de Toluca, ya que son diferentes las condiciones climáticas a las que se sometería cada perfil, para lo cual cada material deberá de cumplir con específicas características técnicas.

### **8.2. - Especificaciones del producto.**

Las especificaciones del producto siempre deberán de ser bien definidas, tanto para el diseñador del dado como para la empresa que vaya a procesar el producto.

Para determinar las especificaciones del producto, principalmente deberemos de considerar el uso que va a tener, los esfuerzos a que se va a someter y la calidad que quiero para el producto, lo cual va ligado directamente al precio del mismo.

### **8.3. - Defectos de producción más comunes y sus soluciones.**

Uno de los defectos más comunes en el moldeo por extrusión es la inestabilidad del producto en la salida del dado; a este defecto teóricamente se le conoce como piel de tiburón.- Prácticamente este defecto consiste en que el material se arruga cuando sale del dado debido a que se somete a esfuerzos de tracción ; cuando el esfuerzo de

tracción excede a la resistencia de tracción, el material se rompe provocando un grande defecto en el producto.- Este defecto naturalmente se presenta en diferente forma según sea el material que se este utilizando.

Tratando de corregir este defecto se recurre a aumentar la presión en el extrusor o a disminuir la temperatura del dado, lo cual produce, si no se tiene la experiencia práctica operacional del equipo, que se presente otro defecto el cual teóricamente dan en llamar cáscara de naranja, esto significa que la superficie da una apariencia de grano grueso.

Para una posible solución a estos problemas, se recomienda que se caliente poco a poco cada vez más el dado cuidando no sobre pasar demasiado la temperatura recomendada del dado para el proceso, ya que esto también originaria otros problemas. Al aumentar poco a poco la temperatura del dado, prácticamente se busca relajar térmicamente los esfuerzos y disminuir ligeramente la viscosidad, ya que con esto conseguiremos un buen resultado en el moldeo.

También podemos recomendar que no debemos intentar solucionar estos problemas aumentando la velocidad del extrusor, ya que esto originaría la rotura completa de la pieza que se este extruyendo.

Otro de los defectos que se encuentra uno en el moldeo por extrusión, es el hinchamiento del material cuando sale del dado; por ejemplo cuando se esta extruyendo una varilla circular, pudiera ser que al salir del dado la encontremos con un diámetro mayor a la medida del diámetro de salida del dado.- El mismo defecto podemos encontrar cuando extruimos algún tubo de plástico; en este caso encontraremos el diámetro exterior del tubo mas grande y el diámetro interior mas pequeño comparados con las dimensiones del dado.

Este efecto del material que se esta procesando obedece al comportamiento del polímero al fundirse para extrudirse sometándose también a los esfuerzos que ya conocemos.

Para estos casos debemos de considerar la recuperación de la deformación elástica del material cuando se solidifica.

Estos son los motivos por los cuales tiene una gran importancia el material que se va a usar para el moldeo de determinado producto, sobre todo para informarle con detalle al diseñador de dados.

## **Conclusión total del curso.**

El mundo de los plásticos es muy grande y hay personas que han pasado muchos años trabajando y estudiando a estos materiales, por lo que este curso solo te presento una serie de bases para poder iniciar una carrera en ellos o un mejor conocimiento si ya estás trabajando en este campo industrial.

No es posible cubrir todos los ángulos y conocimientos de los materiales plásticos en un manual como este, pero sin duda es una herramienta que te ayudará a conocerlos mejor, así que la decisión de saber más recae solamente en ti.

Hay un dicho popular que dice que “la práctica hace al maestro” y sin duda es cierto, sin embargo nos despedimos de ti diciéndote que el **conocimiento y la práctica hacen al experto.**

## **Glosario.**

Términos técnicos.

Proceso  
Moldeo  
Extrusión  
Husillo  
Cilindro. (Cañón.)  
Resistencia  
Fundir  
Homogenizar  
Dado. (Boquilla.)  
Cabezal  
Película  
Granulado. (Pellet.)  
Materia prima  
Materia prima virgen  
Material recuperado  
Perfil  
Filamentos  
Extrusión- Soplo  
Compuestos de moldeo  
Calandras  
Máquina de extrusión monohusillo  
Máquina de extrusión de doble husillo

Máquina de extrusión de varios husillos  
Máquinas de extrusión de laboratorio  
Recubrimiento de cables  
Velocidad de extrusión  
Tolva de alimentación convencional  
Elementos calefactores  
Longitud de husillo  
Diámetro exterior del husillo  
Zonas de proceso  
Paso  
Filete  
Profundidad del filete  
Cilindro de dos piezas  
PVC  
PS  
SB  
ABS  
PMMA  
Transmisión  
Variador de velocidad  
Engrane  
Piñón  
Unidad de control de un variador de velocidad  
Materia prima  
Materia prima virgen  
Termopar  
Plato rompedor  
Dado. (Boquilla.)  
Unidad de plastificación  
Zona de alimentación  
Zona de fusión o de plastificación  
Zona de bombeo  
Línea de extrusión  
Unidad de calibración  
Sistema de enfriamiento  
Tren de tiro  
Equipo de enrollamiento  
Unidad de corte

Medidor de espesor  
Dispositivo para marcar producto  
Aparato para abocardar el tubo de plástico  
Mesa de volteo  
Equipo de apilado  
Forrado de cables  
Elementos de sujeción  
Sistema de bridas y tuercas  
Fijación de cabezal con mordazas  
Válvula reguladora de presión  
Soporte. (Araña.)  
Macho  
Hembra  
Tornillos centradores  
Torpedo  
Banda de calefacción  
Conexión con la extrusora  
Calibración externa del tubo en tanque al vacío  
Calibración externa del tubo con aire comprimido  
Tina de enfriamiento  
Unidad de tiraje de cinta  
Unidad de tiraje de rodillos  
Unidad de tiraje de tambor  
Producción continua  
Unidad de corte  
Unidad de enrollado  
Unidad de apilamiento  
Bobina  
Rodillo de accionamiento  
Resorte tope

### **Bibliografía.**

- Título : Procesamiento de los plásticos.
- Autores : Schwarz/Ebeling/Furth
- Editorial : Costa Nogal S. A.
- Año de publicación en español : 2003
- País : Uruguay.

- Título : Extrusión de Plásticos.  
Parte 1 Teoría y equipos.
- Autor : Ramón Angutia Delgado.
- Editorial : Ediciones H. Blume.
- Año de publicación : 1977
- País : España.
  
- Título : Enciclopedia del plástico 2000. Tomo 3
- Autor : Centro Empresarial del plástico s.a. de c.v.
- Editorial : Centro Empresarial del plástico s.a. de c.v.
- Año de publicación : 1999/2000
- País : México.

