

1
2 y.
00145

ELEMENTOS PARA EL
DISEÑO DE PRODUCTOS
CON MATERIALES PLASTICOS

PEDRO ENRIQUE SOLANO BENITEZ

TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN DISEÑO INDUSTRIAL

POSGRADO EN DISEÑO INDUSTRIAL
FACULTAD DE ARQUITECTURA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
MEXICO D.F., 1991

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

Pedro Enrique Solano Benitez

**" Elementos para el diseño de productos con materiales
plásticos ".**

Posgrado en diseño Industrial.

Facultad de Arquitectura.

Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM.

México D.F., Julio 1991.

Diseño de portada, DG María Isabel Castro de Rossano.

INDICE

INTRODUCCION.....	1
1. CONCEPTOS BASICOS.....	7
1.1 Definición.....	7
1.2 Polimerización.....	8
1.2.1 Tipos de polimerización.....	9
1.2.2 Copolimerización.....	9
1.3 Arquitectura molecular del polímero.....	10
1.4 Estructura atómica de los polímeros.....	13
1.5 Clasificación de los plásticos.....	14
2. CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS PLASTICOS.....	17
2.1 Propiedades mecánicas.....	18
2.1.1 Esfuerzo y deformación.....	18
2.1.2 Comportamiento elástico.....	18
2.1.3 Comportamiento viscoelástico.....	19
2.1.3.1 Propiedades a largo plazo: Escurrimiento y Relajación de esfuerzos.....	20
2.1.4 Ensayo de tensión de corta duración de los plásticos.....	23
2.1.4.1 Módulo de elasticidad y módulo de escurrimiento de los plásticos.....	26
2.1.5 Resistencia al impacto.....	29
2.1.6 Resistencia a la fatiga.....	30
2.1.7 Dureza.....	31
2.1.8 Resistencia a la abrasión.....	31
2.2 Propiedades térmicas.....	32
2.2.1 Temperatura de distorsión al calor.....	32
2.2.2 Conductividad y expansión térmicas.....	32
2.3 Propiedades ópticas.....	34
2.4 Propiedades eléctricas.....	34
2.5 Resistencia química y a la intemperie.....	34
3. ADITIVOS Y REFUERZOS PARA PLASTICOS.....	37
3.1 Aditivos.....	37
3.1.1 Plastificantes.....	37
3.1.2 Lubricantes.....	39
3.1.3 Estabilizadores.....	40
3.1.4 Colorantes.....	40
3.1.5 Agentes antiestáticos.....	42
3.1.6 Retardantes a la flama.....	42
3.1.7 Agentes espumantes.....	42
3.2 Cargas y refuerzos.....	42
4. CONSIDERACIONES SOBRE LOS MATERIALES PLASTICOS.....	47
4.1 Plásticos de ingeniería.....	50

4.2	Propiedades de los plásticos: aspectos cualitativos	53
4.2.1	Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno (ABS).....	55
4.2.2	Acetal (POM).....	56
4.2.3	Acetato de celulosa (AC).....	57
4.2.4	Acrílico (PMMA).....	58
4.2.5	Politetrafluoretileno (PTFE).....	59
4.2.6	Poliámidas (PA, Nylons).....	60
4.2.7	Policarbonato (PC).....	61
4.2.8	Poliéster termoplástico (PET y PBT).....	62
4.2.9	Poliétileno de alta y baja densidad (PEAD, PEBD)	63
4.2.10	Polipropileno (PP).....	64
4.2.11	Poliestireno (PS).....	65
4.2.12	Estireno-Acrilonitrilo (SAN).....	66
4.2.13	Estireno-Butadieno (SE).....	67
4.2.14	Policloruro de vinilo (PVC).....	68
4.2.15	Poliuretano termoplástico (TPU).....	69
4.2.16	Polisulfona (PSU).....	70
4.2.17	Polióxido de fenileno modificado (PPG, Noryl)...	71
4.2.18	Urea formaldehído y Melamina formaldehído (UF, MF).....	72
4.2.19	Resina epóxica (EP).....	73
4.2.20	Resina fenólica (PF).....	74
4.2.21	Resina Poliéster termofija (UP).....	75
4.2.22	Poliuretano termofijo (PUR).....	76
4.2.23	Silicones (SI).....	77
4.3	Propiedades de los plásticos: aspectos cuantitativos.....	78
4.3.1	Propiedades mecánicas (Ensayos de corta duración).....	78
4.3.1.1	Resistencia a la tensión, módulo de tensión y elongación a la rotura, ASTM-D638.....	78
4.3.1.2	Resistencia a la flexión y módulo de flexión, ASTM-D790.....	79
4.3.1.3	Resistencia a la compresión, ASTM-D695.....	80
4.3.1.4	Resistencia al impacto IZOD, ASTM-D526.....	80
4.3.1.5	Dureza, ASTM-D785.....	81
4.3.1.6	Módulo de escurrimiento, ASTM-D2990.....	83
4.3.2	Propiedades físicas.....	85
4.3.2.1	Densidad, ASTM-D792.....	85
4.3.2.2	Absorción de agua, ASTM-D570.....	85
4.3.3	Propiedades ópticas.....	86
4.3.4	Propiedades térmicas.....	87
4.3.4.1	Conductividad térmica, ASTM-C177.....	87
4.3.4.2	Coefficiente de expansión térmica, ASTM-D896	88
4.3.4.3	Temperatura de distorsión bajo carga, ASTM-D648.....	88
4.3.4.4	Resistencia al calor, ASTM-D257.....	89
4.3.4.5	Calor específico, ASTM-C351.....	90
4.3.5	Propiedades eléctricas.....	90
4.3.5.1	Resistencia dieléctrica, ASTM-D149.....	90
4.3.5.2	Resistividad dieléctrica, ASTM-D257.....	91
4.3.5.3	Resistencia al arco eléctrico, ASTM-D495...	93
4.3.5.4	Constante dieléctrica y factor de disipación, ASTM-D1510.....	92

5. PROCESOS DE TRANSFORMACION DE PLASTICOS.....	119
5.1 Moldeo por inyección.....	120
5.2 Extrusión.....	138
5.3 Moldeo por compresión.....	143
5.4 Moldeo por transferencia.....	146
5.5 Moldeo por soplado.....	148
5.6 Moldeo rotacional.....	154
5.7 Calandreado.....	155
5.8 Vaciado.....	157
5.9 Moldeo por expansión.....	157
5.10 Laminado.....	164
5.11 Termoformado.....	166
5.12 Procesos para plásticos reforzados.....	168
5.12.1 Procesos de moldeo abierto o por contacto.....	170
5.12.1.1 Picado a mano.....	171
5.12.1.2 Aspersión.....	171
5.12.1.3 Embobinado de filamento continuo.....	173
5.12.1.4 Vaciado centrifugado.....	174
5.12.2 Procesos de moldeo cerrado o por compresión....	174
5.12.2.1 Moldeo a presión y temperatura (Prensado en caliente).....	174
5.12.2.2 Prensado en frío.....	177
5.12.2.3 Moldeo por inyección.....	178
5.12.2.4 Moldeo rotacional.....	178
5.12.2.5 Alimentación de resina a presión (RTM)...	179
5.12.3 Procesos de moldeo continuo.....	179
5.12.3.1 Extrusión con tiraje forzado (Poltrusión).....	179
5.12.3.2 Laminado continuo.....	180
5.13 Maquinado.....	180
5.14 Procesos de decoración de plásticos.....	182
5.14.1 Pintado.....	183
5.14.2 Estampado en caliente.....	185
5.14.3 Metalizado.....	186
5.14.4 Impresión.....	186
5.14.5 Decoración en el molde.....	189
5.15 Métodos de sujeción y uniones.....	189
5.15.1 Medios mecánicos.....	190
5.15.1.1 Tornillos.....	190
5.15.1.2 Remaches.....	191
5.15.1.3 Insertos.....	192
5.15.1.4 Ajuste a presión.....	192
5.15.2 Soldaduras.....	192
5.15.2.1 Soldadura ultrasónica.....	193
5.15.2.2 Soldadura por fricción.....	198
5.15.2.3 Soldadura por fusión.....	198
5.15.2.4 Soldadura con gas.....	199
5.15.2.5 Soldadura electromagnética.....	200
5.15.3 Adhesivos.....	202

6. INTERRELACION ENTRE MATERIAL-PROCESO-CONFIGURACION DEL PRODUCTO.	209
6.1 Espesor de la sección del producto	209
6.2 Entalladuras	219
6.3 Angulo de salida	220
6.4 Radios	221
6.5 Nervaduras	222
6.6 Protuberancias	224
6.7 Esquineros	225
6.8 Orificios	225
6.9 Insertos	231
6.10 Cuerdas	338
6.11 Contracción en el molde	242
6.12 Tolerancias dimensionales	244
6.13 Consideraciones sobre el diseño del molde	244
7. IDENTIFICACION DE PLASTICOS.	253
7.1 Marcas de fábrica	254
7.2 Apariencia física	254
7.3 Densidad relativa	254
7.4 Solubilidad	255
7.5 Comportamiento a la flama	256
8. RECICLAJE DE PLASTICOS.	259
8.1 Fuentes de generación de desechos plásticos	260
8.2 Tipos de reciclaje	263
8.2.1 Reciclaje primario	264
8.2.2 Reciclaje secundario	266
8.2.3 Reciclaje terciario	269
8.2.4 Reciclaje cuaternario	269
8.3 Disposición de los desechos sin la recuperación de valor económico	270
8.3.1 Incineración sin la recuperación de energía	271
8.3.2 Relleno	271
8.4 Plásticos biodegradables	272
9. CONCLUSION.	275
10. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.	279
11. APENDICES.	281
! Relación de marcas comerciales de plásticos	283
!! Glosario de términos	287
!!! Factores de conversión de unidades	297

INTRODUCCION

El desarrollo de criterios de diseño para cualquier producto es en sí una actividad complicada, pues sabemos que la actividad de diseño está cargada de una fase intuitiva y creativa, la cual es difícil, sino imposible, de explicar racionalmente mediante alguna metodología. El caso del diseño de productos con materiales plásticos no es la excepción; aunque, si bien es cierto lo de la connotación intuitiva, no menos cierto es que contar solamente con una idea inspirada no garantiza que resulte un diseño satisfactorio, sino que también hay que considerar el buen entendimiento que se tenga de los materiales y de las tecnologías de transformación más relevantes, para así convertir la idea en una realización efectiva.

Al igual que los metales, la madera, la cerámica, etc., los plásticos poseen su propio conjunto de reglas, sus fórmulas de fabricación que regulan sus cualidades. Muchas de estas cualidades son desconocidas por los diseñadores, utilizándose en muchos casos sólo la capacidad que tienen este material para imitar a otros materiales tradicionales y más costosos; contribuyendo esta práctica a que se tenga una mala imagen del plástico como material poco confiable. Esto se debe al desconocimiento que se manifiesta hacia el propio y complejo lenguaje de los plásticos, de sus características idiomáticas; pues, los plásticos pueden copiar a otros materiales, pero ningún otro material puede hacer todo lo que consigue el plástico.

Por lo tanto, sentimos que hay una latente carencia de criterios apropiados de diseño de productos con materiales plásticos, que alude al potencial no realizado, al idioma que no ha sido o ha sido poco explorado por los diseñadores. Tal es la motivación principal del presente proyecto de investigación.

La propia dinámica del desarrollo actual de los plásticos, tomando en cuenta el sinnúmero de nuevas aplicaciones, exige el planteamiento de criterios de diseño del producto y selección del material coherentes. Esto es más apremiante si consideramos las dos tendencias que ha seguido este desarrollo en los años recientes:

- La primera es el énfasis creciente puesto en la confiabilidad del producto. Los plásticos son substancialmente de menor resistencia que los metales con los cuales compiten, especialmente a temperaturas elevadas. Consecuentemente, los productos de plástico se diseñan comúnmente cerca de los límites permisibles del material, por lo que se ha hecho de importancia creciente conocer esos límites cualitativa y cuantitativamente y bajo condiciones medioambientales reales.

2.

- La segunda tendencia es el gran estímulo que se ha dado para sustituir metales por plásticos, debido a la preocupación por la conservación de la energía. En algunos casos, los incentivos para la sustitución son directos, como en el caso de los costos crecientes de los metales que consumen grandes cantidades de energía en su elaboración. En otros es indirecto, por ejemplo, el ahorro de peso al sustituir piezas y componentes metálicos en los automóviles, aumentando de este modo el rendimiento del combustible.

En cualquiera de los casos, esto ha conducido a retos de diseño mayores, para que los plásticos cumplan con requerimientos más severos y complejos.

Una de las características más notables del asombroso crecimiento de los plásticos, que empieza a partir de los años 40's, es que dicho crecimiento ha sido orientado a múltiples aplicaciones antes no conocidas, donde el material plástico ha sido sometido a nuevas sollicitaciones, a pesar de no haberse desarrollado una "tecnología de diseño" analítica y coherente, esto es, un desarrollo de criterios de diseño que permitan predecir el comportamiento o respuesta del material al ser sometido a una nueva sollicitación. Podemos decir, sin temor a equivocarnos, que hasta hace poco tiempo las aplicaciones de los materiales plásticos han sido desarrolladas casi exclusivamente por el método de prueba y error, muchas veces laborioso.

Al hablar de una tecnología de diseño, lo entendemos en el sentido dado por Tomás Maldonado como "...aquella que permita la determinación de las propiedades formales del producto; entendiéndose por propiedades formales no sólo los caracteres exteriores y superficiales, sino, también, aquellas relaciones funcionales y estructurales que hacen que el producto tenga una unidad coherente".

La explicación de la demora que ha habido en el desarrollo de una tecnología de diseño con materiales plásticos hay que buscarla en las cualidades intrínsecas de este material que lo distinguen del resto de los otros materiales. Uno de los problemas que ha contribuido críticamente a esta demora es la diferencia profunda que existe entre la viscoelasticidad de los plásticos y la elasticidad estructural de los metales en la cual han sido originalmente entrenados la comunidad de los diseñadores y sobre la cual se basan todas sus consideraciones analíticas de diseño. Cuando se considera el efecto de la viscoelasticidad, el dilema llega a ser bastante entendible. Por un lado, el diseñador tiene un sistema de relaciones y ecuaciones de diseño, derivadas por Resistencia de Materiales, que demandan de ciertas constantes del material, tales como módulo de elasticidad, esfuerzo de fluencia, límite de proporcionalidad, etc., obtenidos de un ensayo de esfuerzo-deformación. Por otro lado, el diseña-

donde encuentra que los resultados de tales ensayos sobre los plásticos, además de no ser constantes, varían considerablemente con la duración y proporción de la carga, con variaciones pequeñas de la temperatura, etc. Estas propiedades no tienen la misma significación para los plásticos que la que tienen para los metales, y, por lo tanto, el diseñador se encuentra severamente limitado en cuanto a la extensión de la aplicación de estas propiedades a diseños de productos con plásticos.

La resistencia y la rigidez no son solamente las áreas de sollicitaciones donde el diseñador de productos de plástico necesita conocer el comportamiento del material. Por lo general, el desarrollo de aplicaciones con materiales plásticos requiere involucrarse con otras propiedades además de las mecánicas, tales como: resistencia al calor, propiedades eléctricas, permeabilidad, flamabilidad, transmisión de luz, procesabilidad, etc. Además, la diversidad de aplicaciones, el diseño de piezas multifuncionales de plástico, plantean una mezcla de propiedades mucho más compleja que para la mayoría de las piezas hechas a base de metal u otro material.

El problema no es la falta de conocimientos en cuanto a como se comportan los plásticos. La literatura de plásticos y polímeros está llena de explicaciones del comportamiento de los plásticos bajo una gran variedad de sollicitaciones. Tampoco es la falta de propiedades de comportamiento viscoelástico. Más bien, el problema está en la adecuación de estos conocimientos, considerados de dominio exclusivo del químico, para que sean entendidos por el diseñador de productos. De modo que se diseñe considerando las peculiaridades del plástico como material, al igual que se hace con la madera, los metales, la cerámica, etc.

El presente proyecto de investigación intenta contribuir a la adecuación de conocimientos mencionada anteriormente, proporcionando los elementos que consideramos son básicos para el diseño de productos con materiales plásticos. El trabajo no pretende ser un manual ni un algoritmo para diseñadores, sino, más bien, una aproximación preliminar, una introducción, para detectar los parámetros sobre los que debe profundizarse posteriormente.

El primer capítulo trata sobre los conceptos básicos para el entendimiento del lenguaje de los plásticos, tales como su génesis a partir del petróleo, su estructura y comportamiento a nivel molecular, etc. A diferencia de otros materiales, los plásticos son en su mayoría de origen sintético, producto de la síntesis química; de ahí la imperiosa necesidad de conocer los fundamentos de dicha síntesis. El estudio de los conceptos se hace de una manera descriptiva, sin profundizar mucho en los pormenores de la química orgánica, pues no es el objetivo pretendido.

En el capítulo dos abordamos, desde una perspectiva general, las propiedades de los plásticos. Aquí se sigue la tónica del capítulo primero, en cuanto a ser lo más descriptivo posible en el tratamiento de los temas, incluyendo comparaciones de las propiedades de los plásticos con las propiedades de otros materiales. Se hace énfasis en el significado de las características viscoelásticas de los plásticos y su importancia para fines de diseño.

Considerando que la versatilidad de los plásticos viene dada por su habilidad para poder ser formulados en compuestos con propiedades sustancialmente diferentes dependiendo de los aditivos y refuerzos que se le agregan, en el capítulo tres estudiamos por separado los efectos de tales ingredientes. El objetivo de este capítulo no es detallar todas las posibles formulaciones de un plástico según el tipo y la cantidad de aditivo o refuerzo utilizado, sino, más bien, conocer su efecto, su contribución para el aumento o disminución de las propiedades del polímero; de modo que el diseñador esté en la posibilidad de especificar algún tipo de aditivo de acuerdo a los resultados que desee obtener en su diseño, o seleccionar en el mercado formulaciones comerciales que satisfagan dichas especificaciones.

En el capítulo cuatro estudiamos con más detalles las características y propiedades de los plásticos. Para esto, hacemos la diferenciación entre las dos familias más importantes de plásticos, termofijos y termoplásticos, estudiando individualmente los integrantes de cada familia, tanto cualitativa como cuantitativamente. Los aspectos cualitativos lo desarrollamos según el esquema Estructura-Propiedades-Aplicaciones, describiendo las ventajas y desventajas de cada material en particular. Para los aspectos cuantitativos, hacemos una revisión de los valores característicos de las diferentes propiedades físicas y químicas de cada polímero, enfatizando en que el tratamiento de tales valores para fines analíticos en el diseño de productos debe ser diferente a como acostumbramos con otros materiales, pues, factores tales como tiempo, temperatura, humedad, por solo mencionar algunos, son determinantes en el desempeño de este material ante las solicitaciones a que es sometido en las diferentes aplicaciones.

El constante aumento en el consumo de productos manufacturados a base de materiales plásticos ha sido posible gracias al desarrollo de las tecnologías de procesamiento de los mismos. En el capítulo cinco hacemos una revisión de los principales procesos de transformación de plásticos, describiendo sus características, los materiales que pueden transformar y sus limitaciones inherentes. Se incluye, además de los procesos de transformación propiamente dicho, los procesos de decoración y los métodos para unir o sujetar plásticos.

El binomio material-proceso estudiado por separado en los dos capítulos anteriores se unen en el capítulo seis para normar los criterios formales y estructurales que deben tomarse en consideración para el diseño apropiado de un producto con materiales plásticos. El objetivo de este capítulo es que los diseñadores conozcan los requerimientos mínimos que deben observar en la configuración de un producto plástico.

Hoy en día la palabra "plástico" forma parte del vocabulario cotidiano de todos nosotros. Con esta palabra describimos cualquier objeto hecho a base de este material. Pero para la práctica del diseño esta descripción no es suficiente, pues nos dice muy poco, ya que existen una gran variedad de plásticos, con propiedades radicalmente diferentes de uno a otro. Por lo tanto, consideramos pertinente integrar en un capítulo, el capítulo siete, algunos métodos de identificación de plásticos. Tales métodos están basados en el comportamiento observado en el material al ser sometido a determinadas pruebas, como pueden ser su solubilidad, su reacción al ser quemado, etc. Existen métodos de identificación de eficacia comprobada, como las realizadas en laboratorios especializados; pero, el objetivo pretendido es que sea el diseñador que haga sus propias pruebas, por lo que hacemos una descripción más detallada de los métodos de identificación de bajo costo, los cuales, aunque de eficacia relativa en cuanto a la certidumbre de los resultados, nos dan un conocimiento de mayor utilidad y más preciso que la vaga expresión "...es de plástico".

Un asunto que no podemos soslayar es el problema que representan la gran cantidad de desechos plásticos generados durante la fabricación y el consumo de productos. En el capítulo ocho tratamos este problema y sus posibles soluciones mediante las diferentes técnicas de reciclaje. Además, hacemos un ligero esbozo sobre los avances en la investigación y desarrollo de plásticos biodegradables.

Para terminar, hacemos las consideraciones finales del proyecto de investigación e incluimos a manera de apéndice un glosario de los términos más utilizados durante el proyecto, así como una relación de las marcas comerciales de los plásticos estudiados y una tabla de conversión de unidades entre el sistema métrico y el sistema inglés.

1. CONCEPTOS BASICOS

1.1 DEFINICION.-

Los plásticos son compuestos orgánicos sintéticos constituidos por moléculas gigantes llamadas polímeros de elevado peso molecular.

En esta definición debemos resaltar varios aspectos que consideramos relevantes,

1) Compuesto.- Resulta de la unión de dos o más elementos. Los compuestos son una cosa pura, cada una de sus partes tiene exactamente la misma composición hasta llegar a la división más pequeña posible.

2) Orgánico.- Lo que significa que el compuesto contiene principalmente CARBONO, elemento que forma parte de toda la materia viviente, animal y vegetal, gracias a su aptitud para unirse con otros átomos.

La nomenclatura orgánica distingue dos tipos de familia del carbono: alifáticos y aromáticos, (Ver Tabla 1.1). Los alifáticos se caracterizan por ser cadenas rectas de átomos de carbono e hidrogeno; también se les conoce como de cadena abierta. Dependiendo del tipo de enlace entre los átomos de carbono, los compuestos alifáticos se subdividen en alcanos, alquenos y alquinos. Las características de cada uno se indican en la Tabla 1.1. La unidad básica de los alifáticos es el metano, CH_4 .

Por su parte, los compuestos aromáticos o cíclicos se caracterizan por tener su estructura en forma de anillo. La unidad básica de las moléculas de los aromáticos es el benceno, C_6H_6 .

3) Sintético.- Esto es, productos de la industria química, que convierte materias primas en formas nuevas y radicalmente diferentes a partir de la síntesis o unión de diferentes moléculas.

4) Polímero.- (Poli = muchos, mero = parte). Se refiere a una cadena larga de moléculas enlazadas entre sí según una pauta repetida. La unidad que se repite recibe el nombre de monómero.

Esta unión es posible gracias a la particularidad del átomo de carbono, el cual es uno de los contados elementos que tienen cuatro puntos de enlace (valencias), para unirse a otros átomos, produciendo cadenas moleculares de dos, cuatro o miles de átomos.

NOMBRE		DESCRIPCION	FORMULA GRAL.	EJEMPLO
ALIFATICOS	Alcanos	Tienen un enlace simple covalente	$C_n H_{2n+2}$	Etano C_2H_6
	Alquenos	Contienen por lo menos un enlace doble covalente	$C_n H_{2n}$	Etileno $H_2C=CH_2$
	Alquinos	Contienen por lo menos un enlace triple covalente	$C_n H_{2n-2}$	Acetileno $H-C\equiv C-H$
AROMATICOS		Tienen una estructura relacionada con el compuesto benceno	Ninguna	Benceno C_6H_6

TABLA 1.1. Tipos de hidrocarburos. (Ref.26).

5) Elevado Peso Molecular.- Todos los plásticos son polímeros, pero no necesariamente sucede lo contrario; ya que para que un polímero sea considerado como un plástico debe poseer un peso molecular mayor de 10,000. Dicho peso molecular no es un valor único, más bien es un valor promedio resultado del tipo de polímero y de las condiciones de polimerización como veremos más adelante.

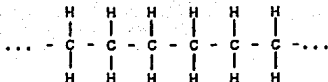
1.2 POLIMERIZACION .-

La reacción química mediante la cual los monómeros se convierten en moléculas gigantes o polímeros recibe el nombre de reacción de polimerización.

Por ejemplo, el etileno es uno de los hidrocarburos más simples; su fórmula es C_2H_4 .



Durante la reacción de polimerización, se rompe el enlace doble que une los átomos de carbono, quedando libres para unirse a otros átomos de carbono,



Si se unen más de 500 unidades de carbono, el resultado es la resina rígida conocida como Polietileno.

1.2.1 TIPOS DE POLIMERIZACION.-

Existen dos formas en que los monómeros se unen entre sí para formar polímeros. Estas son:

- Polimerización por adición, en la cual los monómeros se unen sin pérdida de ninguna sustancia. Esto es, al romperse el enlace doble del monómero durante la polimerización, no ocurren cambios atómicos en las moléculas. Cada molécula es conectada a su vecina por medio de un enlace simple. Con esta reacción se polimerizan prácticamente todos los termoplásticos: polietileno, poliestireno, PVC, etc.

- Polimerización por Condensación.- En este proceso, los monómeros se unen con la eliminación de un compuesto simple, como agua, por ejemplo. Por lo tanto, el monómero cambia químicamente, ya que se suprimen algunos átomos para poder romper el enlace. Por esta razón se polimerizan todas las termofijas: resina epoxica, bakelita, etc.

1.2.2 COPOLIMERIZACION.-

La copolimerización puede ser considerada una extensión de la polimerización por adición, y se produce con la unión química de dos o más monómeros diferentes. El copolímero resultante tiene propiedades diferentes de aquellas que se hubieran obtenido mediante la mezcla mecánica de los monómeros individuales.

Los copolímeros pueden ser:

- Copolímeros aleatorios, en los cuales las diferentes unidades monoméricas están colocadas aleatoriamente dentro de la cadena. Por ejemplo, suponiendo que A y B son dos polímeros, el copolímero aleatorio resultante sería:



- Copolímeros Alternos, en los cuales los polímeros alternan regularmente su posición en la cadena:

...ABABABABABABABABABABABABA...

- Copolímeros en Bloque, en los que bloques relativamente largos de polímeros diferentes están enlazados químicamente en la cadena:

...AAAAAAAAAAAAABBBBBBBBBBB...

- Copolímeros injertos, en los que grupos relativamente cortos de un monómero se adhieren a la larga columna vertebral de otro polímero:

...AAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA...
B B
B B
B B
B B
B B

Ejemplo de copolímeros son el Estireno-Acrilonitrilo (SAN) y el Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno, (ABS), también llamado terpolímero, (ter = tres).

Mediante la combinación de los monómeros que forman los copolímeros se puede hacer plásticos a la medida que se ajusten a requerimientos tecnológicos específicos.

1.3 ARQUITECTURA MOLECULAR DEL POLÍMERO.-

Hay tres arreglos básicos que pueden tomar los monómeros para formar la arquitectura molecular del polímero, como se muestra en la Tabla 1.2.

El tamaño y la forma de la estructura molecular determinan el peso molecular del polímero.

El Peso Molecular, PM, se define como la suma de los pesos atómicos de los diferentes átomos que componen la molécula. El PM determina muchas de las propiedades de los plásticos. Es importante señalar que en el caso de los polímeros no podemos hablar de un PM único y preciso, en virtud de la variabilidad de la longitud de las cadenas que lo forman, lo que provoca una distribución de pesos moleculares, como se muestra en la Fig. 1.1.

Es como si fuera un plato de spaghetti, donde varía la longitud de un spaghetti a otro. Por lo tanto, usaremos el término Peso Molecular Promedio, PMP, al referirnos a polímeros.


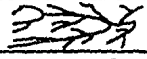

TIPOS		DESCRIPCION
Líneaal		Largas cadenas de moléculas sin ningún anillo.
Ramificado		Ramificaciones tridimensionales de las estructuras lineales.
Entrecruza do		Las cadenas moleculares están unidas por fuertes enlaces químicos que restringen su movimiento.

Tabla 1.2. Tipos de estructura molecular de polímeros.

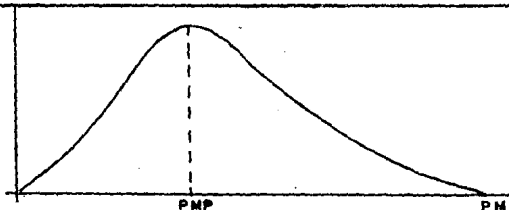


Fig. 1.1. Distribución de pesos moleculares en un polímero.

El PMP de la mayoría de los polímeros cae en el rango de 10,000 a 1000,000. La Fig. 1.2. muestra la relación entre el incremento del PMP y alguna de las propiedades de los plásticos.

Para calcular el PMP de un polímero se debe conocer el Grado de Polimerización, GP, el cual es el número de monómeros que hay en una molécula del polímero. En los laboratorios químicos este número es medido por varios métodos: índice de fusión, viscosidad, presión osmótica, etc.

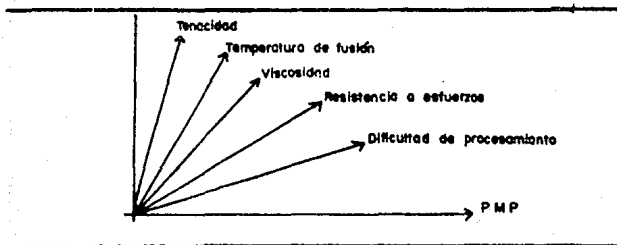


Fig. 1.2. Relación entre el Peso Molecular Promedio y algunas propiedades de los plásticos.

Teniendo el GP, el PMP se determina por la fórmula siguiente:

$$\text{PMP} = (\text{GP})(\text{PM del monómero})$$

Por ejemplo, para el PVC:

GP = 500 (según laboratorio)

Monómero = $\text{C}_2\text{H}_3\text{CL}$

PM del monómero = $24 + 3 + 35 = 62$

$$\text{PMP} = (500)(62) = 31,000.$$

La Fig. 1.3 muestra la relación entre el grado de polimerización y las propiedades del polímero.

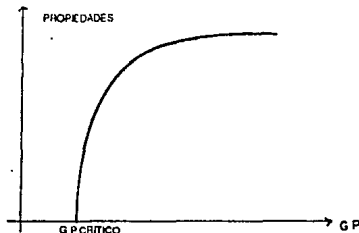


Fig. 1.3. Relación entre el Grado de polimerización y las propiedades de un polímero.

Cada polímero tiene un GP crítico, por debajo del cual las propiedades mecánicas y químicas no son útiles. A medida que se incrementa el GP por encima de su valor crítico, las pro-

propiedades mejoran rápidamente hasta llegar a un valor casi asintótico. Por ejemplo, para el PVC el GP crítico es de 100; para el polietileno es de 400, como lo ilustra la Tabla 1.3 que se muestra a continuación,

GP	PM	Temperatura de ablandamiento, °C	Estado del polímero a 25 °C
1	30	- 169	Gas
6	170	- 12	Líquido
35	1000	37	Grasa
140	4000	93	Cera
250	7000	98	Cera rígida
430	12000	104	Resina rígida
750	21000	110	Resina rígida

TABLA 1.3. Relación entre el Grado de Polimerización y las propiedades del Polietileno.

1.4 ESTRUCTURA ATÓMICA DE LOS POLÍMEROS.-

Las propiedades de los plásticos son afectadas por el arreglo de los átomos y moléculas. El arreglo atómico de los polímeros puede ser clasificado en dos formas, como se indica en la Tabla 1.4.

Materiales comunes que tienen estructura cristalina son el diamante y la sal de mesa. Ningún polímero es completamente cristalino, más bien es parcialmente cristalino. Esto se debe a que la gran longitud de las cadenas del polímero dificulta la cristalización; además, las fuerzas de Van der Waals que posibilitan el arreglo cristalino son muy débiles. El control del proceso de cristalización es una consideración básica en la determinación de las propiedades físicas de un polímero.

Ejemplos de plásticos con estructura cristalina son: Polipropileno, Polietileno de alta densidad, Poliacetales, Poliamidas (nylons), etc. Por otro lado, plásticos con estructura amorfa son: Acrílico, Policarbonato, Poliestireno, etc.

TIPOS	DESCRIPCION	CARACTERISTICAS
Cristalino	Arreglo tridimensional de átomos o moléculas en una forma regular	-poca transparencia -punto de fusión alto -mayor rigidez
Amorfo	Los átomos y moléculas están sin ningún ordenamiento	-mayor transparencia -menor rigidez -no tienen punto de fusión

TABLA 1.4. Tipos de estructura atómica de polímeros.

1.5 CLASIFICACION DE LOS PLASTICOS.-

Los plásticos pueden ser clasificados de varias maneras: por su origen (naturales y sintéticos), por su composición química, por su comportamiento térmico, por su comportamiento mecánico, etc.

De estas categorizaciones, las dos últimas son las más comunes, por lo que abundaremos sobre ellas.

(A) De acuerdo a su comportamiento térmico:

TIPO	DESCRIPCION
TERMO PLASTICO	<ul style="list-style-type: none"> -puede ser ablandado por calor y endurecido por enfriamiento repetidas veces. -puede ser moldeado y extruido en diferentes formas. -puede ser reprocesado. -tiene una arquitectura molecular lineal o ramificada. -por lo general solubles en determinados solventes.
TERMO FIJOS	<ul style="list-style-type: none"> -una vez que han sido curados por calor u otro medio, son infundibles e insolubles. -no son reprocesables ni soldables. -su arreglo molecular es entrecruzado

Por lo general, los termoplásticos ofrecen mayor resistencia al impacto, más facilidad de procesamiento y mejor adaptabilidad para diseños complejos que los termofijos. Los termoplásticos más comunes son: Acrílicos, Acetales, Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno (ABS), Celulósicos, Poliamidas (nylon), Fluoroplásticos (teflón), Polioxido de Fenileno, Policarbonato, Poliéster termoplástico (Polietileno Tereftalato, PET, y Polibutileno Tereftalato, PBT), Polietileno, Polipropileno, Poliestireno, Estireno-Acrilonitrilo (SAN), Estireno-Butadieno (SB, Resina K), Poliuretano termoplástico y Policloruro de Vinilo (PVC).

Los termofijos, en contraste con los termoplásticos, tienen mejor estabilidad dimensional, resistencia al calor, resistencia química y propiedades eléctricas. Los termofijos más comunes son: Resina Epóxica, Resina Poliéster, Fenólicos (bakelita), Poliuretano termofijo, Aminas (urea y melamina) y Hule Silicón.

(B) De acuerdo a su comportamiento mecánico:

TIPO	MODULO ELASTICO (lb/pul ²)
Plástico no rígido	menor que 10,000
Plástico semirrígido	entre 10,000 y 100,000
Plástico rígido	mayor que 100,000

(Ref. 27).

Los plásticos no rígidos y algunos semirrígidos son considerados como Elastómeros, según que recuperen rápidamente su dimensión y forma originales después de una deformación sustancial provocada por una fuerza. Ejemplo de un plástico no rígido es el Hule; de uno semirrígido, el Teflón; y de uno rígido, el Polipropileno. La mayoría de los plásticos conocidos se consideran como rígidos.

Sumarizando algunos de los conceptos tratados en este capítulo presentamos el siguiente cuadro descriptivo,

CLASIFICACION	ARQUITECTURA MOLECULAR	POLIMERIZACION
Termo plástico	Lineal	Adición
	Ramificada	
Termofijo	Entrecruzada	Condensación

2. CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS PLASTICOS

Todo diseñador trata de evitar fallas en su diseño, para lo cual debe examinar todos los modos posibles en que éstas puedan producirse. Esto dependerá de los requerimientos de la pieza, y de la evaluación del diseño que los satisfaga.

En el caso de los materiales, el diseñador debe conocer las características de éstos, con el fin de evitar fallas sorpresivas.

En este capítulo examinaremos las características generales de los plásticos, y las compararemos con los materiales tradicionales.

La Tabla 2.1 nos presenta una lista de ventajas y desventajas que son determinantes cuando se considera el uso de los plásticos.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> -Poco peso (aproximadamente ocho veces menor que los metales). -Buenas propiedades de aislamiento térmico y eléctrico. -Buena resistencia química -Resistencia a la corrosión -Facilidad de procesamiento -Disponibles en grados transparentes, translúcidos y opaco. -Excelente capacidad de amortiguación (en promedio, diez veces mayor que los metales). -Pueden ser espumados. -Disponibles en un amplio rango de colores -Ahorro energético en su producción. 	<ul style="list-style-type: none"> -Algunos tienen inestabilidad dimensional -Rango térmico útil limitado. -Alto coeficiente de expansión térmica (aproximadamente diez veces mayor que los metales). -Inflamabilidad (algunos arden fácilmente). -Dificultad para repararlos. -No degradabilidad (algunos no se descomponen).

Tabla 2.1. Ventajas y desventajas de los plásticos.

2.1 PROPIEDADES MECANICAS.-

2.1.1 ESFUERZO Y DEFORMACION.

Cuando una carga se aplica sobre un cuerpo, en el interior de éste se genera una fuerza equilibrante. Si esta fuerza se divide por el Área de la sección transversal obtenemos una medida del esfuerzo. Se expresa dimensionalmente en unidades ML^{-2} ; lb/pul^2 , Kg/cm^2 , etc.

Hay tres tipos de esfuerzo: tensión, compresión y cortante, como se muestra en la Fig. 2.1.

Cuando un material está en estado de esfuerzo sus dimensiones cambian; este cambio dimensional es denominado deformación.

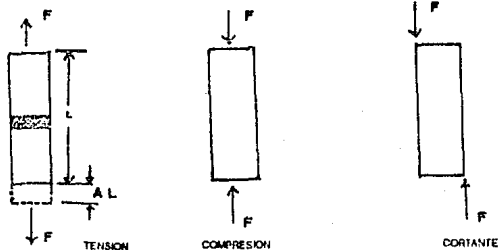


Fig. 2.1. Tipos de esfuerzos.

F = Fuerza

A = Área de la sección transversal

L = Longitud

$$\text{Esfuerzo } (\sigma) = F/A \quad (ML^{-2})$$

$$\text{Deformación } (\epsilon) = \Delta l/L \quad (\text{adimensional})$$

2.1.2 COMPORTAMIENTO ELASTICO.-

En el comportamiento elástico, la deformación desarrollada en el material al ser solicitado por una fuerza es totalmente recuperada al quitarse la fuerza.

En 1678, Hooke estudió este fenómeno utilizando resortes y enunció la ley que hoy lleva su nombre, y sobre la cual se basa la Teoría de la Elasticidad. La Ley de Hooke establece que la deformación desarrollada en un cuerpo es directamente proporcional al esfuerzo que la produce. Es decir,

$$\sigma = E \epsilon$$

Donde (E) es la constante de proporcionalidad conocida como MODULO DE ELASTICIDAD O MODULO DE YOUNG.

$$\text{MODULO (E)} = (\text{esfuerzo})/(\text{deformación}) = \sigma/\epsilon$$

Los metales se caracterizan por su comportamiento elástico dentro de ciertos límites.

2.1.3 COMPORTAMIENTO VISCOELASTICO.-

A diferencia de los metales, los plásticos no se comportan de una manera elástica al ser solicitados por una fuerza. Se comportan, más bien, de una manera viscoelástica; esto es presentan una acción dual: una como un sólido elástico y otra como un líquido viscoso.

Este comportamiento se puede explicar mediante el modelo de la Fig. 2.2, conocido como el modelo de Maxwell:

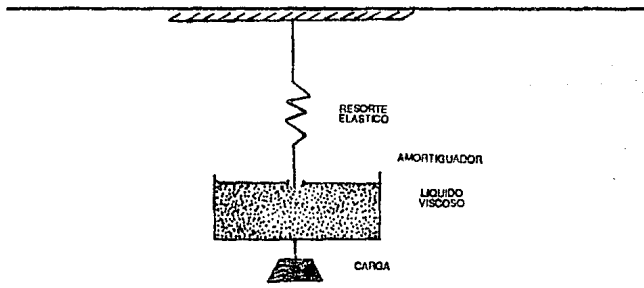


Fig. 2.2. Modelo de Maxwell de la viscoelasticidad. (Ref 7, 8)

Con una carga aplicada al sistema, como se muestra en modelo, el resorte se deformará hasta un cierto grado. El amortiguador, representado por un émbolo dentro de un líquido viscoso, en principio permanecerá en una posición estacionaria bajo la carga aplicada. Si la carga continua aplicada, el líquido viscoso se escurrirá lentamente a través del émbolo, lo que provocará el movimiento del amortiguador. La primera deformación que experimentó el modelo, representada por el resorte, corresponde a la deformación elástica del plástico; la deformación posterior, representada por el amortiguador, corresponde a la deformación viscosa del plástico.

Cuando se remueve la carga, el amortiguador no regresa a su posición original, como lo hace el resorte; por lo tanto, se produce una deformación permanente en el material plástico, e inclusive puede llegar a la ruptura si se llega a una deformación excesiva.

Las propiedades de la fase elástica prácticamente son independientes del tiempo; sin embargo, las de la fase viscosa, dependen mucho del tiempo, la temperatura y del esfuerzo.

Las características de flujo mencionadas anteriormente son estudiadas por la Reología. Conociendo las características reológicas de cada material plástico se puede determinar su viscosidad y su índice de flujo, parámetros fundamentales para seleccionar el tipo de proceso de transformación más apropiado.

2.1.3.1 PROPIEDADES A LARGO PLAZO: ESCURRIMIENTO Y RELAJACION DE ESFUERZOS.-

La deformación viscosa que experimentan los plásticos al ser sometido a un esfuerzo por un periodo de tiempo prolongado se conoce como escurrimiento o "creep". Cuando el escurrimiento se produce a temperatura ambiente se le llama flujo frío.

El escurrimiento del plástico provoca cambios en las dimensiones del producto y deterioro de su resistencia.

Para fines de diseño, el diseñador debe conocer cual será la deformación real o falla que tendrá el producto durante su vida útil para las condiciones de cargas por él especificadas. Esto implica hacer observaciones y registros a nivel experimental de la deformación del producto para ciertos intervalos de tiempo, de modo que sea posible la construcción de curvas extrapolables para periodos de tiempo más largos. Los niveles de esfuerzo y la temperatura a que deban hacerse estos registros son especificados por el fabricante del mate-

rial. Lo que se hace generalmente es considerar el esfuerzo de trabajo continuo permisible a temperatura ambiente y el esfuerzo de trabajo continuo permisible a la o las temperaturas de las aplicaciones potenciales en que se usará el material plástico.

La Fig. 2.3 presenta la curva de escurrimiento de un plástico mediante la relación tiempo-deformación.

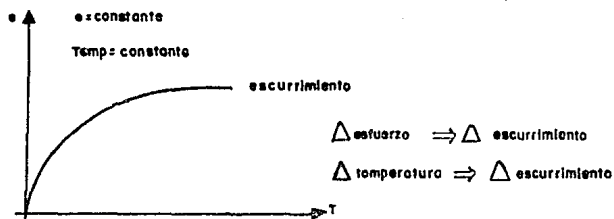


Fig. 2.3. Curva de escurrimiento de un plástico.

La ruta típica que sigue la deformación de un material plástico al ser sometido a una prueba de tensión durante un ciclo de carga-descarga se muestra en la Fig. 2.4.

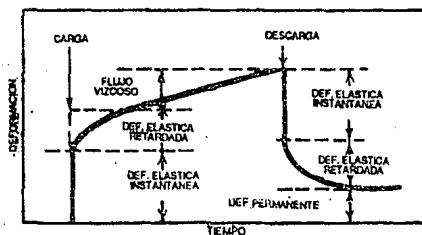


Fig. 2.4. Curva típica de deformación de un plástico. (Ref. 5)

Esta gráfica nos muestra que al ser aplicada una carga sobre un plástico ocurre una deformación elástica instantánea, seguida de una deformación, también elástica, pero retardada; a medida que transcurre el tiempo aparece un flujo viscoso constante. La porción elástica de la deformación se deduce al quitar la carga del plástico y observar su recuperación. Al momento de la descarga, el material se contraerá instantáneamente, y luego más lentamente; hasta que finalmente la contracción termina, observándose que el material a sufrido un cambio en su extensión de manera permanente.

Las diferentes secciones de la ruta de la deformación mostrados en la figura anterior están asociadas con ciertos tipos de movimientos de los átomos y moléculas dentro del polímero. Por lo tanto, al cambiar la estructura molecular del polímero, también cambian las características de deformación del plástico. Por ejemplo, incrementando el peso molecular del polímero (aumentando la longitud promedio de las cadenas), incrementará la viscosidad del mismo; esto, a su vez, ocasiona que cambien las características de la sección del flujo viscoso de la curva de deformación, lo que repercute de manera decisiva en las propiedades del plástico, así como en sus aplicaciones.

Cuando un plástico es deliberadamente deformado a una dimensión y forma predeterminados, y es mantenido en esta posición hasta que la deformación no aumenta ni disminuya, se produce el fenómeno conocido como RELAJACION DE ESFUERZOS. Lo que sucede es que si un plástico es mantenido en una posición restringida por largo tiempo, la resistencia inicial a la deformación disminuye gradualmente hasta llegar a cero. Una vez que son renovadas las fuerzas restrictivas, el plástico retendrá la forma en la cual fue deformado previamente.

Tanto el ocurrimiento como la relajación de esfuerzos son fenómenos del mismo tipo, es decir, en ambos casos ocurre una deformación permanente.

Lo que hay que tener en mente a la hora de diseñar, y que hemos tratado de explicar en esta sección, es que los productos plásticos sujetos a esfuerzos por largos periodos de tiempo no deben ser diseñados usando los datos de propiedades mecánicas derivadas de ensayos de corta duración, sino que deben usarse datos obtenidos de ensayos de larga duración. Estamos hablando de hacer registros a los 4 días, luego a los 8 días, y, finalmente, a los 40 días de haber iniciado el ensayo, bajo condiciones de carga y temperatura previamente establecidas. Esto implica un costo, por supuesto, pero es insignificante si se consideran los elementos de se-

guridad y confiabilidad que proveerán para el diseño del producto con material plástico. Por lo general, el fabricante del material suministra estos datos, pero en su defecto debe buscarse algún medio para obtenerlos.

2.1.4. ENSAYO DE TENSION DE CORTA DURACION DE LOS PLASTICOS.

La curva clásica de esfuerzo-deformación del acero que se presenta en la Fig. 2.5 nos da las características esenciales para el diseño con este material.

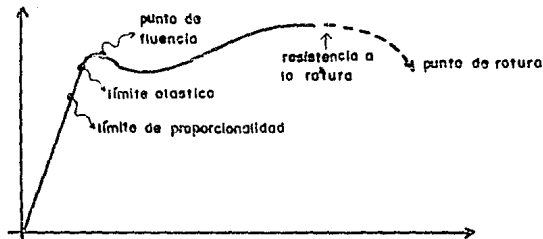


Fig. 2.5. Curva esfuerzo-deformación del acero.

Dicho material se comporta de una manera perfectamente elástica antes de llegar a su punto de fluencia, independientemente de la duración de la carga. Similar comportamiento no se observa en los plásticos dada su naturaleza viscoelástica.

Sin embargo, este mismo tipo de ensayo se aplica a los plásticos para obtener las propiedades mecánicas de tensión, bajo las condiciones prescritas por la norma ASTM. Los resultados de este ensayo son publicados por el fabricante del material en sus tablas comerciales; pero, estos datos sólo tienen significado para un corto plazo, puesto que no se toma en cuenta el escurrimiento del material. La curva obtenida en un ensayo de tensión de corta duración para un plástico es similar a la del acero, como se indica en la Fig. 2.6.

La pendiente de la recta de la zona elástica nos da el Módulo de elasticidad o Módulo de Young. La Resistencia a la fluencia es el punto donde ocurre un incremento en la deformación sin un correspondiente aumento en la tensión.

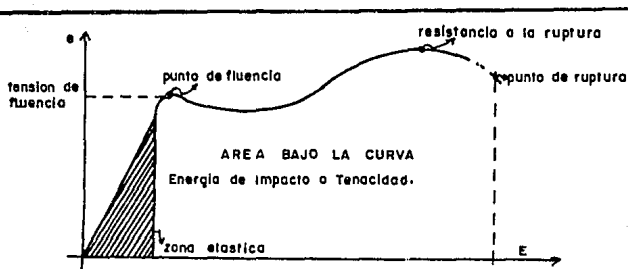


Fig. 2.6. Curva esfuerzo-deformación de un plástico (ensayo de corta duración).

Para que los datos proporcionados por esta curva tengan algún sentido, debemos conocer la temperatura y la velocidad de estirado a que fue hecho el ensayo; ya que, la variación de estos dos parámetros cambia notablemente las características de la curva, como se indica en la fig. 2.7.

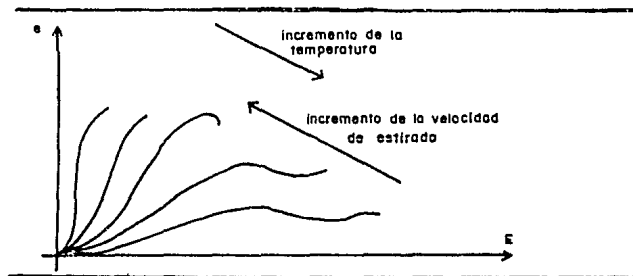


Fig. 2.7. Variaciones de la curva esfuerzo-deformación con el cambio de la temperatura y la velocidad de estirado. (Ref. 8).

Lo que nos muestra que cuando se incrementa la velocidad de estirado en un ensayo de tensión, el plástico reacciona como un material frágil; en cambio, cuando se incrementa la temperatura, el plástico reacciona como un material dúctil.

Dada la naturaleza viscoelástica de los plásticos, los resultados de un ensayo de tensión son de mayor interés para el fabricante de la resina, como una medida rápida de control de calidad, que para el diseñador, el cual está interesado en datos para aplicaciones duraderas.

No obstante, los mismos resultados pueden ser deducidos a partir de una familia de curvas de escurrimiento para cada plástico, como se indica en la Fig. 2.6.

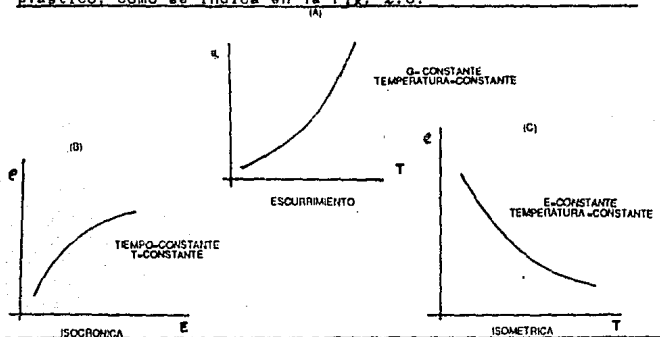


Fig. 2.6. Familia de curvas de escurrimiento de un plástico. (Ref. 5).

La gráfica (A) representa la curva de escurrimiento de un plástico, es evidente que a temperatura y esfuerzo constante, la deformación aumenta con el tiempo. De los datos de la curva de escurrimiento podemos obtener la curva de esfuerzo-deformación isocrónica, gráfico (B), que presenta la deformación resultante si se aplica un esfuerzo por un tiempo determinado. Si el tiempo en particular escogido es razonablemente corto, de varios segundos, la forma de la curva isocrónica será muy similar a la obtenida mediante el ensayo de esfuerzo-deformación de corta duración que describimos anteriormente.

Otra curva que se obtiene de la curva de escurrimiento es la isométrica, o sea, las del esfuerzo en función del tiempo, manteniendo constante la deformación, gráfico (C). La curva isométrica nos sugiere que cuando un plástico es deformado, y tal deformación es mantenida constante, el esfuerzo en el plástico disminuirá con el tiempo. Esta característica, des-

crita en párrafos anteriores, se conoce como Relajación de esfuerzos.

2.1.4.1 MÓDULO DE ELASTICIDAD Y MÓDULO DE ESCURRIMIENTO DE LOS PLÁSTICOS.-

En las secciones anteriores se ha hablado del Módulo de elasticidad o Módulo de Young. El Módulo de elasticidad se define como la relación entre el esfuerzo y la deformación de un material dentro de su rango elástico. Esto es:

$$\text{MÓDULO DE ELASTICIDAD} = \frac{\text{ESFUERZO}}{\text{DEFORMACION}}$$

Se expresa dimensionalmente en unidades ML^{-2} , como Pascal, Lbs/pul², Kg/cm², etc.

Este módulo nos dice cuánto se deformará determinado plástico bajo una carga dada; es una medida de su rigidez. Un módulo de elasticidad alto nos indica que el plástico es rígido y que es resistente al estiramiento. Gráficamente, el módulo es la pendiente de la recta dentro del rango elástico de la curva esfuerzo-deformación.

La Fig. 2.9, (A), (B), (C) y (D) presenta las características de varios plásticos con diferentes módulo de elasticidad, evidenciando la importancia de éste en las propiedades de los materiales presentados.

El área bajo las curvas de la Fig. 2.9 representa la energía necesaria para romper el plástico. Esta área es una medida aproximada de la tenacidad del material. El plástico con mayor tenacidad presenta un área mayor bajo la curva.

Para que tengamos una idea de la rigidez de los plásticos, la Fig. 2.10 compara las rigideces de distintos materiales.

Es importante señalar que esta característica de rigidez sólo tiene significado para períodos cortos de duración del esfuerzo, ya que el módulo de los plásticos no es constante sino que varía con el tiempo, la temperatura, el esfuerzo, etc.

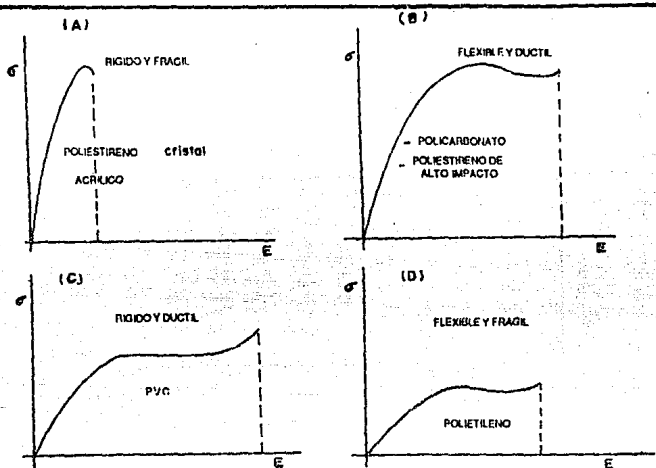


Fig. 2.9. Gráficas del Módulo de elasticidad de diferentes plásticos.

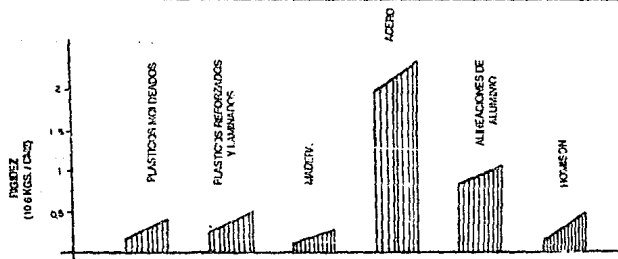


Fig. 2.10. Comparación de la rigidez entre varios materiales. (Ref. 6).

De ahí que sea fundamental que el diseñador conozca, además del Módulo de elasticidad del ensayo de corta duración, la variación de este módulo con el tiempo. Dicho dato viene dado por el **MÓDULO DE ESCURRIMIENTO**, también conocido como **Módulo Aparente** o **Módulo Viscoso**, como se representa en la Fig. 2.11.

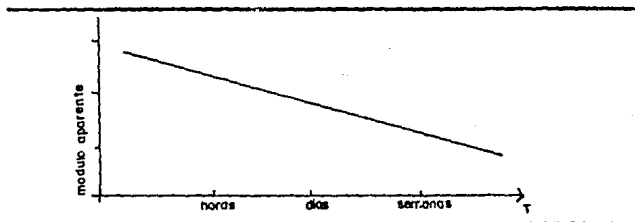


Fig. 2.11. Gráfico del Módulo de escurrimiento.

Como puede apreciarse en la figura, el Módulo aparente disminuye con el tiempo, lo que hace menos rígido al plástico. Esto dependerá del esfuerzo aplicado y de la temperatura. Los fabricantes de las resinas proveen familias de curvas de los Módulos aparentes bajo condiciones preestablecidas.

Los plásticos reforzados presentan una mayor resistencia al escurrimiento que los plásticos sin reforzar. En términos generales, los termofijos son más resistentes al escurrimiento que los termoplásticos.

Para propósitos de diseño, podemos establecer que los datos de las curvas de escurrimiento y del diagrama de esfuerzo-deformación nos indican si el uso de un plástico no reforzado es apropiado para satisfacer los requerimientos dimensionales de un producto, o si debemos sustituirlo por un plástico reforzado para de este modo mantener nuestro producto, durante su vida útil, dentro de las proporciones deseadas.

Los ensayos para determinar la resistencia a la flexión y a la compresión siguen los mismos lineamientos que para el ensayo de tensión descrito hasta ahora, por lo que no abundaremos sobre ellos.

2.1.5 RESISTENCIA AL IMPACTO.-

La resistencia al impacto es una medida de la energía necesaria para romper una probeta de plástico. Esta relacionada con la tenacidad del material.

Hay varios métodos empíricos para medir la resistencia al impacto. Uno de los más difundidos es la prueba de impacto IZOD, presentado en la Fig. 2.12.

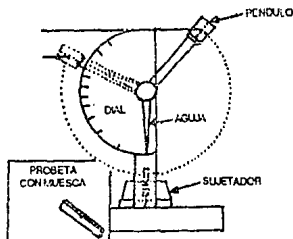


Fig. 2.12. Prueba de impacto IZOD. (Ref. 6).

Como indica la figura, una probeta rectangular de plástico se sujeta por uno de sus extremos a una máquina que tiene un péndulo oscilatorio. La probeta puede tener muesca o carcer de ella. Al soltar el péndulo, el dial registra la energía absorbida para romper la probeta. Las condiciones en que se realiza este ensayo, así como las dimensiones de la probeta y la muesca, están especificadas por la norma ASTM-D526.

Para fines de diseño, la prueba de impacto IZOD nos sirve para comparar varios grados de plásticos dentro de una misma familia; además, nos señala la necesidad de evitar esquinas rectas con determinados tipos de plásticos muy sensitivos a la muesca.

La Tabla 2.2 presenta las relaciones que existen entre el módulo de elasticidad y la resistencia al impacto IZOD.

MODULO	IMPACTO IZOD	PLASTICO
Alto	Alto	Muy tenaz
Alto	Bajo	Fragil
Bajo	Alto	Fléxible y dúctil

TABLA 2.2. Relaciones entre el impacto IZOD y el Módulo de Elasticidad de un plástico. (Ref. 8).

2.1.6 RESISTENCIA A LA FATIGA.-

Fatiga es el término utilizado para expresar el nivel de esfuerzo al cual un plástico soportará un determinado número de ciclos antes de que se produzca la falla. Las fallas por fatiga dependen de la temperatura, del esfuerzo cíclico aplicado, y de la frecuencia y amplitud del ciclo.

A diferencia de los metales, los plásticos no tienen un límite de fatiga bien definido, como se indica en la Fig. 2.13.

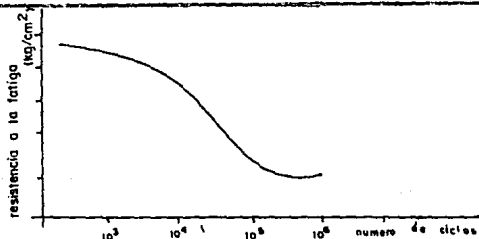


Fig. 2.13. Curva de fatiga de un plástico.

Para propósitos de diseño, la fatiga es importante en la fabricación de cajas y contenedores de plástico con bisagra integral.

Asociada con las propiedades de fatiga, está la capacidad de amortiguamiento de los plásticos. Esto es, la capacidad de absorber o disipar vibraciones. En promedio, los plásticos tienen una capacidad de amortiguamiento diez veces mayor que el acero; por lo que son apropiados para el diseño de engranes, ejes, etc.

2.1.7 DUREZA.-

La dureza es la resistencia que presenta los plásticos a la penetración o indentación de otro cuerpo. Por lo general, los plásticos son más blandos que otros materiales de ingeniería. La dureza de los plásticos viene calibrada en diferentes escalas de la prueba de indentación del tipo Rockwell y Shore. La Fig. 2.14 muestra un esquema de esta prueba.

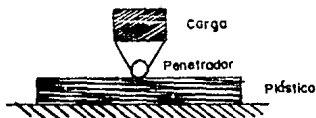


Fig. 2.14. Prueba para dureza de un plástico.

2.1.8 RESISTENCIA A LA ABRASION.-

La abrasión es un proceso de desgaste por fricción de la superficie del plástico. La Tabla 2.3 presenta la resistencia a la abrasión comparativa, en términos cualitativos, para algunos plásticos.

RES. A LA ABRASION	PLASTICOS
ALTA	Acetal, Aminos, Celulósicos, Epoxica, Nylon, Fenólicos, PVC, Policarbonato, Poliester. Poliuretano termoplástico.
BUENA	ABS, Polipropileno.
BAJA	Acrílico, Fluoroplásticos. Polietileno, Poliestireno.

TABLA 2.3. Resistencia a la abrasión de algunos plásticos. (Ref. 5).

2.2 PROPIEDADES TERMICAS.-

2.2.1 TEMPERATURA DE DISTORSION AL CALOR.-

Esta es la temperatura a la cual la probeta de plástico se deflexiona 0.25 mm. También se le conoce como Temperatura de deflexión.

La temperatura de distorsión al calor es un indicador de la estabilidad dimensional del plástico a altas temperaturas; es la temperatura más elevada de operación continua que el material puede soportar. La Fig. 2.15 presenta las temperaturas máximas en servicio continuo de varios materiales.

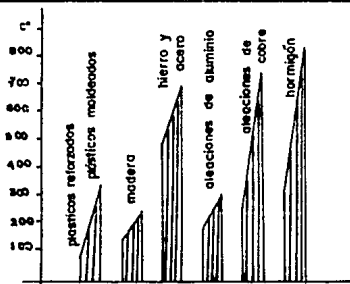


Fig. 2.15. Temperatura máxima de servicio de varios materiales. (Ref. 6).

2.2.2 CONDUCTIVIDAD Y EXPANSION TERMICAS.-

Los plásticos son aisladores térmicos, y su dilatación térmica es mucho más alta que los metales. Ambas propiedades necesitan de una cuidadosa consideración en el diseño de productos que operan en conjunción de piezas metálicas.

La Fig. 2.16 (A) y (B), presentan, respectivamente, la dilatación y conductividad térmicas para varios materiales.

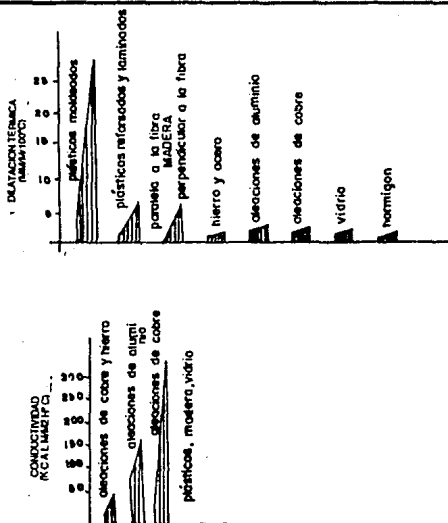


Fig. 2.16. Dilatación y conductividad térmicas de varios materiales. (Ref. 6).

2.3 PROPIEDADES OPTICAS.-

Los plásticos son usualmente translúcidos o transparentes, a menos que algún aditivo, como los pigmentos, le oculten esta propiedad.

La Tabla 2.4 presenta las propiedades ópticas de algunos plásticos.

PROPIEDADES OPTICAS (% TRANSMISION DE LUZ)	
Pueden ser ópticamente claros	Acrílico(92%), Celulósicos(88%)
Pueden ser transparente	Epóxica, Policarbonato(90%), Poliester, Polietileno (0/80%), Polipropileno(90%), Poliestireno(90%), PVC, Silicones.
Pueden ser translúcidos	ABS(30%), Acetal, Fluoroplásticos, Nylon, Fenólicos.

TABLA 2.4. Propiedades ópticas de algunos plásticos.(Ref. 5)

La transparencia pueda ser afectada adversamente por el espesor del plástico. Con espesores por encima de 25.4 mm, la mayoría de los plásticos transparentes se vuelven mates; la excepción es la lámina de acrílico vaciada.

2.4 PROPIEDADES ELECTRICAS.-

Debido a su naturaleza orgánica, los plásticos no son conductores de la electricidad; por lo que son utilizados como aisladores para aplicaciones de bajo voltaje y frecuencia.

Las cinco propiedades básicas que describen las características eléctricas de un plástico son: resistencia al arco, resistencia dieléctrica, resistencia aislante, constante dieléctrica y el factor de disipación.

2.5 RESISTENCIA QUIMICA Y A LA TEMPERIE.-

Debido a la gran variedad de aditivos que contienen los plásticos, es difícil hacer un juicio sobre su resistencia a ácidos, alcalis y solventes.

Por lo general, los plásticos tienden a ser resistentes a

ácidos o alcalis débiles; y son atacados químicamente por ácidos oxidantes fuertes. Algunos líquidos causan deterioro en los termoplásticos, cuando éstos son sometidos a algún esfuerzo e inmersos en estos líquidos; este fenómeno se conoce como Esfuerzo de deterioro ambiental (ESC-"environmental stress cracking").

Las características de envejecimiento e intemperismo de los plásticos depende de su medio ambiente y de la radiación incidente. La mayoría de los plásticos se degradan si son mantenidos a temperaturas elevadas por períodos largos y en presencia de aire.

La luz solar también es dañina, debido a que las radiaciones ultravioletas pueden causar rompimiento de las cadenas del polímero; a menos que estos efectos sean estabilizados por un aditivo protector contra la luz ultravioleta.

3. ADITIVOS Y REFUERZOS PARA PLÁSTICOS

Al igual que al acero se le añade otros metales para formar aleaciones especiales y cambiar sus propiedades; también a los plásticos se le pueden añadir diferentes ingredientes para mejorar sus características físicas y mecánicas.

Por ejemplo, las características de flexibilidad, color, rigidez, resistencia a la flama, procesabilidad, etc., pueden ser alteradas significativamente con el uso de aditivos. Además, las cargas y refuerzos les añaden propiedades a los plásticos dramáticamente diferentes de las del plástico no reforzado.

3.1 ADITIVOS.-

Los aditivos son añadidos en cantidades relativamente pequeñas. Pueden ser agrupados en dos categorías principales:

a) Aditivos que modifican las características del polímero base por medios físicos. Ejemplo: plastificantes, lubricantes, modificadores de impacto, pigmentos.

b) Aditivos que modifican las características del polímero base mediante reacciones químicas. Ejemplo: retardantes a la flama, absorbedores de luz ultravioleta, antioxidantes, antiozonantes.

3.1.1 PLASTIFICANTES.-

La plasticidad es la habilidad de un material para fluir bajo la aplicación de una fuerza. Un plastificante es un agente químico que se le añade al plástico para incrementar su flexibilidad, reducir su temperatura de fusión y disminuir su viscosidad. Todas estas propiedades ayudan en el procesamiento del material.

Se han formulado más de cien plastificantes para modificar los polímeros; uno de los más utilizados es el Dioctil Ftalato (DOP). Un ejemplo típico de un plástico modificado por el uso de plastificante es el Policloruro de Vinilo, PVC, cuyas formulaciones van desde una masa prácticamente líquida hasta el PVC rígido que conocemos en las tuberías.

La Fig. 3.1 ilustra la tendencia que siguen las propiedades de los plásticos con el uso de plastificantes.

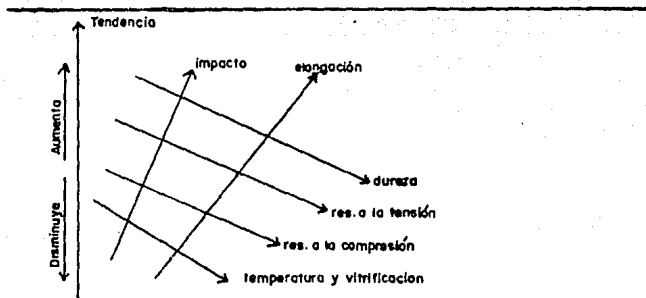


Fig. 3.1. Relación entre el porcentaje de plastificante y las propiedades de los plásticos.

Para fines de diseño, es importante que el plastificante tenga las siguientes propiedades, (Ref. 6):

1) **Compatibilidad.** - Significa que durante la vida útil del producto, el plastificante debe permanecer en su sitio, no debe migrar. Ejemplo de migración del plastificante son las telas plásticas para tapicería que se vuelven grasosas con el tiempo; otro efecto de la migración es la contracción y cuarteamiento del plástico.

La Tabla 3.1 presenta la compatibilidad de algunos plásticos con varios plastificantes.

2) **Estabilidad.** - El plastificante no debe deteriorarse gradualmente con la edad, ya que esto iría en detrimento del producto plástico.

3) **No degradabilidad.** - El plastificante no debe atacar al plástico, pues podría romper sus cadenas. Tampoco debe dañar a otros ingredientes, tales como estabilizadores o pigmentos.

4) **Rendimiento.** - En general, cuanto menos cantidad de plastificante se necesite, mejor es éste.

5) **Atoxicidad.** - Es particularmente importante si los objetos pueden llevarse a la boca. Por ejemplo, juguetes y objetos para niños.

PLASTIFICANTE	R E S I N A S						
	PVC	PS	PUR	Nylon	Acrilico	AC	Epoxy
Diocil Ftala to	C	C	C	C	C	I	I
Difenil Ftala to	C	C	P	P	C	I	P
Didecil Adipa to	C	C	P	C	I	I	I
Diocil Adipa to	C	C	P	C	I	I	I
Parafinas clo radas	P	C	C	C	P	I	P

TABLA 3.1. Compatibilidad de varios plástificantes con algunos plásticos. (Ref. 26).

Nota: PVC-Policloruro de vinilo, PS-Poliestireno, PUR-Poliuretano, AC-Acetato de celulosa.

C = Compatible

P = Parcialmente compatible

I = Incompatible

3.1.2 LUBRICANTES.-

Los lubricantes son aditivos utilizados para ayudar en el procesamiento de los plásticos. Algunos lubricantes son internos, actúan dentro del plástico para reducir las fuerzas entre las moléculas; otros son externos, reducen la adhesión del plástico a las paredes metálicas del molde, o de la máquina de procesamiento.

Ejemplo de lubricantes utilizados para plásticos son las ceras, tales como la parafina, ácido esteárico, etc.; y los jabones metálicos, como los estearatos de plomo, cadmio, bario, calcio y zinc.

La mayoría del lubricante se pierde durante el proceso de fabricación de la resina. El exceso de lubricante tiene un efecto perjudicial para la apariencia del producto, ya que puede causar lo que se conoce como "afloración de la lubricación", vista como manchas oscuras e irregulares en la superficie del plástico.

Algunos plásticos tienen la propiedad de ser auto-lubricantes. Ejemplo de ello son el Polietileno, las Poliamidas (Nylon), los Fluorocarbonos (Teflón), y los Silicones. A su vez, éstos son utilizados como lubricantes para otros plásticos.

3.1.3 ESTABILIZADORES.-

Los plásticos son susceptibles a la degradación por la acción de la luz solar, la oxidación o el calor. La degradación se manifiesta al romperse los enlaces químicos y físicos del polímero. Para evitar que esto ocurra, se añaden estabilizadores durante la fabricación.

Los estabilizadores incluyen antioxidantes, antiozonantes y absorbedores de radiación ultravioleta. Pueden ser líquidos o en polvo. El diseñador debe cuidar que los estabilizadores no sean tóxicos para productos usados en contacto con alimentos.

Los antioxidantes son estabilizadores que retardan la oxidación. El polietileno y el polipropileno son susceptibles a degradarse por la oxidación.

Los estabilizadores antiozonantes son aditivos que ayudan a prevenir la degradación causada por el gas ozono de la atmósfera.

Los absorbedores ultravioleta son estabilizadores que protegen al plástico de las radiaciones ultravioletas de la luz solar. Dicha radiación puede causar cambios de color del plástico, así como agrietamiento, o pérdidas de propiedades físicas, químicas y eléctricas. Las poliolefinas (polietileno y polipropileno), el poliestireno, el PVC, ABS, y los poliuretanos son propensos a la degradación por la radiación ultravioleta. El negro de humo es un estabilizador ultravioleta ampliamente utilizado.

3.1.4 COLORANTES.-

Una de las características que más ha contribuido a ampliar el rango de aplicaciones de los plásticos es su disponibilidad en un amplio surtido de colores.

Hay cuatro tipos de colorantes para plásticos:

- 1) Tintas
- 2) Pigmentos orgánicos
- 3) Pigmentos inorgánicos, y
- 4) Pigmentos para efectos especiales

Las tintas se disuelven en el polímero formando enlaces químicos con las moléculas. Tienen excelentes propiedades ópticas, lo que las hace idóneas para proporcionar colores transparentes. Sin embargo, tienen una mala estabilidad

térmica y a la luz; por lo que los plásticos que tengan que soportar altas temperaturas, ya sea en el procesamiento o durante el servicio, deben ser coloreados por medio de pigmentos. Las tintas son materiales orgánicos.

Por otro lado, los pigmentos no son solubles en la resina, sólo se encuentran dispersos en la misma. Esto afecta la transparencia, disminuyéndola; por esta razón, los pigmentos se utilizan para proporcionar colores opacos, aunque también pueden conseguirse colores translúcidos y transparentes, pero de calidad inferior a los obtenidos con las tintas.

Los pigmentos inorgánicos proveen estabilidad a la luz y a la temperatura; por lo general son sustancias químicas simples, tales como:

- Carbón----- negro
- Óxido de hierro----- rojo
- Óxido de cobalto----- azul
- Sulfuro de cadmio----- amarillo
- Sulfato de plomo----- blanco
- Bióxido de titanio----- blanco

Estos óxidos y sulfuros metálicos son fácilmente dispersables en la resina.

Los pigmentos orgánicos dan los colores opacos más brillantes disponibles:

- Rojos----- Quinacridonas
Perilenos
Disazo
Azo
- Naranjas----- Disazo
Isoindolinona
Pirazolona
- Amarillos----- Disazo
Isoindolina
Quinofalona
- Verdes----- Ftalocianina
- Azules----- Ftalocianina
Indantrona
- Violetas----- Quinacridona
Carbazola

Los pigmentos para efectos especiales pueden ser orgánicos u inorgánicos. Los más conocidos son los que le dan brillo óptico al plástico. El brillo óptico puede ser fluorescente o fosforescente; según que al desaparecer la fuente de energía de excitación, el plástico cese de emitir luz (primer caso) o continúe emitiéndola por un tiempo limitado (segundo caso). Los pigmentos para efectos fluorescentes son hechos a partir de sulfuros de zinc, calcio y magnesio; los fosforescentes se elaboran a partir del sulfuro de calcio o del sulfuro de estroncio. Ambos pigmentos son muy utilizados en señalización de espacios e indicadores.

Hay miles de pigmentos disponibles hoy en día; pero sólo unos cientos son útiles para la industria del plástico. Las tintas y pigmentos no sólo varían en color, sino en resistencia, estabilidad al calor, estabilidad a la luz, aceptación para que puedan ser utilizados en contacto con alimentos y medicinas, y compatibilidad química con los materiales y resinas que puedan estar en contacto con el producto terminado. Por lo tanto, la selección de un sistema de pigmentos o tintas que satisfaga tanto los requerimientos de color como los funcionales del producto terminado requiere de un conocimiento completo de los pigmentos, de las resinas y de las condiciones de uso final del producto.

3.1.5 AGENTES ANTIESTATICOS.-

La mayoría de los plásticos durante su uso tienden a desarrollar una indeseable carga electrostática sobre su superficie. Los agentes antiestáticos se agregan para evitar que esto ocurra, ya que atraen la humedad del aire haciendo la superficie del plástico más conductible, lo que disipa las cargas estáticas. Los agentes antiestáticos más comunes son los derivados de aminas, fosfatos orgánicos y los ésteres de polietilenglicol.

3.1.6 RETARDANTES A LA FLAMA.-

Debido a que los polímeros son compuestos orgánicos, se queman al ser expuestos al fuego. Algunos plásticos arden más fácilmente que el papel, y otros tardan más en arder que la madera. La inflamabilidad de los plásticos puede ser reducida por la adición de otros materiales, conocidos como retardadores a la flama. Estos aditivos son muy importantes para satisfacer especificaciones de uso de plásticos en aplicaciones eléctricas, en fabricación de vehículos de transporte y en construcción de viviendas.

La mayoría de las sustancias químicas retardadoras a la flama comerciales son una combinación de bromo, cloro, antimonio y fósforo. Muchos de estos retardadores al calentarse emiten un gas que extingue el fuego; otros se hinchan o se espuman, formando una barrera aislante contra el calor y la flama.

3.1.7 AGENTES ESPUMANTES.-

Se utilizan para producir plásticos espumados o celulares, por medio de gases inertes.

3.2 CARGAS Y REFUERZOS.-

Las cargas son sustancias que se le añaden a la resina para incrementar su masa o viscosidad, reemplazar ingredientes

más costosos, reducir el encogimiento en el molde y mejorar las propiedades de los productos moldeados.

Las cargas pueden ser agrupadas de varias maneras:

1) Según su composición:

- orgánicas
- inorgánicas

2) En términos de su estructura, pueden ser agregadas en forma de:

- hojuelas o placas (mica, vidrio laminar)
- fibras (asbesto, fibra de vidrio)
- redondas o poliédricas (arcilla, tiza)
- células (vidrio espumado)

3) De acuerdo a la forma en que interactúan con la matriz del polímero:

- adherente a la matriz del polímero, ya sea inherentemente o por algún tratamiento especial.
- absorción del polímero
- pueden reaccionar químicamente con el polímero formando enlaces.
- pueden ser catalizadores de la estructura del polímero, causando entrecruzamiento de sus cadenas, esto es notable en el caso del negro de humo.
- pueden ser inertes y no adherentes al polímero

Para fines de diseño, es aconsejable que se utilicen cargas que se adhieran a la matriz del polímero de una manera adecuada, ya que así la resina y la carga actuarán conjuntamente al aplicarse un esfuerzo. La inclusión de cargas no adherentes es un método poco recomendado para cargas plásticas, puesto que, si bien añaden mayor masa y mejora algunas propiedades, la no adherencia hará el material más frágil y débil en esfuerzos de tensión y flexión.

A menudo los refuerzos son confundidos con las cargas. Sin embargo, las cargas son partículas pequeñas y tienen una contribución ligera a la resistencia del plástico. En cambio, los refuerzos son ingredientes fibrosos, largos, que incrementan significativamente la resistencia y la rigidez del plástico.

Uno de los refuerzos más importantes es la Fibra de Vidrio, que se utiliza tanto para termoplásticos como para termofijos. Hay varios tipos de fibra de vidrio:

- Tipo E, tiene buenas propiedades eléctricas y resistencia elevada. Es la más común de todas.
- Tipo C, para dar resistencia química
- Tipo D, provee baja constante dieléctrica
- Tipo L, protege contra la radiación, contiene óxido de plomo.

- Tipo S, para aplicaciones donde se requiera alta resistencia (tiene una resistencia a la tensión mayor que $696,258 \text{ lb/pul}^2$).
- Tipo M, es una fibra de alto módulo de elasticidad.

La preferencia de que ha gozado la fibra de vidrio como material de refuerzo se debe a que tiene las siguientes características:

- a) Alta resistencia a la tensión.
- b) Completamente incombustible.
- c) Biológicamente inerte.
- d) Excelente resistencia al intemperismo y a gran cantidad agentes químicos.
- e) Excelente estabilidad dimensional.
- f) Baja conductividad térmica.

El refuerzo con fibra de vidrio se presenta en las siguientes formas: mecha (roving), colchoneta, petatillo, velo y filamento cortado.

La efectividad de reforzamiento de la fibra dependerá del grado de unión de ésta con la matriz del polímero. El enlace de la fibra y el plástico es vulnerable a reacciones hidrolíticas, que pueden romper las uniones y degradar el compuesto.

Para fines de diseño, es importante el arreglo que le demos a la fibra dentro de la matriz del polímero, como se indica en la Fig. 3.2.

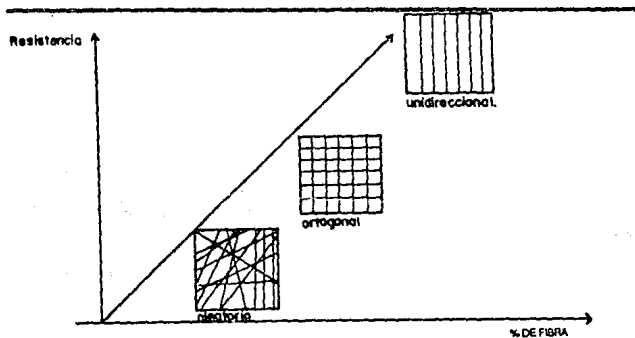


Fig. 3.2. Relación entre el arreglo de la fibra y la resistencia de un plástico. (Ref. 26).

La mayor resistencia en un sentido se consigue orientando la fibra unidireccionalmente.

El contenido de fibra en un plástico puede alcanzar hasta 85% en volumen.

Ahora bien, desde el punto de vista del procesamiento, con los plásticos cargados y reforzados hay que tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- 1) El molde y la máquina estarán sujetos a un desgaste mayor
- 2) La presión de inyección requerida para plásticos reforzados es más elevada que para la resina pura, de 10 a 30% mayor.
- 3) El molde puede ser usado a temperaturas más altas, debido a que las piezas son más rígidas.

La Tabla 3.2 resume algunas de las consideraciones que hasta ahora hemos hecho sobre las cargas y refuerzos.

AUMENTA	CARGAS Y REFUERZOS	DISMINUYE
-módulo de elasticidad		-coeficiente de expansión térmica
-resistencia al escurrimiento		-encogimiento en el molde
-resistencia a la tensión		-resistencia al impacto
-conductividad térmica		
-resistencia a altas temperaturas		
-densidad		

TABLA 3.2. Efecto de las cargas y refuerzos sobre las propiedades de los plásticos.

La Tabla 3.3 presenta las cargas y refuerzos típicos usados, los plásticos en que se recomienda usar éstas y las propiedades que mejoran. (Ref. 7).

Carga o Refuerzos	Propiedades mejoradas											USO RECOMENDADO EN		
	Res. Química	Res. al Calor	Res. Electrica	Res. al Impacto	Res. a Tensión	Estabilidad Dimensional	Rigidez	Dureza	Lubricidad	Conductividad Electrica	Conductividad Termica		Res. a la Humedad	Procesabilidad
Trihidrato de aluminio			■				■					■	■	TP
Polvo de aluminio									■		■			TF
Asbesto	■	■	■	■			■	■						TP/TF
Polvo de bronce.							■	■	■		■			TF
Carbonato de Calcio.		■					■	■				■		TP/TF
Silicato de calcio.	■	■					■	■						TF
Negro de humo		■					■		■	■			■	TP/TF
Fibra de carbón.									■	■				TF
Alfa celulosa - (pulpa maderal)			■		■	■								TF
Carbón en polvo.	■											■		TF
Algodón macerado.			■	■	■	■	■	■						TF
Fibra de vidrio	■	■	■	■	■	■	■	■				■		TP/TF
Grafito	■				■	■	■	■	■	■				TP/TF
Yute				■			■							TF
Caolín	■	■					■	■				■	■	TP/TF
Mica	■	■	■				■	■	■			■		TP/TF
Nylon cortado	■	■	■	■	■	■	■	■	■				■	TP/TF
Rayón cortado			■	■	■	■	■	■						TF
Orlón cortado	■	■	■	■	■	■	■	■						TP/TF
Sílice			■									■	■	TP/TF
Fibras de sisal.	■			■	■	■	■	■				■		TP/TF
Boivo de madera.			■		■	■								TF
Talco	■	■	■				■	■	■			■	■	TP/TF
Celulosa				■	■	■	■	■						TP/TF

TP: Recomendado sólo para termoplástico

NOTA: TF: Recomendado sólo para termofijos

TP/TF: Recomendado para termoplásticos y termofijos

4. CONSIDERACIONES SOBRE LOS MATERIALES PLÁSTICOS.

Lo que determina la calidad de un producto plástico en una aplicación específica es la interrelación apropiada de los siguientes parámetros:

- Características estructurales y formales del producto
- Material plástico que se utilizará
- Proceso de transformación

La selección del plástico a utilizar será el resultado de un proceso de discriminación entre los potenciales plásticos candidatos, según que cumpla con los requerimientos estructurales y formales del producto, además de los medioambientales y las consideraciones para su procesamiento.

Para que el diseñador pueda hacer una selección apropiada del plástico que satisfaga los requerimientos de su diseño, debe conocer las propiedades y características de los plásticos disponibles. En este sentido, a continuación haremos una evaluación comparativa entre las dos grandes familias de plásticos, los termoplásticos y los termofijos; de modo que sirva para el diseñador como un criterio de discriminación preliminar de algunas de las propiedades más relevantes de estas dos familias.

Dicha comparación se hará de acuerdo a tres factores:

- características relacionadas con su eficacia
- características relativas a su comportamiento térmico
- características relativas a costos

EFICACIA	
TERMOPLÁSTICOS	TERMOFIJOS
<ul style="list-style-type: none"> - Los termoplásticos son ablandados por medio de calor y solidificados por enfriamiento. Este proceso es reversible. - Su resistencia química es más limitada que los termofijos. - Son muy susceptibles al calor, lo que se refleja en variaciones dimensionales. 	<ul style="list-style-type: none"> - Los termofijos sufren un cambio químico durante el moldeo; al solidificarse no pueden ser fundidos nuevamente. No son reversibles. - Tienen mayor resistencia química que los termoplásticos. - Su estabilidad dimensional es excelente, superando a los termoplásticos.

EFICACIA	
TERMOPLASTICOS	TERMOFIJOS
<ul style="list-style-type: none"> - Cuando se someten a cargas duraderas, su escurrimiento es notable, lo que implica cambios dimensionales y degradación de su resistencia. El escurrimiento es disminuido usando cargas y refuerzos. - La mayoría son inherentemente tenaces, por lo que son usados en cualquier aplicación en que se necesite este requerimiento. Proveen buena tenacidad a bajo costo. - Pueden ser coloreados en el tono que se desee, y, normalmente, mantienen el color a lo largo de la vida del producto. - El rango de selección de termoplásticos ópticamente claros es bastante amplio. - El encogimiento en el molde de termoplásticos cristalinos y semicristalinos es alto; pero, para los amorfos es bajo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Tienen menor escurrimiento que los termoplásticos. Esto significa mejor estabilidad dimensional y resistencia al deterioro de sus propiedades. - La tenacidad es una propiedad que se consigue en los termofijos a un costo considerable, ya que se precisa del uso de materiales reforzantes, tales como los tejidos de fibra de vidrio. - Sus colores son limitados en variedad, y su estabilidad no es satisfactoria. El producto tiende a descolorarse con el paso del tiempo. - Muy pocos termofijos son ópticamente claros. - El encogimiento de productos moldeados por compresión es bajo; pero para productos moldeados por transferencia e inyección, es intermedio.

COMPORTAMIENTO TERMICO	
TERMOPLASTICOS	TERMOFIJOS
<ul style="list-style-type: none"> - La temperatura de distorsión al calor varía con cada termoplástico e indica el principio del ablandamiento del material. - Su temperatura de uso es relativamente baja, debido a su tendencia de ablandarse con el calor. 	<ul style="list-style-type: none"> - La temperatura de distorsión al calor es considerablemente más alta que la de la mayoría de los termoplásticos, incluyendo los de ingeniería. - El límite de la temperatura de uso puede ser casi el doble que la de la mayoría de los termoplásticos.

COMPORTAMIENTO TERMICO	
TERMOPLASTICOS	TERMOFIJOS
<ul style="list-style-type: none"> - En términos generales, la rigidez empieza a declinar tan pronto como la temperatura se eleva por encima de los 25 °C. - El coeficiente de expansión térmica es alto; lo que puede ocasionar problemas cuando se usan termoplásticos en conjunción con metales. - Los termoplásticos mejoran su resistencia a la flama por medio de aditivos. 	<ul style="list-style-type: none"> - La rigidez se mantiene constante a temperaturas de hasta 120 °C. - El coeficiente de expansión térmica es, aproximadamente, la mitad que el de los termoplásticos. - La resistencia a la flama es una propiedad inherente de los termofijos.

COSTOS	
TERMOPLASTICOS	TERMOFIJOS
<ul style="list-style-type: none"> - Su procesamiento es más fácil y menos costoso que el de los termofijos. - Los moldes para termoplásticos sin cargas y sin refuerzos producen mucho más cantidad de piezas, aún cuando estén contruidos con acero semiendurecido. Además, el peligro de daño por las rebabas es mínimo. 	<ul style="list-style-type: none"> - El costo de procesamiento es más alto que el de los termoplástico. Solo con materiales mejorados y tecnologías de proceso avanzada, se pueden acercar a los termoplásticos en costos de fabricación. - El desgaste del molde es mucho mayor con termofijos. Los moldes para termofijos no sólo requieren ser contruidos con buenos aceros, tratados térmicamente, e inclusive, cromados para resistir el desgaste; sino que también son propensos a dañarse si se deja rebaba accidentalmente en el plano de separación del molde. La rebaba es muy abrasiva.

COSTOS	
TERMOPLASTICOS	TERMOFIJOS
<ul style="list-style-type: none"> - Los desperdicios de termoplásticos en operaciones de moldeo son reutilizables. Esto es una ventaja importante, considerando el incremento continuo en el precio de las resinas. - La mayoría de los termoplásticos son de menor densidad que los termofijos, lo que se traduce en una ventaja valiosa donde se considere el factor peso. - Los termoplásticos, aunque menos pesados que los termofijos, son más costosos por cm^3, ya que por lo general son usados en la forma de 100% de resina pura. - El control eficaz de la temperatura del molde contribuye a acortar los ciclos de producción de termoplásticos, haciéndolos más rápidos que los moldes con termofijos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Hasta hace poco tiempo, los desechos del procesamiento de termofijos eran una pérdida total. Actualmente, se han desarrollado métodos para reusar los desechos como cargas, o como material de relleno en construcción. - Su mayor densidad va en detrimento de su aplicación en productos que requieran poco peso. - En muchos casos el costo por cm^3 es más bajo para los termofijos; ya que el ingrediente más caro, la resina virgen, constituye la mitad del compuesto, mientras que la otra mitad la constituyen cargas de bajo costo. - Los ciclos de moldeo con termofijos pueden ser del 50 a 100% más largos que el de los termoplásticos. Sólo los sistemas con precalentamiento de husillo (en inyección) se pueden comparar favorablemente en tiempo de ciclo con los termoplásticos.

4.1 PLASTICOS DE INGENIERIA.

En las consideraciones anteriores sobre las diferencias más relevantes entre termoplásticos y termofijos se mencionaron en varias ocasiones los plásticos de ingeniería. Estos son materiales que se han desarrollado recientemente, con propiedades mejoradas y aplicables para propósitos estructurales altamente sofisticados. Uno de los objetivos en el desarrollo de estos materiales es la elevación del límite de temperatura de uso hasta los niveles de los metales, esto

es, por encima de los 200 °C. Otro objetivo es variar su comportamiento dieléctrico para satisfacer las demandas más exigentes en la electrónica.

Los plásticos de ingeniería pueden dividirse en dos:

- Plásticos de ingeniería para uso general
- Plásticos de especialidad

La Tabla 4.1 nos muestra los principales plásticos de ingeniería desarrollados hasta la fecha.

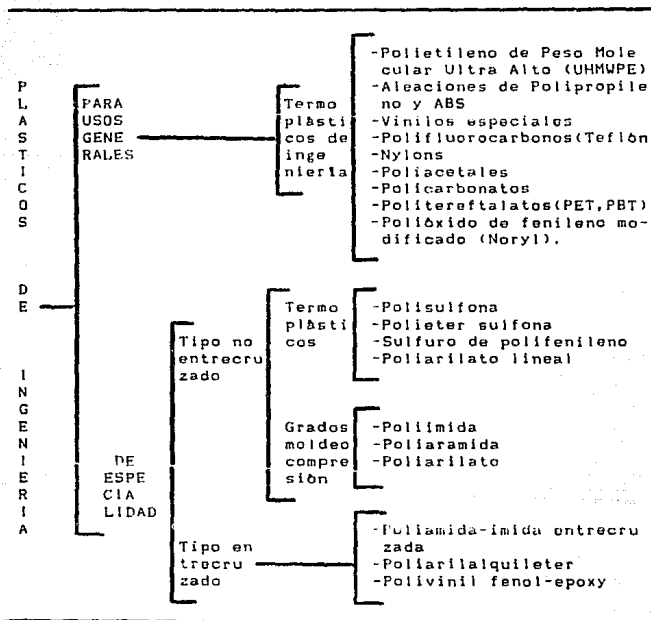


TABLA 4.1. Plásticos de Ingeniería. (Ref. 27).

La Fig. 4.1 presenta el ciclo de vida de los plásticos, tomando en cuenta la etapa de desarrollo en que se encuentran, así como su volumen de consumo.

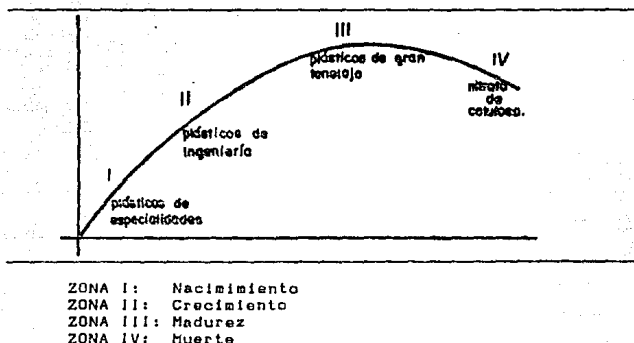


Fig. 4.1. Ciclo de vida de los plásticos.

En la etapa de madurez se encuentran los plásticos de gran tonelaje, o "comodities", como también se les conoce. Estos son los polietilenos de alta y baja densidad, el polipropileno, el PVC y el poliestireno. En la etapa de muerte o decaimiento se encuentra el Nitrato de Celulosa.

Hoy en día se están haciendo investigaciones y desarrollos para mejorar las propiedades de los plásticos "comodities". Uno de los métodos utilizados es la combinación o aleación de dos o más polímeros. El arte de la aleación consiste en unir polímeros no compatibles por medio de la variación de sus estructuras moleculares o por el uso de agentes intermedarios. Ejemplo de estas aleaciones son los Elastómeros Termoplásticos, tales como el Poliuretano termoplástico; así como la aleación de PVC y Estireno-Acrilonitrilo (SAN). Algunas aleaciones cambian un plástico "comodities" a rangos de propiedades similares a los de un plástico de ingeniería, como es el caso del plástico Noryl, registrado por la General Electric, resultado de la unión del Polioxido de fenileno con Poliestireno de alto impacto.

4.2 PROPIEDADES DE LOS PLÁSTICOS: ASPECTOS CUALITATIVOS.-

En esta sección entraremos en detalle sobre las características y propiedades distintivas de las dos familias que hemos venido estudiando hasta ahora. El objetivo es proporcionarle al diseñador algunos criterios de selección del material plástico apropiado para satisfacer los requerimientos específicos de su diseño.

Dichos criterios de selección se basarán en el análisis de los aspectos cualitativos y cuantitativos de los plásticos de mayor uso en la industria. En los aspectos cualitativos, haremos una explicación descriptiva de las particularidades de cada plástico, de acuerdo a la correlación existente entre estructura-propiedades-aplicaciones; considerando, a su vez, el estudio de sus propiedades desde el punto de vista de sus ventajas y limitaciones inherentes. Luego, proporcionaremos la información cuantitativa de estas propiedades.

Hay disponible en el mercado una gran variedad de grados comerciales de un mismo plástico, con propiedades mejoradas según su aplicación. Hacemos este comentario para señalar que el tratamiento que daremos a las propiedades de los plásticos hace énfasis no tanto en el valor numérico de la propiedad, sino en su significado concreto en la funcionalidad del plástico. En este sentido, describiremos la propiedad en particular que se esté tratando, tomando en cuenta su relación con otras propiedades e indicando las consideraciones relevantes para fines de diseño. Con esta información, el diseñador podrá especificar mejor el tipo de plástico que necesita y seleccionar entre los posibles materiales candidatos disponibles comercialmente.

Estudiaremos los 27 plásticos (20 termoplásticos y 7 termofijos) que consideramos son de mayor uso en la industria. La Tabla 4.2 presenta estos plásticos, agrupados según la familia a que pertenecen, así como los nombres abreviados de cada uno.

TIPO	FAMILIA	NOMBRE GENERICO DEL PO LINERO	ABREVI ATURA	
TER MO PLAS TI COS	Poliiolefinas	Poliétileno Alta Densidad	PEAD	
		Poliétileno Baja Densidad	PEBD	
	Estirénicos	Polipropileno	PP	
		Poliestireno	PS	
		Estireno-Acrilonitrilo	SAN	
		Estireno-Butadieno Acrilonitrilo-Butadieno- Estireno	SB ABS	
	Vinilicos	Policloruro de Vinilo	PVC	
	Acrilicos	Polimetacrilato de metilo	PMMA	
	Poliamida	Poliamida 66 (Nylon)	PA	
	Fluoroplástico	Politetrafluoretileno (Te flon)	PTFE	
	TER MO FIJOS	Acetálicas	Polióxido de Metileno	POM
		Celulósicos	Acetato de Celulosa	AC
		Poliésteres lineales	Policarbonato	PC
Poliétilen Tereftalato			PET	
saturados		Polibutilén Tereftalato	PBT	
Poliifenilénos		Polióxido de Fenileno Mo dificado (Noryl)	PPO	
Sulfonas		Polisulfonas	PSU	
Poliuretanos		Poliuretano Termoplástico	TPU	
TER MO FIJOS	Aminas	Urea Formaldehído	UF	
		Melamina Formaldehído	MF	
	Epóxica	Resina Epóxica	EP	
	Fenólicas	Fenol Formaldehído (Bake lita)	PF	
	Poliéster in saturado	Resina Poliéster Temofija	UP	
	Poliuretanos	Poliuretano Termofijo	PUR	
Silicones	Hule Silicon	SI		

TABLA 4.2. Familias de termoplásticos y termofijos.

A continuación presentaremos las características cualitativas de cada plástico.

4.2.1 ACRILONITRILLO-BUTADIENO-ESTIRENO (ABS).

ESTRUCTURA

Es un material amorfo. Se deriva de la copolimerización de los monómeros de Acrilonitrilo y Estireno en presencia de Hule Butadieno. Cada monómero contribuye en las propiedades del material resultante, ABS. El Acrilonitrilo le da resistencia química y al calor; el Butadieno le proporciona la capacidad de retener sus propiedades a bajas temperaturas, además de darle resistencia al impacto y tenacidad; finalmente, el Estireno le añade rigidez, brillo y facilidad de procesamiento. Por lo tanto, el ABS es un termoplástico que ofrece un buen balance de propiedades.

VENTAJA	PROPIEDADES	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> -Alta resistencia al impacto con tenacidad y rigidez. -Buena resistencia a la abrasión. -Buena estabilidad dimensional. -Buenas propiedades eléctricas. -Buena resistencia a soluciones salinas, Alcalis y agua. -Excelente adhesión para recubrimientos metálicos (Platajeabilidad). -Alto brillo superficial. -Peso ligero. -Buena resistencia al calor -Coloreabilidad. -Fácil de procesar por los métodos convencionales para termoplásticos (inyección, extrusión, soplado, etc.). 		<ul style="list-style-type: none"> -La resina es higroscópica, por lo que se recomienda pintarla antes del moldeo. -Baja resistencia a solventes. Propensa a ser atacada por materiales orgánicos de baja peso molecular. -Baja resistencia dieléctrica.

APLICACIONES

- Carcasas para equipos eléctricos y electrónicos, tales como computadores, teléfonos, equipo fotográfico, licuadoras.
- Tuberías y accesorios.
- Partes automotrices (perillas, tablero de instrumentos, etc.).
- Partes para refrigeración, como contrapuestas y chinos.

4.2.2 ACETAL (PMH).-

ESTRUCTURA

La Resina Acetálica o Polioximetileno es un termoplástico altamente cristalino. Puede ser homopolímero o copolímero. El Acetal homopolímero se obtiene de la polimerización del formaldehído; el copolímero, mediante la modificación de la reacción de polimerización del formaldehído con hidrocarburos estables -C-C- como comonomero. Debido al grado de cristalización de su estructura, el polímero es considerado el más fuerte y rígido de los termoplásticos sin reforzar.

VENTAJAS	PROPIEDADES	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> -Excelente resistencia a la abrasión. -Bajo coeficiente de fricción -Autolubrificante. -Excelente resistencia al escurrimiento y a la fatiga -Excelente estabilidad dimensional. -Baja absorción de humedad. -Buenas propiedades dieléctricas. -Baja permeabilidad a vapores y gases. -Procesable por inyección, extrusión, soplado y rotomoldeo. -Bajo factor de disipación de calor. 		<ul style="list-style-type: none"> -Mala resistencia a ácidos fuertes (pH < 4) y agentes oxidantes. Para la resistencia a álcalis se necesitan pruebas especiales; no obstante, es mayor en el copolímero que en el homopolímero. -Es atacado por las radiaciones ultravioletas. -Inapropiado para el contacto con alimentos. -Tóxico, desprende vapores al acercarse a la degradación.

APLICACIONES

- Piezas mecánicas de precisión, como engranes, levas, etc.
- Cremalleras para topas.
- Artículos de plomerías (válvulas, regaderas, grifos, piezas para bombas de agua, etc.).
- Utensilios deportivos.
- Pieza para videocassetes
- Piezas para relojes de pulsera.

4.2.3 ACETATO DE CELULOSA (AC).-

ESTRUCTURA

El Acetato de Celulosa es un termoplástico natural, derivado de la esterificación de la celulosa, un compuesto orgánico que se encuentra en la madera y en el algodón.

VENTAJAS	PROPIEDADES	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> -Controlando el proceso de esterificación y variando la cantidad de plastificante, pueden obtenerse grados de AC fuertes, tenaces, transparentes, con ilimitadas posibilidades de coloración. -No es atacado por aceite minerales, grasas e hidrocarburos alifáticos. -Es antiestático (no atrae polvo). -Dependiendo del tipo de plastificante, puede ser utilizado para empaçar alimentos. -Presenta buenas propiedades eléctricas. -Puede ser procesado por inyección, extrusión, soplado, termoformado y rotomoldeo. 	<ul style="list-style-type: none"> -Inflamable; aunque esto depende del tipo de plastificante. -Se degrada con la intemperie. -Es atacado por ácidos fuertes, Alcalis, alcoholes, e hidrocarburos aromáticos y clorados. -Alta absorción de agua 	

APLICACIONES

- Peines y betones.
- Armazones para lentes.
- Barriles para lapiceros.
- Mangos para herramientas.
- En película, para empaques de frutas y vegetales.

4.2.4 ACRILICO (PMMA).-

ESTRUCTURA

Entre los Acrilatos, el más común es el Polimetilmetacrilato, conocido como Acrílico. Es un termoplástico amorfo, obtenido por la polimerización ésteres acrílicos, como el monómero Metilmetacrilato (MMA).

PROPIEDADES

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> -Excelente cualidades ópticas (la más alta claridad). -Excelente resistencia a la intemperie y a los rayos ultravioletas. -Muy rígido, con tenacidad regular. -Brillante y suave al tacto. -Tiene buena resistencia química a ácidos de concentraciones moderadas, Alcalis, grasas, nafta, diesel y otros aceites minerales. -Es fisiológicamente inerte, por lo que puede ser usado en contacto con alimentos. -Disponible en un amplio surtido de colores. -Excelentes propiedades eléctricas. -Excelente estabilidad dimensional y bajo encogimiento en el molde. 	<ul style="list-style-type: none"> -Poco flexible. -Es atacado por hidrocarburos aromáticos y clorados. -La resina es combustible. -Baja resistencia al impacto -IZOD. Esto puede mejorarse combinándolo con hule, aumentando la resistencia al impacto hasta 20 veces su valor. -Debe evitarse la exposición a ésteres y cetonas. -No debe ser sometido a cargas continuas mayores de 1000 Lb/pul², de lo contrario se producirá agrietamiento en su superficie.

APLICACIONES

- Señalizaciones y letreros
- Difusores de luz
- Domas y ventanas
- Lentes, incluyendo los de contacto.
- Partes automotrices (calaveras, paneles de instrumentos, etc.).
- Adhesivos y pinturas.
- Fibras ópticas
- Dispositivos médicos.

4.2.5 POLITETRAFLUORETILENO (PTFE).-

ESTRUCTURA

El politetrafluoretileno es un termoplástico de estructura lineal altamente cristalino. El monómero que se polimeriza está constituido de Carbono y Fluor solamente. Comúnmente se le conoce como Teflón, el cual es una marca registrada de la empresa norteamericana DuPont.

VENTAJAS	PROPIEDADES	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> -Tiene el más amplio rango de temperatura de uso de todos los plásticos (-200 °C a +260 °C). -No es inflamable. -Resistencia a la corrosión única. -Posee la mejor resistencia química a ácido, bases, soluciones salinas, agentes oxidantes y solventes. -Tiene el más bajo coeficiente de fricción (antiadherente). -Excelente resistencia a la intemperie; no absorbe nada de agua. -Es autolubrificante. -Fisiológicamente inerte. -Baja constante dieléctrica. -Buen factor de disipación. -Alta resistividad eléctrica 		<ul style="list-style-type: none"> -Requiere de altas temperaturas para su procesamiento, (por encima de los 300 °C), por lo que no es procesable por los métodos convencionales para termoplásticos. Sólo se puede moldear por compresión y sinterizado. -Es muy denso. -Muy costoso. -Tóxico en la descomposición térmica, alrededor de los 350 °C -Propenso a escurrimiento.

APLICACIONES

- Recubrimientos antiadherentes en sartenes.
- Aislamiento de cables eléctricos.
- Laminados para circuitos impresos.
- Cojinetes.
- Arandelas selladoras.
- Revestimiento de recipientes para procesos químicos
- Cintas selladoras para roscas de tuberías.
- Válvulas criogénicas (para temperaturas bajas extremas)

4.2.6 POLIAMIDAS (PA, Nylons).-

ESTRUCTURA

Las Poliamidas son termoplásticos lineales y cristalinos. Un grupo de Poliamidas se obtiene de la polimerización de una diamina y un diácido, resultando los Nylons 66, 610, 612. Estos se designan con el número de átomos de Carbono de la diamina, seguido por los del diácido. Otro grupo de Poliamidas se deriva de la Caprolactama, un aminoácido, resultando los Nylons 6, 11 y 12. De todos éstos, los más usados son el Nylon 6 y el Nylon 66.

VENTAJAS	PROPIEDADES	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> -Excelente tenacidad y resistencia al impacto. -Alta resistencia mecánica. -Bajo coeficiente de fricción -Autolubrificante -Excelente resistencia a la abrasión. -Alta resistencia térmica. -Buena resistencia a la fatiga. -Buenas propiedades eléctricas. -Buena resistencia al escurrimiento. -Fisiológicamente inertes, y no es atacado por hongos o bacterias. -Procesable por todos los métodos para termoplásticos, excepto el Calandrado. 		<ul style="list-style-type: none"> -Alta absorción de humedad (higroscópico), con relativa inestabilidad dimensional. -Propiedades eléctricas y mecánicas influenciadas por el contenido de humedad. -Requiere estabilizadores ultravioletas para usos a la intemperie. -Alto encogimiento en el molde -Mala resistencia a ácidos y a agentes oxidantes. -Alto costo.

APLICACIONES

- Partes automotrices (aspas del ventilador, conectores de alambres, etc.).
- Engranajes, cojinetes, levas, tuercas.
- Piezas para interruptores y relevadores eléctricos
- Cremalleras de ropa y peines.
- Empaques quirúrgicos.
- Cordelas y fibras.
- Válvulas
- Artículos deportivos.

4.2.7 POLICARBONATO (PC).-

ESTRUCTURA

El Policarbonato es un termoplástico de estructura amorfa y de alto peso molecular. Es un tipo especial de Poliéster en el cual grupos de fenoles dihidricos (con dos grupos OH) están eslabonados con grupos de Carbono.

VENTAJAS	PROPIEDADES	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> -Alta tenacidad y resistencia al impacto. -Excelente resistencia al escurrimiento. -Buena resistencia química al agua y soluciones salinas. -Buena resistencia a la abrasión. -Buena rigidez -Transparencia -Colorabilidad -Amplio rango de temperatura de uso. -Buena estabilidad dimensional. -Buenas propiedades eléctricas. -Resistente al fuego. -Apropiado para el uso en contacto con alimentos. -Buena dureza. -Procesable por todos los métodos para termoplásticos 		<ul style="list-style-type: none"> -Requiere de altas temperaturas para su procesamiento. -Mala resistencia a álcalis, ácidos y agentes oxidantes. -Requiere de estabilizadores ultravioleta para usos a la intemperie. -Propenso a ser cuarteado por solventes. -Mala resistencia a hidrocarburos aromáticos.

APLICACIONES

- Partes automotrices (caravetas, componentes eléctricos)
- Carcasas de herramientas manuales.
- Engranajes
- Agarraderas de utensilios domésticos.
- Vasos para licuadoras
- Botellas
- Equipos médicos
- Ventanillas de protección antibalas.
- Casco de seguridad.
- Discos compactos ("compact disk").

4.2.B POLIESTER TERMOPLASTICO (PET Y PBT).-

ESTRUCTURA

El Polietilentereftalato, PET, y el Polibutilentereftalato, PBT, son poliésteres termoplásticos de la misma familia del Policarbonato. Se obtienen por la reacción de poliesterificación entre el glicol y un diácido. También reciben el nombre de Poliésteres Saturados. El PBT es de estructura cristalina, el PET es muy amorfo, aunque puede cristalizarse.

VENTAJAS	PROPIEDADES	DESVENTAJAS
<p>PBT</p> <ul style="list-style-type: none"> -Buena resistencia mecánica y excelente tenacidad. -Buena estabilidad dimensional. -Buena resistencia a químicos -Bajo coeficiente de fricción -Buenas propiedades eléctricas. <p>PET</p> <ul style="list-style-type: none"> -Excelente transparencia. -Alto brillo superficial. -Excelentes cualidades de barrera a gases. -Pureza -Alta resistencia al impacto -Muy ligero -Puede ser usado en contacto con alimentos. -No le afectan los rayos ultravioletas. 		<p>PBT</p> <ul style="list-style-type: none"> -Dificultad de moldeo -Mala estabilidad hidrolítica a temperaturas sobre los 36 °C. <p>PET</p> <ul style="list-style-type: none"> -Necesita ser biorientado para optimizar sus propiedades. -Baja resistencia térmica.

APLICACIONES

- PBT
- Tubos, varillas, fibras, paneles.
 - Engranajes, cojinetes, levas.
 - Carcazas de componentes eléctricos.
- PET
- Sustituye al vidrio en muchos envases: botellas para bebidas carbonatadas, botellas para vinos, frascos para medicamentos, etc.
 - Empaque de alimentos
 - Fibras

4.2.9 POLIETILENO DE ALTA Y BAJA DENSIDAD, (PEAD Y PEBD).-

ESTRUCTURA

El Polietileno es un miembro de la familia de las poliolefinas. Se obtiene a partir de la polimerización del Etileno. Este proceso puede hacerse de dos maneras:

- 1) Proceso de Alta Presión, del cual se obtiene un polímero de estructura molecular ramificada, conocido como Polietileno de Baja Densidad, PEBD.
- 2) Proceso de Baja Presión, que produce un polímero de estructura molecular lineal, conocido como Polietileno de Alta Densidad, PEAD.

El rango de densidades es de 0.91 g/cm^3 a 0.97 g/cm^3 . La densidad depende del grado de ramificación del polímero; menos ramificaciones implican un mejor empaquetamiento molecular y alta cristalinidad. Por lo tanto, el PEAD es 90% cristalino y el PEBD, 50%. Esta diferencia en cristalinidad determina que el PEAD sea más rígido, más resistente y de mayor temperatura de ablandamiento que el PEBD.

VENTAJAS	PROPIEDADES	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> -Con el aumento de la densidad y la cristalinidad, se incrementa la rigidez, la resistencia, dureza, resistencia química, resistencia al calor y al escurecimiento, propiedades de barrera, brillo superficial y opacidad. -Bajo costo. -Permeabilidad al vapor de agua mínima. -Es fisiológicamente inerte, inodoro e insípido. Puede ser usado en contacto con alimentos. -Excelente propiedades dieléctricas. -Resiste el agua hirviendo. -Por debajo de los 60°C, es insoluble en todos los solventes orgánicos. Resiste soluciones salinas, ácidos y bases. -Retiene su flexibilidad a bajas temperaturas. -Puede ser formulado en varios grados: flexible, duro, tenaz, rígido, etc. -Coloreabilidad. -Puede procesarse por todos los métodos para termoplásticos. 		<ul style="list-style-type: none"> -Con el aumento de la densidad y la cristalinidad, se reduce la resistencia al impacto, la permeabilidad a líquidos y gases, la flexibilidad, transparencia, y la procesabilidad -Alta expansión térmica. -Inflamable. -Mala resistencia a la intemperie. -Es difícil moldear piezas con tolerancias estrechas. -Es atacado por agentes oxidantes fuertes, como los gases de ácido sulfúrico, ácido nítrico concentrado, halógenos. -Se hincha en contacto con hidrocarburos aromáticos y clorados; a menor densidad, mayor hinchamiento. -Difícil de unir. -Difícil de imprimir. -Baja resistencia a la tensión.

APLICACIONES

- Películas para empaques (bolsas).
- Contenedores soplados para todo uso.
- Aislamiento de cables eléctricos.
- Tuberías y perfiles.
- Juguetes.
- Artículos del hogar (vajillas, envases en general).
- Todo tipo de cuerpos huecos soplados de gran capacidad.
- Artículos deportivos.
- Partes automotrices (tanque de gasolina, manijas, etc.).
- Equipos médicos.
- En la agricultura: acolchados de tierra, invernaderos.

4.2.10 POLIPROPILENO (PP).-

ESTRUCTURA

El Polipropileno es un termoplástico de estructura molecular cristalina. Se obtiene de la polimerización del Propileno, un derivado del petróleo. Pertenece a la familia de las Policetinas.

VENTAJAS	PROPIEDADES	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> -Poco peso. -Bajo coeficiente de fricción -Buena resistencia a la fatiga en flexión. -Excelente resistencia a la humedad. -Puede formularse en un buen número de grados. -Resiste soluciones salinas, ácidos y bases. -Retiene sus propiedades mecánicas en el agua hirviendo. Puede ser esterilizado. -Fisiológicamente inerte. Fue de ser usado en contacto con alimentos y con la sangre. -Hay grados transparentes. -Buena resistencia al impacto -Excelentes propiedades dieléctricas. -Buena rigidez. -Excelente resistencia a la abrasión. -Procesable por todos los métodos para termoplásticos. -Coloreabilidad. 		<ul style="list-style-type: none"> -Mala resistencia a la intemperie. -Quebradizo a temperaturas por debajo de los 0 °C. -Inflamable (hay formulaciones resistentes a la llama). -Se rompe por la acción de los rayos ultravioletas. -Es atacado por hidrocarburos aromáticos y clorados. -Es propenso a oxidarse a elevadas temperaturas.

APLICACIONES

- Carcasas de aparatos electrodomésticos.
- Juguetes.
- Artículos del hogar.
- Envases esterilizables.
- Jeringas.
- Instrumentos de laboratorios químicos.
- Cañas con bisagras integrales.
- Películas flexibles para empaque de alimentos.
- Partes automotrices
- Fibras y monofilamentos (Rafia).
- Instrumentos quirúrgicos.
- Bolsas
- Caja de acumuladores.

4.2.11 POLIESTIRENO (PS).-

ESTRUCTURA

El poliestireno es un termoplástico de estructura molecular amorfa y semilinear. Se obtiene por la polimerización del Estireno.

VENTAJAS	PROPIEDADES	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> - Disponible en tres grados: homopolímero (cristal), copolímero (alto impacto), espumado. - Claridad óptica (PS Cristal) - Peso ligero. - Muy brillante. - Excelente propiedades eléctricas. - Bajo costo. - Buena rigidez. - Resiste soluciones salinas, licores alcalinos, Ácidos no oxidantes, ésteres, éteres y cetonas. - Excelente resistencia a la humedad. - Procesable por todos los métodos para termoplásticos. - Puede usarse en contacto con alimentos. 		<ul style="list-style-type: none"> - El PS homopolímero es muy quebradizo. - Inflamable (Hay formulaciones retardantes a la flama). - Mala resistencia a la intemperie. Es atacado por los rayos ultravioletas solares. - Mala resistencia a solventes (hidrocarburos alifáticos y aromáticos). - Es atacado por aceites vegetales volátiles, y por la nafta. - Mala estabilidad térmica.

APLICACIONES

- Envases y empaques para alimentos.
- Platos y vasos desechables.
- Recipientes para medicamentos.
- Componentes para refrigeración.
- Paneles aislantes para climatización de espacios.
- Muebles.
- Carcaza de aparatos eléctricos.
- Contenedores de uso general.

4.2.12 ESTIRENO-ACRILONITRILLO (SAN).-

ESTRUCTURA

El Estireno-acrilonitrilo, o SAN como normalmente se le conoce, resulta de la copolimerización entre el Estireno, como monómero principal, y el Acrilonitrilo, como monómero secundario (20 a 30%).

VENTAJAS	PROPIEDADES	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> -Mayor rigidez y resistencia al impacto que el Poliestireno. -Buena resistencia al escurrimiento. -Tiene mayor resistencia a la temperatura que el Poliestireno. -Resiste ácidos no oxidantes, hidrocarburos alifáticos, aceites vegetales, alimentos, y detergentes. -Es claro y brillante. -Procesable por todos los métodos para termoplásticos. 		<ul style="list-style-type: none"> -Mayor absorción de agua que el Poliestireno. -Mala resistencia a solventes. Es atacado por hidrocarburos aromáticos y clorados, ésteres y cetonas. -Se pone amarillento al calentarse.

APLICACIONES

- Componentes para refrigeradores.
- Partes automóticas.
- Componentes electrónicos.
- Embalaje decorativos.
- Embalaje de alimentos.
- Lentes
- Envases
- Partes de teléfonos.
- Partes de electrodomésticos (recipiente para moladoras de alimentos).

4.2.13 ESTIRENO-BUTADIENO (SB).-

ESTRUCTURA

Es un copolímero de Estireno, como monómero principal, y Butadieno, como comonómero. El Butadieno proporciona una mejor resistencia al impacto. El copolímero SB más conocido es la Resina K, una marca registrada de la Phillips Chemical Co., por lo que en lo adelante nos referiremos a ésta directamente.

PROPIEDADES

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> -Excelente balance entre claridad óptica y resistencia al impacto. -Aprobado por la Food and Drug Administration (FDA), para su uso en contacto con alimentos. -Puede usarse para aplicaciones médicas. -Coloreabilidad. -Procesable por todos los métodos para termoplásticos. -Se puede mezclar con resinas caras para disminuir costos y mejorar su procesabilidad; además, puede alearse con resinas baratas para mejorar sus propiedades y acabados: PS, PP, PVC, ABS, PEAD, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> -Es atacado por solventes orgánicos, tales como hidrocarburos, alcoholes, ésteres y éteres. -Las grasas y aceites insaturados aceleran las roturas por esfuerzos.

APLICACIONES

- Empaques tipo burbuja "blister pack's".
- Envases para alimentos.
- Equipo médico.
- Juguetes.
- Botellas y tanques.

4.2.14 POLICLORURO DE VINILO (PVC).-

ESTRUCTURA

El Policloruro de Vinilo, PVC, es un termoplástico de la familia de los Vinilos. Es un homopolímero que se obtiene a partir de la polimerización del Cloruro de Vinilo. Dicha polimerización se hace de tres maneras, dependiendo del tamaño de partícula que quiera obtenerse: por emulsión (E), suspensión (S), y en masa (M). También se obtienen copolímeros por los procesos de polimerización E y S. El PVC por sí mismo no tiene aplicación práctica; pero puede mezclarse con una gran variedad de aditivos que le confieren las propiedades necesarias para un sinnúmero de aplicaciones; convirtiéndolo en el más versátil de los plásticos hoy en día. Se distinguen dos tipos principales de PVC: PVC rígido y PVC flexible.

VENTAJAS	PROPIEDADES	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> -Rango amplio de formulaciones, desde muy flexibles hasta rígidos, dependiendo de la cantidad de plastificante y de otros aditivos añadidos. -Fisiológicamente inerte. Apropiado para el contacto con alimentos. -No inflamable. -Resiste soluciones salinas, soluciones alcalinas diluidas o concentradas, ácido sulfúrico, ácidos mezclados, ácido nítrico concentrado, alcoholes, hidrocarburos alifáticos, aceites y grasas. -Mientras mayor es su Peso Molecular, mejores son las propiedades mecánicas y eléctricas del producto. -Buena estabilidad dimensional por debajo de los 60 °C. -Bajo Costo. -Coloreabilidad. -Procesable por todos los métodos para termoplástico, especialmente para Calandrado 		<ul style="list-style-type: none"> -Capacidad térmica limitada. No se recomienda su uso a temperaturas por encima de los 60 °C. -Es atacado por halógenos líquidos, ésteres, cetonas, hidrocarburos aromáticos y clorados. -Es disuelto por la Ciclohexanona y el Tetrahydrofurano. -Tóxico en su descomposición térmica, desprende ácido clorhídrico. -Está entre los plásticos más pesados. -Mientras mayor es su Peso Molecular (PVC rígido), menor es su procesabilidad.

APLICACIONES

- Mangueras
- Tuberías para cables eléctricos, drenajes, agua, plomería en general.
- Fertiles
- Planchas y películas.
- Emulsiones para Plastisoles y Organosoles, muy utilizados en la industria juguetera.
- Cuerpos huecos de cualquier tamaño (botellas, tanques, etc.)
- Equipos médicos
- Recubrimientos
- Suelas de zapatos tenis e industria del calzado en general.
- Artículos del hogar (platos, vasos, etc.)
- Muebles.
- Instrumentos de laboratorios
- Artículos deportivos
- Industria de la construcción.

4.2.15 POLIURETANO TERMOPLASTICO (TPU).-

ESTRUCTURA

El Poliuretano Termoplástico es un polímero de estructura lineal. Se obtiene de la reacción de un Polioliol y un Diisocianato lineal. Pertenecen a la familia de los Elastómeros Termoplásticos.

VENTAJAS	PROPIEDADES	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> -Excelente resistencia a la abrasión y al desgaste. -Bajo escurrimiento. -Elevada resistencia a la fatiga por flexión. -Excelente tenacidad y resistencia al impacto. -Resistencia a bajas temperaturas, conservando flexibilidad. -Elevado alargamiento -Excelente capacidad de amortiguación. -Resistente a aceites, grasas, hidrocarburos alifáticos, ozono. -Fisiológicamente inerte. Puede usarse en contacto con la sangre. -Procesable por los métodos para termoplásticos. 		<ul style="list-style-type: none"> -La resina necesita presecarse antes de procesarla. -Su temperatura óptima para exposiciones prolongadas es de 90 °C. -Susceptible a ser descompuesto por ácidos y bases, inclusive por agua caliente (hay grados más resistente a la hidrólisis).

APLICACIONES

- Recubrimiento de los escalones de escaleras eléctricas.
- Llantas y ruedas.
- Fertiles.
- Partes automotrices
- Engranajes y cojinetes.
- Suelas de zapatos deportivos.
- Revestimiento de cables.
- Accesorios para esquiar sobre hielo.
- Botas para la nieve.
- Arandelas selladoras.
- Equipo médico (catéters).

4.2.16 POLISULFONA (PSU).-

ESTRUCTURA

La polisulfona es un termoplástico perteneciente a la familia de las Sulfonas. La estructura del monómero repetitivo en la polimerización consiste en anillos de benceno unidos a un grupo sulfona (SO_2), un grupo isopropilideno ($\text{CH}_2\text{CH}_2\text{C}$) y un eter (O).

PROPIEDADES

VENTAJAS

- Buena estabilidad térmica.
- Excelente resistencia al escurrimiento a altas temperaturas.
- Transparente.
- Tenaz y rígido.
- Excelente propiedades eléctricas.
- Baja absorción de agua. Resistente a la hidrólisis.
- Bajo coeficiente de expansión térmica.
- Bajo encogimiento en el molde.
- Resiste soluciones salinas, detergentes, aceites, alcoholes, ácidos y bases débiles.
- Puede ser plateado.
- Buena resistencia a la abrasión.
- Procesable por los métodos comunes para termoplásticos.

DESVENTAJAS

- Es atacado por cetonas, ésteres e hidrocarburos aromáticos y clorados.
- Mala resistencia a la intemperie.
- Requiere de altas temperaturas para su procesamiento.

APLICACIONES

- Instrumentación médica esterilizable.
- Partes automotrices.
- Pipas para agua caliente.
- Cajas para baterías alcalinas.
- Carcazas para electrodomésticos.
- Lentes.

4.2.17 POLIÓXIDO DE FENILENO MODIFICADO (PPO, Noryl).

ESTRUCTURA

El Polióxido de Fenileno es producido por un proceso patentado, basado en la oxidación catalítica de un monómero fenólico. En 1966, la General Electric produjo el Polióxido de Fenileno Modificado, obtenido por la unión física del Polióxido de Fenileno y del Poliestireno de Alto Impacto, conocido con la nombre de fábrica Noryl; el cual es considerado por sus propiedades como un termoplástico de ingeniería.

VENTAJAS	PROPIEDADES	DESVENTAJA
<ul style="list-style-type: none"> -Buena resistencia al impacto y a la fatiga. -Puede ser metalizado. -Resistente a las radiaciones (Beta y Gamma). -Estable térmica y oxidativamente. -Excelente estabilidad dimensional. -Resistencia al escurecimiento -Alto módulo de elasticidad. -Buenas propiedades mecánicas en un amplio rango de temperaturas. -Baja absorción de agua, buena estabilidad hidrolítica. -Buenas propiedades eléctricas. -Bajo encogimiento en el molde. -Fisiológicamente inerte (aprobado por la FDA). -Buena resistencia a ácidos, álcalis y detergentes. -Hay grados autoextinguibles al fuego. -Procesable por todos los métodos para termoplásticos. 		<ul style="list-style-type: none"> -Es atacado por hidrocarburos clorados. -Alto costo.

APLICACIONES

- Utensilios médicos esterilizables por vapor.
- Piezas para bombas de agua.
- Carcasas para equipos de oficina.
- Equipo eléctrico y electrónico.
- Engranajes.

4.2.18 UREA FORMALDEHIDO Y MELAMINA FORMALDEHIDO (UF, MF).-

La Urea Formaldehido y la Melamina Formaldehido son termofijos pertenecientes a la familia de los Aminoplásticos, obtenidos a partir de la polimerización por condensación del Formaldehido con compuestos que contengan el grupo Amino. Estas resinas están disponibles comercialmente como prepolímeros en compuesto de moldeo granular, el cual, al ser sometido a calor durante el moldeo, completará la reacción de polimerización; resultando un polímero altamente entrecruzado.

VENTAJAS	PROPIEDADES	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> -Buena dureza y resistencia al rasgado. -Autoextinguible -Amplio rango de coloraciones -Buena resistencia a solventes orgánicos, grasas. -Son inodoros e insípidos. -Buena resistencia al calor. Alta temperatura de distorsión térmica. -Excelente resistencia al arco eléctrico. -Buena rigidez. -Resistentes al escurrimiento -Excelente brillo y apariencia superficial. -La MF supera a la UF en los siguientes aspectos: dureza, resistencia al agua, resistencia química y al calor, disponibilidad con una variedad de cargas. -Bajo costo. La MF es más costosa que la UF. -Pueden moldearse por proceso de compresión y transferencia. Algunos grados pueden moldearse por inyección. 	<ul style="list-style-type: none"> -Para obtener buenos moldes, las resinas deben ser cargadas. La carga que más se usa es Alta-celulosa purificada. -Son atacados por ácidos y bases fuertes. -Encogimiento posmoldeo, lo que implica una mala estabilidad dimensional. Esto puede mejorarse con cargas apropiadas. -En su forma pura son solubles en soluciones calientes de agua y metanol. -Baja resistencia al impacto. 	

APLICACIONES

- UF
- Aplicaciones eléctricas y electrónicas donde se necesite buena resistencia a arcos eléctricos.
 - Tapas de botellas.
 - Agarraderas y manubrios.
 - Adhesivos para maderas contraplacadas (triplay, plywood).
 - Recubrimientos.

- MF
- Vaillitas de cocina.
 - Papel decorativo para productos laminados (Formica).
 - Adhesivos para aglomerados de madera.
 - Lacas
 - Materiales a prueba de agua para la industria textil y papelería.
 - Aplicaciones eléctricas y electrónicas.

4.2.19 RESINA EPOXICA (EP).-

ESTRUCTURA

La Resina Epóxica es un termorijido obtenido por la polimerización de un Polihidroxifenol (Bisfenol A) y un radical Epoxi-halogenado (Epiclorhidrina). La resina es curada añadiendo catalizadores o endurecedores. Los endurecedores más utilizados son del tipo aminico.

VENTAJAS	PROPIEDADES	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> -Excelentes características adhesivas. -Buena resistencia a la fatiga -La resina epoxica reforzada es muy fuerte. Tiene buena estabilidad dimensional y resiste temperaturas de hasta 315 °C. -Excelente propiedades eléctricas. -Excelente resistencia química. No es atacado por ácidos, bases y solventes. -Es autoextinguible. -Buena tenacidad. -Puede ser espumada. -Se puede procesar por moldeo por compresión, transferencia e inyección. 		<ul style="list-style-type: none"> -Para obtener propiedades adecuadas, debe curarse con agentes de entrecruzamiento; lo que ocasiona que muchos grados sean costosos.

APLICACIONES

- Adhesivos para la unión de materiales diversos.
- Encapsulado aislante de componentes eléctricos: bobinas, interruptores, pequeños transformadores, motores, etc.
- Tableros de circuitos impresos (laminados epoxi-vidrio).
- Vaciados especiales para reproducción de prototipos.
- Tanques y tuberías.

4.2.20 RESINA FENOLICA (PF).-

ESTRUCTURA

La Resina Fenólica es un termorijido obtenido por la polimerización por condensación de Fenol y Formaldehído. Comercialmente se le conoce como BAKELITA.

VENTAJAS	PROPIEDADES	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> -Buena resistencia al calor -Bajo costo -Excelente propiedades eléctricas. -Buena estabilidad dimensional. -Buena rigidez y resistencia al escurrimiento. -Resistencia al fuego (autoextinguible). -Buena resistencia a solventes. -Los grados reforzados destacan por sus propiedades mejoradas. -Se procesa por compresión y transferencia. 		<ul style="list-style-type: none"> -Necesita cargas para su moldeo. -Mala resistencia a ácidos y bases oxidantes. -Coloreabilidad limitada. Disponibilidad sólo en los colores negro y marrón oscuro. -Durante el curado se liberan gases volátiles.

APLICACIONES

- Piezas eléctricas: interruptores, relevadores, conectores, etc.
- Partes automotrices: válvulas, piezas de transmisiones, etc
- Agarraderas para utensilios domésticos.
- Recubrimientos.
- Sustratos de circuitos eléctricos
- Adhesivos para madera.
- Bolas de billar.

4.2.21 RESINA POLIESTER TERMOFIJA (UP).-

ESTRUCTURA

La Resina Foliester termofija se deriva de la polimerización de ácidos dibásicos con alcoholes polifuncionales. La resina líquida incolora resultante se usa generalmente con refuerzos de fibra de vidrio y cargas. También se le conoce como Foliester Insaturado ("Unsaturated Polyester, UP"). La Resina Poliester se suministra en forma de una mezcla de la resina y monómero líquido (usualmente estireno). La adición de un catalizador causa el entrecruzamiento.

VENTAJAS	PROPIEDADES	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> -Dependiendo del tipo de carga y refuerzo utilizado puede obtenerse un amplio rango de propiedades, tales como: resistencia a la flama, rigidez, resistencia a la corrosión y buenas propiedades mecánicas, eléctricas y químicas. -Bajo costo. -Métodos de procesamiento: <ul style="list-style-type: none"> *Proceso manual o Ficado a mano (Hand Lay Up). *Aspersión (Spray Up). *Moldeo por Presión y Temperatura (Matched Molding). 		<ul style="list-style-type: none"> -Temperatura límite de uso de 93 °C. -Baja resistencia a solventes. -Advertencia: si el acelerador y el catalizador son suministrados por separado, nunca los mezcle directamente, ya que puede ocurrir una violenta explosión.

APLICACIONES

- Se utiliza principalmente para productos reforzados: domos, embarcaciones, tanques, ductos, muebles, partes automotrices, paneles de edificios, artículos deportivos, etc.
- Fabricación de moldes
- Objetos decorativos.

4.2.22 POLIURETANO TERMOFIJO (PUR).-

ESTRUCTURA

El Poliuretano Termofijo es una espuma obtenida por la reacción entre un Poliol y un isocianato. La reacción es rápida. Los isocianatos que más se usan son el Tolueno Diisocianato (TDI), utilizado para obtener espumas flexibles; y el Difenil Metano Diisocianato (MDI), utilizado para obtener espumas rígidas por su mejor estabilidad dimensional.

VENTAJAS	PROPIEDADES	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> -Dependiendo de la densidad, pueden obtenerse: espumas flexibles, espumas semirrígidas, espumas rígidas y espumas con piel integral. -Excelente tenacidad. -Flexibilidad a bajas temperaturas. -Buena capacidad de amortiguamiento. -Resistencia a combustibles, aceites y al oxígeno. -Espumado rápido. -Bajo costo. 		<ul style="list-style-type: none"> -Mala capacidad térmica. -Es tóxico (debido al isocianato). Debe manejarse con una ventilación adecuada. -Mala resistencia a la intemperie. -Mala resistencia a ácidos, bases y solventes.

APLICACIONES

- Acolchonamiento de todo tipo: muebles, colchones, etc.
- Partes automotrices: defensas, asientos, apoyabrazos, tableros, etc.
- Material aislante para frigoríficos.
- Aislamiento de techos y paredes.
- Suelas de zapatos.

4.2.23 SILICONES (SI).-

ESTRUCTURA

El Silicón es un polímero termorrígido que consiste en átomos alternados de Silicio y Oxígeno, conocidos como Siloxanos. Se deriva de la arena, constituyente inorgánico, y del cloruro de metililo, constituyente orgánico; por lo que el Silicón es un polímero semiorgánico. En el mercado existe una gran variedad de formulaciones de Silicones, tales como: Hule Silicón, Resinas de Silicón, Folvos de Silicón para moldeo, Aceites de Silicón y Pastas de Silicón. De todos estos, sólo se usan como plásticos los tres primeros. En nuestro análisis nos referiremos al Hule Silicón, también conocido como Silicón RIV (RIV = vulcanizado a temperatura ambiente, en inglés), muy usado para fabricar moldes flexibles.

VENTAJAS	PROPIEDADES	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> -Excelente desmoldante. -Alto grado de lubricidad. -Excelente resistencia al agua. -Buenas propiedades eléctricas. -No es tóxico. -Retiene sus propiedades a temperaturas elevadas. -Biológicamente inerte. Compatible con el cuerpo humano. -Buena resistencia a la intemperie. -Rango amplio de uso térmico, desde -75 °C hasta 315 °C. -Disponibles en grados transparentes y grados retardantes a la llama. -Buena resistencia química. -Buenas propiedades de membrana semipermeable. (es permeable al oxígeno). -Resistencia a aceites. -No emplea plastificante para flexibilizarse. -Puede ser moldeado por inyección, compresión y transferencia. 		<ul style="list-style-type: none"> -Baja resistencia mecánica. -Es atacado por solventes halogenados. -Muy costoso, debido a que requiere mucha energía en su producción.

APLICACIONES

- Aplicaciones biomédicas: implantes, prótesis quirúrgicas, válvulas para corazones artificiales.
- Adhesivos selladores.
- Desmoldantes.
- Empaques selladores.
- Lubrificantes para otros plásticos.
- Aislamiento de cables y componentes eléctricos.
- Laminados reforzados para partes estructurales y paneles electrónicos.
- Encapsulado de semiconductores.
- Diaframas.
- Fabricación de moldes flexibles para vaciados.
- Aditivos para pinturas, tintas, aceites y plásticos.
- Impermeabilización de textiles, pieles, papel, piezas en general.

4.3 PROPIEDADES DE LOS PLÁSTICOS: ASPECTOS CUANTITATIVOS.-

En los párrafos que siguen estudiaremos los aspectos cuantitativos de las propiedades tanto de termoplásticos como de termofijos. Siguiendo con el estudio comparativo de la dos familias, presentaremos los valores de las propiedades en diagramas de barras con la intención de que podamos apreciar las diferencias individuales intra e inter-familias.

Los termoplásticos estudiados no están reforzados, a menos que se indique lo contrario. En cambio, los termofijos en su mayoría necesitan de cargas y refuerzos para su aprovechamiento útil, por lo que existe una gran cantidad de formulaciones. Nosotros nos limitaremos a algunas de las formulaciones que consideramos de interés, como las que contienen refuerzos de fibra de vidrio, a las que denominaremos RFV desde ahora en adelante.

Los valores de las propiedades presentados en los diagramas de barras están basados en los resultados de los ensayos realizados según las especificaciones de la agencia internacional de normas ASTM (American Society for Testing and Materials); y para cada propiedad se indica el número de referencia de dicha normalización.

4.3.1 PROPIEDADES MECANICAS (ENSAYOS DE CORTA DURACION).-

4.3.1.1 RESISTENCIA A LA TENSION, MODULO DE TENSION Y ELONGACION A LA ROTURA, ASTM-D638.-

Los valores representados en los diagramas de barras para las propiedades señaladas, derivados de un ensayo de tensión, nos proporcionan una valiosa información para evaluar el comportamiento de los plásticos sometidos a esfuerzos de tensión por un corto tiempo.

Para fines de diseño, el uso óptimo de los valores de resistencia a la tensión, módulo de elasticidad y elongación se obtiene mediante su correlación. Esto es, un plástico que tenga su resistencia y módulo elevados, pero de poca elongación (menos de 5%) se comportará como un material frágil; como, por ejemplo, el Poliestireno cristal y el SAN.

Los datos del ensayo de tensión pueden ser aplicados para el diseño de productos sometidos a cargas de corta duración (3 horas), tomando en cuenta que la temperatura, la humedad y la velocidad a que se aplica dicha carga estén dentro del 10% de las condiciones en que se realiza el ensayo. También, los datos de tensión se pueden utilizar para el diseño de productos sometidos a cargas intermitentes, siempre y cuando haya tiempo suficiente para la recuperación de la deformación al retirarse la carga.

Además de las consideraciones anteriores, para lograr un diseño confiable utilizando los datos del ensayo de tensión debe determinarse el ESFUERZO DE TRABAJO ADMISIBLE, mediante la siguiente relación:

$$S_T = \frac{S_M}{F_s}$$

donde, S_T = Esfuerzo de trabajo admisible
 S_R = Resistencia del material (a la tensión o a la fluencia).
 F_s = Factor de seguridad (de 2 1/2 a 5)

Si el esfuerzo está bien determinado, un factor de seguridad de 2 1/2 es adecuado; de lo contrario, deberá ser mayor. Como el factor de seguridad es siempre mayor que 1, el Esfuerzo de trabajo admisible será inferior a la resistencia del material.

Para el diseño de productos sometidos a cargas de larga duración debe de utilizarse los datos obtenidos de un ensayo de escurrimiento, como veremos posteriormente.

Como hemos señalado anteriormente, el Módulo de tensión o Módulo de elasticidad es una medida de la rigidez del material. En los gráficos de barras, podemos apreciar la diferencia en rigidez entre los termoplásticos y los termofijos, siendo mayor para éstos últimos. Esto se debe, en parte, al refuerzo que tienen incorporado los termofijos (fibras en su mayoría). La rigidez de los termoplásticos puede aumentarse sustancialmente con el uso de refuerzos.

En los gráficos de barras no se presenta las elongaciones de los termofijos, debido a que ésta es mínima; con excepción de los termofijos considerados como flexibles, como el Hule Silicón y algunas espumas de Poliuretano.

4.3.1.2 RESISTENCIA A LA FLEXION Y MODULO DE FLEXION. ASTM-D790.-

La Resistencia a la flexión es el esfuerzo máximo que soportará un material sometido a flexión antes de romperse. Para materiales plásticos que no se rompen al someterse a flexión, el esfuerzo correspondiente a una deformación de 5% es tomado como su Resistencia a la flexión. Por otro lado, el Módulo de Flexión es la relación entre el esfuerzo de flexión y la deformación correspondiente dentro del límite elástico del material. Al igual que el Módulo de tensión, el Módulo de flexión es una medida de la rigidez del material; por lo que valores altos del Módulo de flexión indican que el material es rígido, y valores bajos, indican materiales blandos.

Para propósitos de diseño, las propiedades de flexión son usadas de la misma manera que las propiedades de tensión. Además, el Esfuerzo de trabajo admisible (S_T) se trata de la misma manera que como se señaló para el ensayo de tensión.

En Resistencia de Materiales se ha determinado que la rigidez a la flexión (R) de un material en forma de lámina, varía proporcionalmente con su Módulo de flexión (M) y con el cubo del espesor de la lámina (E), esto es:

$$R = (M)(E)^3$$

Para diseños con fines estructurales, esta ecuación nos es de mucha utilidad para determinar la relación Rigidez-Peso entre distintos materiales. Por ejemplo, si comparamos una lámina de PVC con una lámina de Acero del mismo peso, tendremos los siguientes resultados.

	Densidad relativa (D)	Módulo de Flexión (Lb/pul ²)
PVC	1.4	400000
Acero	7.5	24000000

1) Calculemos el Volumen (V) equivalente de las láminas, tomando en cuenta que tienen el mismo peso (P), para determinar el espesor de las mismas.

$$D = P/V, \text{ por lo que } P = (V)(D)$$

$$\text{Ahora bien, } P_{\text{Acero}} = P_{\text{PVC}} \\ \text{Entonces } (V_{\text{Acero}})(D_{\text{Acero}}) = (V_{\text{PVC}})(D_{\text{PVC}})$$

$$(V_{\text{PVC}}/V_{\text{Acero}}) = (D_{\text{Acero}}/D_{\text{PVC}}) = 7.5/1.4 = 5.4$$

$$V_{\text{PVC}} = 5.4 V_{\text{Acero}}$$

Por lo tanto, la lámina de PVC será, aproximadamente, cinco veces y media más voluminosa que la lámina de acero. Esto es, si lámina de acero mide 1 cm. de espesor, la lámina de plástico tendrá un espesor de 5.5 cm.

2) Determinación de la relación Rigidez-Peso

$$R_{\text{Acero}} = (M_{\text{Acero}})(E_{\text{Acero}})^2 \\ R_{\text{PVC}} = (M_{\text{PVC}})(E_{\text{PVC}})^2$$

$$(R_{\text{PVC}})/(R_{\text{Acero}}) = (400000 \times (5.5)^2) / (24000000 \times (1)^2) \\ = 2.8 \\ R_{\text{PVC}} = 2.8 R_{\text{Acero}}$$

De donde se deduce que la lámina de PVC tiene una rigidez a la flexión, aproximadamente, tres veces mayor que la rigidez de una lámina de acero del mismo peso.

Este ejemplo se hizo suponiendo que la forma geométrica del producto era una lámina rectangular. Para otros casos debe tomarse en cuenta la forma geométrica real del producto.

4.3.1.3 RESISTENCIA A LA COMPRESION (ASTM-D695).-

La Resistencia a la compresión para los termoplásticos es, en términos generales, baja; se mejora sustancialmente con el uso de refuerzos. Para propósitos estructurales en construcción donde se requiera esta propiedad, los termofijos son más apropiados.

4.3.1.4 RESISTENCIA AL IMPACTO IZOD (ASTM-D526).-

La Resistencia al impacto nos da la energía necesaria para romper un material bajo condiciones predeterminadas. El término TENACIDAD está asociado con la Resistencia al impacto, pero no son equivalentes; ya que el término "impac-

to" implica una fuerza actuando a alta velocidad, mientras que la tenacidad no está relacionada con velocidad alguna. En el capítulo 2, en la sección correspondiente a la Resistencia al impacto, se describió la relación entre ésta y la tenacidad.

Para fines prácticos, podemos establecer tres niveles de impacto, como se muestra a continuación, siendo x el valor de Resistencia al impacto del plástico:

- Bajo impacto	$x < 0.5$	Lb-P/pulg.
- Medio impacto	$0.5 \leq x < 1$	Lb-P/pulg.
- Alto impacto	$x \geq 1$	Lb-P/pulg.

Hay materiales, como el Nylon y el Acetal, que, no obstante estar entre los plásticos más rígidos y tenaces, presentan valores de Resistencia al impacto no muy altos. Esto se debe a que dichos plásticos son muy sensibles a la muesca o ranura que se les hace para llevar a cabo la prueba de impacto IZOD, concentrando esfuerzos en esta zona; por lo que se rompen al efectuarse el ensayo.

Los plásticos con mayores valores de Resistencia al impacto son los flexibles y los considerados como elastómeros, puesto que éstos tienen la capacidad de absorber el golpe. En los gráficos de barras para la Resistencia al impacto no se representan los termoplásticos PEBD y TPU, ni los termofijos SI-RTV (Hule Silicón) y PUR flexible; ya que éstos no se rompen durante el ensayo, siendo inherentemente resistentes a golpes de impacto, lo que significa una buena capacidad de amortiguamiento.

La Resistencia al impacto puede mejorarse considerablemente añadiéndole Hule Butadieno al material virgen. De hecho, en el mercado hay grados comerciales de plásticos que han sido tratados para darles resistencia al impacto, ejemplo de ello son el Poliestireno de alto impacto y el copolímero de Estireno-Butadieno (Resina K). La incorporación de Hule Butadieno al Acrílico (PMMA) puede multiplicar por 20 su valor de Resistencia al Impacto.

4.3.1.5 DUREZA (ASTM-D785).-

A diferencia de los metales, para los plásticos la Dureza no es una propiedad mecánica bien definida. Es un término relativo. Generalmente se define como la resistencia del plástico a la compresión, penetración y rasgado.

La relatividad del ensayo de dureza para plásticos se debe a la naturaleza viscoelástica de los mismos. Al efectuarse la prueba, lo que se registra como dureza del material es la diferencia entre las impresiones hechas por un penetrador de bola de acero, el cual se somete a dos estados de carga, uno con una carga pequeña y otro con una carga mayor que la anterior. Las impresiones que provocan estas dos cargas vienen expresadas por la profundidad de penetración del penetrador en el plástico. El problema radica en que para los plásticos estas impresiones no son fijas, puesto que hay una recuperación viscoelástica del material. Esta recuperación varía de un plástico a otro, por lo que no es aconsejable la

comparación entre durezas de diferentes materiales plásticos sobre la base de este único ensayo. Este efecto es más notable para los termoplásticos que para los termofijos.

Para diferenciar entre los rangos de dureza en un ensayo de dureza Rockwell, hay cinco escalas progresivas: R, L, M, E y K; siendo K para los plásticos más duros. Las escalas se diferencian por la carga aplicada y por el diámetro de la bola del penetrador.

Para medir la dureza de plásticos semirrígidos o flexibles y elastómeros, se utiliza el Durómetro Shore, el cual tiene dos escalas, D y A, siendo A para los más duros.

La Tabla 4.3 presenta los valores característicos de dureza para algunos termoplásticos y termofijos. Por las razones que anotamos anteriormente, la comparación de durezas es aproximada.

ESCALAS			TERMOPLASTICOS	TERMOFIJOS
ROCKWELL	M	124		PF
		120		MF
		110		UF
		100		EP-RFV
				UP-RFV
				PF-RFV
		98		
		94	POM	
		85	PMMA	
		84		
	80	SAN	SI-RFV	
	73	PC	UP vaciado	
	69	PSU		
	68	PBT		
65	PS			
	R	120	POM	
			PSU	
			PC	
			PPD	
			ABS	
			PA	
		85	PP	
		34	CA	
SHORE	A	40		SI-RTV
		10		PUR
	D	90		PUR
		83		
		75	PVC rígido	
		70	Resina K	
		60	TPU	
		50	PEAD	
41	PTFE			
		PEBD		

TABLA 4.3. Dureza de termoplásticos y termofijos.

4.3.1.6 MÓDULO DE ESCURRIMIENTO (ASTM-D2990).-

Hasta ahora hemos estudiado los datos obtenidos de pruebas mecánicas de plásticos sometidos a cargas de corta duración. Para periodos largos de duración de la carga debe tomarse en cuenta como criterio de diseño la naturaleza viscoelástica del material, utilizando los datos obtenidos de una prueba de escurrimiento, donde se considera la influencia del tiempo (t) y la temperatura (T) sobre la resistencia del material; según esto, la ecuación de la ley de Hooke queda modificada de la siguiente manera:

$$\sigma = E(t, T) \cdot \epsilon(t, T)$$

Ahora bien, si sólo se cuenta con los valores de resistencia obtenidos de ensayos de corta duración, es posible utilizarlos aplicándoles un factor de corrección. Dicho factor de corrección estará en función de los siguientes factores:

- tiempo
- temperatura
- efectos medioambientales
- tipo de plástico

El esfuerzo de diseño a considerar vendrá dado por la ecuación:

$$\sigma_{diseño} = \sigma_{c} \cdot \frac{A}{S}$$

Donde $\sigma_{diseño}$ = Esfuerzo de diseño
 σ_{c} = Esfuerzo de ensayo de corta duración
 A = Factor de corrección
 S = Factor de seguridad

Por experiencia se ha determinado que para una duración del ensayo de escurrimiento de 10³ horas, el factor A es, aproximadamente, 0.33-0.25. El factor de seguridad, S, utilizado es ≥ 2 . Para fines prácticos, el factor (A/S) de la fórmula anterior es de 1/6 a 1/10, reduciéndose en esta misma proporción el esfuerzo obtenido en un ensayo de corta duración. Esto garantiza que al calcularse por este método la capacidad de carga de una pieza de plástico, las deformaciones que se produzcan durante su vida útil caerán por debajo de los límites de deformación críticos.

En cuanto al Módulo de escurrimiento, E(t, T), éste puede determinarse mediante un ensayo de tensión o flexión, para varias condiciones de carga y de temperatura. Este módulo disminuye a medida que aumenta el tiempo de duración de la carga o la temperatura.

Las condiciones en que se realiza el ensayo para determinar el Módulo de escurrimiento varía de acuerdo al tipo de plástico. Por lo general se lleva a cabo a temperatura ambiente y con varios estados de carga. Las observaciones se hacen en múltiplos de 10 horas; incluso, se han hecho ensayos que duran varios años. Para fines prácticos, los resultados de los ensayos hechos para una duración de 1000 horas (40 días)

pueden ser extrapolados para periodos más largos; aunque lo ideal sería que el diseñador pudiera simular las condiciones reales a que se someterá el producto y observar los cambios dimensionales que se presenten.

Los termofijos son mucho más resistentes al escurrimiento que los termoplásticos, gracias a su estructura molecular entrecruzado y a su mayor resistencia al calor. Las propiedades de escurrimiento de los termoplásticos puede mejorarse utilizando cargas y refuerzos.

La Tabla 4.4 presenta los valores del Módulo de escurrimiento para varios termoplásticos.

MATERIAL	TEMP. (°C)	ESFUERZO (l-b./pul ²)	MÓDULO (X10 ⁸ lb./pul ²)			
			1h	10h	100h	1000h
ABS	23	1000	350	340	300	215
	23	2000	340	335	300	245
POM	23	1000	400	360	240	250
	23	2000	390	360	280	240
	46	1000	250	200	170	140
	46	2000	240	190	160	120
	85	1000	170	140	110	80
	100	1000	120	100	80	60
PMMA	19	1500	400	360	325	
	20	2900	395	350	290	
	20	4350	340	285	235	
	60	725	330	300	250	190
	60	2175	300	260	190	
	60	2900	275	220		
PTFE	23	500	50	40	30	25
	23	1000	20	10	10	5
	38	500	30	20	15	10
	93	500	7	5	4	3
PA	23	2000	480	440	370	
	23	3000	450	410	330	
	70	1500	100	80	70	
	120	1000	70	60	55	45
PC	23	3000	345	335	320	310
	55	1500	300	280	225	200
	70	1000	245	220	200	180
	70	1500	240	215	190	170
	120	500	150	105	70	55
PBT	23	2100	440	415	350	380
	23	3550	440	415	400	375
	38	1425	390	350	310	240
	38	2130	390	350	300	225
PET	20	1428	500	480	464	414
	60	1428	429	340	243	166
PEAD	24	1000	125	60	35	25
	40	285	47	40	31	20
PP	20	1000	125	95	70	55
	20	1500	105	80	60	45
	60	400	55	45	40	30
PVC rígido	23	1000	330	260	180	
	23	1500	300	250	185	
	23	2000	295	240	190	
PS	23	2000	350	330	255	170

TABLA 4.4. Módulo de escurrimiento de termoplásticos. (Ref.5)

Para obtener mayor información sobre los valores de escurrimiento de los plásticos y su efecto en la estabilidad dimensional del producto, el diseñador debe dirigirse directamente al fabricante de la resina.

4.3.2 PROPIEDADES FISICAS.-

4.3.2.1 DENSIDAD (ASTM-D792).-

La densidad es el peso por unidad de volumen de un material a 23 °C. Se obtiene dividiendo la masa del plástico entre su volumen, y se expresa en unidades ML^{-3} (gr/cm^3).

La densidad relativa o gravedad específica de un plástico es la relación entre la densidad del mismo y la densidad del agua ($1 gr/cm^3$) bajo condiciones controladas de presión y temperatura. Es una cantidad adimensional.

De todos los plásticos rígidos, los únicos que tienen una densidad menor que la del agua son las Poliolefinas (PEBD, PEAD Y PP) como puede verse en el diagrama de barras. En general, los termofijos tienen mayor densidad que los termoplásticos.

Para fines de diseño, la densidad relativa es útil para calcular las relaciones resistencia-peso y costo-peso del plástico. Además, también sirve como parámetro de identificación de plásticos.

4.3.2.2 ABSORCION DE AGUA (ASTM-D570).-

La absorción de agua es la cantidad total de agua que absorberá un material plástico por inmersión durante 24 horas, a temperatura ambiente (23 °C). Se registra como un porcentaje del peso original.

Para el diseño de productos, la absorción de agua o humedad es una propiedad sumamente importante, y que debe tomarse en cuenta; sobretodo si la pieza de plástico tiene que ajustarse o hacer juego con otras piezas que pudieran estar hecha de otro material (metal, madera, etc), bajo estrechas tolerancias dimensionales.

El contenido de humedad de un plástico afecta sus propiedades mecánicas y dieléctricas, así como su estabilidad dimensional y su apariencia. El plástico con mucha humedad puede hincharse, pandearse o, incluso, cuartearse. Estos efectos dependerán de tres factores:

- Tipo de exposición (inmersión en agua o humedad elevada del ambiente).
- Forma de la pieza.
- Propiedades inherentes del plástico.

4.3.3 PROPIEDADES OPTICAS.-

Las propiedades ópticas más importantes de los plásticos son la Transmisión de luz a través del plástico y el índice de refracción. El gráfico de barra presenta los valores del índice de refracción de los termoplásticos; los termofijos por lo general son opacos, por lo que no tienen índice de refracción.

La Tabla 4.5 presenta las cualidades ópticas y el porcentaje de transmisión de luz de termoplásticos y termofijos.

MATERIAL	CUALIDADES OPTICAS	% TRANSMISION DE LUZ
Termoplástico		
PMMA	TP/O	92
PET	TP/O	90
RESINA K	TP/O	90
PC	TP/O	89
PS	TP/O	88
AC	TP/O	86
SAN	TP/O	83
PVC	TP/O	79
PEBD	TP/O	75
PP	TP/O	73
PEAD	TP/O	40
PSU	TP/O	
TPU	TP/O	
ABS	TL/O	33
POM	TL/O	
PA	TL/O	
PBT	O	
PTFE	O	
PPD	O	
Termofijos		
UF	TP/O	20
UP	TP/O	
SI-RTV	TP/O	
UP-RFV	TL/O	
MF	O	
EP-RFV	O	
PF	O	
PF-RFV	O	
SI-RFV	O	
PUR	O	

Abreviaturas: TP = Transparente, TL = Translúcido, O = Opaco

TABLA 4.5. Transmisión de luz de plásticos (ASTM-D1003).

Las propiedades ópticas de los plásticos están íntimamente relacionadas con su estructura molecular. Por lo general, los plásticos con estructura molecular amorfa tienden a ser

transparentes, mientras que los de estructura cristalina son translúcidos u opacos.

La Transmisión de luz se define como la relación entre la luz transmitida y la luz incidente. Un plástico transparente absorbe muy poca luz del espectro visible. Los termoplásticos poseen mejores cualidades ópticas que los termofijos; ya que éstos últimos necesitan utilizar cargas y refuerzos para su aprovechamiento ótil, lo cual va en detrimento de sus propiedades ópticas.

Hay termoplásticos transparentes que por sus características ópticas son considerados ópticamente claros. Esto significa que los objetos que se miran a través de estos plásticos no presentan distorsión alguna. No todos los termoplásticos transparentes tiene esta cualidad, destacándose entre ellos el Acrílico (PMMA), que conserva sus cualidades ópticas aun en espesores grandes (más de 3 cm.). Mediante la pigmentación del plástico se obtiene una absorción selectiva de la luz.

El índice de refracción es la relación entre la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de la luz a través del plástico. Siempre será mayor que 1, ya que la luz viaja más rápido en el vacío que en cualquier otro medio. Algunos valores del índice de refracción en otros medios son:

-Vidrio-----1.56
 -Agua-----1.33
 -Diamante-----2.41
 -Aire-----1.000292

Una de las ventajas del uso de los plásticos para elementos ópticos es que éstos pueden ser moldeados o vaciados con buena precisión y a bajo costo. Además, los plásticos tienen mejor resistencia al impacto que el vidrio; aunque, tienen la desventaja de ser muy dependientes de la temperatura y son de menor resistencia al rayado que el vidrio.

Los elementos ópticos de plástico moldeado deben ser producidos con un cuidadoso control del proceso de moldeo, para minimizar zonas con deformaciones o concentraciones de esfuerzo dentro de la pieza moldeada; ya que el índice de refracción será diferente en estas zonas, lo que provocará distorsiones de la imagen al utilizar el elemento óptico.

4.3.4 PROPIEDADES TÉRMICAS.-

4.3.4.1 CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (ASTM-C177).-

La conductividad térmica es la capacidad de una sustancia dada de conducir el calor. Los plásticos son excelentes aislantes térmicos, tienen muy baja conductividad térmica.

Los valores característicos de conductividad térmica de los materiales que presentamos en la Tabla 4.6, nos dan una idea de la gran diferencia entre éstos y la mayoría de los plásticos representados en el diagrama de barras.

MATERIAL	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (cal/cm/s/°C)
ALUMINIO	0.29
COBRE	0.28
HIERRO	0.11
ACERO	0.10
MADERA	4×10^{-4}

TABLA 4.8. Conductividad térmica de varios materiales. (Ref. 10).

4.3.4.2 COEFICIENTE DE EXPANSION TÉRMICA (ASTM-D698)

El coeficiente de expansión térmica representa la expansión en longitud, área o volumen que sufre un material al elevarse la temperatura en una unidad (1 °C ó 1 °F). Para los plásticos sin refuerzos, este coeficiente es relativamente grande.

El coeficiente de expansión térmica juega un papel importante en el diseño de productos que requieran la combinación del plástico con otros materiales de diferente comportamiento térmico, como, por ejemplo, los metales. Estos últimos poseen un coeficiente de expansión térmica mucho más pequeño que la mayoría de los plásticos, y si no se toma en cuenta esta diferencia, la función del producto se verá seriamente afectada al cambiar las condiciones térmicas durante la vida útil del mismo.

El ensayo para determinar el coeficiente de expansión térmica se hace con un Dilatómetro. La exactitud de los resultados puede ser afectada por factores tales como la pérdida de plastificante, solventes, etc.

La expansión térmica de los plásticos puede reducirse considerablemente con el uso de cargas y refuerzos, como puede apreciarse en la grafica de barras entre los termofijos reforzados y los termoplásticos.

4.3.4.3 TEMPERATURA DE DISTORSION BAJO CARGA (ASTM-D648).-

La temperatura de distorsión bajo carga, también conocida como temperatura de deflexión bajo carga, de un plástico indica el punto al cual éste empieza a fluir. En ocasiones a este punto se le denomina "temperatura de seguridad de operación", debido a que en este punto empieza el ablandamiento del material.

Según la norma ASTM-D648, el punto de distorsión al calor es la temperatura a la cual una probeta rectangular de plástico sometida a flexión sufre una deflexión total de 0.010 pulgs. (0.25 cm.), bajo una carga de 66 y 264 lb/pul² (0.45 y 1.8 N/mm²). El ensayo se realiza dentro de una cámara cerrada y

la temperatura de la misma se va aumentando a razón de 2 °C por minuto.

La temperatura de deflexión no es lo mismo que la resistencia al calor del plástico; ya que, tanto las cargas que se aplican como la deflexión especificada son cantidades arbitrarias. Sin embargo, esta temperatura puede ser útil para comparar el comportamiento relativo de varios materiales plásticos bajo estas condiciones de ensayo. Además, esta temperatura es un indicador valioso del incremento en resistencia al calor que se produce en plásticos cargados y reforzados.

Es importante señalar que se ha determinado que la temperatura de deflexión a 284 lb/pul² (1.8 N/mm²) para muchos plásticos es su temperatura de recocido o temperatura de ablandamiento, parámetro importante para el procesamiento del material.

4.3.4.4 RESISTENCIA AL CALOR (ASTM-D257).-

La resistencia al calor indica la máxima temperatura que soportará un plástico sometido a distintas condiciones de uso continuo, sin que se produzca distorsión, encogimiento, ampollamiento, o fallas en su función.

Por lo general, los plásticos son de baja resistencia al calor. En este sentido, los termofijos tienen mayor resistencia al calor que los termoplásticos, como se indica en el gráfico de barras. La mayoría de los termoplásticos tienen problemas a temperaturas superiores a los 90 °C. El fluoroplástico Teflón (PTFE) puede soportar hasta 288 °C, siendo entre los termoplásticos el de mayor resistencia al calor; pero no se mantendrá en este punto si está sometido a un esfuerzo grande.

Mediante el Análisis Termogravimétrico (TGA) se determina la resistencia al calor absoluta de un material plástico. En este análisis, el plástico se calienta hasta que se descompone. Por supuesto que la temperatura límite de uso del plástico cae por debajo de la zona de descomposición del TGA.

Otro índice de resistencia al calor de plásticos es el desarrollado por los Laboratorios Underwriter conocido como Índice de Temperatura UL, cuya función principal es proporcionar a los ingenieros de los UL un criterio de aceptación de plásticos para aplicaciones a altas temperaturas por largos periodos de exposición. Para determinar este índice se toman probetas de 0.8, 1.6 y 3.2 mm de espesor del plástico moldeado, y se registra la temperatura a la cual se produce un deterioro de 50%, como máximo, de los valores originales de las propiedades eléctricas y mecánicas (excluyendo la resistencia al impacto con muesca), del plástico.

De acuerdo al índice de Temperatura UL, la temperatura límite de servicio continuo para las Poliolefinas (PP, PEAD, PEBD), homopolímeros y copolímeros de Estireno (PS, SAN, KR), los Vinilos (PVC), Acrílico (PMMA), Poliamidas (Nylon),

y el Acetal (POM), cae en el rango de 80 a 100°C. Para grados reforzados de PP, PA, PC, PBT, y la mayoría de los termofijos moldeados y laminados, el rango es de 100 a 150 °C. Las cargas y refuerzos inorgánicos aumentan la resistencia al calor.

Hoy en día se han desarrollado termoplásticos de ingeniería con índices de resistencia a la temperatura desde 150 °C hasta más de 200 °C, y que pueden ser moldeados por los procesos tradicionales. Estos son los Poliarilatos, Oxidos de Poliarileno Lineal y las Somipoli-imidas termoplásticas. Estos se sintetizan químicamente a base del eslabonamiento de estructuras de anillo aromáticas (bencénicas), mediante puentes de átomos de oxígeno, azufre o nitrógeno. Las dificultades y los costos de síntesis y procesamiento de estos plásticos de ingeniería crece a medida que se hacen más complejos.

4.3.4.5 CALOR ESPECIFICO (ASTM-C351)

El calor específico o capacidad calorífica de un material es la cantidad de calor requerida para elevar la temperatura de una unidad de masa del material a un grado centígrado o Kelvin.

Por sus características de aisladores térmicos, los plásticos tienen valores de calor específico relativamente más altos que los metales, como se indica en la Tabla 4.7.

MATERIAL	CALOR ESPECIFICO (ca)/g/°C)
ALUMINIO	0.22
HIERRO	0.11
ACERO	0.11
COBRE	0.09

TABLA 4.7. Calor específico de varios materiales. (Ref. 10)

El calor específico es importante en los cálculos del costo de procesamiento de los plásticos.

4.3.5 PROPIEDADES ELECTRICAS.-

4.3.5.1 RESISTENCIA DIELECTRICA (ASTM-D149).-

La resistencia dieléctrica de un material es una medida de la cantidad de voltios requeridos para que falle el material y se produzca un arco continuo de corriente a través del mismo. Es el equivalente a la resistencia a la tensión en las propiedades mecánicas.

Para fines de diseño, esta propiedad eléctrica nos da una indicación de la capacidad de un plástico para actuar como aislador eléctrico. Su valor decrece bruscamente en huecos, burbujas o contaminantes que estén presentes en la probeta de ensayo.

La resistencia dieléctrica varía inversamente con el espesor de la probeta de ensayo. También es influenciada por la temperatura y la humedad, por lo que las mismas deben ser especificadas cuando se realiza el ensayo.

La función de los plásticos en las aplicaciones eléctricas es servir como un dieléctrico o aislante que separa dos conductores que tienen un campo eléctrico entre ellos. El campo eléctrico puede ser de corriente directa, CD, o de corriente alterna, AC; y la frecuencia del mismo puede variar desde 0 hasta 10^{10} Ciclos/seg. La magnitud de los campos puede variar desde fracciones de un voltio, como en las señales de comunicación, hasta millones de voltios, como en los sistemas de generación de potencia. La corriente conducida por los conductores puede ser desde microamperes hasta millones de amperes.

El aire o el vacío también pueden servir como separadores aislantes de dos conductores; pero estos medios no ofrecen ningún soporte mecánico a los conductores. Por lo tanto, otra función de los dieléctricos de plásticos es actuar como soporte mecánico de los conductores. De aquí se desprende que para aplicaciones eléctricas de plásticos, también hay que considerar las propiedades mecánicas de los mismos.

Es importante la selección apropiada del plástico que se utilizará como dieléctrico, ya que éste interactúa con el campo eléctrico, alterando las características del mismo. En algunos casos este efecto es deseable, y en otros va en detrimento de la buena operación del sistema, por lo que dicho efecto debe ser minimizado. La configuración del dieléctrico también influye en su interacción con el campo.

4.3.5.2 RESISTIVIDAD DIELECTRICA (ASTM-D257).-

El material plástico que sirve como dieléctrico entre dos conductores ofrece una resistencia al paso de corriente. La resistividad dieléctrica nos da una medida de esta resistencia. Se expresa en Ohmios-centímetros. Se determina aplicando dos electrodos a una probeta de plástico, y midiendo el gradiente de voltaje paralelo a la densidad de corriente. La prueba depende mucho de la humedad y la temperatura. Por lo general, la prueba se hace a temperatura ambiente y a 50% de humedad relativa.

Para fines de diseño, el valor de la resistividad dieléctrica hace posible diseñar un aislante para una aplicación específica. Multiplicando el valor de la resistividad dieléctrica de un plástico por el cociente de su longitud entre su Área, obtenemos la Resistencia aislante, en ohmios, del plástico. Esto es:

$$\text{RESISTENCIA AISLANTE} = \text{RESISTIVIDAD} \times \frac{\text{LONGITUD}}{\text{AREA}}$$

Los plásticos son materiales aislantes por excelencia, como puede comprobarse por los altos valores de resistividad que presentan en el diagrama de barras.

Para fines de comparación, la Tabla 4.8 presenta los valores de resistividad de otros materiales usados como aislantes.

AISLANTE	RESISTIVIDAD (Ohm-cm)
Cera pura	10^{16}
Aceite de parafina	10^{15}
Mica	10^{17}
Vidrio	10^{16}
Porcelana	10^{14}
Tierra húmeda	10^9
Agua destilada	10^7
Agua de mar	10^6

TABLA 4.8. Resistividad de varios materiales aislantes. (Ref. 10).

Por el contrario, los metales, como es de esperarse, presentan valores de resistividad sumamente bajos; de hecho puede decirse que su resistividad es cero, puesto que son conductores de electricidad por antonomasia. La Tabla 4.10 presenta los valores de resistividad para algunos metales.

MATERIAL	RESISTIVIDAD (Ohm-cm)
Carbón	40×10^{-4}
Acero	0.13×10^{-4}
Hierro puro	0.10×10^{-4}
Aluminio	0.0278×10^{-4}
Oro	0.0222×10^{-4}
Cobre	0.0175×10^{-4}
Plata	0.0160×10^{-4}

TABLA 4.10. Resistividad de algunos metales. (Ref. 10).

La conductividad eléctrica es el inverso de la resistividad. En este sentido, los papeles se invierte: los plásticos y demás aislantes señalados anteriormente presentan valores de conductividad prácticamente nulos; mientras que los metales los presentan bastante altos, destacándose entre ellos, el Cobre (57×10^4) y la Plata (63×10^4), seguidos por el Oro (45×10^4) y el Aluminio (36×10^4).

4.3.5.3 RESISTENCIA AL ARCO ELECTRICO (ASTM-D495).-

La resistencia al arco es la capacidad de un plástico para resistir la acción de un arco eléctrico de alto voltaje y bajo amperaje, que tiende a formar una vía de conducción a través de él, mediante la carbonización de su superficie. Se mide en unidades de tiempo (segundos o minutos).

Para fines de diseño, la resistencia al arco es importante para aplicaciones de plásticos en donde sea probable la ocurrencia de descargas eléctricas momentáneas, tales como en circuitos de interruptores y conmutadores.

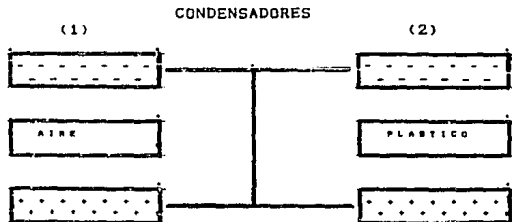
4.3.5.4 CONSTANTE DIELECTRICA Y FACTOR DE DISIPACION (ASTM-D150).

A) CONSTANTE DIELECTRICA.-

La constante dieléctrica de un plástico es una medida de la capacidad de almacenamiento de energía eléctrica del mismo. Los plásticos son usados como dieléctricos en la producción de condensadores, los cuales se usan en equipos eléctricos y electrónicos.

La constante dieléctrica se expresa mediante la relación entre la cantidad de energía almacenada por un condensador (capacitancia), hecho con un dieléctrico en particular, en este caso un plástico, y la capacitancia del mismo condensador hecho con aire como dieléctrico (la constante dieléctrica del aire es 1).

La siguiente figura nos muestra esquemáticamente el concepto descrito anteriormente:



Un plástico con una constante dieléctrica de $\frac{4}{1}$ tendrá cuatro veces más capacidad de almacenamiento de energía eléctrica que el aire. Todos los plásticos poseen una constante dieléctrica mayor que el aire, como puede notarse en el gráfico de barras.

Para fines de diseño deben tomarse en cuenta las siguientes consideraciones con la constante dieléctrica:

1) Si el plástico se usará como separador aislante y soporte mecánico de componentes de un circuito eléctrico, es aconsejable que posea una constante dieléctrica baja; ya que, de lo contrario, puede producir un acoplamiento de la corriente entre los componentes, formándose un condensador entre ellos; lo que va en detrimento del buen funcionamiento del sistema, puesto que se producirá un cruce de señales. El Polietileno es el plástico preferido para el aislamiento de cables de comunicación debido a su baja constante dieléctrica, lo que minimiza el efecto de acoplamiento intercircuítos.

2) Por otro lado, si la función del plástico es servir como dieléctrico de un condensador, es aconsejable que tenga un valor alto de constante dieléctrica. De este modo, el condensador pueden ser físicamente tan pequeño como sea posible; consideración importante para la miniaturización de componentes electrónicos.

Para fines de comparación, la Tabla 4.11 presenta los valores de la constante dieléctrica de algunos otros materiales.

MATERIAL	CONSTANTE DIELECTRICA
Agua	80
Mármol	8
Mica	8
Vidrio	5
Porcelana	4.4
Tela	4
Cartón	4
Papel	2.3
Petróleo	2.2

TABLA 4.11. Constante dieléctrica de varios materiales. (Ref. 10).

B) FACTOR DE DISIPACION.-

El factor de disipación o factor de potencia es una medida de la cantidad de energía absorbida por un material aislante y disipada en forma de calor. En términos más exactos, el factor de disipación es el cociente entre potencia activa y la potencia aparente. Su valor se obtiene dividiendo la resistencia de un elemento o de un circuito por su impedancia a la frecuencia de trabajo.

Para fines prácticos, es más importante para el diseñador conocer el FACTOR DE PERDIDA DIELECTRICA, el cual representa la energía que pierde un material aislante que ha sido sometido a un campo de corriente alterna. El Factor de pér-

didas es una medida de la rapidez con que se genera calor en un dieléctrico. Se determina por la siguiente relación:

$$\text{FACTOR DE PERDIDAS} = \text{CONSTANTE DIELECTRICA} \times \text{FACTOR DE DISIPACION}$$

Tanto la constante dieléctrica como el factor de disipación dependen de la frecuencia; por lo que, el factor de pérdidas dieléctricas también varía en función de la frecuencia. Además, la temperatura es otro factor que influye en el factor de pérdidas, como se muestra en la siguiente Fig. 4.2.

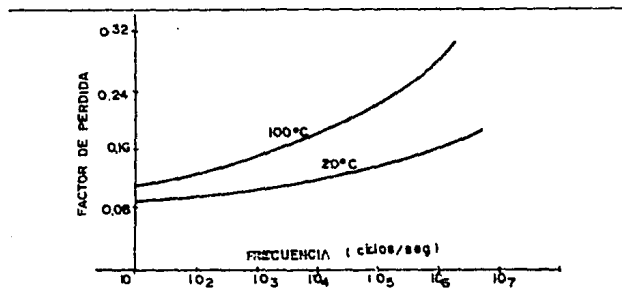


Fig. 4.2. Relación entre la frecuencia, la temperatura y el factor de pérdidas dieléctrica en un plástico. (Ref. 7).

De la figura se deduce que a mayor temperatura corresponde una mayor pérdida dieléctrica en todas las frecuencias. Esto se debe a que al elevarse la temperatura hay una mayor movilidad de las moléculas del polímero, lo que genera una mayor cantidad de energía por fricción, misma que es disipada en forma de calor por el dieléctrico.

En las aplicaciones de plásticos en equipos procesadores de señales eléctricas, la pérdida dieléctrica del plástico se traduce en una atenuación de la señal. En sistemas que generan una gran cantidad de potencia, tales como en un radio transmisor, la pérdida dieléctrica representa un consumo de potencia suficiente para calentar el plástico aislante e, inclusive, puede llegar a destruirlo si el calentamiento es excesivo.

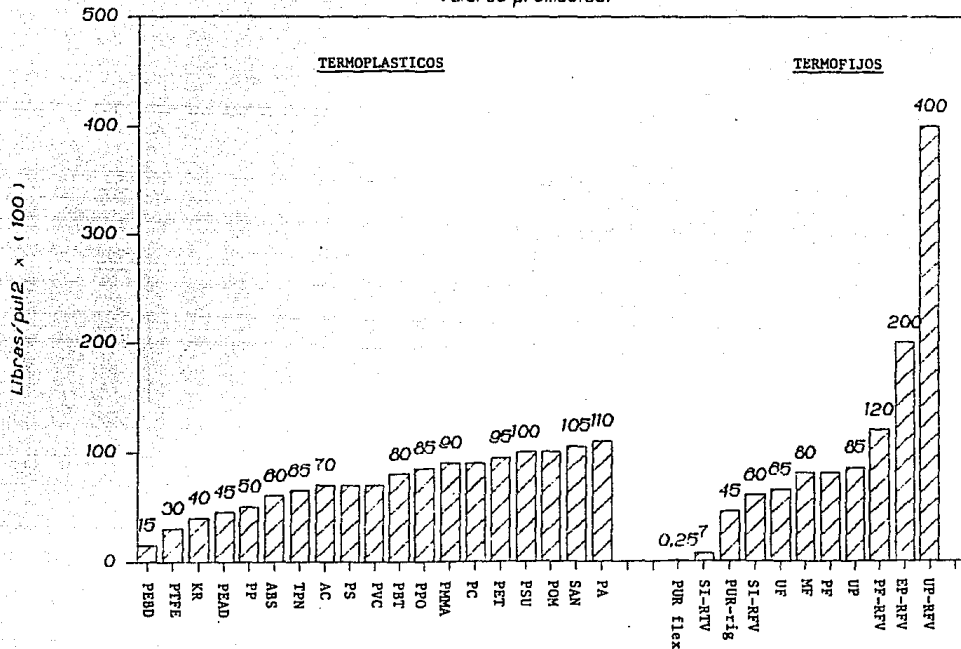
En los dos casos descritos anteriormente, es importante minimizar la cantidad de potencia disipada en el material dieléctrico. Una forma de lograrlo es usando plásticos que tengan un factor de pérdidas bajo, lo que significa que tanto la constante dieléctrica como el factor de disipación del plástico deben ser bajos. Otra forma de minimizar la pérdida de energía del dieléctrico es reduciendo la cantidad

usada del mismo. Esto es, reemplazar partes del dieléctrico por aire, gas inerte o por vacío. Un ejemplo de esto son los cables recubiertos con un dieléctrico espumado, utilizados en las antenas de frecuencia ultra alta (UHF) para televisores.

En las páginas siguientes presentamos los gráficos de barras comparativos de las propiedades estudiadas en este capítulo. Los valores que se muestran son en su mayoría valores promedios, representativos de la propiedad en cuestión.

RESISTENCIA A LA TENSION (ASTM-D638)

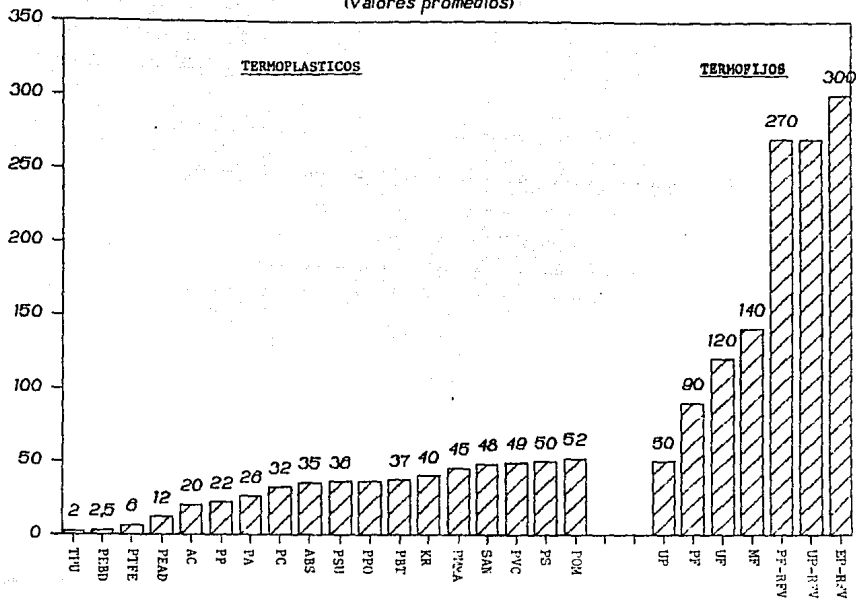
(Valores promedios)



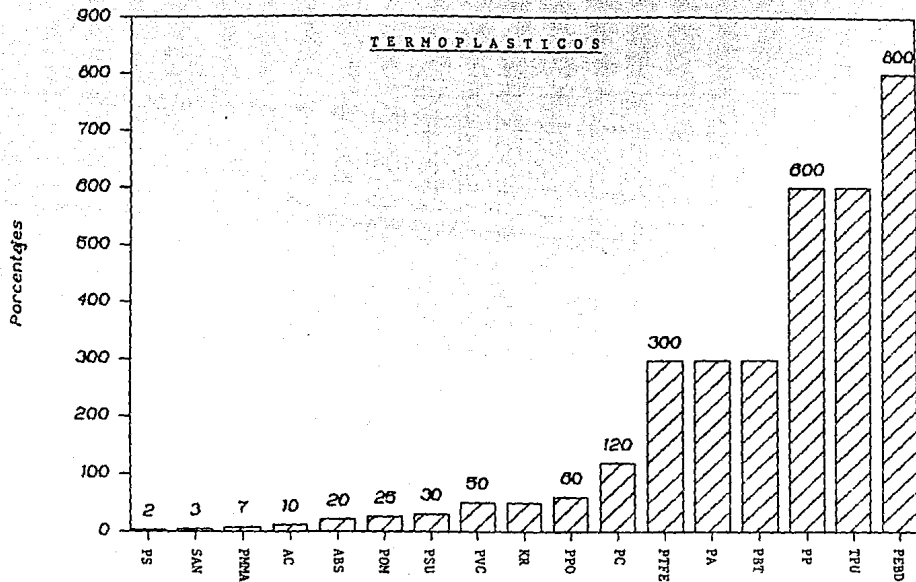
MODULO DE TENSION (ASTM-D638)

(Valores promedio)

Libras/pul² x (10000)

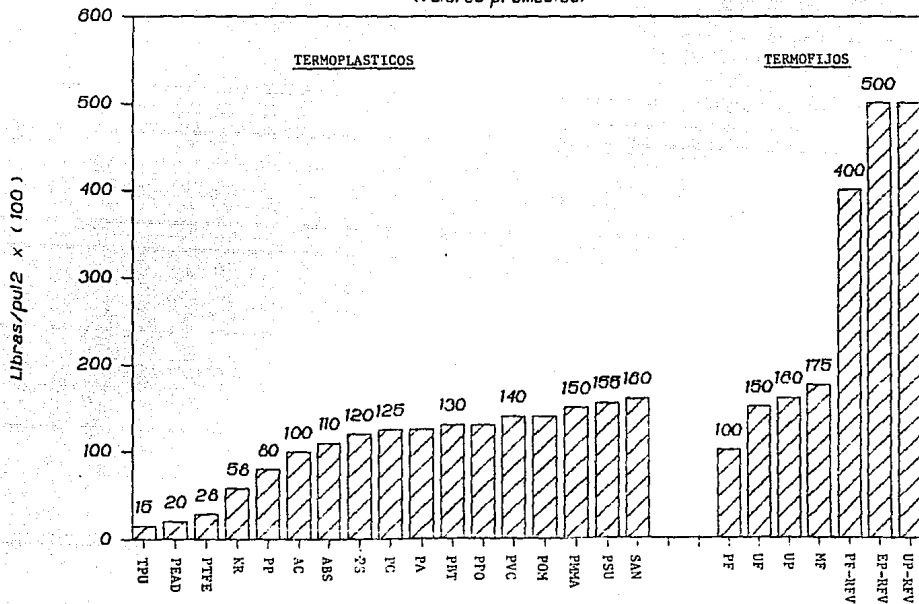


ELONGACION A LA ROTURA (ASTM-D638)



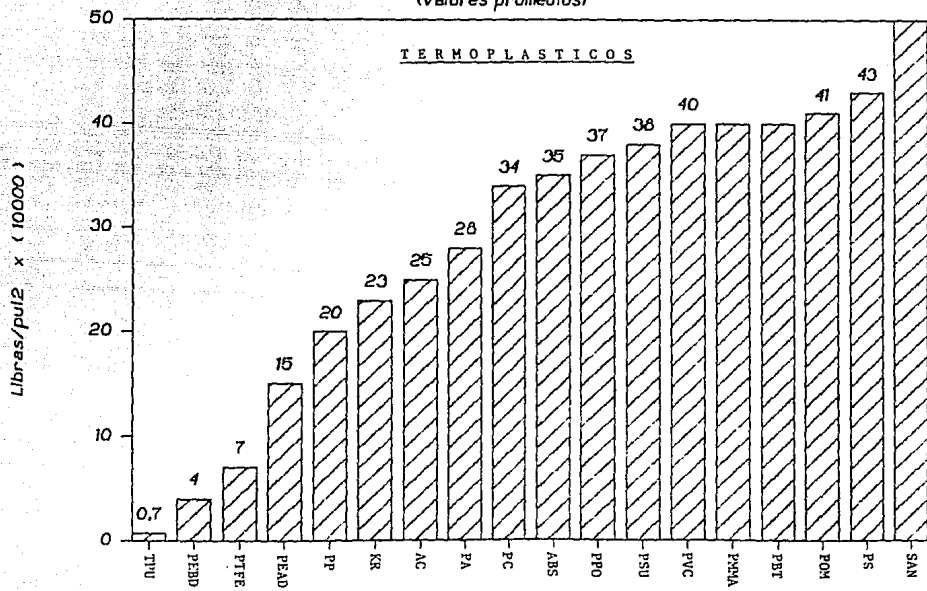
RESISTENCIA A LA FLEXION (ASTM-D790)

(Valores promedio)



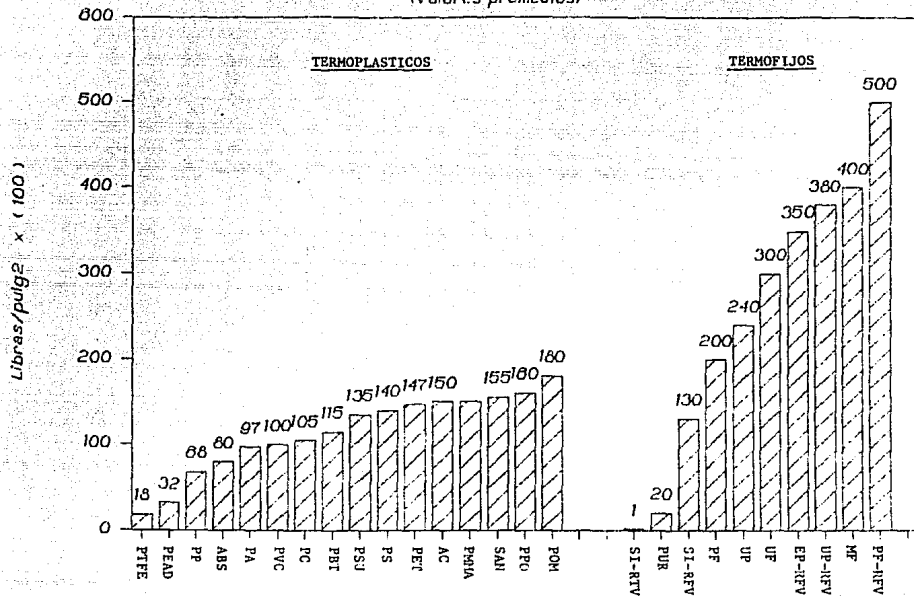
MODULO DE FLEXION (ASTM-D790)

(Valores promedio)



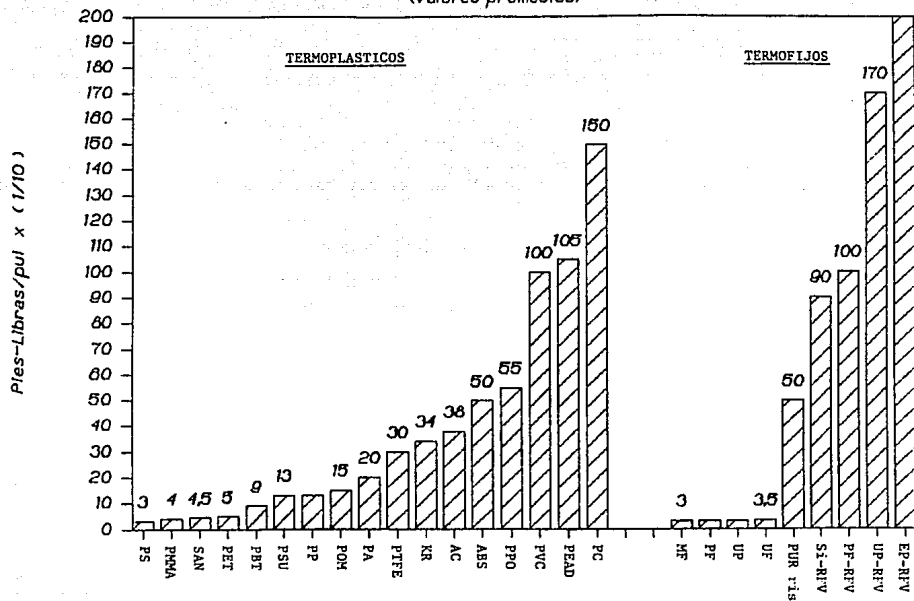
RESISTENCIA A LA COMPRESION (ASTM-D695)

(Valores promedios)



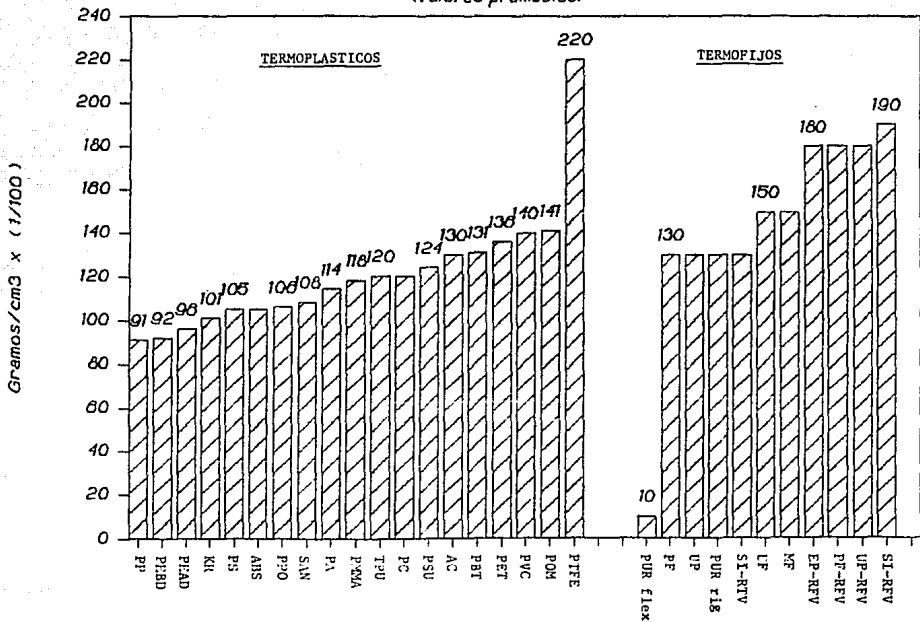
RESISTENCIA IMPACTO IZOD (ASTM-D526)

(Valores promedio)



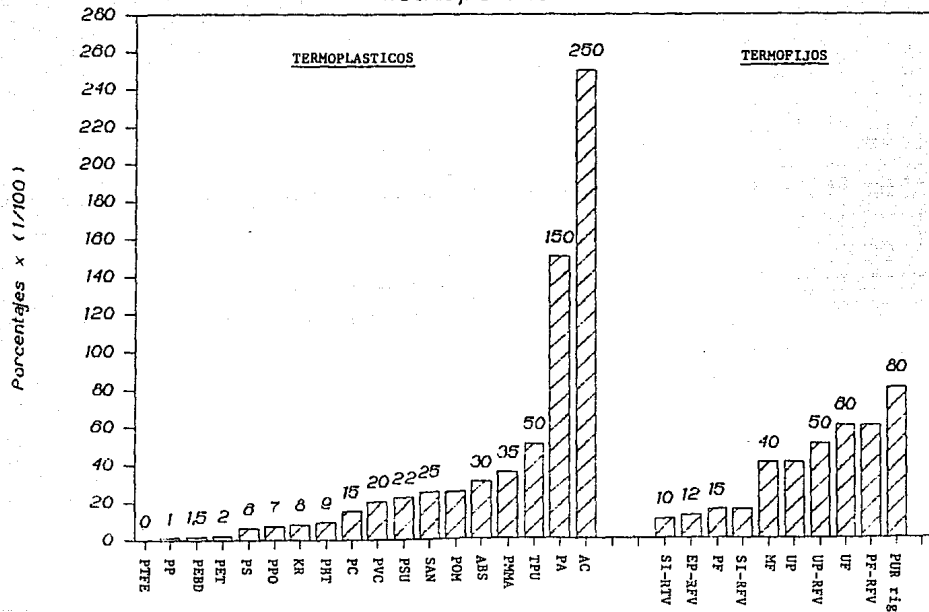
DENSIDAD (ASTM-D792)

(Valores promedio)

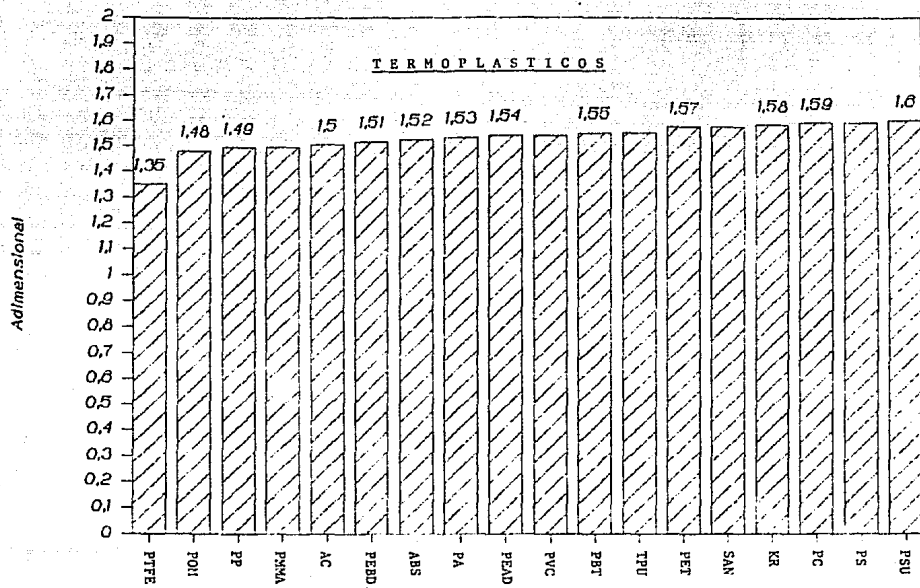


ABSORCION DE AGUA (ASTM-D570)

(Valores promedios a 23 C)

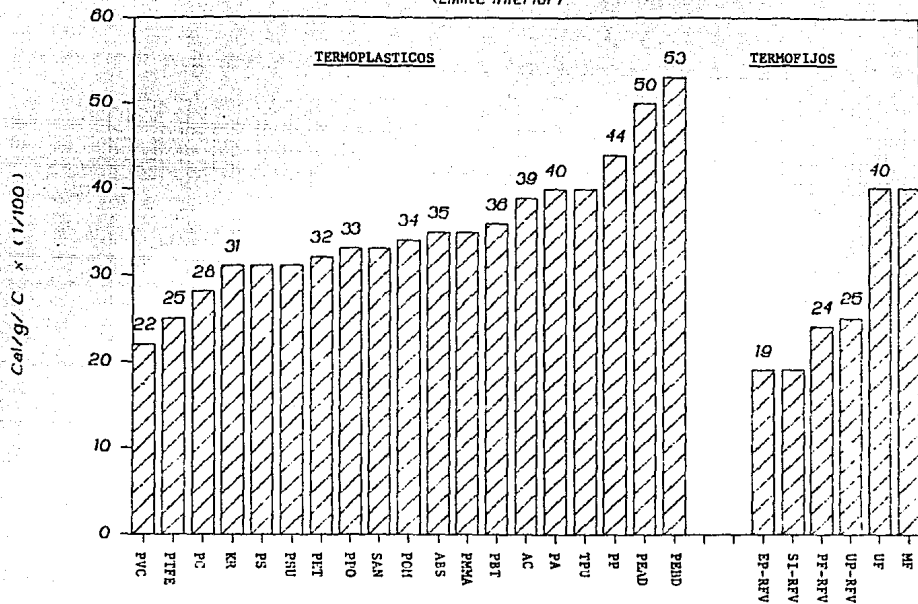


INDICE DE REFRACCION (ASTM-D542)



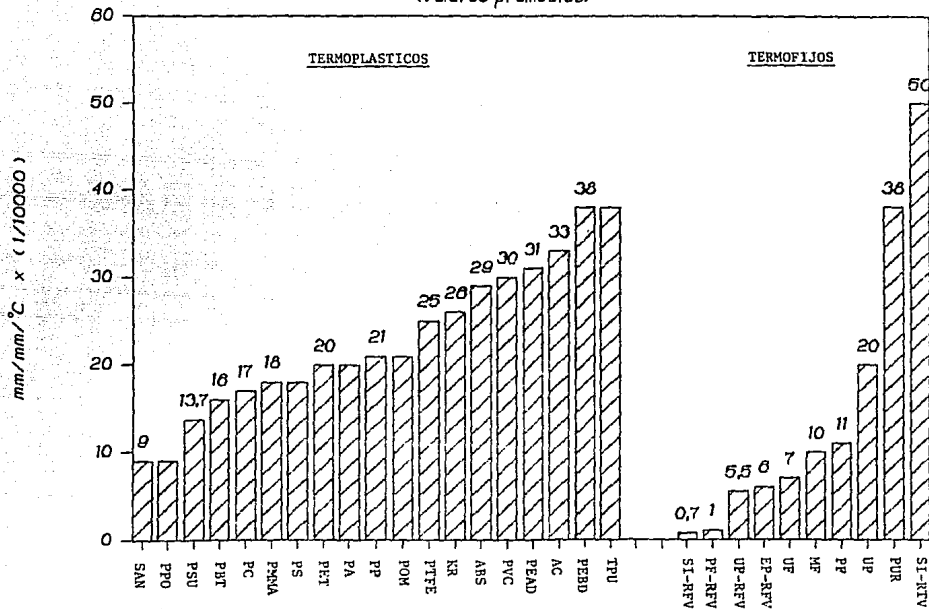
CALOR ESPECIFICO (ASTM-C351)

(Limite inferior)



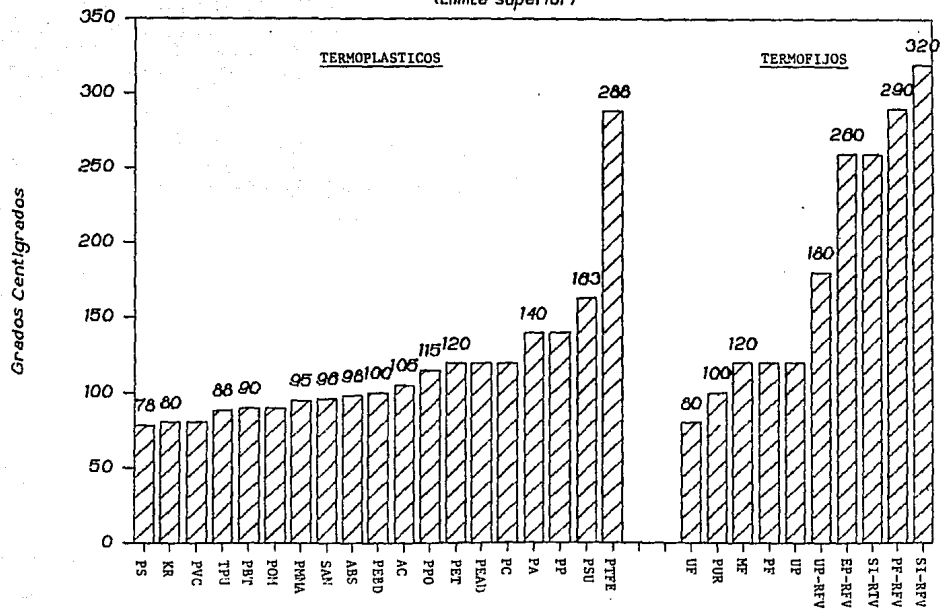
COEF. EXPANSION TERMICA (ASTM-D696)

(Valores promedio)



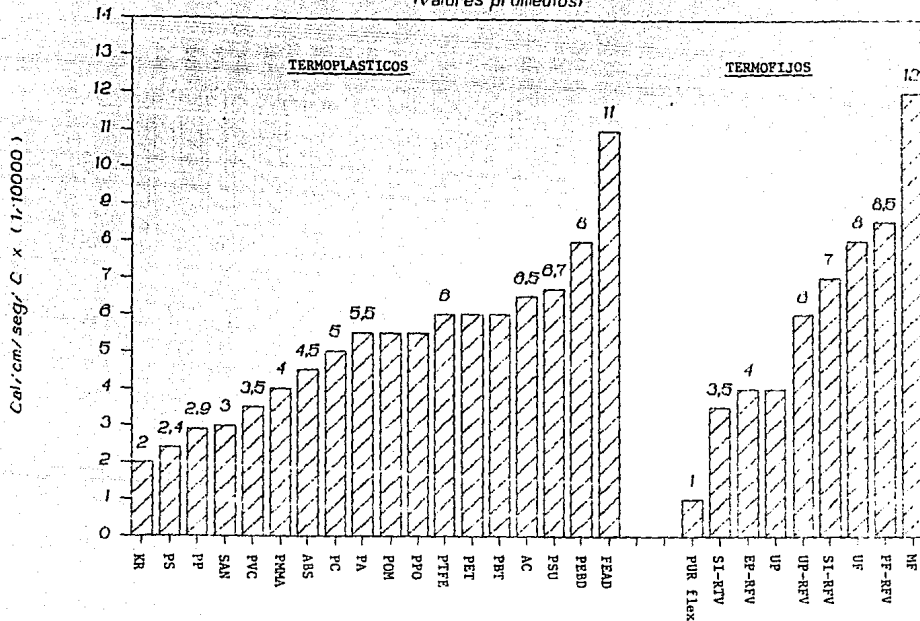
RESISTENCIA AL CALOR (ASTM-D257)

(Limite superior)



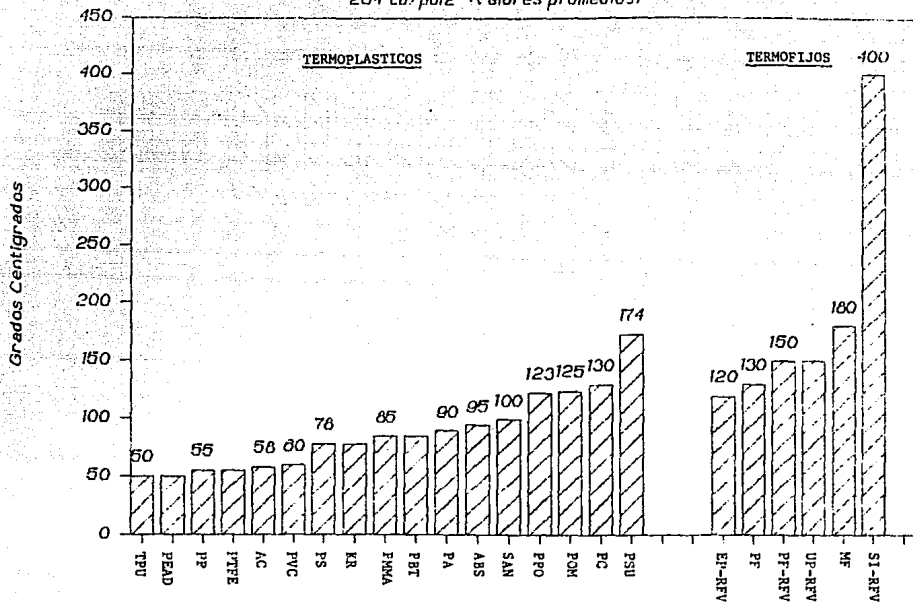
CONDUCTIVIDAD TERMICA (ASTM-C177)

(Valores promedio)



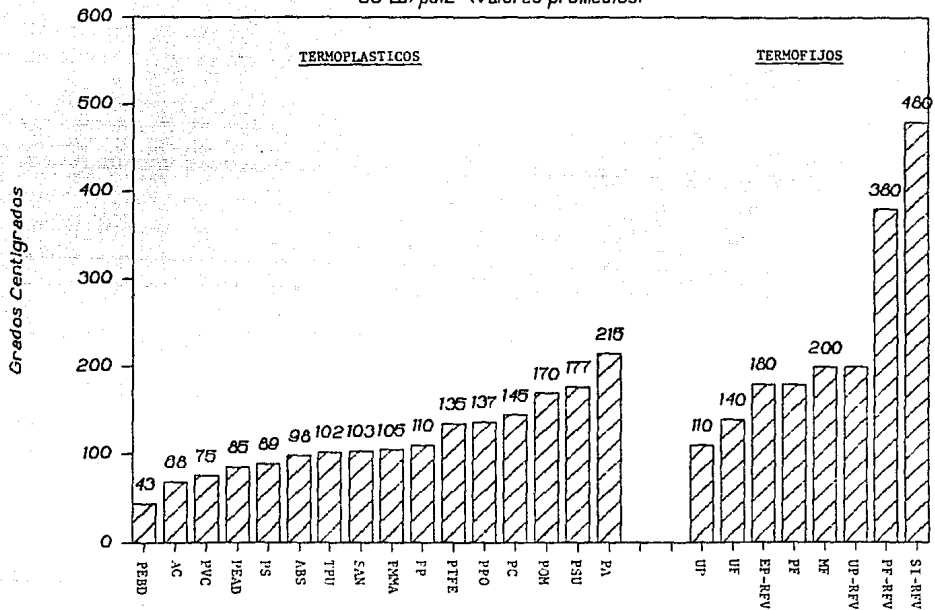
TEMP. DISTORSION BAJO CARGA (ASTM-D648)

204 Lb/pul2 (Valores promedios)



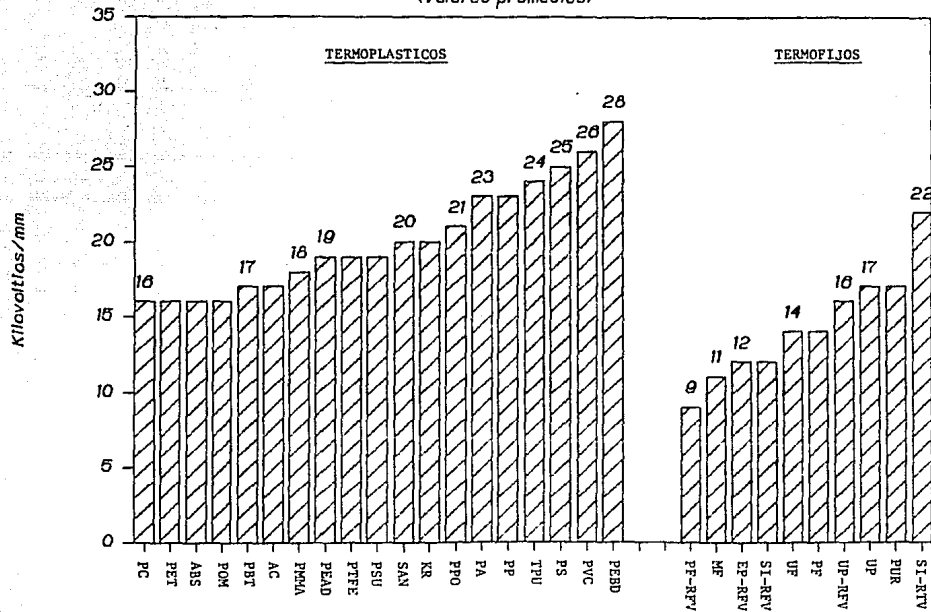
TEMP. DISTORSION BAJO CARGA (ASTM-D648)

66 Lb/pul2 (Valores promedios)

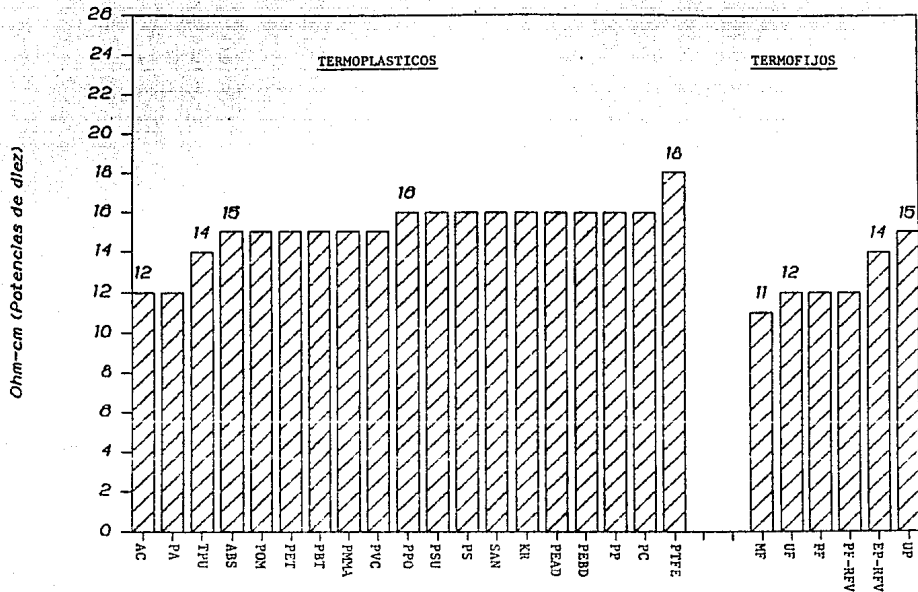


RESISTENCIA DIELECTRICA (ASTM-D149)

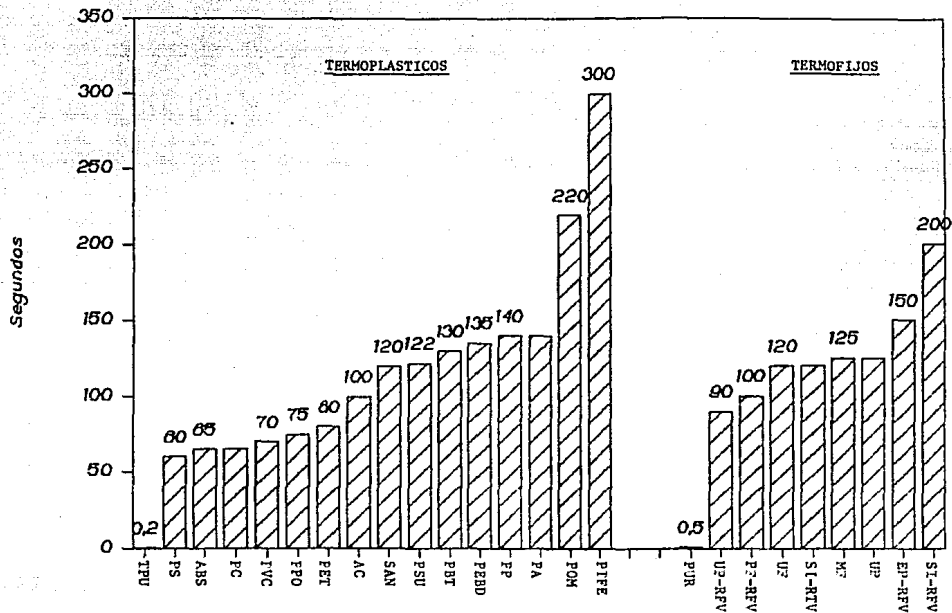
(Valores promedios)



RESISTIVIDAD DIELECTRICA (ASTM-D257)

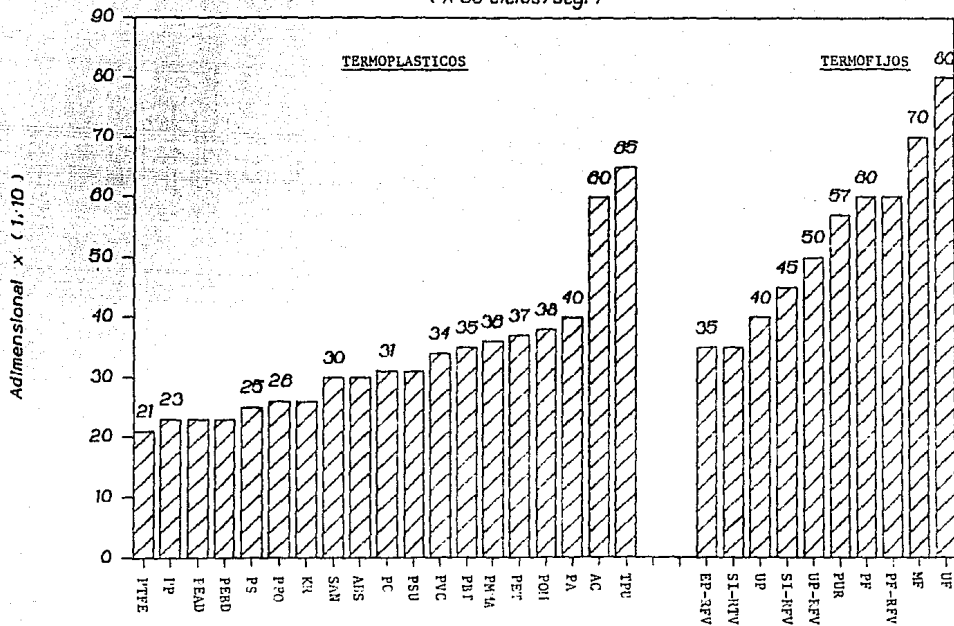


RESISTENCIA ARCO ELECTRICO (ASTM-D495)



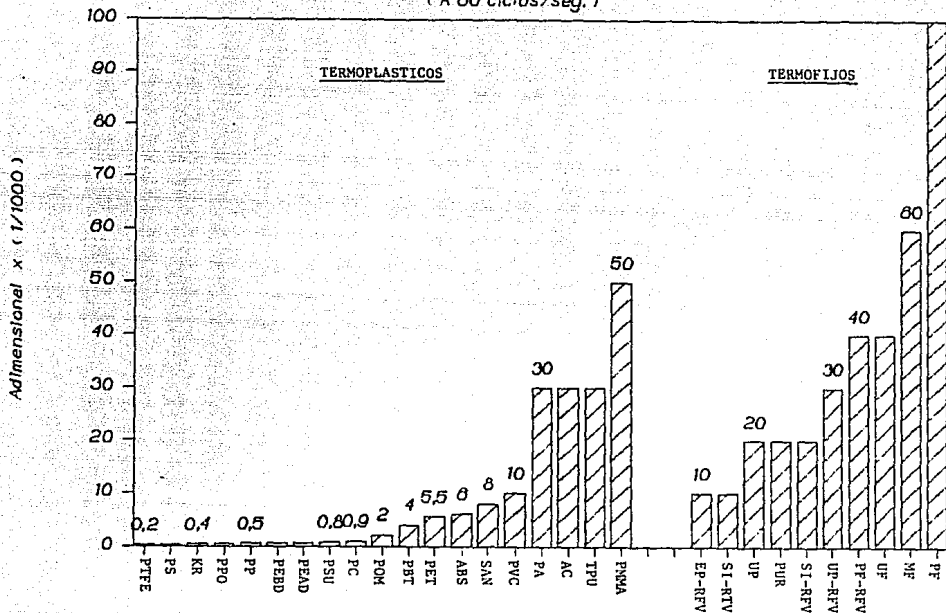
CONSTANTE DIELECTRICA (ASTM-D150)

(A 60 ciclos/seg.)



FACTOR DE DISIPACION (ASTM-D150)

(A 60 ciclos/seg.)



5. PROCESOS DE TRANSFORMACION DE PLASTICOS

El gran auge en el uso de los plásticos hoy en día no habría sido posible si no se hubieran desarrollado, a la par, las tecnologías de procesamiento de los mismos.

La gran versatilidad para la transformación de plásticos por procesos industriales hace posible la producción masiva de objetos moldeados, desde menos de un gramo hasta más de 100 kilogramos de peso; termoformado de planchas de hasta 16 m² de área; soplado de cuerpos huecos de hasta 20,000 litros de capacidad; extrusión de tuberías de hasta 1.5 metros de diámetro; extrusión de películas y planchas de hasta 8 y 3.5 metros de ancho, respectivamente. La longitud de estos productos extruidos está limitada sólo por las posibilidades de transportación.

Siguiendo la cadena de producción que va desde la materia prima hasta el producto terminado, los procesos de transformación de plásticos pueden dividirse en **Primarios** y **Secundarios**. En los procesos primarios, la materia prima se transforma ya sea en un producto acabado o en un producto semi-elaborado (intermedio). Por otro lado, en los procesos secundarios, la materia prima es un producto intermedio (por ejemplo, una lámina), que se transformará en un producto terminado. Los procesos relacionados con la decoración del producto también son considerados como procesos secundario.

La Tabla 5.1 muestra los procesos primarios y secundarios más importantes, los cuales analizaremos en el presente capítulo.

PRIMARIOS	SECUNDARIOS
Moldeo por inyección	Termoformado
" " extrusión	Maquinados
" " compresión	Pintado
" " transferencia	Estampado en caliente
" " soplado	Metalizado
" " expansión	Impresión
" " vaciado	Laminado
" rotacional	
Calandreado	
Procesos para plásticos reforzados.	

TABLA 5.1. Procesos de transformación de plásticos.

Otra forma de clasificar los procesos de transformación de plásticos es según los siguiente parámetros:

- A) De acuerdo a la presión de moldeo.
- 1) Procesos de alta presión: inyección, compresión, transferencia, soplado, etc.
 - 2) Procesos de baja presión: rotomoldeo, termoformado, vaciado, etc.
- B) De acuerdo a la forma de producción.
- 1) Producción intermitente: inyección, compresión, transferencia, soplado, rotomoldeo, termoformado, etc.
 - 2) Producción continua: extrusión, calandreado, poltrusión, laminado, etc.

Los procesos más importantes son: inyección, extrusión, soplado, rotomoldeo, compresión, transferencia y termoformado. Entre éstos se destaca, por ser uno de los usados, el moldeo por inyección.

La Tabla 5.2 presenta un análisis comparativo del costo del herramental (molde o dado), costo del equipo, velocidad de producción y volúmenes típicos de producción de varios procesos. Además, la Tabla 5.3 muestra plásticos que pueden transformarse por los procesos estudiados.

5.1 MOLDEO POR INYECCION. -

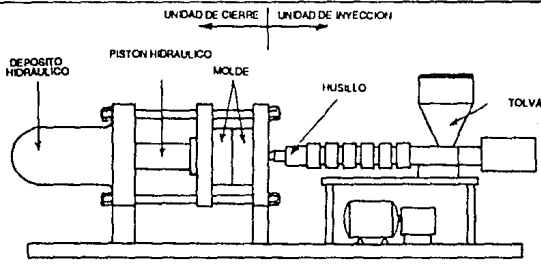


Fig. 5.1. Máquina de inyección. (Ref. 5).

El moldeo por inyección es uno de los procesos de producción más versátiles para convertir materias primas (principalmente termoplásticos) en productos moldeados, con configuraciones relativamente intrincadas, con buena exactitud dimensional y a altas velocidades de producción.

Tanto el costo del equipo como el del molde de inyección es elevado, por lo que el proceso de inyección sólo se recomienda para grandes volúmenes de producción.

- PROCESO.

PROCESO	COSTO EQUIPO	VELOCIDAD PRODUCCION	COSTO HERRAMENTAL	VOLUMEN DE PRODUCCION TIPICO (N°. DE PIEZAS)						
				10 ¹	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ⁶	10 ⁷
MATERIALES NO REFORZADOS										
Compresión	alto	mediana	alto							
Transferencia	alto	mediana	alto							
Inyección	alto	rápida	alto							
Extrusión	mediano	(continua)	bajo							
Rotomoldeo	bajo	lenta	bajo							
Soplado	mediano	mediana	mediano							
Termoformado	bajo	lenta	bajo							
Vaciado	bajo	muy lenta	bajo							
Expansión	alto	mediana	mediano							
MATERIALES REFORZADOS										
Inyección	alto	rápida	alto							
Picado a Mano		lenta	bajo							
Aspersión	bajo	lenta	bajo							
Compresión SMC	alto	mediana	alto							
Compresión BMC	alto	mediana	alta							
Pultrusión	bajo	(continua)	bajo							

TABLA 5.2 Analisis comparativo de costo del herramental, velocidad de producción y volúmenes de producción típico de procesos de transformación de plásticos (Ref. 5)

PROCESOS	TERMOPLASTICOS										TERMOFIJOS																		
	P M	A B	T F	P E	P O	P M	P C	P D	P A	P E	P Z	P T	P O	P F	P S	P U	P S	P V	P P	T P	S A	U F	H F	E P	U P	P P	P U	S R	
NO REFORZADO																													
Compresión																							*	*	*	*	*	*	*
Transferencia																							*	*	*	*	*	*	*
Inyección	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Extrusión	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Rotomoldeo	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Soplado	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Termoformado	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Vaciado	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Expansión																													
Calandreado																													
REFUERZO FV																													
Inyección	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Picado Manual o Aspersión																													
Moldeo Compresión (SHC, BCH)																													
Preforma																													
Prensado en frio																													
Embobinado de filamento																													
Potrusión																													

TABLA 5.3 PROCESOS DE TRANSFORMACION DE PLASTICOS. (REF-22).

El proceso básico del moldeo por inyección consiste en inyectar a alta presión una cantidad predeterminada (dosificada) de material plástico derretido dentro de un molde cerrado relativamente frío. El plástico se solidifica tomando la forma de la cavidad del molde; luego se abre éste y se retira el producto moldeado.

El proceso de inyección puede ser dividido en las siguientes operaciones:

- 1) Dosificación de una cantidad de gránulos de plástico ("Pellets") correspondiente al volumen del molde, en la tolva de alimentación de la máquina.
- 2) Fusión de este material dentro del cilindro de calentamiento de la máquina hasta alcanzar una consistencia viscosa apta para la inyección.
- 3) Inyección del plástico en el molde cerrado relativamente frío.
- 4) Enfriamiento del material inyectado hasta la solidificación que permita el desmoldeo del producto.
- 5) Apertura del molde y desmoldeo del producto

Los pasos anteriores quedan esquematizados en Fig. 5.2.

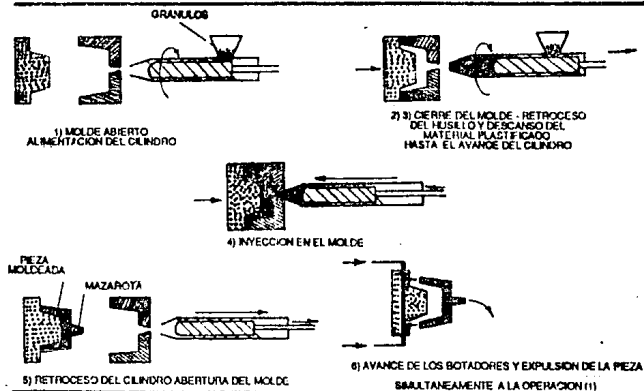


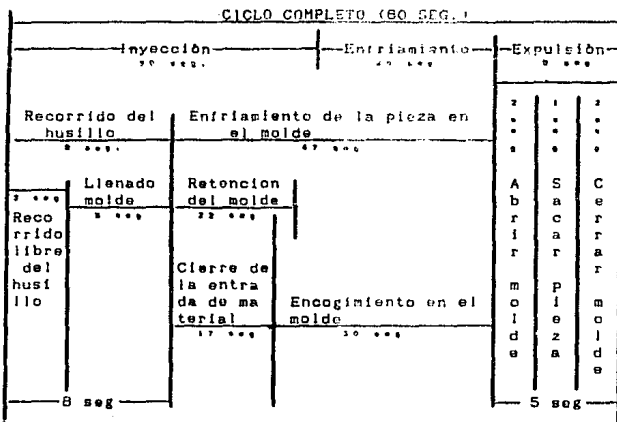
Fig. 5.2. Secuencia de operaciones típicas en el moldeo por inyección. (Ref. 4).

Esta secuencia de pasos en conjunto nos da lo que se conoce como TIEMPO DE CICLO, el cual puede ser reagrupado en los

siguientes cuatro elementos característicos de cualquier sistema de inyección:

- 1) Tiempo de inyección: el tiempo que toma forzando el material plástico dentro de la cavidad del molde.
- 2) Tiempo de rotención: el tiempo que la presión se mantiene sobre el material dentro de la cavidad del molde.
- 3) Tiempo de enfriamiento: el tiempo que necesita el material para enfriarse lo suficiente, de modo que pueda ser removido con seguridad de la cavidad del molde.
- 4) Tiempo muerto: el tiempo requerido para abrir el molde, retirar la pieza y cerrar el molde.

El siguiente diagrama nos muestra un análisis más detallado del tiempo de ciclo descrito anteriormente. Se ha tomado para la ejemplificación un tiempo de ciclo hipotético de 60 segundos (1 min.).



(Ref. 7)

Es importante observar en el análisis del tiempo de ciclo anterior que el tiempo real de inyección del plástico dentro del molde es sólo de 5 segundos, mientras que el tiempo de enfriamiento en el molde del producto es de 47 segundos.

- CARACTERISTICAS DE LA MAQUINA.-

Hay dos tipos básicos de máquinas de inyección, estos son: las de Pistón, y las de Husillo. Ambos tipos pueden tener

un cilindro de preplastificación. La diferencia principal entre estos dos tipos de máquinas es la manera en que la masa de plástico derretido (masa de moldeo) es forzada a través del cilindro de calentamiento y la cámara de inyección. En las máquinas de pistón, el material es forzado a través de zonas del cilindro progresivamente calientes, donde es distribuido por un torpedo, para luego introducirlo en la cavidad del molde. El torpedo está colocado en el centro del cilindro para acelerar el calentamiento de la parte central de la masa de moldeo, como se indica en la Fig. 5.3. Este tipo de máquinas son las más antiguas. Por otro lado, en las máquinas de husillo, los granulos de plásticos se derriten rápidamente por la acción de un tornillo giratorio (husillo, tornillo reciprocante, gusano) que va avanzando a medida que alimenta la masa de moldeo dentro del molde. En realidad, el husillo no es más que un extrusor, como se indica en la Fig. 5.3.

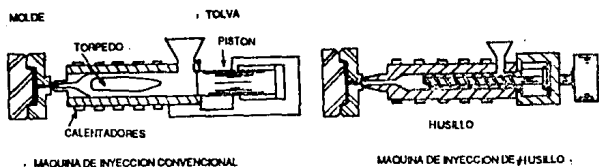


Fig. 5.3. Tipos de máquinas inyectoras. (Ref. 2).

Las máquinas de inyección de husillo tienen las siguientes ventajas sobre las de pistón:

- El derretido del plástico es más eficiente.
- Las mezclas de colores es más uniforme y más rápida.
- El tiempo de calentamiento del material es menor, lo que se traduce en ciclos de producción más cortos, con el consecuente aumento de productividad.

Las máquinas de inyección constan de dos secciones básicas: la Unidad de Cierre y la Unidad de Inyección (Ver Fig. 5.1).

La unidad de cierre es similar a una prensa, y tiene una doble función:

- 1) Poner en posición las dos mitades del molde donde y cuando sea necesario.

2) Aplicar una fuerza lo suficientemente grande para evitar la separación de las dos mitades del molde durante la inyección de la masa de moldeo. Esta fuerza la provee una prensa hidráulica o una de articulación mecánica. Las máquinas de inyección comerciales tienen unidades de cierre con fuerzas que oscilan en un rango desde menos de 2 TON. a más de 4000 TON. de cierre (1 TON = 10 Kilonewton, KN). Como regla de cálculo rápido, se necesitan 3.5 KN de fuerza de cierre por cada cm^2 de área de la cavidad del molde. En este sentido, el área que puede tener como máximo la superficie del molde para una máquina de 3000 KN de fuerza de cierre sera de:

$$\frac{3000 \text{ KN}}{3.5 \text{ KN/cm}^2} = 857 \text{ cm}^2$$

La unidad de inyección tiene como función derretir el plástico e introducirlo dentro del molde. La capacidad de inyección expresa la cantidad máxima que la máquina puede inyectar por ciclo. Esta se mide en cm^3 , en gramos u onzas. Para fines de especificación de la capacidad de inyección de una máquina se toma como estandar la inyección del Poliestireno para uso general. El valor teórico de la capacidad de inyección medida para este material es de 10 a 30% más alto que la capacidad real de la máquina. A la capacidad de inyección también se le conoce como Tamaño del tiro y Volumen calculado de barrido.

Hay máquinas de inyección para laboratorios con capacidad de inyección de 20 gramos (0.7 onzas). Máquinas de gran capacidad pueden llegar a tener un tamaño del tiro de más de 9000 gramos. Esto depende de la viscosidad del plástico.

Otros parámetros importantes de la unidad de inyección son la Capacidad de Plastificación y la Presión de Inyección. La primera, es la velocidad a la que los gránulos de plástico son derretidos, y se expresa en $\text{gr}/\text{seg.}$ o $\text{Kg}/\text{h.}$ la segunda, se refiere a la presión que debe soportar el molde durante la inyección del material, ésta puede variar desde menos de 7000 TON a más de 20000 TON.

Las máquinas de inyección comerciales son clasificadas de acuerdo a las capacidades de las dos unidades descritas anteriormente, esto es, en función de la capacidad de la unidad de inyección y de la capacidad de la unidad de cierre. Así, por ejemplo, una máquina cuya especificación técnica diga 840 $\text{gr}/300 \text{ TON}$ (840/300), tendrá una unidad de inyección capaz de disparar 840 gramos en un solo tiro de PS uso general, y una unidad de cierre que puede desarrollar una fuerza de 300 toneladas sobre las mitades del molde.

De acuerdo a la capacidad de la unidad de cierre, las máquinas de inyección pueden ser clasificadas de la siguiente manera:

TIPO	TON. DE CIERRE
Pequeñas	< 150
Medianas	150 a 750
Grandes	> 750

- CONSIDERACIONES REOLOGICAS. -

La Reología es la ciencia que estudia el flujo y la deformación de los materiales. Mediante los datos obtenidos de un estudio reológico, podemos conocer las condiciones técnicas de flujo de los plásticos, parámetro de singular importancia para determinar la procesabilidad de los mismos.

La propiedad de un líquido que describe su resistencia interna al flujo se conoce como VISCOSIDAD (η). Mientras más lento sea el flujo del líquido, mayor es su viscosidad. Esta se mide Pascal/seg., Kg/m/seg., o en unidades denominadas Poises. La Tabla 5.4 presenta los valores de viscosidad para algunos materiales.

MATERIAL	VISCOSIDAD [CENTIPOISES]
Agua	1
Aceite de motor	10 a 100
Glicerina	1000
Melazas	100,000
Plástico fundido	< 10^3 a > 10^7
Brea	10^{12}

1 Centipoise = 0.01 Poise

TABLA 5.4. Viscosidad de algunos materiales. (Ref. 10).

La viscosidad de un plástico es influenciada por los siguientes factores:

- cargas y refuerzos presentes en el plástico.
- solventes
- plastificantes
- grado de polimerización
- densidad
- grado de dispersión de las moléculas del polímero
- temperatura, etc.

La Fig. 5.4 presenta la tendencia de la viscosidad al variar algunos parámetros, como son el Peso Molecular y la temperatura.

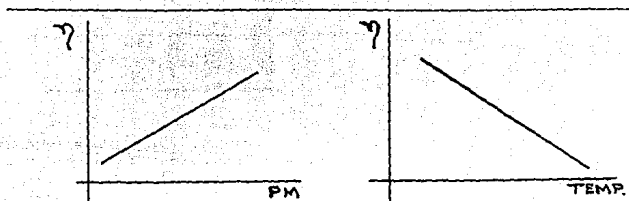


Fig. 5.4. Efecto de la variación del Peso Molecular y la Temperatura sobre la viscosidad de un plástico. (Ref. 19).

Profundizando en el concepto de viscosidad, al aplicar una fuerza cortante a un fluido, se genera un deslizamiento de las capas del mismo, produciendo de este modo un flujo, como se indica en la Fig. 5.5. De acuerdo a esto, la viscosidad del fluido es la resistencia al corte.

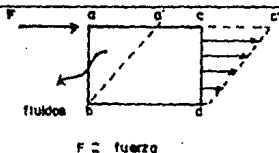


Fig. 5.5. Viscosidad de un fluido.

Si dividimos la fuerza cortante (F) entre el Área (A) de la capa superior del fluido donde se aplica la fuerza, obtendremos el esfuerzo cortante (τ):

$$\tau = F/A$$

Como puede notarse en la Fig. 5.5 al aplicarse la fuerza hay una deformación angular del fluido: a se traslada a a' y c a c' ; la rapidez con que se produce este movimiento, o sea, la rapidez con que una capa de fluido se mueve con respecto a la otra, se le conoce como la VELOCIDAD DE DEFORMACION ANGULAR, o más bien, VELOCIDAD DE CORTE ($\dot{\gamma}$). Se expresa en recíproco de segundo (Seg^{-1}).

Los parámetros anteriores sirven para describir la Ley de Newton de la viscosidad, la cual es similar a la Ley de Hooke para los sólidos elásticos, y establece que la magnitud del esfuerzo cortante es proporcional a la velocidad de corte resultante; esto es:

$$\tau = (\eta)(\dot{\gamma})$$

En esta relación, la constante de proporcionalidad (η) es la viscosidad del fluido. Según que cumplan o no esta relación, los fluidos son clasificados como newtonianos y no newtonianos, respectivamente. Los plásticos pertenecen al segundo grupo.

Para fines de diseño, lo que nos interesa es conocer la relación de los parámetros reológicos descritos con la procesabilidad de los plásticos. Un indicador de la procesabilidad de un plástico es la Razón de Viscosidad, la cual se determina en los laboratorios sometiendo el plástico a varias velocidades de corte y dividiendo las viscosidades obtenidas para cada una; a mayor Razón de viscosidad corresponde mayor facilidad de procesamiento del material.

De la Ley de Newton podemos deducir que la viscosidad disminuye con el aumento de la velocidad de corte. Cada proceso necesita de una relación viscosidad-velocidad de corte específica, como se muestra en la Fig. 5.6.

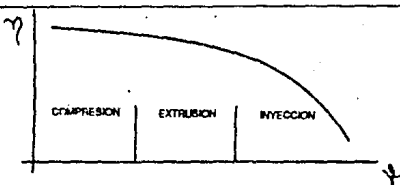


Fig. 5.6. Relación entre la viscosidad y la velocidad de corte según el proceso de transformación de plásticos.

Como puede notarse en la figura, el moldeo por inyección requiere mayor velocidad de corte y menor viscosidad que los otros procesos señalados.

Otro parámetro utilizado para medir la procesabilidad de un plástico es el INDICE DE FLUJO o "Melt Flow Index" (MFI); el cual es una medida de la velocidad de extrusión de un termoplástico derretido a través de un dado estandarizado de un aparato llamado Plastómetro, bajo condiciones de presión y temperatura prestablecidos según la norma ASTM-D1238. Para medir dicho índice se toma la cantidad en gramos de material que atraviesa el orificio del dado durante 10 minutos; el resultado se expresa en g/10 min. Un alto índice de flujo indica un plástico de baja viscosidad y, por consiguiente, más fácil de procesar. Este índice depende del Peso Molecular del polímero; los plásticos con un alto Peso Molecular son más resistentes al flujo. La Fig. 5.7 presenta la relación entre el Índice de Flujo, el Peso Molecular y la procesabilidad del plástico.

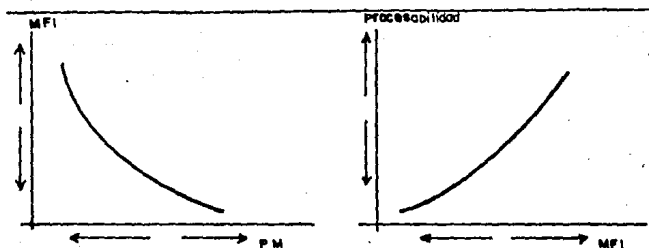


Fig. 5.7. Relación entre el índice de flujo, el Peso molecular y la procesabilidad de un plástico. (Ref. 19).

Como hemos visto, las características de flujo de un plástico dependen en un alto grado de su Peso Molecular, o, más bien, de su distribución de pesos moleculares. Esta relación queda mejor explicada mediante la POLIDISPERSIDAD DEL POLIMERO.

La Polidispersidad es una medida del grado de dispersión de las moléculas que forman un polímero. Viene dada por el cociente entre el Peso Molecular Promedio (PM_p) y el Peso Molecular Número Promedio (PM_n). Esto es:

$$\text{Polidispersidad} = \frac{PM_p}{PM_n}$$

El Peso Molecular Promedio se comentó ampliamente en el Cap. 1. En cuanto al Peso Molecular Número Promedio, es una medida del número promedio de moléculas que forman el polímero.

Para ejemplificar estos conceptos, supongamos que tenemos dos polímeros, A y B, con las distribuciones de pesos moleculares que se indican en la Fig. 5.8.

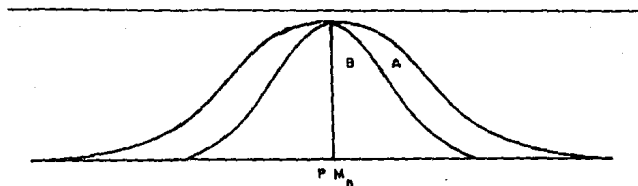


Fig. 5.8. Distribución de Pesos moleculares de dos polímeros.

Los polímeros A y B tienen el mismo PM_w ; pero, el PM_n de A es mayor que el PM_n de B. Por lo tanto, la polidispersidad de A es mayor que la de B. Esto significa que aún teniendo los dos polímeros el mismo número promedio de moléculas, en el polímero B éstas se encuentran más empaquetadas que en el polímero A, donde están más dispersas. Esto se traduce en una mayor facilidad de procesamiento del polímero A, puesto que al tener sus moléculas más dispersas fluye más rápido al aplicarse calor. Por el contrario, en el polímero B se necesita más energía para romper el empaquetamiento de sus moléculas y lograr el flujo del material. Por lo tanto, al aumentar la polidispersidad de un polímero aumenta su procesabilidad, como se indica en la Fig. 5.9.



Fig. 5.9. Relación entre la polidispersidad y la procesabilidad de un polímero.

- CONSIDERACIONES SOBRE EL MOLDE DE INYECCION.-

La calidad de producto de plástico moldeado depende en gran medida del molde utilizado.

La selección del molde para un determinado producto a fabricar se basa en criterios de rentabilidad; ésta depende, a su vez, de los siguientes parámetros:

- especificaciones de diseño del producto
- costos de fabricación del molde
- tiempo de ciclo
- volumen de producción

Un molde de inyección típico consta de dos partes: la cavidad y el corazón o núcleo; las cuales se fijan sobre los platos portamoldes de la unidad de cierre de la máquina de inyección, como se indica en la Fig. 5.10.

El molde va provisto de un Mecanismo de expulsión, formado por botadores, que retiran la pieza durante la fase de desmoldeo. La línea por donde se separan las dos mitades del molde recibe el nombre de Línea de Separación o Plano de Separación. Otras partes importantes del molde de inyección son: los canales de enfriamiento, el sistema de calentamiento y el sistema de ventilación. Por lo general, el molde se fabrica a base de aleaciones de acero.

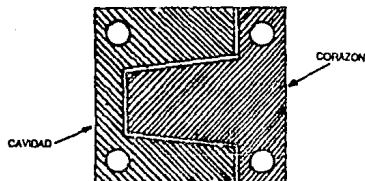


Fig. 5.10. Cavidad y corazón de un molde de inyección.

En el diseño del molde, cada una de las partes señalada anteriormente requiere atención especial; por lo que es una tarea de personas con mucha experiencia en este trabajo o de especialistas.

Las funciones del molde son las siguientes:

- recibir la masa de masa de plástico derretido
- distribuirla
- darle forma de acuerdo a la cavidad
- enfriarla y solidificarla
- expulsar el producto moldeado

De acuerdo al número de cavidades, el molde puede ser sencillo o múltiple. El número de cavidades depende de:

- peso del material de inyección
- volumen de la pieza a inyectar
- capacidad de plastificación de la unidad de inyección
- capacidad de la unidad de cierre

Una manera rápida y sencilla de calcular el valor teórico máximo de cavidades de un molde (N), es mediante la siguiente relación:

$$N = \frac{\text{Capacidad de inyección de la máquina (cm}^3\text{)}}{\text{Volumen de la pieza (cm}^3\text{)}}$$

Este valor es sólo teórico y no puede emplearse tal cual en la práctica, ya que no satisface ninguna exigencia de calidad del producto. Sin embargo, este valor puede corregirse con un factor de seguridad de 0.8, obteniéndose un valor más exacto del número más probable de cavidades, esto es, 0.8N.

Así, por ejemplo, si una máquina tiene una capacidad de inyección de 150 cm³, y la pieza tiene un volumen de 10 cm³, el número teórico de cavidades es:

$$N = \frac{150}{10} = 15$$

Aplicando el factor de corrección, obtenemos un valor más preciso del número de cavidades:

$$N = 0.8 \times 15 = 12$$

Los parámetros indicados anteriormente para determinar el número de cavidades del molde se basan en magnitudes exclusivas de la máquina. No nos dice nada sobre la rentabilidad de tal solución. El número de cavidades más rentables viene dado por los siguientes parámetros:

- tiempo de ciclo de producción
- costo de la máquina
- costo de la mano de obra
- costo del material
- costo del molde
- costo de una cavidad
- volumen de producción, etc.

Las Fig. 5.11 muestra la relación entre algunos de los parámetros de costos ya señalados.

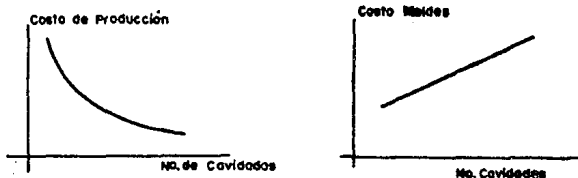


Fig. 5.11. Relación entre diferentes parámetros de costos y el número de cavidades del molde de inyección. (Ref. 19).

El tiempo de ciclo de moldeo está muy relacionado con el tiempo de enfriamiento del material, como vimos en el análisis del tiempo de ciclo. Algunos termoplásticos permiten el uso de moldes fríos, lo que conlleva al acortamiento del tiempo de ciclo. Otros termoplásticos, particularmente los de estructura cristalina, requieren el uso de moldes precalentados, con lo que se obtiene tiempos de ciclo más largos. Por otro lado, en el moldeo de termofijos se requiere que los moldes sean calentados a vapor, para permitir un curado apropiado del material. Por esta razón es que los termofijos tienen mayor tiempo de ciclo de producción que los termoplásticos.

La complejidad del molde puede variar en función del volumen de producción y de la inversión de capital necesaria. Aten-

diendo al grado creciente en complejidad y costos, los moldes pueden clasificarse en:

1) **Moldes de dos placas.**- Es el tradicional molde sencillo de dos mitades, con la cavidad en una placa y el núcleo en la otra. En estos moldes, al efectuarse el desmoldeo, la mazarota o canal del bebedero, queda adherida al producto moldeado, requiriéndose una operación posterior de acabado. (Ver Fig. 5.12).

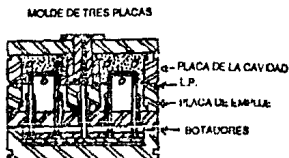


Fig. 5.12. Molde de dos placas.

2) **Moldes de tres placas.**- Esta provisto de tres placas y dos planos de separación. Una de las placas permanece fija y las otras dos son móviles. La placa fija aloja la pieza moldeada y los mecanismos de expulsión de la misma; las placas móviles conforman los canales de llenado del molde. Este tipo de diseño de molde hace posible la separación de la mazarota de la pieza al desmoldarla. (Fig. 5.13).

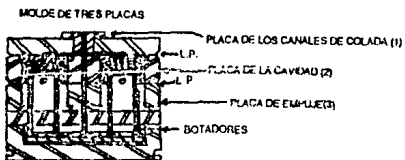


Fig. 5.13. Molde de tres placas.

3) **Moldes de colada caliente.**- Estan provisto de un dispositivo que mantiene siempre caliente en el bebedero la masa de plástico derretido (colada), para que permanezca siempre

fluida. Esto evita la necesidad de separación de mazarota, puesto que no se produce ninguna. Este tipo de moldes ofrecen una solución óptima para reducir el desperdicio de material y mantener la colada a la temperatura requerida para su elaboración, obteniéndose piezas de alta calidad, Fig. 5.14.

MOLDE DE COLADA CALIENTE

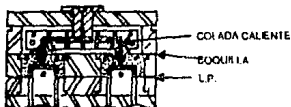


Fig. 5.14. Molde de colada caliente.

- PARAMETROS PARA EL MOLDEO POR INYECCION DE TERMOPLASTICOS.-

La Tabla 5.5 siguiente presenta las condiciones para el molde de los principales termoplásticos .

	PRESION DE INYECCION (en bars)	TEMP. DE INYECCION (°C)	TEMP. DEL MOLDE (°C)	CONTRACCION %	PRECALENTAMIENTO (°C)
PVC rig.	1000-1800	170-210	30-60	0.2-0.5	
PS	500-1000	160-250	20-50	0.2-0.6	70-80
SB	500-1000	160-250	50-70	0.7	70-80
SAN	500-1000	200-260	40-80	0.5-0.6	70-80
ABS	500-1000	180-240	50-85	0.4-0.7	75-85
PMMA	400-1500	200-250	50-90	0.3-0.8	70-100
PEBD	500	180-240	20-50	1.5-3.5	
PEAD	1200-1500	240-300	50-70	2-4	
PP	1000-1500	170-270	50-100	0.8-2.0	
AC	800-1200	165-190	40-70	0.4-0.7	80
PA	500-1000	210-290	30-120	0.9-2.2	80
PET	1000	250	30-140	0.7-1.0	75-90
PBT	1000-1700	230-270	30-60	1.0-2.0	120-160
TPU	400-1000	180-200	20-90	1.0-2.0	100-110
PC	800-1200	280-320	80-120	0.2-0.8	120-130
POM	800-1700	180-230	50-120	1.0-3.5	
PPD	1000-1400	260-350	75-100	0.5-0.7	110
PSU	1200	330-400	100-160		120-130

TABLA 5.5. Parámetros para inyección de termoplásticos (Ref 4)

- PROBLEMAS EN LA INYECCION DE PLASTICOS.-

FALLA	CAUSAS POSIBLES
-Coloración par- duzca general o por franjas.	-Temperatura del material muy alta
-Ampollas	-Humedad del material -Temperatura del material muy alta
-Puntos oscuros	-Cuerpos extraños y sucios en el material -Temperatura del material muy alta -Quemaduras provocadas por aire atrapado en el molde
-Marcas de depre- siones superfi- ciales	-Temperatura del material muy alta -Volumen de inyección muy bajo -Presión de inyección muy alta -Presión de retención del material en el molde muy pequeña -Escape inadecuado del aire del molde
-Formación abun- dante de rebabas	-Material demasiado caliente -Volumen de inyección muy alto -Presión de inyección muy alta -Desgaste del molde -Presión de cierre muy baja -Temperatura del molde muy alta -Plano de separación del molde mal dise- ñado
-Moldeados cortos (pieza no inyec- tada completa- mente)	-Temperatura del material muy baja -Volumen de inyección muy bajo -Velocidad de inyección muy baja -Presión de inyección muy baja -Presión de retención muy pequeña -Canales de llenado del molde muy peque- ños -Aire atrapado en el molde -Temperatura del molde muy baja
-Mal acabado	-Molde demasiado frío -Presión de inyección muy baja -Exceso de lubricante en el molde -Mal acabado superficial del molde
-Marcas superfi- ciales	-Material muy frío -Molde muy frío -Velocidad de inyección muy baja -Flujo no balanceado de material en los canales de flujo

- COINYECCION. -

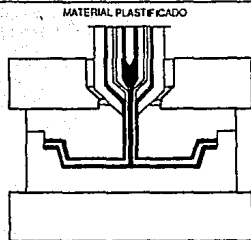


Fig. 5.15. Moldeo por coinyección. (Ref. 26).

El moldeo por coinyección es un proceso mediante el cual se inyectan dos o más materiales dentro de la cavidad de un molde, como se indica en la Fig. 5.15. Por lo general se utiliza para producir artículos con piel integral en las superficies que están en contacto con las paredes del molde, y con un corazón celular en su parte central. Usualmente, la presión de inyección no sobrepasa los 15000 Lb/pul².

Algunos artículos moldeados por este proceso son:

- partes automotrices
- carcazas de equipos de oficinas y electrodomésticos
- componentes de muebles, etc.

- MOLDEO DE INYECCION POR REACCION (RIM). -

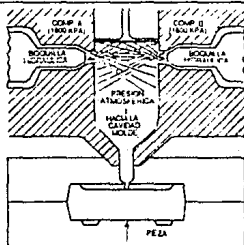


Fig. 5.16. Moldeo de inyección por reacción, RIM. (Ref. 26).

El moldeado de inyección por reacción, conocido popularmente como RIM (Reaction Injection Molding), consiste en mezclar, a alta presión y a contracorriente dentro de una cámara mezcladora, dos o más compuestos químicos líquidos que se polimerizan rápidamente, e inyectar inmediatamente esta mezcla dentro de un molde cerrado, como se indica en la Fig. 5.16. Actualmente este proceso se utiliza para moldear sólo poliuretanos; pero, existe la posibilidad de utilizar otros compuestos, tales como los políesteres insaturados, las epóxicas, y los nylons. De este modo se obtienen productos moldeados de espuma estructural o con núcleo celular. Los sectores de la industria que más utilizan este proceso son el automotriz y el de muebles. Aplicaciones típicas son las defensas delanteras y traseras de automóviles, guardafangos, cofres, mobiliario escolar, etc.

Los moldeos de RIM están limitados únicamente por el tamaño del equipo; hay máquinas capaces de moldear 300 Kg de mezcla en un solo tiro. La presión requerida para cerrar el molde es mucho menor que las de las máquinas de inyección convencionales, como se indica en la Tabla 5.7 donde se comparan otros parámetros de estos dos procesos.

	INYECCION	R.I.M.
Temperatura del material	200 - 300 °C	40 - 60 °C
Temperatura del molde	60 - 90 °C	50 - 70 °C
Presión	300 - 1200 bars	1 - 10 bars
Tiempo de desmoldeo	2 - 3 min.	0.6 - 2 min
Variación de la sección	No limitado	Limitado
Consumo de energía	Muy elevado	Poco

TABLA 5.7. Comparación entre el RIM y el moldeado por inyección convencional. (Ref. 4).

Además, los polímeros moldeados por RIM pueden reforzarse; cuando es así, se le denomina RRIM (Reinforced RIM).

5.2 EXTRUSION.-

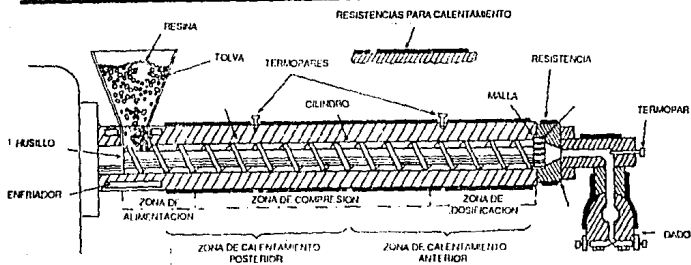


Fig. 5.17. Máquina extrusora. (Ref. 26).

La extrusión es un proceso de producción continuo en el cual se hace pasar a presión a través de un dado o cabezal, una masa de plástico derretido, obteniéndose los siguientes productos:

- Películas (espesor menor de 0.8 mm)
- Planchas (espesor mayor de 0.8 mm)
- Perfiles
- Tuberías
- Monofilamentos (diámetro desde 0.12 a 1.5 mm)
- Recubrimiento de cables

El elemento principal de la extrusora es el husillo. Su función es derrotir y mezclar el material y forzarlo a través del dado.

Las características de un husillo son:

- su diámetro, D
- la relación entre su longitud y el diámetro, L/D .
- su velocidad de giro
- configuración geométrica de la espiral, esto es, profundidad y ancho del filete, paso entre filetes, etc.

Una relación L/D de 20/1, podría ser un husillo de 50 mm de diámetro y 1000 mm de longitud. Otras relaciones de husillo utilizadas son 16/1 y 40/1.

Otra parte importante del extrusor es el cilindro o barril, el cual está dividido en tres zonas: alimentación, compresión y dosificación; como se indica en la Fig. 5.17. A medida que el material va avanzando por cada una de estas zonas se va produciendo un cambio de estado del mismo, desde sólido (gránulos) hasta masa fundida en la zona de dosificación. Este cambio de estado se produce por el calor de fricción generado al girar el husillo, derritiendo parcialmente el material. Además, el barril viene provisto de un sistema de calentamiento externo que ayuda a fundir el material y mantener fija la temperatura una vez que el proceso ha comenzado.

Algunos termoplásticos requieren de diseños especiales de husillos para su procesamiento. También hay extrusoras de doble husillo, con los que se obtiene una mezcla más uniforme del material y una mayor capacidad de extrusión.

En la Tabla 5.8 siguiente presentamos las consideraciones que deben de tomarse en cuenta con los dos parámetros del proceso de extrusión descritos anteriormente:

PARAMETRO	CONSIDERACIONES
HUSILLO	<ul style="list-style-type: none"> -Velocidad de giro: normales: ≤ 150 RPM rápidas : > 150 RPM -Relaciones comunes de L/D: 40/1, 20/1, 25/1. -Al aumentar la longitud del husillo, o la relación L/D, aumenta el efecto del calor sobre el material, la velocidad de giro y la producción de la máquina; aumentando a su vez la potencia de accionamiento. -La refrigeración del husillo disminuye la producción, por lo que debe usarse sólo cuando sea imprescindible. -El husillo debe soportar sin problemas los esfuerzos de torsión y flexión, y ser resistentes al desgaste. -La configuración geométrica del husillo depende del material a transformar. -Para obtener productos extruidos de alta calidad debe mantenerse a todo lo largo del husillo los gradientes de temperatura y la variación de fluidez especificados para cada plástico.
CILINDRO	<ul style="list-style-type: none"> -Debe ser lo suficientemente rígido para soportar presiones de hasta 700 Kg/cm² -Debe aguantar temperaturas de hasta 400 °C. -Debe ser resistente al desgaste y la corrosión. -Se obtiene un mejor impulso del material cuanto mayor sea la fricción entre éste y las paredes del cilindro. -Debe estar provisto con un sistema de refrigeración adecuado. El calentamiento excesivo del cilindro entorpece el proceso de extrusión, puesto que se produce una degradación térmica de las capas de plásticos cercanas a su superficie.

TABLA 5.8. Consideraciones sobre el husillo y el cilindro de un extrusor. (Ref. 30).

Las extrusoras se venden en función del diámetro del husillo y de la cantidad de material que pueden procesar por minutos u horas. La capacidad de extrusión para el polietileno de baja densidad puede variar desde menos de 2 Kg a más de 5000 Kg por hora. Los diámetros de husillo varían desde 25 mm hasta más de 800 mm.

- CONSIDERACIONES REOLOGICAS.-

Las consideraciones reológicas que se hicieron para el molde por inyección son completamente aplicables al proceso de extrusión.

- CONSIDERACIONES SOBRE EL DADO.-

El dado o cabezal es el elemento que le da forma a la masa de plástico derretido que sale del extrusor. Para producir secciones transversales de dimensiones exactas se requiere de tolerancias en el diseño del orificio del dado. Por ejemplo, en extrusiones complejas de secciones transversales delgadas o con contornos rectos, el enfriamiento tiende a ser más rápido en estas porciones, por lo que se encogen primero; de no tomarse esto en cuenta, estas porciones resultarían más pequeñas que el resto de la sección, lo que va en detrimento de la uniformidad de la pieza. Para corregir este problema, el orificio del dado debe hacerse más grande en estos puntos, como se muestra en las siguientes Fig. 5.18.

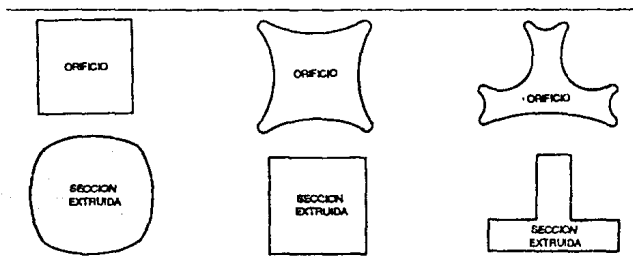


Fig. 5.18. Diferentes tipos de dados. (Ref. 27).

- PARAMETROS PARA LA EXTRUSION DE TERMOPLASTICOS.-

La Tabla 5.9 presenta las condiciones para el procesamiento por extrusión de los principales termoplásticos.

EXTRUSOR*	L/D**	RELACION DE COMPRESION	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	T ₃ *** (°C)	
PVC rig	2	15 a 20	2	120-140	140-160	160-190
PS	1	20 a 25	3	160	180	220
SB	1	20 a 25	3	150	170	220
SAN	1	20 a 25	3	180	190	220
ABS	1	20 a 25	3	180	190	220
PMMA	1	20 a 30	3	180	230	250
PEBD	1	15 a 20	3	150	180	200
PEAD	1	20 a 25	3-3.5	200	220	240
PP	1	20 a 25	3	230	250	270
AC	1	15 a 20	2.4-3	180	190	225
PA	1	20	2.5-3.5	270	250	235
PET	1	20 a 25	2-3	220	240	250
PBT	1	20 a 25	2-3	250	270	290
PC	1	20 a 25	2.5-2.8	290	260	240
POM	1 ó 2	15 a 25	2.3-3.5	180	210	220
PPO	1	25	2.3-3.5	250	280	300
PSU	1	25	2.5	315	360	370

* 1 = un husillo, 2 = doble husillo

** D = 1

*** T₁ = Temperatura en la zona de alimentación

T₂ = Temperatura en la zona de compresión

T₃ = Temperatura en la zona de dosificación

TABLA 5.9. Consideraciones para la extrusión de termoplásticos. (Ref. 4).

- PROBLEMAS EN LA EXTRUSION DE PLASTICOS

FALLA	CAUSA POSIBLE
-Burbujas	-Ingredientes volátiles en el material -Alimentación insuficiente de material -Temperatura de trabajo muy alta -Aire atrapado -Material húmedo
-Coloración oscura o pequeños puntos negros	-Material descompuesto por sobrecalentamiento.
-Marcas longitudinales, estrías, nudos (ojos de pescado)	-La masa fundida puede estar contaminada por partículas (polvo).

-PROBLEMAS EN LA EXTRUSION DE PLASTICOS (Cont.)

FALLA	CAUSA POSIBLE
-Superficie rugosa	-Temperatura muy baja. -Presión muy baja
-Variaciones en las salidas de productos	-Husillo con eficiencia de transmisión irregular. -Fluctuaciones de voltaje en el circuito de calentamiento. -Alimentación de material irregular. -Dado mal diseñado

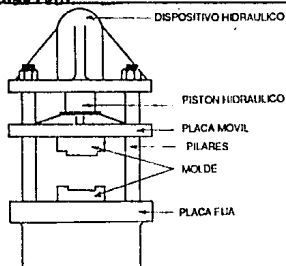
5.3 MOLDEO POR COMPRESION.-

Fig. 5.19. Moldeo por compresión.

Este proceso se utiliza principalmente para el moldeo de plásticos termofijos. Es el método más antiguo de moldeo de plásticos. Consiste en colocar la cantidad correcta de plástico en forma de polvo o de alguna preforma (pastilla) dentro de la cavidad del molde; luego, bajo presión y calor, el plástico fluye y toma la configuración de la cavidad. (Fig. 5.19).

Por lo general, para disminuir el tiempo de ciclo, el material se precalienta antes de introducirlo en el molde. La temperatura de precalentamiento puede ser de, aproximadamente, 130 °C, dependiendo del tipo de plástico. El calor que se transmite a través de las paredes del molde para derretir el material oscila en un rango de 120 a 200 °C. Por otro lado, la presión desarrollada por la prensa sobre el molde es de 1 a 5 TON/pul². Bajo la acción del calor y la presi-

ón, los termofijos se polimerizan en forma de una masa infundible que no puede volver a moldearse.

El tiempo de curado varía entre 20 segundos y 10 minutos, dependiendo de los siguientes factores:

- peso de la pieza
- espesor de la sección de la pieza
- tipo de plástico.

Cuando se completa el curado, la prensa abre el molde y la pieza moldeada es expulsada de la cavidad del mismo; luego, se limpia el molde, se lubrica si es necesario, de modo que esté listo para el próximo ciclo.

- CARACTERISTICAS DEL PROCESO.-

-El tamaño de los objetos que pueden ser moldeados por compresión está limitado sólo por el tamaño y la capacidad de presión de la prensa disponible.

-La presión de moldeo está determinada por el tipo de plástico y por la configuración de la pieza. Por lo general, tomando como base la Resina Fenólica de uso general, la presión será de aproximadamente 2500 Lb/pul² para moldes de hasta 1 pulgada de espesor, más 725 Lb/pul² por cada pulgada adicional de profundidad del molde. Es práctica corriente, dejar un espacio libre entre las dos mitades del molde de 0.08 mm a 0.15 mm, para permitir el escape del exceso de material y de los gases volátiles.

-Las piezas de termofijos moldeados por compresión varían en peso desde pocos gramos hasta más de 13 Kg.

-El costo del acabado de las piezas moldeadas por compresión es alto si se le compara con su equivalente para piezas moldeadas por inyección. Esto se debe a que todas las piezas moldeadas por compresión tienen rebabas en el plano de separación, la cual debe ser removida con una operación pos-moldeo.

- MOLDES.-

El tipo de molde en particular utilizado para el moldeo por compresión tiene varias implicaciones sobre el producto moldeado; por lo que el diseñador debe tomar muy en cuenta las siguientes consideraciones.

Hay tres tipos diferentes de diseño de moldes para compresión. Ninguno de ellos necesita babederos ni canales de llenado, puesto que el plástico se coloca directamente dentro del molde. Por lo general, los moldes de compresión son contruidos de acero endurecido, de modo que pueda soportar grandes presiones y la acción abrasiva de la masa de plástico. Estos tipos son:

1) Molde de rebaba.- Es el menos complejo y el más económico. En este molde, la presión ejercida obliga a salir el material excedente, formándose una rebaba que hay que remover una vez moldeado el producto. Debido a este flujo de rebaba, con estos moldes no pueden obtenerse moldes de alta densidad; sólo pueden moldearse piezas apianadas y poco profundas. (Ver Fig. 5.20)

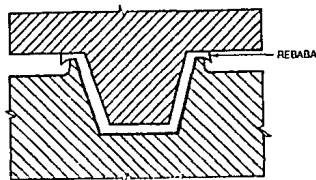


Fig. 5.20. Molde de rebaba. (Ref. 26).

2) Molde Positivo.- Este molde confina completamente el material y ejerce toda la presión continuamente. Prácticamente, no hay espacio por donde pueda escapar el material. Por lo tanto, la cantidad de material que se coloque en la cavidad debe ser medida con precisión, ya que de cargarse en exceso, el molde no cierra completamente. Al efectuarse la compresión sólo queda un pequeño espacio libre entre el pistón y la pared lateral del molde, éste es de 0.05 a 0.13 mm por lado; aquí se forma una pequeña rebaba vertical. Este tipo de moldes se utiliza para piezas de plásticos que deben ser muy densas. También, se utiliza para el moldeo de termofijos de alto impacto. (Ver Fig. 5.21).

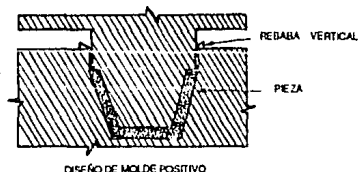


Fig. 5.21. Molde positivo. (Ref. 26).

3) Molde Semi-positivo.- Se diferencia del molde positivo en que la fuerza del pistón no se aplica completamente sobre el

material, puesto que está provisto de unos asientos (topes) que dotienen el recorrido del pistón en un punto determinado, dependiendo del tamaño y la forma de la pieza. Aquí se producen rebabas tanto horizontales como verticales, pero en pequeñas cantidades. Este tipo de herramienta es apropiado para moldeados uniformes de pieza, con calidad; por lo que es usado ampliamente. (Fig. 5.22).

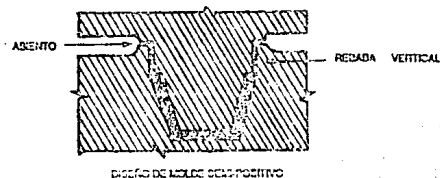


Fig. 5.22. Molde semi-positivo.

5.4 MOLDEO POR TRANSFERENCIA.

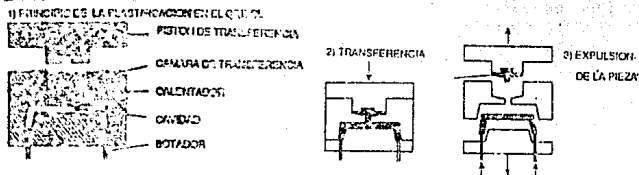


Fig. 5.23. Moldeo por transferencia. (Ref. 4).

Este proceso se utiliza, principalmente, para el moldeo de materiales termofijos. Realmente, es una variedad del moldeo por compresión, con la diferencia de que el material de moldeo no se carga directamente en la cavidad del molde, sino que se coloca en una cámara exterior a ésta, llamada cámara de transferencia. La ventaja de esta particularidad es que la masa plástica ya está fluida o ablandada al entrar a la cavidad del molde, (Ver Fig. 5.23). Este proceso se desarrolló para superar las limitaciones del moldeo por compresión, como son la dificultad para moldear piezas de secciones complicadas, de paredes delgadas, productos que requieren precisión, etc.

Hay tres tipos básicos de moldeos por transferencia:

1) Tipo de Bebedero o crisol.- El plástico termofijo, precalentado o no, se coloca en un crisol en la parte superior del molde cerrado. En este crisol, el material es derretido por medio de calor y presión, y luego se forza a traves de un bebedero hacia la cavidad del molde. La temperatura del material se eleva al ponerse en contacto con el molde que ha sido previamente calentado para completar la reacción de polimerización o de curado. Se utilizan temperaturas de molde entre 150 y 180 °C, y presiones de 6000 Lb/pul². El Área del crisol es, aproximadamente, un 15% más grande que el Área proyectada de todas las cavidades y canales de salida del molde.

2) Tipo pistón.- Se diferencia del anterior en que no hay un bebedero para introducir el material en el molde; éste se introduce mediante la presión de un pistón sobre la línea de separación del molde. Con este método se reduce el tiempo de ciclo, pero se desarrolla más calor de fricción que con el método anterior.

3) Transferencia de husillo.- Es similar a una máquina de inyección para termoplásticos. Aquí se utiliza un husillo para precalentar y preplastificar el material; luego se introduce esta masa dentro de la cámara de transferencia, donde es empujada por un pistón hacia el interior del molde. Este es un método más recientes que los anteriores, y su uso se amplía cada vez más, acorde con el desarrollo de materiales termofijos. Con este método se obtienen ciclos cortos de tiempo.

En general, los tiempos de ciclo son más cortos para el moldeo de transferencia que los de compresión. Además, en el proceso de transferencia, los productos son moldeados en moldes cerrados, lo que posibilita, por un lado, que haya menos desgaste y erosión del molde, y, por otro lado, que se obtengan tolerancias más estrechas que en el moldeo por compresión. En adición a esto, el costo del acabado de las piezas moldeadas por transferencia es menor que las de compresión, puesto que hay menor cantidad de rebaba que remover. Sin embargo, el costo de los moldes para transferencia es mayor que los de compresión; a esto se le suma un costo de producción adicional que proviene del desperdicio de material residual del bebedero y canales de llenado utilizados para la transferencia.

- PROBLEMAS EN EL MOLDEO POR COMPRESION Y POR TRANSFERENCIA.-

DEFECTO	REMEDIO POSIBLE
-Ampollas	-Disminuir la temperatura del molde y/o la temperatura del ciclo. -Ventilar el molde, hacerlo respirar. -Incrementar la presión y el tiempo de curado.
-Moldeos cortos y porosos	-Incrementar la presión -Precalentar el material. -Aumentar la cantidad de material -Aumentar la temperatura de curado -Ventilar y hacer respirar el molde.
-Marcas de quemaduras	-Reducir la temperatura de precalentamiento y de moldeo.
-La pieza se pega al molde	-Eleva temperatura del molde -Precalentar el material para eliminar la humedad. -Limpiar y pulir el molde -Aumentar el tiempo de curado -Revisar los botadores de la pieza
-Marcas superficiales del flujo de material	-Usar termofijos de mayor rigidez -Cerrar el molde lentamente antes de aplicar la presión máxima -Prever respiradores -Aumentar la temperatura del molde
-Rebaba espesa	-Reducir la carga del molde -Reducir la temperatura del molde -Aumentar la presión de cierre -Cerrar el molde lentamente
-Alabeo de la pieza	-Calentar el molde uniformemente -Incrementar el tiempo de curado y bajar la temperatura. -Recocer la pieza en un horno

5.5 MOLDEO POR SOPLADO.-

El moldeo de plásticos por soplado es una técnica adoptada y modificada de la industria del soplado del vidrio. Se utiliza para fabricar, mediante calor y aire comprimido, cuerpos huecos de una sola pieza. El método de soplado en sí consiste en introducir aire a presión dentro de un tubo plástico caliente, conocido como preforma o "parison", el cual ha sido previamente confinado dentro de un molde rela-

tivamente frío, para que se ensanche y quede conformado por las paredes del molde.

Hay dos métodos básicos de moldeos por soplado:

- 1) Inyección-Soplado
- 2) Extrusión-Soplado

La diferencia principal entre los dos métodos está en la manera de producir el parison. De estos dos métodos, el más usado es el de extrusión-soplado.

1) Inyección-Soplado

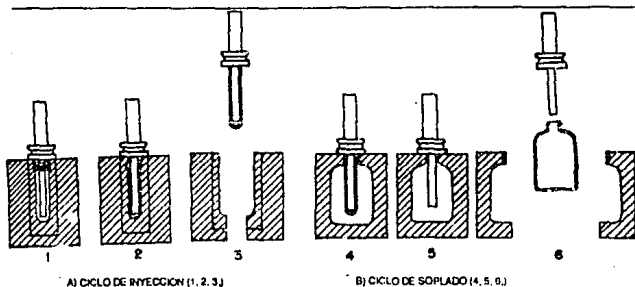


Fig. 5.24. Inyección-soplado de cuerpos huecos. (Ref. 26).

La particularidad de este proceso está en que el parison se produce por inyección en un molde cerrado; luego se desplaza hacia el molde de soplado con la cavidad deseada y se introduce aire a presión a través de una válvula, provocando que el material se extienda hasta alcanzar las paredes refrigeradas de la cavidad del molde, donde se enfría y toma su forma definitiva. (Fig. 5.24).

Las ventajas de la inyección-soplado con respecto a la extrusión-soplado son:

- Peso más constante de la pieza, debido a que la inyección a alta presión dentro de un molde cerrado puede realizarse con tolerancias más estrechas que la extrusión de un tubo.
- Dimensiones más constantes de las piezas, debido a la exactitud dimensional que da la inyección del parison.
- No hay mazarota u otros desperdicios.
- Se obtiene piezas con mayor resistencia al impacto.
- Ausencia de marcas sobre los objetos moldeados, debido al tamaño preciso del parison.

En cambio, las desventajas de la inyección-soplado son:

- Se necesitan dos moldes diferentes, uno para la inyección del parison y otro para el soplado del cuerpo hueco. Esto encarece mucho el proceso.
- Para hacer algún cambio en el peso de la pieza o cualquier cambio de sección de la misma, por pequeño que éstos sean, se necesita rectificar los moldes. Esto también encarece mucho el proceso.

Estas desventajas limitan el uso de la inyección-soplado a cuerpos huecos de poca capacidad, de boca ancha y para series de producción grandes.

2) Extrusión-soplado.-

En este proceso, se extruye una manguera o parison de material termoplástico de diámetro apropiado para el producto. El trozo de manguera que cuelga de la boquilla del extrusor se coloca entre las mitades del molde de soplado. El molde se cierra, cortando y sellando, a la vez, uno de los extremos de la manguera, y, enseguida se inyecta aire por medio de una especie de aguja, obligando a que el material tome la forma de la cavidad del molde, donde se enfría y solidifica al contacto del metal refrigerado. La presión de inyección es de, aproximadamente, 100 Lb/pul².

Por este método, pueden moldearse cuerpos huecos con capacidad para más de 10,000 litros de agua.

El tiempo de ciclo para este proceso, tomando en consideración que el extrusor tenga una suficiente capacidad de plastificación, depende de la velocidad de refrigeración del plástico, la cual, a su vez, está en función de los siguientes factores:

- conductividad térmica del plástico.
- temperatura del plástico
- espesor de la sección del parison
- temperatura del molde
- condiciones de transmisión térmica.

El espesor de la sección del parison puede programarse utilizando un dado con tamaño variable de orificio. De este modo, si un cuerpo hueco necesita mayor resistencia en las esquinas, la preforma puede programarse para que tenga mayor cantidad de material en esta parte, como se indica en la Fig. 5.25, o para conseguir una pared uniforme.

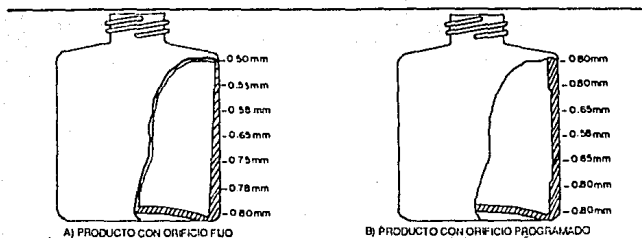


Fig. 5.25. Programación del párison. (Ref. 26).

- VARIETADES DEL MOLDEO POR SOPLADO.-

Podemos señalar tres variedades importantes:

1) **Preforma Fría.** - En este proceso, el párison se produce por cualquiera de los dos métodos descritos anteriormente (inyección o extrusión); luego se enfría y se almacena. Después, para obtener el producto soplado, el párison se calienta y se sopla en la configuración requerida. La principal ventaja de esto es que el párison puede ser transportado a cualquier lado o almacenado como producto semielaborado.

2) **Soplado con planchar.** - En vez de un párison, se tienen dos planchas extruidas y calientes, las cuales son sopladas mientras están apretadas por las mitades del molde. La presión de cierre del molde provoca que se peguen los contornos de las planchas calientes. Esta técnica puede utilizar planchas de diferentes colores, obteniéndose productos de dos colores. La desventaja es que hay mucho desperdicio de material por el método de unión de las planchas; además, se necesitan dos extrusoras. (Fig. 5.26).

3) **Soplado Biaxial o Biorientación.** - En esta técnica, el párison es estirado antes del soplado. Se recomienda que el párison sea obtenido mediante inyección-soplado, por su mayor uniformidad. Con esta técnica se obtienen productos soplados con mayor transparencia, menor escurrimiento, mayor resistencia al impacto, menor peso y con mejores propiedades de barrera a gases y vapor de agua. Un ejemplo típico de un producto biorientado son las botellas para bebidas carbonatadas a base de PET. (Fig. 5.27).

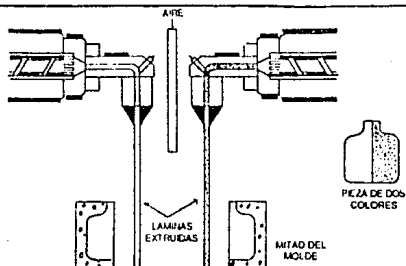


Fig. 5.26. Soplado con planchas. (Ref. 26).

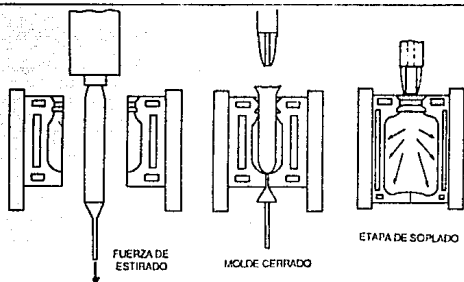


Fig. 5.27. Soplado biaxial. (Ref. 26).

- PROBLEMAS EN EL MOLDEO POR SOPLADO.-

DEFECTO	CAUSA Y/O REMEDIO POSIBLE
-Espesor desigual de la sección del parison.	-Centrar el dado del extrusor -Revisar que haya una generación de calor uniforme en las bandas de calentamiento del extrusor. -Aumentar la velocidad de extrusión -Reducir la temperatura de fusión -Programar la preforma
-Rizado del parison	-Diferencia de temperatura excesiva entre la entrada y la salida del dado. -Aumentar el periodo de calentamiento -Revisar el espesor de la sección.

-PROBLEMAS EN EL MOLDEO POR SOPLADO. (Cont.).

DEFECTO	CAUSA Y/O REMEDIO POSIBLE
-Burbujas (ojos de pescado) en la preforma.	-Revisar la humedad en el plástico -Reducir la temperatura del extrusor para un mejor control de la fusión. -Revisar la abertura del dado. -Reducir la temperatura en la zona de alimentación del extrusor. -Revisar que el material no esté contaminado.
-Huellas en la preforma.	-Revisar que el dado no esté dañado. -Revisar que no haya contaminación en fusión del material. -Aumentar la presión de extrusión. -Limpiar el dado.
-Superficie defectuosa.	-Temperatura de extrusión muy baja. -Temperatura del dado muy baja -Mal acabado del dado y/o suciedad del mismo. -Presión de soplado muy baja -Temperatura del molde muy baja -Velocidad de soplado muy baja
-Reventado de la preforma (tronado)	-Reducir temperatura de fusión -Reducir la presión de soplado. -Alinear bien la preforma, y revisar si hay contaminación. -Revisar si hay puntos calientes en el molde o dado.
-La pieza se pega al molde	-Revisar el diseño del molde. -Reducir la temperatura del molde y la temperatura de fusión. -Aumentar el tiempo de ciclo.
-La pieza se pandea	-Revisar el enfriamiento del molde. -Revisar que la distribución de material sea apropiada. -Bajar la temperatura de fusión.
-Rebabas alrededor de la pieza.	-Bajar la temperatura de fusión. -Revisar la presión de soplado. -Revisar el cierre del molde sobre la preforma. -Revisar el tiempo en que se inicia el soplado de aire.

5.6 MOLDEO ROTACIONAL.-

El moldeo rotacional es un proceso para producir cuerpos huecos de plástico. Dicho proceso consiste en colocar una cantidad predeterminada de plástico en forma de polvo o pasta dentro de las dos cavidades de un molde; luego el molde se cierra herméticamente y se introduce dentro de un horno, donde se le hace rotar en dos ejes ortogonales a la vez, como se muestra en la Fig 5.28. Este movimiento combinado provoca que el plástico se distribuya sobre la superficie interior del molde. A medida que el calor es conducido a través de las paredes del molde, el plástico se derrite y se fusiona, formándose un recubrimiento interior homogéneo de una sola pieza. Cuando termina el ciclo de calentamiento, el molde se desplaza, todavía rotando, hacia una cámara de enfriamiento, donde se enfría por medio de aire forzado o aspersión de agua. Ya estando frío el molde, se abre y se saca la pieza.

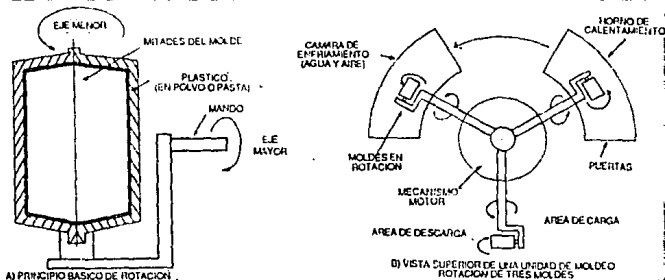


Fig. 5.28. Moldeo rotacional. (Ref. 26).

Las máquinas de moldeo rotacional son diseñadas para rotar biaxialmente durante los tiempos de calentamiento y enfriamiento, de acuerdo a un programa establecido para el molde en particular. Programando la velocidad de rotación de un eje con respecto a otro, se puede controlar el espesor de la sección en áreas diferentes de la pieza, de modo que pueda haber una sección más gruesa en un lado u otro.

Los moldes son relativamente baratos, puesto que son de paredes delgadas y no están sometidos a grandes presiones. En general, el costo de la máquina es bajo, por lo que no le afecta que el volumen de producción sea bajo.

5.7 CALANDREADO.-

El calandreado es una técnica de transformación de termoplásticos usado para producir planchas y películas. El termoplástico más utilizado en calandreado es el PVC. El proceso consiste en hacer pasar una cantidad de una premezcla de resina, estabilizadores, plastificantes, y colorantes, a través de una serie de rodillos giratorios de acero y calientes. A medida que la mezcla avanza entre los rodillos se forma una plancha que se va adelgazando progresivamente hasta alcanzar el espesor deseado. Se utilizan un par de rodillos de acabado de precisión para calibrar el espesor final de la plancha. Al final, la plancha caliente se hace pasar por un rodillo refrigerado, para enfriarla y luego cortarla. (Fig. 5.29).

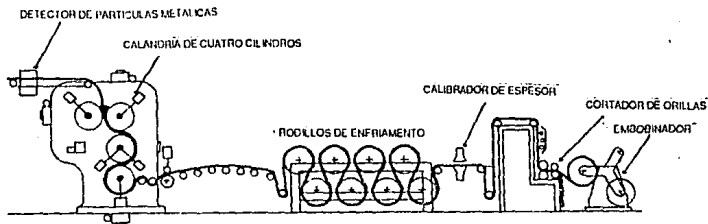


Fig. 5.29. Calandreado. (Ref. 26).

Por este método, se obtienen planchas y películas de PVC de gran calidad de acabado. Tiene la ventaja, con respecto a la extrusión, de que si hay un cambio de colores, las calandrias sólo necesitan un mínimo de limpieza, mientras que el extrusor debe ser purgado y limpiado completamente. No obstante, tiene la desventaja de que los rodillos de las calandrias son muy costosos y pueden dañarse fácilmente si hay algunas partículas metálicas dentro de la mezcla; por lo que las máquinas deben estar provisto con un detector de metales. Además, el costo del equipo completo de calandreado es muy elevado.

Los rodillos de la calandria vienen dispuestos en varias formas, como se indica en la Fig. 5.30.

Las calandrias son tipificadas por la cantidad (masa) de material que puede producir por unidad de tiempo. Esto depende del tipo de material, de la velocidad de plastificación, de la superficie de acabado requerida, etc. Las máquinas

grandes tienen una velocidad de salida de, aproximadamente, 3000 Kg/h. La mayoría de los rodillos tienen un ancho no mayor de 2 metros.

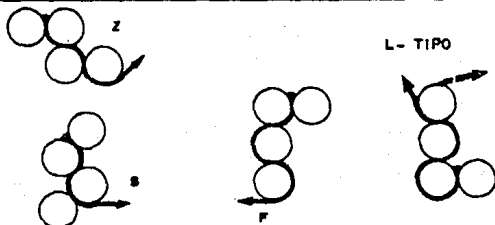


Fig. 5.30. Formas de disposición de los rodillos para el calandreado. (Ref. 14).

- PROBLEMAS EN EL CALANDREADO. -

DEFECTO	CAUSA Y/O REMEDIO POSIBLE
-Ampollas	-Reducir temperatura de fusión -Reducir velocidad de rodillos -Revisar si hay contaminación en la mezcla de la resina. -Reducir la temperatura de los rodillos de enfriamiento.
-Perforaciones diminutas.	-Revisar si hay contaminación en la mezcla de la resina. -Mezclar mejor el plastificante y la resina.
-Manchas oscuras	-Revisar si hay un exceso de lubricante o si hay contaminación en la resina. -Revisar la superficie de los rodillos. -Aumentar la temperatura de fusión. -Aumentar la temperatura de los rodillos.
-Mal acabado	-Eleva la temperatura de los rodillos -Abertura excesiva entre rodillos.

5.8 VACIADO. -

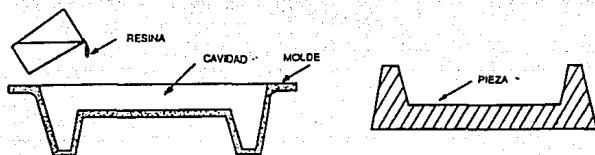


Fig. 5.31. Vaciado. (Ref. 26).

El vaciado consiste en verter resina líquida dentro de un molde y dejarla que se solidifique a las condiciones requeridas de temperatura y tiempo, Fig. 5.31. Es el mismo principio usado en el vaciado de metales, vidrio o cerámica. Para efectuar el vaciado sólo se necesita de la presión atmosférica. Los moldes son baratos, y pueden ser de madera, metal, vidrio, silicón, resina poliéster o epóxica, etc.

Con este proceso se puede producir piezas de gran tamaño, con espesores de sección que serían prohibitivos para otros procesos de fabricación. El proceso se utiliza tanto para termoplásticos como para termofijos. Se usa ampliamente para el encapsulado de componentes eléctricos y de objetos decorativos.

5.9 MOLDEO POR EXPANSION. -

Según la norma ASTM D583-80c, un plástico expandido es aquel que contiene numerosas cavidades pequeñas o células, interconectadas o no, distribuida por toda la masa de la resina. Por lo general, esto se consigue dispersando un gas espumante dentro del polímero.

La mayor parte de los plásticos pueden espumarse con diferentes densidades, oscilando éstas entre el 1 y el 90% de la densidad del plástico macizo. Las propiedades mecánicas de un plástico espumado son menores que las del plástico macizo correspondiente, ya que el gas presente en las células no aporta ninguna resistencia mecánica. En cambio, las propiedades sobresalientes de las espumas de plástico son su bajo peso, su gran capacidad de amortiguación, y su excelente capacidad de aislamiento térmico.

Los plásticos espumados se clasifican según su consistencia en rígidos, semirígidos, flexibles y semiflexibles. Además, las células que lo forman pueden ser abiertas (interconecta-

das) y cerradas (no conectadas). La densidad puede ser hasta menos de 0.009 g/cm^3 . Los dos más importantes plásticos espumados usados hoy en día son la Espuma de poliestireno (EPS, unice1) y el Poliuretano.

Hay un grupo especial de plásticos espumados conocidos como Plásticos Sintácticos. Estos se producen mediante la mezcla de minúsculas esferas de vidrio o plástico con una resina aglutinante, como se muestra en la Fig. 5.32. Así se produce un material ligero de células cerradas, utilizado para el aislamiento térmico y acústico, así como objetos flotadores de alta resistencia a la compresión, reflectores de automóviles, etc.

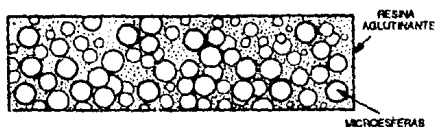


Fig. 5.32. Plástico sintáctico. (Ref. 26).

En general, los plásticos expandidos se utilizan para aislamiento, envases y embalajes, acolchonamiento, absorbedores de choque y para flotación. Hay varios métodos para expandir y formar estos productos, pudiéndose agrupar en cuatro métodos básicos:

- Moldeo
- Fundición
- Expansión in situ
- Rociado.

1) MOLDEO.-

Se han desarrollado varios métodos para moldear plásticos expandidos, que incluyen, principalmente, los moldes por inyección, compresión y extrusión. Con éstos métodos se obtienen productos conocidos como Productos Plásticos de Espuma Estructural.

Un Plástico de espuma estructural consiste en un núcleo rígido de células cerradas forrado con una piel sólida y continua, conocida como piel integral. Dicha piel se forma por el contacto del plástico en expansión con las paredes frías del molde, sometido a presión. La rigidez de la espuma estructural depende mucho del espesor de la piel integral. El espesor típico de la piel sólida es de 0.8 a 2 mm. La reducción de la densidad, comparada con el plástico macizo co-

respondiente, es de 20 a 40%, dependiendo de la configuración de la pieza, del espesor de la misma y de las condiciones de moldeo. Además, como vimos en el Cap. 4, la rigidez a la flexión de una pieza aumenta proporcionalmente con el cubo de su espesor, lo que favorece a las espumas estructurales, ya que pueden ser bastante rígidas y tener una atractiva relación rigidez-peso con respecto a otros materiales.

Los procesos de moldeo de piezas de espuma estructural termoplásticas se caracterizan por la introducción de un gas inerte (Nitrógeno) dentro de la masa fluida del termoplástico durante el procesamiento. Cuando esta mezcla gas-resina se introduce en el molde, el gas se expande, provocando, a su vez, que la mezcla se expanda y llene el molde. Las burbujas de gas se apiñan al ponerse en contacto con las paredes relativamente frías del molde, produciendo así una piel sólida continua o piel integral que rodea al núcleo espumado. De este modo se moldean piezas que pesan hasta 70 Kg.

El método de moldeo descrito anteriormente se clasifica en dos clases según la presión aplicada. Estas son: Procesos de baja presión y Procesos de alta presión.

- Procesos de Baja Presión.-

Es el más simple, el más popular y el más económicos para moldear piezas grandes. La mezcla gas-resina se inyecta en el molde a una presión de 145 a 725 Lb/pul². (Ver Fig. 5.33)

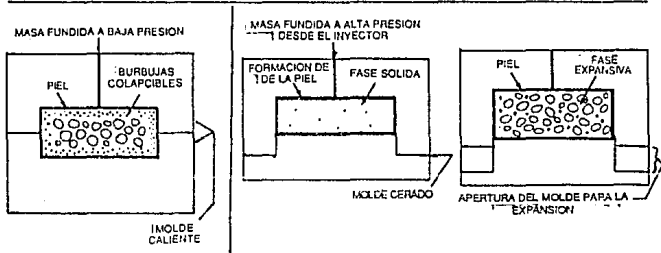


Fig. 5.33. Métodos de alta y baja presión para producir plásticos espumados con piel integral.

El espesor de la piel integral se controla mediante los siguientes factores:

- cantidad de material fundido introducido en el molde.
- temperatura del molde
- presión
- tipo y cantidad de gas espumante

Como se requiere de presiones bajas, los moldes no necesitan estar contruidos de materiales de alta resistencia, sino que pueden ser de bajo costo, con cavidades simples o múltiples.

- Procesos de Alta Presión. -

En estos procesos, la mezcla gas-resina se inyecta en el molde a presiones de 4350 a 20300 Lb/pul². El molde se llena completamente con la colada y para que se produzca la expansión, se incrementa el volumen de la cavidad abriendo ligeramente el molde, como se indica en la Fig. 5.33.

Hay varias formas de realizar la mezcla gas-resina. Uno es mezclando directamente el gas espumante con la resina fundida en el cilindro de la máquina de inyección o extrusión. La presión del pistón o del husillo de la máquina no permite que el material se expanda hasta que es forzado dentro del molde. Otro método introduce el agente espumante justo antes de que el plástico fundido entre en el molde. Un tercer método, presentado en la Fig. 5.34, alimenta un acumulador con la mezcla gas-resina. El acumulador mantiene la mezcla fundida a una presión lo suficientemente alta para prevenir la expansión del gas. Cuando se acumula una cantidad suficiente de material, se produce un "tiro corto" que descarga la mezcla dentro de la cavidad del molde, donde se produce la expansión, formándose la pieza con piel integral. Mientras la pieza se enfría en el molde, el acumulador se recarga, preparándose para el próximo ciclo.

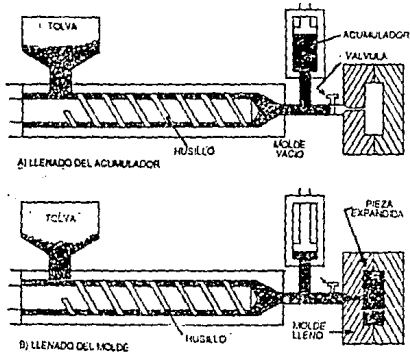


Fig. 5.34. Método de moldeado de espumado con piel integral usando acumulador. (Ref. 26).

Hay máquinas especiales para este tipo de moldeo; aunque pueden utilizarse también las máquinas de inyección convencionales, con pequeñas modificaciones.

Hay otro proceso de moldeo de alta presión en que se inyectan dos plásticos diferentes, uno después del otro. El primero no contiene agente espumante y se inyecta parcialmente en el molde. El segundo contiene agente espumante y se inyecta sobre el primer plástico, apretándolo contra las paredes del molde a medida que se expande, formándose así una cáscara alrededor del plástico expandido. Luego se inyecta un poco más del primer plástico para cerrar la cáscara y encapsular completamente al segundo plástico. De este modo se obtiene una pieza con una piel exterior de un plástico y con un núcleo espumado de otro plástico.

Con respecto a la extrusión, el gas espumante se mezcla con la resina en el cilindro de la máquina. La expansión se produce rápidamente a medida que el material sale del orificio del dado.

- ESPUMA DE POLIESTIRENO EXPANDIDO.-

La Espuma de Poliestireno Expandido, EPS, conocida comúnmente como unice1, no se obtiene por los métodos de moldeo desritos anteriormente.

La EPS se produce a partir de pequeñas partículas esféricas o perlitas que contienen ya un agente espumante (Pentano). La expansión se produce dentro de un molde cerrado provisto de toberas para introducir vapor caliente; el calor hace que las perlitas se expandan, como se indica en la Fig. 5.35.

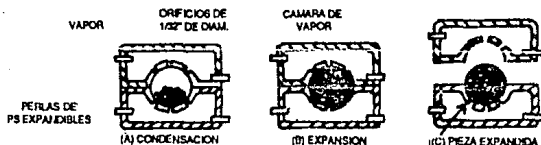


Fig. 5.35. Espuma de poliestireno. (Ref. 2).

Por lo general, el proceso de expansión se divide en dos etapas. La primera etapa es una pre-expansión de las perlitas hasta una determinada densidad en equipos especiales para

este proceso; luego se almacenan por un corto tiempo para conseguir el equilibrio de presión en el interior de las perlas hinchadas. En la segunda etapa, se llena un molde con el material pre-expandido y se calienta nuevamente, provocando la expansión final. Esta perla se expanden hasta 40 veces su tamaño original, y la presión de expansión las aglutina, formándose una estructura relativamente rígida de células cerradas. Finalmente, el molde se enfría con agua y se extrae la pieza.

En este proceso se deben tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- Desahogar apropiadamente el molde para que haya una expansión satisfactoria de las perlas.
- Las toberas de vapor en el molde deben tener un diámetro mayor de 0.8 mm. Por lo general, se recomienda una distribución de un orificio por cada 13 cm² de Área superficial del molde.
- Las paredes de la cavidad del molde deben ser uniformes para asegurar que sea igual el calentamiento y enfriamiento. Los materiales preferidos para la construcción de los moldes son Aluminio y Latón.
- Las presiones de vapor recomendadas para este proceso son de 10 a 30 Lb/pul².
- Las perlas pre-expandidas no pueden almacenarse por mucho tiempo, puesto que corren el riesgo de que se volatilice el agente espumante. Además, deben almacenarse en un contenedor refrigerado y cerrado herméticamente hasta que estén listas para usarse.

2) VACIADO.-

En este proceso, la resina mezclada, conteniendo catalizadores y el agente espumante, se coloca en un molde, donde se expande en forma de estructura celular, como se indica en la Fig. 5.36. Se utiliza mucho para el espumado de termofijos, y de algunos termoplásticos, obteniéndose productos acolchonados. El Poliuretano es un ejemplo típico.

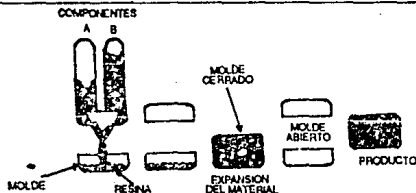


Fig. 5.36. Vaciado de plásticos espumados. (Ref. 26).

3) EXPANSION IN SITU

Es similar a la vaciado, con la diferencia de que el plástico espumado junto con el molde se convierten en el producto acabado, como se indica en la Fig. 5.37.

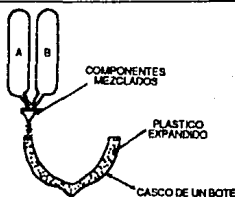


Fig. 5.37. Expansión in situ. (Ref. 26).

En este proceso, se mezclan la resina, el catalizador, el agente espumante y demás ingredientes. Esta mezcla se vierte dentro de la cavidad del molde. La expansión se lleva a cabo a temperatura ambiente; pero, si se quiere una reacción más rápida, se puede calentar la mezcla. Las espumas sintéticas de plásticos se realizan mediante este proceso.

4) ROCIADO.-

En este proceso se utiliza un aparato rociador o pulverizador, como el mostrado en la Fig. 5.38, para colocar el plástico espumado sobre la superficie del molde o sobre paredes y techos, como aislamiento.

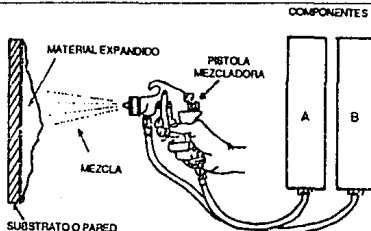


Fig. 5.38. Rociado de plástico espumado. (Ref. 26).

- PROBLEMAS EN EL MOLDEO POR EXPANSION (ALTA Y BAJA PRESION).-

DEFECTO	CAUSA Y/O REMEDIO POSIBLE
-No llena el molde	-Gases atrapados en el molde. -Desahogo deficiente del molde. -Tiro de inyección muy corto. -Incrementar la presión. -Aumentar la cantidad de material.
-Picaduras o perforaciones sobre la superficie	-Reducir la cantidad de desmoldante (interfiere con el gas espumante). -Aumentar la temperatura del molde. -No hay suficiente material en el molde. -La temperatura de la colada es incorrecta. -Incorrecta distribución del gas espumante. -Pulir el dado o la superficie del molde.
-Piezas distorsionadas.	-Mal diseño del molde. -Aumentar el tiempo en el molde (ciclo de curado). -Permita que las secciones más gruesas se enfrien por más tiempo. -Aumentar la rigidez del molde.
-La pieza se pega al molde.	-Aumentar la cantidad de desmoldante. -Seleccionar el desmoldante correcto. -Mal diseño del molde. -Molde muy frío. -Pulir superficie del molde.
-Piezas muy densas.	-Aumentar la cantidad de agente espumante. -Bajar la presión de inyección. -Reducir la colada. -Si es EPS, use perlas de reciente pre-expansión.
-Las piezas varían en densidad.	-Mezcle completamente los compuestos. -Revisar el diseño del husillo. -Aumentar la temperatura del molde. -Aumentar la temperatura de la colada. -Aumentar el tiempo de curado y de retención del material en el molde.

5.10 LAMINADO.-

El proceso de laminado puede ser definido como una combinación de capas superpuestas de material, impregnadas con una

resina sintética, que se unen mediante calor y/o presión para formar una sola pieza, como se indica en la Fig. 5.39. Las capas pueden ser de materiales diversos, como Polietileno, Tela, Metal, Madera, etc. Las resinas más utilizadas para impregnación son las fenólicas, epóxicas, melaminas, silicones, y políester; a las cuales puede añadirse aditivos para conseguir resistencia a la flama, resistencia al arco, lubricación, etc. El tamaño y espesor del producto laminado está determinado por el tamaño de la prensa utilizada.

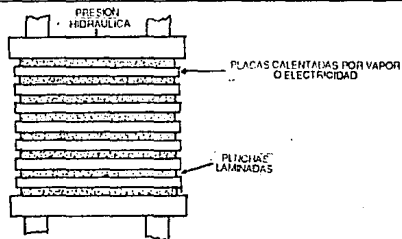


Fig. 5.39. Laminado. (Ref. 26).

Los productos laminados ofrecen las siguientes ventajas (comparado con una plancha maciza de un solo material):

- Mejor relación resistencia-peso.
- Mejor resistencia química y eléctrica.
- Mayor estabilidad dimensional.
- Mejores propiedades físicas y mecánicas.
- Reducción del costo del producto.

El mayor uso de los laminados industriales es en aplicaciones eléctricas y electrónicas, utilizadas como soportes aislante de componentes y en la fabricación de tableros de circuitos impresos, donde una de las capas del laminado es de cobre. Otro uso creciente de los laminados es en la industria mueblera, donde se utilizan los laminados decorativos para cubiertas a base de Melamina.

Otra variedad de laminados, en forma de películas, utilizados en la industria del envase de alimentos, son los conocidos como Estratos Laminados Flexibles Impresos (ELFI); como los hechos a base de películas de Polietileno, Polipropileno y Aluminio, utilizados en la fabricación de bolsas para papas fritas y demás botanas. Otros se hacen con láminas de cartón, aluminio y polietileno, para los envases de leche conocidos como Tetrapak.

En el mercado se venden laminados industriales bajo marcas registradas, tales como Formica, Micarta, etc.

En algunos laminados, el plástico sólo se utiliza como adhesivo para unir varios sustratos. Por ejemplo, en la fabricación de tableros de madera contraplacada (triplay) o de aglomerados.

Otra variedad de laminados es la fabricación de estructuras tipo "sandwich" (Fig. 5.40). Para éstas se utilizan extrusoras que depositan una capa delgada de plástico a ambos lados de un núcleo extruido continuamente.

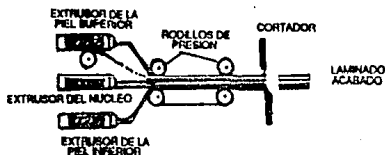


Fig. 5.40. Laminado tipo "sandwich". (Ref. 26).

5.11 TERMOFORMADO. -

Es el proceso de transformación de una plancha o película de material termoplástico a una configuración tridimensional. La plancha se ablanda por medio de calor y luego se le hace tomar la forma del contorno de un molde por medio de vacío, aire comprimido, estiramiento mecánico, o una combinación de los tres. Finalmente, se deja enfriar la pieza, conservando su nueva forma.

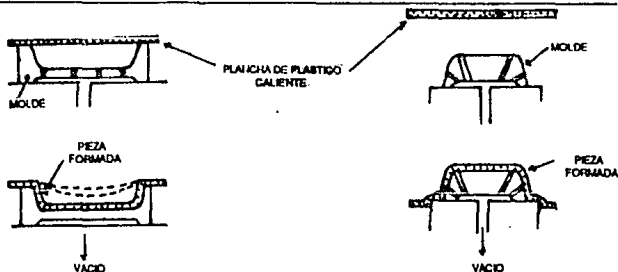


Fig. 5.41. Modalidades del termoformado. (Ref. 2).

El termoformado se considera como un proceso secundario, puesto que su materia prima, planchas o películas, ha sido previamente extruida, calandreada, laminada, soplada o vaciada. Hay una gran variedad para el termoformado de planchas: Formado directo al vacío, Formado por estiramiento, Formado al vacío asistido por un pistón, Formado por aire comprimido, Formado al vacío con burbuja, Formado libre, etc. Las Fig. 5.41 presenta algunas de estas modalidades de termoformado. Casi todos siguen un ciclo fijo de formado de la pieza, enfriamiento y recortado de los borde.

- MOLDES.-

Una de las mayores ventajas del termoformado es la variedad de materiales que pueden ser utilizados para la construcción de los moldes: yeso, madera, resina poliéster o epóxica, metal, etc.; dependiendo del volumen de producción y de los requerimientos de la pieza. El material más común para la producción de estos moldes es el aluminio fundido.

El acabado de los moldes no tiene que ser pulido. Normalmente, los agujeros para vacío distribuidos en el molde son de 0.3 a 0.5 mm de diámetro, y no marcan la pieza. Además, el molde puede texturizarse.

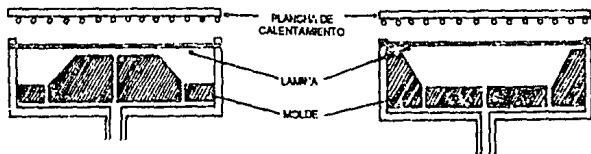


Fig. 5.42. Molde macho y molde hembra utilizados en termoformado. (Ref. 4).

El formado de la pieza puede hacerse en un molde macho (positivo) o hembra (negativo), como se indica en la Fig. 5.42. La decisión de uno u otro dependerá del tamaño de la pieza, de la distribución de espesores deseada, de la técnica de formado empleada y de los requerimientos de acabado superficial (lado de la textura). El pandeo será un problema con las piezas grandes, a menos que se use un sistema de aire comprimido para presionar la pieza contra el molde. Es más conveniente formar piezas grandes en moldes hembras, ya que la plancha se pandeará dentro del molde. Si se usa un molde macho, se aconseja que se coloque por debajo de la plancha y no por arriba.

- PROBLEMAS EN EL TERMOFORMADO.-

DEFECTO	CAUSA Y/O REMEDIO POSIBLE
-Perforaciones o roturas.	-Agujeros de vacío muy grandes. -Vacío en exceso del molde -Calentamiento desigual de la plancha.
-Ampollas o burbujas.	-Bajar la temperatura de calentamiento de la plancha. -Presencia de humedad en la formulación de plancha.
-La Pieza se pega al molde.	-Pula el molde o incremente los ángulos de salida. -Aumentar el ciclo de enfriamiento. -Usar desmoldante, aire comprimido o algún sistema mecánico para desmoldar. -El molde puede estar muy caliente.
-Formado incompleto de la pieza.	-Prolongue el ciclo de calentamiento y aumente el vacío. -Añadir agujeros de vacío.
-Pieza distorsionada.	-Mal diseño del molde. -Aumentar el ciclo de enfriamiento. -La pieza se retiró muy rápido aun estando caliente.
-Cambio en la intensidad de color.	-Usar un diseño de molde apropiado. -Prolongue el ciclo de calentamiento de la plancha y caliente el molde. -Use planchas de mayor calibre y añada agujeros de vacío.
-Encogimiento posterior excesivo.	-Aumente el ciclo de enfriamiento.

5.12 PROCESOS PARA PLÁSTICOS REFORZADOS.-

En el Cap. 3 se describió los efectos que producen sobre las propiedades de los plásticos la inclusión de cargas y refuerzos. En esta sección describiremos los procesos por medio de los cuales se obtiene el producto reforzado. La mayoría de los métodos descritos son para materiales termofijos, aunque algunos son aplicables a termoplásticos.

Un plástico reforzado es un material compuesto que consiste en la combinación de una de resina, termofija o termoplástica, con otro material más rígido, generalmente en forma de fibra, el cual actúa como refuerzo. El propósito del refuerzo es aumentar, principalmente, las propiedades mecánicas del plástico.

La efectividad del refuerzo fibroso depende de los siguientes factores:

- Grado de adhesión entre el plástico y la fibra.
- Volumen relativo de refuerzo y de plástico.
- La longitud de la fibra utilizada.
- Las propiedades físicas, químicas, mecánicas y térmicas de fibra y del plástico.

Considerando la proporción en volumen de fibra y de plástico, podemos acotar dos situaciones extremas:

1) Predominio del plástico en el compuesto; en este caso el compuesto funcionará como un plástico con sus propiedades mecánicas realizadas.

2) Predominio del refuerzo en el compuesto; en este caso, el compuesto funcionará como un arreglo orientado de fibras aglutinadas por alguna resina. Las propiedades mecánicas del compuesto estarán más cercanas a las de las fibras mismas, que a las del plástico utilizado como aglutinante.

Entre estos dos extremos se formulan una gran cantidad de compuestos, que pueden transformarse por diversos métodos, en donde la contribución del plástico y del refuerzo a las propiedades de dicho compuesto están más balanceadas.

Con respecto a los refuerzos, el más utilizado es la fibra de vidrio, debido a su bajo costo y su disponibilidad, además de sus excelentes propiedades mecánicas, como se describió en el Cap. 3. La fibra de vidrio se fabrica mediante la fusión del vidrio y posterior extrusión por un dado, de donde sale un monofilamento delgado que se estira mecánicamente para reducir su diámetro hasta unos 0.0045 mm.

La fibra de vidrio se usa como refuerzo en las siguientes formas:

- Colchoneta ("Mat").- consiste en hilos cortados y aglutinados formando una tela o fieltro.
- Mecha ("Roving").- es un haz de hilos de fibra de vidrio formando una bobina.
- Petatillo (Roving tejido).- consiste en mechas tejidas en forma entrecruzada a 90°.
- Hilo cortado ("Chopped Strand").- consiste en filamentos de fibra de vidrio que han sido cortados a longitudes determinadas.

La utilización de una u otra forma de la fibra de vidrio dependerá de la orientación que quiera dársele al refuerzo dentro de la matriz del polímero. Dicha orientación puede ser unidireccional, bidireccional, y multidireccional o aleatoria.

Los procesos para reforzamiento de plásticos se pueden agrupar en tres categorías:

- A) Moldeo Abierto o por Contacto.
 - 1) Picado a Mano ("Hand Lay Up")
 - 2) Aspersión ("Spray Up")
 - 3) Embobinado de Filamento Continuo ("Filament Winding")
 - 4) Vaciado Centrifugado ("Centrifugal Casting")
- B) Moldeo Cerrado o de Compresión.
 - 1) Moldeo a Presión y Temperatura o Prensado en Caliente ("Matched Metal Die Molding").
 - 2) Prensado en Frío ("Cold Press Molding").
 - 3) Moldeo por Inyección
 - 4) Moldeo Rotacional
 - 5) Alimentación de Resina a Presión ("Resin Transfer Molding, RTM).
- C) Moldeo Continuo.
 - 1) Poltrusión
 - 2) Laminado

5.12.1 PROCESOS DE MOLDEO ABIERTO O POR CONTACTO.-

En estos procesos se utilizan una combinación de resina líquida y varias formas de refuerzos fibrosos. Los materiales que más se usan son la Resina Poliéster insaturada y la fibra de vidrio. En segundo lugar está la Resina Epóxica.

La resina se suministra al moldeador en forma líquida; éste le agrega un catalizador químico y la caliente, causando una reacción de entrecruzamiento, convirtiéndose la mezcla en un plástico termofijo. El refuerzo de fibra de vidrio se coloca en el molde en forma de colchoneta, petatillo o de alguna preforma fibrosa; luego, es saturado con la resina líquida catalizada, y se deja curar la pieza en el molde.

El molde es de una sola pieza, macho o hembra; lo que significa que la pieza producida tendrá sólo una cara con un acabado superficial suave. Los moldes son baratos y pueden construirse con madera, yeso, metal o plástico. Además, se puede conseguir un buen acabado superficial colocando primero en el molde una película de acabado o plastiesmalte ("Gel Coat"), que puede ser transparente o coloreado. El plastiesmalte ayuda también a mejorar las propiedades de resistencia química y a la intemperie del producto moldeado. El espesor del plastiesmalte está determinado por las caracteris-

ticas de la pieza y su uso final; éste varía entre 0.25 y 0.9 mm.

5.12.1.1. PICADO A MANO.-

Es el proceso más antiguo y simple para producir piezas de plástico reforzado. Es apropiado para bajos volúmenes de producción de piezas grandes y relativamente delgadas, tales como los cascos de pequeñas embarcaciones.

El proceso es el siguiente:

- 1) Recubrimiento del molde con una película separadora (desmoldante).
- 2) Aplicación del plastiesmalte ("Gel Coat").
- 3) Colocación sobre el molde de la colchoneta de fibra de vidrio.
- 4) Aplicación de la resina con una brocha (picado).
- 5) Rolado de la fibra de vidrio, para distribuir uniformemente la resina y eliminar las burbujas de aire.

El proceso se repite a partir de la tercera etapa, añadiendo las capas de colchoneta o petatillo necesarias, hasta que se llegue al espesor deseado, como se indica en la Fig. 5.43. El espesor mínimo práctico es de, aproximadamente, 1.6 mm (1/16 pul.).

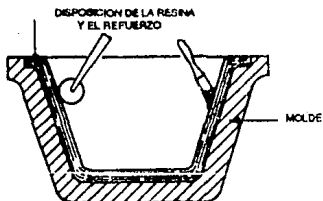


Fig. 5.43. Picado a mano. (Ref. 5).

Finalmente, se deja curar la pieza a temperatura ambiente. El curado puede acelerarse aplicando calor externo.

5.12.1.2. ASPERSION.-

Este proceso es similar al anterior, con la diferencia de que la resina y el refuerzo se depositan simultáneamente en el molde por medio de una pistola aspersora. La fibra de vidrio utilizada en este caso es la mecha, la cual va siendo cortada por un dispositivo de la pistola y arrojada junto con la resina. Luego se procede a un rolado, igual que en el Picado a mano. (Ver Fig. 5.44).

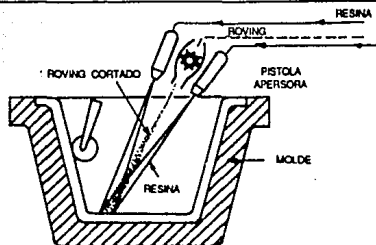


Fig. 5.44. Aspersión. (Ref. 5).

La ventaja de este proceso sobre el proceso manual es que permite la producción de piezas de formas más complejas y a mayor velocidad. Sin embargo, los productos moldeados mediante el Picado a mano superan en resistencia a los obtenidos por Aspersión, ya que, con el primero, el refuerzo se puede colocar de una manera más estratégica, y con un mejor control de la distribución y uniformidad de las capas; cosa que es más difícil de lograr con la Aspersión, dada la naturaleza misma del proceso.

Existen variaciones de los dos métodos descritos anteriormente, con la finalidad de obtener productos más densos y de mayor calidad. Una de las variaciones consiste en colocar una plancha o película plástica flexible sobre las capas de fibra y resina dispuestas sobre el molde, y hacer vacío entre la plancha y el molde. La otra modificación consiste en presionar las capas dispuestas en el molde por medio de una bolsa de hule a la cual se le inyecta aire comprimido, como se indica en la Fig. 5.45. Las dos modalidades se llevan a cabo durante el ciclo de curado de la pieza, y su objetivo es ejercer una fuerza uniformemente distribuida para compactar las capas de refuerzo.

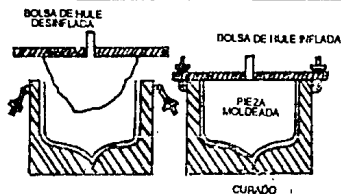


Fig. 5.45. Compactado de las capas de un plástico reforzado usando una bolsa inflada. (Ref. 26).

Estas variaciones de procesos tienen la ventaja de que se obtiene una pieza con un mejor acabado por ambos lados, y se logra una mejor adhesión entre la resina y la fibra. También, posibilitan el uso de una mayor cantidad de refuerzo. En cambio, tienen la desventaja de que son más costosos que los procedimientos originales, ya que requieren de más equipo; además, las modificaciones prolongan el tiempo de ciclo, haciéndolos más lentos.

5.12.1.3. EMOBINADO DE FILAMENTO CONTINUO.-

Este proceso se utiliza para la fabricación de cuerpos de revolución, como cilindros, conos, esferas, etc., de alta resistencia.

El proceso consiste en enrollar mecánicamente la mocha de fibra de vidrio, previamente impregnada por inmersión en un baño de resina, alrededor de un eje o mandril giratorio que tiene la forma de la pieza deseada, como se indica en la Fig. 5.46. Cuando se ha conseguido el espesor deseado, se deja curar el material, ya sea a temperatura ambiente o en un horno. Finalmente, se separa la pieza del mandril. Para evitar que la pieza se pegue al mandril, éste se cubre con un separador (película de polietileno o polipropileno).

La ventaja de este proceso es que permite que el diseñador coloque el refuerzo en las áreas de la pieza sujetas a mayores esfuerzos. Los tanques hechos con este proceso tienen el valor más alto de la relación resistencia-peso que los obtenidos por los otros métodos; además de que pueden ser producidos a bajo costo y, prácticamente, de cualquier tamaño.

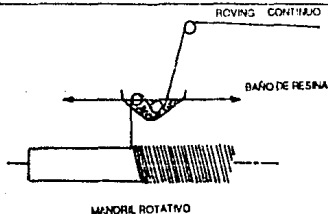


Fig. 5.46. Emboinado de filamento continuo. (Ref. 28).

5.12.1.4. VACIADO CENTRIFUGADO.-

En este proceso, el material de refuerzo y la resina se colocan en el interior de un mandril hueco; éste se transporta a un horno y se le hace girar, provocando que la resina se distribuya uniformemente dentro del refuerzo. El calor hace que la resina se cure, y la acción de la fuerza centrífuga forma la pieza, Fig. 5.47. Este proceso se utiliza para la fabricación de cilindros y tanques con acabado exterior liso.

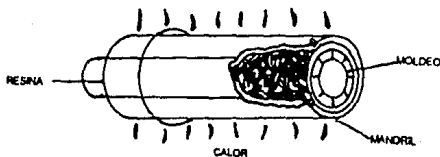


Fig. 5.47. Vaciado centrífugo. (Ref. 26).

5.12.2. PROCESOS DE MOLDEO CERRADO O POR COMPRESION.-

Estos procesos son para volúmenes de producción más grande que los de los procesos descritos anteriormente. Algunos son de alta presión y otros son de baja presión.

5.12.2.1. MOLDEO A PRESION Y TEMPERATURA (PRENSADO EN CALIENTE).-

Es un proceso similar al moldeo por compresión explicado en la sección 5.3. Para formar la pieza se utiliza un molde de dos piezas (macho y hembra), montados en una prensa.

Hay varias modalidades del prensado en caliente. Se diferencian por la forma en que la mezcla resina-refuerzo se alimenta a la prensa. Dichas modalidades son:

- Premezcla o Masilla (BMC, "Bulk Molding Compound").-

La premezcla o masilla, como su nombre lo indica, consiste en una mezcla previamente preparada de resina, filamento cortado de fibra de vidrio o fibra de sisal (1.3 a 5 cm. de longitud), carga, catalizador y otros aditivos. Su consistencia es similar a la de la arcilla, y se introduce en el molde en forma de masilla, donde se le aplica calor y presión para formar la pieza deseada, Fig. 5.48.



Fig. 5.48. Proceso BMC. (Ref. 26).

Las características sobresalientes que imparten los compuestos BMC son:

- alto módulo de flexión
- bajo escurrimiento.
- buena resistencia al impacto
- baja elongación.

Las piezas de plásticos reforzadas con este método son apropiadas para aplicaciones que requieran rigidez y capacidad para soportar cargas.

- Plancha preimpregnada (SMC, "Sheet Molding Compound").-

En este proceso, la mezcla de resina, refuerzo, catalizadores y aditivos, se presenta en forma de plancha, cubierta con una película de polietileno para facilitar su manejo y evitar contaminación. La plancha se corta a un tamaño especificado y se introduce en el molde, donde se le aplica calor y presión para formar la pieza, Fig. 5.49. El tamaño de la fibra es de 2.5 a 8 cm.

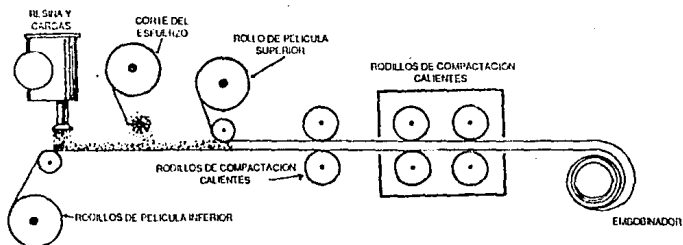


Fig. 5.49. Proceso SMC. (Ref. 26).

Con el sistema SMC se obtienen productos más ligeros y con mejores propiedades mecánicas que con el sistema BMC. Esto se debe a que la presentación en forma de plancha contiene mayor cantidad de refuerzo y las fibras son más largas. Además, esta plancha ha sido previamente compactada por unos rodillos, lo que aligera el peso del compuesto.

- **Preforma.-**

Para este proceso, primero hay que hacer una réplica en fibra de vidrio de la pieza a moldear (preforma). Los métodos más importantes para hacer la preforma son los siguientes:

- a) Método de cámara plena.
- b) Método de fibra dirigida.

En ambos métodos es necesario fabricar una rejilla o pantalla de lámina de acero, con la forma de la pieza a moldear.

a) **Método de cámara plena.-**

En este método la mecha de fibra de vidrio es cortado y rociado sobre la rejilla metálica, que se encuentra girando dentro de una caseta. La caseta está provista, por su parte inferior, de un extractor de aire, para adherir los fragmentos de fibra a la rejilla metálica; y por uno de sus lados, tiene un dispositivo que dosifica un aglutinante (resina fenólica o acetato de polivinilo) a la fibra, para que se forme la preforma, como se indica en la Fig. 5.50.

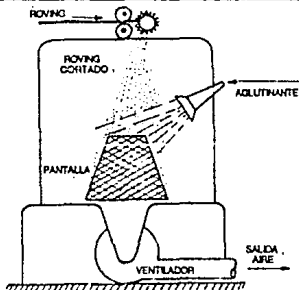


Fig. 5.50. Método de cámara plena. (Ref. 5).

Una vez curada con calor, la preforma queda lista para emplearse en la prensa, impregnándola antes de cerrar el molde con una mezcla de resina, catalizador, cargas y pigmentos.

b) Método de fibra dirigida.-

En este método, la rejilla metálica se coloca verticalmente sobre una base giratoria. La fibra se corta y se transporta neumáticamente por una manguera que luego la sopla sobre la rejilla. Sobre ésta, se rocía el aglutinante, y se procede al horneado para que se produzca la preforma, como se indica en la Fig. 5.51.

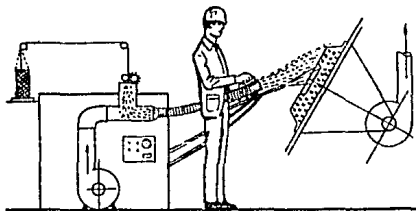


Fig. 5.51. Método de fibra dirigida. (Ref. 5).

Hecha la preforma, se procede como en el método anterior, colocándola en el molde e impregnándola con la resina ya preparada. Se cierra el molde, se aplica presión y calor y se moldea la pieza.

5.12.2.2. PRENSADO EN FRÍO.-

Es similar al moldeo por compresión, con la diferencia de que los moldes no están calientes, y la presión utilizada es relativamente baja. El refuerzo de fibra se coloca en la cavidad del molde y se le vierte la resina previamente formulada; se cierra el molde y se deja que cure el material, como se indica en la Fig. 5.52. Se puede aplicar una película de acabado o "Gel Coat" sobre las paredes del molde, para obtener una superficie lisa por ambas caras de la pieza.

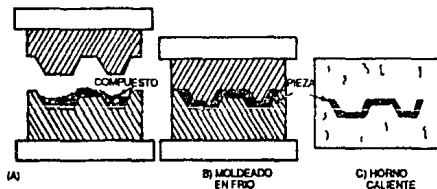


Fig. 5.52. Prensado en frío. (Ref. 26).

Este proceso tiene la ventaja de que el equipo utilizado no es muy costoso, comparado con el prensado en caliente. Los moldes se pueden fabricar de materiales reforzados (resina poliéster o epóxica). Además, la velocidad de producción es mayor que en el moldeo por aspersión.

5.12.2.3. MOLDEO POR INYECCION.-

Este proceso se utiliza para el procesamiento de termoplásticos reforzados.

El procedimiento es igual al ya descrito en la sección 5.1; sólo que los gránulos de plástico ya contienen el material de refuerzo. También, el material de refuerzo puede añadirse por separado en la tolva de la máquina de inyección.

El uso de materiales fibrosos para reforzar termoplásticos tiene los siguientes efectos sobre las propiedades de los mismos:

- incrementa por lo menos al doble la resistencia a la tensión y a la flexión.
- disminuye notablemente el coeficiente de expansión térmica.
- aumento de la dureza.
- mayor resistencia a la abrasión.
- disminuye el encogimiento en el molde.
- disminuye el escurrimiento.
- disminuyen los cambios dimensionales provocados por la humedad.
- el efecto más notable de los termoplásticos reforzados es que mantiene la resistencia al impacto IZOD a muy bajas temperaturas.

Algunos de los efectos indeseables de los refuerzos de fibra de vidrio en los termoplásticos son:

- opacidad
- bajo brillo
- dificultad para el electroplateado.
- ocasionales marcas de fibra en la superficie de la pieza.
- pérdida de la flexibilidad mecánica.

5.12.2.4. MOLDEO ROTACIONAL.-

Este proceso también se utiliza para el moldeo de termoplásticos reforzados. El termoplástico, en forma de polvo, y el material de refuerzo, en forma de hilo cortado, se cargan en el molde. Luego se siguen los pasos ya descritos en la sección 5.6.

5.12.2.5. ALIMENTACION DE RESINA A PRESION (RTM).-

El refuerzo de fibra de vidrio, en forma de colchoneta o petatillo, se coloca en el interior de un molde. Se cierra el molde, y se inyecta la resina líquida y catalizada a través de una abertura en una de las partes del molde. Luego se deja curar la pieza. (Ver Fig. 5.53).

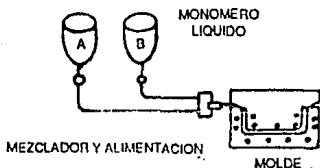


Fig. 5.53. Proceso de alimentación de resina a presión, RTM. (Ref. 26).

Este proceso es de baja presión (25 Lb/pul²). El tiempo de curado es de alrededor de 15 minutos. Los moldes son baratos, igual a los que se utilizan para el Prensado en frío. Las piezas pueden ser pigmentadas, y las superficies del molde pueden ser tratadas con "Gel Coat".

El proceso RTM es apropiado para volúmenes de producción medios, esto es, los clasificados entre el moldeo por Aspersión, y los procesos más rápidos de Prensado en Caliente.

5.12.3. PROCESOS DE MOLDEO CONTINUO.-

5.12.3.1. Extrusión con tiraje forzado (Poltrusión).-

Este es un método para producir perfiles de plásticos termofijos reforzados.

El proceso consiste en impregnar el material de refuerzo en un baño de resina catalizada, y hacerlo pasar, mediante un sistema de tirajes con rodillos, por un dado que perfila el material y controla la cantidad de resina. Inmediatamente, el material es pasado a un horno para que cure la resina. Luego se corta el perfil a la longitud deseada, Fig. 5.54.

Los perfiles de plásticos termofijos obtenidos mediante este método son similares a los perfiles extruidos de plásticos no reforzados.

La velocidad de salida de la extrusión con tiraje forzado varía desde unos pocos milímetros hasta unos 5 metros/min., dependiendo del compuesto de resina, del espesor del perfil y de la temperatura y longitud del dado.

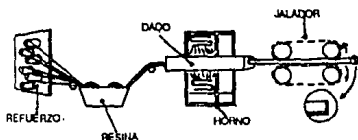


Fig. 5.54. Proceso de poltrusión. (Ref. 26).

5.12.3.2. Laminado continuo.-

En este proceso se colocan varias capas de material de refuerzo impregnadas con resina y cubiertas de celofan por ambos lados. La laminación se hace por medio de rodillos de compresión, que adelgazan la lámina y controlan la cantidad de resina, como se indica en la Fig. 5.55.

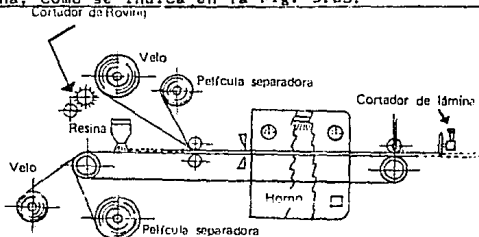


Fig. 5.55. Proceso de laminado continuo. (Ref. 24).

5.13 MAQUINADO.-

Por lo general, las piezas de plásticos moldeados requieren una o varias operaciones de acabado. Por razones de costo, es deseable reducir estas operaciones secundarias.

Sin embargo, hay situaciones en que es preferible utilizar algún tipo de maquinado para fabricar un producto que usar

un método de moldeo. El diseñador debe de evaluar este tipo de situaciones, de acuerdo a los siguientes parámetros:

-Número de piezas a fabricar; dependiendo de esto, se justificará el proveer al molde de ciertas características para obtener una pieza totalmente acabada; tomando en cuenta que esto incrementará el costo del molde. Si son pocas piezas a fabricar, es posible que éstas puedan maquinarse a partir de una preforma de plástico (barra o bloque); obteniéndose de este modo un menor costo por pieza que con el moldeo.

-Grado de precisión requerido; en ocasiones este grado sólo puede ser conseguido mediante una operación de maquinado posterior.

-Naturaleza del material plástico; hay formulaciones de plásticos que no pueden ser moldeadas.

La mayoría de los plásticos pueden ser maquinados con muy buenos resultados, usando los métodos convencionales para maquinar madera y metales, tales como: aserrado, barrenado, limado, fresado, torneado, cepillado, esmerillado, punzonado, etc.

Las principales consideraciones que deben tomarse en cuenta en el maquinado de plásticos son:

- su sensibilidad al calor
- su alto coeficiente de expansión térmica.
- su baja conductividad térmica.

Como puede verse, todas las consideraciones están referidas a las propiedades térmicas del material. Dichas consideraciones son más desfavorables para el maquinado de termoplásticos que para el maquinado de termofijos; por las razones expuestas en el Cap. 4. En cambio, los termofijos son más abrasivos a las herramientas de corte que los termoplásticos.

Para que el maquinado de plásticos sea exitoso se recomienda:

1) Debido a que los plásticos tienen una baja conductividad térmica, y, comparándolo con otros materiales, bajo módulo elástico; es importante que las herramientas de corte estén correctamente afiladas para permitir un corte limpio y sin atascaduras. Además, esto evita que haya un calor de fricción excesivo, efecto muy dañino para plásticos de punto de fusión bajo, propensos a derretirse o fisurarse.

2) La elevada expansión térmica de los plásticos requiere del uso de un sistema de enfriamiento eficiente durante el maquinado. Este puede ser a base de aceites emulsionantes, agua pura o aire comprimido. Los beneficios de un buen enfriamiento son: aumento de la velocidad de corte, cortes más

suaves, una vida más larga de la herramienta de corte y eliminación de impurezas.

3) Se aconseja el uso de herramientas para metales blandos, de alta velocidad de corte, de avance lento, y con enfriamiento abundante.

4) En el caso de aserrado, se recomienda el uso de sierra de cinta.

5.14 PROCESOS DE DECORACION DE PLASTICOS.-

Los procesos de decoración agrupan aquellos en los que se hace un tratamiento de la superficie de la pieza de plástico con las siguiente finalidad:

- embellecimiento (brillo, tono de color, ocultación de líneas de flujo, etc.).
- protección (resistencia a la luz o a la intemperie).
- efecto técnico (metalizado, barnizado para repeler polvo o evitar adherencia).
- informativo (instrucciones de funcionamiento, modo de empleo).
- caracterización (marcas de fábrica, signos de calidad)
- publicidad (imágenes impresas, logotipos, etc.).

La decoración puede hacerse durante el moldeo, inmediatamente después o antes del ensamble final o empaque.

Ya que la decoración de un producto plástico es un tratamiento de superficie, el prerequisite fundamental es que dicha superficie esté lo suficientemente limpia y preparada correctamente para su decoración. Esto implica, remover cualquier rastro de lubricantes, desmoldantes, plastificantes, humedad, polvo, etc. Las piezas de plásticos tienden a retener cargas estáticas, lo que provoca que se adhieran partículas de polvo. Para evitar este efecto, se utilizan algunos solventes eliminadores de la electricidad estática.

Casi todos los plásticos pueden ser decorados; pero algunos son más difíciles que otros. Los termoplásticos son más propensos a ser atacados por solventes que los termofijos.

Frecuentemente, es necesario hacer un tratamiento previo de la superficie del plástico antes de decorarlo, para garantizar un buen anclaje. Esto se debe a la constitución química y la insolubilidad en disolventes que presentan determinados plásticos, tales como, las Poliolefinas y los Poliacetales. Este tratamiento previo puede ser por medios físicos o químicos. Los más importantes son:

- Flameado.- Consiste en exponer momentáneamente la superficie a decorar a una elevada temperatura mediante una flama. Esta exposición momentánea a la flama no causa distorsión

del plástico; pero hace que la superficie sea más receptiva para la decoración.

-Tratamiento químico.- Consiste en sumergir la pieza de plástico, o parte de la misma, en un baño ácido durante unos segundos. Se usa principalmente para el tratamiento de Poliacetales. La superficie así tratada se vuelve mate y forma una buena base de adherencia para las tintas de imprenta.

-Tratamiento corona.- Es un tratamiento electrónico. Consiste en colocar la superficie del plástico entre dos electrodos y someterla a una descarga eléctrica de alto voltaje y alta frecuencia. Esto provoca una oxidación de la superficie de la pieza. El efecto de este tratamiento depende del voltaje aplicado y de su frecuencia; también es decisiva la distancia entre los electrodos.

-Tratamiento de plasma.- Consiste en someter el plástico a una descarga eléctrica dentro de una cámara de vacío. Los átomos que se encuentran en la superficie del plástico son cambiados y reordenados físicamente, lográndose una mejor característica de adhesión.

Los procesos de decoración más utilizados son:

- Pintado
- Estampado en caliente.
- Metalizado.
- Impresión.

5.14.1. PINTADO.-

El pintado es un método de decoración poco costoso y muy popular. Consiste en recubrir la superficie de la pieza con alguna pintura.

Hay dos tipos de recubrimientos utilizados: esmaltes y lacas. Los esmaltes son recubrimientos que contienen resinas termofijas disueltas en un disolvente. Las lacas o barnices son recubrimientos que contienen resinas termoplásticas disueltas en un disolvente.

Los esmaltes tienen buenas propiedades eléctricas, alto brillo y dureza, pero requieren de temperaturas de curado a la cual la mayoría de los termoplásticos se distorsionan. Los barnices son más utilizados para decorar piezas de termoplásticos; son más fáciles de aplicar y se secan a temperatura ambiente, 23 °C, al evaporarse el disolvente.

Las funciones que cumple el barnizado de plásticos son:

- proporcionar a la pieza con el grado de uniformidad que no puede lograrse con el moldeo, ni con el grado de brillo requerido.
- ocultar líneas de flujo.

- proveer resistencia a la intemperie.
- aumentar la estabilidad de la superficie del plástico frente a determinadas acciones mecánicas y químicas externas.
- reducir la carga electrostática sobre la superficie del plástico, y con ello, la atracción de polvo.
- estabilización de ciertas propiedades, como, por ejemplo, la resistencia al impacto de algunos termoplásticos.

Estas propiedades pueden alcanzarse con una película de barniz de 0.01 a 0.02 mm de espesor. Cuando se necesita una estabilidad a ataques químicos particularmente alta, hay que considerar espesores de hasta 0.03 mm.

Para efectuar un buen laqueado de plásticos hay que tomar en cuenta los siguientes puntos:

- Evitar cantos agudos y contraperfiles en la fabricación de piezas moldeadas de plástico.
- elección de un material apto para el laqueado.
- inyección o extrusión de las piezas en condiciones óptimas, de modo que no tengan esfuerzos concentrados.
- de ser posible, no usar desmoldantes que contengan silicón; de lo contrario, usarlo sólo en cantidades mínimas.
- proceder al barnizado tan pronto como sea posible después de la producción.
- limpiar completamente la pieza antes de aplicar el barniz. (quitar cargas electrostáticas, desengrasar, etc.).
- en caso que se necesite, usar correctamente los métodos de tratamiento previo de superficie para mejorar la adherencia (flameado, tratamiento corona, etc.).

Hay varios métodos para pintar las superficies de plásticos. Todos deben tomar en consideración las observaciones anotadas anteriormente. Se diferencian por el equipo utilizado para hacer el trabajo. Por lo general se utiliza una pistola de aspersión. Los métodos más populares son: Pintado manual, Pulverizado a presión, Pulverizado electrostático, Pintado por inmersión y Pintado por rodillos. La Fig. 5.56 presenta algunos de estos tipos.

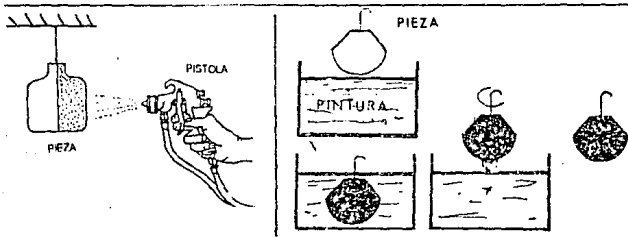


Fig. 5.56. Métodos de pintado. (Ref. 26).

5.14.2. ESTAMPADO EN CALIENTE.-

Se entiende por estampado en caliente a la aplicación de una película o cinta que contiene un revestimiento decorativo sobre la superficie del plástico, mediante la presión de un troquel caliente. (Ver Fig. 5.57).

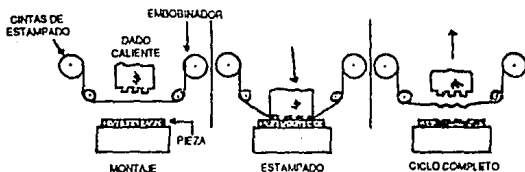


Fig. 5.57. Estampado en caliente. (Ref. 31).

Con este método puede obtenerse imágenes de gran superficie, tales como letras, mensajes, diseños gráficos en general. La operación es rápida y puede ser completamente automatizada. No se necesita disolventes, y la superficie de la pieza no tiene que ser tratada previamente.

Los troqueles pueden ser de acero, latón o de hule silicón. Estos últimos se utilizan para superficies irregulares, pero su uso es limitado debido a su baja conductividad térmica. Los preferidos son los de acero, ya que soportan presiones elevadas, son muy duros y resistentes al desgaste.

Los parámetros a controlar para realizar un buen estampado en caliente son:

- Presión
- Tiempo
- Temperatura.

Estos parámetros, a su vez, están en función de la película de estampado y del material a estampar. La Fig. 5.58 presenta la constitución de una película de estampado. Consta de una lámina soporte, que puede ser de celofán o acetato. Esta lámina no se transfiere a la pieza durante el estampado. Las demás capas se conocen como capas de estampado, y son las que se transfieren a la pieza; la primera es una capa de separación, hecha a base de un material sensible al calor, y actúa como agente de separación de la banda soporte. Sobre esta capa se aplica una laca protectora, que provee protección de la capa metálica. La capa metálica si-

guiente puede ser sustituida por una capa de pintura. Por último, viene la capa de adherencia, hecha a base de un adhesivo sensible al calor y a la presión.

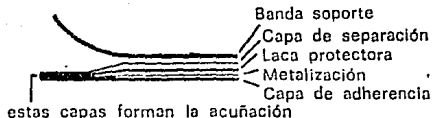


Fig. 5.58. Constitución de una película de estampado. (Ref. 31).

Durante el estampado, debe darse el tiempo suficiente para que el calor y la presión del troquel penetren todas las capas de la película de estampado, y conviertan en estado líquido el adhesivo de la última capa. Cuando se retira el troquel con la lámina soporte, debe dejarse que se enfríe por un tiempo breve para que el adhesivo se solidifique. Este adhesivo debe ser compatible con el material a estampar.

5.14.3. METALIZADO.-

El metalizado consiste en recubrir la superficie del plástico con una fina capa metálica. Los metales más utilizados son: cobre, plata, níquel y cromo.

El proceso es similar al utilizado para galvanizar metales, con la diferencia de que el sustrato es un no-conductor. Por lo tanto, primero hay que hacer que la superficie del plástico sea conductora de corriente eléctrica. Esto se consigue mediante la precipitación de un metal conductor, como el cobre. La película de cobre se une física y químicamente al plástico. La clave para hacer un buen galvanizado en plásticos está en esta delgada película de cobre que sirve como base; el espesor de la misma es de 0.00025 a 0.0008 mm (0.25 a 0.8 micrones).

Una vez que la superficie del plástico es conductora de electricidad, se produce la galvanización de la pieza en un baño con la solución de plata u otro metal, mediante ánodos y cátodos, como se indica en la Fig. 5.59.

Otro método de metalizar piezas de plástico es por medio de Vaporización al vacío. En este método, la pieza de plástico se limpia completamente y se le da un recubrimiento con barniz para sellar los poros y los defectos superficiales que pudiera tener. Luego se introduce en una cámara de vacío provista de un crisol donde se colocan pequeñas partículas

metálicas para el recubrimiento (aluminio, plata, oro, cobre, cromo). Se cierra la cámara y se hace vacío. Cuando se llega al nivel de vacío deseado, conocido como alto vacío (0.07 Pascal ó 0.0005 mm de mercurio), el metal se calienta hasta que se vaporiza y se condensa sobre la pieza. La pieza debe rotarse para que pueda ser cubierta completamente, (Fig. 5.60). Con este método se consiguen espesores de recubrimientos ultra finos (menos de 0.001 mm), con acabado de espejo.

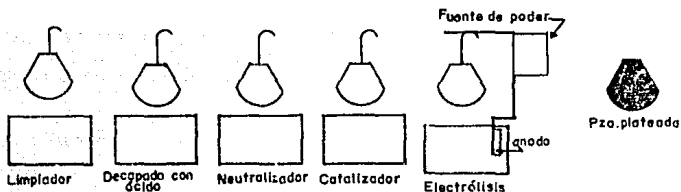


Fig. 5.59. Metalizado de plásticos. (Ref. 31).

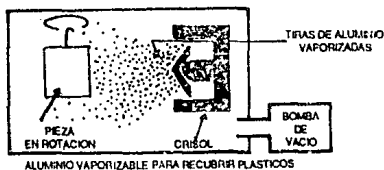


Fig. 5.60. Vaporizado al vacío. (Ref. 31).

Mediante el metalizado de la superficie del plástico pueden mejorar las siguientes propiedades:

- Aumentar la resistencia a la tensión, a la flexión y al impacto.
- Disminuir la absorción de agua, disolventes y aceites; así como la permeabilidad a líquidos y gases.
- Reducir el envejecimiento.
- Mejorar la estabilidad dimensional.
- Aumentar considerablemente la resistencia a la abrasión, inclusive hasta niveles comparables con los metales.
- Aumentar la resistencia a productos químicos y a la corrosión.
- Disminuye notablemente la distorsión por calor.
- Se puede evitar las cargas estáticas sobre el plástico.

Por el contrario, la ductilidad del plástico disminuye.

Como se ve, mediante el metalizado se obtiene un material totalmente nuevo.

Los plásticos metalizados han ganado mucho popularidad sustituyendo a los metales en muchas aplicaciones; sobre todo en la industria automotriz. Esto se debe a que las piezas de plástico metalizado presentan las siguientes ventajas sobre sus homólogas fabricadas con metales:

- 1) Las piezas de plástico galvanizado son mucho más ligeras que las metálicas en igualdad de dimensiones. Esto proporciona ahorros considerables en el transporte a grandes distancias.
- 2) Con el sustrato de plástico no existe el temor que se tiene con los metales de que haya corrosión en la pieza.
- 3) La pieza de plástico galvanizado ofrece una producción más racional y flexible, ya que ésta puede obtenerse integralmente con un solo tiro de inyección. Mientras que las piezas metálicas necesitan diversos y costosos trabajos de elaboración mecánica (torneado, taladrado, fresado, etc.).

5.14.4. IMPRESION.-

Todos los métodos conocidos para la impresión de papel, a una o dos tintas, son aplicables para la impresión de superficies de plásticos. Estos métodos son: Serigrafía, Offset, Tipografía, Huescgravado, Flexografía, etc.

Las limitaciones para la impresión vienen dadas por la forma de la pieza y por las propiedades del material.

En cuanto a la forma de la pieza, podemos diferenciar dos tipos: las piezas en forma de planchas o películas, y las piezas moldeadas con otras configuraciones. Las primeras no presentan problemas, pueden ser impresas en imprentas comunes. En cambio, los productos moldeados con formas prismáticas o cilíndricas, requieren de máquinas de impresión especiales instaladas en la propia planta, ya que son pocas las empresas comerciales que den este servicio.

Para la impresión de plásticos se requiere de una buena adherencia de las tintas sobre la superficie. Por lo tanto, hay que limpiar muy bien la superficie de la pieza para eliminar residuos de lubricantes, desmoldante y plastificante. Muchas veces hay que aplicar uno de los tratamientos de superficie descritos anteriormente (flameado, tratamiento químico, etc.)

5.14.5. DECORACION EN EL MOLDE.-

Este método consiste en superponer sobre la superficie del molde una capa o película del mismo material que se va a moldear. Esta película ha sido previamente impresa con el diseño o motivo de decoración deseado. Cuando se hace el moldeo, la película queda adherida a la pieza.

La película de plástico que se superpone al molde puede ser impresa por los métodos de estampado en caliente, offset, rotograbado, etc. Su espesor es de 0.08 a 0.25 mm.

La consideración más importante que debe tomarse en cuenta en este tipo de decoración es la localización de la entrada de material al molde, para evitar que la película se arrugue. Se recomienda que la entrada de material esté al menos a 12.5 mm de la superficie de decoración.

El mejor método de anclar la película decorativa en la superficie del molde es por medio de electricidad estática. La carga electrostática sobre la película hace que ésta se adhiera al molde.

5.15 METODOS DE SUJECION Y UNIONES.-

Al igual que la madera y los metales, las piezas de plástico pueden ser ensambladas o unidas para conformar un objeto. Hay una gran variedad de métodos para unir plásticos. Podemos agruparlos en tres categorías principales:

- 1) Medios mecánicos.
 - tornillos
 - remaches
 - insertos
 - ajuste a presión
- 2) Soldaduras
 - ultrasónica
 - por gas
 - por fricción
 - por fusión
 - electromagnética
- 3) Adhesivos y disolventes

5.15.1. MEDIOS MECANICOS.-

5.15.1.1 TORNILLOS.-

Uno de los métodos más antiguos para unir piezas de plástico es mediante tornillos. Entre éstos, los más utilizados son los autoroscantes.

Los tornillos autoroscantes son apropiados para ensamblar piezas que no tengan que desensamblarse continuamente. Según la manera en que se forma la rosca, se distinguen dos tipos de tornillos autoroscantes, normalizados por la norma ANSI norteamericana (American National Standards Institute); estos son:

- tornillo autoroscante por desplazamiento
- tornillo autoroscante por corte

La diferencia fundamental entre estos dos tipos de tornillos es que los de corte están provistos de un filo cortante en su extremo para formar la rosca, y de una pequeña cavidad para alojar la viruta; en cambio, los de desplazamiento, como su nombre lo indica, solo desplazan el material a medida que va penetrando en el orificio previamente moldeado en la pieza. La norma ANSI clasifica una serie de tipos (A, B, D, etc.) dentro de las dos categorías mencionadas. La Fig. 5.61 muestra un ejemplo de éstos.

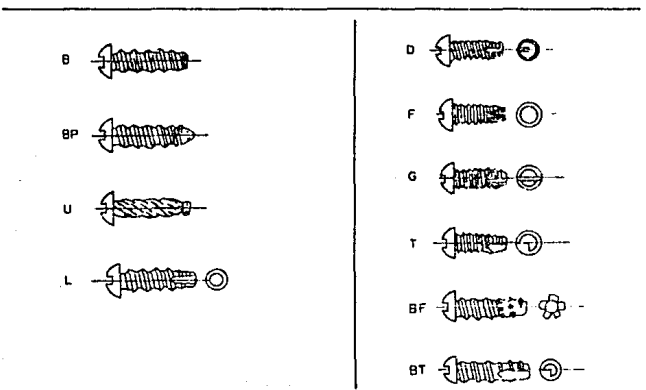


Fig. 5.61. Tipos de tornillos. (Ref. 2).

La selección de uno u otro tipo de tornillo depende del tipo de plástico a ensamblar. Las recomendaciones son:

- para termoplásticos: usar tornillos autoroscantes por desplazamiento.
- para termofijos: usar tornillos autoroscantes por corte.

Esta recomendación está basada en las características intrínsecas de las dos familias. Todos los termoplásticos poseen memoria, o capacidad de recuperación de su forma original una vez que han sido deformados dentro de ciertos límites. Esta propiedad es el factor clave para la utilización de los tornillos autoroscantes por desplazamiento; pues, a medida que penetra en la pieza va distorsionando el material; pero, el termoplástico tratará continuamente de regresar a su forma original, por su capacidad de memoria. Este efecto se traduce en una fuerza de cierre y ajuste sobre el tornillo, favorable para la unión. En cambio, este efecto no es igual para los termofijos, por su dureza y poca memoria; por el contrario, este tipo de tornillo, al desplazar material para formar la rosca, podría generar esfuerzos que, eventualmente, pueden romper o fisurar la pieza.

Para el caso del Nylon se utiliza un tipo de tornillo especial, conocido como tornillo tipo L, el cual es una combinación del tornillo roscante por desplazamiento y del tornillo roscante por corte.

Para el diseño de uniones mediante tornillos hay que considerar los siguientes puntos:

- La sección alrededor del orificio debe ser lo suficientemente gruesa para alojar el tornillo sin que se produzcan fisuras.
- Si el tornillo se va alojar en una protuberancia de la pieza, el espesor de la sección de la misma debe ser, al menos, igual al diámetro del tornillo.
- El orificio moldado o barrenado en donde se introducirá el tornillo debe de estar abocardado para guiar el tornillo y prevenir cualquier des-alineamiento.

5.15.1.2. REMACHES.-

Los remaches son fáciles de instalar y de bajo costo. Sin embargo, éstos no son tan precisos como las uniones roscadas, y no soportan esfuerzos grandes de tensión. La Fig. 5.62 muestra una unión con remache y sus características.

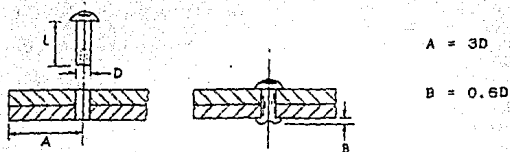


Fig. 5.62. Características de la unión con remaches. (Ref. 2)

L = longitud del cuerpo del remache
 D = diámetro del remache
 A = distancia del remache al borde
 B = tolerancia de doblado del remache

5.15.1.3. INSERTOS.-

Los insertos se discutirán a fondo en el siguiente capítulo.

5.15.1.4. AJUSTE A PRESION.-

Las uniones de plásticos mediante ajustes a presión se produce por un intercierre entre las piezas de plásticos, sin usar sujetadores mecánicos, como se muestra en la Fig. 5.63.

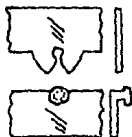


Fig. 5.63. Ajuste a presión. (Ref. 2).

Para este tipo de unión se requiere de plásticos tenaces, como el ABS, Nylon, Acetal, Policarbonato, etc. El diseño de estas uniones es muy delicado, ya que se necesita un estrecho control dimensional para conseguir un ajuste confiable.

5.15.2. SOLDADURAS.-

5.15.2.1. SOLDADURA ULTRASONICA.-

El ultrasonido es la técnica de producir y utilizar energía mecánica en forma de vibraciones de frecuencias por encima del rango de la audición humana. La soldadura ultrasónica se basa en el calor inducido en un termoplástico, generado por un campo electrodinámico de alta frecuencia, que causa la fusión mediante fricción de las superficies a unir. Este es uno de los métodos más rápidos para unir termoplásticos, con una duración promedio de dos segundos.

El equipo para la soldadura ultrasónica lo constituye, básicamente, un transductor, en el que se genera la vibración de alta frecuencia. Dicha frecuencia es de 20 a 40 Kilocertz. La Fig. 5.64 muestra un esquema simplificado de la soldadura ultrasónica.

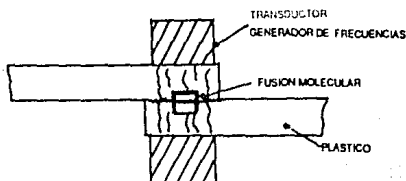


Fig. 5.64. Soldadura ultrasónica. (Ref. 8).

Este proceso tiene las siguientes características particulares:

- no necesita disolventes ni adhesivos
- no se necesita tratamiento previo o preparación de las superficies a soldar.
- la sección del plástico puede ser irregular.

Uno de los parámetros importantes que hay que tomar en cuenta para obtener una buena soldadura es la distancia que tiene que viajar la vibración a través de la pieza de trabajo. La pieza recibe mayor cantidad de energía cuando la vibración viaja hasta 6.35 mm de distancia a partir el punto de contacto con el transductor. Esto se conoce como soldadura cercana al campo. Si la vibración viaja una distancia mayor de 6.35 mm, se le denomina soldadura lejana al campo.

Otro parámetro importante en la soldadura ultrasónica es el diseño de la unión entre las piezas. Este diseño está muy relacionado con el punto director de la energía, el cual es una pequeña protuberancia que tiene una de las superficies a

unir, y es el punto de contacto por donde empieza el flujo de la energía para la soldadura. La Fig. 5.65 muestra algunas recomendaciones para el diseño de la unión.

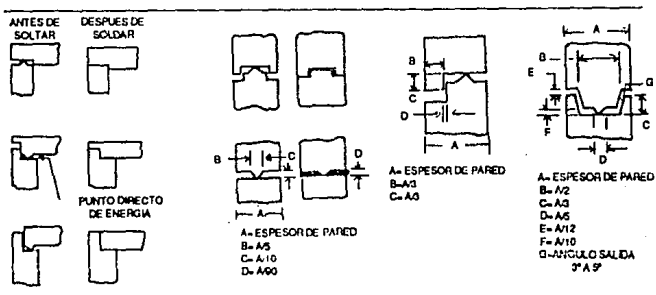


Fig. 5.65. Recomendaciones para el diseño de la unión para soldadura ultrasónica. (Ref. 2).

Para fines prácticos, la altura del punto director de energía debe ser como mínimo 0.25 mm. Hay termoplásticos, como el Policarbonato, que requieren mayor cantidad de energía para soldarse, por lo que el punto director debe tener una altura mayor que la mencionada, no menos de 0.5 mm.

La soldadura ultrasónica también se utiliza para insertar y unir piezas metálicas con plásticos, mediante las técnicas de Estacado ultrasónico e Inserto ultrasónico.

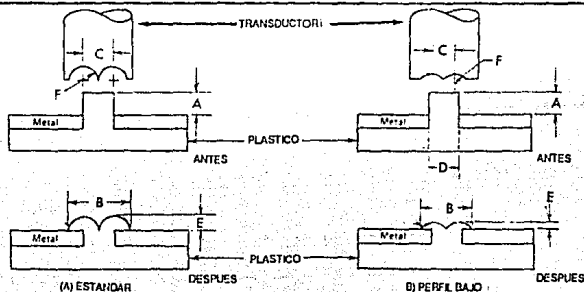


Fig. 5.66. Dimensiones recomendadas para el estacado ultrasónico. (Ref. 2, 5).

FORMA DE LA CABEZA	D	A	B	C	E	F
Estandar	d	1.6d	2d	d	0.5d	0.5d
Perfil bajo	d	0.6d	1.5d	0.75d	0.25d	0.5d

D = diámetro de la estaca

A = altura de la estaca sobre el metal antes del estacado

B = diámetro del cabezal del transductor

C = diámetro centro-centro del cabezal del transductor

E = perfil después del estacado

F = radio (en radianes).

El estacado ultrasónico consiste en formar una cabeza de cierre sobre una estaca o espiga de plástico. Hay dos tipos de estacado ultrasónico, el estándar y el de perfil bajo, como se indica en la Fig. 5.66, donde se muestran las dimensiones recomendadas para ambos casos.

La técnica de incorporar insertos metálicos a piezas de plástico es novedosa. Consiste en moldear o barrenar en la pieza un orificio de menor diámetro que el del inserto a colocar. Las vibraciones ultrasónicas se aplican al inserto metálico, causando un desplazamiento y flujo del plástico alrededor del mismo. Este efecto provoca un cierre mecánico in situ del inserto, como se indica en la Fig. 5.67.

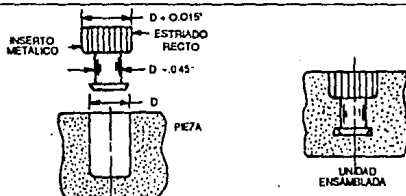


Fig. 5.67. Insertado ultrasónico. (Ref. 2).

La soldadura ultrasónica también se utiliza para efectuar soldadura por puntos, similar a la utilizada en metales, para plásticos de más de 8 mm de espesor. Para esto, se necesita un equipo de alta potencia, con un diseño especial del transductor. Durante la soldadura, las vibraciones del

transductor atraviesan la primera plancha y, aproximadamente, la mitad de la segunda; luego, el material derretido fluye al interior del espacio entre las planchas, soldándose. Con este método se obtienen soldaduras tipo costura.

No todos los termoplásticos pueden unirse mediante soldadura ultrasónica. La soldabilidad de un termoplástico depende de los siguientes factores:

- temperatura de fusión.
- módulo de elasticidad.
- resistencia al impacto.
- coeficiente de fricción.
- conductividad térmica.

En general, mientras más rígido es el plástico, más fácil es de soldar. Los materiales de módulo bajo, tales como el Polietileno y el Polipropileno, pueden ser soldados siempre y cuando el transductor pueda ser colocado cerca del área de unión. La mayoría de las soldaduras ultrasónicas son hechas con Poliestireno, Polietileno, PVC, Nylon, etc.

La Tabla 5.10 indica las características de soldabilidad relativa de los termoplásticos más comunes. Esta tabla debe ser utilizada sólo como una guía, ya que las variaciones en la resina producen resultados diferentes.

MATERIAL	FACILIDAD DE SOLDAR		ESTACADO e INSERTADO	SOLDADURA POR PUNTOS
	cercana al campo	lejana al campo		
ABS	E	B	E	E
PS				
-sin carga	E	E	E	E
-espuma es estructural	B	M	E	E
-RFV(>30%)	E	E	E	E
SB	E	B-M	E	E
SAN	E	E	E	E
PA ²	B	R	E	E
PC ²	E	E	E	E
POM ²	B	R	E	B
PMMA ²	B	B-R	E	B
PPO	B	E-B	E	E
PSU	B	B-R	E	E
PBT	B	R	B	R
AC	R-M	M	B-R	B
PE	R-M	R-M	E	E
PP	B-M	R-M	E	E
PVC	R-M	R-M	B-R	B

TABLA 5.10. Características de soldabilidad ultrasónica de termoplásticos. (Ref. 5).

NOTAS:

- E = excelente, B = bueno, R = regular, M = malo
 (1) Las espumas de alta densidad se sueldan mejor.
 (2) El contenido de humedad inhibe la soldadura.
 (3) Requiere de alta energía y de prolongada exposición ultrasonica debido a su bajo coeficiente de fricción.
 (4) Los grados para vaciado son más difíciles de soldar debido a su alto peso molecular.

En general, las resinas cristalinas, tales como el Acetal, Teflón, Nylon, Poliéster termoplástico, Polietileno y Polipropileno, requieren para su soldadura de mayores niveles de energía, debido a su alta temperatura de fusión.

La Tabla 5.11 presenta la compatibilidad de los termoplásticos para la soldadura ultrasónica. Al igual que la tabla anterior, ésta sólo debe usarse como guía.

	A B S	P O M	P M M A	A C	P P O	P S U	P A	P C	P E	P P	P S	P V C	S A N
ABS	+		+								+		+
POM		+											
PMMA	+		+					+					+
AC				+									
PPO					+						+		+
PSU						+							
PA							+						
PC			+					+					
PE									+				
PP										+			
PS	+				+						+		+
PVC												+	
SAN	+		+		+						+		+

+ Indica compatibilidad

± Indica que sólo algunos grados son compatibles

TABLA 5.11. Compatibilidad de termoplásticos para soldadura ultrasónica. (Ref. 5).

5.15.2.2. SOLDADURA POR FRICCIÓN.-

La soldadura por fricción es un método para unir piezas circulares de plástico mediante fricción. El calor de fricción que se genera al girar una de las piezas contra la otra provoca el ablandamiento cohesivo de las mismas; luego se deja solidificar bajo presión, como se indica en la Fig. 5.68.

La velocidad de giro de las piezas depende del tipo de plástico y del diámetro de la pieza. Generalmente es de 6 m/seg. y la presión de contacto es menos de 20 Lb/pul².

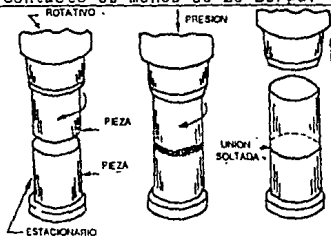


Fig. 5.68. Soldadura por fricción. (Ref. 2).

La soldadura por vibración es una variante de la soldadura por fricción; se utiliza para unir por fricción piezas no circulares. La frecuencia de la vibración es de 90 a 120 Hertz, y la presión de contacto varía entre 200 y 250 Lb/pul².

5.15.2.3 SOLDADURA POR FUSIÓN.-

La soldadura por fusión consiste en derretir, mediante una superficie metálica caliente, las piezas a unir, como se indica en la Fig. 5.69. Para la unión, se aplica una presión de contacto ligera, 10 a 30 Lb/pul², por unos segundos.

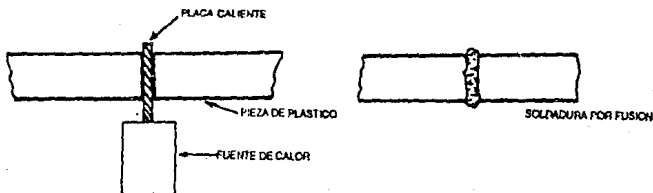


Fig. 5.69. Soldadura por fusión. (Ref. 2).

La superficie metálica debe ser cubierta con una película de Teflon para evitar que las piezas a unir se le peguen. La temperatura normal de calentamiento es de 150 a 370 °C. El tiempo de ciclo total promedio para este proceso es de 30 segundos.

Los plásticos moldeados sin carga se sueldan bastante bien y muestran una alta resistencia a la tensión en la unión soldada. Las cargas como la fibra de vidrio y el talco reducen hasta en un 50% la resistencia a la tensión de la unión soldada.

Este método se usa ampliamente para soldar películas de Polietileno.

5.15.2.4. SOLDADURA CON GAS.-

La soldadura con gas consiste en dirigir gas caliente, generalmente nitrógeno, sobre las superficies a unir, a medida que se va depositando un material de aportación de plástico, igual al plástico base, en el área calentada, como se indica en la Fig. 5.70. Este proceso es similar a la soldadura con gas de metales, con la diferencia de que no se usa una flama abierta, ya que ésta podría quemar el material plástico.

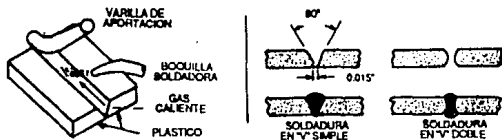


Fig. 5.70. Soldadura con gas. (Ref. 2).

El gas sale del soplete a una temperatura de 200 a 425 °C, con una presión de 3 a 4 lb/pul². Para bajas temperaturas, puede utilizarse aire en lugar de nitrógeno.

Para lograr una buena soldadura por este método es esencial que las superficies de las piezas a unir estén limpias, libre de grasas, aceites o desmoldante. Además, para las soldadura a tope, se recomienda que los extremos de las piezas se biselen, de modo que formen un ángulo de 60°, como se indica en la Fig. 5.71.

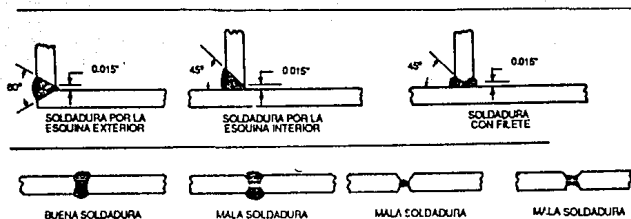


Fig. 5.71. Uniones para la soldadura por gas. (Ref. 2)

En la soldadura con gas de termoplásticos no se llega a la fusión completa del material. La resistencia a la tensión de la unión soldada nunca llega a ser tan fuerte como la del plástico a soldar; por ejemplo, para el PEAD la resistencia a la tensión de la soldadura es 60% de la de su valor nominal; para el PVC, 60%; PP, 75% y PMMA, 80%.

5.15.2.5. SOLDADURA ELECTROMAGNETICA.-

La soldadura electromagnética utiliza el principio de inducción del mismo nombre para producir calor y soldar las superficies en contacto. Para que la unión se produzca, se coloca entre las superficies a unir un compuesto electromagnético, hecho a base de una masa termoplástica que contiene finas partículas metálicas dispersas, y se somete a una corriente alterna de alta frecuencia (2 a 7 Megahertz), usando una bobina de inducción convencional. Las partículas metálicas del compuesto electromagnético se calientan por el calor generado por las llamadas corrientes de eddy y por las pérdidas de histéresis, provocando la fusión de las superficies a unir, como se indica en la Fig. 5.72. El ciclo de calentamiento es de uno o dos segundos. Además, se aplica una presión de contacto para asegurar una transferencia de calor uniforme.



Fig. 5.72. Soldadura electromagnética. (Ref. 2).

El proceso es muy versátil y puede unir plásticos a cualquier sustrato diferente, como metal, tela, papel, madera, etc. Casi todos los termoplásticos pueden ser unidos por este método. La Tabla 5.12 presenta la compatibilidad de varios plásticos para la soldadura ultrasónica.

	A	P						P	P	T	S	P	P	P
	B	M	A	A	C	E	P	V	S	U	U	N	E	O
	S	M	A	A	C	E	P	S	C	U	U	N	E	O
ABS	X		X					X	X			X		X
POM		X												X
PMMA	X		X					X	X			X		X
PA				X										X
PC					X				X					X
PE						X	X							X
PP						X	X	X				X		X
PS	X		X					X	X	X				X
PVC	X		X					X	X		X			X
PSU					X				X					X
TPU									X		X			X
SAN	X		X				X					X		X
PTFE														X
PPO														X
PAPEL	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

X = Combinaciones compatibles.

TABLA 5.12. Compatibilidad de termoplásticos para la soldadura electromagnética. (Ref. 5).

5.15.3 ADHESIVOS.-

Un adhesivo es una sustancia que tiene la capacidad de unir dos superficies formando una película entre ellas, como se indica en la Fig. 5.73. Puede ser natural (almidones, caseína de la leche, etc.) y artificial (hecho a base de resinas sintéticas, como el acetato de polivinilo, la resina epóxica, etc.).

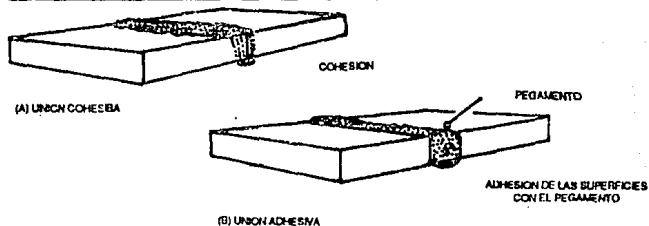


Fig. 5.73. Unión mediante adhesivos. (Ref. 26).

Los adhesivos se presentan en forma de emulsiones, soluciones, geles blandos y sólidos. Además, se caracterizan por el material o base de su presentación, pudiendo ser: adhesivos base agua, adhesivos base solventes y adhesivos sin solventes.

La unión de materiales mediante adhesivos es un método que goza de gran popularidad, por su facilidad y rapidez. Dependiendo del adhesivo utilizado, pueden lograrse uniones con gran resistencia al desgarro, a esfuerzos de tensión y esfuerzos cortantes, como se indica a la Fig. 5.74.

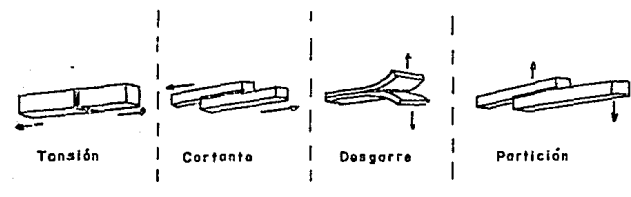


Fig. 5.74. Esfuerzos en un enlace adhesivo. (Ref. 2).

Algunas de las ventajas de los adhesivos sobre los métodos mecánicos de unión (clavado, remachado, tornillos, etc.) con los cuales tradicionalmente se compara son:

- libertad de selección de materiales a unir: madera, plástico, metales, etc.
- es posible unir piezas de formas complejas.
- la ausencia de remaches y tornillos, que crean potenciales puntos de concentración de esfuerzos, causantes de roturas.

Para la elección de un adhesivo, el diseñador debe tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- a) Afinidad del adhesivo con el material a pegar (adherente)
- b) Que tenga las propiedades de trabajo necesarias para el proceso de producción: en serie o por procesos.
- c) Resistencia y duración del adhesivo para las condiciones de uso de la pieza a unir.
- d) Costo razonable.

No hay un adhesivo universal para plásticos. Los más utilizados son:

- **Disolventes.**- Se utilizan sólo para termoplásticos. Consiste en aplicar un disolvente químico capaz de ablandar la superficie de los plásticos a unir; luego se presionan una contra otra para que se peguen. Este método se basa en la solubilidad de algunos termoplásticos en determinados disolventes. Los termoplásticos más apropiados para unirse con disolventes son los de estructura molecular amorfa, tales como el ABS, PMMA, AC, PC, PS, PPO, y PVC. Los de estructura cristalina, como PA, POM, PE, PP y PTFE, son menos solubles, y, por lo general, se unen mediante otros métodos. Las uniones por este método son rápidas y resistentes; pero la máxima resistencia de la unión se consigue hasta que se haya evaporado completamente el disolvente. A este lapso se le conoce como tiempo de secado, y depende de las características del disolvente (fundamentalmente, su punto de ebullición), las condiciones ambientales (humedad, temperatura), presión de contacto, etc. Los disolventes con un bajo punto de ebullición se evaporan más rápidamente, por lo que las superficies a unir deben de posicionarse antes de que esto ocurra.

Se recomienda que la forma de las superficies a unir sea lo más simple posible, y que esté seca, limpia y suave.

La Tabla 5.13 muestra los disolventes comunes para algunos termoplásticos, así como su punto de ebullición.

- **Cemento monomérico.**- Este es un adhesivo hecho a base de un monómero igual al del plástico a unir. La unión se produce mediante la polimerización del monómero, en lugar de

evaporarse algún disolvente. Un ejemplo típico de este tipo de adhesivo son los adhesivos acrílicos, que contienen el monómero Metil Metacrilato.

- Adhesivos elastoméricos.- También conocidos como cauchos. Se hacen a partir de caucho natural o sintético; los más conocidos se producen a partir del neopreno. El caucho puede estar suspendido en agua, algún disolvente u otro líquido.

- Adhesivos reactivos.- Se producen a partir de materiales termofijos, y generalmente se utilizan para unir piezas moldeadas de termofijos. Esto se debe a que los termofijos una vez curados, son insolubles en la mayoría de los disolventes orgánicos. El más común de este tipo de adhesivos es el que tiene como base resina epóxica.

Los adhesivos epóxicos no contienen disolventes que puedan atacar la superficie del plástico; se polimerizan y endurecen, con muy poca contracción. Sirven para unir casi todos los materiales, si se prepara bien las superficies. Sin embargo, los polietilenos, los silicones y los fluorocarbonos están entre los más difíciles de unir.

Otros adhesivos reactivos son los de base resina poliéster insaturada y base resina fenólica. La desventaja de éstos en comparación con los adhesivos epóxicos es que sufren una mayor contracción al solidificarse, lo que provoca que se fijen esfuerzos internos en la unión.

- Adhesivos termofusibles ("Hot melt").- Son completamente sólidos, no contienen agua ni disolventes. Para su aplicación, se calienta hasta que fluya y se deposita entre las superficies a unir; se enfrían rápidamente y endurece. Estos adhesivos fluyen a temperaturas entre 120 y 205 °C.

Los adhesivos termofusibles son hechos a base de termoplásticos, como Polietileno, Polipropileno, Acetato de polivinilo, etc.

- Adhesivos base poliuretano.- Estos son adhesivos termofijos. Son de dos componentes y se aplican en forma líquida. Al curar, a temperatura ambiente o en horno, se vuelven 100% sólidos. Es un adhesivo excelente y unen casi cualquier tipo de superficie.

PLASTICO	DISOLVENTE	PUNTO DE EBULLICION (°C)
ABS	Metil etil cetona	40
	Cloruro de metileno	40
PMMA	Dicloruro de etileno	84
	Cloruro de metileno	40
	Tricloruro de vinilo	87
AC	Cloroformo	61
	Dicloruro de metileno	41
PA	Fenol acuoso	
	Cloruro de calcio en alcohol	
PC	Dicloruro de etileno	41
	Cloruro de metileno	40
PPD	Cloroformo	61
	Dicloruro de etileno	84
	Cloruro de metileno	40
	Tolueno	110
PSU	Cloruro de metileno	40
PS	Dicloruro de etileno	84
	Metil etil cetona	80
	Cloruro de metileno	40
	Tolueno	110
PVC	Acetona	57
	Ciclohexanona	
	Metil etil cetona	80
	Tetrahidrofurano	65

TABLA 5.13. Disolventes para termoplásticos. (Ref. 26).

La Tabla 5.14 lista algunos adhesivos, termoplástico y termofijos, así como su forma de presentación.

ADHESIVO	PRESENTACION
TERMOFIJO	
Caseína	Po, Pe
Epóxica	Pa, Pe, D
Melamina formaldehído	Po, Pe
Fenol formaldehído	Po, Pe
Poliéster insaturado	Po, Pe
Poliuretano	D, L, Po, Pe
Resorcínol formaldehído	D, L, Po, Pe
Silicón	L, Po, Pe
Urea formaldehído	D, Po, Pe
TERMOPLASTICO	
Acetado de celulosa	L, D, Po, Pe
Butirato de celulosa	L, Po, Pe
Etil celulosa	H, L
Metil celulosa	L, Po
Nitrato de celulosa	L, Po
Poliámida	H, Pe
Poliétileno	H
Polimetil metacrilato	L
Poliestireno	H, Po
Acetato de polivinilo	D, L
Alcohol de polivinilo	L, D, Po
Policloruro de vinilo	L, Pa, Po

Nota: Po = Polvo; Pa = Pasta; Pe = Película, L = Líquido
D = Dispersión; H = "Hot melt".

TABLA 5.14. Forma de presentación de adhesivos termoplásticos y termofijos. (Ref. 26).

La Tabla 5.15 muestra los adhesivos apropiados para varios materiales.

Finalmente, en la Tabla 5.16 presentamos una evaluación comparativa de los procedimientos de unión y sujeción de plásticos discutidos en esta sección, para que sirva de ayuda en la selección del método adecuado.

TABLA 5.15 ADHESIVOS PARA VARIOS MATERIALES

ADHERENTES	ADHESIVOS		ELASTOMEROS Acrilonitrilo-butadieno Neopreno Poliuretano Hule Silicón Poli-butadieno Hule natural	TERMOPLÁSTICOS Nitrato de celulosa Alcohol de polivinilo Acetato de polivinilo Poliacrilato Cianocriolato	TERMOFÍJOS Fenol-formaldehído Urea-formaldehído Resorcinol-formaldehído Melamina-formaldehído Poliéster insaturado Resina de silicón Resina epóxica Fenol-epóxica	TERMOFÍJOS Silicato de Sodio
	NATURALES Pestamento Animal Albúminas Caseína					
Metales			X X	X X X		X X
Vidrio	X		X	X X X		X X
Cerámica	X		X	X X X		X X
Madera	X X X			X X X	X X X X	X X
Papel	X X X		X X	X X X		X X
Cuero	X		X	X X		X X
Textiles	X		X	X X		X
ELASTOMEROS						
Neopreno			X			
Acrilonitrilo-butadieno			X	X		
Hule natural			X	X		
Hule silicón			X			
Poliuretano			X X X			
TERMOPLÁSTICOS						
PVC (flexible)			X X X			
PVC (rígido)			X X X			
Acetato de celulosa			X	X X		X
Nitrato de celulosa			X	X X		
Poliétileno (película)			X	X		X
Poliétileno (rígido)			X	X		
Polipropileno (película)			X	X		X
Polipropileno (rígido)			X	X		X
Policarbonato			X			X
Politetrafluoretileno			X			X
Poliestireno			X	X		X
Poliamidas (nylon)			X	X		X
Poliacetales			X	X		X
Poliétilen Tereftalato			X X			X X
TERMOFÍJOS						
Resina epóxica				X	X X	X
Resina fenólica			X	X	X	X
Resina Poliéster insaturada					X	X
Melamina formaldehído			X X			X

NOTA: Como regla general: Dos adherentes cualquiera pueden unirse si en la tabla se indica que son compatibles con el mismo adhesivo.

MATERIAL	MEDIOS MECANICOS	SOLDADURAS				ADHE SIVOS
		ULTRA SONICA	ROTA CION	ELECTRO MAGNETICA	TERMI MICA	
TERMOPLASTICOS						
ABS	B	E-B	B	B	B	B
POM	E	B	B	B	B	R-M*
PMMA	B	B	B-R	B	B	B
PA	B	B	B	B	B	R-M
PC	B	E-B	B	B	B	B
PBT	B	B	B	B	B	R
PE	M	B-M	B	B	B	M*
PP	R-M	B-M	E	B	B	R-M*
PS ¹	B-R	E-M	E	B	B	B
SAN	B	B	B	B	B	B
PSU	B	E	E-B	B	E	B
PPO	B	B	E	B	B	B
PVC rig	R	R	R	B	B	B
TPU	NR	NR	NR	B	NR	B
TERMOFIJOS						
EP	B	NR	NR	NR	NR	E
MF	R	NR	NR	NR	NR	B-R
PF	B	NR	NR	NR	NR	E-B
UP	B	NR	NR	NR	NR	E-B
PUR	B	NR	NR	NR	NR	E
UF	R	NR	NR	NR	NR	B
SI	R	NR	NR	NR	NR	B

Nota: E = Excelente; B = Bueno; R = Regular; M = Malo
NR = No recomendado

- 1) Los grados impacto son difíciles de unir
* Requieren de tratamiento de superficie

TABLA 5.16. Comparación entre varios métodos para unir plásticos. (Ref. 2).

6. INTERRELACION ENTRE MATERIAL-PROCESO- CONFIGURACION DEL PRODUCTO.

En los dos capítulos anteriores estudiamos las consideraciones tanto de los materiales plásticos como de los procesos de transformación, en forma individualizada. La selección de un plástico y de un proceso para transformarlo no sólo depende de las características particulares de estos dos parámetros, sino que también hay que tomar en cuenta las consideraciones que resultan de su interacción. En este capítulo estudiaremos esas consideraciones.

Los procesos de transformación imponen limitaciones al diseño de productos con materiales plásticos. Si no se conocen estas limitaciones se correrá el riesgo de diseñar un producto no procesable. De ahí que es sumamente importante que el diseñador trabaje conjuntamente con el moldeador y con el fabricante de moldes desde las primeras etapas del diseño del producto.

Detalles como: encogimiento en el molde, tolerancias dimensionales, insertos, entalladuras, nervaduras, orificios, protuberancias, ángulo de salida, espesor de la sección, etc.; tienen mucho que ver con la procesabilidad, productividad y funcionalidad del producto.

La Tabla 6.1 nos muestra algunas de las limitaciones de los procesos de transformación de plásticos. En las secciones siguientes profundizaremos sobre ellas.

6.1 ESPESOR DE LA SECCION.-

Como regla general, las piezas de plástico deben ser diseñadas con un espesor de sección uniforme. La elección de un determinado espesor de sección para un producto depende del tipo de plástico y del proceso a utilizar; además de los requerimientos del producto, tales como, resistencia y rigidez estructural, estabilidad dimensional, peso, propiedades eléctricas, etc.

Durante el proceso de moldeo de plásticos, siempre hay transferencia de calor; por lo tanto, el uso de secciones de espesor variables trae los siguientes inconvenientes en la elaboración del producto:

- Las secciones más gruesas se enfrían más lentamente que las más delgadas. Esto genera la formación de puntos calientes, los cuales provocan rechupes y concentración de esfuer-

zos en estas zonas de la pieza. Como consecuencia de esto, la pieza se distorsiona después del moldeo.

- El tiempo de ciclo de moldeo es más largo y más costoso, puesto que éste dependerá de la rapidez de enfriamiento de las secciones más gruesas.

- La contracción desigual de las secciones de espesor variables provocan depresiones en la superficie de la pieza, lo que va en detrimento de su apariencia.

En caso de que no pueda evitarse el uso de secciones de espesor variables, se debe de tratar siempre de que la transición de las secciones gruesas a las delgadas se haga de una manera gradual, y en la dirección del flujo de material, como se presenta en la Fig. 6.1.

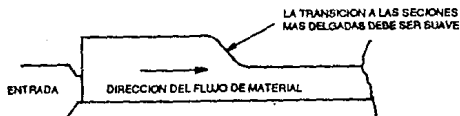


Fig. 6.1. Transición recomendada para secciones de espesor variable. (Ref. 5).

La relación entre el espesor de las secciones gruesas y las delgadas no debe ser mayor de tres a uno (3:1), como se muestra en la figura anterior.

Para la determinación del espesor de sección apropiado, debemos de tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- Debe de preverse las condiciones de carga a que estará sometida la pieza durante su vida útil. Hay que considerar tanto las cargas continuas como las potenciales cargas de impacto. Para evaluar los esfuerzos pueden utilizarse las fórmulas tradicionales de la Mecánica de Materiales, usando un apropiado factor de seguridad, y considerando la naturaleza viscoelástica de los plásticos (sus propiedades se ven afectadas por la duración de la carga y la temperatura), como se discutió en el Cap. 4.

- Diseño de los canales de llenado del molde, especialmente su longitud. Hay que tratar que el flujo de material sea

PROCESO	LIMITACIONES A LA FORMA	FORMAS COMPLICADAS	ESPESES DE SECCION CON TROZADO	FORMAS HUECAS ABIERTAS	FORMAS HUECAS CERRADAS	VOLUMENES GRANDES CERRADOS	PIEZAS MUY PEQUEÑAS	FACTOR LIMITANTE DEL TAMAÑO	INSERTOS	ORIFICIOS	ROSCAS	PROTUBERANCIAS	ENTALLADURAS
Inyección	según molde	si	si	si			si	prensa	si	si	si	si	posible
Transferencia y compresión	según molde	si	si	si				prensa	si	si	si	posible	posible
Extrusión	sección transversal constante	si	si					dado	si	si	no	si	si
Rotomoldeo	cuerpos huecos			si	si	si		máquina usada	si	si	no	si	si
Soplado	cuerpos huecos de pared delgada			si	si	si		molde		si	si	posible	si
Termoformado	Objetos de pared delgada			si				máquina usada		no	no	si	si
Vaciado	según molde	si	si					molde	si	si	no	si	posible
Aspersión y Picado a mano	objetos grandes de pared delgada	si	si	si		si, mediante unión		molde	si	si	no	posible	si
SNC, BMC	según molde	si	si	si				prensa	posible	si	si	posible	si
Empalmado de filamento continuo	superficie de revolución		si					máquina usada	no	no	no	no	no
Poltrusión	sección transversal constante	si	si					dado		si	no	si	si

TABLA 6.1. Interacción entre la configuración del producto y los procesos de transformación de plásticos. (Ref. 5)

libre y a velocidad uniforme en todas las direcciones de entrada a las cavidades del molde.

- En algunos caso, se recomienda el uso de nervaduras o costillas para rigidizar la pieza, en vez de usar secciones muy gruesas.

-Para secciones que necesariamente tienen que ser muy gruesas, se recomienda utilizar, siempre y cuando sea posible, un núcleo o alma de otro material.

La Fig. 6.2 nos muestra algunas alternativas de diseño de la configuración de la pieza para conseguir un espesor de sección uniforme.

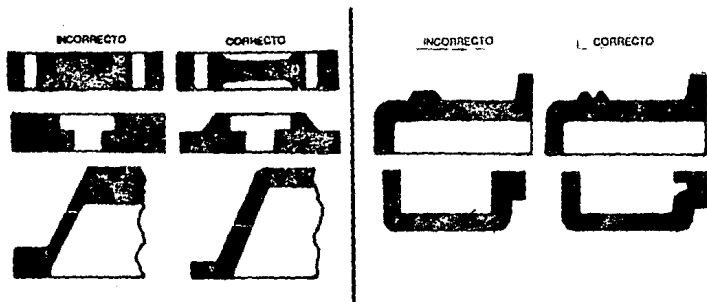


Fig. 6.2. Alternativas de diseño para mantener un espesor uniforme de la sección del producto. (Ref. 5).

La Tabla 6.2 presenta los valores de los espesores de sección más usuales de piezas de plástico, obtenidos en los procesos de transformación tradicionales.

PROCESO	ESPESOR MINIMO (mm)	ESPESOR MAXIMO (mm)
INYECCION	0.4	> 25.4
COMPRESION	0.89-3.18	
TRANSFERENCIA	0.89-3.8	
EXTRUSION	0.254	12.7
SOPLADO	0.254	> 6.35
ROTMOLDEO	1.6	6.35
TERMOFORMADO	0.000635	76.2
VACIADO	3.18-4.76	
EXPANSION	4	

TABLA 6.2. Espesores de secciones más comunes en los procesos de transformación de plásticos. (Ref. 2).

- MOLDEO POR INYECCION, COMPRESION Y TRANSFERENCIA.-

La Tabla 6.3 presenta los espesores de sección sugeridos para el moldeo de termoplásticos y termofijos, mediante los procesos de inyección, compresión y transferencia. Estos procesos tienen mucho en común, por lo que los detalles de diseño serán tratados en conjunto.

Para inyección, se recomienda que el espesor mínimo práctico sea de 0.4 mm (1/64 pul). El espesor máximo recomendado es de 10 a 20 mm, ya que para espesores mayores aumenta mucho el tiempo de ciclo. Normalmente, las piezas inyectadas tienen un espesor de 6.35 mm.

En cuanto a la relación entre la longitud de la trayectoria del flujo de material en el molde y el espesor de la sección de la pieza, la más apropiada es 100 mm de camino de flujo por 1 mm de espesor, (100:1).

PLASTICOS	ESPESOR MINIMO (mm)	ESPESOR PROMEDIO (mm)	ESPESOR MAXIMO (mm)
TERMOPLASTICOS			
POM	0.38	1.57	3.18
PMMA	0.64	2.36	6.35
AC	0.64	1.91	4.75
PTFE	0.25	0.89	12.70
PA	0.38	1.57	3.18
PC	1.02	2.36	9.53
PEBD	0.51	1.57	6.35
PEAD	0.89	1.57	6.35
PP	0.64	2.03	7.62
PS	0.76	1.57	6.35
PPO	0.76	2.03	9.53
PSU	1.02	2.54	9.53
PBT	0.64	1.57	12.70
SAN	0.76	1.57	6.35
ABS	0.76	2.29	3.18
PVC rig.	1.02	2.36	9.53
TPU	0.64	12.70	38.10
TERMOFIJOS			
EP-RFV	0.76	3.18	25.40
MF (Ref: celulosa)	0.89	2.54	4.75
UF (Ref: celulosa)	0.89	2.54	4.75
PF	1.27	3.18	25.40
PF-RFV	0.76	2.36	19.05
UP (premezclada)	1.02	1.78	25.40
SI-RFV	1.27	3.18	6.35

TABLA 6.3. Espesor de sección recomendado para los procesos de inyección, transferencia y compresión de termoplásticos y termofijos. (Ref. 5).

- EXTRUSION.-

El proceso de extrusión posibilita un amplio rango de espesores de sección para tubos y perfiles. El espesor de sección mínimo para plásticos rígidos es de 0.5 mm, y para flexibles, 0.13 mm. Para fines prácticos, el espesor de sección máximo de productos extruidos es de 6.35 mm. Para diseños en que se quiera mantener un espesor de sección balanceado, se recomienda usar espesores de 0.89 a 1.6 mm.

En la extrusión de perfiles, la consideración más importante que hay que tomar en cuenta es el balance del espesor de todas las paredes. Cuando todas las paredes tienen el mismo

espesor, el flujo de material se facilita y la pieza es más fácil de producir. Las configuraciones más indeseables, en términos de control de flujo, son las de espesor de pared diferentes; además, estas configuraciones requieren de costosos ajustes en el dado para poderlas producir, y dificultan el control de las tolerancias.

El número de termoplásticos apropiados para extruir perfiles de espesor de pared desigual es reducido. Los más adecuados para estos casos son: el PVC rígido, el ABS y el PS; ya que éstos presentan buenas características de rigidez o consistencia en estado fundido (tixotropía), y se enfrían rápido al salir del dado. En cambio, los polietilenos tienen una baja resistencia en estado fundido, lo que provoca que salgan del extrusor en un estado muy fluido, difícil de controlar.

Hay que tener en mente que si un dado ha sido corregido para extruir un plástico determinado en una configuración específica, éste no debe usarse para procesar otro plástico, ni siquiera para otra formulación del mismo plástico; ya que varían las propiedades de flujo de un material a otro y de una formulación a otra. Inclusive, si éste dado se usa en otro extrusor de características de husillo y cilindro diferente al original, las piezas extruidas serán diferentes.

La Fig. 6.3 presenta algunas modificaciones de diseños de perfiles para lograr un espesor de pared balanceado.

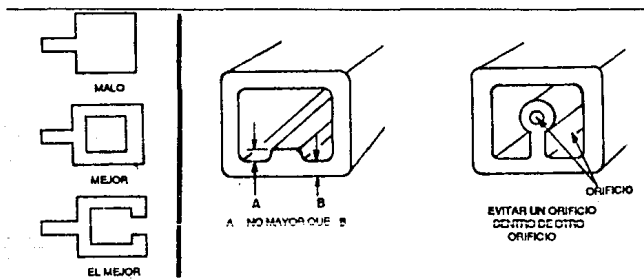


Fig. 6.3. Diseño de perfiles extruidos de sección uniforme. (Ref. 5).

Una excepción a la necesidad del diseño de piezas con espesores de pared balanceados es el caso particular de la extrusión de piezas de Polipropileno con bisagra integral. El Polipropileno tiene excelente resistencia a la fatiga, por

lo que es posible extruirse con muy buenos resultados pequeñas bisagras integrales de sección delgada, muy tenaces y funcionales. Por lo general, el espesor de estas bisagras es de 0.25 a 0.5 mm. Para que la funcionalidad de la bisagra de Polipropileno sea óptima, se recomienda que la relación entre la sección más gruesa y la más delgada sea de tres a uno (3:1), como se indica en la Fig. 6.4.

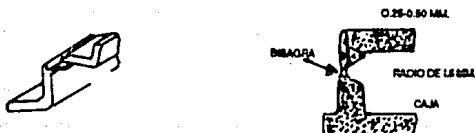


Fig. 6.4. Dimensiones recomendadas para el diseño de piezas con bisagra integral en polipropileno. (Ref. 5).

- MOLDEO POR SOPLADO.-

El espesor máximo para cuerpos huecos de gran tamaño puede ser de hasta 12.7 mm.

Dada las características del proceso de soplado, es difícil controlar el espesor de la sección del producto. Como hemos visto, en este proceso el producto se forma por medio del soplado de una preforma tubular (parison) dentro de un molde con la forma deseada. Aquellas áreas del parison que son las primeras en ponerse en contacto con las paredes del molde se convertirán en las secciones más gruesas del producto moldeado. En cambio, las áreas del parison que sean las últimas en ponerse en contacto con las paredes del molde, tenderán a ser las secciones más delgadas del producto. Esta variación del espesor de sección puede causar problemas, ya que, en muchos casos, las secciones más delgadas pueden estar localizadas en zonas críticas del producto, como es el caso de las esquinas exteriores del fondo de una botella de plástico, normalmente expuestas durante su vida útil a tratamientos severos (caídas, golpes, etc.). Una forma de mitigar este problema es mediante un diseño que rigidice esta zona de la botella, como se indica en la Fig. 6.5.

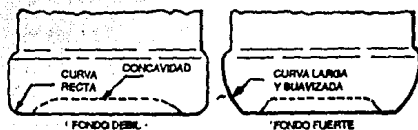


Fig. 6.5. Diseño para rigidizar el fondo de las botellas de plástico. (Ref. 4).

La única zona de un producto soplado que posee un espesor de pared controlado es su cuello, que es por donde se aprista el párison y se introduce el aire. El espesor del resto del producto dependerá de los siguientes factores:

- Forma del molde
- Espesor de pared del párison (variable o uniforme).
- Características del plástico.
- Presión y temperatura de soplado.

La programación del párison, tal como se explicó en el Cap. 5, ayuda a controlar la distribución de los espesores del producto; pero esto no garantiza que puedan conseguirse cuerpos huecos de sección uniforme. Por lo tanto, en el diseño de productos soplados debe de especificarse amplias tolerancias para los espesores de las paredes.

Para los productos soplados de sección transversal elíptica u oval, se recomienda que la relación entre los ejes mayor y menor de la elipse no sea mayor de tres (3), como se indica en la Fig 6.6.

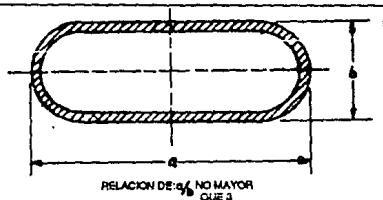


Fig. 6.6. Relación recomendada para un producto de sección elíptica. (Ref. 5).

- ROTOMOLDEO.-

El espesor de pared más usual de cuerpos huecos rotomoldeados es de 1.6 mm a 6.35 mm. Es posible obtener secciones más delgadas, como de 0.8 mm para el Polietileno, y de 0.4 mm para el PVC. Son poco usuales las secciones de hasta 12.7 mm de espesor, pero es posible producirlas. Estos valores son nominales. La naturaleza del proceso hace difícil conseguir un espesor de pared uniforme; más bien, es más factible obtener espesores de pared con una tolerancia de $\pm 5\%$ de los valores nominales señalados anteriormente.

El espesor de las paredes en rotomoldeo puede ser ajustado según los requerimientos del producto de varias maneras:

- Aumentando o disminuyendo la cantidad de material que se deposita en el molde.
- Camblando el tiempo de ciclo.
- Estableciendo una relación de rotación definida entre los ejes ortogonales.

Es más difícil rotomoldear productos con espesores uniformes cuando la longitud de la pieza es muy grande, comparada con su diámetro. Para fines prácticos, se recomienda que la longitud no sea mayor de cuatro veces el diámetro, como se indica en la Fig 6.7.

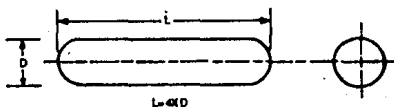


Fig. 6.7. Proporción recomendada entre la longitud y el diámetro de productos rotomoldeados. (Ref. 5).

- TERMOFORMADO.-

Los productos termoformados se forman a partir de una plancha de plástico generalmente extruida. Las limitaciones de tamaño para las piezas termoformadas depende del tamaño y el espesor de la plancha termoplástica, y de la capacidad de la máquina termoformadora utilizada. Regularmente, se termoforman productos con longitudes de plancha desde pocos centímetros hasta 7 metros; la mayoría oscila en un rango de 30 cm a 2 m de largo. El tamaño máximo de la plancha es de, aproximadamente, 3 X 9 metros. El espesor convencional de

las planchas disponibles en el mercado es de 12.7 mm o menos, con un máximo de 19 mm.

El espesor de pared del producto termoformado es menor que el de la plancha original, debido al estiramiento que sufre ésta última durante el proceso. No obstante, una de las características del termoformado es que el producto moldeado posee un espesor de pared razonablemente uniforme.

No todos los termoplásticos son termoformados con facilidad, y sólo determinados espesores de plancha son apropiados para el formado. La Tabla 6.4 presenta un listado de los materiales típicos para termoformado, junto con el rango de espesor de plancha apropiado.

PLASTICO	ESPESOR DE LA PLANCHA (mm)
ABS	0.13 - 6.35
PVC rígido	0.05 - 1.52
PMMA	0.76 - 12.7
AC	0.25 - 1.52
PS Alto impacto	0.25 - 6.35
PS normal	0.13 - 0.76
PE	0.25 - 3.18

TABLA 6.4. Espesor de plancha recomendado para el termoformado de algunos termoplásticos. (Ref. 5).

Los plásticos fáciles de termoformar, como el PVC y el PS, pueden ser formados a partir de películas muy delgadas, de menos de 0.13 mm de espesor. Esto los hace apropiados para el uso en empaques desechables, como los tipo burbuja o "blister pak". Por otro lado, los termoformados de ABS pueden ser de un espesor mayor de 5 mm, lo que lo hace apropiado para piezas grandes, tales como carcazas para máquinas, botes pequeños, etc.

- VACIADO.-

Mediante el vaciado se obtienen las secciones más gruesas conocidas. Precisamente, esta es una de las características consideradas cuando se elige este proceso; además de su habilidad para formar piezas grandes. El espesor mínimo recomendado es de 6.35 mm, aunque pueden conseguirse espesores de hasta 1.6 mm.

- MOLDEO POR EXPANSION.-

Todavía no se ha alcanzado un límite máximo para moldeos de espumas plásticas estructurales. Se han producido piezas que pesan más de 68 kilos, y planchas que miden 1.5 X 4 metros, y 3 X 3 metros.

El espesor de pared debe ser mantenido lo más uniforme posible en toda la pieza. La mayoría de los productos a base de espuma estructural son de 5 a 7.6 mm de espesor; no obstante, se han moldeado sin problema secciones de hasta 50 mm de espesor. Se recomienda que se utilice un espesor de pared nominal de 6.35 mm; ya que esta sección tiene una buena combinación de espuma, propiedades físicas, rigidez y ahorro de peso. Se puede espumar secciones más delgadas, pero las secciones por debajo de 4 mm de espesor son esencialmente sólidas.

6.2 ENTALLADURAS.-

Una entalladura es una incisión o borde saliente que se moldea en la pieza, puede ser externa o internas, como se muestra en la Fig. 6.8. Las entalladuras tienen el efecto nocivo de dificultar o imposibilitar el desmoldeo de la pieza.

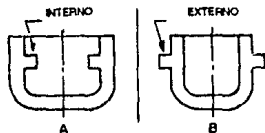


Fig. 6.8. Entalladuras externa e interna. (Ref. 2).

Las entalladuras deben de evitarse en lo posible, ya que incrementan el costo del molde y prolongan el tiempo de ciclo. En caso de que sean inevitables, debe de tomarse en cuenta las siguientes precauciones:

- 1) La profundidad de la entalladura debe ser igual o menor que $2/3$ del espesor de pared de la pieza.
- 2) La arista saliente dentro del molde que reproduce una entalladura externa en la pieza, debe tener radios suaves, de preferencia redondeada, para evitar una acción cortante al retirar la pieza moldeada. Además, las esquinas del molde deben estar bien pulidas, como se indica en la Fig. 6.9.

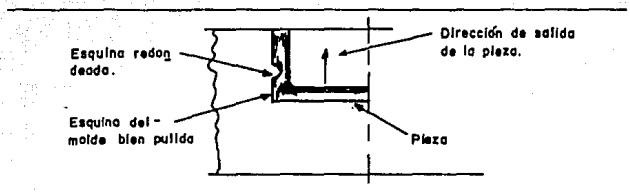


Fig. 6.9. Recomendaciones para el diseño de entalladuras. (Ref. 8).

3) Para facilitar el desmoldeo, las piezas con entalladuras deben de tener un grado de calentamiento que posibilite un fácil estiramiento al momento de la extracción, y una recuperación de la forma original al completarse el desmoldeo. La facilidad con que se realice esta operación dependerá, fundamentalmente, de la elasticidad del plástico. Muchos termoplásticos flexibles pueden tolerar hasta un 10% de deformación durante el desmoldeo sin presentar deformación permanente.

6.3 ANGULO DE SALIDA.-

Se conoce como Ángulo de salida a la ligera inclinación o ahusamiento que se le da a todas las superficies de la pieza perpendiculares a la línea de separación del molde, para facilitar el desmoldeo de la misma, como se muestra en la Fig. 6.10. El ahusamiento debe ser tanto interno como externo.

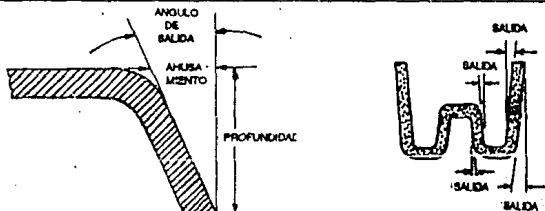


Fig. 6.10. Ángulo de salida. (Ref. 5).

No hay una fórmula que nos de el valor exacto del ángulo de salida. El grado de conicidad puede variar de acuerdo a los siguientes parámetros:

- Proceso de moldeo.
- Espesor de la sección de la pieza

- Profundidad de la pieza.
- Tipo de plástico utilizado

El ángulo de salida mínimo adecuado es de $1/2^\circ$, aunque para piezas de alta producción se utilizan ángulos mayores. El recomendado es de 1° por cada 25 cm de profundidad de la pieza. Los productos moldeados con termoplásticos usan ángulos de salida de $1/2^\circ$ a 3° .

6.4 RADIOS.-

Todas las aristas de la pieza deben ser redondeadas. El uso de un radio adecuado reduce la concentración de esfuerzos y aumenta la resistencia del producto moldeado; además, facilita el flujo del material durante el moldeo.

El diseñador debe tratar de usar curvas suaves donde sea posible, para minimizar las transiciones abruptas entre superficies, como se indica en la Fig. 6.11.

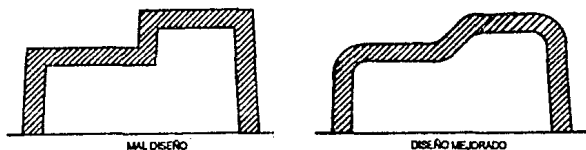


Fig. 6.11. Diseños para evitar transiciones abruptas en un producto. (Ref. 27).

La Fig. 6.12 presenta los valores de los radios sugeridos para productos moldeados.

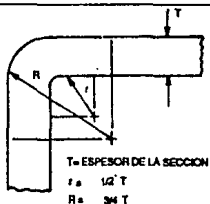


Fig. 6.12. Radios recomendados para productos moldeados. (Ref. 5).

Las nervaduras y protuberancias que se moldean en la superficie de la pieza, también deben de contar con radios generosos en su base para facilitar el flujo de material y eliminar esquinas rectas concentradoras de esfuerzos, como se indica en la Fig. 6.13. El radio mínimo recomendado para estos casos es de 0.25 mm, y, de preferencia, 0.76 mm.



Fig. 6.13. Radios en nervaduras y protuberancias de una pieza. (Ref. 2).

6.5 NERVADURAS.-

La función de las nervaduras o costillas es aumentar la resistencia y la rigidez de una pieza, particularmente las de gran superficie.

En muchos casos, los cálculos estructurales para una determinada pieza indican que hay que utilizar una sección con espesor muy por encima del recomendado para un plástico en particular. Una manera de solucionar este problema es utilizar nervaduras para encontrar una sección transversal con propiedades equivalentes a la calculada. El uso de secciones muy gruesas tiene los siguientes inconvenientes:

- Disminución de las propiedades del producto, debido a la baja conductividad térmica durante el moldeo. Además se crean gradientes de temperatura a lo largo de la sección transversal de la pieza, lo que provoca concentración de esfuerzos.
- El tiempo de ciclo es mucho más largo, lo que añade otra causa de esfuerzo internos.
- Es difícil mantener tolerancias cerradas.
- El material se desperdicia.
- La calidad se degrada.
- El costo se incrementa.

El espesor de pared para una pieza de plástico debe mantenerse por debajo de los 5 mm; de preferencia, alrededor de los 3 mm, si se quiere evitar los problemas enunciados anteriormente. En la mayoría de los casos, el reforzamiento por

medio de costillas es una solución satisfactoria; en otros casos, hay que considerar el uso de un plástico reforzado.

El uso de nervaduras incrementa el módulo de la sección y mejora su capacidad para resistir fuerzas que de otro modo causarían deflexiones en la pieza. El uso apropiado de costillas previene el pandeo, y en algunos casos facilita el flujo de material durante el moldeo. La Fig. 6.14 presenta las consideraciones de para el diseño de nervaduras.

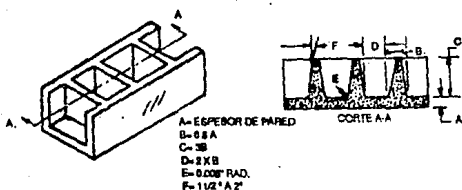


Fig. 6.14. Recomendaciones para el diseño de nervaduras. (Ref. 2).

Como regla general, se recomienda que el espesor de las nervaduras no sea mayor que el 60% del espesor de la sección principal de la pieza, ya que, de lo contrario, se producirán depresiones o rechupes en la zona de la costilla. Se recomienda que en lugar de usar una sola costilla gruesa, se utilicen varias costillas delgadas, como se indica en la Fig. 6.15; lo que se trata es mantener el espesor de la sección lo más uniforme posible.



Fig. 6.15. Diseños alternativos de nervaduras para mantener uniformidad de espesor. (Ref. 2).

6.6 PROTUBERANCIAS.-

Las protuberancias son salientes en forma de taquetes, utilizados para anclar insertos metálicos, reforzar agujeros o para ensamblar varias piezas. Su función como elemento de acoplamiento o anclaje hace que estén sometidas a esfuerzos y deformaciones muy peculiares.

Las protuberancias pueden estar en el interior o en el exterior de la pieza moldeada. Las interiores, a su vez, pueden estar integradas a las paredes de la pieza o fuera de ellas. Se recomienda que las protuberancias interiores integradas a la pared se encuentren, siempre que sea posible, en las esquinas. La Fig. 6.16 muestra las características de diseño de los dos tipos de protuberancias interiores.

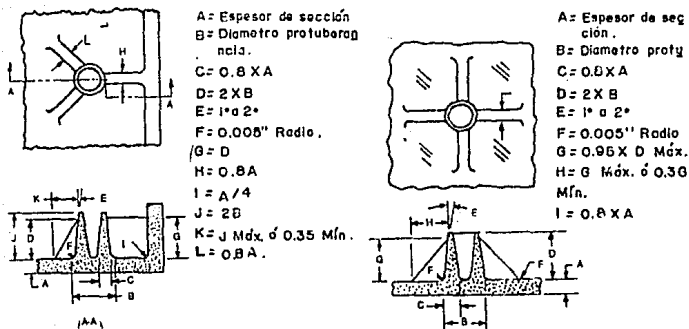


Fig. 6.16. Diseño de protuberancias interiores. (Ref. 2).

Por otro lado, la Fig. 6.17 presenta las características de diseño de las protuberancias exteriores. En este caso, se recomienda que la altura y el ancho de la protuberancia sean iguales.

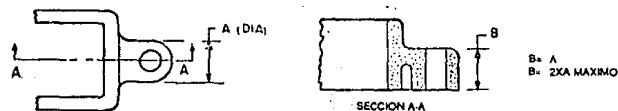


Fig. 6.17. Diseño de protuberancias exteriores. (Ref. 2).

Se debe de evitar el uso de protuberancias cuya base esté muy cercana a las esquinas de la pieza, como se ilustra en la Fig. 6.18, ya que causan puntos débiles en el molde. Además, se sugiere que la sección transversal de la protuberancia sea, de preferencia, redondeada; pues, las secciones cuadradas u ovals son difíciles de maquinar en el molde, aumentando el costo de éste. En caso de que se necesite diseñar una protuberancia de sección cuadrada o rectangular, las esquinas deben tener un radio de por lo menos 0.4 mm.



Fig. 6.18. Diseño de protuberancia de base cercana a las esquinas de la pieza. (Ref. 2).

6.7 ESQUINEROS.-

Los esquineros son elementos que sirven para reforzar las aristas de un producto plástico. La Fig. 6.19 presenta las consideraciones para el diseño de esquineros.

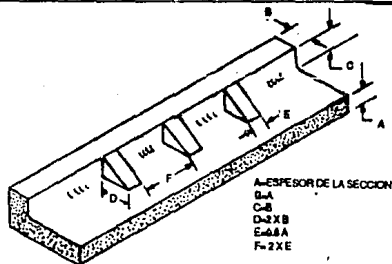


Fig. 6.19. Diseño de esquineros. (Ref. 2).

Este tipo de diseño es muy utilizado para la mayoría de los termoplásticos. Si se quiere un efecto reforzante mayor, se recomienda usar dos o más esquineros, según el caso, en

lugar de aumentar la altura y el grosor de un solo esquinero.

En el diseño de protuberancias exteriores, hay que considerar el reforzamiento de las mismas con esquineros, para que puedan soportar cargas de impacto y flexión.

6.8 ORIFICIOS.-

Los orificios moldeados representan un problema de diseño que debe ser tomado muy en cuenta. Estos son hechos por pasadores alojados en el molde. Se clasifican de la siguiente manera:

- Orificio sin salida (orificio ciego)
- Orificio con salida (de un lado al otro de la pieza)
- Orificio escalonado (por pasos)

La Fig. 6.20 presenta estos tipos de orificios. Existen otros tipos, pero son variaciones o combinaciones de los anteriores.

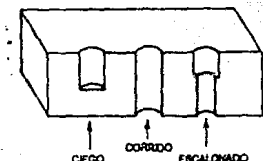


Fig. 6.20. Tipos de orificios moldeados. (Ref. 2).

El eje de los orificios puede colocarse en tres posiciones, con respecto al plano de separación del molde: perpendicular, paralelo y oblicuo, como se indica en la Fig. 6.21.

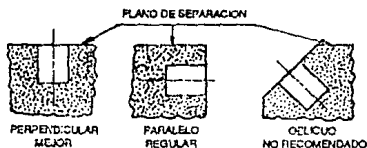


Fig. 6.21. Posiciones de colocación de un orificio con respecto al plano de separación del molde. (Ref. 2).

De estas posiciones, la más recomendada es en la que el eje del orificio es perpendicular al plano de separación del molde. Las posiciones paralelas y oblicuas de orificios deben ser evitada en lo posible, ya que necesitan moldes costosos, sobre todo la posición oblicua.

En el diseño de orificios hay que tomar en cuenta que éstos son producidos por pernos o pasadores, los cuales están sometidos a desgaste y a fuerzas que pueden provocar su fractura, debido a las presiones que existen dentro de la cavidad del molde.

Para producir los orificios, los pasadores pueden estar sujetados por uno o por ambos extremos, e, inclusive, se utilizan dos pasadores, uno en cada parte del molde. El grado de precisión del orificio dependerá de la relación entre el diámetro y la longitud del pasador. Esta relación se conoce como Relación de Esbeltez. La Fig. 6.22 muestra las relaciones de esbeltez recomendadas para un diseño adecuado de orificios, en sus tres modalidades, y según los procesos convencionales de moldeo por inyección, compresión y transferencia.

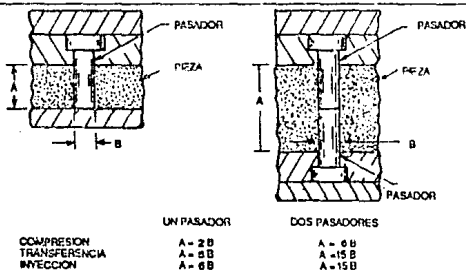
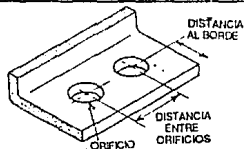


Fig. 6.22. Relación de esbeltez recomendada en el diseño de orificios moldeados. (Ref. 2).

La Tabla 6.5 presenta las distancias recomendadas entre un orificio y otro, y la distancia desde el borde, como se indica en la figura adjunta.

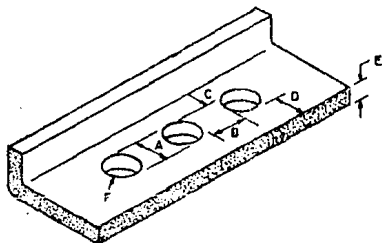


DIAMETRO DEL ORIFICIO (mm)	DISTANCIA MINIMA DESDE EL BORDE (mm)	DISTANCIA MINIMA ENTRE ORIFICIOS (mm)
1.58	2.36	3.56
2.36	2.77	4.75
3.18	3.96	6.35
4.75	5.54	7.92
6.35	6.35	11.10
7.93	7.93	14.28
9.53	8.71	22.23
12.70	11.10	22.23

TABLA 6.5. Localización recomendada de orificios. (Ref. 5).

Para orificios de diámetros diferentes a los presentados en la tabla anterior, la distancia entre orificios puede ser tomada proporcionalmente a las arribas anotadas.

Para fines prácticos, la Fig. 6.23 presenta las proporciones de orificios moldeados en termoplásticos.



- A** = Diámetro del orificio
E = Espesor de la sección
B = A, nunca menos de 3.175 mm (1/8 pul)
C = A, nunca menos de E/4
D = 2A

Fig. 6.23. Proporciones recomendadas para el diseño de orificios. (Ref. 2).

Anteriormente habíamos señalado la necesidad de evitar el uso de orificios cuyo eje sea paralelo al plano de separación del molde. En caso de que no sea posible evitarlo, se recomienda usar una solución alternativa, como el barrenado, o sustituirlos por ranurados menos costosos como el que se

indica en la Fig. 6.24, el la cual el orificio se extiende hasta el borde superior de la pieza, facilitando así su salida del molde.

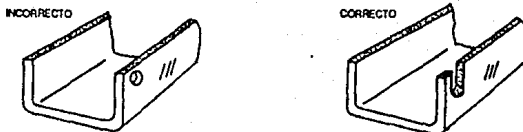


Fig. 6.24. Diseño alternativo de orificio. (Ref. 2).

Si el volumen de producción es bajo, puede ser más económico barrenar los orificios laterales que moldearlos. Por lo general, los diámetros de menos de 1.5 mm deben ser barrenados. Para que esta operación sea precisa, se recomienda que se moldee una marca en el lugar donde se efectuará el barrenado posterior, como se indica en la Fig. 6.25. Esta marca sólo debe hacerse para los orificios cuyo eje es perpendicular al plano de separación del molde; ya que en los paralelos, la marca moldeada se comportará como una entalladura, con todos los inconvenientes que esto representa, (Fig. 6.25). También se recomienda que los orificios que vayan a ser barrenados se diseñen de modo que la barrena entre perpendicularmente en la superficie de la pieza; de lo contrario, podría fisurarse la misma.



Fig. 6.25. Recomendaciones para barrenar orificios. (Ref.2).

Otra consideración de importancia en el diseño de orificios moldeados es la localización de la entrada de material en el molde. Los pasadores que producen los orificios actúan como diques o cortinas al flujo de material, el cual tiene que pasar alrededor de los mismos, disgregándose, para luego

volverse a unir en el lado opuesto del pasador. Esta restricción al flujo provoca que se formen marcas de líneas de flujo o líneas de unión de flujo indeseables, como se indica en la Fig. 6.26. Estas líneas tienden a ser puntos débiles en el producto moldeado, por lo que el flujo debe ser ajustado para que esto no ocurra en zonas críticas de la pieza. Una forma de ajustar el patrón de flujo es relocalizando el punto de entrada del material al molde. Otra forma de resolver este problema es moldear el orificio con sólo dos tercios ($2/3$) de su longitud, y barrenar posteriormente lo que resta, como se indica en la Fig. 6.26.

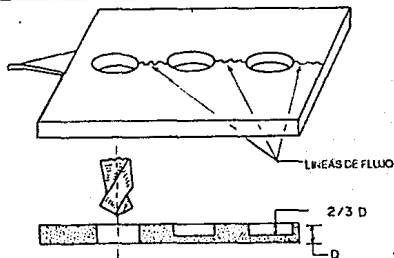


Fig. 6.26. Líneas de unión de flujo provocadas por el moldeo de orificios.

Por lo tanto, vemos que los orificios barrenados, además de reducir el costo y el mantenimiento del molde, también eliminan los potenciales puntos débiles al eliminar las líneas de unión de flujo.

Finalmente, los orificios que se vayan a utilizar para atornillar piezas deben ser avellanados, como se indica en la Fig. 6.27, para permitir que el tornillo se introduzca sin problemas y que al apretarlo no haya riesgo de que la pieza se fisure.

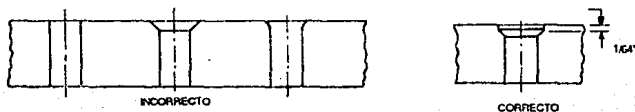


Fig. 6.27. Avellanado recomendado para orificios que vayan a alojar tornillos. (Ref. 2).

6.9 INSERTOS.-

Los insertos metálicos en piezas de plástico pueden servir para múltiples propósitos:

- para operaciones de ensamble y desensamble
- para soportar los esfuerzos mecánicos superiores a los que puede soportar el plástico.
- para transmitir corriente eléctrica
- para fines decorativos

Los insertos sirven para muchos propósitos funcionales, pero deben ser utilizados con moderación por el costo que acarrearán. Pueden ser machos o hembras, y son construidos, principalmente, de acero, latón y aluminio; aunque también se pueden utilizar otros materiales como la cerámica y los mismos plásticos. El más utilizado es el latón, por su bajo costo y facilidad de maquinado.

Es importante asegurar un buen anclaje del inserto en el plástico, para que no gire o se salga. Esto se consigue mediante el moleteado de la superficie del inserto.

El diseñador debe considerar los siguientes factores para la producción de piezas de plástico con insertos moldeados:

- 1) El inserto debe ser capaz de soportar, sin deteriorarse, los esfuerzos a que estará sometida la pieza durante su vida útil.
- 2) No es factible moldear insertos en todos los plásticos. Algunos plásticos cuando se envejecen se rompen alrededor del inserto, otros se escurren y sacan el inserto.
- 3) Hay que evitar que el flujo de plástico durante el moldeo saque el inserto.
- 4) El espesor de la sección del plástico que rodea al inserto debe ser suficiente, para prevenir fisuras durante el enfriamiento. Hay que tener muy en cuenta que los materiales plásticos tienen una dilatación y contracción térmica más elevada que los metales de que están fabricados los insertos.
- 5) El mal diseño o localización impropia del inserto puede provocar que se tenga que hacer operaciones costosas de limpieza de rebabas una vez que el inserto ha sido moldeado en la pieza.

La Fig. 6.28 presenta los tipos de insertos más usuales en la industria del plástico.

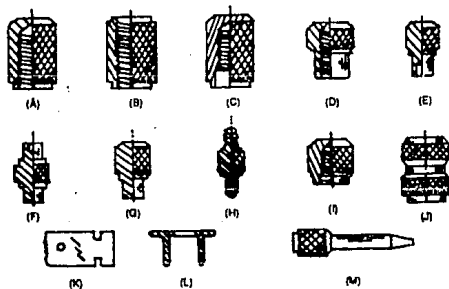


Fig. 6.28. Tipos de insertos para plásticos. (Ref. 5).

La Fig. 6.29 presenta el diseño estandar de insertos machos y hembras.

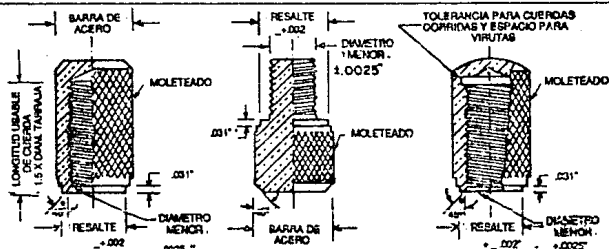


Fig. 6.29. Diseño estandarizado de insertos macho y hembra. (Ref. 2).

Es importante que la porción del inserto incrustada en el plástico no tenga cantos agudos, concentradores de esfuerzos, sino, más bien, deben ser redondeados, para que faciliten el flujo de material alrededor del mismo. Las tolerancias para el diámetro menor de rosca en los insertos hembra debe ser de $+0.06$ mm, y para trabajos de precisión, -0.013 mm; debe de considerarse las mismas tolerancias para el diámetro mayor de rosca del inserto macho.

Similar a los orificios moldeados, los insertos deben de colocarse en una posición perpendicular al plano de separación del molde. Los insertos oblicuos o paralelos al plano de separación son difíciles de moldear y costosos, (Fig. 6.30).

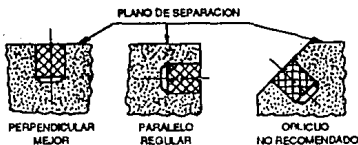


Fig. 6.30. Localización del inserto con respecto al plano de separación del molde. (Ref. 2).

- Consideraciones analíticas para el diseño de insertos moldeados.

1) Dimensiones del inserto.-

La Fig. 6.31 muestra las dimensiones recomendadas para el diseño de insertos moldeados. Se recomienda que la porción del inserto embebida en la pieza no sea mayor que dos veces su diámetro, siempre y cuando el eje del inserto sea perpendicular al plano de separación del molde; en caso de que sea paralelo, la longitud no debe ser mayor que el diámetro del inserto.

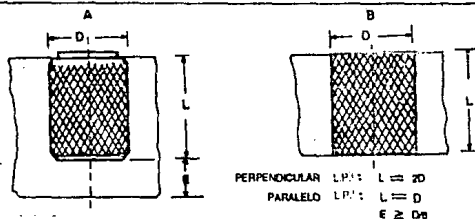


Fig. 6.31. Recomendaciones para el diseño de insertos. (Ref. 2).

Como se muestra en la figura, el espesor de material plástico que hay en la base del inserto, E, debe ser por lo menos $1/8$ del diámetro del inserto. De no ser así, se formarían

depresiones o rechupes en la pieza, producto de la diferencia en contracción térmica entre el metal del inserto y el plástico, como se indica en la Fig. 6.32.

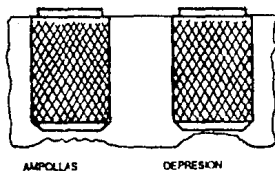


Fig. 6.32. Depresiones en la pieza. (Ref. 2).

Todos los insertos deben de tener un ligero resalte, como se indica en la Fig. 6.33, para evitar que el plástico fluya dentro del mismo. El resalte actúa como sellador.

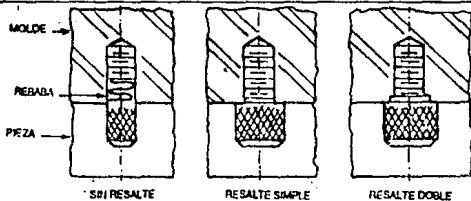


Fig. 6.33. Resalte recomendado para insertos. (Ref. 2).

Algunos insertos hembras son moldeado atravesando completamente la pieza, como se indica en la Fig. 6.34; la longitud de éstos debe de sobredimensionarse, en unos 0.025 a 0.05 mm, para que no se le introduzca material o que queden cubiertos. Si el sobredimensionamiento es mayor que el indicado, puede correrse el riesgo de que el inserto se rompa al cerrar el molde.

En algunos diseños, una porción del inserto debe de sobresalir sobre la superficie de la pieza. Esta porción que sobresale debe ser redondeada, puesto que para moldearla se necesita rebajar una pequeña cavidad en el molde, y una cavidad redonda es más fácil de maquinar y menos costosa que cualquier otra.

Hay que evitar el uso de insertos macho que atraviesen la pieza, ya que si las dos partes del molde están ligeramente desalineadas, un máximo de 0.15 mm, puede causar daño, tanto al inserto como al molde mismo, en el momento de cierre de éste último.

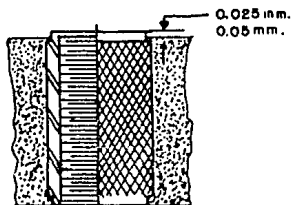


Fig. 6.34. Recomendación para el diseño de insertos hembra que atraviesan toda la pieza. (Ref. 2).

2) Espesor de la sección alrededor del inserto.

Es importante que el material plástico que circunda el inserto tenga un espesor adecuado para evitar fisuras posteriores provocadas por el envejecimiento de la pieza o por los cambios de temperatura, como se indica en la Fig. 6.35.

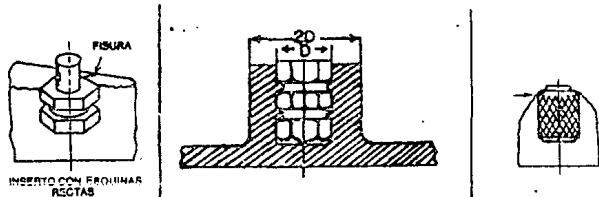


Fig. 6.35. Espesor alrededor del inserto. (Ref. 2).

Este espesor depende de las dimensiones del inserto y de las propiedades del plástico, varía de un plástico a otro; pero, para fines prácticos, podemos establecer que el espesor mínimo de material alrededor del inserto sea equivalente al doble de su diámetro, como se muestra en la Fig. 6.35.

Los insertos usados en protuberancias de la pieza deben de introducirse hasta una profundidad tal que la separación entre su base y la pared opuesta de la pieza sea equivalente al espesor de la sección, y se recomienda en estos casos añadir nervaduras o esquineros para suministrar un soporte

adicional a la protuberancia, como se indica en la Fig. 6.36.

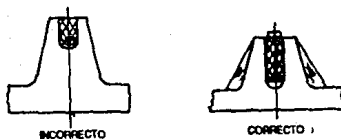


Fig. 6.36. Insertos en protuberancias. (Ref. 2).

Hay que evitar colocar el inserto demasiado cerca de las esquinas de la pieza, ya que se corre el riesgo de que el molde sufra algún daño, especialmente en los insertos hembra soportados por un pasador. Se recomienda que se deje un espacio de separación mínimo de 0.5 mm, como se indica en la Fig. 6.37.

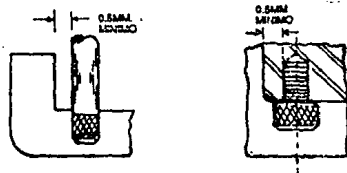


Fig. 6.37. Separación recomendada entre el inserto y las esquinas de la pieza. (Ref. 2).

Los insertos moldeados por caras opuestas de una pieza de plástico termofijo, deben tener una separación mínima de 3.18 mm, como se indica en la Fig. 6.38, para que no se formen grietas entre ambos. Además, si los insertos moldeados en esta posición conducen corriente eléctrica, puede producirse un corto circuito a través de las grietas.

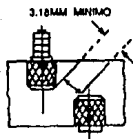


Fig. 6.38. Separación recomendada entre insertos moldeados por lados opuestos en termofijos. (Ref. 2).

Además de los insertos moldeados que hemos venido describiendo hasta ahora, existen otros tipos que no necesitan moldearse, sino que son fijados en la pieza inmediatamente después de que ésta sale del molde. Este tipo de insertos se conocen como insertos de ajuste a presión, y, como su nombre lo indica, se introducen por medio de presión en el orificio moldeado de la pieza mientras ésta todavía está caliente; a medida que la pieza se enfría, se contrae alrededor del inserto, quedando éste anclado. Este tipo de insertos solo se recomienda para situaciones en que vayan a estar sometidos a sollicitaciones pequeñas, de modo que no se salgan de su lugar. No se recomienda utilizarlos en plásticos quebradizos.

Los insertos de ajuste a presión requieren de un estriado recto, del tipo que se muestra en la Fig. 6.39. Para los que tengan un diámetro de 4.8 mm, o menos, se recomienda usar 30 estrias rectas; para los de diámetro mayor de 4.8 mm, 46 estrias rectas.

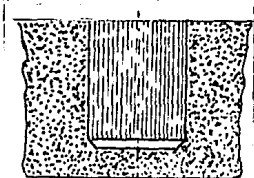


Fig. 6.39. Estriado recto en insertos. (Ref. 5).

Un método novedoso para introducir insertos, sólo en termoplásticos, es mediante la técnica de soldadura ultrasónica, descrita en el Cap. 5.

6.10 CUERDAS.-

De acuerdo al Manual Universal de la Técnica mecánica, "una cuerda es un resalte o arista, generalmente de sección uniforme, producido al formar una ranura en forma de hélice en la superficie exterior o interior de un cilindro, o en forma de espiral cónica en la superficie de un cilindro; o en forma de espiral cónica en la superficie exterior o interior de un cono o de un tronco de cono". (Ref. 23).

En el caso de los materiales plásticos, la definición anterior se aplica a los que puedan ser maquinados. Pero, por lo general, las rosas de plástico son moldeadas o machuoladas. En el caso de las moldeadas, las internas se hacen con un perno roscado alojado en el molde; y las externas, se hacen mediante un agujero roscado maquinado en el molde, (ver Fig. 6.40). En ambos casos, para retirar la pieza del molde hay que desenroscarla del molde o viceversa.



Cuerda Interna



Cuerda Externa

Fig. 6.40. Rosca externa e interna. (Ref. 2).

En la industria del plástico se utilizan siete tipos de rosas: American Standard, Cuadrada, Acme, Diente de sierra, Tipo botella, Forma en V aguda y la Rosca unificada. A continuación describiremos cada una de ellas.

- Rosca American Standard.

Es una de las más utilizadas en plásticos moldeados. El perfil básico de diseño de este tipo de rosca se muestra en la Fig. 6.41.



Fig. 6.41. Perfil de la rosca American Standard. (Ref. 23).

Este tipo de rosca proporciona un ensamble fácil y rápido. Se utiliza mucho en plásticos de ingeniería.

- Rosca Cuadrada.



Este tipo de rosca se utiliza cuando se necesita una mayor resistencia.

- Rosca Acme.



La rosca Acme es similar a la cuadrada, sólo que es más fácil de moldear. También se utiliza donde se requiera resistencia.

- Rosca Diente de sierra.



TRAPEZOIDAL

La rosca Diente de sierra se utiliza para transmitir potencia o resistencia en una dirección solamente, a lo largo del eje de la rosca. Combina la eficiencia de la rosca cuadrada y la eficiencia de la rosca en forma de V aguda.

- Rosca Tipo botella.



TIPO BOTELLA

La rosca tipo botella se usa comúnmente para las tapas de botellas de vidrio. Todas las roscas causan esfuerzos en el plástico, la tipo botella es la que causa menos.

- Rosca en V aguda.



V AGUDA

Este tipo de roscas no se recomienda para materiales plásticos, ya que los vértices en V aguda son puntos de concentración de esfuerzos.

- Rosca unificada.



La rosca unificada surgió como una necesidad de estandarización internacional entre Estados Unidos, Inglaterra y Canadá, con la finalidad de conseguir la intercambiabilidad de las roscas de las tres naciones. Está basada en modificaciones hechas a la rosca American Standard, fundamentalmente en lo que se refiere a las tolerancias, ya que sustancialmente tiene la misma forma que ésta. En esta rosca, las aristas de la base han sido redondeadas para evitar los cantos vivos.

Las series de roscas son grupo de combinaciones de diámetro y pasos, que se distinguen unos de otros en el número de hilos por pulgada aplicable a un determinado diámetro. Entre estas series se distinguen las de paso fino y las de paso grueso. Para el caso de las roscas moldeadas de plástico, se recomienda que se utilicen roscas de paso grueso, ya que pueden montarse y desmontarse rápidamente. En caso de que se utilicen roscas de paso fino, no deben ser de menos de 32 hilos por pulgada, y de una longitud no mayor de 0.5 pulgadas; de lo contrario, el operario se tomaría mucho tiempo en desenroscar la pieza del molde.

En el diseño de roscas de plástico hay que cuidar que no tengan cantos vivos, ya que éstos representarían potenciales puntos de rotura, (ver Fig. 6.42).

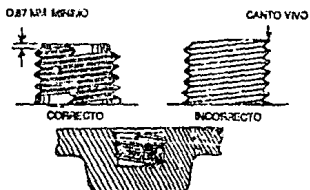


Fig. 6.42. Recomendación para evitar cantos vivos en cuerdas de plástico. (Ref. 25).

Las roscas hechas con tarrajas o machueladas no son tan fuertes como las moldeadas. Se recomiendan para orificios

pequeños, de diámetros menores de 6 mm. El orificio por donde se introducirá la tarraja para formar la rosca debe ser ensanchado o abocardado, como se indica en la Fig. 6.43, para evitar fisuras en la pieza.

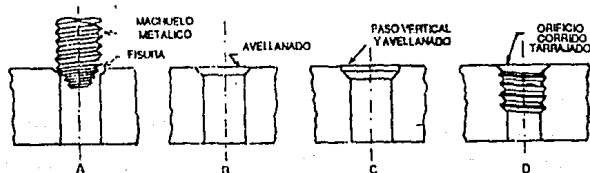


Fig. 6.43. Abocardado recomendado para rocas machueladas. (Ref. 2).

Para aplicaciones en que no se necesite enroscar y desenroscar continuamente, se recomienda usar tornillos autorroscantes en vez de moldear la rosca en el plástico.

6.11 CONTRACCION EN EL MOLDE.-

La contracción se define como la diferencia entre las dimensiones del producto moldeado y las dimensiones lineales del molde correspondiente, a temperatura ambiente (23 °C). Cada plástico posee su rango de contracción característico una vez que ha sido moldeado, y puede variar desde menos de 0.025 mm/mm a más de 1 mm/mm.

Son muchos los factores que afectan el encogimiento de un plástico, algunos de estos son:

- cambios en las variables del proceso, tales como, cantidad de precalentamiento, temperatura, presión, tiempo en el molde, etc.

- tipo de plástico utilizado
- configuración de la pieza.

Estas dos últimas variables están bajo el control del diseñador del producto.

El uso del valor de contracción correcto es muy importante, no sólo para obtener las proporciones deseadas del producto, sino también, para el ajuste con otras piezas, y para propósitos funcionales en general. Como la contracción varía de un plástico a otro, en circunstancias donde se requiera de un control dimensional riguroso deben ser utilizados los plásticos que tengan los valores de contracción más pequeños.

Considerando el diseño de la forma del producto a ser moldeado, la no uniformidad en el espesor de la sección tiende a producir una contracción desigual en el mismo, provocando depresiones superficiales o pandeos. Esto se debe a que las secciones más gruesas se enfrían con más lentitud que las delgadas. Por lo tanto, el mejor diseño será aquel que mantenga el espesor de la sección lo más uniforme posible.

Los problemas de contracción excesiva o alabeo de la pieza a menudo se evitan utilizando plantillas que mantienen las dimensiones de la pieza mientras ésta se está enfriando a temperatura ambiente. Sin embargo, este método tiene sus riesgos, ya que cuando la contracción normal de una pieza es restringida por una plantilla u otro medio, se crean esfuerzos internos que permanecerán cuando la pieza se haya enfriado y endurecido; y si estos esfuerzos exceden la resistencia del material plástico, provocarán una falla o rotura de la pieza.

La Tabla 6.6 presenta los valores de contracción en el molde para algunos termoplásticos y termofijos.

PLASTICO	CONTRACCION (mm/mm)
ABS	0.127 - 0.203
POM	0.508 - 0.635
PMMA	0.025 - 0.102
PA	0.203 - 0.381
PC	0.127 - 0.178
PBT	0.076 - 0.457
PEAD	0.508 - 1.270
PP	0.254 - 0.635
PS	0.025 - 0.152
PVC rig.	0.025 - 0.127
AC	0.076 - 0.254
EP	0.025 - 0.102
UF, MF (con carga)	0.279 - 0.305
PF (con carga)	0.102 - 0.229
PUR	0.254 - 0.508

TABLA 6.6. Contracción en el molde de algunos termoplásticos y termofijos. (Ref. 5).

El diseñador debe de trabajar en colaboración con el fabricante de material plástico y con el fabricante de moldes para especificar el valor de contracción apropiado para su producto.

6.12 TOLERANCIAS.-

La tolerancia es la variación total permitida de una dimensión determinada; más bien, es la diferencia entre los límites máximo y mínimo de dicha dimensión. En el caso de los plásticos, mantener tolerancias estrechas resulta muy difícil, ya que hay que considerar muchas variables, como:

- contracción del plástico
- tolerancias del fabricante del molde
- proceso de moldeo utilizado

Mientras más estrechas sean las tolerancias especificadas mayor será el costo del molde y los costos operacionales de moldeo, pues, se necesitará mayor cuidado y control para mantener las condiciones uniformes. Por esta razón, las tolerancias para productos plásticos deben ser generosas en lo posible.

Hay tres clases de tolerancias dimensionales para piezas de plástico:

- 1) Tolerancia fina.- Es la variación más estrecha posible bajo producción controlada.
- 2) Tolerancia estándar.- Es la variación permitida que se consigue bajo condiciones promedio de producción.
- 3) Tolerancia amplia.- Es la usada en piezas donde la exactitud dimensional no es importante o crítica.

El uso de uno u otra clase de tolerancia dependerá de los requerimientos dimensionales del producto. Se expresan en más o menos (±) la variación especificada en mm/mm o pul/pul.

Algunas instituciones, como la Society of Plastics Industry (SPI) norteamericana, han preparado tablas para establecer tolerancias en el moldeo de cada tipo de plástico. Estas tablas sólo deben ser utilizadas como una guía, ya que están basadas en diseños hipotéticos. En realidad, cualquier tolerancia especificada en el diseño de productos de plástico es tentativa, hasta tanto ésta no se someta a discusión con los responsables de la fabricación del producto y del molde.

6.13 CONSIDERACIONES SOBRE EL DISEÑO DEL MOLDE.-

Todas las consideraciones que hasta ahora se han hecho para el diseño del producto son de poca validez si no usamos el molde adecuado. El diseño de moldes es una actividad compleja y especializada, ya que hay que tomar en cuenta muchas variables para decidir la manera en que se moldeará el producto. El diseñador debe ser sensible a esta situación y

trabajar conjuntamente con los responsables de construir el molde.

En esta sección nos limitaremos a comentar, de una manera muy general, algunos aspectos relacionados con el molde, tales como los canales por donde fluye el material, el plano de separación y el mecanismo de expulsión de la pieza (botadores), como se indica en la Fig. 6.44.

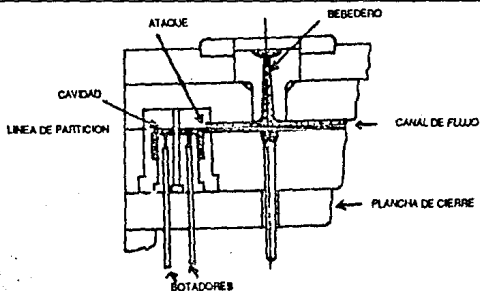


Fig. 6.44. Molde de inyección. (Ref. 28).

- Canales de flujo.-

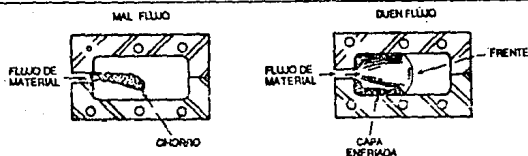


Fig. 6.45. Entrada del material plástico derretido al molde. (Ref. 2).

La entrada en el molde de la masa de plástico derretido no debe ser en forma de chorro, sino de manera suave y constante, para que éste se llene completamente (Fig. 6.45). Una vez dentro del molde, el flujo de material a través de los canales debe hacerse con la máxima libertad posible. Los insertos, orificios, nervaduras, o cualquier otra obstrucción al flujo, causan línea de unión de flujo. El flujo se divide al toparse con la obstrucción y vuelve a unirse al rodearla. Muchas veces, estas líneas van en detrimento de la apariencia superficial del producto y son potenciales puntos

de falla; por lo que deben de tenerse en mente cuando se diseña la pieza. Este problema se presenta en termoplásticos y termofijos moldeados por inyección o transferencia. En el moldeo por compresión es muy raro que se presente líneas de unión de flujo.

Los canales por donde se desplaza el flujo de material en su trayectoria desde la boquilla de la máquina hasta la cavidad del molde se denominan, progresivamente:

- cono bebedero o piquera
- canal de alimentación o de colada
- punto de entrada a la cavidad o ataque

El cono bebedero es el canal ahusado que conecta la boquilla de la máquina con el canal de colada, como se indica en la Fig. 6.44. En los moldes de cavidad simple, el cono bebedero alimenta el material directamente a la cavidad del molde, eliminando los otros canales.

Los canales de colada son unos conductos estrechos que conectan el bebedero con el punto de entrada a la cavidad del molde. El canal de colada puede ser maquinado en una o en ambas partes del molde. La Fig. 6.46 muestra los tres tipos principales de sistemas de colada.

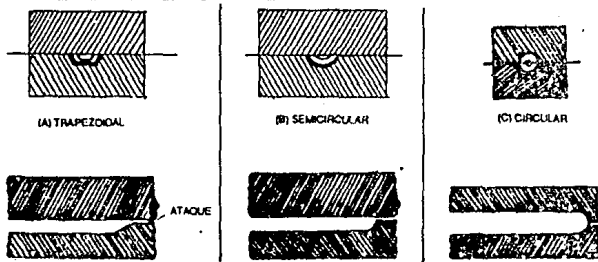


Fig. 6.46. Sistemas básicos de canales de colada. (Ref 26).

Uno de los problemas a resolver al diseñar los canales de colada es reducir la fricción del flujo de plástico dentro de los mismos. Esta fricción es muy alta, por lo que los canales de colada deben estar bien pulidos para minimizarla, y ayudar a reducir la presión de moldeo requerida para llenar las cavidades.

En este sentido, de los tres sistemas de colada indicados en la Fig. 6.46, el más efectivo es el circular, ya que es el que tiene menor superficie de fricción en relación a su volumen y requiere menor presión de moldeo que los otros dos.

Los sistemas trapezoidal y semicirculo tienen la ventaja de que se pueden maquinar fácilmente en una de las partes del molde, lo que los hace más económicos que el circular; pero, necesitan mayor presión de moldeo para llenar las cavidades. De los tres sistemas, el menos recomendado es el semicircular.

El flujo de material en el canal de colada puede ser clasificado como laminar o turbulento, como se muestra en la Fig. 6.47. El flujo laminar o recto se produce cuando los canales son grandes y la fricción es baja; es el más recomendado, ya que produce pocos esfuerzos internos en la pieza. Por otro lado, el flujo turbulento es provocado por canales pequeños, que hacen que el material forme remolinos turbulentos; este tipo de flujo no siempre es deseable, puesto que tiende a incrementar los esfuerzos y los rechupes en la pieza.

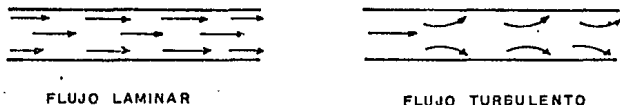


Fig. 6.47. Flujo laminar y turbulento. (Ref. 2).

La Tabla 6.7 presenta los diámetros de canales de colada recomendados para el moldeo por inyección de algunos termoplásticos.

PLASTICO	DIAMETRO DEL CANAL DE COLADA (mm)
ABS	4.7 - 9.5
SAN	4.7 - 9.5
POM	3.1 - 9.5
PMMA	7.5 - 9.5
AC	4.7 - 9.5
PA	1.5 - 9.5
PC	4.7 - 9.5
PBT	4.7 - 9.5
PE	1.5 - 9.5
PP	4.7 - 9.5
PS	3.1 - 9.5
PVC rig.	3.5 - 9.5

TABLA 6.7. Diámetro del canal de colada recomendado para el moldeo por inyección de varios termoplásticos.

En los moldes de multicavidades, se recomienda que el sistema de colada esté balanceado, de modo que el material recorra la misma distancia desde el bebedero hasta cada cavidad; de lo contrario, puede suceder que algunas cavidades no se llenen completamente, dando lugar al moldeo de piezas incompletas. La Fig. 6.48 muestra algunos diseños típicos para balancear el sistema de colada.

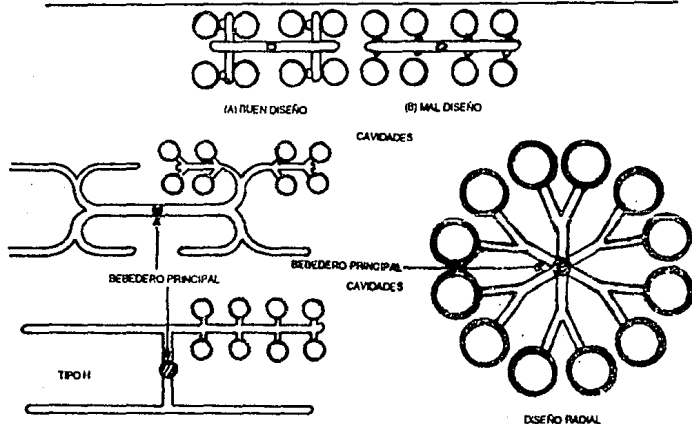


Fig. 6.48. Diseños del sistema de colada. (Ref. 26).

Otra consideración importante que el diseñador debe tener muy en cuenta es el punto de entrada del material a la cavidad o ataque, ya que de la su tamaño y configuración depende la distribución del material en el molde. En general, se recomienda que éste sea lo más pequeño y discreto posible, para prevenir defectos notorios en la pieza; pero, esto está condicionado por las características de flujo del plástico y por los requerimientos de llenado del molde.

El ataque puede ser del tamaño del canal de colada; pero generalmente es más pequeño. No hay una regla definida para determinar las dimensiones del ataque. La dimensión óptima es aquella que es lo suficientemente grande para que pueda llenar apropiadamente el molde; y lo bastante pequeña para no permitir un contraflujo. Por lo general, el espesor del punto de ataque es un 40 a 60% del espesor de la sección de la pieza a moldear.

En el moldeo por inyección y transferencia, los canales que hasta ahora hemos descrito, esto es, el bebedero, el canal de colada y el ataque, quedan adheridos a la pieza moldeada, como se indica en la Fig. 6.49. En el caso de termoplásticos, éste sobrante puede ser reprocesado, no siendo así para los termofijos. Existen otros sistemas donde se elimina el problema del sobrante, como los sistemas de colada caliente, en los cuales el bebedero y el canal de colada se mantienen siempre calientes, mediante dispositivos calefactores incluidos en el molde.



Fig. 6.49. Ejemplo de pieza moldeada con sobrante. (Ref. 26).

- Plano de separación del molde.-

Como regla general, el plano de separación o línea de partición del molde debe colocarse en la zona del producto que tenga mayor sección transversal, o la de mayor diámetro; y, de preferencia, que en un solo plano, para facilitar la operaciones de acabado, (ver Fig. 6.50).

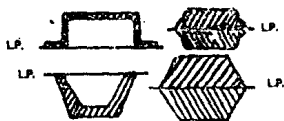


Fig. 6.50. Localización del plano de separación. (Ref. 26).

A lo largo de la línea de separación siempre se forma una rebaba que hay que remover posteriormente. Este problema es más apremiante en el moldeo por compresión que en el de inyección y transferencia, puesto que en estos dos últimos el molde se cierra antes de introducirle el material. Todas las piezas moldeadas por compresión requieren operaciones de acabado, como pulido o limado, por lo que la colocación del plano de separación del molde debe de contribuir a facilitarlas. Además, en el moldeo por compresión, no debe de diseñarse piezas que tengan cantos agudos delgados en la línea de separación, puesto que pueden romperse o fisurarse fácilmente durante las operaciones de acabado, como se indica en la Fig. 6.51.

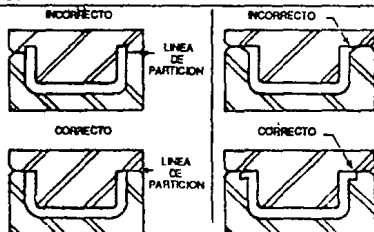


Fig. 6.51. Recomendación para el moldeo de piezas por compresión. (Ref. 2).

Las piezas moldeadas por compresión pueden tener una rebaba horizontal o vertical, como se indica en la Fig. 6.52. El diseñador debe de estudiar la pieza para determinar cual de las dos clases de rebaba será la más fácil y económica de limpiar.

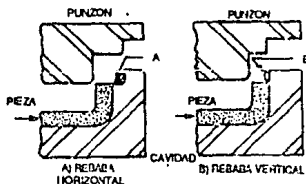


Fig. 6.52. Rebaba horizontal y vertical en una pieza moldeada por compresión. (Ref. 2).

El constante abrir y cerrar del molde provoca un desgaste en la línea de separación. Este desgaste, a su vez, provoca un

desalineamiento o desajuste de las partes del molde, que se refleja en la pieza moldeada, como se indica de una manera exagerada en la Fig. 6.53.

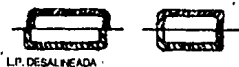


Fig. 6.53. Desalineamiento del molde. (Ref. 2).

Este desalineamiento incrementa la cantidad de rebaba, y si es muy notable, puede afectar el aspecto y la funcionalidad del producto. La tolerancia de desalineamiento para los moldes de compresión es de 0.15 mm; esta es la cantidad máxima de desajuste que puede esperarse durante la vida normal del molde. Esta tolerancia depende del tamaño de la pieza; para piezas grandes, como carcazas de televisores, la tolerancia debe ser mayor.

- Mecanismo de expulsión de la pieza.-

El mecanismo de expulsión libera la pieza moldeada del molde. Los sistemas de expulsión más utilizados son los siguientes:

- sistema de espigas expulsoras (botadores)
- sistema de placa separadora
- sistema de aire comprimido

La Fig. 6.54 presenta los tres sistemas mencionados.

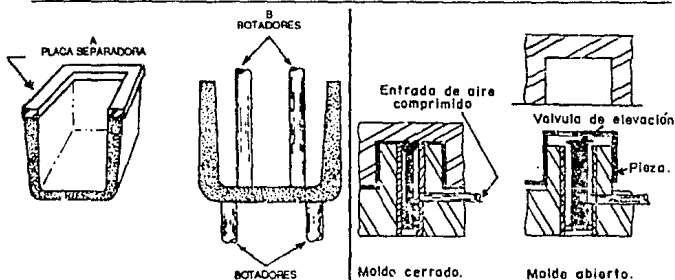


Fig. 6.54. Mecanismos de expulsión del producto. (Ref. 2).

El primer parámetro a considerar en el diseño del sistema de expulsión es la geometría de la pieza, esto es, su superficie y su profundidad.

El sistema de espigas expulsoras o botadores deja marcas sobre la superficie de la pieza, por lo que la localización de éstos debe disponerse de forma que toquen a la pieza en zonas ocultas o discretas, donde no perjudiquen su aspecto o su función. Los botadores deben colocarse en las secciones más gruesas de la pieza; si es posible, directamente sobre protuberancias o nervaduras.

El sistema de placa separador se utiliza para piezas que no deban presentar marcas superficiales. La placa separadora ejerce una presión más uniforme sobre la pieza que el sistema de espigas, causando menos distorsión.

El sistema de aire comprimido se utiliza principalmente para desmoldar piezas muy profundas, de secciones delgadas.

Finalmente, además de los aspectos sobre el diseño del molde descritos brevemente en esta sección, hay otras consideraciones de importancia que el diseñador debe de tomar en cuenta, tales como:

- localización de las ventilaciones del molde; para asegurar que no quede aire atrapado en el mismo.
- disposición, cantidad y capacidad de los sistemas de calentamiento y enfriamiento del molde.

Como dijimos al principio, el diseño de moldes es una actividad compleja para la cual se necesita experiencia, por lo que reiteramos que es importante que el diseñador tenga en mente todos estos detalles durante el diseño del producto.

7. IDENTIFICACION DE PLASTICOS

Una de las ventajas de los plásticos es su gran versatilidad en cuanto al sinnúmero de aplicaciones en que pueden utilizarse, puesto que es posible formularlos a la medida de los requerimientos de las mismas. Esta posibilidad de reformular un plástico, utilizando aditivos, cargas, refuerzos, copolímeros, etc. y obtener un material con propiedades diferentes, los convierte en materiales complejos, difíciles de identificar.

La identificación de plásticos puede tener los siguientes propósitos:

- Control de calidad; inspección de materia prima para saber si es la adecuada, identificación de lotes desconocidos, etc.
- Conocer los plásticos empleados por la competencia
- Analizar muestras para el desarrollo de nuevos productos.
- Reparación de un producto de plástico.
- Reciclaje.

Es difícil, aún con experiencia, identificar todos los plásticos por medio de inspección visual o ensayos mecánicos simples. Una identificación precisa sólo es posible mediante un análisis químico sistemático, utilizando métodos e instrumentos sofisticados, tales como los Métodos Espectroscópicos (Espectroscopia Infrarroja, Espectroscopia Ultravioleta, etc), Métodos Cromatográficos (Cromatografía de Gases, Cromatografía de Líquidos, Cromatografía de capa fina), Métodos de Análisis Térmicos (Análisis Termogravimétrico, Análisis Termomecánicos, etc.). Con estos métodos puede analizarse rápidamente cualquier plástico, con gran exactitud en la identificación; pero, el equipo es costoso y se necesita personal especializado.

Sin embargo, existen otros métodos, no tan precisos como los anteriores, pero que tienen la ventaja de que son de bajo costo, no requieren equipo especial, no se necesitan sustancias costosas y la identificación es relativamente rápida.

Tales métodos son:

- Marcas de fábricas
- Apariencia física
- Densidad relativa
- Solubilidad
- Comportamiento a la flama

7.1 MARCAS DE FABRICAS.-

Uno de los indicadores del crecimiento de la industria del plástico es la gran cantidad de marcas de fábrica utilizadas hoy en día para comercializar resinas vírgenes, resinas compuestas (ya formuladas), o bien, productos terminados. En cualquiera de los casos, las marcas registradas pueden servirnos como una guía de identificación de plásticos. En el Apéndice, presentamos una selección de las marcas de fábricas, así como los fabricantes, de los plásticos estudiados en el Cap. 4.

7.2 APARIENCIA FISICA.-

Parámetros cualitativos como el aspecto físico (rígido, flexible, semirígido), sensación al tacto (suave, áspero), características ópticas (transparente, translúcido, opaco), etc, pueden ser utilizados como métodos muy simples para identificar tentativamente algunos tipos de plásticos. Por ejemplo, los polietilenos, las poliamidas, los poliacetales y el politetrafluoretileno tienen una sensación al tacto como la cera, no encontrada en los otros plásticos. En la Cap. 4 vimos algunos de estos parámetros.

7.3 DENSIDAD RELATIVA.-

Todos los plásticos tienen una densidad específica. Este parámetro puede ser utilizado para fines de identificación; pero, hay que considerar que la presencia de aditivos, cargas, refuerzos y el grado de polimerización alteran notablemente los resultados.

La norma ASTM-D792 especifica las condiciones para determinar la densidad relativa de un plástico a 23 °C. Según ésta se toma una muestra del plástico, se limpia completamente, y se sujeta a un alambre delgado. Luego se registra el peso de la muestra, primero en el aire y luego en el agua (el agua debe estar entre 21 y 25 °C). Además, se determina el peso del alambre tanto en el aire como en el agua. Los datos registrados se sustituyen en la siguiente fórmula para obtener la densidad deseada:

$$D = \frac{A - B}{A - B + C - E}$$

Donde D = Densidad relativa a 23 °C
 A = Peso de la muestra y el alambre en el aire
 B = Peso del alambre en el aire
 C = Peso del alambre con un extremo inmerso en agua
 E = Peso de la muestra y el alambre en el agua

Otro método de identificación consiste en ir discriminando sistemáticamente la densidad de la muestra, colocando ésta en líquidos o soluciones de densidades conocidas y observar si la muestra flota o se hunde. Por ejemplo:

- Flotan en agua ($D = 1 \text{ gr/cm}^3$)

PEAD

PEBD

PP

EPS y todas las espumas flexibles

- Flotan en solución saturada de Cloruro de Magnesio ($D = 1.34 \text{ gr/cm}^3$).

PS

SI-RTV

SB

AC

PVC flex

SAN

PF

PPO

TPU

PBT

PA

ABS

PMMA

PC

- Flotan en solución saturada de Cloruro de Zinc ($D = 2.01 \text{ gr/cm}^3$).

SI-RFV

PET

UP-RFV

UF

POM

MF

PVC rig.

EP-RFV

- No flota en soluciones de densidad menor de 2.2 gr/cm^3

PTFE

7.4 SOLUBILIDAD.-

Este método de identificación sólo se usa para termoplásticos, y se utiliza generalmente para confirmar los resultados de una prueba de identificación anterior. Con excepción de las poliolefinas, policetales, poliamidas y los fluoroplásticos, los termoplásticos son solubles a temperatura ambiente.

ADVERTENCIA: Para llevar a cabo los ensayos de solubilidad deben de tomarse las medidas de seguridad apropiadas, ya que las soluciones pueden causar uno o todos de los efectos dañinos mencionados a continuación:

-ser inflamable

-desprender gases tóxicos

-ser absorbidos a través de la piel.

La Tabla 7.1 presenta la solubilidad de algunos termoplásticos en determinados disolventes.

PLASTICO	ACETO NA	ACIDO FORMICO	BEN CENO	XILENO HIRVIENDO	DIMETIL FORMAMIDA	DISOLVENTE ESPECIAL
ABS	-	-	PS	S	I	Dicloruro de etileno
PMMA	S	-	S	S	I	Toluano
AC	S	S	PS	I	I	Acido ace- tico
PTFE	I	I	I	I	I	-
PA	PS	S	PS	I	I	Etanol acu- so caliente
PC	PS	I	PS	I	S	Cloruro de metileno
PE	I	I	I	S	I	Benceno ca- liente.
PP	I	I	I	S	I	Toluano ca- liente
PS	S	I	S	S	I	Dicloruro de metileno
PVC	S	I	I	S	S	Ciclohexa- nona
POM	I	I	I	I	S*	-
PET, PBT	I	I	I	I	I	Nitrobence- no

S = Soluble, I = Insoluble, PS = Parcialmente soluble
* Soluble sólo con el disolvente hirviendo

TABLA 7.1. Solubilidad de termoplásticos. (Ref. 28).

7.5 COMPORTAMIENTO A LA FLAMA.-

El efecto del calor en los plásticos es uno de los parámetros más utilizados para su identificación. Para analizar un plástico desconocido, lo primero que hay que determinar si éste es termoplástico o termofijo. La manera de hacer esta diferenciación es calentar una pequeña muestra del plástico desconocido en un tubo de ensayo o en una plancha caliente; si la muestra se oscurece y descompone sin ablandarse, lo más probable es que sea un plástico termofijo. En cambio, si la muestra se funde, es un termoplástico. Este resultado también se puede conseguir con una varilla caliente, ésta penetrará la superficie de la muestra si es un termoplástico, no siendo así para los termofijos.

La mayoría de los plásticos tienen características definidas cuando se exponen a una flama. Las características a observar son: color de la flama, olor, combustibilidad, presencia o ausencia de humos, duración de la flama, comportamiento durante la fusión (presencia de gotas, carbonización, etc).

Para esto se expone una esquina de la muestra a la flama de un mechero Bunsen o, en su defecto, de un cerillo hasta que ésta se encienda o durante 10 segundos. En caso de que la muestra se encienda, se observan las características mencionadas anteriormente. Los olores deben ser percibidos cuidadosamente, ya que algunos polímeros emanan gases tóxicos durante la combustión.

Otro método para identificación de plásticos es la reacción de los humos de combustión con un papel indicador de PH (grado de acidez o alcalinidad). Se coloca un pedacito del plástico en el fondo de un tubo de ensayo y en la boca de éste se pone un papel indicador, humedecido con agua destilada, para observar la reacción ácida o alcalina de los vapores; se sostiene el tubo a 45° mediante una pinzas sobre la punta de la flama de un mechero y se observan los cambios que sufre la misma.

El punto de fusión es otro indicador para la identificación de plásticos. Los termofijos no se funden, por lo general se carbonizan. Entre los termoplásticos, los de estructura cristalina tienen un punto de fusión preciso, mientras que los de estructura amorfa, no tienen un punto de fusión definido, sino que, más bien, ésta se produce de una manera gradual. Para que este ensayo tenga éxito, la temperatura debe ser cuidadosamente controlada, elevándola rápidamente hasta una temperatura inferior en 20 °C de la temperatura de fusión supuesta, luego se aumenta a razón de 1 °C/min. Con el Politetrafluoretileno (Teflon) es difícil notar el punto de fusión, ya que, a diferencia de los demás termoplásticos, la fusión no se produce como un flujo de material; esto es, el Teflon no fluye al llegar a su temperatura de fusión.

Los plásticos que contienen cloro pueden ser identificados utilizando un alambre de cobre y un mechero. Para realizar esta prueba, se toca la muestra con el alambre caliente, de manera tal que quede algo del polímero en el alambre; luego se regresa el alambre al mechero. Una flama de color verde indica la presencia de cloro. Los cloruros de vinilo, como el Policloruro de vinilo (PVC), Policloruro de vinilideno y los Fluoroclorocarbonos, dan resultados positivos con este ensayo. Si los resultados son negativos, el polímero puede estar compuesto solamente de Carbono, Hidrógeno, Oxígeno, o Silicio.

El cuadro presentado al final de este capítulo resume los resultados de las pruebas de identificación de plásticos relativas al comportamiento a la flama.

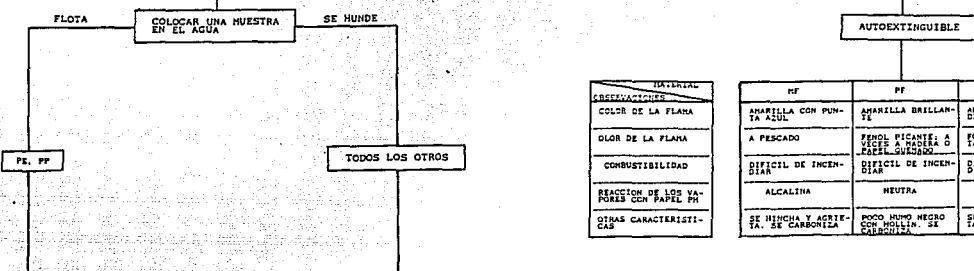
IDENTIFICACION DE PLAS

- MF MELAMINA FOLMALDEHIDO
- PF FENOL FOLMALDEHIDO (Bakelite)
- UF UREA FOLMALDEHIDO
- UP RESINA POLIESTER TERMOFIJA
- SI HULE SILICON
- EP RESINA EPOXICA
- PUR POLIURETANO TERMOFIJO
- PE POLIETILENO
- PP POLIPROPILENO
- PTFE POLITETRAFLUORETILENO (Teflon)
- ABS ACRILONITRILLO-BUTADIENO-ESTIRENO
- POM POLIOXIDO DE METILENO
- AC ACETATO DE CELULOSA
- PS POLIESTIRENO
- PMMA POLIMETACRILATO DE METILO (Acrylic)
- PBT POLIBUTILEN TEREFTALATO
- PET POLIETILEN TEREFTALATO
- TPU POLIURETANO TERMOPLASTICO

MATERIAL PLASTICO

TERMOPLASTICOS SE ABLANDA APLIQUE UNA VARILLA CALIENTE (260 °C) CONTRA LA MUESTRA NO SE ABLANDA

- PA POLIAMIDA (Nylon)
- PSU POLISULFONA
- PC POLICARBONATO
- PPO POLIOXIDO DE FENILENO MODIFICADO (Noryl)
- PVC POLICLORURO DE VINILO



MATERIAL	MF	PF	UF
COLORES	AMARILLA CON PUNTA AZUL	AMARILLA BRILLANTE	AMARILLA CON BORDES AZULES
OLOR DE LA FLAMA	A PESCADO	FENOL PICANTE; A HUEVO; A PASTEL QUEBRODO	FORMALDEHIDANTICO; PASTEL QUEBRODO
COMBUSTIBILIDAD	DIFFICIL DE INCENDIAR	DIFFICIL DE INCENDIAR	DIFFICIL DE INCENDIAR
REACCION DE LOS VAPORES CON PAPEL PH	ALCALINA	NEUTRA	ALCALINA
OTRAS CARACTERISTICAS	SE HINCHA Y ACRIETA; SE CARBONIZA	POCO HUMO NEGRO; SE HUELLAN; SE CARBONIZA	SE HINCHA; SE CARBONIZA

QUEMAR UNA ESQUINA DE LA MUESTRA



MATERIAL	PE	PP	PTFE	ABS	POM	AC	PS	PMMA	PBT, PET	PA
COLORES	AZUL BRILLANTE CON PUNTA AMARILLA	AZUL BRILLANTE CON PUNTA AMARILLA	-	AMARILLO BRILLANTE	AZUL CLARO	AMARILLA CON CHISPAS	AMARILLA	AZUL CON PUNTA AMARILLA	AMARILLO-MARANJA CON BORDES AZULES	AMARILLO
OLOR DE LA FLAMA	NERA	ACEITE LUBRICANTE CALIENTE	ACEITE FENOLICO; NO FUMOSO	HULE QUEBRODO; PICANTE; ACIDO	FORMALDEHIDO; DESAGUADO	VINAGRE; PAPEL QUEBRODO	GAS DE ALUMBRADO; FLORAL; DULSON	FRUTAS; FLORAL	HULE QUEBRODO; IRRITANTE	DESAGUADO
VELOCIDAD DE COMBUSTION (mm/min)	RAPIDA	LENTA	-	LENTA	LENTA	LENTA	RAPIDA	LENTA	RAPIDA	DESAGUADO
COMBUSTIBILIDAD	FACIL DE INCENDIAR	FACIL DE INCENDIAR	NO SE INCENDIA	FACIL DE INCENDIAR	FACIL DE INCENDIAR	FACIL DE INCENDIAR	FACIL DE INCENDIAR	FACIL DE INCENDIAR	DIFFICIL DE INCENDIAR	FACIL
REACCION DE LOS VAPORES CON PAPEL PH	NEUTRA	NEUTRA	ACIDA	NEUTRA	NEUTRA	ACIDA	NEUTRA	NEUTRA	ACIDA	NEUTRA
OTRAS CARACTERISTICAS	FUNDE Y GOTEA	SE HINCHA Y GOTEA	SE DEFORMA	HUMO NEGRO CON HUELLA	FUNDE SIN HUMO	HUMO NEGRO CON HUELLA	HUMO DENSO CON HUELLA	HUMO NEGRO; CENIZA BLANCA	HUMO NEGRO CON HUELLA	HUMO
PUNTO DE FUSION (°C)	PEAD 120 PEDD 165	168	277	-	175	180	190	190	260	-

IDENTIFICACION DE PLASTICOS

MATERIAL PLASTICO

TERMOPLASTICOS

SE ABLANDA

APLIQUE UNA VARILLA CALIENTE (250 °C) CONTRA LA MUESTRA

NO SE ABLANDA

TERMOFIJOS

DO (Noryl)

COLOCAR UNA MUESTRA EN EL AGUA

SE HUNDE

TODOS LOS OTROS

QUEMAR UNA ESQUINA DE LA MUESTRA

AUTOEXTINGUIBLE

CONTINUA ARDIENDO

MATERIAL
CONSERVACIONES
COLOR DE LA FLAMA
OLOR DE LA FLAMA
COMBUSTIBILIDAD
REACCION DE LOS VAPORES CON F. DEL PR
OTRAS CARACTERISTICAS

PF	PF	UF
AMARILLA CON PUNTA AZUL	AMARILLA BRILLANTE	AMARILLA CON BORDOS AZUL-VERDEZOS
A PESCADO	HEMOL PIGANTE; A VECES A MADERA O A PULPA	FORMALDEHIDO, IRRITANTE, RANCIO
DIFFICIL DE INCENDIAR	DIFFICIL DE INCENDIAR	DIFFICIL DE INCENDIAR
ALCALINA	NEUTRA	ALCALINA
SE HINCHA Y ACRIETA, SE CARBONIZA	POCO HUMO NEGRO CON HOLLIN, SE CARBONIZA	SE HINCHA Y ACRIETA, SE CARBONIZA

UP	SE	EP	FOR FLEGO	FOR FLEGO
AMARILLA CON BORDOS AZULES	AMARILLO BRILLANTE	AMARILLA	AMARILLA NARANJA	AMARILLA BRILLANTE
CANELA AGRIEDUCE, CARBON QUEMADO	NINGUNO	FENOL, PICANTE	DESAGRADABLE, PICANTE	DESAGRADABLE, PENETRANTE Y PICANTE
DIFFICIL DE INCENDIAR	DIFFICIL DE INCENDIAR, PUEDE SER AUTOEXTINGUIBLE	DIFFICIL DE INCENDIAR, PUEDE SER AUTOEXTINGUIBLE	FACIL DE INCENDIAR	FACIL DE INCENDIAR
NEUTRA	NEUTRA	NEUTRA O ALCALINA	ALCALINA	ACIDA
HUMO NEGRO CON HOLLIN, NO GOTEA	HUMO BLANCO, CENIZA BLANCA	HUMO NEGRO CON HOLLIN, SE CARBONIZA	HUMO NEGRO CON HOLLIN, SE CARBONIZA	FUNDE Y GOTEA CON HUMOS BLANCOS

QUEMAR UNA ESQUINA DE LA MUESTRA

AUTOEXTINGUIBLE

SIN FLAMA

CONTINUA ARDIENDO

GOTEA

GOTEA

GOTEA

SI

SI

NO

SI

NO

PTE	ABS	PM	AC	PS	PPMA	PET, PEZ	TPU	PA	PEU	PC	PPC	PVC
-	AMARILLO BRILLANTE	AZUL CLARO	AMARILLA CON CHISPAS	AMARILLA	AZUL CON PUNTA ANARILLA	AMARILLO-NARANJA CON BORDOS AZULES	AMARILLA NARANJA	AZUL CON PUNTA ANARILLA	NARANJA O AMARILLA	NARANJA O AMARILLA BRILLANTE	AMARILLO A AMARILLO-NARANJA	AMARILLA CON BORDOS VERDES
ACIDO FLUORHIDRICO PENETRANTE, NO HOLLABLE	HULE QUEMADO, PICANTE, AGUDO	FORMALDEHIDO, DESAGRADABLE	VINAGRE, PAPEL QUEMADO	GAS DE ALUMBRADO, FLORAL, DULCION	FRUTAS, FLORAL	HULE QUEMADO, IRRITANTE	DESAGRADABLE, PENETRANTE, PICANTE	LAMA O PELO QUEMADO	AZUFRE, ACIDO	FENOL, PICANTE	FENOL	ACIDO CLORHIDRICO, IRRITANTE
NO SE INCENDIA	LENTA	LENTA	LENTA	RAPIDA	LENTA	RAPIDA	RAPIDA	LENTA	RAPIDA	LENTA	LENTA	LENTA
FACIL DE INCENDIAR	FACIL DE INCENDIAR	FACIL DE INCENDIAR	FACIL DE INCENDIAR	FACIL DE INCENDIAR	FACIL DE INCENDIAR	DIFFICIL DE INCENDIAR	FACIL DE INCENDIAR	DIFFICIL DE INCENDIAR	-	DIFFICIL DE INCENDIAR	DIFFICIL DE INCENDIAR	FACIL DE INCENDIAR
ACIDA	NEUTRA	NEUTRA	ACIDA	NEUTRA	NEUTRA	ACIDA	ACIDA	ALCALINA	-	NEUTRA	ALCALINA	ACIDA
SE DEFORMA	HUMO NEGRO CON HOLLIN	FUNDE SIN HUMO	HUMO NEGRO CON HOLLIN	HUMO DENSO CON HOLLIN	HUMO NEGRO, CENIZA BLANCA	HUMO NEGRO CON HOLLIN	HUMOS BLANCOS	DESPENDE HUMOS GRISES, ESPUMAS	HUMO NEGRO CON HOLLIN	HUMO NEGRO CON HOLLIN	HUMO NEGRO DENSO	HUMO BLANCO, DESPRENDE HOLLIN
327	175	180	170	190	250	-	254	250	221	260	150	

8. RECICLAJE DE PLÁSTICOS

Uno de los mayores inconvenientes que plantea el uso de materiales plásticos es la disposición de éstos una vez que han sido usados; esto es, el manejo de los desechos de plásticos.

Los movimientos ecologistas de todo el mundo han denunciado constantemente el daño que ocasiona al medio ambiente la gran cantidad de residuos plásticos, la cual aumenta cada vez más, pues, si bien se están desarrollando plásticos con propiedades mejoradas para aplicaciones de larga duración en ingeniería, una porción considerable de la transformación de resinas está concentrada en productos que poseen una vida útil de media a corta duración, por lo que se usan en un lapso de tiempo que en algunos casos puede llegar a ser de solo unos segundos y se tiran a la basura inmediatamente. Esta situación se agrava si consideramos que los materiales plásticos no pueden ser metabolizados por medios biológicos, es decir, no son biodegradables.

La problemática anterior ha generado la necesidad del desarrollo de tecnologías orientadas a la recuperación del valor económico de los desechos de plásticos, mediante el reciclado de los mismos. Esta práctica es tradicional en industrias como la del vidrio y del papel en las cuales ya existe toda una estructura organizada que agrupa a negocios pequeños y grandes que se encargan de la recolección, clasificación, almacenaje, distribución y venta de los desperdicios generados por estas industrias, moviéndose al año sumas fabulosas de dinero como resultado de esta actividad. En la industria del plástico esta actividad es incipiente, pero ha ido en aumento en los últimos años, motivado por la gran demanda que ha habido de materia prima reprocesada para reducir costos de producción y mitigar el aumento en el precio de las materias primas vírgenes, derivadas en su mayoría del petróleo.

Las ventajas del reciclado de los desechos de plástico son tanto económica como ecológicamente obvias:

- ahorro en el uso de materia prima virgen, lo que contribuye con la conservación de recursos, renovables o no.
- remoción del medio ambiente de desperdicios potenciales, lo que genera empleos directos e indirectos.
- menor importación de materias primas.
- ahorro de energéticos. El reprocesado usa menos energía en comparación con la producción de materia prima o con el costo de la disposición de los desperdicios.

B.1 FUENTES DE GENERACION DE DESECHOS PLASTICOS.-

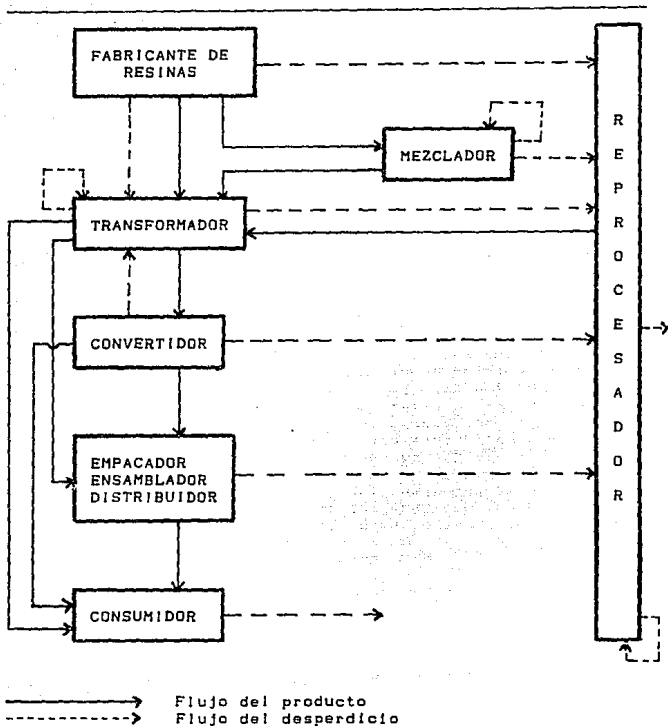


Fig. 8.1. Fuentes de generación de desechos plásticos. (Ref. 15).

Hasta mediados de los años setentas, el proceso de transformación de resinas plásticas era abierto, es decir, se obtenía la materia prima, se transformaba en producto en la línea de producción y se consumía, obteniéndose un desperdicio en cada etapa del ciclo de manufactura que iba a parar

integro a los tiraderos municipales; se le daba poca o ninguna importancia al reprocesado de los mismos. Pero, por las razones expuestas anteriormente, la tendencia hoy en día es a considerar al reprocesado de los desechos como parte integral de la cadena productiva, convirtiendo el proceso abierto en un proceso cerrado.

Ahora bien, ¿Cuáles son las etapas que integran este proceso cerrado?, ¿Dónde se genera el desperdicio y cómo se reintegra éste a dicho proceso?. La Fig. 8.1 nos muestra esquemáticamente las respuestas a estas preguntas.

El fabricante de resinas abastece al transformador y al mezclador de materia prima virgen. El desperdicio generado en este sector se debe a varios factores; problemas en el proceso de polimerización (fallas en el reactor, malas corridas de producción, etc.); extrusión (purga del extrusor, malas corridas, etc.); almacenaje y embarque. Este desperdicio es vendido al reprocesador o al transformador como resina virgen de segundo grado.

Los mezcladores son generalmente compañías pequeñas o medianas que compran resina grado general al fabricante de las mismas, la mezcla con otros componentes, tales como estabilizadores ultravioleta, agentes lubricantes, cargas, refuerzos, etc.; y la venden al transformador como un producto especializado. El desperdicio generado por este segmento puede ser reprocesado en la propia planta del mezclador o ser vendido al reprocesador; usualmente éste es poco y se debe a las purgas del equipo o a malas corridas de producción (productos fuera de especificaciones).

El transformador vende su producto al convertidor, distribuidor o directamente al consumidor. Como se indica en la figura, la materia prima utilizada por el transformador proviene de varias fuentes: del fabricante de resinas (material virgen o segundas), del mezclador (material compuesto) y del reprocesador y el convertidor (material reprocesado). El transformador generalmente reprocesa en su misma planta su desperdicio o lo vende al reprocesador. Una gran parte de estos desechos se encuentran en un estado relativamente limpio y químicamente uniforme, pudiendo ser reprocesado con facilidad.

El convertidor compra un producto semiacabado (por ejemplo, una lámina de plástico) y lo convierte en un producto acabado (lámina termoformada). El desperdicio que se genera se le vende al reprocesador o al transformador. Usualmente, dicho desperdicio es más difícil de reprocesar de una manera económica comparado con el producido por el transformador, debido a que proviene de un producto semielaborado, el cual pueda venir decorado, por lo que el reprocesado obtenido no será muy limpio, disminuyendo, por lo tanto, su precio en el mercado. Se calcula que menos del 50% de los desechos ori-

ginados por este sector es apropiado para su reprocesamiento.

Los distribuidores, empaques y ensambladores compran los productos terminados al transformador o al convertidor y los venden al consumidor. El desperdicio creado por este segmento se caracteriza por estar muy contaminado con otras sustancias no plásticas, lo que dificulta su reprocesamiento.

El reprocesador compra desperdicios de plásticos de varios sectores, los reprocesa y los vende al transformador como materia prima reprocesada. Dependiendo de la calidad del desperdicio utilizado (uniformidad, limpieza, etc.), se obtendrá un reprocesado de primera o de segunda calidad, lo que determina su precio en el mercado. Por ejemplo, el Polietileno de baja densidad producido por Petroleos Mexicano se vende a \$2800.00 pesos por kilo, su mercado principal es el de películas para empaque, fundamentalmente bolsac para mercados y tiendas de autoservicio. El reprocesado obtenido de estas películas en forma de material compactado se cotiza actualmente en el mercado, dependiendo de su calidad, entre los \$1500 y los \$2000 pesos por kilo. El desperdicio producido por el reprocesador, el cual es muy poco, se reprocesa en la misma planta.

Finalmente, el producto llega al consumidor. El consumo per capita de plásticos en México fue de 12.7 kilos por habitante en 1988, y se estima que para 1990 esta cantidad se eleva a 16 kilos por persona. Estas cifras son pequeñas si se compara con los consumos per capita de otros países, ocupando México el lugar número 30 en consumo mundial. Entre los países de mayor consumo por habitante destacan Alemania Federal (110 Kgs), Estados Unidos (66 Kgs) y Japón (69 Kgs). El consumo es muy heterogéneo, agrupándose en varios sectores de interés:

- Construcción: PVC, fenólicos, poliéster, polietilenos, estirénicos, acrílicos, ureas.
- Envase y envalaje: polietilenos, estirénicos, PVC, polipropileno.
- Transporte: PVC, polipropileno, poliuretanos, poliéster, ABS.
- Muebles: PVC, estirénicos, poliuretanos.
- Electricidad y electrónica: fenólicos, polietilenos, PVC.
- Artículos del hogar: polietilenos, estirénicos, PVC.

Los desperdicios de postconsumo son los más numerosos, ya que en su mayoría provienen de bienes de consumo no duraderos (productos desechables). Según las estadísticas de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, SEDUE, la cantidad de residuos sólidos generados diariamente sólo a nivel domiciliario en México es de 52000 toneladas; de este total, el 5.75% (3000 toneladas) corresponde a envases y envalajes de plástico. Muchos de estos residuos pueden ser incorpora-

dos nuevamente a la cadena productiva; pero el problema es que no hay control sobre los mismos, se encuentran muy dispersos, en tiraderos improvisados por los habitantes, lo que hace más costoso y difícil su recolección y disposición. Dichos tiraderos ocasionan graves problemas de contaminación, tanto directa (contaminación del aire, degradación del suelo), como indirecta (contaminación de las aguas subterráneas). Además, adicionalmente a estos problemas está el desarrollo de fauna nociva en la basura, potenciales transmisores de enfermedades.

En todas las fuentes generadoras de desperdicios que hemos estudiado, no todo se reprocesa; una parte va a parar a los tiraderos municipales. Esto obedece a razones tanto técnicas como económicas, pues en muchos casos el desperdicio está muy contaminado con otras sustancias y no se cuenta con la tecnología que lo adecue para el reciclado. En otros casos, las propiedades intrínsecas del material que constituye el desperdicio, si este es termofijo por ejemplo, dificultan o imposibilitan su reciclado de una manera económica con las condiciones tecnológicas existente.

Los tiraderos municipales constituyen una fuente potencial de materia prima para el reciclado. Las limitaciones en el aprovechamiento de éstos son, también, de tipo técnicoeconómicas, ya que, lo primero que hay que hacer es separar los diversos componentes de los residuos municipales de una manera eficaz, actividad ardua si tomamos en cuenta el gran volumen de basura que se maneja y los no muy efectivos métodos de separación disponibles. Dichos métodos de separación se basan en las diferencias de propiedades físicas de los componentes individuales de la basura, tomando en cuenta las siguientes: tamaño de partícula, densidad, características electromagnéticas y color. En muchos países se ha tratado de mitigar este problema yendo directamente a las fuentes de desperdicios; por ejemplo, se han hecho campañas de concientización exhortando a la ciudadanía a que separe sus desperdicios dentro de la casa, disponiendo los residuos orgánicos como comida y papel en un cesto diferente a los desechos plásticos o de vidrio. El logro de esto sería muy valioso para fines de reciclaje, ya que, una vez hecha la separación, el problema se limitaría sólo a la identificación de los plásticos constituyentes de los residuos, llevándose a cabo por los métodos de identificación descritos en el capítulo anterior.

8.2 TIPOS DE RECICLAJE.-

El grado de aprovechamiento de los desechos plásticos mediante el reciclaje está en función de la capacidad de retención de las propiedades con las que originalmente fueron formulados los plásticos que constituyen el desperdicio. Esta capacidad disminuye progresivamente a medida que el ma-

terial se somete a reprocesos sucesivos. Tomando en cuenta esto, el reciclaje de desechos plásticos se clasifica en primario, secundario, terciario y cuaternario.

8.2.1 RECICLAJE PRIMARIO.-

Consiste en el procesamiento de desperdicio de plástico transformándolos en un producto igual o similar al producto a partir del cual se generó éste, utilizando los métodos estándares de transformación de plásticos. Esto implica el uso de desperdicio uniforme y sin contaminar, generado en su mayoría por el sector transformador. Sólo los desechos termoplásticos pueden reprocesarse directamente. El material reprocesado puede usarse solo o, como generalmente se hace, mezclarse en distintas proporciones con material virgen.

El reciclaje primario se lleva a cabo en la propia planta del transformador o a través de reprocesadores externos. El primer caso se ilustra en la Fig. 8.2, en la cual el equipo de transformación convierte el material alimentado, compuesto de plástico virgen y plástico reciclado, en un producto. Además, se produce desperdicio, la mayoría del cual es reciclado y el resto se descarta como basura.

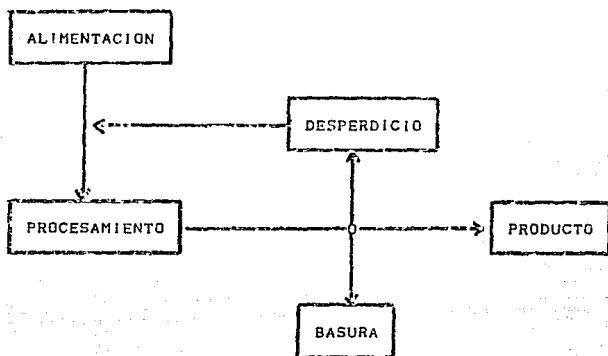


Fig. 8.2. Reciclaje primario. (Ref. 15).

Los principales problemas técnicos encontrados en el reciclado primario son:

- 1) degradación del material debido a los repetidos procesamientos.
- 2) contaminación del plástico reprocesado

La degradación de un plástico que se ha sometido a elevadas temperaturas de procesamiento se manifiesta de diferentes maneras, tales como:

- cambio en la viscosidad de la masa fundida (debido a cambios en la estructura molecular del polímero: disminución o aumento del peso molecular promedio causado por la escisión de las cadenas, en el primer caso, o por entrecruzamiento, en el segundo. Además, formación de insaturaciones o ciclización debido a reacciones laterales de cadenas).
- cambio de las propiedades físicas como resistencia, rigidez y resistencia al impacto.
- cambio de color.
- reducción de la resistencia química.

La degradación se manifiesta de manera diferente en cada plástico. El polietileno, alta y baja densidad, se oxida al degradarse, reflejándose en la reducción de su índice de flujo. El reciclado de polipropileno incrementa su índice de flujo y abate su resistencia al impacto; es sensible a la contaminación, evidente en el incremento de su fragilidad, la aparición de rayas oscuras, marcas de quemaduras y olor. El poliestireno también es sensible a la contaminación durante el reprocesamiento, causándole reducción en algunas propiedades y cambio de color.

El reciclado prolongado de PVC consume los estabilizadores, haciendo que el material se vuelva amarillento y omita colores. El reprocesado de acrílico le causa cambio de color; sin embargo, en aplicaciones no críticas puede utilizarse un 100% de material reciclado. Los nylons pueden reprocesarse con facilidad, aunque son muy sensitivos a la contaminación y tienden a tomar un tono marrón cuando se reprocesan continuamente. La degradación del ABS reprocesado se manifiesta por una disminución en sus propiedades físicas, particularmente la resistencia al impacto y oscurecimiento del material; sin embargo, si el material reprocesado está limpio, puede mezclarse en cualquier proporción con material virgen, aconsejándose que se mantenga una proporción definida en toda la corrida de producción para que no se produzcan cambios en la temperatura de fusión y en la tasa de producción. Las resinas acéticas son sensitivas a la contaminación y degradación al ser sometidas a reprocesado, siendo el homopolímero más sensible que el copolímero; por lo general, se usa hasta un 15% de material reprocesado en la mezcla con material virgen.

Para que el desperdicio pueda ser reprocesado debe de ser reducido a un tamaño de partícula cercano al del material virgen. Esto se logra en la mayoría de los casos con el uso de granuladores o molinos, los cuales varían dependiendo del

resultado requerido, del tamaño de las piezas a moler y de la forma física del desperdicio (película, tubo, lámina, mazorca, etc.). El molino consiste en una tolva, una cámara de corte (un rotor con cuchillas), malla y motor. Los desperdicios como películas, fibras o espumas se muelen y compactan en un compactador y luego se extruyen en forma de hilos para ser cortados por un peletizador. En el caso de las películas, éstas no tienen que ser necesariamente molidas o compactadas, ya que pueden ser extruidas en forma de hilos y peletizadas alimentándolas directamente al extrusor. Este peletizado puede reprocesarse en un 100%, siendo evidente una pérdida de transparencia notable de la película, por lo que se recomienda pigmentarla.

8.2.2 RECICLAJE SECUNDARIO.-

El reciclaje secundario utiliza desechos plásticos inapropiados para su reprocesado directo utilizando los equipos de transformación estándares. El desarrollo de este tipo de reciclaje ha sido lento, debido a las siguientes razones: (1) los residuos plásticos tienden a estar muy contaminados con otras sustancias no plásticas (metales, arena, etc.), lo que representa un gran peligro para el equipo de procesamiento; (2) muchos de los plásticos presentes en los residuos a reciclarse pueden ser mutuamente incompatibles, lo que se traduce en un producto de malas propiedades mecánicas; (3) por lo general, no siempre se dispone de un suministro de residuos con una composición consistente y reproducible; y (4) para que sea viable económicamente, el producto debe ser producido en masa.

Las fuentes de suministros de desechos plásticos para el reciclado secundario son:

- Desechos plásticos de postconsumo recuperado de los tiraderos municipales. Consisten en una mezcla relativamente consistente de grupos genéricos de plásticos con componentes no plásticos. Mucho de lo obtenido como producto en la Fig. 8.2 forma parte de estos desechos una vez que se han usado.
- Mezcla de residuos plásticos industriales. Se obtiene recolectando desechos plásticos de varias industrias. En la mezcla se encuentran varios tipos de plástico, y la cantidad de materiales no plásticos es pequeña. Su composición varía con el tiempo.
- Desechos plásticos industriales de un solo tipo. Por lo general están muy contaminados con otros materiales o muy degradados para ser usados en el reciclado primario; es lo que se descarta como basura en dicho reciclado (Fig. 8.2).

Debido a que los productos obtenidos mediante el reciclaje secundario están compitiendo con otros productos de bajo costo (como madera para construcción), el desarrollo de este

reciclaje ha sido prioritario en países donde dichos productos competitivos son relativamente caros. Hoy en día, Japón es probablemente el líder en tecnología para el reciclaje secundario, seguido de cerca por los países de Europa Occidental. Existen varias maneras posibles de atacar el problema técnico que representa el reciclado secundario, entre las cuales se encuentran:

1) Reprocesar utilizando equipo estándar de transformación de plástico con ligeras modificaciones. Esto tiene la ventaja de una disponibilidad rápida de equipo, pero la desventaja de problemas frecuentes de producción y productos con propiedades deficientes.

2) Reprocesar usando equipo de procesamiento especializado. Las ventajas son altas tasas de producción y productos con propiedades mecánicas satisfactorias, mientras que la desventaja más usual es el alto costo de capital. Para obtener las propiedades mecánicas adecuadas en el producto resultante, la mezcla de desechos debe ser completamente homogeneizada, es decir, debe controlarse el tamaño de partículas y la uniformidad de la dispersión en la mezcla. Tomando en cuenta esto y para que sean comercialmente rentables los equipos especializados de reciclado deben cumplir los siguientes requerimientos:

-La máquina debe ser capaz de someter a la mezcla de desechos plásticos a una velocidad de corte elevada a alta temperatura por un período de tiempo corto.

-El producto debe ser fabricado en un solo paso de producción; ya que el costo de un proceso de dos pasos (por ejemplo, homogenización y pelletizado seguido por extrusión o moldeo por inyección) es demasiado alto para hacerlo económicamente atractivo.

-El proceso debe requerir de poca energía. El proceso de reciclado debe resultar en ahorro de energía comparado con el uso de resina virgen.

-La materia prima para un producto dado debe poseer una composición regularmente constante. Así se asegura que las propiedades del producto son reproducibles.

-Altas tasas de producción para maximizar las salidas y minimizar los costos de máquina.

-Selección apropiada de los productos a fabricar. Las propiedades mecánicas de los desechos plásticos mezclados es muy baja, por lo que deben hacerse productos en los cuales las secciones gruesas sean aceptables, y no sea definitiva la apariencia.

3) Modificación química de los desechos plásticos mezclados. La ventaja es que se obtiene un producto con buenas propiedades mecánicas; la desventaja es que se incrementa el costo del material sin resolver los problemas de procesamiento. La modificación química se obtiene con el la adición de compatibilizadores y agentes de entrecruzamiento en la

mezcla. Los principales plásticos constituyentes de la basura son el PVC, el Polietileno y el Poliestireno, los tres son mutuamente incompatibles. Un compatibilizador ideal para dos cualquiera de estos plásticos sería un polímero en el cual uno de sus extremos sea compatible con una fase y el otro extremo con la otra fase. En cuanto al entrecruzamiento, se consigue utilizando peróxidos a altas temperaturas; es una manera efectiva de mejorar las propiedades mecánicas de los desechos plásticos obtenidos de los basureros. El entrecruzamiento transforma una mezcla frágil de plásticos incompatibles en un material flexible y con alta resistencia al impacto; todo esto viene determinado por la cantidad de peróxido añadido, son proporcionales.

4) Uso de residuo plástico con plástico virgen (esto es, como corazón en estructuras sandwich). Esto tiene la ventaja de que pueden fabricarse buenos productos con un costo bajo de material, y la desventaja de que solo pueden usarse ciertos tipos de residuos plásticos no contaminados. Los procesos utilizados son coinyección y coextrusión.

5) Uso de los desechos plásticos como cargas en otros materiales, plásticos o no. Tiene la ventaja de que el desperdicio plástico serviría para abaratar otro material más costoso y la desventaja de que las aplicaciones y productos potenciales son limitadas. Actualmente sólo se utilizan termofijos como cargas en otros termofijos.

6) Uso del desecho plástico como matriz en combinación con cargas de bajo costo. La ventaja es que el desperdicio plástico actúa solo como aglutinante, la contribución a las propiedades mecánicas es principalmente por las cargas. Aquí también, la desventaja es que los tipos de productos potenciales son limitados.

De las seis formas de utilizar los residuos plásticos enumeradas anteriormente, sólo la número 2, reprocesar usando equipo especializado, la 4, uso de desechos plásticos como núcleo en estructuras tipo sandwich, y la 5, uso de desechos como cargas en plásticos, han sido comercializados.

Los productos más comunes obtenidos mediante reciclaje secundario son:

- poste verticales
- barandales
- estacas para agricultura
- canales de drenaje
- tarimas ("pallets")
- carretes para cables
- muebles (banquetas)
- juguetes
- suelas de zapato
- pedales de bicicletas

8.2.3 RECICLAJE TERCIARIO.-

El reciclaje terciario consiste en la recuperación de sustancias químicas a partir de los desechos plásticos. El método más importante y el más utilizado es mediante la Pirólisis.

La pirólisis es una descomposición fisicoquímica de un material orgánico causado por el calentamiento del mismo en una atmósfera deficiente de oxígeno. No es un proceso nuevo, se ha utilizado por muchos años en la obtención de derivados de la madera, tales como, metanol, ácido acético y turpentina. Mediante este proceso es posible producir compuestos químicos simples a partir de una mezcla de desechos que de otra manera tendrían que ser incinerados o dispuestos en forma de relleno. Los productos de la pirólisis pueden ser empleados como sustancias químicas comercialmente útiles o como combustible.

Las ventajas de la pirólisis son:

- 1) La mayoría de los residuos sólidos pueden convertirse a una forma económicamente viable.
- 2) El volumen de basura puede reducirse en un 90% o más.
- 3) El proceso de pirólisis es endotérmico y no causa contaminación en el aire.
- 4) Como el proceso es no contaminante y requiere de poco espacio, las plantas para pirólisis pueden localizarse en las ciudades, lo que resulta en un bajo costo de transporte.
- 5) El proceso es un productor de energía neta.
- 6) La energía se produce de una forma conveniente, es decir, como gas, aceite y carbón.
- 7) El proceso puede controlarse para obtener alguna sustancia química de valor.
- 8) Como se produce poca oxidación durante el proceso, los componentes metálicos pueden ser recuperados una vez que la basura ha sido pirolizada.

8.2.4 RECICLAJE CUATERNARIO.-

El reciclaje cuaternario consiste en la obtención de energía a partir de los residuos plásticos. Se realiza por incineración.

La incineración de un residuo puede definirse como un proceso de combustión controlada que reduce la basura combustible a basura inerte. La razón principal para realizar la incineración es la reducción del volumen de basura; este procedimiento es capaz de reducir el peso del residuo en un 80% y su volumen, por encima de un 90%. El resultado es un residuo inerte que puede utilizarse como relleno.

Con el aumento en el costo de la energía se ha puesto especial interés en la posibilidad de utilizar energía a partir de la combustión de los desechos sólidos. Esto puede obtenerse de las siguientes maneras:

- Combustión de residuos en incineradores generadores de vapor. El calor generado durante la incineración produce calor que puede utilizarse en los sistemas de calefacción y aire acondicionado de edificios, en procesos industriales o en la producción de electricidad.

- Combustión de residuos en intercambiadores de calor existentes. El residuo puede utilizarse como combustible suplementario en calentadores existentes.

- Pirólisis. Como se explicó anteriormente, pirolizando los residuos puede producirse un combustible transportable.

- Hidrogenación. El desecho puede convertirse en un aceite pesado mediante el calentamiento bajo presión en la presencia de monóxido de carbono y vapor.

- Digestión anaeróbica. En este proceso, la parte orgánica del desecho es descompuesta en ausencia de oxígeno. El metano producido puede utilizarse potencialmente como sustituto del gas natural.

Hoy en día, la combustión del residuo en incineradores generadores de vapor y su uso como suplemento de combustible es la más avanzada tecnología en la utilización de energía a partir de desechos. Sus ventajas son:

- 1) Se recupera el máximo calor de los desechos.
- 2) Las emisiones de aire contaminado son menores que en la mayoría de los otros procesos de incineración.
- 3) Se conservan recursos no renovables.
- 4) Se reduce el costo de producción de potencia.
- 5) El proceso es ecológicamente aceptable para la disposición de los residuos sólidos.

Las desventajas de los incineradores son:

- 1) Se requiere de una gran inversión de capital.
- 2) El costo de operación es relativamente alto.
- 3) Hay dificultades para la conseguir localizaciones de plantas incineradoras, especialmente en la proximidad de áreas residenciales; y
- 4) Las emisiones de aire deben ser controladas.

8.3 DISPOSICIÓN DE LOS DESECHOS PLÁSTICOS SIN LA RECUPERACIÓN DE VALOR ECONÓMICO.-

Lo que generalmente se hace para el manejo de los residuos municipales es la disposición directa de los mismos sin la

recuperación de valor. Los métodos utilizados son la incineración sin la recuperación de energía y el relleno.

8.3.1 INCINERACION SIN LA RECUPERACION DE ENERGIA.-

La incineración de los residuos sólidos municipales puede realizarse en un incinerador o por combustión abierta. La combustión abierta es uno de los métodos más antiguos de disposición de la basura, pero actualmente ha caído en desuso por los severos problemas de contaminación del aire que representa. La combustión de los residuos en incineradores se discutió anteriormente (Ver reciclaje cuaternario).

8.3.2 RELLENO.-

El relleno o terraplen es el método más común de disposición de los residuos sólidos municipales, es la disposición final de los mismos. Con este método se pierden numerosos componentes potencialmente valiosos. Las dos técnicas principales de relleno son:
-vaciado a cielo abierto, y
-relleno sanitario.

El vaciado a cielo abierto fue el método original de disposición de la basura. Consiste en depositar los residuos en un área abierta y dejar que se descomponga. La única ventaja de este método es su bajo costo, pero las desventajas son mayores: emisión de malos olores, dispersión por el viento de basura liviana, y el desarrollo de fauna nociva como las ratas. La práctica del vaciado a cielo abierto continúa en vigencia hoy en día; pero en de suma importancia que se vaya disminuyendo.

El relleno sanitario es un método moderno. De acuerdo a la norma técnica NTR5-1-TERMINOLOGIA de la Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, perteneciente a la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, el relleno sanitario se define como un "método de ingeniería para la disposición final de los residuos sólidos municipales, los cuales se depositan, se esparcen, compactan al menor volumen práctico posible y se cubren con una capa de tierra, al término de las operaciones del día". El grado de compactación depende del tipo de residuo sólido y del equipo compactador utilizado (peso, pasos de compactación).

El relleno sanitario es un método de disposición de bajo costo, pero bajo ciertas condiciones el entierro de residuos sólidos representa un peligro potencial de contaminación química y bacteriológica del suelo y las aguas subterráneas. Esto puede prevenirse considerando las siguientes medidas:

- (1) localizar las áreas de disposición lejos de las fuentes de agua, tales como, lagos, pozos y arroyos.
- (2) evitar rellenar encima de subsuelos que podrían permitir la transferencia de lixiviado desde el relleno a las

fuentes de agua. (Según la norma técnica citada anteriormente, el lixiviado es un "líquido contaminante que resulta del paso de agua a través de un estrato de residuos sólidos").

(3) usar capas de tierra que sean relativamente impermeables al agua.

(4) proveer al relleno de un buen drenaje superficial.

El relleno sanitario produce metano y otros gases, y deben ser diseñados de tal forma que permitan el escape de dichos gases a la atmósfera, para evitar el riesgo de incendios.

El uso de residuos plásticos en el relleno es motivo de controversias en la actualidad. Hay dos posiciones al respecto. Una establece que los residuos plásticos reducen la efectividad del proceso de disposición; ya que son más voluminosos que otros materiales, y basándose en igualdad de peso, los plásticos requieren de más espacio de disposición. Además, no son biodegradables, se descomponen muy lentamente, lo que incrementa el tiempo necesario para la reutilización del lugar de relleno.

La otra postura es que los plásticos no reducen la efectividad del proceso de disposición. El problema del volumen se resuelve con el equipo de compactación apropiado, el cual puede compactarlos hasta las densidades de otros materiales. Los plásticos no son solubles en agua y se descomponen lentamente; pero los productos de esta descomposición son generalmente inertes y no producen polución de los recursos acuáticos.

Desafortunadamente, se dispone de pocos datos sobre el comportamiento de los plásticos en los rellenos, por lo que es difícil confirmar o refutar cualquiera de estas dos posturas.

8.4 PLÁSTICOS BIODEGRADABLES.-

El problema fundamental en el manejo de los desechos plásticos es su no biodegradabilidad. Ya se mencionó anteriormente, la descomposición de los plásticos es muy lenta. Dicha descomposición debe a la acción combinada de mecanismos de oxidación, hidrólisis, ataque de microorganismos, insectos y esfuerzos medioambientales.

La oxidación es más común en los polietilenos. La velocidad de la oxidación se incrementa al elevarse la temperatura, debido a la fermentación de los residuos. La hidrólisis afecta a plásticos como los poliuretanos, poliésteres y derivados de la celulosa; al igual que con la oxidación, al elevar la temperatura se incrementa la velocidad de la reacción de hidrólisis.

Pero, el reto en el desarrollo de plásticos es obtener materiales biodegradables, que puedan ser atacados y asimilados por microorganismos como los hongos y bacterias. En este sentido, se han hecho ensayos para determinar la susceptibilidad de varios polímeros a la biodegradación. Se ha encontrado que los microorganismos atacan fundamentalmente a los aditivos más que al polímero mismo, como es el caso de algunos plastificantes para PVC. Además, se han realizado estudios con hidrocarburos de cadenas rectas con diferentes pesos moleculares, demostrándose que para que éstos sean atacados por microorganismos el peso molecular debe ser por debajo de 500.

No obstante, en los últimos años se han logrado avances significativos en el desarrollo de plásticos biodegradables. Por ejemplo, ya se está comercializando una resina para hacer películas para empaque biodegradable polimerizada a partir de almidones. Además, considerando que la industria del plástico mueve anualmente miles de millones de dólares, ha surgido un interés creciente en empresas dedicadas a la biotecnología para la obtención de las sustancias químicas básicas para polimerizar las resinas. La biotecnología es una ciencia aplicada relacionada con la utilización de las células vegetales y animales en la elaboración de materias útiles para el hombre. En este sentido, uno de los proyectos ambiciosos y más prometedores de estas empresas lo constituye la síntesis de los compuestos denominados óxidos de alqueno, ampliamente utilizados en la fabricación de plásticos y espumas de poliuretano. Como vimos en el Cap. 1, los alquenos son hidrocarburos de los cuales se obtiene el polietileno y polipropileno. Antes que los alquenos se puedan polimerizar para fabricar plásticos, se tienen que convertir en óxidos de alqueno mediante la adición de oxígeno a sus moléculas. Esto se consigue en la actualidad por métodos puramente químicos, pero se vislumbran en el horizonte dos procedimientos biotecnológicos. En el primero, proyectado por la firma californiana Cetus, se utilizan tres enzimas, dos de ellos procedentes de hongos y el tercero bacteriano, para obtener óxido de alqueno. El otro método, es el procedimiento patentado por científicos de la Universidad de Warwick (Inglaterra), quienes descubrieron un microbio capaz de añadir oxígeno a los alquenos, la bacteria *Methylococcus capsulatus*.

Tanto los sistemas enzimático como el bacteriológico presentan ventajas respecto al procedimiento tradicional. Los métodos químicos actuales requieren la utilización de cloro gaseoso, que resulta caro, mientras que la técnica enzimática utiliza la barata sal común, y la bacteriológica, ni eso. Ambos procedimientos trabajan a temperaturas bajas, con lo que se ahorran gastos de energía, y tienen la gran capacidad de adaptación de poder producir diversos tipos de óxido de

alqueno con las mismas instalaciones fundamentales. Por último, la contaminación producida por los tratamientos químicos puede evitarse con el empleo de enzimas o bacterias.

El inconveniente es que la fuente de alquenos continua siendo el petróleo; pero, mirando al futuro, quizá sea posible vislumbrar una fuente biotecnológica de alquenos. No se conocen, de momento, microorganismos que produzcan cantidades importantes de alquenos, pero como en otras investigaciones biotecnológicas exitosas, la búsqueda paciente de los organismos que contengan las sustancias deseadas puede resultar positiva. Si la búsqueda fracasara, el problema podría traspasarse a los especialistas en ingeniería genética, para quienes sería un reto proyectar un microorganismo que produzca alquenos.

Un procedimiento biotecnológico más inmediato para la industria de los plásticos se relaciona con un compuesto denominado polihidroxiбутирато (PHB). Este material, parecido a los poliésteres sintéticos utilizados en la industria textil, se encuentra en muchos tipos de bacterias. El PHB bacteriano, aunque más frágil, es biodegradable, lo cual ha estimulado su uso en suturas quirúrgicas, ya que los hilos de esta sustancia utilizados durante una operación podrían disolverse posteriormente una vez cumplida su función. Actualmente, el PHB se fabrica a toneladas y pronto será un producto comercializado en gran escala que competirá con los plásticos basados en el petróleo.

9. CONCLUSION

Los objetos de plástico son cada vez más cotidianos en nuestra vida. El contacto con este material sintético es cada vez más "natural", prueba de ello es la expresión "edad de los plásticos", alusiva al momento histórico en que vivimos.

Hay muchas razones que pueden explicar tan sorprendente desarrollo. Una de las más evidentes es la versatilidad de este material. Versatilidad que se da como resultado de la conjunción entre las características intrínsecas de los plásticos y los procesos de transformación que posibilitan su adecuación para una determinada aplicación. Otra explicación más contundente viene dada por el grado de manipulación a nivel molecular a que puede ser sometido este material, en cuanto a que son en su mayoría de origen sintético; de hecho, son los primeros materiales contruidos totalmente por el hombre y que no se hallan en la naturaleza. Esta característica posibilitará que muy pronto los plásticos puedan ser hechos a la medida de los requerimientos de las aplicaciones potenciales, algo nunca visto en el devenir histórico del hombre.

Si bien algunas de las primeras resinas sintéticas fueron descubiertas accidentalmente, el advenimiento de los plásticos como materiales preponderantes no ha sido fortuito, sino que está ligado a condiciones concretas de la evolución de la técnica o del complejo tecnológico, en el sentido en que lo describe Lewis Mumford en su ya clásico libro *Técnica y Civilización*, publicado por primera vez en el año 1934.

En el libro citado, el autor analiza los últimos mil años de la evolución de la técnica y lo divide en "...tres fases sucesivas pero que se superponen y se interpenetran: eotécnica, paleotécnica y neotécnica". Cada una de estas fases representa un período de la historia humana y forman cada cual lo que Mumford denominó un "complejo tecnológico", con lo que quiso decir que "...cada fase tiene su origen en ciertas regiones determinadas y tiende a emplear ciertos recursos y materias primas especiales. Cada fase tiene sus medios de utilización y generación de energía, y sus formas especiales de producción. Finalmente, cada fase pone en existencia unos tipos particulares de trabajadores, los adiestra en forma particular, desarrolla ciertas aptitudes y se opone a otras, recurre a ciertos aspectos de la herencia social y los desarrolla aún". En este sentido, considerando cada fase en término de la energía y los materiales característicos, "la fase eotécnica es un complejo de agua y madera, la fase paleotécnica es un complejo carbón y hierro, y la neotécnica es un complejo electricidad y aleación". Cada una de estas fases tiene, como diría Marx, su propia misión histórica.

Nuestro objeto de estudio, los materiales plásticos, irrumpen en la última fase, la neotécnica, como lo señala Mumford "...lo mismo que uno asocia el viento y el agua de la economía eotécnica con el uso del vidrio y la madera, y el carbón del período paleotécnico con el hierro, la electricidad aporta al amplio uso industrial sus propios materiales específicos: en particular, las nuevas aleaciones, las materias térreas raras y los metales más ligeros. Al mismo tiempo, crea una nueva serie de compuestos sintéticos que sustituyen al papel, al vidrio y a la madera: el celuloide, la vulcanita, la bakelita y las resinas sintéticas, con propiedades especiales de irrompibilidad, resistencia eléctrica, impermeabilidad a los ácidos o elasticidad".

Cada una de estas fases ha planteado retos de diseño para la conformación del entorno. La transformación de un complejo en otro generalmente se da por analogía con la fase anterior, es decir, por ejemplo, el surgimiento del hierro como material universal en la economía paleotécnica provocó que toda la técnica de la madera había de ser perfeccionada en este material más difícil y refractario. Pero no siempre la transformación se traduce en perfeccionamiento, pues en muchas ocasiones las analogías son hechas inadecuadamente, ya sea por desconocimiento de las características de los nuevos materiales, ocasionando esto malos diseños, sin bases analíticas; o por irresponsabilidad en el uso de dichos materiales, para satisfacer intereses económicos. Mumford evidencia esta situación cuando dice, a propósito de la fase paleotécnica. "...Desgraciadamente lo común y lo barato del hierro, unido al hecho que se utilizó según reglas empíricas mucho antes de que sus propiedades fueran científicamente conocidas, fomentaron una cierta imperfección en su empleo: dada su ignorancia, para prevenir errores que repercutieran negativamente en la seguridad, los proyectistas utilizaron elementos de tamaño exagerado en sus estructuras de hierro que no tuvieron suficientemente en cuenta las ventajas estéticas -por no decir nada del provecho económico- posibles mediante la ligereza y la adaptación más estrecha a la función. Si el hierro era barato y si la energía era abundante, ¿Por qué iba el ingeniero a desperdiciar su talento tratando de emplear menos de uno y otra? Según las normas paleotécnicas, no existía respuesta a tal pregunta. Gran parte del hierro de que presumió el período era peso muerto."

Con la fase neotécnica la tendencia es contraria a la fase anterior, pues las cualidades emergentes de esta fase en cuanto a diseño se refiere son la ligereza y la solidez, proporcionada por su complejo tecnológico. No obstante, seguimos cometiendo los mismos errores en las analogías, por las mismas razones expuestas anteriormente, a saber, ignorancia e irresponsabilidad social. El ejemplo más patético

lo tenemos precisamente con los materiales plásticos, imitadores por excelencia de cualquier otro material. Incluso dentro de los mismos plásticos es muy común encontrar malos diseños resultado de imitaciones que van en detrimento de la calidad y confiabilidad de los productos. Por citar un ejemplo, las caravelas de los automóviles se diseñan originalmente en Policarbonato, un termoplástico de elevada resistencia mecánica, muy resistente a los golpes y de excelentes cualidades ópticas; pues, la misma caravela se consigue en el mercado hecha con Acrílico, otro termoplástico que si bien tiene muy buenas propiedades ópticas, su resistencia mecánica no lo hace apropiado para este tipo de aplicación, donde se requiere de capacidad para absorber golpes, resultando una caravela poco duradera y de mala calidad; eso sí, son mucho más baratas que las de Policarbonato, de ahí su atractivo para fabricarlas en acrílico. Y como este, hay muchos ejemplos de utilización inadecuada de los plásticos en imitaciones baratas.

Pero, reiteramos, el problema no son los materiales plásticos en sí, sino el mal uso que se hace de ellos, por las razones que sean. Hemos asumido que una de las razones principales es el desconocimiento de este material, por su relativa juventud y su complejo lenguaje; además de que no poseemos una memoria cultural que, como con los otros materiales, nos posibilite evaluar las soluciones presentes a la luz de soluciones pasadas exitosas.

Por lo tanto, el presente proyecto de investigación pretende ser un aporte para mitigar este problema, poniendo a la disposición de los diseñadores los elementos que consideramos son básicos para el diseño de productos con materiales plásticos.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

- 1- Alfrey, Turner; Gurnee, Edward F. "Organic Polimers". New Jersey, Prentice-Hall Inc., 1967.
- 2- Beck, Ronald D. "Plastics Product Design". New York, Van Nostrand Reinhold, 1962.
- 3- Benjamin, B. S. "Structural Design with Plastics". New York, Van Nostrand Reinhold, 1982.
- 4- Bost, Jean. "Matières Plastiques II: technologie-plasturgie". Paris, Technique et Documentation, 1982.
- 5- Brown, R.J.E. "Design and Manufacture of Plastic Parts". New York, J. Wiley & Sons, 1980.
- 6- Dietz, Albert G.H. "Plásticos para Arquitectos y Constructores". Barcelona, Editorial Reverté S.A., 1973.
- 7- DuBois, J. Harry; Levy, Sidney. "Plastics Product Design Engineering Handbook". New York, Chapman and Hall, 1984.
- 8- Dym, Joseph B. "Product Design with Plastics, a practical manual". New York, Industrial Press Inc., 1983.
- 9- Ehrenstein, G.W.; Erhard, G. "Designing with Plastics: a report on the state of the art". Munich, Hanser Publishers, 1984.
- 10- Gleck, Kurt. "Manual de Fórmulas Técnicas". México, Representaciones y Servicios de Ingeniería, 1961.
- 11- Instituto Mexicano del Plástico Industrial. "El Mundo de los Plásticos". México, 1984.
- 12- John, V.B. "Introduction to Engineering Materials". New York, Macmillan Publishing Company, 1983.
- 13- Krause-Lange. "Introducción al Análisis Químico de Plásticos". Barcelona, Editorial Blume, 1978.
- 14- Kökne, G. "Envases y Embalajes de Plástico". Barcelona, Gustavo Gili, 1976.
- 15- Leidner, Jacob. "Plastics Waste: Recovery of economic value". New York, Marcel Dekker Inc., 1981.
- 16- Maldonado, Tomas. "El diseño Industrial Reconsiderado". Barcelona, Gustavo Gili, 1977.

- 17- Mark, Herman F. "Moléculas Gigantes". Colección Científica de Time-Life, México, Lito Offset Latina S.A, 1974.
- 18- Menges G., Mohren G. "Moldes para Inyección de Plásticos". México, Gustavo Gilli, 1983.
- 19- Mink, W. "Inyección de Plásticos". México, Gustavo Gilli, 1981.
- 20- "Modern Plastic Encyclopedia". McGraw-Hill, New York, 1983-1984.
- 21- Mumford, Lewis. "Técnica y Civilización". Madrid, Alianza Universidad, 1967.
- 22- "Nuevo Diccionario de los Materiales Plásticos". Milano, Metalmeccanica Plast, 1979.
- 23- Oberg, E.; Jones, F.D.; Horton, H.L. "Manual Universal de la Técnica Mecánica". Barcelona, Editorial Labor, 1984.
- 24- Parrilla, F. "Resinas Poliéster, Plásticos Reforzados". México, La Ilustración, 1983.
- 25- Prentis, Steve. "Biotecnología". Barcelona, Salvat Editores, 1987.
- 26- Richardson, Terry. "Industrial Plastics: theory and application". Cincinnati, South-Western Publishing Co., 1983.
- 27- Saechtling, H. "International Plastics Handbook". Munich, Hanser Publishers, 1983.
- 28- Saechtling, H. "Los Plásticos en la Construcción". Barcelona, Gustavo Gilli, 1978.
- 29- Saunders, K.J. "The Identification of Plastic and Rubber". Science Paperbacks, USA, 1980.
- 30- Savgorodny, V.K. "Transformación de Plásticos". Barcelona, Gustavo Gilli, 1978.
- 31- Stoeckhart, K. "Tratamiento de las Superficies de Plástico". Barcelona, Gustavo Gilli, 1977.
- 32- Williams, Christopher. "Los Orígenes de la Forma". Barcelona, Gustavo Gilli, 1984.

11. APENDICE

I. RELACION DE MARCAS COMERCIALES DE PLASTICOS

POLIMERO	NOMBRE COMERCIAL	FABRICANTE
Polietileno	PX, PADMEX Escorene Alathon Hostalen Baylon	PEMEX, MEX Exxon, EU DuPont, EU Hoechst AG, RFA Bayer AG, RFA
Polipropileno	Procel Novolen Hostalen PP	Celanese, MEX BASF, RFA Hoechst AG, RFA
Poliestireno	Resirene Estarien Polidex Polistyrol Styropor	Resistol, MEX Prodesa, MEX Polidesa, MEX BASF, RFA BASF, RFA
Estireno-Acrilnitrilo (SAN)	Epolan SAN Luran Lustran	Resistol, MEX BASF, RFA Monsanto Co., EU
Estireno-Butadieno (SB)	Resina K Stirolux Superflex	Phillips Petroleum Co., EU BASF, RFA Gordon Chemical Co., EU
Acrlionitrilo-Butadieno-Estireno (ABS)	Epolan-ABS Cycolac Terluran Novodur	Resistol, MEX Borg-Warner Chemicals, EU BASF, RFA Bayer AG, RFA
Policloruro de Vinilo (PVC)	Resivin VINDEX-B Iztavil Iztablend Vinoflex Hostalit Geon	Resistol, MEX Grupo Primex, MEX Polimoros de Mexico SA CV, MEX BASF, RFA Hoechst AG, RFA B.F. Goodrich, EU

POLIMERO	NOMBRE COMERCIAL	FABRICANTE
Polimetil Meta- cristalato	Acrilico Plas- tiglas Lucite Plexiglas	Plastiglas de Mé- xico, MEX DuPont, EU Rohm & Haas Co., RFA
Poliamida	Nylon Zytel Ultramid Durethan Nylamid	Celanese, MEX DuPont, EU BASF, RFA Bayer AG, RFA Plastiglas de Me- xico, MEX
Politetrafluor- etileno	Teflon Hostafion	DuPont, EU Hoechst AG, RFA
Polioximetileno (Acetal)	Celcon Delrin Hostaform Ultraform	Celanese, EU DuPont, EU Hoechst AG, RFA BASF, RFA
Acetato de Ce- lulosa	Cristacel Cellidor Tenite	Celanese, MEX Bayer AG, RFA Eastman Chemical Products, EU
Policarbonato	Makrolon Lexan	Bayer AG, RFA General Electric Co, EU. (Ultra- pol, MEX).
Polietilen Te- reftalato (PET)	Tercel Kimpet	Celanese, MEX Kinex SA, MEX
Polibutilen Te- reftalato (PBT)	Celanex Rynite Ultradur Valox	Celanese, MEX DuPont, EU BASF, RFA General Electric Co, EU. (Ultra- pol, MEX)
Polioxido de Fe- nileno Modificado	Noryl	General Electric Co, EU. (Ultra- pol, MEX)
Polisulfona	Ultrason S Thermalux	BASF, RFA Westlake Plastics Co, EU

POLIMERO	NOMBRE COMERCIAL	FABRICANTE
Poliuretano termoplástico	Elastollan	BASF, RFA
Resina epóxica	Araldit	Amercoat Mexicana SA, MEX Poli-Resinas SA, MEX Pioneer SA, MEX Gemisa SA CV, MEX Ciba-Geigy AG, RFA
Resina Poliester	Alpolit Palatal Cyglass	Canamex SA, MEX Polifos SA, MEX Poliplas SA, MEX ICI de México SA, MEX Hoechst AG, RFA BASF, RFA American Cyanamid Co, EU
Resina Fenólica	Bakelite	Polifos SA, MEX Pioneer SA, MEX Cyanamid de México SA, MEX Fenoresinas SA, MEX. Adhesivos SA, MEX Resistol SA, MEX Union Carbide Co, EU
Resina Melaminica	Basotect Formica	Resistol SA, MEX Pioneer SA, MEX BASF, RFA American Cyanamid Co, EU

POLIMERO	NOMBRE COMERCIAL	FABRICANTE
Resina Ureica	Basopor	Resistol SA, MEX Cyanamid de México SA, MEX Industrias Químicas Synres SA, MEX Poli-resinas SA, MEX BASF, RFA
Poliuretano termofijo	Elastofoam, Elastoflex, Elastopán, Elastopor Isonate Desmodur Multrathane	BASF, RFA Upjohn Co, EU Bayer AG, RFA Mobay Chemical Co, EU
Silicon	Silopren Wacker Silicons Silastic	Bayer AG, RFA Wacker-Chemie GmbH, RFA Dow Corning Corp. EU

II. GLOSARIO DE TERMINOS.

ACELERADOR: Sustancia utilizada para acelerar una reacción. También se conocen como Promotores.

ACETAL: Material termoplástico de estructura cristalina hecho a partir del formaldehído; consiste en cadenas no ramificadas de Polioximetileno.

ACIDO: Cualquier cuerpo compuesto que contiene hidrógeno que, al ser sustituido por radicales o un metal, forma sales. Donador de protones.

ACRILICO: Material termoplástico de estructura molecular amorfa producido por la polimerización del ácido acrílico o sus derivados, como el metil metacrilato.

ACRILONITRILÓ-BUTADIENO-ESTIRENO: ABS, material termoplástico que resulta de la polimerización en conjunto de Acrilonitrilo y Estireno líquidos en presencia de Butadieno gaseoso.

ADHESIVO: Sustancia capaz de unir dos superficies formando una película entre ellas.

ADIABATICO: Condición de proceso en la cual no hay ganancia ni pérdida de calor del medio ambiente.

ALCALI: Sustancia que contiene el radical negativo OH, conocido como Hidróxido. También se les conoce como Bases. Los Alkalís fuertes se les denomina cáusticos.

ALDEHIDO: Sustancias caracterizadas por la presencia del radical CHO. El aldehído más simple es el Formaldehído, HCHO.

ALEACION: Material compuesto hecho a base de la unión de polímeros o copolímeros con otros polímeros o elastómeros bajo condiciones controladas.

ALIFATICO: Compuesto orgánico cuyos átomos de carbono están arreglados en forma recta. Se dividen en tres grupos: (1) Alcanos o parafinas, los cuales están saturados y no son reactivos; (2) Alquenos u olefinas, insaturados y bastantes reactivos; y (3) Alquinos o acetilenos, poseen un enlace triple entre dos átomos de carbono, son altamente reactivos.

AMIDAS: Compuestos orgánicos que contienen el grupo $-CONH_2$, derivados de ácidos orgánicos.

AMINAS: Derivados orgánicos del amoniaco, NH_3 , obtenidos por la sustitución de uno o varios átomos de hidrógeno por grupos orgánicos.

AMORFO: Material plástico que carece de un orden definido de cristalinidad.

ANTIOXIDANTE: Sustancia que previene o retarda la descomposición por oxidación de un material plástico expuesto al aire.

AROMATICO: Hidrocarbónos caracterizados por poseer los átomos de carbono en una estructura de anillo cerrado, como el Benceno.

ATOMO: La partícula más pequeña de un elemento que puede combinarse con partículas de otros elementos para producir las moléculas de un compuesto.

BANBURY: Máquina para mezclar materiales. Contiene un par de rotores que giran en direcciones contrarias para masticar y unir homogéneamente los materiales.

BENCENO: C_6H_6 , líquido claro e inflamable. Es el hidrocarburo aromático más importante.

CALANDREADO: Preparación de planchas o películas de plástico por la presión ejercida por rodillos que giran en sentido contrario.

CAPROLACTAMA: Compuesto del tipo amida cíclico que contiene seis átomos de carbono. Cuando se rompe el anillo, la caprolactama se polimeriza produciendo un tipo de nylon conocido como Nylon 6 o Policaprolactama.

CARGA: Sustancia inerte que se le agrega a un plástico para hacerlo menos costoso. Las cargas pueden, además, mejorar las propiedades físicas, particularmente la dureza, rigidez y resistencia al impacto. El porcentaje de carga usada por lo general es pequeño en contraste con los refuerzos.

CATALIZADOR: Sustancia que agregada en pequeñas cantidades (comparada con la cantidad de los reactantes primarios) eleva marcadamente la velocidad de curado o polimerización de un compuesto.

CAVIDAD: Depresión en un molde hecha mediante maquinado, vaciado, o la combinación de ambos; dependiendo del número de tales depresiones, los moldes se designan como de cavidad simple o de multicavidades.

CELULOIDE: Material termoplástico elástico y fuerte hecho a base de nitrato de celulosa, alcanfor y alcohol.

CELULOSA: Carbohidrato macromolecular que se encuentra en la mayoría de las plantas. Es el constituyente principal de las maderas secas, jute, lino, cáñamo, etc. El algodón es casi celulosa pura.

CENTIPOISE: Una centésima de Poise, unidad de medida de la viscosidad, definido convencionalmente como la viscosidad del agua a temperatura ambiente.

COEFICIENTE DE EXPANSION TERMICA: Incremento en longitud o volumen de un plástico por unidad de aumento en la temperatura.

COLORANTE: Tintas o pigmentos que imparten color a los plásticos.

COMPRESION: Proceso de transformación que consiste en comprimir un material plástico en polvo o en pasta dentro de un molde por la acción de calor y presión, provocando una reacción irreversible de las resinas, obteniéndose un producto acabado indeformable.

COMPUESTO: Sustancia que contiene dos o más elementos químicamente unidos en proporciones definidas.

CONDENSACION: Reacción química en la cual dos o más moléculas se combinan, con la separación de agua u otra sustancia simple. Si se forma un polímero, el proceso se denomina policondesación.

CONDUCTIVIDAD TERMICA: Habilidad que tiene un material para transmitir calor.

CONTRAPRESION: En moldeo, es la resistencia del material al flujo cuando el molde está cerrado. En extrusión, es la resistencia del material plástico al flujo hacia adelante.

COPOLIMERO: Polímero en el cual sus moléculas están constituidas por más de un tipo de monómero.

CRIOGENICO: Estudio del comportamiento de la materia a temperaturas por debajo de los -200°C . Uso de gases licuados.

CRISTALINIDAD: Estudio de la estructura molecular de algunos plásticos que denota uniformidad y compacticidad de las cadenas moleculares que forman el polímero. Por lo general, esto se atribuye a la formación de cristales sólidos que poseen una configuración geométrica definida.

CURAR: Cambiar las propiedades físicas de un material mediante una reacción química, la cual puede ser condensación, polimerización o vulcanización; usualmente se realiza por la acción del calor y catalizadores, con o sin presión.

DEFORMACION PLASTICA: Deformación permanente de un material producida por esfuerzos superiores a su límite elástico. En caso contrario, se denomina deformación elástica.

DENSIDAD: Masa por unidad de volumen de una sustancia, expresada en gramos por centímetros cúbicos, libras por pies cúbicos, etc.

DESCARGA CORONA: Método de oxidación de una película de plástico de modo que pueda ser impresa. Esto se logra haciendo pasar la película entre dos electrodos con una descarga de alto voltaje.

DIELECTRICO: Material aislante.

DISOLVENTE: Cualquier sustancia, generalmente líquida, que disuelve otras sustancias.

DISPERSION: Partículas de un material divididas finamente suspendidas en otra sustancia.

DUCTILIDAD: Extensión a la cual un material sólido puede estirarse en una sección transversal más delgada.

ELASTOMERO: Material tipo hule que puede ser estirado a temperatura ambiente hasta varias veces su longitud, y recuperar rápidamente su longitud original una vez cesado el esfuerzo.

ENLACE COVALENTE: Enlace atómico en el cual se comparten electrones.

ENTRECRAZAMIENTO: Formación de enlaces químicos fuertes entre las cadenas moleculares. De este modo se forman los termofijos.

ENVEJECIMIENTO: Cambios físicos y/o químicos que ocurren en un material después de exponerse al medio ambiente por un periodo de tiempo.

ESCURRIMIENTO: Deformación permanente de un material debido a la aplicación prolongada de un esfuerzo dentro de su límite elástico. El escurrimiento a temperatura ambiente se denomina Flujo frío.

ESFUERZO: Fuerza que produce, o tiende a producir, deformación en una sustancia. Se expresa mediante la relación entre la carga aplicada y el Área original de la sección transversal.

ESPUMA ESTRUCTURAL: Plásticos espumados con piel integral.
ESPUMA SINACTICA: Plásticos espumados que contienen cargas de baja densidad.

ESTABILIZADOR: Ingrediente usado en la formulación de algunos plásticos para ayudar a mantener las propiedades físicas y químicas iniciales del mismo durante el procesamiento o su vida útil.

ESTABILIDAD DIMENSIONAL: Capacidad que tiene un producto plástico para conservar la forma y dimensiones precisas en que fue originalmente moldeado.

ESTER: El producto de la reacción entre un ácido y un alcohol.

ESTEREOISOMERISMO: Se refiere al arreglo de las cadenas moleculares dentro de un polímero, puede ser atáctico, isotáctico o sindiotáctico. Es atáctico cuando el arreglo es aleatorio; isotáctico, cuando contiene una secuencia de átomos espaciados regularmente en la cadena; y sindiotáctico, cuando contiene grupos de átomos alternando regularmente en ambos lados de la cadena.

ESTERIFICACION: El proceso de producir un éster mediante la reacción de un alcohol con un ácido y la eliminación de agua.

ETER: Óxido de etilo, líquido muy volátil e inflamable, de olor muy fuerte, que se emplea como anestésico.

EXTRUSION: Proceso de transformación que consiste en apisonar y forzar un material plástico derretido a través de un orificio de una manera más o menos continua.

FENOL: Compuesto orgánico aromático que tiene un grupo hidroxil unido a un anillo de benceno; también se le denomina monohidroxibenceno (C_6H_5OH). Este compuesto juega un papel importante en la producción de plásticos; se utiliza para producir resinas fenólicas, poliamidas, epóxicas, polióxido de fenileno y policarbonato.

FIBRA: Por lo general, este término se refiere a tramos cortos de varios materiales con una sección transversal muy pequeña.

FILAMENTO: Fibra caracteriza por su longitud extrema, con poca o ninguna torsión.

FLUIDO NEWTONIANO: Fluido en cual la velocidad del flujo es directamente proporcional a la fuerza aplicada. La viscosidad representa la constante de proporcionalidad. En caso contrario el fluido es no newtoniano.

FLUOROCARBONO: Materiales termoplásticos que contienen fluor y carbono. También se les llama fluoroplástico.

FORMALDEHIDO: Formol, $HCHO$. Gas incoloro (utilizado generalmente disuelto en agua) que posee un olor irritante y sofocante. Se obtiene de la oxidación del metanol o de gases del petróleo de bajo punto de ebullición tales como el metano, etano, propano, butano. Es muy usado en la producción

de las resinas Fenol Formaldehído (fenólica), Urea Formaldehído (urea) y Melamina Formaldehído (melamina).

FUERZAS DE VAN DER WAALS: Débil atracción interatómica secundaria que surge por los efectos de dipolo interno.

GRADO DE POLIMERIZACION: Número promedio de unidades estructurales o meros en una molécula del polímero. En la mayoría de los polímeros el grado de polimerización debe ser de varios miles para que éste pueda alcanzar el valor de sus propiedades físicas.

HIDROCARBONO: Compuestos a base de hidrógeno y carbono.

HIGROSCOPICO: Que tiende a absorber o retener la humedad.

HOMOPOLIMERO: Polímero formado de monómeros iguales.

INDICE DE FLUJO: Cantidad, en gramos, de un material termoplástico que puede pasar a través de un orificio de 2.1 mm cuando se le somete a una fuerza de 2160 gramos durante 10 minutos a 190 °C.

INDICE DE REFRACCION: Relación entre la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de la misma a través de una muestra de un plástico transparente.

INHIBIDOR: Sustancia que retarda una reacción química.

INYECCION: Proceso de moldeo en cual un plástico derretido por calor en el interior de un cilindro o cañon se introduce a presión en un molde relativamente frío, el cual le da la forma deseada al producto.

ION: Atomo o grupo de átomos con una carga positiva o negativa.

LAMINADO: Dos o más capas de material unidas entre sí.

LINEAS DE FLUJO: Líneas visibles en una pieza moldeada hecha por el encuentro frontal de dos flujos durante el moldeo.

MACROMOLECULA: Moléculas gigantes que constituyen un polímero.

MERO: La unidad más pequeña que se repite en un polímero.

MIGRACION: Movimiento indeseable de ciertos materiales dentro de un plástico.

MODULO DE ELASTICIDAD: Medida de la relación entre el esfuerzo y la deformación de un material dentro de su límite elástico. Nos da una medida de la rigidez del material.

MOLECULA: La parte más pequeña de una sustancia que puede existir independientemente reteniendo su identidad química.

MOLECULA LINEAL: Molécula larga y recta en contraste con las que poseen ramificaciones.

MONOMERO. Molécula con un solo mero.

NEGRO DE HUMU: Pigmento negro producido por la combustión incompleta de gas natural o aceite. Se usa ampliamente como aditivo, particularmente en la industria hülera. Posee propiedades de barrera contra los rayos ultravioletas.

NYLON: Nombre genérico de las poliamidas, termoplásticos de estructura cristalina.

ORGANICO: Compuesto que contiene carbono.

ORGANOSOL: Dispersión, por lo general de vinilos o poliamidas, en una fase líquida que contiene uno o más disolventes orgánicos.

ORIENTACION: Alineamiento de la estructura cristalina en los materiales poliméricos para producir una estructura uniforme. Proceso de estiramiento de un producto plástico caliente para realinear la configuración molecular.

PARISON: Tubo hueco de plástico a partir del cual se produce un producto por soplado.

PESO MOLECULAR: Suma del peso atómico de todos los átomos en una molécula. En los polímeros, el peso molecular de las moléculas individuales es muy variable, por lo que debe expresarse como un promedio.

pH: Expresa el grado de acidez o alcalinidad de una sustancia. Una solución es neutra cuando su pH es 7, ácida para valores menores de 7, y alcalina para valores mayores de 7.

PIROLISIS: Descomposición química de una sustancia mediante calor y presión. Se utiliza para la recuperación de desechos plásticos.

PIROMETRO: Dispositivo usado para medir la radiación térmica.

PLASTICO: Sustancia orgánica, sintética o semisintética, que puede ser transformada en diferentes formas mediante la aplicación de calor y presión, y retener estas formas al cesar dicha aplicación. En su estado final es un sólido rígido o flexible (pero no elástico) que contiene un polímero de alto peso molecular. No incluye los hules o elastómeros.

PLASTICO ESPUMADO: Que tiene forma de esponja o espuma. La espuma puede ser rígida o flexible, y sus celdas pueden ser cerradas o interconectadas. También se les denomina plásticos celulares o expandidos.

PLASTIFICANTE: Agente químico que se agrega a un plástico para hacerlo más flexible y blando.

PLASTISOLE: Mezcla de resinas y plastificantes que pueden ser moldeadas, vaciadas o transformadas en películas continuas por la aplicación de calor.

POLICARBONATO: Polímeros derivados de la reacción directa entre compuestos alifáticos y aromáticos dihidricos con fosgeno.

POLIETILENO: Material termoplástico compuesto de monómeros de etileno. Pertenecer a la familia de la poliolefinas.

POLIESTIRENO: Material termoplástico producido por la polimerización del estireno, también conocido como vinil benceno.

POLIMERO: Compuesto de alto peso molecular, natural o sintético, cuya estructura puede representarse por pequeñas unidades (meros) que se repiten.

POLIMERIZACION: Proceso de crecimiento de moléculas pequeñas hasta convertirse en moléculas gigantes con alto peso molecular. Puede ser por adición o por condensación.

POLIOLEFINAS: Término usado para indicar una familia de polímeros producidos a partir de hidrocarburos con enlaces dobles de carbono. Incluye los polietilenos y el polipropileno.

POLIPROPILENO: Material termoplástico producido por la polimerización del gas propileno puro en presencia de catalizadores organometálicos, a baja presión y temperatura.

POLISULFONA: Material termoplástico que consiste en anillos de benceno conectados por un grupo sulfona (SO_2), un grupo isopropilidénico ($\text{CH}_2\text{CH}_2\text{C}$), y un enlace de éter (O).

POLIURETANO: Familia de resinas producidas por la reacción de grupos poliisocianatos ($-\text{NCO}-$) y polihidroxiolos ($-\text{OH}-$).

POLYESTER: Resina formada por la reacción entre un ácido dibásico y un alcohol dihidrico, ambos inorgánicos.

PRECALENTAMIENTO: Calentamiento de un compuesto previo al moldeado para facilitar dicha operación o reducir el ciclo de moldeado.

RADICAL: Grupo de átomos de diferentes elementos que se comportan como un átomo sencillo en reacciones químicas.

RAMIFICACION: Cadenas laterales unidas a la cadena principal de un polímero; pueden ser largas o cortas.

REBADA: Plástico residual que queda pegado a la pieza moldeada a lo largo de la línea de partición.

REFUERZO: Material inerte fuerte que se introduce en un plástico para mejorar su resistencia mecánica, rigidez y resistencia al impacto. Por lo general, son fibras largas de vidrio, sisal, algodón, etc., tejidas o sin tejer.

REOLOGIA: Ciencia que estudia el flujo y la deformación de los materiales.

RESILIENCIA: Habilidad de un material para recobrar rápidamente su forma original después de haber sido deformado o distorsionado.

RESINA EPOXICA: Material termofijo hecho a partir del óxido de etileno o sus derivados.

RESINA FENOLICA: Material termofijo producido por la reacción entre el fenol y un aldehído. Se conoce comúnmente como Bakelita.

RESISTIVIDAD: Capacidad de un material para resistir el paso de la corriente eléctrica, ya sea a través de su masa o sobre su superficie. La unidad de la resistividad volumétrica es el ohm-cm; y de la resistividad de superficie, el ohm.

SILICON: Material termofijo cuya cadena principal está formada por átomos de silicio y oxígeno. En la actualidad estos compuestos se derivan de la sílice (arena) y del cloruro de metilo.

SOPLADO: Proceso de transformación en el cual una preforma o parison toma la forma de la cavidad del molde al aplicarse una presión de aire interna.

SUSPENSION: Mezcla de partículas finas de cualquier sólido con un gas o líquido. Las partículas se denominan la fase dispersa, y el medio de suspensión se llama la fase continua.

TENACIDAD: Representa la energía necesaria para romper un material; es igual al área bajo la curva esfuerzo-deformación.

TEREFTALATO: Compuesto que combinado con glicoles se utiliza en la producción de resinas poliésteres lineales cristalinas (PET, PBT), fibras y películas.

TERMOFIJO: Material que ha sufrido una reacción química por la acción del calor, llegando a un estado relativamente infundible.

TERMOFORMADO: Proceso de transformación de termoplásticos que consiste en calentar una plancha y hacerla que tome la forma de un molde, macho o hembra, mediante vacío.

TERMOPLASTICO: Material que puede ablandarse o endurecerse varias veces al aplicársele calor o frío, respectivamente.

TERPOLIMERO: Polímero formado por tres monómeros diferentes.

TIXOTROPIA: Licuación por ligera agitación de ciertos geles muy viscosos, que vuelven al estado viscoso al ser dejados en reposo.

TRANSICION VITREA: Cambio en un polímero amorfo o en la región amorfa de un polímero parcialmente cristalino desde un estado viscoso a un estado sólido y relativamente frágil (o viceversa). Por lo general, esta transición ocurre en un margen estrecho de temperatura. La temperatura a la cual ocurre esta transición se llama Temperatura de Transición Vitrea (T_v , o T_g en inglés).

TRANSFERENCIA: Proceso de transformación en el cual se ablanda el material mediante calor y presión dentro de una cámara de transferencia para luego introducirlo a presión a través de un bebedero al interior de un molde cerrado donde se cura finalmente el producto.

ULTRASONIDO: Técnica para unir plásticos mediante vibraciones mecánicas de frecuencias ultrasónicas que producen un calor de fricción entre las superficies a unir.

ULTRAVIOLETA: Radiaciones invisibles del espectro de luz situados más allá del color violeta. Debido a que las longitudes de onda ultravioletas son más cortas que las visibles, sus fotones poseen más energía, la suficiente para iniciar algunas reacciones químicas y degradar a la mayoría de los plásticos.

VACIADO: Proceso de transformación de plásticos que consiste en verter el material en estado fluido en moldes huecos donde al solidificarse toma la forma de la matriz. El material pasa del estado líquido al sólido a través de tratamientos especiales que varían según el caso: aplicación de calor o a temperatura ambiente, o por medio de agentes de curado o de catalizadores.

VINILOS: Familia de plásticos derivados del grupo vinilo ($\text{CH}_2=\text{H}-$). El más conocido es el Policloruro de Vinilo, PVC.

VISCOELASTICIDAD: Características de los materiales poliméricos que al ser sometidos a un esfuerzo se comportan, en principio, como un sólido elástico, y luego, con el paso del tiempo, fluyen como un líquido viscoso, produciéndose una deformación permanente en el mismo al cesar el esfuerzo.

VISCOSIDAD: Fricción interna o resistencia al flujo de un fluido.

VULCANIZACIÓN: Operación de añadir azufre al caucho para darle mayor elasticidad, impermeabilidad y duración.

III. FACTORES DE CONVERSION DE UNIDADES.

PARA CONVERTIR DE		A	MULTIPLICAR POR
LONGITUD	Pulgadas	Milímetros	25.4
	Milímetros	Pulgadas	0.04
	Pulgadas	Metros	0.0254
	Metros	Pulgadas	39.37
	Pies	Centímetros	30.5
AREA	Centímetros	Pies	4.8
	Pulgadas ²	Centímetros ²	6.45
	Centímetros ²	Pulgadas ²	0.16
	Pies ²	Metros ²	0.093
	Metros ²	Pies ²	10.76
VOLUMEN	Galones	Litros	3.8
	Litros	Galones	0.26
	Centímetros ³	Pulgadas ³	0.061
	Pulgadas ³	Centímetros ³	16.39
PESO	Onzas	Gramos	28.4
	Gramos	Onzas	0.035
	Libras	Kilogramos	0.45
	Kilogramos	Libras	2.2
TRABAJO	Libra-pie	Newton-metro (J)	1.356
	Newton-metro	Libra-pie	0.737
	Libra-pie	Kilogramo-metro	0.1383
	Kilogramo-metro	Libra-pie	7.233
	Newton-metro	Kilocaloría	239 x 10 ⁻⁴
	Kilocaloría	Newton-metro	4187
	Btu	Kilocaloría	0.252
	Kilocaloría	Btu	3.968
PRESION	Libra/pul ² (PSI)	Kilopascal (kPa)	6.895
	Kilopascal	Libra/pul ²	0.145
	Libra/pul ²	Kilogramo/cm ²	0.0703
	Kilogramo/cm ²	Libra/pul ²	14.22
	Bar	Kilogramo/cm ²	1.02
	Kilogramo/cm ²	Bar	0.981
	Bar	Libra/pul ²	14.5
	Libras/pul ²	Bar	0.06897
POTENCIA	Kilogramo/cm ²	Newton/m ² (Pa)	98100
	Newton/m ²	Kilogramo/cm ²	1.02x10 ⁻⁵
	HP	Watts (W)	745.7
	Watts	HP	1.34x10 ⁻³
	Kcal/s	Watts	4187
	Watts	Kcal/s	239x10 ⁻⁴
TEMPERATURA	Kcal/c	Btu/s	3.968
	Btu/s	Kcal/s	0.252
	Fahrenheit	Celsius	5/9(°F - 32)
	Celsius	Fahrenheit	9/5(°C + 32)