

35

28



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN



# FALLA DE ORIGEN

“ ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE SUSTITUCION DE  
PIEZAS METALICAS POR PIEZAS DE PLASTICO ”

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**  
P R E S E N T A

**JOSE ESTEBAN NAJERA BARRERA**

ASESOR: ING. FELIPE DIAZ DEL CASTILLO RODRIGUEZ



## **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.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVANZADA DE  
MEXICO

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

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JAIME KELLER TORRES  
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN  
P R E S E N T E .

AT'N: Ing. Rafael Rodríguez Ceballos  
Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la F.E.S. - C.

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

"Estudio de factibilidad de sustitución de piezas metálicas por piezas de plástico".

que presenta el pasante: José Esteban Nájera Barrera  
con número de cuenta: 8627171 - 4 para obtener el TITULO de:  
Ingeniero Mecánico Electricista

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 29 de junio de 1995

|                  |   |  |
|------------------|---|--|
| PRESIDENTE       | Ing. Marco Antonio Alarcón Ramírez      |  |
| VOCAL            | Ing. Noe García Lira                    |  |
| SECRETARIO       | Ing. Felipe Díaz del Castillo Rodríguez |  |
| PRIMER SUPLENTE  | Ing. Daniel Bonilla Sapien              |  |
| SEGUNDO SUPLENTE | Ing. Enrique Cortés González            |  |

A MIS PADRES:

EDILBERTO NAJERA Y

JUANA BARRERA.

Como un tributo por la fe  
que depositaron en mí.

A MIS HERMANOS:

OLGA, MIGUEL Y GABI.

Por su ayuda y cariño brindados  
en todos los momentos difíciles.

A MI NOVIA:

BEATRIZ G.

Por su ayuda, cariño y estímulo  
brindado en todo momento.

A todas aquellas personas que de alguna  
forma u otra ayudaron a la conclusión de  
la presente; y a quienes por no nombrar  
no dejan de ser importantes en mi vida.

A todos muchas gracias.

## I N D I C E.

|  |     |
|--|-----|
| I. Introducción.   |     |
| 1.1. Antecedentes  | 1   |
| 1.2. Satisfacción de una necesidad   | 2   |
| II. Niveles de desarrollo para los materiales.                                     |     |
| 2.1. Plásticos de ingeniería   | 5   |
| 2.2. Nuevo orden en plásticos.   | 7   |
| 2.3. Tendencias.   | 12  |
| III. Plásticos.  |     |
| 3.1. Definición.   | 18  |
| 3.2. Estructura.   |     |
| 3.2.a. Representación de la estructura de los plásticos.                           | 18  |
| 3.2.b. La conformación fundamental, monómeros y meros.                             | 20  |
| 3.2.c. Resistencia de enlace, funcionalidad y grado de polimerización.             | 27  |
| 3.2.d. Mecanismos de polimerización.   | 30  |
| 3.2.e. Cristalinidad.  | 36  |
| 3.3. Clasificación.  | 38  |
| 3.4. Propiedades.  | 39  |
| 3.5. Procesamiento.  | 44  |
| 3.6. Aplicaciones.   | 62  |
| IV. Identificación de oportunidad de sustitución de piezas metálicas por plástico. | 73  |
| V. Ejemplo.  | 105 |
| VI. Reciclado.   |     |
| 6.1. Degradabilidad.   | 116 |

|  |     |
|--|-----|
| 6.2. Reciclado.                                      | 119 |
| 6.3. Sistemas de codificación para envases plásticos | 122 |
| 6.4. Tecnologías para el reciclado.                  | 125 |
| Conclusiones.  | 138 |
| Apéndice A.  | 139 |
| Apéndice B.  | 141 |
| Bibliografía.  | 143 |

## I. INTRODUCCION.

### 1.1 ANTECEDENTES.

El descubrimiento, la invención y el uso de los diferentes materiales en los artículos que el hombre ha fabricado para modificar y adaptar su entorno ha variado notablemente. Los materiales utilizados han dado origen a las diferentes eras de la humanidad. Así tenemos la Era de piedra y la Era de los metales. Hoy en día es posible afirmar que el siglo XX representa otra Era, durante el presente siglo se ha vivido en la Era del plástico. Quizá sea el siglo XXI el que pase a la historia como el de la Era del Silicio.

Los polímeros han venido a revolucionar nuestra existencia. Desde su aparición comercial hacia finales del siglo pasado, el reemplazo y el desarrollo de nuevas aplicaciones ha sido formidable. La búsqueda de usos y oportunidades para estos materiales ha sido interminable, obteniendo cada vez una mayor productividad y eficiencia en los procesos de manufactura, haciendo nuestra existencia cada día más cómoda y placentera.

Recordemos algunos de los productos o materiales poliméricos que han venido a revolucionar la existencia de la humanidad en los últimos tiempos, por ejemplo, la aparición del neumático, la bakelita, la melámina, la celulosa, las fibras sintéticas como el poliéster, el acrilán, el orión, el policarbonato, etc, etc.

Actualmente no transcurre un sólo día en que la innovación tecnológica no se manifieste, ya sea con un nuevo producto o con una nueva aplicación, quizá reemplazando a materiales tan tradicionales como la madera y el vidrio, a otros plásticos y por supuesto a los metales.

Con el transcurso de los años los plásticos han ido ocupando un lugar preponderante para el desarrollo de artículos, no solo sustituyendo aplicaciones de metales, sino que actualmente, para el desarrollo de un nuevo producto, digamos un enser electrodoméstico, un teléfono, un automóvil, ya ni

siquiera se piensa en algunos metales como una alternativa viable.

Por sus propiedades físicas, mecánicas, eléctricas, etc. Los plásticos se han constituido en una verdadera opción para la fabricación de diversos artículos, con propiedades similares o aún superiores a las ofrecidas por los metales.

#### 1.2 SATISFACCION DE UNA NECESIDAD.

Sin duda alguna, el principal motor para la generación de un nuevo producto es la de satisfacer o crear en su caso una necesidad específica de mercado. Para ser exitoso, todo producto requiere de la conjunción de elementos como precio, calidad, oportunidad, novedad, servicio y sobre todo el uso y la aplicación. Si el producto no satisface una necesidad real, estará irremediabilmente condenado a desaparecer.

Los plásticos se acercan a este concepto y los plásticos de ingeniería no son la excepción. Hoy en día el motor del desarrollo de productos continúa siendo la satisfacción de una necesidad y aunque quizá las causas que originen la necesidad de hoy sean diferentes a las de hace cuarenta ó cien años, los conceptos siguen siendo vigentes.

Los plásticos de ingeniería siguen siendo diseñados tomando como base la gran habilidad que los materiales poliméricos tienen para reemplazar exitosamente a otros productos, tales como la cerámica, el vidrio, la madera, el papel y los metales.

En la actualidad, tras cuarenta años de investigación, desarrollo y comprobado éxito en el mercado, hemos visto que hoy los plásticos de ingeniería están reemplazando también a otros polímeros, tanto termofijos como termoplásticos.

Una de las características que quizá distingue al mercado de los plásticos de ingeniería del resto, es el hecho cada vez más frecuente del

desarrollo y generación de polímeros y materiales hechos a la medida de la necesidad o dicho de otra forma, el motor del desarrollo de los productos hoy en día es la de satisfacer requerimientos específicos del cliente.

Es muy común que para el caso de mezclas, aleaciones y materiales reforzados o modificados la solicitud expresa del cliente o el requerimiento a cumplir sea en función de reducir el peso específico de la resina, buscando reducir el peso de la pieza producida. Este aligeramiento en los materiales se traduce en un mayor número de piezas por kilogramo, una mayor eficiencia que aunados al menor peso de la pieza los hacen atractivos para las industrias tan importantes como la automotriz y la aeronáutica.

La necesidad de aplicaciones de alto rendimiento utilizando los requerimientos de las propiedades mecánicas de los RTPs (productos técnicos termoplásticos reforzados) y los productos compuestos, han llevado a desarrollos en los mercados aeroespaciales y de construcción de naves, mercado de construcción, consumo eléctrico, de transporte terrestre y marítimo.

El reemplazo de estos componentes tradicionalmente hechos de metal con otros de materiales compuestos ha causado un importante impacto en la estructura y en los acabados interiores de aeronaves tanto comerciales como militares. La continua investigación y desarrollo de esta industria promete un mayor uso de estos materiales en el futuro.

Esta estrategia que han seguido las grandes empresas fabricantes de resinas, equipos de procesos y los fabricantes de moldes en todo el mundo, no solo pretende cubrir satisfactoriamente con las grandes expectativas de calidad y comportamiento planteadas para cierta aplicación, sino que al ser desarrolladas en forma conjunta y exclusiva, constituyen una formidable barrera competitiva.

Así pues, los materiales se han ido desarrollando alrededor de las aplicaciones buscando una mayor competitividad. Esta competitividad se puede dar de muchas formas, no exclusivamente en cuanto a precio, sino también es necesario considerar aspectos como el uso, la disponibilidad, la productividad y

procesabilidad, y a últimas fechas un factor clave a considerar ha sido la reciclabilidad o recuperabilidad de los materiales.

## II. NIVELES DE DESARROLLO PARA LOS MATERIALES.

### 2.1. PLÁSTICOS DE INGENIERIA.

Desde el surgimiento del primer plástico de ingeniería que se conoce como tal, realizado a principios de la década de los años cincuenta, la inversión en las áreas de investigación y desarrollo que las grandes empresas productoras, transformadoras y usuarias de polímeros y resinas han efectuado en forma continua, ha fructificado en grandes y notables avances tecnológicos, con productos que ofrecen características y propiedades sobresalientes al ser comparados con otros polímeros de uso común u otros materiales, constituyendo a la vez, una magnífica fuente de utilidades para las empresas que conforman la cadena de manufactura de artículos fabricados con plásticos de ingeniería.

Los plásticos de ingeniería se han convertido en sinónimo de desarrollo de aplicaciones, ya que por sus propiedades y características son los más viables para desarrollar o sustituir aquellas aplicaciones en donde se utilizan materiales tradicionales como la cerámica, el vidrio, la madera y los metales.

Para poder comprender en forma cabal las tendencias que a nivel técnico y comercial se están presentando en estos materiales, considero necesario el establecer un marco de referencia para interpretar adecuadamente el término plástico de ingeniería.

Existen varias formas de plantear una definición que incluya a los más de cien tipos diferentes de plásticos que existen, ninguna de ellas es perfecta, ya que todo es relativo al marco de referencia que se utilice.

Las maneras tradicionales de clasificarlos y compararlos unos con otros van desde considerar los atributos físicos, químicos o comerciales de cada producto, tales como el precio de la resina en el mercado, la morfología y la composición química del polímero, el método de obtención o polimerización, la fracción o familia de productos, caracterizada por las propiedades inherentes

propiedades inherentes y atributos específicos de cada resina.

Sin embargo, en términos generales, es posible definir, no sin el temor de olvidar algunos materiales, como un plástico de ingeniería a todo aquel material que sea capaz de mantener en un elevado porcentaje las propiedades que lo caracterizan, en un rango de temperaturas de servicio por encima de los cien grados centígrados y por abajo de los cero grados centígrados.

Utilizando esta definición, por ejemplo, algunos tipos de PVC, polipropileno y ABS pudieran ser considerados como auténticos plásticos de ingeniería, aún cuando la generalidad de estas familias de productos no cumplan con la regla de definición establecida en el párrafo anterior.

La intención de esta presentación es el ayudar a identificar aquellas oportunidades en donde es posible sustituir alguna pieza metálica por un plástico, quizá de ingeniería, que ofrezca no sólo el mismo comportamiento de la pieza metálica, sino que quizá lo supere en funcionalidad y resulte económicamente más atractivo.

Dentro de las principales propiedades que se buscan dentro de los plásticos de ingeniería podemos mencionar:

- \* Propiedades de barrera.
- \* Resistencia mecánica.
- \* Resistencia al impacto.
- \* Resistencia a la compresión.
- \* Resistencia y módulo de flexión.
- \* Resistencia a la temperatura.
- \* Alta temperatura de servicio continuo.
- \* Bajo peso específico.
- \* Resistencia a la propagación de la flama, con aprobaciones U.L.
- \* Resistencia ante agentes químicos.
- \* Estabilidad dimensional.

- \* Apariencia superficial.
- \* Autolubricidad.
- \* Resistencia al impacto a bajas temperaturas.
- \* Coloreabilidad y pintabilidad.
- \* Resistencia a luz ultravioleta, al ozono y en general a la intemperie.
- \* Aprobaciones médicas y en general con contactos de alimentos.

Estas propiedades son requeridas en cada vez un mayor número de aplicaciones, y en virtud de que son varias las familias de productos que ofrecen buenas combinaciones de propiedades, la competencia por obtener las aplicaciones es muy grande.

## 2.2. NUEVO ORDEN EN PLÁSTICOS.

Es necesario destacar que el mercado de los plásticos ha venido evolucionando de una manera sorprendente. Es posible hablar de cambios tecnológicos en materiales, en moldes, en maquinaria y equipo, así como cambios en el tipo de capacitación que es necesario brindar al personal que los maneja.

Estos cambios han influido definitivamente en los patrones de consumo y demanda de materiales. En cuanto a materias primas se refiere, hasta hace un par de años era posible aún hablar de aplicaciones o sustituciones típicas para cada una de las resinas, incluyendo las tradicionales para los plásticos de ingeniería.

A medida que se han perfeccionado los equipos de transformación de materiales poliméricos y a que los moldes son diseñados a través de programas de computadora, en la actualidad es posible, lograr aplicaciones " típicas " para una resina con otra, de mayor o menor precio según se requiera.

Así, en los últimos años hemos visto como las poliolefinas han ido reemplazando a los materiales estirénicos en la fabricación de artículos desechables y las poliolefinas modificadas han entrado a mercados muy específicos como el de refrigeración y muebles quizá por representar una opción más competitiva en precio. Por otra parte, también se ha observado que los materiales estirénicos y las especialidades del polipropileno han ido abordando nichos de mercado que anteriormente estaban destinados al ABS, como es el caso de la industria de enseres electrodomésticos. Los fabricantes de ABS por su parte han ido desarrollando nuevos materiales, con propiedades mejoradas y diseñados específicamente para desplazar mercados de policarbonato y algunos otros plásticos de ingeniería.

Es posible afirmar hoy en día, que la competencia generada por la globalización de las aplicaciones y de los mercados está marcando un nuevo orden para las resinas termoplásticas. Este nuevo orden está constituido por un desplazamiento generalizado en diferentes direcciones para el binomio tradicional material/aplicación.

Esta tendencia es clara en aquellos casos en que por años se utilizaron resinas que estaban sobre especificadas en propiedades para una cierta aplicación y se utilizaban quizá por factores de procesabilidad o disponibilidad en el mercado. Al ser reemplazadas por otra resina, que ofrece a un mejor precio las propiedades justas para la aplicación y buena procesabilidad, los productores de la resina desplazada han acelerado el desarrollo de nuevos materiales a fin de recuperar las ventas y el mercado perdido.

Con el desarrollo de materiales con propiedades cada vez más específicas es posible afirmar que son las aplicaciones y no las resinas las que son de ingeniería.

En la actualidad, el desarrollo tecnológico se ha orientado hacia diversas áreas, en general hacia la búsqueda de nuevos materiales que brinden las propiedades específicas necesarias para una cierta aplicación.

Por la naturaleza del tipo de desarrollo tecnológico que hoy en día se efectúa, es posible identificar tres áreas o niveles de investigación y de-

desarrollo de productos.

La investigación pura:

Realizada por las empresas líderes en el mercado mundial de los plásticos, su propósito principal, continúa siendo el mismo que la originara: La búsqueda de nuevos procesos, equipos y materiales. Este tipo de investigación está limitada exclusivamente por la creatividad de los investigadores en virtud de que las corporaciones continúan destinando un porcentaje importante de sus ventas a este rubro, por suponer que el futuro de la empresa depende fundamentalmente de los productos que sean desarrollados el día de hoy y puedan comercializarse el día de mañana.

Gracias a la investigación en el campo de los plásticos de ingeniería, hoy en día el mundo dispone de productos como las poliamidas, el policarbonato, el homopolímero y copolímero de acetal, las polisulfonas, el óxido de polifenileno, la polifenileno sulfona, el polietilén y el polibutilén tereftalato, los poliésteres éter cetona, las poliuretanos, etc, etc, en fin, una larga lista de materiales, cada uno presentando diversas propiedades y características que los hacen adecuados para las aplicaciones.

Entre los materiales de más reciente creación destacan los polímeros de cristal líquido, cuya resistencia a altas temperaturas los hace importantes para empresas en áreas de electrónica y aeronáutica y excelentes candidatos para reemplazar piezas metálicas.

La investigación en los plásticos de especificación:

El desarrollo de los materiales en este nivel de investigación está fundamentalmente enfocado a satisfacer necesidades específicas del mercado, sean éstas en cuanto a las propiedades de los polímeros, sus condiciones de procesamiento y/o su procesabilidad hacia un producto final.

Destacan en esta área los productos desarrollados a partir de mezclas y aleaciones de polímeros, que buscando en todos los casos obtener propiedades

mejoradas a un mejor costo, se traducen en un mayor beneficio no sólo para las empresas productoras de plásticos, sino en general para la cadena de manufactura del artículo terminado en que el material vaya a ser utilizado, pudiendo en algunos casos beneficiar al consumidor final.

Este concepto se ha utilizado para desarrollar propiedades integrales en los materiales y como casos importantes podemos destacar las aleaciones desarrolladas a partir de ABS con policarbonato, con nylon, polisulfona, así como las aleaciones de policarbonato con polibutilén tereftalato, polieterimida con policarbonato y desde luego las aleaciones desarrolladas a partir de elastómeros termofijos y materiales plásticos, originando lo que hoy conocemos como los elastómeros termoplásticos.

Es posible incluir en este rubro a los materiales que han sido desarrollados como combinaciones con materiales de naturaleza inorgánica y ofrecen propiedades únicas y sobresalientes. Nos referimos desde luego a los productos conocidos como " composites ", que han tenido éxito en campo como la aeronautica, industria militar, automotriz, seguridad, etc..

También es posible incluir en este nivel de investigación a los materiales que han sido desarrollados utilizando agentes de reforzamiento o cargas, con agentes de acoplamiento, buscando el mejoramiento de las propiedades, la adecuación del material al uso o simplemente un mejor precio para ser competitivos.

Hoy en día se hace necesario el considerar un tercer nivel de investigación de desarrollo de productos, ya que día tras día cobra una mayor importancia. Se trata de los materiales que son generados a partir del reciclado de plásticos.

Es importante destacar que nos referimos a un reciclado técnico o regeneración de los plásticos, intentan restituir mediante la adición de algunos materiales y aditivos sus propiedades y características originales. Esto hace posible que los productos sean comercializados en base a una especificación y pueda ser factible el hacer un reciclado continuo de los materiales.

El reciclado de los plásticos se ha constituido en una verdadera necesidad para nuestra sociedad. Existen algunos plásticos de ingeniería que por su uso han generado problemas de manejo de desechos. Entre ellos es posible destacar el caso del polietileno tereftalato, PET, que por ser utilizado en la industria del envase ha generado problemas en su manejo, debido a que no tiene un uso duradero y en un principio no era regenerado.

Afortunadamente, los plásticos de ingeniería se utilizan en mayor medida en aplicaciones cuyo uso es más duradero que el envase de PET, al cual ya se le ha dado salida utilizando envases de naturaleza retornable y una aprobación de la F.D.A. en el uso del PET regenerado a partir de la depolimerización en la producción de nuevas botellas.

Normalmente los ciclos de vida de los artículos elaborados con plásticos de ingeniería desde componentes de aparatos electrodomésticos hasta su uso en la aeronáutica, oscila entre los cinco y los veinte años. Por lo tanto, no es muy frecuente, por ejemplo, observar en los basureros carcasas o teclados de computadora, así como partes de automóviles o enseres electrodomésticos.

En realidad, para resolver el problema actual de reciclado de plásticos debería tomarse un enfoque más general que incluya a los materiales de mayor consumo, polietileno, el PVC, el polipropileno, etc. y diseñar una estrategia a fin de recuperarlos. Los plásticos de ingeniería podrían ser incorporados en una segunda etapa para su adecuada recuperación y regeneración.

Por ello, la Sociedad de plásticos de ingeniería (S.P.E.) apoya decididamente el empleo del código internacional de identificación de la familia de termoplástico con la que cualquier artículo de plástico esté elaborado, ya sea un envase, un plato, una botella o el tablero de un automóvil, facilitando las labores de selección de materiales una vez recolectados.

Hoy en día algunas empresas productoras de resinas están manejando acertadamente el concepto de desarrollo de producto en forma integral. Desde el momento mismo en que se conceptualiza la parte, se le asigna un destino final.

No se trata entonces de diseñar, por ejemplo, el material que cumpla satisfactoriamente con alguna especificación y pueda ser utilizado en la manufactura del cajón legumbrero de un refrigerador o la tolva protectora del ventilador del radiador de un automóvil, sino que ha de considerarse también, que al concluir el ciclo de vida útil del producto final, se tenga diseñado y preestablecido un destino a las piezas que conforma el artículo, en otras palabras, hay que asegurar el reciclado del plástico, proporcionando los elementos de apoyo necesarios para que esto se logre.

Es importante también hacer la diferencia entre un reciclado técnico de los plásticos, mediante el cual se pretende restituirle al material sus propiedades originales y el psedoreciclado, que puede ser granulado y/o pelletizado de productos recuperados.

El reciclado técnico conlleva el uso de aditivos y otros materiales y lleva de por medio una especificación que el material debe cumplir al ser reincorporado en la fabricación de otro artículo, mientras que la otra forma de recuperación se destina a artículos que no requieren especificación y no llevan ningún control.

Es necesario en mi opinión que a los materiales reciclados o recuperados buscarles un entierro digno, es decir, identificar aquellas oportunidades en donde los materiales puedan tener una vida útil mayor a la del artículo para el cual fueron conceptualizados originalmente. Las aplicaciones en el mercado de la construcción pudieran ser las más acertadas, como la producción de cercas, postes, bancas, durmientes, etc.

### 2.3. TENDENCIAS.

Por tendencias en los precios de mercado, es posible distinguir claramente dos tipos principales de plásticos de ingeniería:

Los materiales tradicionalmente considerados como plásticos de ingeniería, como el acetal, el policarbonato, el PPO, el PBT, el Nylon 6.6 reforzado, etc. cuyo movimiento hoy en día es más a base a precio, buscando desde luego

que cumplan con las especificaciones requeridas y los nuevos plásticos de ingeniería, cuyo uso en México es muy limitado y cuyos precios aún se mantienen altos, como es el caso de las polieterimidias, las polisulfonas, los polímeros de cristal líquido, etc..

Es importante destacar también, que las empresas productoras de plásticos de ingeniería enfrentan cotidianamente a una gran competencia y tienen hoy en día una mayor dificultad por colocar sus productos en el mercado.

El número de empresas productoras se ha incrementado y el exceso de capacidad instalada ha traído como consecuencia una reducción importante en el precio de algunos plásticos de ingeniería.

Son dramáticos los casos de resinas como el del Nylon 6.6 , el policarbonato, el PET, el PBT, las aleaciones de ingeniería, en donde en un par de años el precio promedio por kilogramo en México ha disminuido en más de un veinte por ciento.

Por citar cifras, hace cinco años el precio promedio del policarbonato en México era aproximadamente de seis dólares por kilogramo, hoy en día es de \$ 4.50 dólares por kilogramo.

La caída de los precios ha hecho que las empresas productoras de plásticos de ingeniería busquen alternativas y estrategias comerciales para recuperar mercados. Es necesario destacar que el mercado de plásticos de ingeniería o mejor dicho el de aplicaciones de ingeniería, es todavía de propiedades y no de precio y por ende, como productor de resinas aún se tienen recursos tecnológicos para lograr las aplicaciones.

Este tipo de desarrollo ha traído como consecuencia la tendencia de una especialización en los materiales.

Desde luego, prevalece la tendencia que dio origen a la aparición de los plásticos de ingeniería en la década de los años cincuenta. Los polímeros son creados, desarrollados con la intención de reemplazar diferentes materiales, ofreciendo una alternativa más conveniente, desde el punto de

vista energético, económico ó ecológico, reemplazando materiales tan tradicionales como lo pueden ser la cerámica, la madera y desde luego los metales.

También ha resurgido con una mayor fuerza y se ha mantenido a través de estos 40 años de los plásticos de ingeniería y que aún tiene un extraordinario potencial, es la idea de combinar de diversas formas los polímeros con materiales básicos, como son el butadieno, el estireno, etc.

Esta combinación de materiales es factible realizarla con varios niveles de integración. Así pues se tienen desde la mezcla física hasta una aleación de alta ingeniería.

Quizá un ejemplo válido para ilustrar esta tendencia es el cambio que tuvo el poliestireno que al ser modificado con butadieno da origen al poliestireno no grado impacto.

Posteriormente se generó el concepto de terpolímero, en donde se conjugaban tres monómeros para dar origen a un producto como es el caso del ABS, en donde se incorporan exitosamente el acrilonitrilo, el butadieno y el estireno.

A principios de la década pasada surge el concepto de las aleaciones de ingeniería, esto es lograr la combinación de materiales aparentemente incompatibles. Surgen entonces los agentes compatibilizantes, que permiten la generación de productos como el ABS/Policarbonato, ABS/PVC, ABS/Nylon, Policarbonato/PBT, ABS/Polisulfona, etc.

La lista de los materiales que han surgido a través de las combinaciones es interminable. Lo mismo se ha logrado la reducción en los costos de manufactura, que el aligeramiento de las piezas, que mejores propiedades mecánicas en los materiales.

Quizá el mejor ejemplo para ilustrar el alcance y potencial que tienen las aleaciones de diferentes materiales, lo constituye lo logrado ya por varias empresas en menos de dos décadas: poder combinar exitosamente un mate-

rial de naturaleza termoplástica con un termofijo.

No fue sino hasta la década de los años setenta en que el concepto de combinar un plástico con hule, y generar lo que hoy conocemos como un elastómero termoplástico, cobró forma. Durante los pasados quince años se ha estado trabajando en la búsqueda de materiales termofijos, tales como el neopreno, el EPDM, el polietileno clorosulfonado y el hule estireno butadieno.

Hoy en día el consumo a nivel mundial de estos materiales ha crecido con un ritmo superior al 15% anual, crecimiento que los convierte en uno de los plásticos de ingeniería de mayor éxito en el mercado.

En el área de plásticos de ingeniería son pocos los días que transcurren sin que sea anunciado la generación de un nuevo producto, con mejores propiedades, con ventajas en procesabilidad y quizá una eventual reducción de precio.

Las grandes empresas productoras de resinas anuncian diversos materiales a través de ruedas de prensa, conferencias, publicación de artículos técnicos, etc.. A continuación se mencionan a manera de ejemplo algunos de los materiales anunciados en una sola semana del mes de agosto de 1992.

Hoestch Celanese anuncia el PETG, producto que al ser laminado, sea por extrusión o algún otro método puede ser empleado en la industria del empaque en la manufactura de blisters y recipientes.

Dow Corning anuncio el lanzamiento de tres nuevas resinas de ingeniería, una resina epóxica termoplástica que después se cura con un catalizador de naturaleza fenólica al ser calentada por encima de los 150°C. Un policianato que contiene un material TP como reforzamiento para conferir al material una gran resistencia a la compresión, así como un material híbrido de benzociclobuteno con meléimida (BCB), un material cuya viscosidad es equivalente a la del agua a 120°C, polimeriza a los 170°C y tiene una excelente resistencia a la compresión de aproximadamente 55 000 psi.

Du Pont, por su parte anuncia el lanzamiento de su producto Korex, a base de poliamida, un producto mejorado en cuanto a la resistencia química y al calor al compararse con la línea tradicional Nomex. Este "composite", a decir de Du Pont, tiene una mejor resistencia a la fatiga que el vidrio y el Nomex, así como una mejor resistencia a la compresión y a los esfuerzos cortantes. Tiene además un coeficiente de expansión lineal similar al del vidrio.

Monsanto por su parte, anunció el lanzamiento de dos nuevos productos, una poliamida 6.6, Vydyne reforzada con 25% de fibra de vidrio con una mejor procesabilidad y apariencia en la superficie de los artículos moldeados. Las aplicaciones típicas para estos materiales son radiadores y protectores de ventiladores automotrices. El otro material anunciado es una nueva aleación de ABS/PC, Triax 2953, que ofrece un mayor impacto y resistencia al calor que el ABS tradicional y menor costo y peso que el acero inoxidable o las piezas moldeadas con zinc.

A. Schulman anunció un nuevo poliuretano termoplástico para ser utilizado en la fabricación de partes exteriores automotrices reemplazando metales. Las principales propiedades que se ofrecen son una excelente resistencia a impacto a bajas temperaturas y la posibilidad de ser pintado sin la previa aplicación de una capa base de primer. Además esta empresa destacó el lanzamiento de dos nuevos tipos de elastómeros termoplástico para ser utilizados en paneles automotrices.

DSM Engineering Plastics North America está también ofreciendo materiales para partes automotrices grandes. Esta lanzando un nuevo producto a base de estireno y anhídrido maleico, con buena resistencia al impacto y al calor, excelente flujo y gran estabilidad dimensional. También menciona un nylon que ofrece resistencia al calor, ya que contiene 50 % de fibra de vidrio, obteniendo una excelente estabilidad dimensional en las piezas fabricadas.

General Electric anuncia el lanzamiento de una aleación de ingeniería, el policarbonato con polietermida con excelente resistencia al impacto y la temperatura, diseñada para la fabricación de platos y envases para el horno

de microrondas, conectores eléctricos, perfiles y faros automotrices.

### III. PLASTICOS.

#### 3.1. DEFINICION.

Uno de los problemas es que los plásticos, o más exactamente los altos polímeros, los han desarrollado los químicos orgánicos, quienes utilizan un vocabulario útil y preciso pero un poco complejo.

De la misma manera como la metalurgia del acero se basa en dos celdas unitarias del hierro, la BCC y la FCC, el campo de los plásticos se fundamenta en dos tipos de moléculas.

La molécula orgánica que es la base de todos los plásticos, está constituida generalmente de una estructura de soporte o esqueleto de átomos de carbono únicamente al cual se unen elementos tales como H, O, Cl, F, S o N.

En conclusión son moléculas orgánicas gigantes, que tienen pesos moleculares de 10,000 a 1,000,000 g/g.mol .

#### 3.2. ESTRUCTURA.

##### 3.2. a. REPRESENTACION DE LA ESTRUCTURA DE LOS POLIMEROS.

La figura 3.2.1. muestra cuatro formas en las que podemos representar un segmento de polietileno, un polímero termoplástico por adición lineal simple. El modelo bidimensional de la figura 3.2.1.(d) indica los elementos esenciales de la estructura polimérica y, debido a su simplicidad, es la representación más utilizada.

También encontraremos estructuras anulares (en anillo), como las del anillo de benceno encontrado en el estireno y en las moléculas fenólicas. En lugar de mostrar todos los átomos en el anillo de benceno, podemos usar un hexágono (fig. 3.2.2). Cuando se muestren anillos más complejos se deberá incluir la totalidad de los átomos.

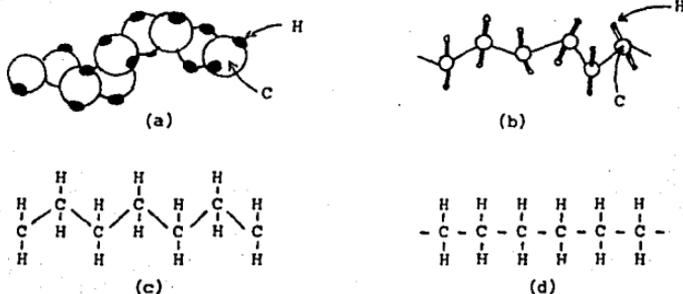


FIGURA 3.2.1 Cuatro formas de representar la estructura del polietileno.  
 (a) Modelo sólido tridimensional.  
 (b) Modelo espacial tridimensional.  
 (c) Modelo bidimensional que muestra la forma de la cadena polimérica.  
 (d) Modelo bidimensional simple.

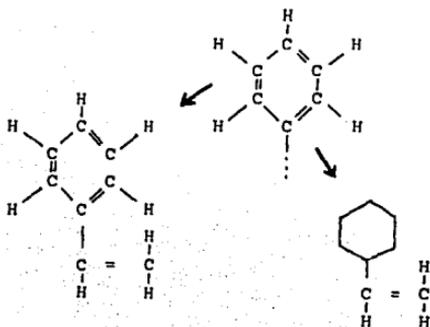
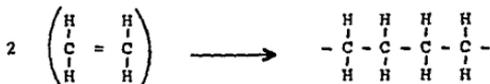


FIGURA 3.2.2 Dos maneras de representar el anillo de Benceno. En este caso, el citado anillo se muestra unido a un par de átomos de carbono, produciendo Estireno.

### 3.2.b. LA CONFORMACION FUNDAMENTAL, MONOMEROS Y MEROS.

Para producir las largas cadenas de carbono o las redes, que pueden contener hasta 10 000 átomos de carbono, necesitamos comenzar con grupos pequeños de átomos llamados monómeros, los cuales tienen por lo menos un enlace doble que se puede abrir bajo la influencia de un catalizador o a una temperatura específica. Por lo tanto, en el más sencillo de los polímeros, el polietileno, comenzamos con el gas de etileno que contiene únicamente dos átomos de carbono y continuamos enlazando monómeros adicionales:



Cada molécula original de gas  $\text{C}_2\text{H}_4$  se denomina monómero, porque es una sola molécula. La conformación fundamental dentro de cada cadena, es decir, la unidad  $\text{C}_2\text{H}_4$ , se conoce como mero; la cadena completa se denomina polímero (literalmente, "muchos meros"). Después de que se ha logrado el grado de polimerización deseada, agregamos otro compuesto químico, un terminador, que reacciona con los enlaces incompletos de los extremos de las moléculas grandes y detiene la reacción.

Un vistazo a la lista de los polímeros importantes que se encuentran en la tabla 3.2.1 muestra que todos tienen el prefijo "poli", seguido por un nombre químico como estireno. Comencemos revisando los grupos químicos fundamentales que se combinan para formar los plásticos.

En la tabla 3.2.2 se encuentra una lista de un grupo representativo de sustancias químicas utilizadas para producir plásticos. Se puede observar que se utilizan los prefijos met, et, prop y but para indicar el número de átomos de carbono (uno, dos, tres y cuatro, respectivamente) en los meros. Cuando no hay dobles enlaces entre los átomos de carbono, se dice que el hi

T A B L A 3. 2. 1.

| GRUPO 1 - TERMOPLASTICOS. |                        |  |
|---------------------------|------------------------|--|
| POLIMERO                  | PORCENTAJE DEL MERCADO | MONOMEROS UTILIZADOS   |
| POLIETILENO               | 32                     | $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ \text{C} = \text{C} \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$   |
| CLORURO DE POLIVINILO     | 15                     | $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ \text{C} = \text{C} \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{Cl} \end{array}$  |
| POLIESTIRENO              | 9                      | $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ \text{C} = \text{C} \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$ <span style="margin-left: 100px;">(  BENCENO C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> )</span> |
| POLIPROPILENO             | 11                     | $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ \text{C} = \text{C} \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{CH}_3 \end{array}$  |
| A B S                     | 3                      | $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ \text{C} = \text{C} \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{C} \equiv \text{N} \end{array}$ <span style="margin-left: 100px;">ACRILONITRILO (INJERTO)</span>  |
|                           |                        | $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \quad   \quad   \\ \text{C} - \text{C} - \text{C} = \text{C} \\   \quad \quad \quad   \\ \text{H} \quad \quad \quad \text{H} \end{array}$ <span style="margin-left: 100px;">BUTADIENO (CADENA)</span>                       |
|                           |                        | $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ \text{C} = \text{C} \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$ <span style="margin-left: 100px;">ESTIRENO (INJERTO)</span>   |



T A B L A 3.2.1 (CONTINUACION)

| GRUPO I - TERMOPLASTICOS                                  |                        |  |
|---|------------------------|--|
| POLIMERO  | PORCENTAJE DEL MERCADO | MONOMEROS UTILIZADOS   |
| POLIESTER,<br>TIPO TERMO-<br>PLASTICO (E-<br>JEMPLO: PET) | 2                      | $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ \text{HO} - \text{C} - \text{C} - \text{O} \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array} \quad \text{HO} - \text{C} \begin{array}{c} \diagup \quad \diagdown \\ \text{O} \quad \text{O} \end{array} \text{C} - \text{OH}$                              |
| GRUPO II - TERMOESTABLES                                  |                        |  |
| FENOLICOS   | 6                      |  |
| RESINAS AMI-<br>NICAS                                     | 4                      |  |
| POLIESTERES,<br>TIPO TERMOES-<br>TABLES                   | 3                      | $\begin{array}{c} \text{H}_2\text{C} - \text{OH} \\   \\ \text{HC} - \text{OH} \\   \\ \text{H}_2\text{C} - \text{OH} \end{array} \quad \text{HO} - \text{C} \begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{O} \end{array} - (\text{CH}_2)_x - \text{C} \begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{O} \end{array} - \text{OH}$ |
| EPOXICAS  | 1                      | <p>(R y R' son moléculas complejas polifuncionales)</p>  |

T A B L A 3.2.1 (CONTINUACION)

| GRUPO II - TERMOESTABLES     |                        |   |
|------------------------------|------------------------|---|
| POLIMERO                     | PORCENTAJE DEL MERCADO | MONOMEROS UTILIZADOS  |
| POLITETRAFLUORURO DE ETILENO | 4                      | <p> <math>\text{OCN} - \text{R} - \text{NCO}</math>    <math>\text{HO} - \text{R}' - \text{OH}</math>    <math>\text{R}''</math> </p> <p>           (DIISOCIANATO)    cular complejas p<br/>           ifuncionales)         </p>   |
| SILICONAS                    | 1                      | <p> <math display="block">\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ \text{Cl} - \text{Si} - \text{Cl} \\   \\ \text{Cl} \end{array}</math>           TRICLOROSILANO         </p> <p> <math display="block">\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ \text{H} - \text{O} - \text{Si} - \text{OH} \\   \\ \text{OH} \end{array}</math>           TRIHIDROXISILANO         </p> |

T A B L A 3.2.2.

| ALGUNAS SUSTANCIAS COMUNES (MONOMEROS) EMPLEADOS EN LOS PLASTICOS. |   |   |
|--|---|---|
| FAMILIA  | ENLACE CARAC. DE LA FAMILIA   | COMPUESTOS  |
| HIDROCARBUROS SATURADOS  | $\begin{array}{c}   \\ -C- \\   \end{array}$                          | $\begin{array}{cccc} \text{H} & \text{H H} & \text{H H H} & \text{H H H H} \\   &   &   &   \\ \text{H-C-H} & \text{H-C-C-H} & \text{H-C-C-C-H} & \text{H-C-C-C-C-H} \\   &   &   &   \\ \text{H} & \text{H H} & \text{H H H} & \text{H H H H} \end{array}$ <p>METANO    ETANO    PROPANO    BUTANO</p>   |
| HIDROCARBUROS NO SATURADOS (OLEFINAS)                              | $\begin{array}{c}   &   \\ C = C \\   &   \end{array}$                | $\begin{array}{cccc} & & & \text{H} \\ & & &   \\ \text{H} & \text{H} \\   &   &   &   &   &   &   &   \\ \text{C} = \text{C} & \text{C} = \text{C} & - \text{C} - \text{H} & & \text{C} = & \text{C} \\   &   &   & &   &   \\ \text{H} & \text{H} & \text{H} & & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \end{array}$ <p>ETILENO    PROPILENO    BUTILENO</p> $\begin{array}{ccc} \text{H} & \text{R}' & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \\   &   &   &   &   &   &   &   \\ \text{H} - \text{C} = \text{C} - \text{H} & & \text{C} = \text{C} & & \text{H} - \text{C} = \text{C} - \text{C} = \text{C} \\   & &   & &   &   &   &   \\ \text{H} & & \text{H} & & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \end{array}$ <p>VINILO    ESTIRENO    BUTADIENO</p> |
| ALCOHOLES  | $\begin{array}{c}   \\ -C- \text{OH} \\   \end{array}$                | $\begin{array}{ccc} \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \\   &   &   &   &   &   &   \\ \text{H} - \text{C} - \text{OH} & \text{H} - \text{C} - \text{C} - \text{OH} & & \text{H} - \text{C} - \text{C} - \text{C} - \text{OH} & & & & \\   &   &   &   &   &   &   \\ \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \end{array}$ <p>ALCOHOL METILICO    ALCOHOL ETILICO    ALCOHOL PROPILICO</p>   |
| ALDEHIDOS Y CETONAS  | $\begin{array}{c}   \\ C = O \\   \end{array}$                        | $\begin{array}{ccc} \text{H} & \text{H} & \text{R} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \\   &   &   &   &   &   \\ \text{C} = \text{O} & \text{H} - \text{C} - \text{C} = \text{O} & & \text{C} = \text{O} & & \text{C} = \text{O} \\   &   &   &   &   &   \\ \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \end{array}$ <p>FORMALDEHIDO    ACETALDEHIDO    CETONA</p>  |
| ACIDOS   | $\begin{array}{c} \text{OH} \\   \\ -C \\    \\ \text{O} \end{array}$ | $\begin{array}{ccc} & \text{OH} & \text{H} & \text{OH} \\ &   &   &   \\ \text{H} - \text{C} & & \text{H} - \text{C} - \text{C} & \\    & &   & \\ \text{O} & & \text{H} & \text{O} \end{array}$ <p>ACIDO FORMICO    ACIDO ACETICO</p>  |

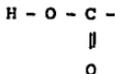
T A B L A 3.2.2. (CONTINUACION)

| ALGUNAS SUSTANCIAS QUIMICAS COMUNES (MONOMEROS) EMPLEADAS EN PLASTICOS. |  |   |   |
|---|--|---|---|
| FAMILIA   | ENLACE CARAC. DE LA FAMILIA  | COMPUESTOS  |   |
| ETERES  | $\begin{array}{c}   & &   \\ -C & -O- & C- \\   & &   \end{array}$                                       | $\begin{array}{c} H & & H \\   & &   \\ H-C & -O- & C-H \\   & &   \\ H & & H \end{array}$<br>ETER DIMETILICO   | $\begin{array}{c} H & & O & & H \\ & & / & & \backslash \\ & & C & - & C \\ & & \backslash & & / \\ H & & & & H \end{array}$<br>OXIDO DE ETILENO (EPOXIDO)  |
| ESTERES*  | $\begin{array}{c}   & &   \\ C & -O- & C- \\    & &   \\ O & & \end{array}$                              | $\begin{array}{c} H & & H & & H & & H \\   & &   & &   & &   \\ H-C & -C & -O- & C & -C & -H \\    & & & & & &   \\ O & & & & & & H \end{array}$<br>ACETATO DE ETILO  |   |
| AMIDAS  | $\begin{array}{c} & & H \\ & &   \\ & & N \\ / & & \backslash \\ C & & H \\    & & \\ O & & \end{array}$ | $\begin{array}{c} & & H \\ & &   \\ & & N \\ / & & \backslash \\ H-C & -C & \\    & & \\ O & & \end{array}$<br>ACETAMINA  | $\begin{array}{c} & & H \\ & &   \\ & & N \\ / & & \backslash \\ O=C & & H \\ & &   \\ & & N \\ & &   \\ & & H \end{array}$<br>UREA (DIAMINA)   |
| AMINAS  | $\begin{array}{c} & & H \\ & &   \\ & & N \\ / & & \backslash \\ -C & & H \end{array}$                   | $\begin{array}{c} H & & H \\   & &   \\ H-N & - & (CH_2)_6 & -N-H \\   & & & &   \\ H & & & & H \end{array}$<br>HEXAMETILENDIAMINA  |   |
| BENCENO (AROMATICOS)  |                        | $\begin{array}{c} & & H & & & & \\ & &   & & & & \\ & & C & & C & & \\ / & & \backslash & & / & & \backslash \\ C & & & & C & & \\   & & & &   & & \\ C & & & & C & & \\ \backslash & & / & & \backslash & & / \\ & & C & & C & & \\ & &   & & & & \\ & & H & & & & \end{array}$<br>BENCENO | $\begin{array}{c} & & H & & & & \\ & &   & & & & \\ & & C & & C & & \\ / & & \backslash & & / & & \backslash \\ C & & & & C & & \\   & & & &   & & \\ C & & & & C & & \\ \backslash & & / & & \backslash & & / \\ & & C & & C & & \\ & &   & & & & \\ & & H & & & & \end{array}$<br>FENOL |

R' REPRESENTA CI OH, ETC.

\* DEL ACIDO Y DEL ALCOHOL, SIENDO H<sub>2</sub>O UN SUBPRODUCTO.

drocarburo está saturado y se utiliza la terminación -ano. Cuando hay uno o más enlaces dobles, el hidrocarburo es no saturado y se utiliza la terminación -eno. Todos los alcoholes tienen un -O-H en lugar del H y sus nombres terminan en -ol, como por ejemplo, el metanol. Todos los ácidos tienen el gru



Las siguientes valencias normalizadas indican el número de enlaces que debe tener siempre cada elemento en la fórmula estructural:

- 4 - Si, C
- 3 - N
- 2 - S, O
- 1 - H, F, Cl, Br, I.

### 3.2.c. RESISTENCIA DE ENLACE, FUNCIONALIDAD Y GRADO DE POLIMERIZACION.

#### Resistencia de enlace.

Ahora consideremos lo que involucra el enlace de las estructuras básicas en los plásticos. Adicionalmente a los enlaces covalentes dentro de una molécula, hay enlaces de Van der Waals entre las moléculas y al sobreponerse partes de la misma molécula. Estos son mucho menos resistentes que los enlaces covalentes, pero son muy importantes porque en la mayoría de los casos el esfuerzo requerido para la fractura está relacionado con la fuerza necesaria para separar las moléculas en lugar de aquella que se requiere para romper los enlaces dentro de la molécula. Los enlaces dentro de la molécula de cadena larga no se rompen porque son covalentes. El enlace de hidrógeno requiere de atención especial porque es muy fuerte en muchos casos, especialmente en la celulosa (algodón) y en las poliamidas (nylon y protefna).

Ejemplos de enlaces de hidrógeno fuertes son:

| Enlace      | Longitud del<br>-H...X- enlace, Å | Energía,<br>kcal/mol.g |
|-------------|-----------------------------------|------------------------|
| O - H ... O | 2.7                               | 3 a 6                  |
| N - H ... O | 2.9                               | 4                      |
| N - H ... N | 3.1                               | 3 a 5                  |

Sin embargo, el enlace de hidrógeno no tiene la resistencia de un enlace covalente, porque no comparte electrones. El enlace se presenta debido al hecho de que en la parte H del radical OH, por ejemplo, existe una polaridad positiva porque el electrón del hidrógeno está fuertemente atraído por el oxígeno. En igual forma un oxígeno que atrae un electrón de otra fuente tiene polaridad negativa.

#### Funcionalidad.

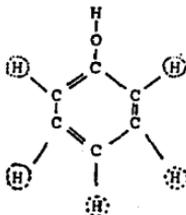
La funcionalidad es el número de sitios en los cuales pueden unirse nuevas moléculas al mero. En el etileno, hay dos lugares -cada átomo de carbono- a los cuales pueden fijarse las moléculas. De modo que el etileno es bifuncional y sólo se formarán cadenas.

Si hay tres sitios a los cuales se pueden unir las moléculas, el mero es trifuncional y se pueden formar una red tridimensional. Normalmente, los meros trifuncionales producen polímeros más resistentes que los meros bifuncionales.

Ejemplo: Las moléculas de fenol tienen la estructura que se muestra a continuación. Tales moléculas pueden unirse unas a otras cuando se elimina un átomo de hidrógeno del anillo y participa en una reacción de condensación. ¿Cuál es la máxima funcionalidad del fenol? ¿Se espera que se produzca una estructura de cadena o de red?

Respuesta: La molécula de fenol cederá un átomo de hidrógeno de cualquiera de las cinco esquinas que contienen únicamente átomos de hidrógeno. El sexto hidrógeno en el grupo OH está unido muy estrechamente al anillo.

De aquí, la funcionalidad es 5. Sin embargo, debido a limitaciones geométricas, si los cinco sitios funcionales participan en la reacción de condensación, las moléculas involucradas se amontonarían, la máxima funcionalidad es realmente sólo de tres. Puesto que el fenol es al menos trifuncional, se produce una estructura de red.



#### Grado de polimerización.

El grado de polimerización describe la longitud promedio a la cual crece una cadena. Si el polímero contiene sólo un tipo de monómero, el grado de polimerización es el número promedio de moléculas o meros que están presentes en la cadena. Se puede definir el grado de polimerización como:

$$\text{Grado de polimerización} = \frac{\text{peso molecular del polímero}}{\text{peso molecular de meros}}$$

Cuando la cadena está compuesta por más de un tipo de mero, se puede definir el peso molecular promedio del mero como

$$\bar{M} = \sum f_i M_i$$

donde  $f_i$  es la fracción molecular de meros que tiene el peso molecular  $M_i$ .

Si la cadena polimérica se forma por condensación, el peso molecular del producto secundario debe restarse al del mero

$$\bar{M} = \sum (f_i M_i - M_*)$$

$M_*$  - producto secundario.

Ejemplo: Calcular el grado de polimerización si el polietileno tiene un peso molecular de 100 000 g/g. mol .

Respuesta: El peso molecular del mero de etileno es

$$P. \text{ mol. del mero} = 2(12) + 4(1) = 28 \text{ g/g.mol.}$$

$$\text{Grado de polimerización} = \frac{100\,000}{28} = 3571$$

### 3.2.d. MECANISMOS DE POLIMERIZACION.

A continuación se tratarán los mecanismos importantes de polimerización, puesto que el tipo de estructura esta íntimamente relacionado con el mecanismo involucrado.

#### Polimerización por adición.

La polimerización por adición ocurre debido a que la molécula original contiene un doble enlace covalente entre los átomos de carbono. El doble enlace es un enlace no saturado; cambiando a un enlace simple, los átomos de carbono están aún unidos pero pueden añadirse moléculas adicionales.

La estructura de las cadenas poliméricas por adición está basada en la naturaleza del enlace covalente en el carbono. El carbono al igual que el silicio, tiene valencia 4. El átomo de carbono comparte sus electrones de valencia con cuatro átomos circundantes, produciendo una estructura tetraédica en la cual los cuatro enlaces covalentes tienen un ángulo fijo de 109° (figura 3.2.d.1)

En el diamante, todos los átomos en el tetraedro son de carbono y se produce la estructura cúbica de diamante.

Sin embargo, en las moléculas orgánicas, algunas de las posiciones en el tetraedro están ocupadas por hidrógeno, cloruro, fluoruro e incluso grupo de átomos. Puesto que el átomo de hidrógeno tiene un solo electrón que compartir, el tetraedro no puede extenderse más.

La estructura de la figura 3.2.d. 1(b) muestra una molécula orgánica, el metano, que puede no resultar de un proceso de polimerización por adición simple, puesto que la totalidad de sus cuatro enlaces está cubierta con átomos de hidrógeno.

El átomo inicial de carbono puede unirse mediante un enlace covalente a un segundo átomo de carbono, con todos los otros enlaces que involucran al hidrógeno, como en el etano (fig. 3.2.d. 1(c)). Pero nuevamente, no ocurre la polimerización.

Sin embargo, en el etileno los átomos de carbono se unen mediante un enlace doble, mientras que los demás sitios son ocupados por átomos de hidrógeno (figura 3.2.d. 1(d)). Durante la polimerización el doble enlace se rompe y cada átomo de carbono en la molécula atrae a un nuevo mero (figura 3.2.d. 1(e)). De aquí la importancia del término funcionalidad.

Para comenzar el proceso de polimerización por adición, un iniciador, como el peróxido de hidrógeno,  $H_2O_2$ , se añade al etileno (figura 3.2.d.2). Los enlaces covalentes entre los átomos de oxígeno en el peróxido y entre los átomos de carbono en el etileno se rompen y un grupo OH se une a un extremo del mero de etileno. Situado en un extremo del mero, el grupo OH actúa como el núcleo de una cadena.

Una vez que se inicia la cadena, la reacción procede espontáneamente. El crecimiento es inicialmente lento pero se acelera notoriamente después del inicio. Ya que se libera energía durante la polimerización, la temperatura puede elevarse, incrementando la velocidad de crecimiento aún más. Cuando la polimerización es casi completa, los meros libres restantes pue-

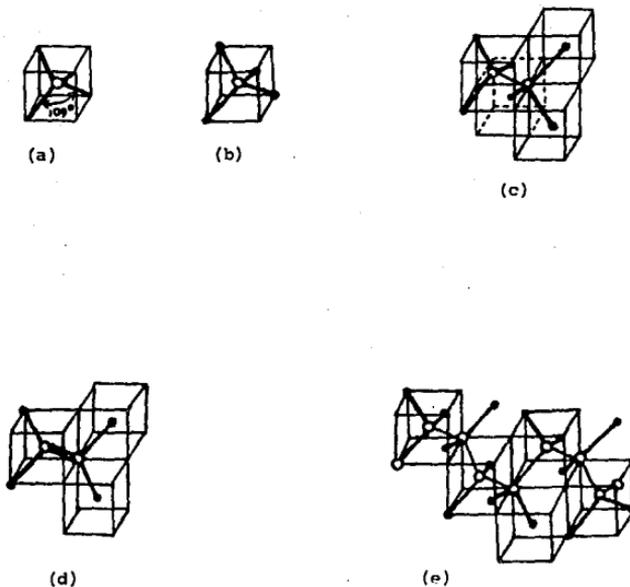


FIG. 3.2.d.1 La estructura tetraédrica del carbono puede combinarse en una gran cantidad de formas para producir cristales sólidos, moléculas de gas no polimerizables, y polímeros. (a) Tetraedro de carbono, (b) Metano con enlaces saturados, (c) Etano con enlaces saturados, (d) Etileno con un enlace no saturado, y (e) Polietileno.

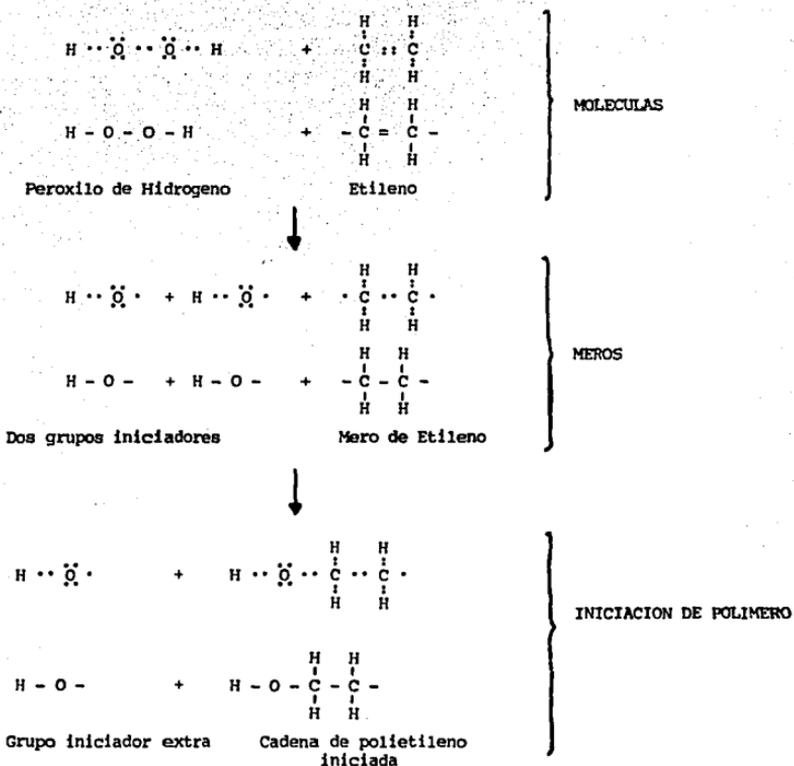


FIGURA 3.2.d.2 Una cadena de polietileno se inicia cuando el peroxilo de hidrogeno se parte en dos grupos OH y se forma un mero. Uno de los grupos OH se fija al mero, iniciando la cadena.

den difundirse lejos antes de alcanzar un extremo activo de la cadena. En consecuencia, la velocidad de crecimiento disminuye nuevamente.

Las cadenas pueden concluirse mediante dos mecanismos (figura 3.2.d.3). Primero, los extremos de dos cadenas en crecimiento pueden unirse para producir una sola cadena larga. Segundo, el extremo activo de la cadena puede atraer a un grupo iniciador, OH, el cual termina la cadena. Es posible regular la longitud de la cadena mediante el control de la cantidad de iniciador, si se añaden pequeñas cantidades de iniciador, hay menos disponible para terminar las cadenas y éstas son más largas.

La polimerización por adición también puede tener lugar entre dos monómeros diferentes, como ocurre en la formación de un copolímero de etileno y cloruro de vinilo. Este proceso se conoce como copolimerización.

#### Polimerización por condensación.

Los polímeros lineales se forman también por reacciones de condensación, proporcionando estructuras y propiedades que semejan las de polímeros lineales por adición. Normalmente el calor, la presión o un catalizador causan que proceda la reacción. La polimerización del dimetiltereftalato y del etilenglicol para producir dacrón, una fibra poliéster, es un ejemplo importante (figura 3.2.d.4).

Durante la polimerización, el grupo OH del etilenglicol se combina con el grupo  $\text{CO}^2$  del dimetiltereftalato. Un producto colateral, el alcohol metílico, es obtenido y los dos monómeros se combinan para producir una molécula mayor. Los monómeros en este ejemplo son bifuncionales. En consecuencia, la polimerización y el crecimiento ocurren en ambos extremos de esta nueva molécula a través de la misma reacción. Finalmente, se produce una larga cadena polimérica, el dacrón.

La longitud de la cadena depende de la facilidad con que los monómeros pueden difundirse hacia los extremos e intervenir en la reacción de condensación. La terminación ocurre cuando ningún monómero más alcanza el extremo de la cadena para continuar la reacción.

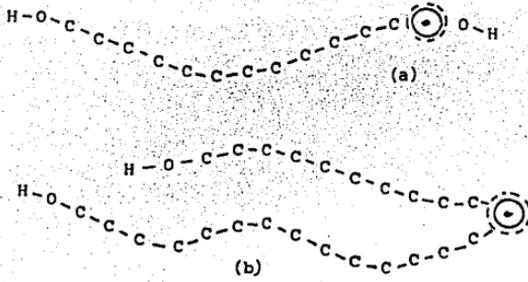


FIGURA 3.2.d.3 La terminación de las cadenas por adición ocurre cuando  
 (a) Los grupos OH se unen al extremo de las cadenas, o  
 (b) Cuando se combinan dos cadenas.

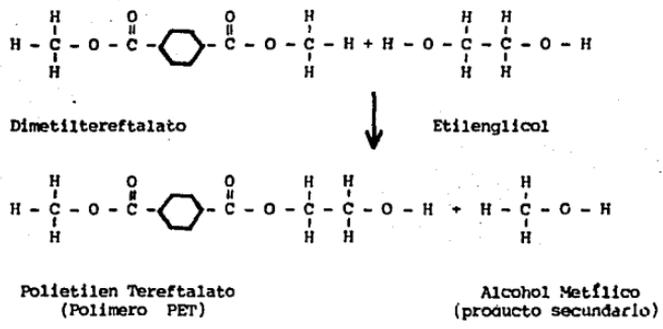


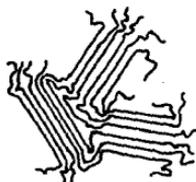
FIGURA 3.2.d.4 Reacción en condensación del polietilen tereftalato (PET) más comúnmente conocido como dacron. Un grupo CH<sub>3</sub> y uno OH son retirados de los monómeros, produciendo alcohol metílico como producto secundario.

### 3.2.e. CRISTALINIDAD.

Hasta este punto hemos considerado solamente dos tipos de estructura de polímeros; 1) la disposición al azar de moléculas lineales y 2) la estructura en forma de red que consiste en una molécula grande con una estructura amorfa (no cristalina). Un tercer tipo de estructura, la cristalina, es importante en los polímeros lineales porque conduce a materiales más firmes y fuertes y generalmente cambia la transparencia de un material amorfo por una condición translúcida u opaca debida a la dispersión de la luz en los límites de los granos.

El modelo más antiguo de una estructura cristalina se denomina micela orlada (figura 3.2.e.1). En este modelo se consideró que las moléculas yacían lado a lado en algunas regiones cristalinas (las micelas) y al azar en otras. A pesar de que este modelo es bastante primitivo, explica la resistencia que presenta una fibra, como el nylon, cuando se estira; las moléculas en las regiones amorfas se estiran y se alinean en la dirección del esfuerzo aplicado, elevando así la resistencia a la fluencia. Investigaciones recientes con ayuda del microscopio electrónico han conducido a un conocimiento más detallado de las regiones cristalinas. Los cristales sencillos de varios polímeros se han hecho crecer y se ha encontrado que las estructuras en cadena de las moléculas se doblan de un lado a otro de manera regular para constituir el cristal (figura 3.2.e.1 (b)). También se encontro en los materiales policristalinos, el tamaño se puede aumentar, ya sea por recocido a temperaturas altas o aumentando la temperatura de cristalización, como se puede hacer en los cristales de los metales.

La tendencia a cristalizarse es muy importante y está muy relacionada con la estructura y la polaridad de la molécula. Las moléculas normales sin grupos laterales masivos o ramificaciones, muestran una fuerte tendencia a cristalizarse. Se debe recalcar que en el mejor de los casos se obtiene una cristalización parcial en lugar de una completa.



a) TEORIA DE LA MICELA

b) TEORIA DE LA CADENA  
DOBLADA.

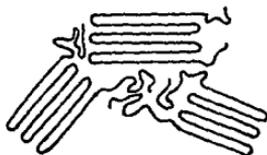


FIGURA 3.2.e.1 Modelos de micela con franjas (a) y de cadena doblada (b) para la estructura de los polímeros cristalinos.

### 3.3. CLASIFICACION.

Los plásticos pueden clasificarse en base a diversos factores, siendo los más importantes los que a continuación se mencionan:

Mecanismos de polimerización. Los "polímeros por adición" se producen uniendo covalentemente las moléculas, formando cadenas que pueden tener miles de elementos moleculares en su longitud. Los "polímeros por condensación" son producidos cuando se unen dos ó más tipos de moléculas mediante una reacción química que libera un producto colateral, como el agua.

Estructura del polímero. Los "polímeros lineales" forman largas cadenas que contienen miles de moléculas. Estas cadenas pueden ser formadas por una reacción de adición o de condensación. Los "polímeros de red" son estructuras reticulares tridimensionales producidas mediante un proceso de enlaces cruzados que implica una reacción de adición o de condensación.

Comportamiento del polímero. El método más comúnmente usado para describir los polímeros es a través de su comportamiento cuando son calentados. Los "polímeros termoplásticos", como lo indica su nombre, se comportan de manera plástica a elevadas temperaturas. Más aún, la naturaleza de su enlace no se modifica radicalmente cuando la temperatura se eleva. Por ejemplo, los polímeros termoplásticos pueden ser conformados a temperaturas elevadas, enfriados, y después, recalentados o reconformados sin afectar el comportamiento del polímero. Los polímeros termoplásticos son lineales. Los "polímeros termestables" son polímeros de red formados por una reacción de condensación. Estos polímeros no pueden ser reprocesados después de que han sido conformados, debido a que parte de las moléculas, producto secundario de la reacción de condensación, ha salido del material. "Los Elastómeros (cauchos o hules) tienen un comportamiento intermedio pero, lo más importante, tienen la capacidad de deformarse elásticamente en alto grado sin cambiar permanentemente su forma.

### 3.4. PROPIEDADES DE LOS PLÁSTICOS.

La propiedad más destacada de los plásticos es la plasticidad tan elevada que adquieren a la temperatura de moldeo, que permite obtener piezas perfectas por complicadas que sean.

Otra buena cualidad de la mayoría de los plásticos es la facilidad con que pueden colorearse y el buen aspecto de las piezas moldeadas, que hace innecesaria ninguna operación de acabado, en la mayoría de los casos.

Los plásticos son generalmente muy ligeros y muy buenos aislantes de la electricidad y del calor.

Reblandecen entre los 70 y 200 °C, y se descomponen entre los 300 y 500°C. Su coeficiente de dilatación es muy elevado, de una a treinta veces más alto que el del acero, lo que debe tenerse en cuenta para el proyecto de piezas, que deben ir ajustadas.

La resistencia mecánica de los plásticos, a la tracción, es más bien baja, de 4 a 10 Kg/mm<sup>2</sup>, pero más que suficiente para la mayoría de las aplicaciones. Aunque algunos nuevos materiales superan estos valores.

Resisten bastante bien los agentes atmosféricos y el ataque de los ácidos.

En las tablas 3.4.1 a la 3.4.3 se han reproducido en forma abreviada algunas de las propiedades importantes de estos materiales.

TABLA 3.4.1. PROPIEDADES DE PLASTICOS TERMOPLASTICOS.

| NOMBRE  | USO PORCENTAJE. | RESISTENCIA A LA TRACCION<br>lb /in <sup>2</sup> | PORCENTAJE DE ELONGACION | ELNEZA ROCKWELL R | IZOD IMPACTO lb - ft. |
|---|-----------------|--|--------------------------|-------------------|-----------------------|
| Folietileno   |                 |  |                          |                   |                       |
| Alta densidad   | 13              | 4 000  | 15 a 100                 | 40                | 1 a 12                |
| Baja densidad   | 19              | 2 000  | 90 a 800                 | 10                | 16                    |
| Folipropileno   | 11              | 5 000  | 10 a 700                 | 90                | 1 a 11                |
| Foliestireno  | 9               | 7 000  | 1 a 2                    | 75                | 0.3                   |
| Cloruro de polivinilo (rigido)                        | 15              | 6 000  | 2 a 30                   | 110               | 1                     |
| Folitetrafluoroetileno (teflón)                       | 1               | 2 500  | 100 a 300                | 70                | 4                     |
| ABS COPOLIMERO de acrilonitrilo-butadieno - estireno. | 3               | 4 000 a 7 000                                    | 20 a 80                  | 95                | 1 a 10                |
| Poliamicas (Nylon 6/6)                                | 1               | 11 800   | 60                       | 118               | 1                     |
| Acrílico (Lucita)                                     | 1               | 8 000  | 5                        | 130               | 0.5                   |
| Acetales  | 1               | 10 000   | 50                       | 120               | 2                     |
| Celulósicos   | 1               | 2 000 a 8 000                                    | 5 a 40                   | 50 a 115          | 2 a 8                 |
| Policarbonatos  | 1               | 9 000  | 110                      | 118               | 14                    |
| Poliésteres   | 2               | 8 000  | 300                      | 117               | 1                     |

TABLA 3.4.1 PROPIEDADES DE PLASTICOS TERMOPLASTICOS (CONTINUACION)

| NOMBRE   | MÓDULO<br>lb /in <sup>2</sup> x 10 <sup>3</sup> | PESO<br>ESPECÍFICO | COEFICIENTE DE<br>EXPANSIÓN<br>°F <sup>-1</sup> x 10 <sup>-6</sup><br>(°C <sup>-1</sup> x 10 <sup>-6</sup> ) | DISURSION<br>FOR CALOR<br>°F (°C) | VELOCIDAD DE<br>COMBUSTION<br>in/min. |
|--|---|--------------------|--|-----------------------------------|---------------------------------------|
| Poliétileno<br>Alta densidad                                   | 120   | 0.95               | 70 (120)   | 120 (49)                          | 1                                     |
| Baja densidad  | 25  | 0.92               | 100 (180)  |                                   | 1                                     |
| Polipropileno  | 200   | 0.91               | 50 (90)  | 150 (66)                          | 1                                     |
| Poliestireno   | 450   | 1.05               | 38 (68.5)  | 180 (82)                          | 1                                     |
| Cloruro de poli-<br>vinilo (rígido)                            | 400   | 1.40               | 30 (54)  | 150 (66)                          | 1                                     |
| Poli(tetrafluoro-<br>etileno) (teflón)                         | 60  | 2.13               | 56 (99)  | 270 (132)                         | 0                                     |
| ABS copolímero<br>de acrilonitrilo-<br>butirano-estire-<br>no. | 300   | 1.06               | 50 (90)  | 210 (99)                          | 1                                     |
| Poliamidas<br>(Nylon 6/6)                                      | 410   | 1.10               | 55 (90)  | 220 (104)                         | baja                                  |
| Acrílico<br>(Lucita)   | 420   | 1.19               | 40 (72)  | 200 (93)                          | 1                                     |
| Acetales   | 520   | 1.41               | 44 (79)  | 255 (124)                         | 1                                     |
| Celulósicos  | 500 a 4 000                                     | 1.25               | 75 (135)   | 115 a 190<br>(46 a 88)            | 1.4                                   |
| Policarbonatos   | 350   | 1.2                | 25 (45)  | 275 (135)                         | !                                     |
| Poliésteres  | 340   | 1.3                | 33 (60)  | 130 (56)                          | baja                                  |

TABLA 3.4.2 PROPIEDADES DE PLASTICOS TERMOESTABLES.

| NOMBRE                             | USO PORCENTAJE                                   | RESISTENCIA<br>A LA TRACCION<br>lb / in <sup>2</sup> | PORCENTAJE DE<br>ELONGACION  | DUREZA<br>ROCKWELL<br>R            | TIPO<br>IMPACTO<br>lb / ft              |
|------------------------------------|--|--|--|------------------------------------|---|
| Fenólicos (fe-<br>nolformaldehído) | 6  | 7 500  | 0  | 125                                | 0.3                                     |
| Urea-melamina                      | 4  | 7 000  | 0  | 115                                | 0.3                                     |
| Poliésteres                        | 3  | 4 000  | 0  | 100                                | 0.4                                     |
| Epóxicos                           | 1  | 10 000   | 0  | 90                                 | 0.8                                     |
| Uretanos                           | 4  | 5 000  | -  | -                                  | -                                       |
| Silicónes                          | 1  | 3 500  | 0  | 89                                 | 0.3                                     |
| NOMBRE                             | MÓDULO<br>lb / in <sup>2</sup> × 10 <sup>3</sup> | PESO<br>ESPECÍFICO.                                  | COEFICIENTE DE<br>EXPANSION<br>°F <sup>-1</sup> × 10 <sup>-6</sup><br>(°C <sup>-1</sup> × 10 <sup>-6</sup> ) | DISTORSION<br>POR CALOR<br>°F (°C) | VELOCIDAD DE<br>COMBUSTION<br>in / min. |
| Fenólicos (fenol-<br>formaldehído) | 1 000  | 1.4  | 45 (81)  | 300 (149)                          | 1                                       |
| Urea - melamina                    | 1 500  | 1.5  | 20 (36)  | 265 (129)                          | 0                                       |
| Poliésteres                        | 1 000  | 1.1  | 42 (75.5)  | 350 (177)                          | 1.4                                     |
| Epóxicos                           | 1 000  | 1.1  | 40 (72)  | 350 (177)                          | 1                                       |
| Uretanos                           | —  | 1.2  | 32 (57.5)  | 190 (88)                           | 1                                       |
| Silicónes                          | 1 200  | 1.75   | 20 (36)  | 360 a 900<br>(177 a 482)           | 1                                       |

TABLA 3.4.3 PROPIEDADES DE LOS ELASTOMEROS.

| NOMBRE COMUN         | NOMBRE QUIMICO                        | RESISTENCIA<br>A LA TRACCION<br>lb / in <sup>2</sup> | PORCENTAJE DE<br>ELONGACION | RESISTENCIA<br>AL ACEITE<br>A LA GASOLINA | INTERVALO DE<br>TEMPERATURA UTIL<br>°F (°C) |
|----------------------|---------------------------------------|--|-----------------------------|---|---|
| Caucho natural       | cis-poliisopreno                      | 3 000  | 800                         | pobre                                     | 60 a 180<br>(-51 a 82)                      |
| GR-S o Buna S        | Copolimero estireno - butadieno       | 250  | 3 000                       | pobre                                     | - 60 a 180<br>(-51 a 82)                    |
| Isopreno             | Polisopreno                           | 3 000  | 400                         | pobre                                     | -60 a 180<br>(-51 a 82)                     |
| Nitrilo o Buna N     | Copolimero butadieno - acrilonitrilo. | 700  | 400                         | Excelente                                 | -60 a 300<br>(-51 a 149)                    |
| Neopreno<br>(GR - M) | Policloropano                         | 3 500  | 800                         | bueno                                     | -40 a 200<br>(- 40 a 93)                    |
| Silicona             | Polisiloxano                          | 700  | 300                         | pobre                                     | -178 a 600<br>(-117 a 315)                  |
| Uretano              | Políéster de difosforato              | 5 000  | 600                         | Excelente                                 | - 65 a 240<br>(- 54 a 115)                  |

### 3.5. PROCESAMIENTO DE PLÁSTICOS.

Hay muchas maneras de transformar los materiales plásticos en artículos plásticos acabados. El principio básico consiste en la fusión parcial de la masa plástica por la aplicación de calor y la compresión de los plásticos ablandados en la forma deseada por el uso de rodillos, dados, moldes, etc., con ayuda de presión. Finalmente el plástico caliente contorneado es solidificado bien a través de polimerización posterior llamado estado de curado en los materiales termofijados ó simplemente por enfriamiento en el caso de materiales termoplásticos.

El número de métodos utilizados incluyendo sus variaciones alcanza casi 100, sin embargo aquí sólo se discutirán los principales métodos para la transformación de materiales plásticos en productos acabados.

Estos métodos son:

- a) Vaciado.
- b) Extrusión.
- c) Laminación.
- d) Moldeado a compresión.
- e) Moldeado a inyección.
- f) Moldeado a chorro.
- g) Moldeado por transferencia.
- h) Moldeado por soplado.

#### 3.5.a VACIADO.

Es un proceso de moldeo que se emplea cuando el material es lo suficientemente fluido como para penetrar en las formas del molde por su propio peso.

Puede usarse un molde simple partido por la mitad, como el mostrado en la figura 3.5.1. (a). Por ejemplo, el estireno parcialmente polimerizado, se vacía en la cavidad. Ahí permanece hasta que el plástico ha polimerizado en una sustancia sólida figura 3.5.1. (b).

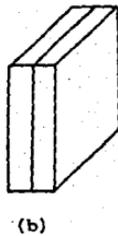
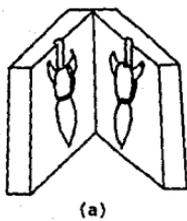


FIGURA 3.5.1 MOLDE POR MITAD.

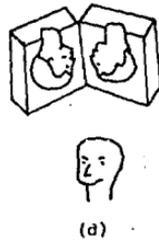
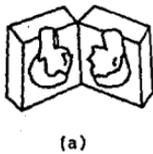


FIGURA 3.5.2 MOLDES EXCAVADOS.

A continuación se abre el molde y se retira el objeto sólido (fig. 3.5.1.c)).

Para el vaciado se emplea también un material fluido tal como la pasta de PVC, que se hecha en moldes excavados, como el mostrado en la figura 3.5.2.a), la pasta PVC plastificada, se vacía en la cavidad de un molde cerrado, b) a continuación se elimina el exceso de pasta PVC, dejando sólo una capa de pasta dentro del molde. Esta se calienta de modo que el PVC se disuelva en el plastificante, éste se enfría quedando el PVC como una capa sobre la cara del molde c). El molde se abre y el objeto moldeado con PVC se retira d).

### 3.5.b. EXTRUSION.

Es una operación continua que representa uno de los métodos menos caros por unidad de volumen de material. Sin embargo está limitado a materiales termoplásticos y a formas continuas tales como filamento, varillas, tubos, películas, hojeados, cubiertas para alambre y varias formas de perfiles.

El método usual de extrusión es conocido como "extrusión seca", ya que usa como alimentador el polvo granular seco, pero es posible alimentar con plástico fundido.

Hay tres tipos diferentes de extrusión:

1) Extrusión directa.- En la cual el diseño de un dado extruidor y dispositivo para extraer, determinan el contorno de la forma extruida.

En la figura siguiente se muestra ésta tipo de extrusión, en la cual el plástico se calienta para ablandarlo y se le fuerza a través de un orificio de modo tal que sale de él en forma continua con una sección de forma determinada por la forma del orificio.



EXTRUSION DIRECTA.

2) Extrusión semipositiva.- En la cual una parte de la superficie es controlado por un dado de formación ó molde después de que el material plástico deja el extruidor.

3) Extrusión positiva.- En la cual toda la superficie es controlada por un molde después que el material deja el extruidor, este método no se emplea como proceso continuo.

Aún cuando la mayoría de los plásticos pueden ser extrudidos, los materiales más importantes ó comúnmente usados son: Acrílicos, Acetobutirato de celulosa, Acetato de celulosa, Etilcelulosa, Nylons, Poliestirenos, Polipropilenos y Polimeros de vinilo.

#### PRINCIPIOS DE LA EXTRUSION.

Los principios básicos involucrados en la extrusión incluyen: Transformación, calentamiento, compactación y forzado del plástico fundido a través de una apertura u orificio de dimensiones especificadas bajo condiciones de temperatura y presión controladas. Ver figura 3.5.3..

La operación de extrusión consiste en la alimentación de polvo de moldeo plástico o material granular (granza) por medio de la tolva (6) a través de los orificios de llenado del cilindro extrusor (4) y de la camisa del husillo (10), sobre el husillo (5), que gira en general con extremo libre. Con la rotación

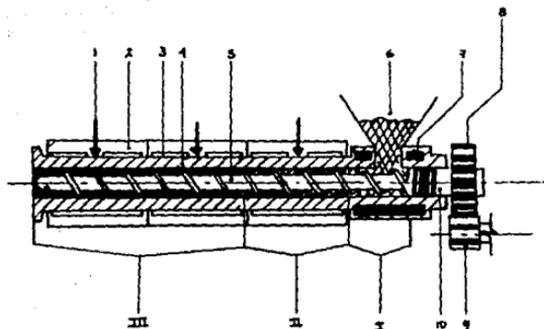


FIGURA 3.5.3 Representación esquemática de la constitución de un extrusor de husillo. (1) sonda térmica para los aparatos reguladores de la calefacción del cilindro. (2) zonas de refrigeración del cilindro. (3) elementos calefactores del cilindro. (4) cilindro. (5) husillo. (6) tolva del material. (7) refrigeración en la zona de aportación de material. (8) accionamiento del vástago del husillo. I = zona de entrada. II = zona de transformación. III = zona de salida.

del husillo, el material es movido continuamente hacia adelante a medida que se funde y se mezcla. De acuerdo con su misión, el husillo posee tres campos de acción. En la zona de entrada (1) se toma la granza del orificio de carga y se transporta hacia el cilindro en dirección del extremo de salida. El cilindro extrusor se calienta mediante elementos (3) dispuestos en la superficie exterior del cilindro. El material es prensado constantemente contra la pared interior caliente del cilindro durante el movimiento del husillo. La masa reblandecida es cizallada, amasada y homogeneizada permanentemente por los filetes del husillo, con lo que la fusión recibe un calentamiento interno adicional por transformación de energía. Dentro de la zona de transformación (II) se inicia disgregación de material y éste pasa de su consistencia sólida de granza a un estado termoeástico, avanzando en disgregación homogénea a la zona de salida (III). A medida que el plástico fundido es empujado hacia adelante, entra a la sección de "compresión ó medición" del husillo en donde es compactado y finalmente forzado hacia fuera a través de la pequeña abertura del dado donde es formado el contorno deseado, como la forma deseada puede ser cualquiera, debe ser sostenida apropiadamente hasta que pueda ser enfiada en un sólido firme de otra manera puede deformarse ó torcerse, generalmente es recogida sobre una banda transportadora ó bien sostenida por varillas ó rodillos a través de un baño de agua donde es enfiada, ya sea por aire fresco ó frío de sopladores ó por inmersión en el agua fría y finalmente arrollada en un carrete ó cortada en longitudes convenientes.

### 3.5.c. LAMINACION.

Se conocen dos tipos de laminación:

- 1) Laminación de alta presión.
- 2) Laminación de baja presión.

1) Laminación de alta presión.- Comprende las prensas con capacidades de 140 a 210 kg/cm<sup>2</sup>, se usa generalmente material termoendurecido para el laminado de hoja, varilla y tubo incluyendo la impregnación de los artículos laminados con varios tipos de resinas de laminación y formación del laminado de pilas del artículo laminado.

Las prensas de lecho grande son usadas para producir tableros laminados

industriales y decorativos de varios espesores, de 1/8" a 2" y tamaño de 60" a 80" de longitud y de 20" a 40" de ancho.

En la figura 3.5.4. se muestra este proceso, en el cual (a) la tela se pasa por un baño que contiene una solución impregnante de resina fenólica ó de alguna otra, la tela impregnada se seca y se corta en planchas (b) las planchas se apilan entre las placas de una prensa. (c) se calienta bajo presión de modo que las hojas se consoliden en un solo panel.

2) Laminación de baja presión.- Este proceso comprende rangos de presiones bajas, aproximadamente de 15 a 150 kg/cm<sup>2</sup>, por lo que pueden ser usados moldes y formas de material menos resistente en lugar de los fuertes moldes de madera, concreto, yeso y aún plásticos fenólicos vaciados.

Se usa para la fabricación de grandes estructuras laminares, tales como botes, cuerpos de automóviles, tanques y secciones del cuerpo de aeroplanos, pueden ser usadas resinas termoplásticas y termoestables.

#### 3.5.d. MOLDEADO A COMPRESION.

Este es el método más común para moldear los materiales termoestables, pero poco usado en los termoplásticos.

Consiste en comprimir el material plástico ablandado en la forma deseada por el uso de moldes, calor y presión, pueden ser moldeadas partes que varían de unos pocos gramos hasta unos 15 kg de peso.

Puede ser usado para una gran variedad de productos que van desde cajas para conmutadores eléctricos y bases para tubos de radio, hasta agitadores de máquinas lavadoras y gabinetes de televisión.

El ciclo de moldeo toma de 10 a 60 minutos dependiendo del tipo de resina termoestable empleada y el tamaño de carga. Consiste en la siguiente operación:

1.- Cargado.

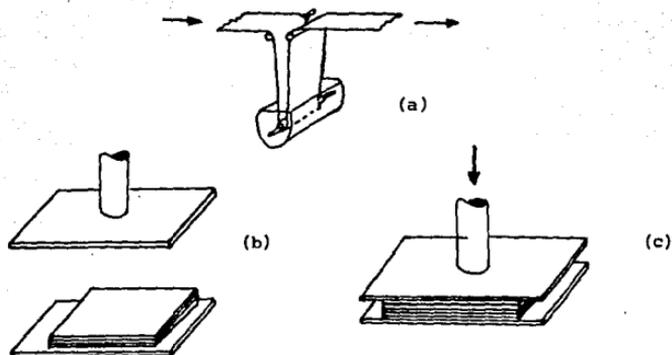


FIGURA 3.5.4. LAMINACION A ALTA PRESION.

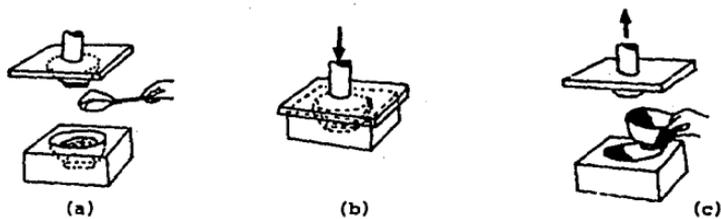


FIGURA 3.5.5. MOLDEADO A COMPRESION.

- 2.- Cerrado de la prensa.
- 3.- Fusión del plástico con ó sin liberación de presión momentánea, llamada la parte de "aspiración" del ciclo.
- 4.- Aplicación de la prensa total.
- 5.- Etapa del curado.
- 6.- Descarga de la parte plástica moldeada.

En la figura 3.5.5. se muestra éste proceso en el cual:

- a) Se coloca una cantidad medida de moldeo en el hueco del molde.
- b) Baja el macho, comprimiendo el polvo, el cual se ha ablandado en el molde caliente y fluye tomando la forma de éste. Si es un termoplástico se endurece cuando se enfría el molde. Si es un plástico fraguado térmico se endurece por el calentamiento continuo del molde.
- c) Cuando la pieza moldeada se ha endurecido se abre el molde y se retira éste.

### 3.5.e. MOLDEADO A INYECCION.

Se usa para la formación de materiales termoplásticos. Con algunas modificaciones, para un ajuste rápido de temperatura, pueden ser moldeados por inyección algunos materiales termoestables.

La elaboración de materias termoplásticas por el proceso de inyección ofrece amplias posibilidades de racionalización desde el punto de vista de producción económica, y se extiende a un dilatado campo de aplicación.

El desarrollo del proceso de inyección fue influido necesariamente por el desarrollo de materias termoplásticas y fue acompañado, ya desde sus primeros tiempos, por la exigencia de adaptar la técnica a particularidades de elaboración de los nuevos plásticos que aparecían en el mercado.

#### CURSO DEL PROCESO DE INYECCION.

En el procedimiento de inyección se introduce primeramente en la cavidad del molde relativamente frío (provisto de la reproducción en negativo de la pieza a fabricar), una cantidad dosificada de material termoplástico fundido en forma homogénea. Tras un cierto período de tiempo, solidifica la masa inyectada y la pieza puede extraerse del molde abierto.

En las figuras de la 3.5.6. a la 3.5.8. se representa esquemáticamente el proceso en sus fases principales, mediante el ejemplo de una máquina de inyección de trabajo horizontal.

La explicación seguirá el camino del material, designado con ( $M^1$ ), que se vierte en la tolva del dispositivo dosificador situado sobre la unidad inyectora de la máquina. Una determinada cantidad de este material cae ante el émbolo (17) del dispositivo dosificador (16). Esta porción de material es empujada hacia adelante por el émbolo dosificador en el curso del ciclo de trabajo y cae primeramente sobre el émbolo dosificador de inyección a través del pozo vertical de la placa transversal (19), cayendo de nuevo ante este émbolo cuando efectúa su movimiento de retroceso. Esta porción dosificada de material se designa con ( $M^2$ ). El émbolo de inyección (18) impulsa este material hacia adelante al iniciar su movimiento de trabajo a través de la camisa (20) hacia el cilindro de plastificación (13). Las bandas calefactoras (12,21) situadas en la superficie exterior del cilindro le llevan a una temperatura que produce la transformación de la masa de inyección prensada en una fusión termoplástica.

La pared interior del cilindro transmite continuamente su calor propio al granulado, que empieza rápidamente a modificar su consistencia sólida de granos bajo la influencia de la temperatura. El curso de esta disgregación del material se indica en la representación esquemática mediante el creciente ennegrecimiento del flujo de material. Para impeler el material hacia la pared interior caliente del cilindro y conseguir una influencia térmica uniforme, se ha dispuesto en el interior del mismo un dispositivo presor de la masa (22), conocido como torpedo por su configuración hidrodinámica.

La característica propia del proceso de inyección, de un método de trabajo

intermitente, hace que el avance de material no sea permanente, sino que haya una cierta permanencia de la masa en el cilindro.

Sin embargo, con cada avance aumenta la disgregación del material, llegando a la parte delantera del cilindro calefactor como una fusión plástica homogénea y lista para la inyección. A través de la boquilla (23) se presiona la masa caliente hacia el molde cerrado. El flujo propio de este proceso, que se efectúa con un despliegue de energía relativamente elevado, ha motivado que en la práctica se designe como disparo el ciclo de trabajo de la unidad inyectora. La velocidad de inyección (velocidad de disparo) depende de las propiedades del plástico que se emplea; el émbolo puede moverse en forma lenta o brusca según el diseño de la máquina.

El molde de inyección es parte de la unidad de cierre de la máquina y consta fundamentalmente de dos mitades, fijadas respectivamente a los platos portamolde del lado de la boquilla (14) y del dado del extractor (3). En la representación esquemática se indican estos platos mediante líneas de trazos.

El material inyectado atraviesa el bebedero (11) de la mitad del molde correspondiente al lado de la boquilla y llega a través de los canales de llenado a los espacios huecos del mismo, que corresponden a la imagen en negativo de la pieza a fabricar.

La cantidad de material dosificada debe ser tal que su volumen baste para llenar los huecos del molde. La masa plástica enfría al poco tiempo dentro del molde, donde un sistema de atemperado dispuesto en sus dos mitades disipa el calor y acelera el proceso de solidificación de la pieza.

Finalizando el proceso de solidificación puede abrirse el molde, y es extraída la pieza (T) por los expulsores (7) del sistema extractor. Ello ocurre cuando casi se ha alcanzado la posición de apertura máxima del plato portamolde del lado extractor y el puente extractor (30) choca con el tope (31) situado en el soporte de la máquina. Con el desmoldeo de la pieza inyectada termina el ciclo de trabajo (véase también el diagrama de la figura 3.5.9.).

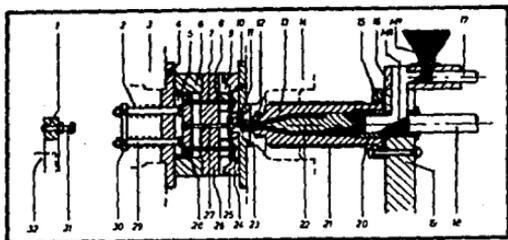


FIGURA 3.5.6. Esquema del proceso de inyección: "primer ciclo de trabajo".  
Los números de referencia de las representaciones esquemáticas significan:  
(1) soporte extractor. (2) resorte placa extractora. (3) plato porta molde  
lado extractor. (4) cuerpo de fijación posterior. (5) placa extractora pos-  
terior. (6) placa distanciadora. (7) expulsor. (8) elemento posterior de  
moldeo. (9) placa posterior del molde. (10) cuerpo de fijación anterior.  
(11) hebadero. (12) banda calefactora. (13) cilindro de plastificación. (14)  
plato portamolde lado boquilla. (15) anillo fijación cilindro. (16) dispositi-  
vo de dosificación. (M<sup>2</sup>) material dosificado. (M<sup>1</sup>) material en la tolva.  
(17) émbolo de dosificación. (18) émbolo de inyección. (19) placa transversal.  
(20) camisa. (21) banda calefactora. (22) presor de la masa (torpedo). (23)  
boquilla. (24) cuerpo anterior de moldeo. (25) placa anterior del molde. (T)  
pieza moldeada. (26) placa intermedia. (27) expulsor de mazarota. (28) placa  
extractora anterior. (29) perno extractor. (30) puente extractor. (31) tope  
extractor. (32) cuerpo de la máquina.



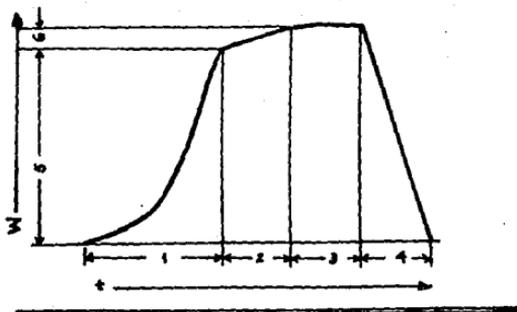


FIGURA 3.5.9. Diagrama recorrido-tiempo del llenado del molde. (1) avance de la unidad inyectora y operación de inyección. (2) operación de prensado final. (3) cierre de la abertura del bebedero. (4) retroceso de la unidad inyectora. (5) línea de recorrido: avance-inyección (1). (6) línea de recorrido: prensado final-bloqueo (2,3). W = recorridos: unidad inyectora. t = línea de tiempo.

Resumiendo puede subdividirse el proceso de inyección en varias operaciones aisladas como sigue:

- \* Dosificación de una cantidad de granulado, correspondiente al volumen del molde, ante el émbolo de inyección.

- \* Fusión del material en el sistema de plastificación, hasta alcanzar una consistencia termoplástica apta para la inyección.

- \* Inyección del material termoplástico en el molde cerrado relativamente frío.

- \* Enfriamiento del material inyectado hasta la solidificación que permite el desmoldeo de la pieza.

- \* Desmoldeo de la pieza con el molde abierto.

### 3.5.f. MOLDEADO A CHORRO.

El moldeado a chorro es una modificación del moldeado por inyección diseñado especialmente para acomodar algunos compuestos de moldeo de materiales termoestables.

Toma su nombre de la boquilla alargada o "surtidor" unido al frente del cilindro de moldeo por inyección. Este está equipado con un elemento de calentamiento de alta intensidad que permite temperaturas instantáneas hasta de 1000 °F, así como también con espirales de enfriamiento.

El plástico termoestable es sencillamente ablandado en el cilindro calentado de la máquina de moldeado por inyección, lo suficiente para permitir que el émbolo lo empuje hacia la boquilla donde es calentado rápidamente hasta una consistencia fluida o inyectada al émbolo hacia el molde, la pequeña cantidad de plástico que permanece en el surtidor es enfriada rápidamente para prevenir su fijación en un duro e infusible tapón, mientras que el émbolo es regresado y cargado un suministro fresco de plástico en la parte trasera del

cilindro.

### 3.5.g. MOLDEADO POR TRANSFERENCIA.

Este proceso combina elementos tanto del moldeo por compresión como del moldeo por inyección y permite que algunas de las ventajas del moldeo por inyección sean usadas en los polímeros termoestables.

Aquí se usa un doble intercambiador para los plásticos termoestables. El plástico es calentado bajo presión en un intercambiador, que puede ser un cilindro o un crisol; después de fundido, el plástico es inyectado en el molde adyacente y comprimido a la forma deseada.

Este proceso puede ser usado con éxito con compuestos rellenos de resinas fenólicas, urea y melamina conteniendo fibra o teja cortada como material de refuerzo. También es útil para facilitar el moldeo de formas intrincadas con agujeros profundos o numerosas inserciones metálicas. El material plástico licuado en el moldeoado por transferencia fluye alrededor de estas partes metálicas sin provocar que cambie de posición, como lo hacen frecuentemente en el moldeoado a compresión con polvo de moldeo seco.

En la figura 3.5.10 se muestra éste proceso en la cual (a) el polvo de moldeo se calienta en un cilindro que se haya por encima del molde, este cilindro está conectado a la cavidad del molde por un pequeño orificio, (b) cuando el molde se cierra, se juntan ambas mitades y el material blando se fuerza a través del orificio dentro del molde.

### 3.5.h. MOLDEADO POR SOPLADO.

El proceso de moldeoado por soplado puede realizarse por dos métodos:

El primero utiliza un molde simple para soplado el cual está formado por dos mitades que cuando se cierran constituyen un molde completo ver figura

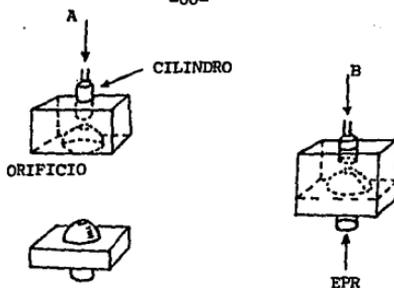


FIGURA 3.5.10. MOLDEADO POR TRANSFERENCIA.

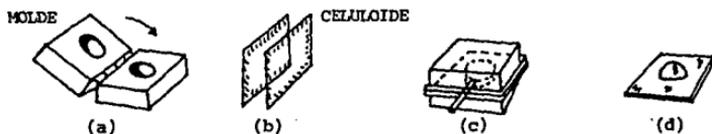


FIGURA 3.5.11. MOLDEADO POR SOPLADO (I).

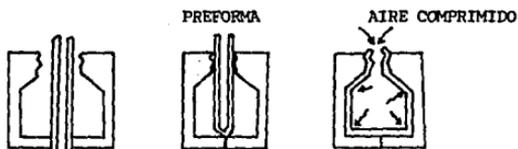


FIGURA 3.5.12. MOLDEADO POR SOPLADO (II).

3.5.11., el proceso consiste en calentar dos hojas de celuloide para ablandarlas (b) y se les coloca entre las dos secciones del molde. Se sopla aire o gas a presión a través de la boquilla que se halla entre las hojas, ésto infla las hojas adaptándolas a la forma del molde. Luego se retira la boquilla, (c) cuando el celuloide se ha enfriado, retiene la forma en que se ha soplado, la parte no moldeada se recorta (d).

El segundo método se lleva a cabo con un globo caliente de plástico, llamada preforma, el cual es introducido en un molde y, mediante un gas a presión es expandido contra las paredes del molde o dado. Ver figura 3.5.12.

Este último método es más empleado debido a lo práctico y rápido que resulta para un proceso intermitente. Este proceso se utiliza para producir botellas plásticas, recipientes y muchas otras formas huecas.

### 3.6. APLICACIONES.

#### POLIETILENO

a) Poliétileno de baja densidad.- Tiene aplicación en los siguientes sectores:

- \* Envase y empaque.- Bolsas, botellas para leche y shampoo, envase industrial, sacos y costales.
- \* Construcción.- Tubería (conduit)
- \* Agricultura.- Película para invernaderos, tubería para riego.
- \* Eléctrico - electrónico.- Aislantes para cables y conductores.
- \* Juguetes.- Juguetes pequeños de novedad y en grandes producciones.

b) Poliétileno de alta densidad.- Tiene aplicación en los siguientes sectores:

- \* Envase y Empaque.- Bolsas, botellas para leche y yogurt, envases para productos químicos.
- \* Eléctrico - Electrónico.- Aislantes de cables, cuerpos de bobinas.
- \* Consumo popular.- Bandejas, redes para pesca, regaderas, tejidos técnicos y tapicerías.
- \* Automotriz.- Bidones para aceite y gasolina, conexiones y tanques para agua.
- \* Juguetes.- Caballitos, carritos y muñecas.

c) Poliétileno lineal de baja densidad.- Su principal aplicación es en películas porque es muy resistente y permite disminuir calibres.

- \* Empaque y envase.- Películas para envolver pan, empaques para congelar comida, bolsas de uso pesado, película para envolver carne, películas estirables, bolsas para hielo y pañales desechables.

d) Poliétileno ultra alto peso molecular.- Sus aplicaciones van encaminadas principalmente a partes y refacciones de maquinaria. Por lo tanto se hace la siguiente clasificación:

- \* Manejo de materiales.- Soleras de fricción, cintas goma, canales, cintas

de desgaste, placas deslizantes, tolvas, rodamientos.

\* Minería.- Rodillos o camisas de desgaste, recubrimiento para bandas transportadoras, ruedas, bujes, tones, herramientas varias.

\* Bebidas (como refacciones de maquinaria): Estrellas, tornillos sin fin, espaciadores, placa de desgaste, levas y guías.

\* Eléctrica.- Partes de motores eléctricos, interruptores, acopladores.

\* Productos químicos.- Filtros, partes para válvulas, juntas, bujes y empaques.

\* Fundiciones.- Placas para manejar la arena húmeda en las tolvas y silos, pernos para la transmisión de la potencia de los motores.

\* Refrigeración.- Pistones, válvulas, rodamientos.

\* Aserraderos.- Resbaladillas, canales y soleras de desgaste para cadenas.

#### POLIPROPILENO

Tiene aplicaciones en los siguientes sectores:

\* Empaque y envase.- Como película metalizada ( botanas, chocolates, etc.), película biorentada (sopas, cigarrillos, sector textil y carnes frías), botellas (para vinagres, salsas, mayonesas, etc).

\* Industria automotriz.- Acumuladores de automóviles, tableros, ductos para calefacción, filtros de aire, parrillas y ventiladores.

\* Electrodomésticos.- Cafeteras, carcasas, aspas de lavadoras.

\* Eléctrico - electrónico.- Recubrimiento de alambre y cable, mangos de herramientas, gabinetes de radio, cintas para audio y video.

\* Artículos domésticos.- Vasos, platos, contenedores de alimentos.

\* Consumo popular.- Portafolios, jeringas, atomizadores, sillas, juguetes.

\* Otros.- Tubería, cascos de seguridad, laminaciones.

#### POLIURETANO

Gracias a sus propiedades son idóneos para aplicaciones muy variadas.

a) Espuma flexible.- Tiene aplicación en los siguientes sectores:

\* Muebles.- colchones, cojines para muebles, cuñas de cabezales, asientos y respaldos.

\* Textiles.- Hombreras, cintas adhesivas, tiendas de campaña.

\* Empaque y embalaje (como transporte de).- Máquinas de escribir, equipos de precisión, computadoras, televisores.

\* Consumo popular.- Esponjas para baño, autodeslizantes bajo alfombras, piezas troqueladas, filtros.

b) Espuma rígida. - Sus características de aislamiento térmico hacen que se utilice en :

\* Construcción.- Aislamiento térmico de paredes, techos y paredes de hormigón ligero, pinturas anticorrosivas, ventanas, juntas.

\* Embalaje.- Para transporte de equipo pesado.

c) Espuma piel integral. - Su mayor campo esta en la industria automotriz:

\* Automotriz.- Cadenas de nieve para llantas, tableros, protecciones laterales, palanca de velocidades, asientos, salpicaderas y defensas.

\* Calzado.- Tacos para suelas deportivas, cascos de botas de esquí, tacos de zapato.

d) Poliestireno termoplástico. - Tiene las siguientes aplicaciones:

\* Automotriz.- Defensas para autos, contenedores y juntas.

\* Maquinaria.- Cadenas y bandas de engranes, elementos mecánicos en cosechadoras.

\* Eléctrico - electrónico.- Tubería de conducción y revestimiento de cable.

\* Laminación.- Contenedores de suero, charolas de consumo, mandiles, película de alto esfuerzo, cribas y filtros de separación.

### CLORURO DE POLIVINILO

Después que el PVC ha sido procesado, tiene una diversidad de usos debido a sus múltiples propiedades. A continuación se presenta la estructura siguiente:

- a) Segmento rígido.- Sus aplicaciones en general son en tubería, botellas, película (empaques y envasado), discos y perfiles.
- b) Segmento flexible.- Sus aplicaciones en general son en calzado, película (forros de carpeta, cortina de baño y pañales), recubrimiento de cable, varios (piezas para torres de enfriamiento, rizadoros para cabello y tapas de licuadoras), recubrimiento de tela, perfiles y loseta.
- c) Segmento emulsión.- Sus aplicaciones en general son en tela plástica, plástico (pelotas), plastilina (tapas de botellas de refresco) y juguetes.

### POLIMEROS DE ESTIRENO

#### A. POLIESTIRENO CRISTAL.

- a) Poliestireno cristal de alto flujo.- Dada su elevada fluidez se transforma por el proceso de inyección, y tiene los siguientes usos: Cancelería para baño, imitación cristal, plumas, envases de alimentos, cajas transparentes.
- b) Poliestireno cristal de flujo medio.- Se utiliza para artículos desechables y decorativos, así como para piezas de laboratorio, reglas, partes y cuerpos de juguetes, puertas y cancelería para baño, plafones para iluminación.
- c) Poliestireno cristal de fluidez moderada.- Tiene las siguientes aplicaciones: Láminas de exhibidores, artículos del hogar, industria electrónica.
- d) Poliestireno cristal resistente a la temperatura.- Se utiliza para piezas que requieran buena resistencia térmica y transparencia como son, capelos, cajas de cassetts, puertas para baño y engranajes (reforzados con fibra de vidrio).

B. POLIESTIRENO EXPANDIBLE (EPS).

\* Estructura rígida celular.- Tiene aplicación en envases térmicos, flotadores, deslizadores (1 m<sup>3</sup> de EPS puede soportar hasta 990 kg antes de sumergirse) y artículos navideños.

\* Edificación.- Losa reticular, plafones, muros divisorios, fachadas y ductos de aire acondicionado.

\* Vivienda.- Sistemas de losas, sistemas integrales ( muro - losa) y sistemas de aislamiento.

\* Especialidades industriales.- Frigoríficos, concreto aligerado, aislamiento de tuberías y techos.

\* Cuerpos moldeados.- Artículos decorativos, empaques comerciales, industriales y agrícola.

C. COPOLIMÉROS DE ESTIRENO.

Poliestireno grado impacto.

a) Medio impacto (alto flujo, grado inyección).- Sus aplicaciones son las siguientes:

\* Envase y empaque.- Tapas roscadas, tapones y empaques en general.

\* Hogar.- Platos y vasos desechables.

\* Artículos escolares.- Sacapuntas.

b) Medio impacto (resistente al calor) .- Tiene aplicaciones en envases y empaques en general, es ideal para recipientes que contienen alimentos.

c) Alto impacto (alto flujo, grado inyección).- Tiene aplicación en asientos sanitarios, carretes industriales, carcazas de electrodomésticos, cuerpos de cassetts, cubiertas y partes para radio, parte y cuerpo de juguetes. Como espuma estructural se obtienen muebles y accesorios, y como perfiles en partes industriales.

d) Alto impacto (flujo medio, grado inyección y extrusión).- Se utiliza para fabricar envases y empaques termoformados de espesores menores a los convencionales con menores ciclos de moldeo. En paredes gruesas se emplea para tacos de zapato de mujer.

e) Super alto impacto(alto flujo, grado inyección).-- Se aplica para piezas que requieren de alta resistencia en producto final.

f) SAN .-- Se utiliza para producto que requieren transparencia, muy alta resistencia a la tensión, rigidez y buena estabilidad dimensional, por ejemplo, en aspas de ventiladores, vajillas, manuales para sanitarios y escapelos para tocadiscos.

#### D. TERPOLIMERO DE ESTIRENO.

a) ABS.-- Existen grados especiales de ABS para cada caso particular de aplicación.

- \* Productos finales resistentes al impacto, con brillo y rigidez como: Teléfonos, estuches para máquina de escribir portátiles, paneles y equipos de calefacción para automóviles, bases para ventiladores.

- \* Productos finales resistentes al impacto, brillo natural y dureza como: Mangos para herramientas y tacones de zapatos.

- \* Productos finales resistentes al impacto como: Palos de golf, bases para licuadoras, bobinas, carretes y sillas.

- \* Productos finales formados al vacío (termoformado): Puertas y forros internos de refrigeradores, conchas para asientos, perfiles y bandejas.

#### ALEACIONES

Las aleaciones poliméricas cubren propiedades especiales del material al aplicarlos en productos tales como:

a) ABS/PA .-- Parrillas, rings de llantas, armazón de espejos, cubiertas de herramientas eléctricas, artículos deportivos, cubiertas de monitores cardíacos.

b) ABS/PC .-- Carcazas domésticas, parrillas, tableros, partes automotrices, máquinas de oficina, electrodomésticos, boquillas de ventilación, guanteras, cubiertas de volante, insignias electroplateadas, cafeteras, secadoras de pelo, carcazas de plancha y motores.

c) ABS/PVC.-- Limpiadores al vacío caseros, salpicaderas traseras, lavadoras,

secador de cabello, máquina de escribir, fotocopiadoras, contenedores de dis-ketts, gabinetes electrónicos, cajas de unión en interior de aviones, cubiertas de conductos de aire acondicionado y piel de tablero suave.

d) PPO/PS .- Panel de instrumentos, gabinetes de T.V., partes eléctricas de transporte marino, bombas de agua y medidores de agua.

e) ABS/PSU.- Hornos de microondas. Acepta cambios de temperatura.

#### ACETALES

a) Homopolímero.- Tiene aplicación en los siguientes sectores.

\* Electrodomésticos.- Cuerpos de encendedores de gas butano, cuerpos de cartuchos reemplazables en rasuradoras, componentes de juguetes mecánicos, partes de teléfono y cierres para artículos de ropa.

\* Automotriz.- Componentes del sistema de combustible, cinturones de seguridad, engranaje de dirección, mecanismo elevador de cristales y partes del tablero.

\* Industria mecánica.- Acoplamientos mecánicos, cangilones, placas para cintas o bandas transportadoras e impulsores de bombas.

\* Plomería.- Regaderas, válvulas de mezclado, cartucho sanitario y lavabo.

\* Agrícola.- Regaderas o irrigadores de jardín, componentes de artículos agrícolas y de maquinaria agrícola.

\* Seguridad.- Manijas para extinguidores de fuego.

\* Audio y video.- Componentes para equipos de audio y videocassette.

b) Copolímero.- Tiene aplicación en los siguientes sectores.

\* Electrodomésticos.- Contenedores presurizados.

\* Automotriz.- Clip para vestidura, cubiertas para hebilla del cinturón de seguridad, partes de la bomba de gasolina, indicador del nivel de gasolina y válvulas de control de calor en los automóviles.

\* Industria mecánica.- Engranajes, levas, clips, argollas, agarraderas, carcazas, impulsores de bombas, cojinetes.

\* Construcción.- Perfiles, tubos, cilindros, placas y recubrimiento de alambros.

bres.

- \* Consumo popular.- Peines y cuerpos de bolígrafos.

#### POLIAMIDAS

a) Nylon cristalino (opaco).- Tiene aplicaciones en los siguientes sectores.

- \* Empaque.- Películas de baja permeabilidad al oxígeno para empaquetar carne, envoltura de embutidos (saichichas), botellas, bolsas para bebidas congeladas y tanques para combustibles.

- \* Artículos domésticos.- Carcaza y toberas de aspiradoras de polvo, limpiador de polvo, batidora manual, cerdas para cepillos, ruedas de sillas y escritorios, cepillos y secadores de cabello y herrajes de puertas.

- \* Partes eléctricas y electrónicas.- Clavijas y conectores, componentes mecánicos de computadoras, recubrimiento de cable y alambre, partes telefónicas e interruptores.

- \* Industria automotriz.- Manijas de puertas, bases de espejos exteriores, filtro para carburante, precalentador de carburador, cierre del depósito de carburante, placas de mando de la dirección y tapones.

- \* Partes de artículos deportivos.- Bases para patines de ruedas, soportes para patines sobre hielo, arandelas para bastones de esquiar, parrilla portaequipajes de bicicleta, suelas de zapato de fútbol y hilo para pescar.

- \* Maquinaria y equipos.- Válvulas, bombas, medidores y filtros. Componentes (levas, engranes, ruedas dentadas, rodamientos, poleas, etc.).

b) Nylon amorfo (Transparente).- Tiene las siguientes aplicaciones:

- \* Componentes de recipientes de filtros, equipo óptico, indicadores de flujo y de nivel, conectores eléctricos, separadores químicos y aplicaciones electrónicas. Alta tecnología médica en partes transparentes en el aparato respiratorio y riñones.

#### POLICARBONATO

Tiene aplicación en los siguientes sectores:

- \* Envase y empaque.- Biberones, cantimploras, contenedores de alimentos,

botellas de leche de uso repetido, botellas para agua y moldes para chocolate.

\* Eléctrico - electrotécnico.- Carcazas para teléfono de automóviles, displays, portalamparas, enchufes especiales, interruptores de protección, contadores de corriente, núcleos de bobinas, carcazas y tapas para cajas de distribución, soportes de tubos fluorescentes y compact disc.

\* Iluminación.- Carcazas de lámparas, pantallas de lámparas, difusores de luz y paneles, acristalamiento de seguridad y carcazas de señaladores.

\* Artículos domésticos.- Carcazas para cafeteras, rasuradoras, asadores, secadores eléctricos, depósitos de agua para planchas de vapor, filtros para café, vajillas especiales y fregaderos.

\* Automotriz (policarbonato no reforzado).- Cajas de fusibles para autos, tapas y recubrimientos de instalaciones eléctricas, rejillas de ventilación y refrigeración, cristales para faros, rotulas y letreros indicadores, cascos protectores, brazos de limpiabrisas, parabrisas y defensas (parachoques).

\* Seguridad.- Gafas protectoras, cascos protectores, viseras de cascos.

\* Óptica.- Proyectores de diapositivas y de películas angostas, carcazas para cámaras de imagen pequeña, lentes y portales, elementos para microscopios y portaobjetivos.

\* Medicina.- Recipientes para anestecia, caretas respiratorias, frascos lava - ojos, filtros de presión, capsulas petri y elementos para marcapasos.

\* Deportes.- Lámparas para botes, computador de velocidad en bicicletas, carcazas de brújulas y planchas de surfing.

\* Artículos de oficina.- Plumas estilográficas, bolígrafos, reglas y plantillas de dibujo, calculadoras de mesa y carcazas de computadora.

#### ACRILICO

Debido a su propiedades tiene extensas aplicaciones en los siguientes sectores:

\* Construcción y decoración.- Domos, techos en general, fachadas, Ventaneria, divisiones, tinas sencillas y de hidromasaje, canceleria, modulos para regadera, repisas, casetas telefónicas, manerales, muebles y pisos.

\* Publicidad.- Anuncios, exhibidores, señalización, mostradores, bases y cartelletes.

- \* Iluminación.- Difusores, lentes, techos y cubiertas.
- \* Industria automotriz, aeronáutica y marina.- Espejos, medallones, placas, tableros de instrumentos, señales, luces de combinación trasera, triángulos de seguridad, reflejantes, cubiertas de iluminación, pizarras para radar y cabinas.
- \* Industria electrónica.- Capelos, displays, cuadrantes, bases y soportes.
- \* Medicina.- Odontología y prótesis.
- \* Varios.- Guardas de seguridad para equipo, soportes y mirillas para equipo, lentes con o sin aumento para uso óptico y laboratorio, vehículos recreativos, juguetes y artículos de oficina.

#### POLIESTER TERMOPLASTICO.

a) PET.- A continuación se dan las aplicaciones del PET en los diferentes sectores de la industria.

\* Envase y empaque.- Botella (para aceites comestibles, jugos de frutas, mostazas, etc.) y Tarros (para café, salsas, mermeladas, encurtidos, etc.).

Para productos que requieren un llenado en caliente, jugos, salsas, se utilizan envases moldeados con varias capas, PC + PET, PET + AN, PET + PVC. Se utiliza también para el envasado de antisépticos, laxantes y otros medicamentos.

\* Electrodomésticos.- Tostadores, hornos de convección, freidores, tenazas eléctricas, sartenes eléctricos, planchas, secadores de pelo y asas.

\* Eléctrico - electrónico.- Cintas magnéticas, cintas para computadora, cintas de audio y video, motores eléctricos, engranes, bases de relevadores, transformadores, copiadoras, capacitores, circuitos impresos, aislamiento de cable, bobinas, cintas para microfilm y computadoras.

b) PET (grado película).- Se destina al empaque de alimentos, se usa como base para laminados termosellables o metalizados. La película de PET metalizada con aluminio por un lado y recubierta por ambos lados con SARAN (PVDC) sellable térmicamente, se usa para el empaque de productos muy sensibles a la humedad como son dulces, fármacos, reactivos químicos secos y polvos para preparar bebidas.

c) Copoliésteres (PETG).--Se utiliza para producir una amplia gama de formas como tubos, películas ó placas para su uso en la industria del empaque. En forma de película se usa en artículos de papelería, películas protectoras y contenedores termoformados. Se aplica, por moldeo, en partes traseras de sillas y cubiertas de instrumentos.

d) PCTG.-- Este material se emplea en la industria del empaque para la producción de artículos pesados. Cumple con las normas F.D.A. para su uso como material de empaque para carne y productos lácteos.

e) PET (grado fibra).-- Debido a su alta resistencia se usa en: Llantas, telas tejidas y cordeles. Por su baja concentración se usa en: Partes para cinturones de seguridad, hilos de costura y refuerzos de llantas. Por su baja elongación y alta tenacidad se utiliza en: Mangueras y soporte de cinturones.

f) PBT (grado ingeniería).-- Se utiliza en: Carcazas de bobinas, transformadores eléctricos, armadura de bombas, componentes de albercas, soportes, broches, partes de herramienta, cerraduras de puertas, válvulas de irrigación, rociadores mecánicos y cámaras de medidores de agua.

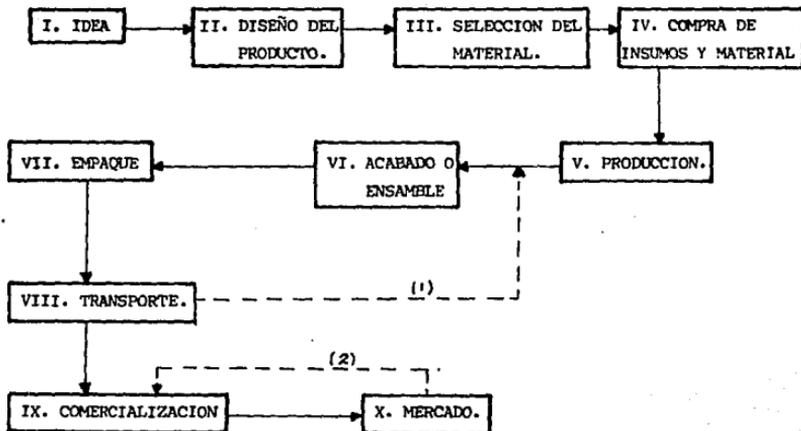
\* Industria automotriz.-- Tapas de distribuidor, rotores, deflectores de ventilador, bobinas de ignición, extensiones deflectoras, transmisión eléctrica, válvulas de vacfo, conectores moldeados para cables, cerrajería de puertas y ventanas, cajas de fusibles y terminales, puentes de rectificador, parabrisas, tapas del tren de engranes, interruptores de limpiaparabrisas, partes del sistema de frenos, salpicaderas y paneles.



Actualmente las personas que se ven involucradas con el sector de los plásticos se preparan cada vez más y ya pueden hacer comparaciones con otros materiales en forma más realista sin embargo no los conocen todos, debido a que día con día surgen nuevos materiales. Además la fabricación de una pieza pasa por varias fases y diferentes departamentos de la compañía los cuales la evalúan de diferente forma y toman consideraciones muy diferentes en el momento de aprobarla como se verá más adelante.

#### 4.1. NACIMIENTO DE UN PRODUCTO.

Cuando nos encontramos con un producto en el mercado este ha pasado por varias fases en las cuales fué creado, modificado y comercializado. Estas son:



Estas fases como observamos pueden ser iterativas como en el caso (1) donde el producto es sólo una parte de un gran todo como es el caso de engranajes para electrodomésticos o piezas automotrices por lo que se le vende a un comprador primario pero éste no es el usuario final porque sólo va a ensamblar las piezas y probablemente adicionarle algo más para después hacer llegar el producto al verdadero usuario.

En el caso (2) este ciclo es permanente ya que a un producto se le desarrolla una campaña publicitaria para lanzarlo al mercado, que si no funciona se le modifica y vuelve a realizar el intento, ó también conforme cambian las modas también puede ser modificada esta campaña publicitaria.

#### 4.2 MODELO DE DESARROLLO.

Cuando se requiera seleccionar un plástico para desarrollar una nueva pieza o bien sustituir una pieza fabricada con algún metal, se recomienda seguir el siguiente modelo de desarrollo y considerar los factores mencionados a continuación:

1. Realice un esquema de la pieza o inicie con los dibujos de la pieza metálica.

Recordando que el dibujo técnico hace posible transmitir a todos los servicios de producción la concepción técnica y los condicionantes de fabricación que lleva implícitos. Es por ello que este lenguaje convencional está sujeto a unas reglas definidas por la normalización que evitan todo error de interpretación. De esta forma es posible estudiar, representar y construir todo tipo de piezas técnicas.

Dibujos de diseño.- Estos dibujos se realizan en la oficina de estudios. Su elaboración pasa por distintas fases, primero se realizan croquis, después anteproyectos y finalmente proyectos.

CROQUIS.- Es un dibujo rápido limitado a los elementos esenciales de un mecanismo con el objeto de presentar la idea de conjunto y de explicar su funcionamiento.

ANTEPROYECTO.- Presenta de forma más detallada, el diseño de los principales elementos que componen el mecanismo. Ello permite seleccionar una solución entre los diversos anteproyectos y conseguir los acuerdos necesarios para proseguir los estudios.

PROYECTO.- Que se obtiene del anteproyecto seleccionado, define por completo el conjunto de un mecanismo.

2. Defina y verifique quien es el cliente o usuario final para el proyecto. Es importante identificar donde y quienes tomarán las decisiones sobre la pieza. Identifique si existe un mercado para la pieza a desarrollar y su potencial económico.

Cuando surge la idea de fabricar algún producto, ésta puede variar desde el momento en que se concibe la misma enfocándola a:

- a) Desarrollo de un nuevo producto.
- b) Sustituir el material con que esté hecho el producto por plástico.
- c) Adaptar una pieza a un mecanismo ya existente.
- d) Optimizar un producto ya desarrollado ya sea modificando su diseño ó el material con el cual esta fabricado.

Analizando estos cinco puntos se hace una revisión rápida del mercado y de la complejidad ó simpleza con la que puede ser desarrollado el producto.

Después de definir que mercado se va a satisfacer y el tipo de pieza que se va a desarrollar se procede al siguiente paso.

3. Diseño del producto.- Para diseñar un producto se debe de poner atención en los siguientes puntos:

a) Especificaciones marcadas.

En muchos artículos, sobre todo en los que van dirigidos al exportación ya se han establecido ciertas características las cuales están reguladas y controladas por asociaciones definidas como la ASTM, DIN, ISO, DGN ó por empresas las cuales definen los requisitos con los que debe cumplir cada artículo que interviene en su línea de producción tal es el caso de las compañías automotrices como FORD, VOLKSWAGEN, NISSAN, etc. ó los de electrodomésticos como BLACK & DECKER, BRAUN, IEM, etc.

Estos requisitos se deben de revisar cuidadosamente ya que en ocasiones se desarrollan los productos y cuando se revisan las especificaciones que marca la empresa cliente se observa que no cumple con ninguna de ellas, por lo que el artículo no es competitivo.

Cabe aclarar que una norma es diferente a una especificación:

NORMA.- Es cumplir con un todo de propiedades que hagan útil a un producto para su aplicación final. Es el método de prueba para medir una propiedad.

ESPECIFICACION.- Es cumplir con las condiciones ó características que marca el método de prueba, para poder recibir una clasificación.

La principal institución que regula las normas para métodos de prueba de diferentes propiedades y que incluye 89 países, de los cuales 72 poseen Institutos Nacionales de Estandarización, es la ISO - International Standardization Organization (Organización Internacional de Estandarización) que se apoya en la IEC - International Electrotechnical Commission (Comisión Internacional Electrotécnica) para las normas correspondientes a las propiedades eléctricas.

Algunos de los Institutos Nacionales que regula la ISO son:

- ASTM American Society For Testing and Materials (sociedad Americana para pruebas y Materiales).
- DIN Deutsches Institut für Normung (Instituto Alemán para Normalización).
- AFNOR Association Francaise de Normalisation (Asociación Francesa de Normalización).
- ANSI American National Standards Institute (Instituto Americano para estándares Nacionales).
- BSI British Standards Institution (Institución Británica de Estándares).
- IRANOR Instituto Español de Normalización.
- SNV Association Suisse de Normalisation (Asociación Suiza de Normalización).

Las especificaciones pueden ser controladas y elaboradas por cada compañía y dos Instituciones mundialmente conocidas dedicadas a esto son:

- UL Underwriter Laboratory (Laboratorio de Seguridad).
- FDA Food and Drugs Association (Asociación de alimentos y medicamentos)..

Cada uno de estos organismos tiene una clave para cada método de prueba y control a manejar.

b) FUNCIONES A CUMPLIR.

Describe y analice las funciones que se esperan la pieza realice, así como las piezas con las que estará en contacto, tomando también en consideración aspectos tales como espacio físico, la instalación y el mantenimiento requerido para la pieza.

Se refiere a que propiedades de resistencia mecánica y funcionalidad debe cumplir la pieza para que sea efectiva. Aquí se debe cuidar que un engrane tenga un diseño de dientes correcto, que si la pieza va a tener movimiento lo realice sin ninguna fractura, en el caso de tratarse de una botella ó caja que cierre adecuadamente, si son recipientes a presión, si son recipientes que soporten grandes cargas que no presenten aristas a 90° , etc.

4. CONSIDERACIONES DEL MATERIAL PLASTICO.

Es necesario considerar las propiedades del plástico que nos garanticen la funcionalidad de la pieza desarrollada. Las principales propiedades y factores a considerar son:

a) RESISTENCIA AL MEDIO AMBIENTE TOTAL.

Además de cuidar que la pieza cumpla con los requisitos adecuados que la hagan funcional, también se debe considerar que esta pieza va a ser afectada por el transporte, almacenamiento y agentes externos fuera de su función específica.

Tal es el caso de piezas fabricadas en Nylon, que si su planta de producción está en la Ciudad de México y después se llevan a ensamblar en Acapulco ó Veracruz, por la humedad del medio ambiente cambian sus dimensiones y con ello dejan de ser funcionales.

También algo parecido se presenta en el caso de películas, las cuales si

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

fueran fabricadas correctamente de tal forma que sus propiedades son adecuadas pero si no se consideró que esta película va a estar expuesta a la intemperie y no se le agregó negro de humo ó un absorbedor de luz ultravioleta, es muy factible que al poco tiempo de estar funcionando se fracture y deje de ser útil.

Por lo anterior se debe definir si la pieza considerada estará expuesta al ataque de la luz ultravioleta. Los plásticos son vulnerables a este tipo de luz, ya que ocasiona ruptura en las moléculas y un deterioro importante en las propiedades del plástico en el largo plazo.

Lo mismo pasa por el efecto de un ambiente salino, corrosivo, húmedo ó grasoso. Esto último se presenta cuando los electrodomésticos no son diseñados para la resistencia al coque siempre presente en la cocina.

b) DURABILIDAD.

Definida como la expectativa de vida útil que la pieza a desarrollar debe tener. Esta podrá estar definida por el conjunto al que la pieza pertenece, variando de acuerdo al artículo en cuestión, no es igual diseñar una pieza para una bicicleta que para una destinada al mercado automotriz o quizá una pieza para una avión.

c) ESTABILIDAD DIMENSIONAL (CONTRACCION DE MOLDEO).

En el momento de diseñar la pieza y fabricar los moldes prototipo es necesario observar y especificar si la pieza permite contracción en el moldeo sin afectar sus cualidades de funcionamiento.

d) CARACTERISTICAS QUIMICAS.

Es necesario considerar el tipo de contactos a los que estará expuesta la pieza. Estos pueden ser desde alimentos hasta solventes químicos y detergentes.

A este respecto cada uno de los plásticos se comporta de manera diferente

y es muy difícil que una hoja técnica incluya sus características ante diferentes medios. La naturaleza química y eléctrica de los plásticos esta estrechamente relacionado a causa de la composición molecular. Esta no es una regla general para la resistencia química. Fluorocarbonatos, poliesteres clorados y polietilinas son entre otros, materiales con resistencia química. Algunos plásticos reaccionan como membranas semipermeables. Estos seleccionan el paso de químicos ó gases mientras bloquean el paso de otros. La permeabilidad del polietileno es una ventaja para ser usado para el envasado de fruta fresca y comida en general. Los silicónes y otros plásticos permiten el paso del oxígeno y otros gases a través de una delgada membrana mientras al mismo tiempo detiene moléculas de agua y algunos iones. Algunas membranas semipermeables de plástico pueden ser utilizadas para la filtración de minerales del agua.

e) CARACTERISTICAS MECANICAS.

Es necesario tomar en cuenta todas aquellas propiedades que nos permitan desarrollar la mejor pieza sin sobre-especificarla. Es necesario analizar como ya se menciona anteriormente el tipo y magnitud de los esfuerzos a los que la pieza estará sometida, destacando los de compresión, flexión y tensión originados por el contacto con otras piezas, ya sean estos insertos, pernos, ensambles, considerando también las vibraciones y la fricción a las que la pieza estará expuesta.

Resistencia a los golpes (Impacto).- Referida al requerimiento que la pieza debe tener en relación a la propagación o absorción de energía súbita. En el ámbito de los plásticos se definen dos conceptos fundamentales en relación al impacto , el impacto Izod, que representa la facilidad con la cual se puede propagar la fractura, y los impactos Gardner y Charpy que definen la resistencia comparativa a la fractura y el tipo de fractura que se ocasiona el plástico.

Si la pieza va a tener un uso rudo ó por su funcionamiento debe de soportar impactos, hay que revisar si estos van a ser en forma continua o esporádica para determinar que resistencia al impacto debe de presentar el

material, sobre todo analizando si la pieza debe ser pequeña o grande, de paredes gruesas ó delgadas, ya que estos factores que podrán cambiar los valores de la propiedad. Aquí también tiene importancia el medio ambiente ya que a bajas temperaturas se reduce la resistencia al impacto de los plásticos y mayores temperaturas aumenta. Por otro lado si el artículo está fabricado con fibra de vidrio el valor de esta propiedad también disminuirá.

Fatiga y Deformación.- De acuerdo a las funciones que vaya a cumplir la pieza al paso del tiempo va a sufrir una deformación y una fatiga, sin embargo no hay una propiedad dentro de la hoja de especificación de un material que se indique como fatiga o deformación por lo que partiendo de este hecho es difícil hacer una evaluación. Es por ello que al realizar este tipo de análisis es necesario apoyarse en propiedades comúnmente manejadas y evaluarlas en forma práctica. Este es el caso de la resistencia a la tensión, tal propiedad nos va a indicar la fatiga que va a presentar una pieza después de someterla a diferentes esfuerzos y en conjunto con la elongación, también nos indicará el % de deformación que sufre el artículo.

En ocasiones la resistencia a la tensión publicada en una hoja de especificación y medida en probeta de material virgen puede verse reducida hasta en un 50% en una pieza moldeada por un moldeo erróneo del artículo final.

Desgaste.- Esta cualidad va aunada directamente a la dureza superficial y el coeficiente de fricción que presente un material ya que de ellos va a depender el % de desgaste de la pieza.

Además de que por ser el plástico un aislante térmico, se presenta un alto coeficiente de fricción, el calor generado por la misma fricción puede colaborar para la deformación del producto.

f) PROPIEDADES TERMICAS.

Se deben conocer o establecer con precisión cuál será el rango de temperaturas de servicio que se espera la pieza desarrollada, así como determinar niveles de tolerancia máxima para situaciones críticas. Es necesario considerar el efecto que pudieran tener los esfuerzos mecánicos residuales generados durante el proceso de manufactura de la pieza, ya que afectan la temperatura de deformación de la misma. Aquí se manejan dos puntos la Resistencia a la temperatura y la flamabilidad.

Debe hacerse la diferencia de que un material puede soportar ambientes a elevadas temperaturas y por el contrario puede carbonizarse al contacto de una flama directa, tal es el caso de los termofijos que sirviendo como aislantes térmicos no soporten la flama directa, ya que se carbonizan impidiendo su recuperación.

Teniendo ya estos dos conceptos separados veremos los casos en que se dividen:

Resistencia a la Temperatura.- Se conocen dos casos:

f.1.- Si se desea conocer a que temperatura se reblandece el material, en el caso de tratarse de un termoplástico, para su posterior termoformado. Este dato nos lo proporcionará la propiedad de temperatura VICAT.

f.2.- La pieza va a estar sometida elevadas temperaturas y esfuerzos continuos por lo que se desea saber hasta que punto podrá soportarlos sin deformarse la pieza. Esta cualidad es directamente proporcional al HDT del material (Temperatura de Deformación bajo carga).

Flamabilidad.- También se pueden presentar dos casos:

f.3.- Sólo se desea saber con que rapidez se puede inflamar un artículo. La norma ASTM de flamabilidad nos proporciona este dato como velocidad de ignición.

f.4. - El artículo debe cumplir con especificaciones UL en diferentes niveles por lo que es necesario que material y artículo tengan aprobación de este organismo para ser empleados en determinados productos.

A últimas fechas se ha visto reconocida la prueba de índice mínimo de oxígeno donde se controla que necesidad de oxígeno presenta una flama para continuar ardiendo y de esta forma también medir flamabilidad. Hay que considerar que la flamabilidad de una pieza terminada se ve afectada por el área superficial, espesor de la pieza, aditivos incluidos y si fué cargada ó reforzada con fibra de vidrio porque esto cambiaría sus cualidades.

g) CARACTERISTICAS ELECTRICAS.

Existen artículos que su principal función va a ser la de aislar eléctricamente y por ello se emplean materiales plásticos que presenten un valor elevado en resistencia dieléctrica.

En este rubro hay que hacer la diferencia entre resistencia eléctrica y dieléctrica; la primera se refiere a impedir el paso de la corriente, cualidad que presentan todos los plásticos y la segunda se refiere a impedir el paso de la corriente pero sin que el calor generado ó energía absorbida provoquen una deformación en el material y una falla en el artículo final.

Es por ello que la cualidad que hay que observar es la de resistencia dieléctrica y cuidarla sobre todo en ambientes húmedos ya que este factor puede hacer variar su valor.

h) VISCOSIDAD.

Por su naturaleza química y morfológica, cada plástico presenta un grado diferente de viscosidad al ser transformado. Una medida indirecta para la medición de la viscosidad de un plástico, la constituye el índice de fluidez, que proporciona una idea de la resistencia al flujo que presenta un material a condiciones específicas de presión y temperatura, siendo también una indicación para conocer la procesabilidad del material, en el tipo de proceso elegido para la transformación del producto.

i) ECONOMIA (DENSIDAD)

Aunque los costos en sí los analiza el área de contabilidad abarcando maquinaria, amortización, insumos, energía consumida, etc., en la parte de diseño se hace una pequeña revisión a los mismos pero estos exclusivamente enfocadas hacia el material.

Aquí además de conocer el precio por Kg. del material, es necesario conocer la densidad del mismo. Esto porque, si bien la materia prima se compra en \$/kg., el producto final se vende en \$/piezas, entonces es necesario conocer cuantas piezas se pueden fabricar por cada Kg. de material comprado.

Este factor lo proporciona la densidad del material de ahí que sea tan importante conocer la densidad del plástico porque entre más baja sea, se obtiene mayor número de piezas y con ello una mayor ganancia en la producción.

$$(\$/\text{Kg.}) \times (\text{Kg.}/\text{piezas}) = \$/\text{piezas}$$

En el inciso 7 se muestran algunas gráficas para facilitar la selección del material.

5. CONSIDERACIONES DE DISEÑO.

a) FACTORES RELACIONADOS CON EL ACABADO.

En lo posible, el diseño de la pieza debe evitar que sea necesario maquinaria después del moldeado, especialmente cuando las áreas maquinadas que dan expuestas. Dichas áreas aumentan la absorción de humedad; además son de aspecto pobre y difíciles de ocultar. Esta es la razón por la cual se evitan las superficies curvadas donde pasan las líneas divisorias del molde. Es difícil mantener en perfectas condiciones los bordes de las superficies divididas de modo que ensamblen perfectamente. La curvatura sobre la línea divisoria hace mucho más difícil lograr un ensamble. El resulta-

do de un apareado defectuoso sobre la línea divisoria, es una pequeña escama o rebaba, como lo ilustra la figura 4.1. Cuando se usan cargas en el plástico, en las superficies exteriores hay una delgada lámina de plástico puro sin material de carga. Esta ausencia de carga en la superficie produce el brillo parejo que es característico de las piezas de plástico. Cuando se elimina una rebaba, queda un punto en el que la carga está expuesta. Si las líneas divisorias se colocan en los ángulos vivos, es mucho más fácil lograr un apareado satisfactorio, y si el material de carga queda expuesto al quitar una escama siempre es menos visible en el ángulo.

Es conveniente evitar las superficies planas grandes en las piezas de plástico, como, los plásticos tienen muy bajo módulo de elasticidad, las áreas planas grandes no son rígidas. Para proveer la rigidez necesaria es preciso darles forma de domo o con nervaduras, como se ilustra en la figura 4.2. Además las superficies lisas y planas evidencian las marcas del flujo, y las rayaduras que pueden producirse por el uso. Las nervaduras externas pueden servir al doble propósito de proveer mejor resistencia y disimular las rayaduras. Un recurso frecuente es hacer las superficies grandes con hoyuelos o entramadas en vez de lisas. Dichas superficies pueden diseñarse de modo que tengan un aspecto agradable y al mismo tiempo no pongan en evidencia las rayaduras.

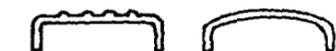
b) INSERTOS.

Los agujeros, que se forman con espigas en el molde, deben ser objeto de especial consideración. En el tipo de moldeado por compresión, tienden a ser doblados al cerrarse el molde. Cuando están soportados por un solo extremo, su longitud no debe exceder en dos veces al diámetro. En los moldes por transferencia, la longitud puede ser de cinco veces el diámetro. Sin que el mantenimiento se torne excesivo.

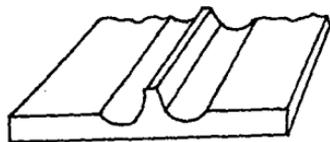
Cuando deban roscarse los agujeros o deban cerrar con tornillos autoroscantes, lo mejor es fresar levemente el agujero. Esto facilita el roscado y evita la aparición de astillas en el borde de salida de la rosca. Si el agujero es menor que 1/4 de pulgada en diámetro, es mejor hacer la rosca después de moldear, con un macho roscado. Ver figura 4.4.



FIGURA 4.1 EFECTO DE ELIMINAR LA REBAPA DE UNA PIEZA DE PLASTICO QUE CONTIENE CARGA.



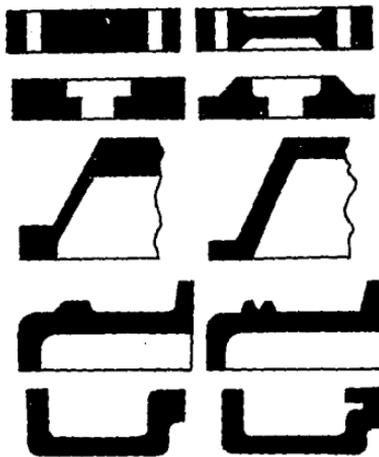
a) USO DE NERVADURAS Y FORMA DE DOMO PARA PROVEER RIGIDEZ EN SUPERFICIES GRANDES DE PIEZAS DE PLASTICO.



b) SECCIONES DESIGUALES CAUSAN DISTORSION Y FRACTURAS, ETC., POR LA DIFERENCIA DE CONTRACCION DE SECCION EN SECCION.



c) EL USO DE NERVADURAS Y ESPESORES DE PARED REDUCE LA POSIBILIDAD DE MARCAS DE HUNDIMIENTO.



MALO

BUENO

d) IMPORTANCIA DE SECCIONES DE ESPESOR UNIFORME.

FIG. 4.2 PRECAUCIONES OBSERVADAS EN LA PRODUCCION DE PIEZAS DE PLASTICO.



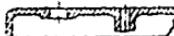
PROTUBERANCIA O ADICION DE MATERIAL EN LA ESQUINA.



TRES PROTUBERANCIAS PERMITIDAS, SE PUEDEN UTILIZAR CUATRO O MAS.



PROTUBERANCIA UTILIZADA PARA INCREMENTAR LA SECCION DE PARED ALREDEDOR DE LA RANURA.



LAS PROTUBERANCIAS ALTAS DEBEN SER TRES VECES EL DIAMETRO DEL BARRENADO.

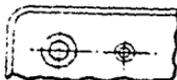


FIGURA 4.3. IMPORTANCIA DE LA ADICION DE MATERIAL EN EL DISEÑO (SPI).



(A) ROSCADO CORRECTO E INCORRECTO.

CLARO HECHO PARA FACILITAR  
EL ROSCADO Y EVITAR LA APARICION  
DE ASTILLAS EN EL BORDE DE SALI-  
DA DE LA ROSCA.

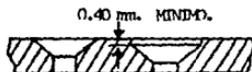
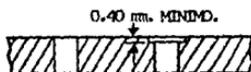


FIGURA 4.4. CONSTRUCCION DE CLAROS Y CUERDAS EN PLASTICOS.

Siempre que sea posible, el diseño debe permitir que el agujero sea roscado de lado a lado. Para diámetros mayores de 1/4 de pulgada es mejor moldear la rosca. Por supuesto que esto significa que una sección del molde debe ser separable, de modo que pueda desenroscarse de la pieza de plástico después de desmoldar, o sino, la pieza debe ser diseñada de forma tal que pueda desenroscarse del molde; no obstante este último método es a menudo antieconómico porque prolonga el tiempo de moldeado.

Encastres.- En general debido que es difícil moldear roscas en plástico, y a que las roscas tienden a astillarse, es necesario usar encastres fileteados o roscados cuando se requiere máxima resistencia. Esto es fundamental, cuando las partes han de separarse frecuentemente, para evitar que las roscas se astillen tanto que no puedan obtenerse buenos cierres. El uso de encastres requiere que se preste atención a los detalles de diseño para obtener buen funcionamiento y economía. Los encastres se hacen generalmente de bronce o acero. Se aseguran al plástico por unión mecánica y por lo tanto debe proveerse un nicho o un ensamble estriado adecuado, de modo que pueda asegurarse firmemente y no se afloje con el uso. Un estriado mediano o grueso es muy eficaz para resistir cargas de torsión y cargas axiales pero opone poca resistencia a los esfuerzos de torsión.

Cuando el encastre cumple la función de tetón para montaje, o de terminal eléctrico, debe sobresalir ligeramente de la superficie del plástico en la que está incluido. Esto permite realizar una conexión firme sin originar una carga axial que tienda a arrancarlo del compuesto. En cambio si el encastre esta destinado a mantener bien unidas dos partes ensambladas, debe estar a nivel de la superficie. De esta forma ambas partes pueden mantenerse cómodamente unidas sin peligro de que el encastre se afloje. Donde sea necesario mantener la superficie del encastre completamente libre de materia plástica, lo más conveniente es un diseño redondeado (en forma de hombro). Al usar este diseño para asegurar partes que deben cerrar estrechamente, se debe practicar una depresión en la pieza correspondiente para dar lugar al hombro y análogamente, se debe hacer la depresión en el molde. Ambas operaciones pesan sobre el costo. La figura 4.5 muestra varios encastres típicos. Donde deban asegurarse permanentemente las piezas, es conveniente y económico el tipo de en-

castre " tejido abajo " ilustrado en la figura 4.6.

Se debe proporcionar un adecuado sostén a los encastrés. El espesor de pared del plástico que lo rodea debe ser suficiente para soportar la carga que transmite el encastre. Una buena regla para pequeños encastrés es hacer el espesor de la pared por lo menos igual a la mitad del diámetro de aquél. Para diámetros mayores de 1/2 pulgada, el espesor de pared debe ser por lo menos de 1/4 de pulgada.

c) ACABADO DE PIEZAS DE PLASTICO.

Es necesario considerar el tipo de apariencia y acabado que la pieza debe mostrar una vez terminada. Los plásticos brindan alternativas adicionales a los metales, como puede ser la transparencia, la brillantez y el color. El molde o dado utilizado puede dar la textura deseada.

Algunas piezas requieren en algún momento de una impresión, lo cual va ligado a la mercadotecnia del producto, porque en algunas ocasiones la pieza es muy pequeña y existe poca área para una impresión y el departamento de mercadotecnia requiere de una zona donde se imprima el contenido del producto, permiso de SECOFI, el número de lote, etc. por lo que esto resulta poco menos que imposible. En cuanto al color, en algunos productos, sobre todo los que cumplen especificaciones deben de respetar ciertos colores y otros por el contrario requieren de colores brillantes ó raros, ya que son productos de moda e innovación.

En lo posible, deben diseñarse y producirse las piezas de plástico de manera que requieran muy poco tratamiento decorativo o de acabado. En la mayoría de los casos tales operaciones pueden reducirse a un mínimo, logrando mayor economía. Pueden eliminarse escamas y puntos rugosos, y se puede pulir por centrifugado con agentes de pulido o abrasivos adecuados. Si es necesario, pueden aplicarse letras o motivos decorativos al molde por ataque químico o fotograbado. Estos procesos producen letras o dibujos que sobresalen de la superficie del plástico apenas unos 0.003 de pulgada. Cuando se requiere un mayor relieve, se debe grabar el molde, lo que aumenta el costo del mismo.

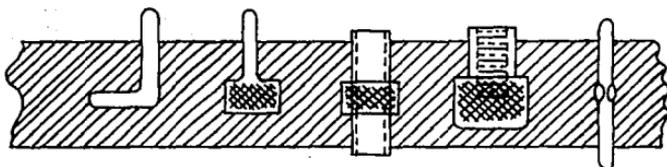


FIGURA 4.5 ENCASTRES TÍPICOS DE METAL USADOS EN PIEZAS DE PLÁSTICO.

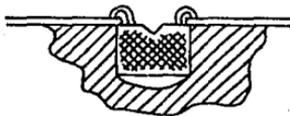


FIGURA 4.6 ENCASTRES DEL TIPO "TEJIDO ABAJO", PARA ASEGURAR ENTRE SI PIEZAS DE PLÁSTICO.

Debe evitarse en lo posible, el rotulado que exija ser pintado. Estas letras deberán tener de 0.003 a 0.010 de pulgada de profundidad y deben sobresalir de la superficie del molde que las rodea. Para producirlas, debe cortarse toda la superficie restante del molde, lo cual resulta considerablemente caro. A menudo puede reducirse el costo colocando letras en un área pequeña elevada de la superficie principal del plástico. Con este método sólo debe cortarse una pequeña parte del material matrizado.

Entre las operaciones secundarias que le darán vista o acabado final a la pieza podemos destacar las siguientes:

Pintado, Cromado, Metalizado, Hot - stamping, Serigrafiado, Litografiado, Pegado por adhesión, pegado por ultrasonido, pegado mecánico.

## 6. CONSIDERACIONES DE PRODUCCION.

### a) FORMA DE PROCESO.

Después de analizar en que forma se diseñará el producto debe cuidarse en que forma se va a presentar la pieza y revisar que tan factible es por diferentes procesos de transformación.

Los plásticos, que normalmente se comercializan con la forma de pellets o gránulos pueden ser transformados de diversas formas, destacando los procesos de Vaciado, extrusión, laminación, moldeado a compresión, moldeado a inyección, moldeado a chorro, moldeado por transferencia y moldeado por soplado. Los cuales ya fueron detallados anteriormente en el capítulo 3.5.

Para este apartado es necesario considerar los factores mencionados en el inciso anterior y tomar en cuenta las tablas 4.1 y 4.2, para una mejor elección del proceso de transformación.

T A B L A 4.1

CARACTERISTICAS DE LOS PROCESOS DE PRODUCCION PARA PIEZAS DE PLASTICO.

| PROCESO                       | SECCION DE CONTRACCION, mm  |               | PROTUBERANCIAS | SOCAVADURAS   |
|-------------------------------|-----------------------------|---------------|----------------|---|
|                               | MAXIMO                      | MINIMO        |                |   |
| MOLDEO POR SOFLADO            | 6.35                        | 0.254         | posible        | SI, PERO REDUCE EL RANGO DE PRODUCCION.   |
| MOLDEO POR INYECCION          | 25.4<br>NORMALMENTE<br>6.35 | 0.381         | SI             | POSIBLE, PERO NO RECOMENDABLE, REDUCE VELOCIDAD DE PRODUCCION Y AUMENTA EL COSTO. |
| MOLDEO POR EXTRUSION          | 12.7                        | 0.254         | SI             | SI<br>NO COMPLICADO   |
| TERMOFORMADO                  | 76.2                        | 0.00635       | SI             | SI, PERO REDUCE EL RANGO DE PRODUCCION.   |
| MOLDEO DE SUSPENSIÓN DE LITOS |                             | 0.508         | SI             | SI  |
| MOLDEO POR COMPRESION.        |                             | 0.889 - 3.175 | POSIBLE        | POSIBLE, PERO NO RECOMENDABLE.  |
| MOLDEO POR TRANSFERENCIA.     |                             | 0.889 - 3.175 | POSIBLE        | POSIBLE, PERO DEBE EVITARSE, REDUCE EL RANGO DE PRODUCCION.                       |

T A B L A 4.1 (CONTINUACION)

| PROCESO                            | INSERTOS  | AGUJEROS  | ACABADO SUPERFICIAL |
|------------------------------------|---|---|---------------------|
| MOLDEO POR SELLADO                 | SI  | SI  | 1 - 2               |
| MOLDEO POR INYECCION               | SI,<br>VARIEDAD DE ROSCADOS                                     | SI  | 1                   |
| MOLDEO POR EXTRUSION               | SI,<br>NO COMPLICADO.   | SI,<br>EN DIRECCION DE LA<br>EXTRUSION SOLAMENTE<br>0.50 - 1.0 mm. mdr.                                     | 1 - 2               |
| TERMOFORMAZO                       | SI  | NO  | 1 - 3               |
| MOLDEO POR SUSPENSIÓN<br>DE LÓDOS. | SI  | SI  | 2 - 3               |
| MOLDEO POR COMPRESION              | SI, PERO EVITAR INSERTOS<br>GRANDES, DELGADOS Y DE-<br>LICADOS. | SI, PERO EL AGUJERO<br>DEBE MIRAVEZAR LA<br>PIEZA, DEBE SER RE-<br>DONDO LARGO Y SIN<br>ANGULOS INCLINADOS. | 1 - 2               |
| MOLDEO POR TRANSFE-<br>RENCIA.     | SI, SE PUEDEN UTILIZAR<br>INSERTOS DELICADOS.                   | SI, DEBEN SER REDON-<br>DOS, LARGOS Y NO IN-<br>CLINADOS.   | 1 - 2               |

ACABADO DE LA SUPERFICIE : 1 = LA MEJOR      5 = LA MAS ENJA.

T A B L A 4.2 RESUMEN DE LOS METODOS DE PROCESAMIENTO DE DIFERENTES PLASTICOS.

| POLIMERO                 | COMPRESION                         |           | MOLDEO POR INYECCION                            |           | EXTRUSION | MOLDEO POR TRANSFERENCIA |   |           |
|--------------------------|------------------------------------|-----------|---|-----------|-----------|--------------------------|---|-----------|
|                          | PRESION<br>lb/in <sup>2</sup> x 10 | °C        | PRESION<br>lb/in <sup>2</sup> x 10 <sup>3</sup> | °C        |           | °C                       | PRESION<br>lb/in <sup>2</sup> x 10 <sup>3</sup> | °C        |
| POLIMEROS TERMOPLASTICOS |                                    |           |   |           |           |                          |   |           |
| POLIETILENO              | 0.5 a 2                            | 140 a 175 | 5 a 22  | 135 a 143 | 80 a 94   |                          |   |           |
| POLIPROPILENO            |                                    |           | 10 a 22   | 204 a 288 |           |                          |   |           |
| POLIESTIRENO             |                                    |           | 10 a 24   | 162 a 243 |           |                          |   |           |
| CLORURO DE POLIVINILO    |                                    |           | 7 a 15  | 160 a 175 |           |                          |   |           |
| TETRAFLURO ETILENO       | 0.5 a 5                            | 162 a 190 | 6 a 30  | 216 a 260 | 277 a 299 |                          |   |           |
| A B S                    |                                    |           | 10 a 20   | 271 a 343 |           |                          |   |           |
| POLIAMIDAS               |                                    |           | 10 a 20   | 160 a 260 |           |                          |   |           |
| ACRILICOS                | 0.5 a 5                            | 200 a 245 | 15 a 25   | 193 a 215 | 188 a 204 |                          |   |           |
| ACETALFS                 |                                    |           | 8 a 32  | 215 a 254 |           |                          |   |           |
| CELULOSICOS              |                                    |           | 15 a 20   | 274 a 330 |           |                          |   |           |
| POLICARBONATOS           |                                    |           |   |           | 215 a 232 |                          | 247 a 304                                       |           |
| POLIMEROS TERMOESTABLES. |                                    |           |   |           |           |                          |   |           |
| FENOLICOS                | 1.5 a 5                            | 143 a 193 | 4 a 8   | 160 a 171 |           |                          | 2 a 10  | 135 a 171 |
| UREA - MELAMINA          | 2 a 5                              | 149 a 171 |   |           |           |                          | 6 a 20  | 149 a 165 |
| POLIESTERES              |                                    |           |   |           |           |                          | 1 a 5   | 121 a 177 |
| EPOXICAS                 | 1 a 3                              | 177       |   |           |           |                          | 0.1 a 2   | 143 a 177 |
| SILICONAS                |                                    |           |   |           |           |                          | 0.5 a 10  | 177       |

b) FACTORES RELACIONADOS CON EL MOLDEADO.

En el moldeado de plásticos se tropieza con casi todos los mismos problemas presentes en cualquier proceso de colado, donde se introduzca material fluido o semifluido en un molde y se haga solidificar. Hay que introducir la cantidad adecuada de material dentro de la cavidad, y lograr que la llene completamente. Cualquier material encerrado, como el aire que ya existe dentro del molde, debe ser eliminado. Debe preverse la contracción del material que tiene lugar durante la solidificación o el enfriamiento, de esto ya se hablo en los incisos anteriores y en la tabla 4.3 se muestra la contracción y tolerancias de los diferentes materiales plásticos. Luego que la pieza a solidificado, se debe abrir el molde y sacar de él la pieza. Si las piezas no han sido diseñadas adecuadamente, estos requisitos no se cumplen.

Cuando se planea una gran producción, para la cual se requiere un molde de múltiples cavidades, es a menudo conveniente fabricar primero un molde cavidad simple en el cual se resuelvan los problemas de alimentación, flujo, etc. Un molde así es relativamente barato de fabricar, de modo que si se necesita hacer grandes cambios para obtener un moldeado satisfactorio, el costo no resulta excesivo. Una vez obtenidos buenos resultados en un molde de una cavidad, se puede fabricar el molde de cavidades múltiples para la producción.

Debe prestarse especial atención al problema de extraer la pieza del molde. Como los moldes para plásticos se hacen de metal, rígidos deben diseñarse de modo que puedan abrirse y retirar la pieza. Un pequeño adelgazamiento unidireccional a cada lado del plano de división del molde facilitará el retiro de la pieza. Hay que evitar en lo posible las muescas, ya que ellas impiden la remoción de la pieza, a menos que se provean secciones especiales en el molde que puedan moverse en dirección normal a la que se abren las dos mitades principales del molde. Un tipo así de molde es caro de fabricar y mantener.

Como en todos los productos colados, es importante dejar rincones redondeados entre secciones adyacentes, son necesarios para lograr un flujo

T A B L A 4. 3.

| MATERIAL                        | COSTO APROX.<br>(DLS) $\epsilon/cm^3$ | CONTRACCION<br>LINEAL MOLDEO | TOLERANCIA mm/mm<br>(SIMPLE CAVIDAD) |          |       | REDUCCION REQUERIDA<br>GRADOS |          |       |
|---------------------------------|---------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------|----------|-------|-------------------------------|----------|-------|
|                                 |                                       |                              | FINA                                 | STANDARD | BURDO | FINA                          | STANDARD | BURDO |
| ABS                             | 0.41                                  | 0.127 - 0.203                | 0.051                                | 0.102    | 0.152 | 0.25                          | 0.50     | 1.00  |
| ACETAL                          | 0.46                                  | 0.508 - 0.635                | 0.102                                | 0.152    | 0.229 | 0.50                          | 0.75     | 1.00  |
| ACRILICO                        | 0.27                                  | 0.025 - 0.102                | 0.076                                | 0.127    | 0.178 | 0.25                          | 0.75     | 1.25  |
| CELULOSA                        | 0.52                                  | 0.076 - 0.254                | 0.076                                | 0.127    | 0.178 | 0.125                         | 0.50     | 1.00  |
| POLIESTER CLORADO               | 0.33                                  | 0.102 - 0.152                | 0.102                                | 0.152    | 0.229 | 0.25                          | 0.50     | 1.00  |
| EPOXICA                         |                                       | 0.025 - 0.102                | 0.051                                | 0.102    | 0.152 | 0.25                          | 0.50     | 1.00  |
| FLUORPLASTO                     | 14.7                                  | 0.254 - 0.381                | 0.051                                | 0.076    | 0.127 | 0.25                          | 0.50     | 1.00  |
| POLIAMIDA (6.6)                 | 0.39                                  | 0.203 - 0.381                | 0.127                                | 0.178    | 0.279 | 0.125                         | 0.25     | 0.50  |
| FENOLICOS                       | 0.18                                  | 0.102 - 0.229                | 0.038                                | 0.051    | 0.064 | 0.125                         | 0.5      | 1.00  |
| CAJUDO DE FENILENO              | 0.30                                  | 0.025 - 0.152                | 0.051                                | 0.102    | 0.152 | 0.25                          | 0.5      | 1.00  |
| POLICARBONATO                   | 0.46                                  | 0.127 - 0.178                | 0.076                                | 0.152    | 0.203 | 0.25                          | 0.5      | 1.00  |
| POLIESTER TERMOPLAS<br>TICO     | 0.58                                  | 0.076 - 0.457                | 0.051                                | 0.102    | 0.152 | 0.25                          | 0.5      | 1.00  |
| POLIETILENO DE ALTA<br>DENSIDAD | 0.15                                  | 0.508 - 1.270                | 0.076                                | 0.127    | 0.178 | 0.5                           | 0.75     | 1.5   |
| POLIPROPILENO                   | 0.93                                  | 0.254 - 0.635                | 0.076                                | 0.127    | 0.178 | 1.00                          | 1.50     | 2.00  |
| POLIESTIRENO                    | 0.14                                  | 0.025 - 0.152                | 0.051                                | 0.102    | 0.152 | 0.25                          | 0.50     | 1.00  |
| POLISULFONA                     | 1.14                                  | 0.152 - 0.178                | 0.102                                | 0.127    | 0.152 | 0.25                          | 0.5      | 1.00  |
| POLIURETANO                     | 0.46                                  | 0.254 - 0.508                | 0.051                                | 0.102    | 0.152 | 0.25                          | 0.5      | 1.00  |
| PVC                             | 2.25                                  | 0.025 - 0.127                | 0.051                                | 0.102    | 0.152 | 0.25                          | 0.5      | 1.00  |
| SILICONA                        | 2.57                                  | 0.127 - 0.152                | 0.051                                | 0.102    | 0.152 | 0.125                         | 0.25     | 0.50  |

suave del plástico a todas las secciones del molde durante el proceso, y también para eliminar los puntos débiles debidos a la concentración de esfuerzos en los rincones interiores. El molde resulta más barato de fabricar y se disminuye el riesgo de que se rompa en las secciones de unión de secciones delgadas. Es conveniente redondear ligeramente los bordes exteriores, en lo posible. Un radio de 0.01 a 0.015 pulgadas apenas se nota, pero ayuda mucho a prevenir que el borde se astille. En los artefactos eléctricos, deben provocar fallas.

En los productos de plástico, el espesor de la pared es muy importante. El tiempo de curado está determinado por la sección más gruesa, por lo tanto es conveniente hacer las secciones lo más uniforme posible. El espesor mínimo de pared está determinado fundamentalmente por el tamaño de la pieza y, en parte, por el tipo de plástico usado. En general los espesores mínimos de pared a usar, son los siguientes:

|                    |        |
|--------------------|--------|
| Mínimo recomendado | 0.025" |
| Piezas pequeñas    | 0.050" |
| Piezas medianas    | 0.085" |
| Piezas grandes     | 0.125" |

Deben evitarse los rincones de gran espesor, ya que tienden a incluir gases, a no curar completamente y a presentar fallas. Cuando se requiere obtener especial resistencia en las esquinas, la mejor solución son las nervaduras.

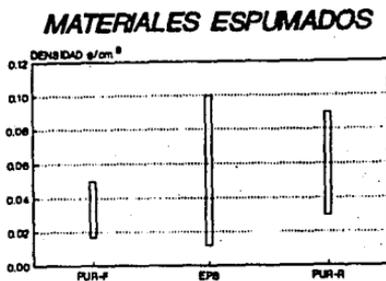
Si se requiere una producción barata, deben establecerse tolerancias mínima de  $\pm 0.003$ " en la dirección paralela a la división del molde y es conveniente una tolerancia mínima de 0.010" en la dirección normal a la línea divisoria. En los dos casos un aumento del 50 % en estas tolerancias ayudará a reducir el costo y las dificultades de la producción. Cuando se usan plásticos con tela como carga, la tolerancia en la dirección paralela al cierre del molde, debe ser por lo menos de 0.025" a causa de la expansión que se produce con esos materiales.

### 7. VALORES COMPARATIVOS.

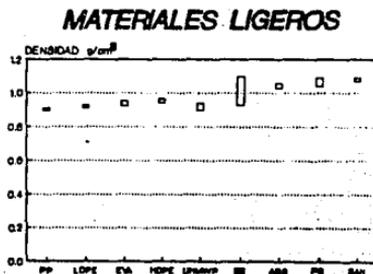
Revisando las cualidades que se observan en una hoja de especificación son elaboradas las siguientes gráficas. Buscando en cada una de ellas el material más adecuado de acuerdo a la cualidad que se busque.

#### A) DENSIDAD.

Dentro de los materiales más ligeros por ser espumados se encuentran:



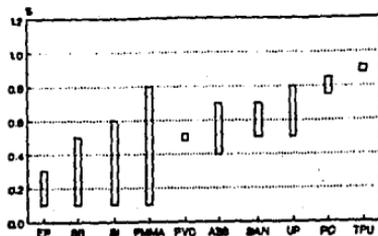
Mientras que los plásticos más ligeros por sí mismos son:



B) CONTRACCION EN EL MOLDEO.

Aquí se buscan los valores más bajos como son:

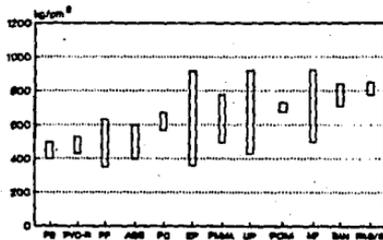
**CONTRACCION EN EL MOLDEO**



C) RESISTENCIA A LA TENSION.

En este punto se buscan los materiales de mayor valor, como son:

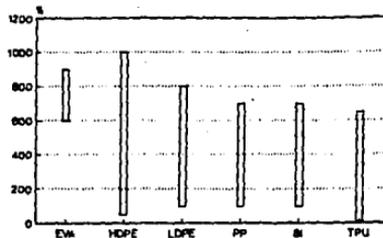
**RESISTENCIA A LA TENSION**



D) ELONGACION.

Aquí también se buscan los valores mas altos, pensando en que la pieza final se va a estirar.

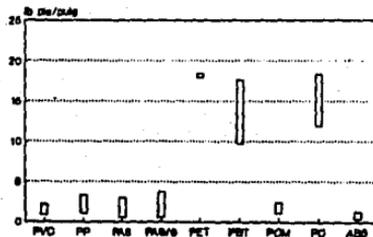
**ELONGACION**



E) RESISTENCIA AL IMPACTO.

En esta propiedad entre más alto sea su valor será más difícil que se fracture el artículo.

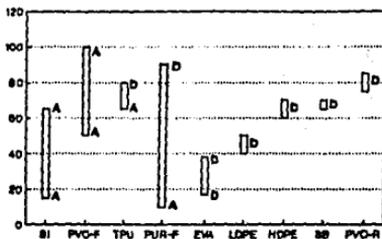
**RESISTENCIA AL IMPACTO**



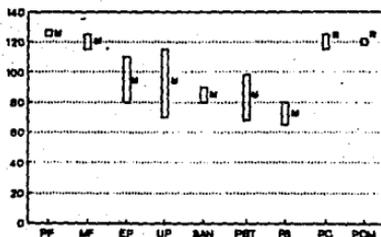
F) DUREZA.

De acuerdo a lo que se busque, si una pieza suave ó una pieza lo suficientemente dura para que no se raye, se tienen dos extremos de valores y dos unidades para medirlos.

**DUREZA SHORE**



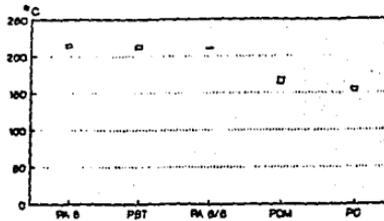
**DUREZA ROCKWELL**



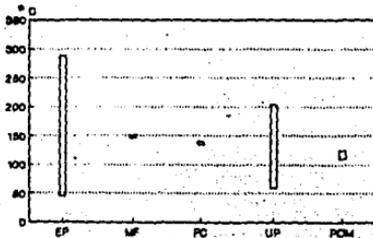
G) TEMPERATURA DE ABLANDAMIENTO VICAT Y HDT.

Siempre se buscan los valores más altos.

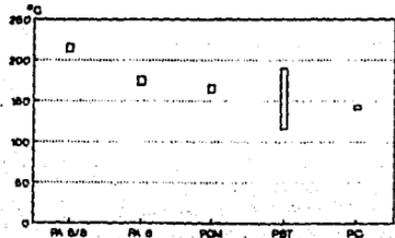
TEMPERATURA DE ABLANDAMIENTO  
VICAT



HDT @ 18.5 kg/cm<sup>2</sup>



HDT @ 4.5 kg/cm<sup>2</sup>



V. EJEMPLO.

"Sustitución del material con el que esta hecho la cubierta de una pistola de fijación", en este caso el material a sustituir es el aluminio.

A) En la lámina No. 1 se muestra el dibujo de la pistola de fijación en corte, mostrando todas las partes con las que estará en contacto la pieza a diseñar. Y en las láminas subsecuentes se muestra la pieza diseñada.

B) Definición del cliente o usuario final.

Cliente: Industria de la fabricación de equipo de fijación, perforación y demolición.

Usuario final: - Contratistas en general.

- Carpinteros.

- Electricistas.

- Equipos de mantenimiento.

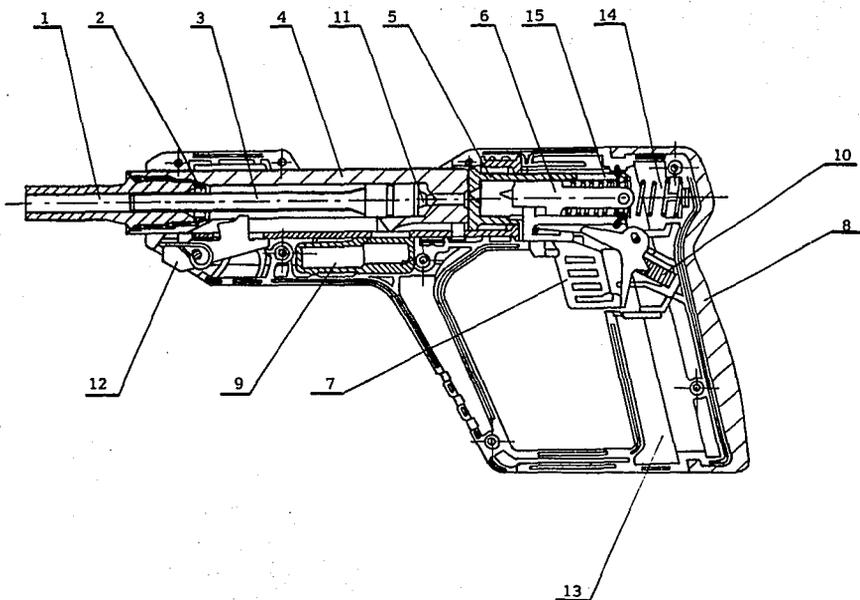
- Instaladores de aislamientos.

- Y clientes en general del sector de la construcción y gremios afines.

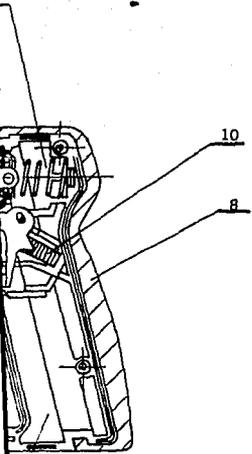
Objetivo: Sustitución del material con que esta hecho el producto.

Descripción de la pieza a sustituir.-

Pieza fabricada en aluminio; con este material se buscaba un menor peso de la herramienta pero se perdían otras cualidades como son: dureza (resistencia al desgaste), resistencia a los golpes y otra propiedad importante debido a la función que cumple la herramienta, es la resonancia. Otro defecto es que el aluminio no es fácil de pintar.



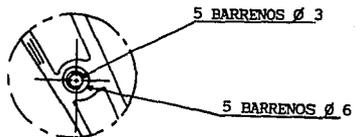
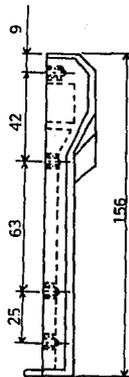
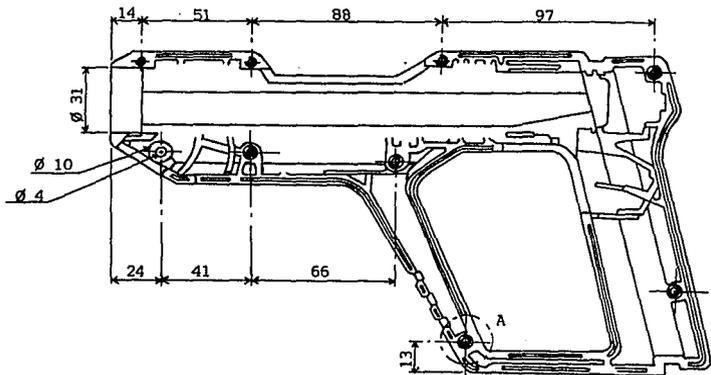
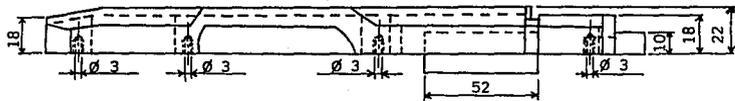
|   |   |
|---|---|
| 15  | 1   |
| 14  | 1   |
| 13  | 1   |
| 12  | 1   |
| 11  | 1   |
| 10  | 1   |
| 9   | 1   |
| 8   | 1   |
| 7   | 1   |
| 6   | 1   |
| 5   | 1   |
| 4   | 1   |
| 3   | 1   |
| 2   | 1   |
| 1   | 1   |
| NUMERO  | CANTIDAD  |
| FACULTAD  |   |
| ESCALA  | 1:2   |
|  |  |



|        |          |                     |                  |               |
|--------|----------|---------------------|------------------|---------------|
| 15     | 1        | ESTRIBO DE RESORTE  | SAE 2517         |               |
| 14     | 1        | RESORTE             | SAE 9138         |               |
| 13     | 1        | CUBIERTA            | ABS              |               |
| 12     | 1        | DESENGANCHADOR P/Dx | SAE 3135         |               |
| 11     | 1        | MANGUITO            | SAE 3145         |               |
| 10     | 1        | RESORTE             | SAE 9138         |               |
| 9      | 1        | REDUCTOR DE SONIDO  | ALUMINIO         |               |
| 8      | 1        | CUBIERTA EMPUÑADURA | PUR              |               |
| 7      | 1        | GATILLO             | PA               |               |
| 6      | 1        | PERCUTOR P/Dx T.    | SAE 3045         |               |
| 5      | 1        | GUIA PERCUTOR       | SAE 4140         |               |
| 4      | 1        | GUIA PISTON         | SAE 3040         |               |
| 3      | 1        | PISTON              | SAE 3145         |               |
| 2      | 1        | ARANDELA DE RETEN   | BRONCE FOSFORADO |               |
| 1      | 1        | GUIA CLAVOS F1      | SAE 3040         |               |
| NUMERO | CANTIDAD | DESIGNACION         | MATERIAL         | OBSERVACIONES |

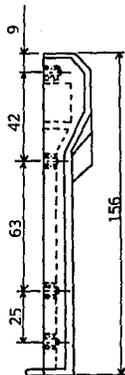
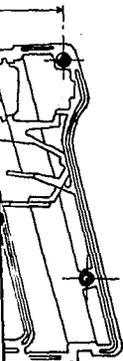
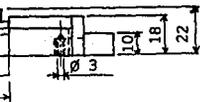
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN U.N.A.M.

|        |     |                            |    |        |           |                   |              |
|--------|-----|----------------------------|----|--------|-----------|-------------------|--------------|
| ESCALA | 1:2 | ACOTADO:                   | mm | FECHA: | MAYO 1995 | REVISO:           | ING. F. DIAZ |
|        |     | <b>PISTOLA DE FIJACION</b> |    |        |           | DIBUJO: NAJERA B. |              |
|        |     |                            |    |        |           | LAMINA:           | 1            |

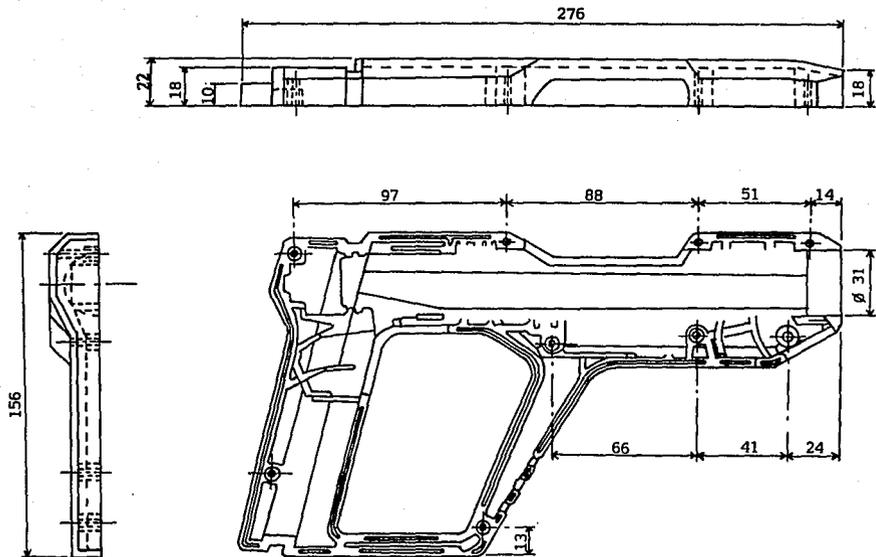


DETALLE A

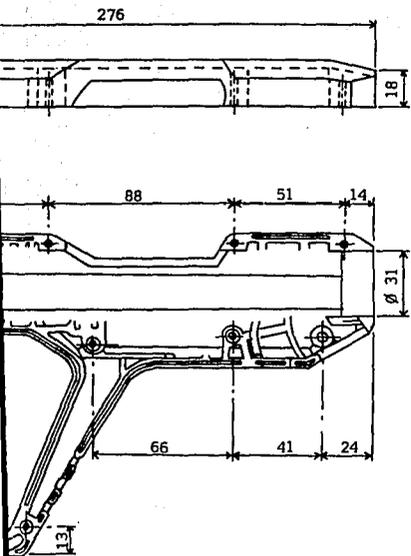
| NUMERO     | CANTIDAD |
|------------|----------|
|            |          |
| ESCALA: 1: |          |
|            |          |



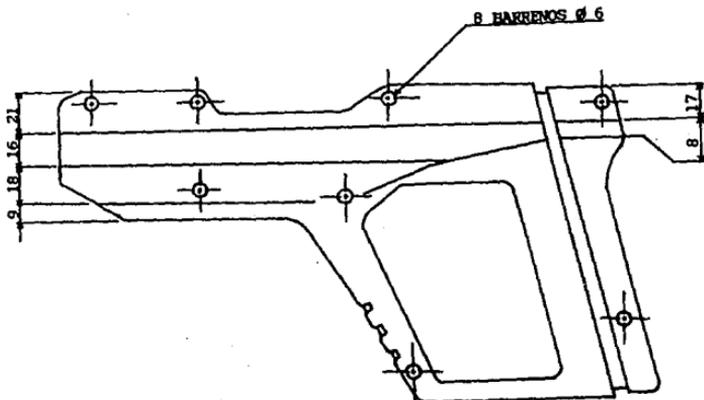
| NÚMERO  | CANTIDAD | DESIGNACION          | MATERIAL         | OBSERVACIONES        |
|---|----------|----------------------|------------------|----------------------|
| FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN U.N.A.M. |          |                      |                  |                      |
| ESCALA:   | 1:2      | ACOTADO: mm          | FECHA: MAYO 1995 | REVISO: ING. F. DIAZ |
|   |          | CUBIERTA PARTE No. 1 |                  | DIBUJO: NAJERA B.    |
|   |          |                      |                  | LAMINA: 2            |



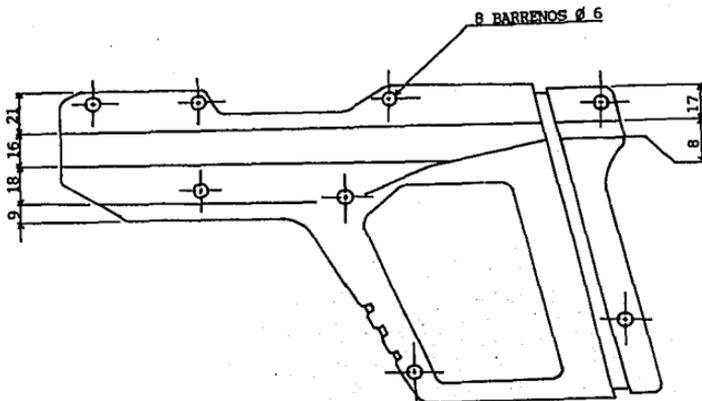
|            |          |
|------------|----------|
| NUMERO     | CANTIDAD |
| FACULTAD   |          |
| ESCALA 1:2 |          |
|            |          |

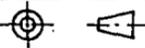


| NUMERO  | CANTIDAD  | DESIGNACION          | MATERIAL         | OBSERVACIONES        |
|---|---|----------------------|------------------|----------------------|
| FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN U. N. A. M.                              |   |                      |                  |                      |
| ESCALA  | 1:2   | ACOTADO: mm.         | FECHA: MAYO 1995 | REVISO: ING. F. DIAZ |
|  |  | CUBIERTA PARTE No. 2 |                  | DIBUJO: NAJERA B.    |
|   |   |                      |                  | LAMINA: 3            |



| NUMERO  | CANTIDAD  | DESIGNACION      | MATERIAL             | OBSERVACIONES     |
|---|---|------------------|----------------------|-------------------|
| FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  |   | U.N.A.M.         |                      |                   |
| ESCALA: 1:2   | ACOTADO: mm.  | FECHA: MAYO 1995 | REVISO: ING. F. DIAZ |                   |
|  |  | CUBIERTA PARTE 2 |                      | DIBUJO: NAJERA B. |
|   |   | VISTA FRONTAL    |                      | LAMINA: 4         |



| NUMERO  | CANTIDAD         | DESIGNACION      | MATERIAL             | OBSERVACIONES |
|---|------------------|------------------|----------------------|---------------|
| FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  |                  | U.N.A.M.         |                      |               |
| ESCALA: 1:2   | ACOTADO: mm.     | FECHA: MAYO 1995 | REVISO: ING. F. DIAZ |               |
|  | CUBIERTA PARTE 2 |                  | DIBUJO: NAJERA B.    |               |
|   | VISTA FRONTAL    |                  | LAMINA: 4            |               |

DATOS TECNICOS DE LA HERRAMIENTA.

Longitud: 340mm (13.5")  
Ancho: 48 mm (1.8")  
Altura: 154 mm (6.0")  
Peso: 1.8 Kg (4.0 lb)  
Principio de trabajo: impacto de pistón.  
Cartucho: 5.6/16 (calibre 0.22)  
Orificio interno para pistón: 8 mm.  
Longitudes de fijadores: 14 mm a 37 mm (0.5" a 1.5")

C) Funciones a cumplir.

En cuanto a las funciones que debe cumplir la pieza (carcaza) se requiere lo siguiente:

Como se observa en la lámina No. 1 la pieza estará formada por dos piezas para facilitar el mantenimiento o reparación de la herramienta; las cuales estarán unidas por medio de tornillos; se utilizan encastres o insertos para fijación de piezas metálicas a la carcaza de la herramienta.

En lo que se refiere al material se requiere cumpla con lo siguiente:

a) Gran resistencia a los golpes, rigidez y dureza; debido a que la pieza formará parte de una herramienta de uso rudo, y un ambiente corrosivo y abrasivo.

b) Menor peso (densidad).- Debido a que es una herramienta manual se requiere disminuir su peso para hacerla más manejable.

c) Envejecimiento (tiempo de vida).- De 15 a 20 años.

d) Costo.- Se requiere de un menor costo en cuanto al material y el plástico es una opción.

e) Resonancia.- Calidad más importante a sustituir.

Debido al principio de operación de la herramienta se requiere que la cubierta absorba la resonancia y así aumentar la eficiencia de la misma.

f) Medio ambiente.- El medio ambiente también juega un papel importante (ambiente polvoso y abrasivo).

g) Resistencia química.- Resistencia a la presencia de aceites y grasas.

Otras cualidades buscadas de la pieza son:

- Protección de la mano por medio del mango cerrado.
- Se requiere que la pieza no necesite de mucho mantenimiento ni limpieza.
- Se requiere de un material especial en el mango que reduzca el retroceso.
- La pieza debe ser de color rojo.
- Logotipo de la empresa en la parte frontal. (pintado y resaltado).
- Espacio para placa de datos en la base del mango.

D) Características del material elegido.

Después de haber analizado todas las cualidades requeridas por el material el más adecuado es el siguiente debido a que cumple con las características y cualidades buscadas, principalmente la cualidad de estabilidad ante el sonido (sin resonancia).

- \* Material: ABS (Acrilonitrilo butadieno estireno).
- \* Nombres comerciales: Novodur W, W 20, H, Lustran I; Vestodur.
- \* Color y aspecto del material corriente en el mercado: Granza en tonos opacos (color natural: amarillo-cremoso, opaco).
- \* Propiedades generales del producto acabado: Tenacidad, gran resistencia al impacto, rigidez y dureza. Estable al sonido (sin resonancia). Muy estable al clima, intemperie y envejecimiento. Buenas propiedades dielectricas, fisiológicamente inocuo.
- \* Temperatura de uso permanente sin perjuicios, máximo 60 - 80 °C.

- \* Estabilidad frente a productos químicos: Estable frente a álcalis, ácidos débiles, bencina, aceites y grasas. Inestabilidad frente a ácidos concentrados, hidrocarburos clorados, ésteres, cetonas y éteres.
- \* Comportamiento y olor al aplicar la llama:  
Sigue ardiendo tras separarla, llama luminosa, fuerte formación de hollín.  
Olor: dulzaino, también similar a la goma, o áspero.
- \* Para la construcción de moldes hay que contar con una contracción de 0.4 a 0.6 %.

A continuación se muestran los materiales tomados en consideración para la selección del material a utilizar:

| PLASTICO                  | IMPACTO IZOD<br>Kg cm/cm | DUREZA<br>ROCKWELL | RIGIDEZ<br>(ELONGACION)<br>% |
|---------------------------|--------------------------|--------------------|------------------------------|
| Polipropileno             | 8 - 16                   | 90                 | 400 - 700                    |
| ABS                       | 7 - 14                   | 102 - 112          | 20 - 40                      |
| PS (alto impacto)         | 10.8                     | 75                 | 60                           |
| Acetato de celulosa.      | 8                        |                    | 12 - 50                      |
| Acetobutirato de celulosa | 8                        |                    | 8 - 80                       |

Materiales estables a la intemperie y presencia de grasas y aceites:

- ABS
- Acetato de celulosa (limitado)
- Acetobutirato de celulosa

Materiales estables al sonido:

- ABS (apropiado para carcazas).
- Acetato de celulosa.
- Acetobutirato de celulosa (apropiado para piezas con grandes inserciones metálicas).

Por lo tanto el material elegido como se dijo anteriormente es el ABS.

\* En México existen nueve empresas fabricantes de poliestireno, siendo el mayor productor Industrias Resistol S. A. , otras de las empresas más importantes por su capacidad instalada es Poliestireno y Derivados, S. A. de C. V.

| PRECIO PROMEDIO | (US DLLS/Kg) |
|-----------------|--------------|
| ABS             | 2.8 - 3.5    |

#### E) TRANSFORMACION.

Los polímeros de estireno se pueden transformar por los siguientes métodos:

1. Inyección.
2. Extrusión.
3. Termoformado.
4. Moldeo de poliestireno expandible.

De los cuales el más recomendable para la fabricación de la pieza es el primero., INYECCION.

INYECCION.

a) Características de la maquinaria.

Para llevar a cabo la transformación del ABS, se recomienda el uso de máquinas de inyección con husillo recíprocante, estas proporcionan homogenización del material.

CARACTERISTICAS DE LA MAQUINARIA.  
INYECCION DE ABS HUSILLO SIMPLE.

|                           |        |        |        |
|---------------------------|--------|--------|--------|
| RELACION DE COMPRESION    |        |        | 2 : 1  |
| ANGULO DE HELICE (GRADOS) |        |        | 17.7   |
| RELACION L/D              | 20 : 1 | 24 : 1 | 30 : 1 |

FILETES POR SECCION

|              |    |    |    |
|--------------|----|----|----|
| ALIMENTACION | 4  | 4  | 6  |
| COMPRESION   | 6  | 8  | 12 |
| MEDICION     | 10 | 12 | 12 |

BOQUILLA.

Se recomienda utilizar una boquilla abierta. Esta debe de constituirse de una sola pieza y en caso de no ser posible, las secciones deben ser cuidadosamente maquinadas para reducir la posibilidad de tener áreas de retención de material entre cada una de las secciones.

La relación de compresión para el ABS es 2.5 : 1

La velocidad de husillo: para relación de compresión alta es de 10 a 50 R.P.M. , para relaciones de compresión baja es de 50 a 150 R.P.M.. En este caso se recomienda una velocidad de 60 R.P.M.

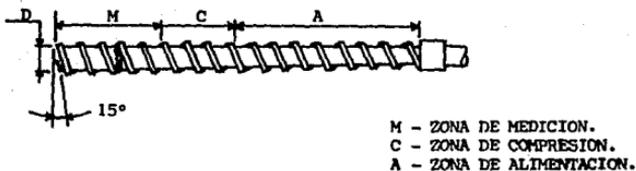


FIGURA 5.1. HUSILLO.

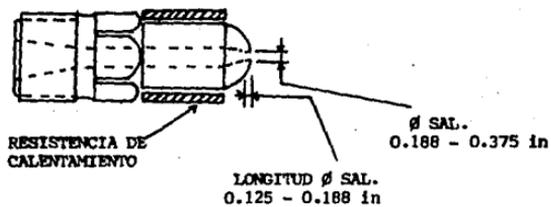


FIGURA 5.2. BOQUILLA DE CIERRE POR CORREDERA TIPO AGUJA.

b) MOLDEO.

SECADO.- Los poliestirenos son ligeramente higroscópicos, tienen un contenido de humedad en equilibrio de 0.3 a 0.4 % a 23°C . Por norma el contenido permisible no debe ser superior a 0.06, ya que los valores superiores pueden causar problemas de vetado y defectos en la superficie del artículo. Se recomienda secar la resina a las siguientes condiciones:

SECADO DE POLIESTIRENO O ABS.

El contenido permisible no debe ser mayor de 0.06 %, por lo que se usa un secado en:

HORNO DE CHAROLAS A 70 GRADOS CENTIGRADOS  
DURANTE DOS O TRES HORAS.

Para el moldeo se recomienda tener un máximo de contenido de humedad en el material de 0.1 %.

Temperatura de moldeo.-

INYECCION  
A B S

| <u>VARIABLE</u> | <u>RANGO</u> |
|-----------------|--------------|
| Entrada tolva   | 40 - 60 °C   |
| Alimentación    | 160 - 190 °C |
| Compresión      | 180 - 220 °C |
| Dosificación    | 210 - 230 °C |
| Boquilla        | 230 - 240 °C |
| Molde           | 10 - 70 °C   |

Presión de inyección.- Para el moldeo de los poliestirenos, se recomiendan presiones entre 400 y 1300 kg/cm<sup>2</sup> medidos en la punta de la boquilla, lo cual se fijará de acuerdo al tipo de maquinaria.

En el caso del ABS, para poder manejar ciclos de inyección rápidos y temperaturas no muy altas dentro del cilindro, se recomienda de manera ideal un rango de 840 a 1196 kg/cm<sup>2</sup> medidos en la punta de la boquilla.

Velocidad de inyección.- Se utiliza una velocidad de inyección de 25mm/seg que disminuye conforme se ha logrado el llenado de la cavidad del molde a 1.6 mm/seg.

Velocidad de husillo.- Se recomienda una velocidad de 60 R.P.M.

Contrapresión.- La contrapresión recomendada para este caso es de 80 a 120 kg/cm<sup>2</sup>.

c) MOLDE.

En la figura 5.3 se muestran las partes importantes del molde a utilizar.

Bebedero.- Para los poliestirenos y de igual forma para el ABS, es la pieza de mayor conicidad de 40 a 45 milésimas por pulgada lineal y orificio del lado de inyección de 6 mm.

Se utiliza un bebedero en caliente y el sistema de calefacción del bebedero más recomendable es mediante la instalación de cartuchos de calentamiento ubicados alrededor del inserto destinados al bebedero.

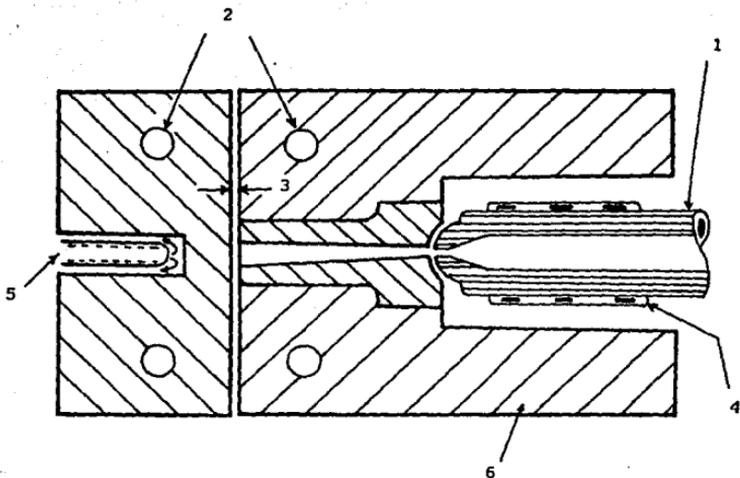
Puntos de inyección.- Se define como radio de flujo a la relación entre la distancia a fluir y el grosor nominal de la sección de la pieza moldeada.

Para el ABS tenemos una radio de flujo de 250 : 1. El tipo de entrada adecuado es el de aguja debido a la elevada sensibilidad de cizallamiento del ABS; lo que significa que su viscosidad disminuya a medida que incrementa el coeficiente de cizallamiento.

Orificios de venteo.- Para el moldeo del ABS una milésima de pulgada de profundidad de los orificios de venteo es suficiente para efectuar un adecuado moldeo.

F) ACABADO.

Impresión del logotipo.- Para la impresión del logotipo se utiliza el proceso conocido como flexografía. La flexografía es una forma de impresión por ti



- 1.- EXTENSION DE LA BOQUILLA.
- 2.- CANALES DE AGUA.
- 3.- PIEZAS A MOLDEAR.
- 4.- CALENTADOR DE LA BOQUILLA.
- 5.- FLUJO DE AGUA.
- 6.- CUERPO DEL MOLDE.

FIGURA 5.3.

pografía en donde se hace uso de placas de hule flexible. La tinta se aplica a las superficies realzadas de la placa y se transfiere al sustrato por contacto directo. La velocidad de los cilindros es de 400 m/seg la temperatura de secado es de 115 °C.

Color.- El material ABS antes de ser transformado puede teñirse con baños que contengan disolventes y colorantes grasos o no grasos. Los disolventes deben estar compuestos de modo que no disuelvan al polímero ni produzcan grietas capilares.

## VI. RECICLADO DE PLASTICOS.

### 6.1 DEGRADABILIDAD.

En la actualidad, en muchas comunidades el principal método utilizado en el tratamiento de basuras es el relleno sanitario ó entierro y una opinión común es que si el plástico fuera degradable éste simplemente desaparecería y minimizaría el problema de los desechos sólidos. Desafortunadamente, ésta es sólo una suposición.

Existe una confusión en cuanto al desarrollo del plástico degradable ó cualquier otro tipo de material para envase, en cuanto a su generación y presencia en los rellenos sanitarios. Estudios recientes en Nueva York y Alemania muestran que más del 60% del material presente que se deposita en los rellenos sanitarios, es considerado como degradable, estos incluyen desechos de comida, desechos orgánicos, papel y madera. Las películas plásticas representan menos del 4% del total de desechos sólidos generados, por lo tanto es difícil de creer que el problema de los desechos sólidos se resolvería haciendo degradables a los plásticos.

Absolutamente nada se degrada rápidamente, la degradación es un proceso complejo y lento, y para que éste se lleve a cabo la materia degradable debe estar expuesta a la luz, calor, aire, agua y bacterias.

Bajo las condiciones de los rellenos sanitarios muchos de los materiales genéricamente considerados como degradables como son las láminas de acero de latas y productos de papel, sufren un deterioro lento ó inclusive incompleto. La descomposición de la película del papel es demasiado retardada si esta ha sido teñida ó fuertemente impresa. Por ejemplo, los encabezados del periódico pueden ser fácilmente leídos después de 10 años de haber sido enterrado en un relleno sanitario.

A causa de la ignorancia se considera que los tiraderos son un problema causado por los plásticos, más que por la misma acción de los consumidores. Las envolturas plásticas son ciertamente un parte visible en los tiraderos y

las envolturas degradables pueden ser de gran ayuda para reducir el problema de los tiraderos.

Como resultado de esto se han impuesto diversas legislaciones para el desarrollo de plásticos degradables, principalmente en algunos países de Europa y Estados Unidos lo cual a su vez a propiciado el desarrollo de tecnologías para la fabricación de plásticos degradables y ahora, los científicos que durante mucho tiempo han trabajado arduamente con el objetivo de incrementar la durabilidad del plástico, tienen ahora el reto de hacer algunos plásticos degradables.

Los resultados obtenidos actualmente se basan en la adición de ciertas sustancias al plástico que provoquen su desintegración, de tal forma que existen dos tipos de degradación que se distinguen de acuerdo al medio que la ocasiona y son las siguientes:

A) Fotodegradación.- Se apoya en la luz ultravioleta del sol, la cual rompe la estructura química del plástico.

Los aditivos utilizados son sustancias altamente oxidantes y denominadas fotoactivas, algunos ejemplos son:

- \*Sales de cobre.
- \*Copolímeros de Monóxido de Carbono.
- \*Copolímeros de Carboxil Cetona.

Existen compañías que fabrican master batch de estos aditivos.

- \*AMPACET
- \*PLASTIGON.
- \*SHULMAN.
- \*ECOPLASTIC.

Para que la fotodegradación ocurra con mayor facilidad se recomienda el uso de pigmentos oscuros para incrementar el rango de absorción de

radiaciones.

Se utilizan en proporciones del 5 al 10% en la formulación.

B) Biodegradación.- Implica el rompimiento y consumo del material plástico mediante organismos vivos.

Los plásticos biodegradables se clasifican en dos tipos:

-Sistemas basados en aditivos.

-Polímeros de origen natural.

Los aditivos para los primeros están basados en sustancias como glucosa y almidones los cuales logran el rompimiento de la estructura cuando son consumidos por los microorganismos. El principal proveedor de estos aditivos es ECOPLASTIC y la marca comercial es ECOSTAR.

Los polímeros de origen natural actualmente tienen un alto costo de fabricación, sin embargo, existen algunos desarrollos por parte de la compañía ICI con su material denominado "Biopol".

Se deben tener muchas precauciones con ambos métodos de degradación. En los envases para productos alimenticios puede provocarse contaminación al producto a causa de una degradación prematura durante su comercialización ó consumo.

Foto y biodegradación de los plásticos dependen de la luz solar y/o humedad. Para empezar, los plásticos fotodegradables tomarán un mayor tiempo para su degradación en Alaska, comparado con los estados donde existe una abundancia de luz solar como en el caso de México. De igual manera, la humedad debe estar presente en los rellenos sanitarios, para que los microorganismos penetren el material plástico y destruyan su estructura química. El almidón ha sido propuesto como un aditivo biodegradable en plásticos, particularmente para las bolsas de plástico y envolturas de alimentos de rápido consumo.

Algunos de los problemas técnicos de el sistema por almidón es que se pueden sobrepasar los niveles de fragilidad, teniéndose problemas mecánicos, especialmente si los productos son expuestos a altos niveles de humedad, con la posibilidad de que el almidón ayude al crecimiento de microorganismos por sí mismo.

Por otro lado, los plásticos degradables pueden detener el reciclado, y el medio ambiente prefiere una solución directa al problema de la crisis de los desechos sólidos. Muchas de las aplicaciones del reciclamiento de plásticos, dependen de la dureza y durabilidad de los materiales, propiedades que no son tomadas en cuenta para los productos degradables en términos prolongados de uso. Los plásticos Bio ó Fotodegradables, no podrán ser mezclados con plásticos sin ningún tratamiento para el reciclamiento, sin que las cualidades del plástico final reciclado se vean afectadas. Los métodos para el tratamiento de plásticos degradables son de mayor importancia en relación a las necesidades del desarrollo del reciclamiento, pero al final, ambas solo incrementarán el costo del reciclado, deteniendo el crecimiento.

Las investigaciones y desarrollo dentro de los plásticos degradables deben de continuar. Sin embargo, esta claro que ni los plásticos Foto ó Biodegradables son estupendos remedios para la crisis de los desechos sólidos; solo son auxiliares.

## 6.2 RECICLADO.

Los plásticos representan menos del 6% en la basura y equivocadamente se piensa que son los materiales más peligrosos para el medio ambiente sin darnos cuenta de todos los beneficios que han provocado en todos los sectores y a la humanidad en general.

Si bien es cierto que los desechos plásticos provenientes de envases como bolsas, botellas, películas, vasos desechables, jeringas, causan problemas en el manejo de la basura por ocupar grandes volúmenes debido a su

baja densidad, también es cierto que si estos se separan representan una valiosa fuente de materias primas que a su vez presentan una gran oportunidad para el desarrollo de nuevas industrias para su reciclamiento puesto que los plásticos son materiales "reciclables" y este tipo de negocios son altamente rentables.

Reciclar significa que todos los desechos y desperdicios que generamos en nuestras vidas se vuelven a integrar a un ciclo natural, industrial ó comercial mediante un proceso cuidadoso que permita llevarlo a cabo de manera adecuada y limpia.

La problemática de la recuperación de los materiales aprovechables de las basuras en México y en particular de los plásticos contenidos en las mismas, ha de abordarse mediante la íntima colaboración del Gobierno a través de sus secretarías (SEDUE, SECOFI, SSA, DDF) con asociaciones de fabricantes de materias primas, de Transformadores y Escuelas y Universidades quienes deberán tomar medidas sobre los puntos siguientes:

a) Legislación.- Se deben actualizar todas las normas y leyes existentes sobre recolección, aprovechamiento y eliminación de basuras urbanas para adecuarlas a las existentes en países desarrollados. Por ejemplo, en México se propone la privatización en la recolección de basura.

b) Informar y Motivar a la población.- Mediante la utilización de todos los medios educativos, de comunicación y publicitarios, se debe conseguir la comprensión y colaboración de toda la población desde la infancia para aprender a clasificar y separar los diferentes desperdicios.

c) Actuar

1) Instalando centros de acopio y la recolección diferenciada de los domicilios.

2) Crear empresas especializadas en reciclado de materiales.

3) Controlar los tiraderos a cielo abierto.

4) Instalar plantas incineradoras exclusivamente para desechos no reciclables y de control sanitario.

El reciclado de plásticos no representa una tarea fácil en su etapa inicial sin embargo, en el área de reciclado de plásticos, se puede ser completamente optimista ya que además de que se contribuye en gran escala a la reducción del volúmen de las basuras se convierte en una oportunidad para la creación de negocios de alta rentabilidad.

Para que un negocio de reciclado de plásticos sea factible se requieren de los siguientes cuatro aspectos:

- 1.- Abasto.
- 2.- Líquidez.
- 3.- Tecnología de Vanguardia.
- 4.- Mercado.

El reciclado de plásticos esta en su primera etapa en países como México y America Latina, y afortunadamente se ha desarrollado con éxito en Alemania, Japón y Estados Unidos.

Para asegurar el abasto de materiales plásticos lo más limpios posibles y de la misma especie facilitando su recolección y reciclaje, en Estados Unidos y en la mayoría de los países Europeos ha sido acoplado un sistema de codificación para envases desarrollado por la Sociedad de la industria del Plástico (SPI), Inc. (USA).

### 6.3 SISTEMAS DE CODIFICACION PARA ENVASES PLASTICOS.

Este sistema ayuda a identificar en los envases, botellas, contenedores y recipientes, en general, el tipo de plástico usado para su fabricación.

El sistema basado en una simbología simple permite a los seleccionadores durante el proceso de recolección y reciclaje, identificar y separar los diferentes productos. Se compone de tres flechas que forman un triángulo con un número en el centro y letras en la base.

Con base a investigaciones realizadas por la industria del reciclaje en otros países, se ha encontrado que el símbolo propuesto es simple y fácil de distinguir de otras marcas tradicionalmente colocadas en los envases por sus fabricantes.

El triángulo de flechás (símbolo universal del reciclaje) fue adoptado para aislar o distinguir el código numérico de otras marcas en el envase. El número y las letras indican la resina usada para la fabricación del envase, según la siguiente precisión:

- 1.-PET (Poliétilen Tereftalato).
- 2.-PEAD (Poliétileno de alta densidad).
- 3.-PVC (Cloruro de Polivinilo)
- 4.-PEBD (Poliétileno de baja densidad)
- 5.-PP (Polipropileno).
- 6.-PS (Poliestireno).
- 7.-Otros.

El código es moldeado mediante un inserto o grabado en el fondo, o lo más cerca de éste, de la botella o del envase, según lo permita la geometría del artículo. El tamaño mínimo recomendado es de 2.5 cm. (1 pulgada), para lograr su reconocimiento rápido. Envases con bases pequeñas pueden llevar el símbolo en un tamaño proporcional.

De acuerdo con la experiencia de otros países, la meta es que los fabricantes de productos plásticos decidan voluntariamente utilizar el sistema a corto plazo:

- \* Artículos nuevos: colocar el código en todos los moldes.
- \* Moldes existentes: En seis meses al 30% y en doce meses la totalidad.

Si un envase es fabricado en un nuevo modelo y con resinas diferentes a las tradicionalmente empleadas, es responsabilidad del transformador o productor de los envases cambiar el código (inserto) para identificar la materia prima usada. También corresponde al transformador utilizar el código adecuado según la resina con que se elabore el envase.

El procedimiento de insertos en los moldes permite un fácil cambio de los códigos, de acuerdo con el tipo de resina utilizada.

El código indica únicamente la resina de que esté hecho el envase y no tiene relación alguna con el tamaño, contenido o apariencia del mismo.



1.2 cm.



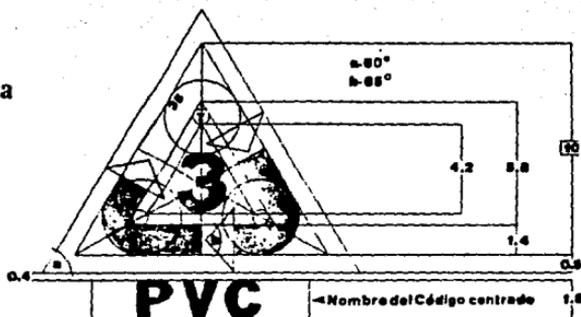
1.6 cm.



2.5 cm.

TAMAÑOS DEL CODIGO DE RECICLAJE PARA ENVASES.

### Estructura



### Tipo de letra

HELVETICA BOLD  
**A B C D E F G H I J K**  
**L M N O P Q R S T U**  
**V W X Y Z a b c d e f**

**g h i j k l m n o p q r s t**  
**u v w x y z 1 2 3 4 5 6**  
**7 8 9 0 & ? ! @ \$ % ( )**  
— — — — —

### Codigos de identificación en envases plásticos para reciclaje

|  |                                   |
|--|-----------------------------------|
|  | Poliétilen Tereftalato PET        |
|  | Poliétileno De Alta Densidad PEAD |
|  | Cloruro de Polivinilo PVC         |
|  | Poliétileno De Baja Densidad PEBD |
|  | Polipropileno PP                  |
|  | Poliestireno PS                   |
|  | Otros Plásticos                   |

#### 6.4 TECNOLOGIAS PARA EL RECICLADO DE PLASTICOS.

Existen diversas tecnologías para el reciclado de plásticos las cuales se definen de acuerdo al estado general de los desperdicios que deberán transformarse:

- \* Plásticos de la misma especie.
- \* Mezclas de plásticos.

#### PLASTICOS DE LA MISMA ESPECIE.

Quando se tienen los desperdicios lo más limpios posible es aplicable con una gran rentabilidad el proceso de granulado para termoplásticos.

Para que este sistema tenga buenos resultados se requiere seguir las siguientes reglas básicas para el manejo de desperdicios dentro de la industria que los genere.

a) Los desperdicios deben tener un lugar especial dentro del ciclo de producción. Se deben poner los desperdicios en manos de expertos. Desafortunadamente muchas compañías delegan este trabajo a empleados sin experiencia lo que da como resultado mezclas, materiales contaminados que ya no pueden reciclarse.

b) Se debe eliminar la palabra "SCRAP" de los desperdicios ya que significa sustancia inservible.

c) Se deben mantener limpios los desperdicios, libres de contaminación de materiales diferentes como metal, papel, vidrio, otros plásticos ó sustancias extrañas. Los desperdicios mezclados y sucios pierden inmediatamente su valor.

d) Clasificar los desperdicios por tipo de plásticos y tamaño, debido a que cada uno representa características particulares como punto de fusión, fluidez, densidad y estructura química, lo que significa que cuando se

mezclan presentan incompatibilidad y dificultad de reciclado.

e) Instalar aspiradoras para limpieza de la planta. No se debe utilizar aire para soplar sobre el lugar de trabajo para evitar la contaminación con polvo.

Cuando se llevan a cabo correctamente las reglas anteriores, entonces se obtienen desperdicios adecuados para regranularse y reincorporarse al ciclo de producción que los generó ó bien para la fabricación de otros productos que no requieran de alta calidad.

Los desperdicios obtenidos de la recolección diferenciada también requieren ir libres de contaminación por ejemplo, aceites, detergentes y azúcar. Estos generalmente requieren de un proceso de lavado posterior a la molienda para lograr un regranulado de buenas características.

El proceso del regranulado consiste basicamente en los siguientes pasos:

- 1.- Molienda.
- 2.- Lavado / Separación.
- 3.- Compactación.
- 4.- Pelletizado.
- 5.- Modificación con aditivos.

#### 1.- MOLIENDA.

Las piezas de gran tamaño, tortas de material fundido, cuerpos huecos, madejas de hilo, exige según el tipo de material y la forma, la utilización de instalaciones de corte y molienda especiales. Las fabricas de maquinaria de este sector ofrecen instalaciones adecuadas para cada caso.

Existen diversos factores que se deben tomar en cuenta para la elección, de un molino:

- a) Tipo de plástico.
- b) Estado del material:
  - Piezas de inyección.

- Cuerpos huecos.
  - Piezas compactas.
  - Rebabas.
  - Coladas.
  - Masas fundidas.
- c) Dimensiones del material a triturar.  
d) Humedad media.  
e) Granulometría final requerida.  
f) Densidad del plástico.  
g) Contaminación por cuerpos extraños.  
h) Tipo de alimentación.  
i) Producción.

Las principales firmas en el mundo y con representantes en México de molinos son las siguientes:

| <u>FIRMA</u>             | <u>TECNOLOGIA</u> |
|--------------------------|-------------------|
| LESSONA LATINOAMERICANA  | ITALIANA          |
| PLATIMAC, Sp. A.         |                   |
| MATEU & SOLE, S. A.      | ESPAÑOLA          |
| PALLMANN MASCHINE FABRIK | ALEMANA           |
| WEDCO, INC.              |                   |
| ALPINE                   | ITALIANA          |

Existe un novedoso sistema recientemente desarrollado para alcanzar tamaños de partícula ideales para una posterior pelletización y mejor incorporación de aditivos denominado MOLIENDA CRIOGENICA.

El principal propósito de la molienda criogénica es el obtener polvos con tamaño de partícula adaptables a revestimientos, rotomoldeo, mezclas secas, soluciones de polímeros y reciclado de trozos.

Para reducir eficazmente el tamaño de los polímeros, la molienda criogénica emplea un compuesto refrigerante llamado criogénico, el cual es un gas licuado que presenta una temperatura de ebullición inferior a  $-73^{\circ}\text{C}$ .

El gas criogénico de más uso es el Nitrógeno, ya que este contacta con el material de alimentación inmediatamente y a  $-78^{\circ}\text{C}$  proporcionan una excelente transferencia de calor. La mayoría de los polímeros más recientes presentan fragilidad por debajo de  $-78^{\circ}\text{C}$  y por tanto, requieren enfriamiento con nitrógeno líquido.

El ciclo de reciclado criogénico involucra una serie de etapas esquematizadas y ordenadas como se ve en la figura 6.4.1.

De acuerdo al tipo de material se requiere de diferentes cantidades de nitrógeno líquido y esto proporciona diferentes tamaños de partícula del polvo obtenido.

A continuación se muestra una tabla donde se especifican estos valores.

| MATERIAL       | CONSUMO Kg /Kg |                 | TEMPERATURA DE FRAGILIZACION °C | TAMAÑO DE PARTICULA (MESH) |
|----------------|----------------|-----------------|---------------------------------|----------------------------|
|                | LIN            | CO <sub>2</sub> |                                 |                            |
| LDPE           | 2.5-3.5        | 0.75-1.05       | - 56                            | 80                         |
| HDPE           | 1.0            | 0.3             | - 45                            | 40                         |
| PP             | 1.2            | 0.36            | - 51                            | 40                         |
| ABS            | 0.5            | 0.15            | - 65                            | 20                         |
| PVC (flexible) | 0.7            | 0.21            | - 45                            | 40                         |
| PA             | 2.0            | 0.6             | - 73                            | 80                         |
| PC             | 1.5            | 0.45            | - 101                           | 40                         |
| PET            | 1.0            | 0.3             | - 60                            | 40                         |

A nivel mundial poseen equipo de molienda criogénica las siguientes compañías:

- PALLMANN PULVERIZERS Co, Inc.
- WEDCO, Inc.
- AIR PRODUCTS AND CHEMICALS, Inc.

Es importante hacer la aclaración que existe además la molienda en frío la cual difiere de la molienda criogénica en que no se desarrollan temperaturas tan bajas con un menor consumo de nitrógeno. Este tipo de molienda en frío tiene como objetivo aumentar la calidad del producto mediante la obtención de tamaños de partícula más uniformes con menor costo y mayor producción que cuando se realiza a temperatura ambiente.

#### COMPARACION DE MOLIENDA CRIOGENICA CONTRA MOLIENDA NORMAL.

- El tamaño de partícula obtenida es homogéneo y mínimo, aún cuando se

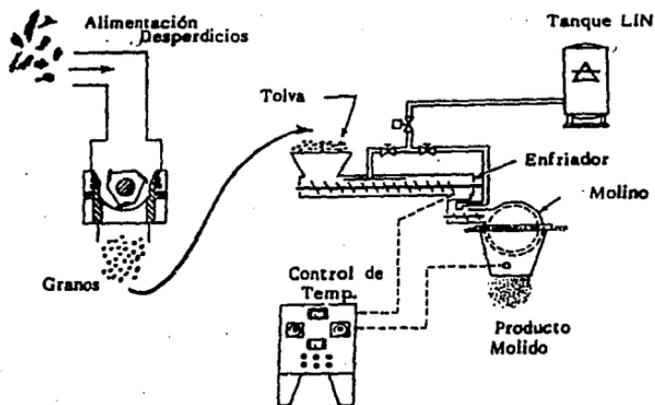


FIGURA 6.4.1 CICLO DE RECICLADO CRIOGENICO.

alimentos materiales diferentes.

- Se recomienda para molido de termoplásticos debido a que no existe calor que los puede degradar.

- Para hules es el único proceso que existe para su micropulverización.

## 2.- LIMPIEZA.

A partir de los desperdicios de material plástico, que se producen de una forma continua y clasificada, se puede obtener por medio de un procesamiento de limpieza una materia prima secundaria, que desde el punto de vista de las propiedades de la pieza acabada, es comparable con la materia prima virgen. Sin embargo, se requiere que la limpieza se realice en dos fases.

En la primera fase se separa la suciedad poco adherida, por ejemplo, arena o piedras, en tinas llenas de agua y por medio de agitadores mecánicos, esto después de la molienda del material.

La suciedad fuertemente adherida, como tinta, etiquetas de papel, incluidos adhesivos, no se eliminan en el proceso de lavado y es por ello que generalmente se tienen que eliminar en forma manual antes de la trituración. El material molido, lavado y seco se filtra en estado fundido en la segunda fase de limpieza, la cual se lleva a cabo dentro del extrusor granulador por medio de sistemas de mallas o tamices intercambiables colocadas dentro del cilindro del extrusor.

## 3.- COMPACTADO.

Se aplica a los desperdicios de película, fibras y materiales espumados, los cuales por su baja densidad aparente requieren equipos especiales que funcionan a elevadas velocidades dando como consecuencia un aumento en la temperatura de molienda ocasionando a su vez una aglomeración

de material. Los compresores se ofrecen generalmente formado parte de una instalación combinada formada por un molino antepuesto al compactador.

#### 4.- PELLETTIZACION.

La pelletización consiste básicamente en un proceso de extrusión con un dado especial a base de un plato perforado con orificios de aproximadamente 2mm. y por ellos sale fundido y homogenizado el plástico para posteriormente ser cortado.

Cuando el corte se realiza por medio de cuchillas a la cabeza del dado se denomina "pelletizado en caliente" y cuando se forman tiras que se enfrían en tinas de agua y posteriormente se cortan se denomina "pelletizado en frío".

La tecnología de pelletizado difiere principalmente en el tipo de diseño de husillos de extrusión y prácticamente todas las firmas que fabrican extrusores ofrecen líneas para pelletizado.

#### 5.- MODIFICACION CON ADITIVOS.

El empleo de aditivos para restablecer, ó en muchos casos mejorar, el comportamiento de los plásticos recuperados es de vital importancia para el éxito de las operaciones de reciclado.

La clave para lograr un beneficio en el reciclado de plásticos es hacer productos con un valor agregado a partir del desecho.

Los aditivos que pueden utilizarse para reformular plásticos reciclados son los siguientes:

- Cargas.
- Fibra de vidrio.
- Agentes de acoplamiento.
- Antioxidantes.

MILES DE INVERSION PARA LINEAS DE RECICLADO DE PELICULAS DE POLIETILENO Y POLIPROPILENO.

| TIPO DE MAQUINARIA                        | SIKOPLAST | AREMA     | SOREMA      | WEISS     | FEM       |
|---|-----------|-----------|-------------|-----------|-----------|
| TECNOLOGIA                                | ALEMANA   | AUSTRIACA | ALEMANA     | ALEMANA   | ITALIANA  |
| MODELO                                    | 140/90/I  | RGA 80    | FR 1000/160 | WRL 600   | MEE 70    |
| CAPACIDAD (Kg/hr)                         | 140       | 150 - 125 | 500 - 1000  | 150 - 300 | 120 - 150 |
| PRODUCCION MENSUAL (TON)                  | 70        | 75 - 125  | 250 - 500   | 75 - 150  | 75        |
| COSTO OPERACION TOTAL (\$/Kg)             | 400       | 350       | 250         | 300       | 300       |
| PRECIO INSTALACION<br>(MILLONES DE PESOS) | 600       | 720       | 4000        | 800       | 450       |
| UTILIDAD \$/Kg.                           | 900       | 1000      | 1200        | 1000      | 1000      |
| UTILIDAD MENSUAL<br>(MILLONES DE PESOS)   | 60        | 75 - 125  | 300 - 600   | 75 - 150  | 75        |
| RECUPERACION DE LA<br>INVERSION (MESES)   | 10        | 10        | 13          | 11        | 6         |

- Estabilizadores de luz U. V.
- Modificadores de impacto.
- Agentes nucleantes.
- Reactivadores de metales.
- Agentes desmoldantes.
- Retardante de fiama.

Con tales reformulaciones, los residuos de plásticos, están en posición de competir en algunas aplicaciones de alta tecnología industrial, por ejemplo, las botellas de PET para bebidas carbonatadas podrán terminar un día en las defensas y otras partes de automoviles.

#### 6.- LINEAS COMPLETAS DE RECICLADO.

Existen en el mundo diversas empresas especializadas en la fabricación de líneas completas para el reciclado de plásticos, las cuales incluyen todos los pasos del proceso descrito anteriormente y que diseñan sus equipos a la medida de las necesidades de cada tipo de desperdicio.

Algunas de estas firmas son:

| <u>EMPRESA</u> | <u>TECNOLOGIA</u> |
|----------------|-------------------|
| SIKOPLAST      | ALEMANA           |
| SOREMA         | ITALIANA          |
| EREMA          | AUSTRIACA         |
| WEISS GMBH     | ALEMANA           |
| PREALPINA      | ITALIANA          |
| FEM            | ITALIANA          |
| MIOTTO         | BRASILEÑA         |
| TECNOVA        | ITALIANA          |

PLASTICOS MEZCLADOS.

Cuando se tienen mezclas de distintos materiales plásticos las cuales resultan difíciles de separar física y económicamente, se han desarrollado métodos especiales para su reciclamiento para obtener barras, placas y diversos productos moldeados.

El proceso consiste básicamente en las siguientes etapas:

- 1.- Fragmentación de los desperdicios.
- 2.- Las fracciones ligeras como películas son automáticamente compactadas en la base de trituración alcanzándose 8mm. de malla.
- 3.- La mezcla puede ser pre-lavada si ésta contiene un alto nivel de contaminación de materia orgánica.
- 4.- El material es alimentado a un silo perforado cuya función es mezclar y almacenar; aquí el material es secado y homogenizado. En esta fase pueden agregarse los aditivos, por ejemplo, pigmentos, mientras el silo sigue rotando continuamente para prevenir que el material se apelece.
- 5.- La mezcla es descargada desde el mezclador a una tolva intermedia dispuesta con un separador magnético de metales y que alimenta directamente al extrusor.
- 6.- El extrusor ó plastificador es manejado hidráulicamente para lograr altas velocidades que calienten a la mezcla de 200 a 300 °C por fricción durante un corto período de residencia dentro del cilindro para evitar su degradación. Posteriormente la mezcla es llevada por compresión hacia los moldes.
- 7.- El corto período de residencia dentro de la máquina y el diseño de la misma evita la posibilidad de que se liberen sustancias volátiles.
- 8.- Diez ó veinte moldes montados rotativamente se van llenando en forma sucesiva frente a la salida de la mezcla fundida del extrusor, después por

medio de un baño de agua se lleva a cabo el enfriamiento y finalmente se retira la pieza moldeada.

9.- Las piezas recién desmoldeadas se colocan en estantes aireados horizontalmente durante 8 ó 10 horas para alcanzar el enfriamiento del centro y la estabilización total del producto.

Debido a que algunos plásticos resultan ser incompatibles entre sí cuando están fundidos, existen dificultades durante el proceso y esto no permite la obtención de productos de buena calidad. Por esta razón, se requiere una clasificación previa de los desechos de tal forma que uno de los plásticos componentes de la mezcla ocupe más del 50%, este plástico generalmente es el polietileno.

A pesar de que las tecnologías desarrolladas permiten amplias tolerancias en la composición de la mezcla se presentan ciertas recomendaciones que deben tomarse en cuenta referentes a las cantidades presentes de PVC, PET y Poliestireno en la mezcla.

\* Cloruro de polivinilo (PVC).- La inestabilidad térmica de este polímero puede ocasionar dificultades durante el proceso de moldeo a causa del desprendimiento de gases. Estos problemas pueden eliminarse ampliamente cuando no se sobrepasan niveles del 10% en la mezcla ó bien agregando un estabilizador al calor, con lo cual el sistema puede tolerar niveles de PVC de hasta un 50%, por ejemplo, el desperdicio de cable se agrega sin ningún riesgo de emisión de gases.

\* Polietileno tereftalato (PET).- El índice de fluidez de este plástico es considerablemente más grande que cualquier otro material en la mayoría de las mezclas probables y que ocupan un mayor porcentaje.

El PET debe primero ser granulado finamente de tal forma que actúe como una carga en los productos moldeados para proporcionar tenacidad, la mezcla no debe exceder el 20% de PET.

\* Poliestireno.- Los grandes modificados al impacto proporcionan a la mezcla características de tenacidad, sin embargo, los grados de uso general ó cristal causan irregularidades en la superficie de las piezas moldeadas y el poliestireno expansible tiene muy baja densidad para el proceso. El PS deberá limitarse al 10% en la mezcla.

El proceso presenta grandes tolerancias referentes al contenido de sustancias no plásticas. Un ejemplo del material ha utilizarse son las laminaciones de plástico con aluminio o papel las cuales previamente antes de incluirse en la mezcla deben de estar finamente granuladas.

#### NIVELES DE INVERSION.

Este sistema fue creado originalmente en Japón por la empresa Mitsubishi. Posteriormente la empresa Advanced Recycling Technologies realizó mejoras sobre ésta y patentó la Tecnología de extrusión ET/I con la cual se tienen actualmente operando más de 20 empresas en Europa y Rusia.

En Estados Unidos la primera planta fue instalada en Michigan por la empresa Processed Plastics una división de Summit Steel. La unidad completa tiene un costo de 250 000 usd. , y su producción es de 50 ton/mes en promedio. Los moldes adicionales varían entre los 2000 y 4000 usd.

#### APLICACIONES.

En Europa y Japón los bloques plásticos de material reciclado llamados también "madera plástica" han encontrado gran variedad de aplicaciones en el sector agrícola, marino y construcción de carreteras.

Aunado a las ventajas de disminuir la tala de bosques, el uso de estructuras de madera plástica en Europa ha resuelto otro problema que era el robo de artículos urbanos de madera para usarse como combustible en invierno.

CONCLUSIONES.

Es importante destacar que los materiales plásticos generan una gran competitividad debido a que las empresas productoras de plásticos de ingeniería enfrentan cotidianamente una gran competencia y tienen en la actualidad una mayor dificultad para colocar sus productos en el mercado, lo que ocasiona la generación de nuevos y mejores plásticos. Así pues, los materiales se han ido desarrollando alrededor de las aplicaciones buscando una mayor competitividad.

La importancia del diseño de una pieza de plástico radica en que dentro de la línea de producción se presentan problemas de molde o de moldeo, que ocasionan piezas defectuosas, a veces el problema empieza con un mal diseño y sobre todo por una mala elección del material, ya que este debe brindar las propiedades justas sin sobre especificar la pieza y tener buena procesabilidad.

El reciclado de plástico cobra cada día más importancia, ya que es necesario recuperar todo lo mayor posible de los desechos generados. Esto ha sido una tarea difícil no solo por la creación de la infraestructura para llevarlo a cabo, sino para que este se de algunas compañías como EXXON, primero debieron llenar el mercado con envases reciclables, recuperara dichos envases y así poder poner en operación su planta de reciclado.

## APENDICE. A.

| POLIMERO  | ACRONIMO                   | DENSIDAD<br>gr/cm <sup>3</sup> | ABSORCION<br>DE AGUA<br>(24 hrs.)<br>% | RESISTENCIA<br>A LA TENSION |           | DUREZA<br>ROCKWELL | IMPACTO<br>IZOD | RESISTENCIA<br>A LA<br>COMPRESION<br>Kg / cm <sup>2</sup> | TEMPERATURA<br>VICAT<br>°C | TEMPERATURA<br>DEFLECCION (H) |       |
|---|----------------------------|--------------------------------|--|-----------------------------|-----------|--------------------|-----------------|---|----------------------------|-------------------------------|-------|
|   |                            |                                |  | Kg / cm <sup>2</sup>        | %         |                    |                 |   |                            | 66 psi                        | 264   |
| POLIETILENO<br>alta densidad<br>baja densidad<br>lineal b. d.   | HDPE                       | 0.94-0.96                      | 0.01                                   | 210 - 3900                  | 50 - 1000 | 60-70              |                 | 200 - 300   | 117 - 126                  | 80 - 91                       | 43 -  |
|   | LDPE                       | 0.91-0.94                      | 0.01                                   | 40 - 160                    | 100 - 800 | 40-50              |                 | -   | 40                         | 40 - 74                       | 32 -  |
|   | LLDPE                      | 0.91-0.93                      | -                                      | 211 - 334                   | 700 - 800 | 44-48              |                 | -   | 32                         |                               |       |
| POLIURETANO<br>uso general<br>FDA   | PUR                        | 1.05-1.25                      | 0.5                                    | 140 - 600                   | 10        | 65-80              |                 | 1200 - 1600   | 88                         |                               |       |
|   |                            | 1.10-1.11                      |  | 344 - 562                   |           | 65-72              |                 | -   |                            |                               |       |
| CLORURO DE FO-<br>LIVINILO<br>rígido<br>flexible  | PVC                        | 1.35-1.45                      | 0.08-0.4                               | 400 - 650                   | 10 - 100  | 70-80              | 5 - 12          |   | 55 - 75                    |                               |       |
|   |                            | 1.15-1.35                      | 0.2 -0.8                               | 100 - 250                   | 200- 450  | 50-100             | -               |   |                            |                               |       |
| POLIESTIRENO<br>uso general<br>alto flujo<br>medio flujo<br>resist. a temp.<br>medio impacto<br>alto impacto<br>super alto i. | PS                         | 1.04                           |  | 30932                       | 1.2       | 79                 | 1.08            |   | 85.5                       |                               |       |
|   |                            | 1.05                           | 0.03                                   |                             | 1.8       | 75                 | 1.6             |   | 87.7                       |                               | 75    |
|   |                            | 1.05                           | 0.03                                   |                             | 2.1       | 75                 | 1.6             |   | 95                         |                               | 82    |
|   |                            | 1.05                           | 0.03                                   |                             | 2.1       | 75                 | 1.9             |   | 106                        |                               | 90    |
|   |                            | 1.05                           | 0.05                                   |                             | 35        |                    | 4.9             |   | 93                         |                               |       |
|   |                            | 1.05                           | 0.07                                   | 20387<br>14060              | 60        |                    | 6.5<br>10.8     |   | 97                         |                               |       |
| ACRILONI-ESTI-<br>RENO-ESTIRENO   | AES                        | 1.04-1.06                      | 0.30                                   | 365 - 464                   | 20 - 40   | 102-112            | 7-              |   | 95 - 99                    |                               |       |
|   |                            | 1.04-1.06                      | 0.30                                   | 394 - 429                   | 30 - 40   | 102-111            | 13.6-22         |   | 96 - 101                   |                               |       |
| ACRILIO-ESTIRENO  | SAW                        | 1.08                           | 0.25                                   | 794                         | 22        | 122                | 1.6             |   | 107                        |                               |       |
| RESINA "K"  |                            | 1.01                           | 0.08-0.09                              | 246 - 281                   | 10 - 100  | 72-75              | 100-375*        |   | 93                         |                               |       |
| ALEACIONES  | AES/PC                     | 1.08-1.16                      | 0.15-0.21                              | 480 - 600                   | 15 - 60   | 115-120            | 30-115          |   | 126 - 145                  | 104-127                       | 99-1  |
|   | AES/PVC                    | 1.20-1.30                      | 0.09-0.15                              | 420 - 520                   | 20        | 100-110            | 20-65           |   | 80 - 85                    | 80-110                        | 70-9  |
|   | AES/PA                     | 1.06                           |  | 400 - 520                   |           | 95-101             | 16-19           |   | 179 - 210                  | 92-94                         | 87    |
|   | PFO/PA                     | 1.10                           | 0.3-0.5                                | 20000-22000                 | 5         | 85-115             | 50-175          |   | 215 - 220                  |                               |       |
|   | PFO/PA+30%<br>de F.V.      | 1.31                           | 0.5                                    | 90000                       |           | 141                | 85              |   | 240                        |                               | 225   |
|   | PFO/PS                     | 1.05-1.06                      | 0.07-0.14                              | 21000-25000                 | 3 - 7     | 115                | 200-250         |   | 125 - 148                  |                               | 110-1 |
|   | PFO/PS piro-<br>retardante | 1.06-1.14                      | 0.08-0.37                              | 24000-28000                 | 3 - 7     | 89-115             | 150-250         |   | 105 - 142                  |                               | 90-1  |

| IMPACTO<br>IZOD                                 | RESISTENCIA<br>A LA<br>COMPRESION<br>Kg / cm <sup>2</sup> | TEMPERATURA<br>VICAT<br>°C                     | TEMPERATURA DE<br>DEFECCION (HDT)<br>°C |                          | COEFICIENTE<br>DE DILATACION<br>X 10 <sup>-5</sup><br>cm/cm °C | RESISTIVIDAD<br>VOLUMETRICA<br>Ohm - cm                                      | CONSTANTE<br>DIELECTRICA<br>60 Hz. | RESISTENCIA<br>DIELECTRICA<br>V/mm                              | NOMBRES<br>COMERCIALES  |
|---|---|--|---|--------------------------|--|--|------------------------------------|---|---|
|   |   |  | 66 psi                                  | 254 psi                  |  |  |                                    |   |   |
|   | 200 - 300<br>-<br>-                                       | 117 - 126<br>40<br>32                          | 80 - 91<br>40 - 74                      | 43 - 54<br>32 - 49       |  | 1x10 <sup>15</sup> -1x10 <sup>16</sup><br>1x10 <sup>6</sup>                  | 2.3-2.56<br>2.1-2.3                | 172 - 234<br>164 - 273  | HOSTALEN, VESTOLEN A.<br>LIFOLEN, TROLEN 200.<br>DOWLEX, MORIL.                                       |
|   | 1200 - 1600<br>-  | 88   |   |                          |  | 2x10 <sup>11</sup> -1x10 <sup>14</sup>                                       | 5.4-7.6                            | 129 - 246   | DUREAN U, ULTRAMED U.<br>ESDNE, TROFLEX.  |
| 5 - 12<br>-                                     |   | 55 - 75  |   |                          | 100 - 500<br>700 - 2500  | 10 <sup>-12</sup> -12 <sup>-16</sup><br>10 <sup>-11</sup> -10 <sup>-14</sup> | 3.2-4.0<br>5.0-9.0                 | 137 - 195<br>117 - 156  | TROSTPLAST, VESTOLIT.<br>COROPLAST.   |
| 1.08<br>1.6<br>1.6<br>1.9<br>4.9<br>6.5<br>10.8 |   | 85.5<br>87.7<br>95<br>106<br>93<br>97          |   | 75.8<br>82<br>90.5<br>78 |  | 7.5<br>7.5<br>7.5  |                                    |   | POLYSTYROL<br><br>POLYSTYROL 51.<br>POLYSTYROL 51.<br>VESTYRON 540.<br>VESTYRON 550.<br>VESTYRON 560. |
| 7-<br>13.6-22                                   |   | 95 - 99<br>96 - 101                            |   |                          | 3 - 5.1<br>4.8 - 5.2   |  |                                    |   | NOVOCUR W, VESTOCUR.<br>LUSTRAN I.  |
| 1.6   |   | 107  |   |                          | 3.0  |  |                                    |   | LURAN, VESTORAN.  |
| 100-375*  |   | 93   |   |                          | 14.0   |  | 2.5                                | 300   |   |
| 30-115<br>20-65<br>16-19<br>50-175              |   | 126 - 145<br>80 - 85<br>179 - 210<br>215 - 220 | 104-127<br>80-110<br>92-94              | 99-116<br>70-90<br>87    | 8.3 - 8.5  | 1 x 10 <sup>6</sup><br>2.5 x 10 <sup>9</sup><br>6.4 x 10 <sup>14</sup>       | 3<br>3<br>0.024                    | 1.7x10 <sup>4</sup><br>3x10 <sup>4</sup><br>1.7x10 <sup>4</sup> | CYCOLOY, FULSE.<br>CONALLOY.<br>ELEMID RIM, TRIAX 1120.<br>MORIL GTX.                                 |
| 85<br>200-250                                   |   | 240<br>125 - 148                               |   | 225<br>110-130           | 2 - 3<br>6 - 7   |  |                                    |   | LURANIL, PREVEX.  |
| 150-250   |   | 105 - 142                                      |   | 90-125                   | 6 - 7  |  |                                    |   |   |

## APENDICE (continuación).

| POLIMERO  | ACRONIMO | DENSIDAD<br>gr/cm <sup>3</sup> | ABSORCION<br>DE AGUA<br>(24 hrs)<br>% | RESISTENCIA<br>A LA TENSION<br>Kg/cm <sup>2</sup> | ELONGACION<br>% | DUREZA<br>RODWELL | IMPACTO<br>IZOD<br>Kg cm/cm | RESISTENCIA<br>A LA<br>COMPRESION<br>Kg/cm <sup>2</sup> | TEMPERATURA<br>VICRYL<br>°C |          | TEMPERATURA DE<br>DEFLEXION (HET)<br>°C |         |
|---|----------|--------------------------------|---------------------------------------|---|-----------------|-------------------|-----------------------------|---|-----------------------------|----------|---|---------|
|   |          |                                |                                       |   |                 |                   |                             |   | 66 psi                      | 264 psi  | 66 psi                                  | 264 psi |
|   | PC/PBT   | 1.10-1.25                      | 0.7                                   | 640 - 1300  | 2 - 5.5         |                   | 20 - 35                     |   | 112 - 134                   | 105-130  | 100-115                                 |         |
|   | PC/PET   | 1.10-1.25                      | 0.7                                   | 640 - 1300  | 2 - 5.5         |                   | 20 - 35                     |   | 112 - 134                   | 105- 130 | 100-115                                 |         |
|   | PC/SMA   | 1.12-1.14                      | 0.2                                   | 810 - 1100  | 75 - 80         |                   | 65 - 81                     |   | 135 - 143                   | 120-130  | 107-112                                 |         |
|   | PC/ASA   | 1.35                           | 0.08                                  | 640 - 660   | 70 - 120        |                   | 54 - 70                     |   |                             | 107-110  | 96-99                                   |         |
| POLIAMIDA:<br>NYLON 6/6<br>uso general<br>carga 30% F.V.<br>benz<br>pirocetardante.                   | PA       | 1.13-1.15                      | 1 - 2.8                               | 964   | 15 - 60         | 120               | 2.5 - 4.5                   | 879 - 1055  |                             | 232-245  | 75-88                                   |         |
|   |          | 1.15-1.40                      | 0.7 - 1.1                             | 1970  | 2.4 - 4         | 101 - 119         | 7.2 - 20                    | 1688 - 2815   |                             | 126-260  | 122-254                                 |         |
|   |          | 1.08                           | 1                                     | 493   | 125             | 100               | 76                          |   |                             |          | 65.6                                    |         |
|   |          | 1.42                           | 0.9                                   | 600   | 10              | 82                | 2.7                         | 1760  |                             |          | 79.4                                    |         |
| POLICARBONATO<br>uso general<br>alto impacto<br>pirocetardante  | PC       | 1.20                           | 0.10                                  | 700   | 7               | 118               | 100                         |   | 153                         | 145      | 138                                     |         |
|   |          | 1.16                           | 0.15                                  | 605   | 160             |                   | 110                         |   |                             | 104      | 96                                      |         |
|   |          | 1.20-1.24                      | 0.10                                  | 600 - 700   | 7               | 125               | 100                         |   | 153 - 157                   | 145      | 135-138                                 |         |
| POLIMETIL ME-<br>TACRILATO<br>alto impacto<br>resist. temp.<br>alto imp./alto<br>flujo.<br>copolímero | PMA      | 1.11-1.18                      | 1.19-0.8                              | 386   |                 | 38 - 68           | 5.8                         | 750   |                             | 60 - 93  |   |         |
|   |          | 1.16-1.19                      | 0.2-0.3                               | 386   |                 | 94 - 105          | 5.98                        | 750   |                             | 80 - 130 |   |         |
|   |          | 1.17                           | 0.3                                   | 478   |                 | 65                | 5.98                        | 450   |                             | 60 - 93  |   |         |
|   |          | 1.09-1.13                      | 1.15-0.17                             | 569   |                 | 75 - 78           | 2.18                        | 1050  |                             | 65 - 98  |   |         |
| POLIESTER<br>TERMOELASTICO:<br>POLIETILEN TE-<br>REFTALATO.<br>carga 30% F.V.<br>carga 43% F.V.       | PET      | 1.56                           |                                       | 1.65  |                 | M100              | 101                         | 1.75  |                             |          |   |         |
|   |          | 1.69                           |                                       | 1.96  |                 | M100              |                             | 1.82  |                             |          |   |         |
| POLIBUTILEN TE-<br>REFTALATO.<br>carga 30% F.V.   | PBT      | 1.31                           |                                       | 0.53  |                 | 117               | 53                          | 0.92  |                             |          |   |         |
|   |          | 1.53                           |                                       | 1.19  |                 | 118               | 96                          | 1.26  |                             |          |   |         |

| CORTAZA<br>DORWELL     | IMPACTO<br>IZOD                          | RESISTENCIA<br>A LA<br>COMPRESION | TEMPERATURA<br>VICRYT               | TEMPERATURA DE<br>DEFLEXION (HOT)                    |  | COEFICIENTE<br>DE DILATAION | RESISTIVIDAD<br>VOLUMETRICA  | CONSTANTE<br>DIELECTRICA       | RESISTENCIA<br>DIELECTRICA                     | NUMEROS<br>COMERCIALES   |
|------------------------|--|-----------------------------------|-------------------------------------|--|--|-----------------------------|--|--------------------------------|--|--|
|                        |  |                                   |                                     | Kg/cm <sup>2</sup>                                   | °C                                     |                             |  |                                |  |  |
|                        | 20 - 35<br>20 - 35<br>65 - 81<br>54 - 70 |                                   | 112 - 134<br>112 - 134<br>135 - 143 | 105-130<br>105- 130<br>120-130<br>107-112<br>107-110 | 100-115<br>100-115<br>107-112<br>96-99 | 3 - 8<br>3 - 8<br>8         | 1 x 10 <sup>6</sup><br>1 x 10 <sup>6</sup><br>6.6 x 10 <sup>19</sup> | 2.9 - 3.2<br>2.9 - 3.2<br>3.30 | 2.4 x 10 <sup>6</sup><br>2.4 x 10 <sup>6</sup> | XENY 1100, AZLOY.<br>XENY 2730, ULTRALEND.<br>ARLOY, ARCO CHEM.<br>GELOY 4001. |
| 120<br>01 - 119<br>100 | 2.5 - 4.5<br>7.2 - 20<br>76              | 879 - 1055<br>1688 - 2815         |                                     | 232-245<br>126-260                                   | 75-88<br>122-254<br>65.6               | 8<br>1.5 - 5.4              |  | 4.30<br>4.40<br>4.0            | 600<br>360 - 500                               | ULTRAMID, DURETHAN.<br>EMI X   |
| 82                     | 2.7                                      | 1760                              |                                     |  | 79.4                                   |                             |  |                                | 520  |  |
| 118<br>125             | 100<br>110<br>100                        |                                   | 153<br>153 - 157                    | 145<br>104<br>145                                    | 138<br>96<br>135-138                   | 7<br>7                      | 10 <sup>16</sup><br>10 <sup>16</sup>                                 | 3.17<br>2.9<br>3.0             | 15<br>16.7<br>16.7                             | DENTER RFL, SIMMET.<br>LEON HF<br>LEON HE.                                     |
| 68<br>- 105            | 5.8<br>5.98                              | 750<br>750                        | 60 - 93<br>80 - 130                 |  |  | 480 - 800<br>500 - 710      |  | 2.20<br>2.20                   | 38 - 50<br>40 - 50                             | VEIRIL 18<br>ACRYLITE L-40.  |
| 65<br>- 78             | 5.98<br>2.18                             | 450<br>1050                       | 60 - 93<br>65 - 98                  |  |  | 480 - 800<br>600 - 800      |  | 2.20                           | 38 - 50<br>45                                  | DEZALAN 6<br>NUFOL 46-8016   |
| 100<br>100             | 101                                      | 1.75<br>1.82                      |                                     |  |  | 2.9<br>2.3                  |  | 3.5<br>3.9                     |  | IMPET<br>CEL STRAN.  |
| 117<br>118             | 53<br>96                                 | 0.92<br>1.26                      |                                     |  |  | 12.8<br>2.50                |  | 3.1<br>3.0                     |  | RITEFLEX.<br>CELANEX.  |

APENDICE B --- A C R O N I M O S .

Las abreviaturas más comunes de los plásticos llamados acronimos se enlistan a continuación:

ACRONIMO

NOMBRE QUIMICO

|       |  |
|-------|--|
| ABS   | ACRILONITRILO BUTADIENO ESTIRENO             |
| CA    | ACETATO DE CELULOSA                          |
| EP    | EPOXICAS                                     |
| EPS   | POLIESTIRENO EXPANDIBLE                      |
| EVA   | ETIL VINIL ACETATO                           |
| HDPE  | POLIETILENO ALTA DENSIDAD                    |
| LDPE  | POLIETILENO BAJA DENSIDAD                    |
| LLDPE | POLIETILENO LINEAL DE BAJA DENSIDAD          |
| MF    | MELAMINA FORMALDEHIDO                        |
| PA    | POLIAMIDA (NYLON)                            |
| PB    | POLIBUTADIENO                                |
| PBT   | POLIBUTILEN TEREFTALATO                      |
| PC    | POLICARBONATO                                |
| PEI   | POLIESTER IMIDA                              |
| PES   | POLIESTER SULFONA                            |
| PET   | POLIETILEN TEREFTALATO                       |
| PF    | FENOL FORMALDEHIDO                           |
| PMMA  | POLIMETIL METACRILATO (ACRILICO)             |
| POM   | POLIOXIDO DE FENILENO (ACETAL)               |
| PP    | POLIPROPILENO                                |
| PPO   | OXIDO DE POLIFENILENO                        |
| PPS   | POLIFENILEN SULFONA                          |
| PS    | POLIESTIRENO                                 |
| PTFE  | POLITETRAFLUOROETILENO (TEFLON) <sup>2</sup> |
| PUR   | POLIURETANO                                  |
| PVC   | CLORURO DE POLIVINILO                        |
| SAN   | ACRILONITRILO ESTIRENO                       |
| SB    | ESTIRENO BUTADIENO (RESINA K)                |

ACRONIMO

NOMBRE QUIMICO

TPE

ELASTOMERO TERMOPLASTICO

TPU

POLIURETANO TERMOPLASTICO

UHMWPE

POLIETILENO DE ULTRA ALTO PESO MOLECULAR

UF

UREA FORMALDEHIDO

UP

POLIESTER INSATURADO

BIBLIOGRAFIA.

- \* **Plastics materials and processes.**  
Schwartz Seymour.  
Ed. Reinhold.
- \* **Química y tecnología de los plásticos.**  
Driver, Walter.  
Ed. Compañía editorial Continental.
- \* **Inyección de plásticos.**  
Mink, Spe Walter.  
Ed. Gustavo Gil.
- \* **Structural design with plastics.**  
B. S. Bengamin.  
Ed. Van Nostrand Reinhold.
- \* **La ciencia e ingeniería de los materiales.**  
Askeland  
Grupo editorial interamericana.
- \* **Tecnología de los materiales.**  
Heliodoro Espinoza H.  
Ed. Pacheco V. editor de libros técnicos.
- \* **Introducción al análisis químico de los plásticos.**  
José González Ramos.  
Ed. BLUME.
- \* **Plastics engineering handbook of the Society of the plastics.**  
Joel Frados.  
Ed. Van Nostrand Reinhold Company.
- \* **Industrial plastics. Theory and application.**  
Terry L. Richardson.  
Ed. Delmar.

- \* Tecnología de los plásticos para ingenieros.  
Meysenbug, Carl Max Von.  
Ed. URMO.
  
- \* Tratamiento de las superficies de plástico.  
K. Stoeckhert.  
Ed. Gustavo Gil.
  
- \* Materiales y procesos de fabricación.  
De Garmo.  
Ed. Reverte.
  
- \* Materiales para ingeniería y aplicaciones.  
Richard A. Flinn.  
Ed. Mc Graw Hill.