



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN**

**“CRITERIOS DE DISEÑO, PARA LA
FABRICACIÓN DE UN MOLDE DE
INYECCION DE PLASTICO”**

MEMORIA DE DESEMPEÑO PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A :
ZOHORAM CARRASCO VAZQUEZ
ASESOR: IQ. ARIEL SAMUEL BAUTISTA SALGADO

CUAUTITLAN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO 2004.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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 esta 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.

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



ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS



DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
PRESENTE

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

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

La memoria de desempeño profesional: Criterios de diseño, para la fabricación de un modelo de inyección de plástico.

que presenta el pasante: Zohoram Carrasco Vázquez
con número de cuenta: 8939429-8 para obtener el título de :
Ingeniero Químico

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 4 de Febrero de 2004

PRESIDENTE

IQ. Ariel Samuel Bautista Salgado

VOCAL

Dr. Adolfo Obaya Valdivia

SECRETARIO

IQ. Margarita Castillo Agreda

PRIMER SUPLENTE

MC. Ricardo Paramont Hernández García

SEGUNDO SUPLENTE

MC. Bernardo Francisco Torres

**Instruye al niño en su camino,
Y aún cuando fuere viejo no se apartará de él.**

Proverbios 22:6

**No nos cansemos, pues, de hacer bien;
Porque a su tiempo segaremos, si no desmayamos.**

Gálatas 6:9

**Antes bien, examinadlo todo cuidadosamente,
retened lo bueno.**

1ª Tesalonicenses 5:21

DEDICATORIA:

Dedico éste trabajo en forma de agradecimiento a todas aquellas personas e instituciones, que de una u otra forma, estuvieron involucradas y contribuyeron para hacerlo posible.

A la Universidad Nacional Autónoma de México

Por darme la oportunidad de realizarme como profesionista y ser humano, útil a la humanidad, que considero como una encomienda de la vida misma.

A mis maestros y honorable jurado:

- > IQ. Ariel Samuel Bautista Salgado.
- > Dr. Adolfo Obaya Valdivia.
- > IQ. Margarita Castillo Agreda.
- > MC. Ricardo Paramont Hernández García.
- > MC: Bernardo Francisco Torres.

Quienes comenzaron mi formación académica, trasmitiéndome sus conocimientos y ahora amablemente, dedicaron tiempo para revisar y corregir éste trabajo que ahora me permite culminar con ésta preparación profesional.

A Dios

Por darme vida; salud e inteligencia, para perseverar en la realización de mis sueños.

A mis padres:

- > Avinadí Carrasco Guerrero.
- > María del Rosario Vázquez Vera.

Con mi infinito amor, por el exhausto esfuerzo que realizaron durante muchos años para guiarme siempre por el mejor camino, creer en mi y proporcionarme todos los recursos necesarios para avanzar por la vida.

A la empresa Plásticos Envolvertes S.A. de C.V.

Por darme la oportunidad de desarrollarme profesionalmente, para adquirir la experiencia necesaria que me abrirá muchas puertas.

A mi amigo Víctor Martínez Ortiz

Por su colaboración y apoyo incondicional en todo momento.

A mi esposa Karina Granillo López

Por darme entusiasmo en concluir con la carrera y su tiempo empleado en realizar los trámites necesarios, mientras yo trabajaba.

A mis hermanos:

- Danivia Carrasco Vázquez.
- Neyba Carrasco Vázquez.
- Azalea Carrasco Vázquez.
- Adanniel Carrasco Vázquez.
- Alba Carrasco Vázquez.

Con todo mi sincero cariño, que sea un buen ejemplo de su hermano mayor.

A la memoria Doña Andrea Vera Acosta

Muy especialmente, cuya presencia se extrañó dolorosamente al llegar a esta meta, pero sus motivaciones y sabios consejos siguieron siempre presentes para conseguir lo que ella ya sabía que lograría.

ÍNDICE



	PÁGINA.
DESCRIPCIÓN DE DESEMPEÑO PROFESIONAL	I
INTRODUCCIÓN	IV
CAPITULO I.	
GENERALIDADES DEL PLÁSTICO	1
1.1 Definición	1
1.2 Estructura química	1
1.3 Procesos de obtención	2
1.3.1 Polimerización por adición	3
1.3.2 Polimerización por condensación	4
1.4 Materias primas	5
1.5 Clasificación	5
1.5.1 Por origen	6
1.5.2 Comportamiento térmico	7
1.5.3 Conformación física	8
1.5.4 Orientación	9
1.5.5 Polaridad	9
1.5.6 Consumo	10
1.5.7 Por familia	11
1.6 Propiedades	12
1.6.1 Físicas	12
1.6.2 Químicas	13
1.6.3 Mecánicas	13
1.6.4 Térmicas	13
1.6.5 Eléctricas	14



	PÁGINA.
1.7 Tratamientos	14
1.7.1 Aditivos	14
1.7.2 Cargas.....	16
1.8 Reciclado	18
1.9 Bases reológicas	18
1.9.1 Reología en fase líquida	18
1.9.2 Reología en estado sólido	25

CAPÍTULO II.

INTRODUCCIÓN A LOS PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN 27

2.1 Extrusión	27
2.2 Extrusión sople	28
2.3 Inyección sople	28
2.4 Inyección sople biorientado	29
2.5 Termoformado	30
2.6 Rotomoldeo	30
2.7 Calandreo	31
2.8 Otros	32

CAPÍTULO III.

PROCESO DE MOLDEO POR INYECCIÓN DE PLÁSTICO 34

3.1 Máquina y descripción de partes	34
3.1.1 Bancada	35
3.1.2 Unidad de inyección	36
3.1.3 Unidad de prensa	40



	PÁGINA.
3.2 Moldes para inyección de plástico	42
3.2.1 Componentes	43
3.2.2 Materiales de construcción	45
3.2.3 Costo de un molde	46
3.3 Ciclo de moldeo por inyección de plástico	46
3.3.1 Cierre del molde	47
3.3.2 Inyección	48
3.3.3 Enfriamiento	48
3.3.4 Sostenimiento	49
3.3.5 Carga o alimentación	49
3.3.6 Botado	49

CAPÍTULO IV.

ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO, PARA DETERMINAR LOS CRITERIOS DE DISEÑO EN LA FABRICACIÓN DE UN MOLDE DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO	51
4.1 Información general	51
4.1.1 Productividad deseada	51
4.1.2 Maquinaria y equipo existentes	53
4.1.3 Recursos disponibles	55
4.2 Diseño de la pieza	57
4.2.1 Forma y geometría	57
4.2.2 Selección de material	60
4.2.3 Tolerancias	73
4.2.4 Presentación	78
4.3 Diseño del molde	80
4.3.1 Determinación de cavidades	80



	PÁGINA.
4.3.2 Punto de inyección	83
4.3.3 Flujos dentro del molde	90
4.3.4 Sistemas de expulsión	110
4.3.5 Sistema de cierre	113
RESULTADOS	119
CONCLUSIONES	123
GLOSARIO DE TÉRMINOS	125
REFERENCIAS	136
ANEXOS	138

DESCRIPCIÓN DE DESEMPEÑO PROFESIONAL



DESCRIPCIÓN DE DESEMPEÑO PROFESIONAL

El pasante Ingeniero Químico Zohoram Carrasco Vázquez, actualmente desempeña el puesto de Ingeniero de Procesos en la empresa PLÁSTICOS ENVOLVENTES, S.A. DE C.V. perteneciente al corporativo de pinturas COMEX. Su giro es la transformación del plástico utilizando el proceso de moldeo por inyección, los principales productos que se fabrican son envases, tapas, asas, cartuchos, émbolos y pipetas, todos en diferentes modelos y tamaños para la industria de la pintura vinílica principalmente. Su labor es la planeación y desarrollo de nuevos proyectos para la mejora continua de los procesos; optimización en las condiciones de operación, desarrollo de nuevos materiales y mejora o rediseño de productos.

Por lo anterior, se mencionan los lineamientos y su relación con las operaciones involucradas para este proyecto:

El desarrollo de la Ingeniería Química, es la aplicación de la Ingeniería Mecánica y la Química juntas, una de las materias en las que se especializa, es el diseño de equipos que se encuentran en contacto compuestos o sustancias de origen químico, en todos ellos se involucra la influencia de variables como la presión, volumen, temperatura y tiempo. Por mencionar algunos ejemplos: reactores, calderas, tanques de almacenamiento, intercambiadores de calor y de forma análoga se encuentran los moldes para transformación de plástico por inyección.

- *Plástico*: significa capaz de ser moldeado, los plásticos son sintetizados por reacción química, es decir no se encuentran en la naturaleza con excepción del caucho, se encuentran como materiales rígidos, flexibles, duros, suaves, opacos, translúcidos, transparentes, permeables e impermeables; son ligeros, atóxicos e higiénicos.
- *Un proceso de transformación de plástico*: es aquel donde un termoplástico, que es una resina plástica capaz de ser fundida; cambia su forma original de materia prima por medios mecánicos y a diferentes condiciones termodinámicas, en un producto utilizable con la forma y asistencia de un molde



- *El moldeo por inyección de plástico:* es el proceso de transformación implicado. Consiste en alimentar material plástico en una cámara calefactora donde se funde y después es inyectado a la cavidad de un molde metálico cerrado bajo presión, que transcurrido un tiempo de enfriamiento, se solidifica el plástico y se retira la pieza final para volver a repetir el ciclo.

Desafortunadamente en México, el crecimiento de esta industria no ha ido a la par con el desarrollo de centros de investigación y capacitación en el área, por lo cual la mayoría de las personas que se ocupan de la producción y transformación de los plásticos, se han ido formando paulatinamente en la práctica.

Aportación:

El desarrollo de este proyecto va dirigido a las personas encargadas de crear, organizar y supervisar la producción, proporcionándoles los fundamentos teórico-prácticos del proceso, así como también conocimiento de los materiales, la maquinaria y los criterios para la fabricación de un molde para inyección de plástico, ya que de la construcción y la ejecución de un buen molde, dependerá la calidad de las piezas que serán vendidas, la empresa pueda competir y subsista.

Este proyecto implica tener amplios conocimientos relacionados y adquiridos dentro de la formación profesional como Ingeniero Químico.

Materias involucradas:

- Balance de Materia y Energía (Ingeniería Química I y II).
- Flujo de Fluidos (Ingeniería Química III).
- Transferencia de Calor (Ingeniería Química IV).
- Química Orgánica.
- Tecnología de Servicios.
- Ingeniería de Procesos.
- Ingeniería Mecánica.



- Diseño de Equipo.
- Dibujo.

Objetivos:

- Emplear los conocimientos adquiridos en la preparación académica y en la experiencia al trabajar en ámbito, para establecer los criterios necesarios en el diseño de un molde para inyección de plástico, ayudando a realizar satisfactoriamente el proyecto en el menor tiempo posible, reduciendo los costos de fabricación del molde de inyección de plástico y utilizando la tecnología disponible.
- Reducir los costos de producción, ahorrando energía, insumos y trabajo, para el mejor aprovechamiento de los recursos, alargando también el tiempo de vida de las máquinas como del equipo periférico.
- Lograr una excelente calidad de acabado al inyectar el producto, donde requiera poco o ningún trabajo adicional, más que el empaclado.
- Satisfacer la demanda del mercado con un nuevo producto que cubra sus necesidades.
- Desarrollar una fuente de información, que apoye a aquellos estudiantes interesados o que se vean implicados en la transformación del plástico.

INTRODUCCIÓN



INTRODUCCIÓN

La investigación de los materiales plásticos se inició desde 1830, descubriéndose más de 100 plásticos hasta 1990, con más de cien mil aplicaciones entre las que podemos mencionar las siguientes:

- Envases, empaques y embalajes
- Adhesivos y recubrimientos
- Construcción máquinas o edificios
- Muebles, utensilios y herramientas
- Transportes aéreo, navío o automotriz
- Equipo eléctrico
- Equipo médico
- Equipo industrial
- Equipo agrícola

Plástico significa capaz de ser moldeado. Los plásticos son sintetizados por reacción química, con excepción del caucho natural, se encuentran como materiales rígidos, flexibles, duros, suaves, opacos, translúcidos, transparentes, permeables e impermeables; son ligeros, atóxicos e higiénicos y su uso se efectúa dándoles una forma útil a través de la transformación.

Un proceso de transformación de plástico, es aquel donde un termoplástico, que es una resina plástica capaz de ser fundida por calentamiento, logra tener maleabilidad para cambiar su forma original de materia prima, por medios mecánicos y a diferentes condiciones termodinámicas, hasta obtener un producto utilizable.

La industria del plástico cumplió 100 años en el 2001 y seguirá creciendo en México en el orden del 20% anual durante el periodo 2001-2005. Los primeros 50 años corresponden a la investigación y a la implementación de los descubrimientos realizados, los siguientes 20 años en



la difusión de información y aprovechamiento de los mismos y los últimos 22 años en optimizar el uso de los mismos.

Recientes estudios de la O.N.U., indican que en los próximos 20 años el acero en general crecerá 2.5 veces, el aluminio 5, el vidrio 3 y el plástico 40 veces. Los plásticos son reciclables y con ello surge un buen negocio para recuperar los 2.5 millones de toneladas por año de desperdicios que se generarán los próximos 10 años.

Existen 3,200 empresas mexicanas dedicadas a la transformación del plástico y que se encuentran distribuidas el 80% en el Distrito Federal, Estado de México, Jalisco, Nuevo León, Puebla, Guanajuato y Yucatán. Sin embargo se están estableciendo empresas procedentes de Europa y Asia como consecuencia de los múltiples tratados comerciales que México ha firmado durante los últimos diez años.

Se muestra a continuación (Figura 1.) un informe estadístico publicado por la CANACINTRA con relación a los procesos de transformación de plástico que más utilizan las empresas mexicanas.

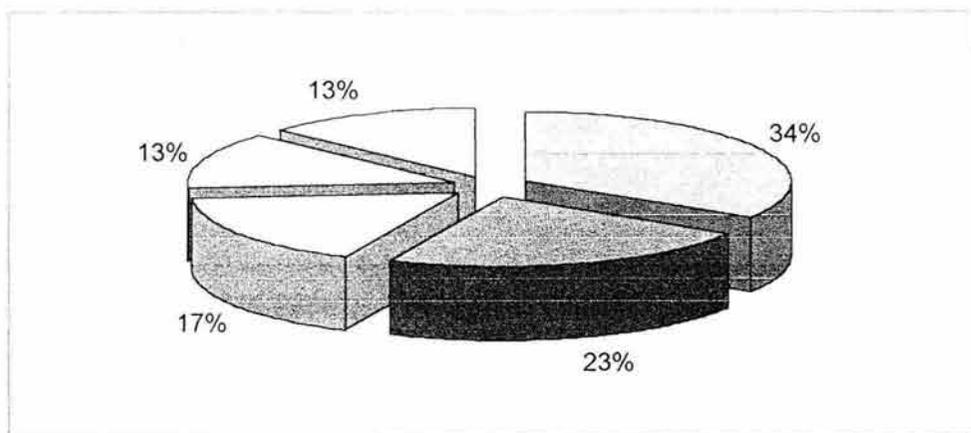


Figura 1. Empresas de transformación de plástico en México 2002.



Donde:

- 34 % *Inyección*: consiste en alimentar el material plástico en una cámara calefactora donde se funde y después es inyectado a la cavidad de un molde cerrado bajo presión, que transcurrido un tiempo de enfriamiento se retira el producto final.
- 23 % *Extrusión*: es un proceso de transformación donde una resina plástica es fundida, transformada en un tubo hueco o *parison*, introduciendo aire en su interior hasta lograr la forma del molde donde se encuentra introducido éste tubo.
- 13 % *Soplado*: es un proceso donde se obtiene una preforma por inyección, que posteriormente es recibido en otro molde, se precalienta y es expandido con aire a presión hasta tomar la forma del mismo.
- 13 % *Termoformado*: es un proceso de transformación donde una lámina de material plástico es moldeada por medio de presión y temperatura.
- 17 % Otros donde se obtienen una gran variedad de productos plásticos con diferentes usos, calidad en el acabado, durabilidad, costos de fabricación y como consecuencia precios de venta, razones por las que surge la necesidad de competir en el mercado con más y mejores productos ante una gran cantidad de industrias que incursionan en el mismo campo productivo.

Como se observa, el moldeo por inyección es la actividad tecnológica más importante que las empresas del plástico utilizan, la cual absorbe diferentes costos de operación dependiendo de:

- *Tipo de máquina de inyección*: tecnología, materiales de construcción, tamaño, marca.
- *Molde*: tecnología, material y su tratamiento, tamaño, capacidad.
- *Servicios*: agua, aire, corriente eléctrica.
- *Equipos periféricos*: torres de enfriamiento, compresores, motores, transportadores.



- *Variación termodinámica:* temperatura, presión, volumen, tiempo, velocidad.
- *Tipo de plástico, mezclas y aditivos.*

Hay que tomar en cuenta, que una buena pieza inyectada, solo puede conseguirse mediante el adecuado equilibrio de ajustes entre máquina, molde y material.

El mejor plástico no puede conseguir por sí mismo una fabricación rentable óptima sí:

- Es difícil de transformar.
- La máquina no puede adaptarse correctamente debido a sus insuficientes posibilidades de mando y regulación.
- La máquina no ha sido graduada correctamente.
- El proyecto no a tenido en cuenta la clase de material al diseñar el molde.

Una máquina de alto valor técnico y constructivo de gran rendimiento y con múltiples posibilidades de mando y regulación, tampoco conseguirá una producción óptima sí:

- El molde es débil.
- La temperatura del molde no se gradúa con exactitud.
- La marcha y la velocidad del molde no armoniza con la máquina.
- El material es difícil de transformar.

Pero un buen molde, necesita también un correcto diseño, en cuanto a:

- Tener en cuenta las contracciones (longitudinales, transversales, respecto a la fluencia de material).
- Atemperación correcta (dispersión de la temperatura, disposición de los canales de refrigeración, etc.).



- Adaptación a la máquina (longitud máxima y mínima de montaje, carrera de apertura, posibilidades de anclaje rápido y seguro).
- Posibilidad de transmisiones de señales con la máquina.

La finalidad de este proyecto es la fabricación de un buen molde para inyección de plástico.

Primeramente se explica que es el plástico, su origen y propiedades que nos ofrece para ser transformado en estado líquido y utilizado como una pieza en estado sólido.

Enseguida se mencionan los diferentes procesos de transformación que existen para plástico, que determinan al moldeo por inyección, como el más viable para este proyecto, posteriormente se describe el proceso, partes de la maquinaria, configuración principal de un molde para inyección, el ciclo del proceso y las condiciones de operación que deben cumplirse para la correcta fabricación de la pieza.

Necesariamente se habrá hecho un diagnóstico para encontrar la posibilidad de llevar acabo el proyecto, considerando la disponibilidad de maquinaria, equipo periférico y capacidades que demanda el proceso completo.

Se propone el algoritmo de construcción de un molde para inyección de plástico, pero para hacerlo válido, se desarrollan los criterios necesarios que darán la configuración de forma en la pieza y el molde en cuanto a las necesidades de los clientes, limitaciones y exigencias del proceso.

La pieza y el molde son presentados en dibujo a escala, con asistencia de un software de computadora *Auto CAD Versión 2000*, esto para una mejor visualización de los detalles del producto como arreglo de cada componente del molde. Cabe aclarar que los planos dimensionales del producto como del molde en este proyecto son confidenciales, por petición de la empresa, pero se mostrarán de forma representativa para comprobar la existencia de los mismos, esto es por contener tecnología innovadora, por haber requerido de mucho tiempo de



estudio y porque más adelante se pretenderá patentar, sin embargo se proporcionarán los datos requeridos para los cálculos que contiene este trabajo.

Una vez terminado el diseño del molde, se manda a fabricar y ya instalado en la máquina de inyección apropiada, se efectúa una serie de ajustes, graduando los múltiples factores que de los que depende el proceso para obtener el producto deseado.

Finalmente se analizan los resultados obtenidos, dando algunas sugerencias y obteniendo así las conclusiones.

CAPITULO I.
GENERALIDADES DEL PLÁSTICO



CAPÍTULO I. GENERALIDADES DEL PLÁSTICO

1.1 Definición.

Plástico es el nombre que generalmente recibe el grupo de materiales cuya característica principal es el estar formado por grandes moléculas, que a su vez están formadas por pequeñas unidades llamadas monómeros, que se repiten entre 200 y 10,000 veces, por esto los plásticos, químicamente, son llamados polímeros (Figura 1.1). El número de unidades que se repiten en una molécula grande se llama grado de polimerización. Otra característica importante de estos materiales es que prácticamente todos ellos son obtenidos de manera sintética.

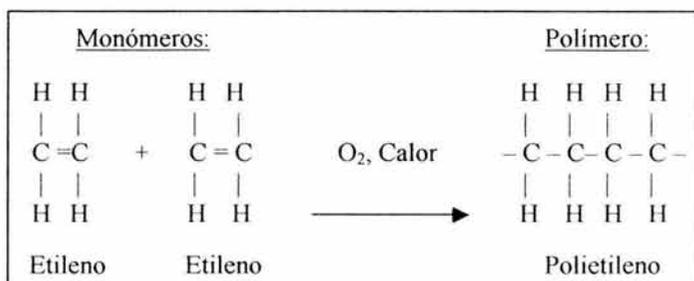


Figura 1.1 Polimerización del polietileno.

1.2 Estructura química.

La unión de los monómeros se debe principalmente a la capacidad que tiene el carbono (C) de unirse con otros cuatro elementos a la vez y consigo mismo. Es debido a esto que casi todos los plásticos son compuestos del carbono.

Los compuestos de carbono que presentan enlaces múltiples, por ejemplo: etileno, propileno, butadieno y los compuestos multifuncionales como dioles, diaminas, diácidos, etc., son materias primas para la obtención del plástico.



Se llaman enlaces a las uniones entre átomos y moléculas, los enlaces son de dos tipos: químicos y físicos. Un enlace químico es una unión muy fuerte, que se rompe difícilmente (sólo a través de reacciones químicas). Un enlace físico es mucho más sencillo de romper, es una unión de carácter polar eléctrico.

Los polímeros con un solo tipo de unidad que se repite se llaman homopolímeros, mientras que en los copolímeros se repiten varias unidades distintas.

Los polímeros pueden subdividirse en tres grupos estructurales (Figura 1.2).

- *Polímeros lineales*: las moléculas de los polímeros lineales consisten en largas cadenas de monómeros unidos por enlaces.
- *Polímeros ramificados*: los polímeros ramificados tienen cadenas secundarias que están unidas a la cadena principal. La ramificación puede ser producida por impurezas o por la presencia de monómeros que tienen varios grupos reactivos.
- *Polímeros entrecruzados*: en los polímeros entrecruzados dos o más cadenas están unidas por cadenas secundarias. Con un grado pequeño de entrecruzamiento se obtiene una red poco compacta, esencialmente bidimensional. Los grados elevados de entrecruzamiento dan lugar a una estructura compacta tridimensional. El entrecruzamiento es producido normalmente por reacciones químicas.

1.3 Procesos de obtención.

En forma general se llama polimerización al proceso de obtención de plásticos o polímeros y existen dos métodos generales para formar moléculas grandes a partir de monómeros pequeños, polimerización por adición y polimerización por condensación.

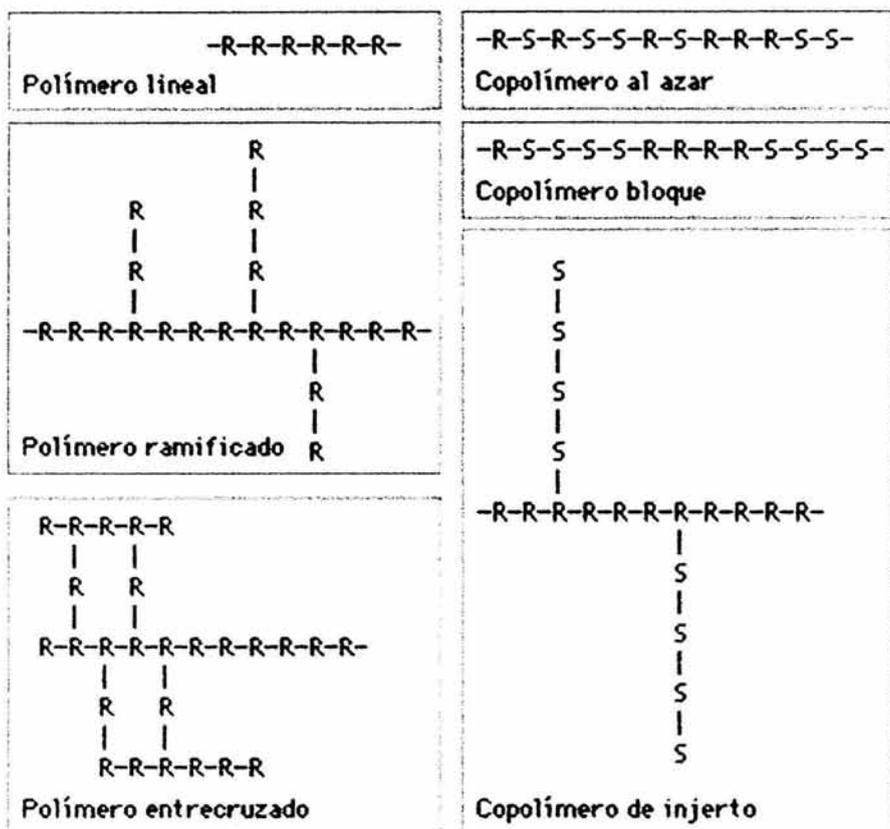


Figura 1.2 Estructura de polímeros donde R y S representan monómeros distintos.

1.3.1 Polimerización por adición

Los monómeros se unen entre ellos sin que las moléculas pierdan átomos. La característica principal que deben poseer los monómeros es de poseer un enlace múltiple (doble o triple) en su estructura, este proceso tiene como único resultado el plástico. Algunos plásticos importantes obtenidos por este proceso son el polietileno, polipropileno, acrílico y poliestireno.

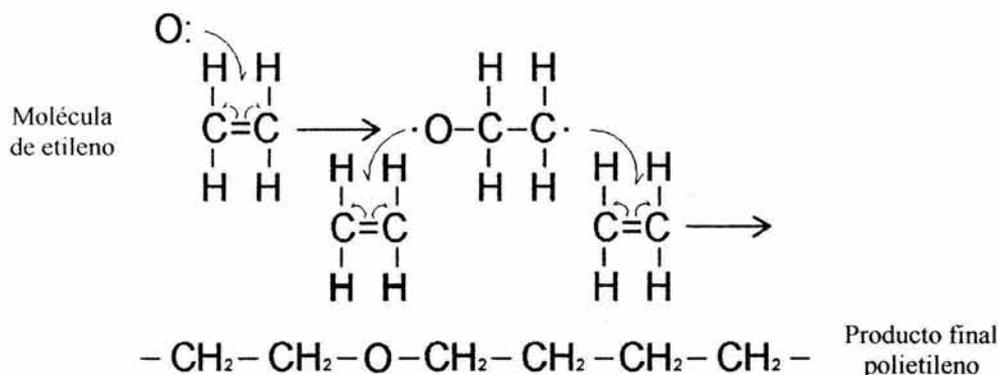


Figura 1.3 Reacción por adición del polietileno.

1.3.2 Polimerización por condensación

Los monómeros a fines se unen con la eliminación simultánea de átomos o grupos de átomos reaccionando entre sí. La característica principal que poseen dichas moléculas es que presentan grupos reactivos en por lo menos en dos puntos de su estructura. Al final de la reacción, además del plástico, se obtiene algún producto de bajo peso molecular como agua, amoniaco o algún ácido. Algunos plásticos importantes que se obtienen por este proceso químico son las poliamidas o nylon y el policarbonato

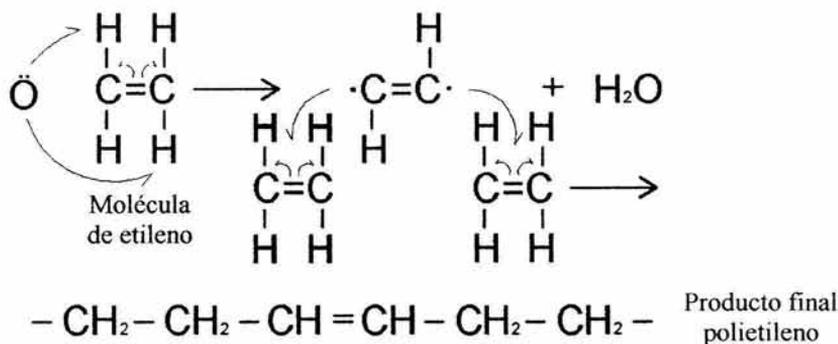


Figura 1.4 Reacción por condensación del polietileno.



1.4 Materias primas.

La materia prima más importante para la fabricación de plásticos es el petróleo. El 6 % se utiliza para la producción de éstos (Figura 1.5).

Otras materias primas que se emplean para la fabricación de plásticos, pero en menor cantidad, son el carbón, el gas natural, la madera, el algodón y el maíz, éste último para generar un polímero llamado polilactina. Todas estas materias primas con el petróleo, tienen en común contener en su estructura, carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N), azufre (S) o cloro (Cl).

Sus formas de presentación como materia prima para procesar son:

- Polvos (100 μm .)
- Pastas
- *Pellets* o gránulos (3 mm.)
- Cubos granulados
- Cilindros
- Aglomerados
- Lentejas
- Solución.

Los nombres químicos de los polímeros, con frecuencia son largos y complejos de utilizar, por lo que se usa comúnmente sus acrónimos (Anexo I).

1.5 Clasificación.

Debido a su estructura química, los plásticos tienen diferentes propiedades que pueden ser usadas para clasificarlos.

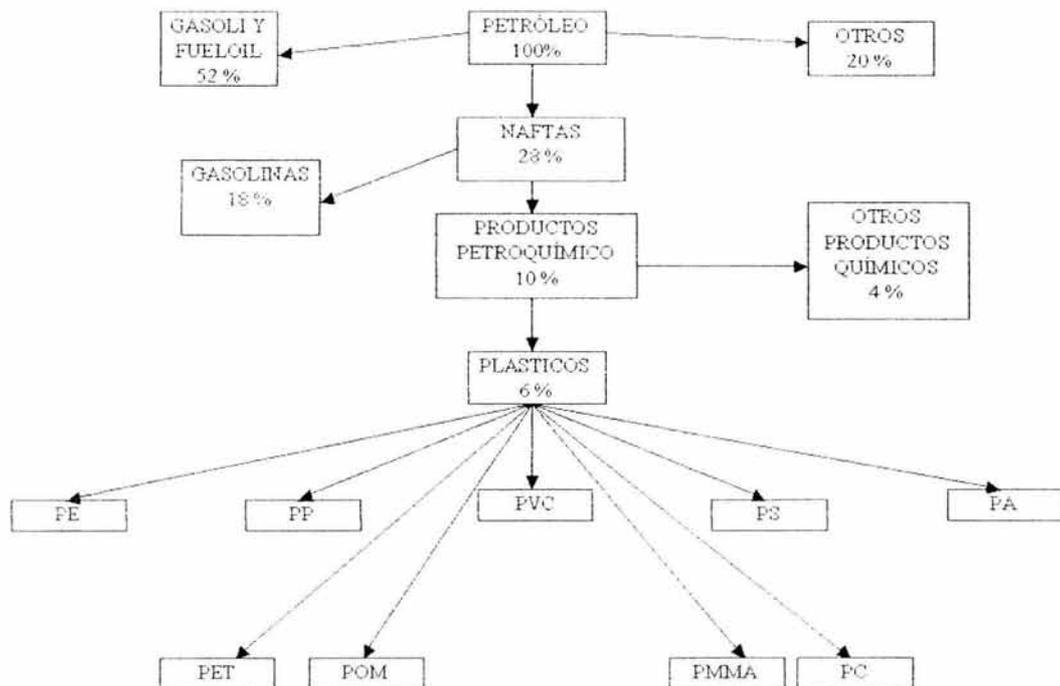


Figura 1.5 Procedencia de los plásticos en el petróleo.

1.5.1 Por origen

- *Naturales*: por ejemplo la celulosa, la cera y el caucho (hule natural), algodón, seda, y proteínas o biopolímeros que se obtienen del maíz y el trigo
- *Sintéticos*: relacionadas son la conversión química del petróleo, por ejemplo el polietileno y el nylon.
- *Combinados*: es una mezcla de polímeros naturales con sintéticos por ejemplo: aglomerados de madera, formados de celulosa con adhesivos sintéticos o hule vulcanizado.



1.5.2 Comportamiento térmico

TERMOPLÁSTICOS

Son materiales cuyas moléculas están desordenadas a manera de largas cadenas unidas entre sí por medio de enlaces secundarios, su ordenación se puede comparar con una madeja de hilos largos y delgados. La característica primordial que los distingue es que pueden ser llevados del estado sólido al viscoso y luego al líquido por calentamiento, pueden diluirse y reprocesarse, se hinchan al contacto con solventes.

Según la orientación de sus cadenas los termoplásticos pueden ser:

- *Amorfos*: los filamentos y moléculas ramificadas se encuentran en completo desorden, haciéndolos transparentes permitiendo el paso de la luz.
- *Cristalinos*: los filamentos son más paralelos y sus ramificaciones son cortas, las cadenas se alinean parcialmente. Equivale al ordenamiento de los átomos o moléculas en forma de cristales los que se oponen al paso de la luz provocando una apariencia lechosa o translúcida.

TERMOFIJOS

Presentan una estructura molecular compleja tipo red, la obtención de estos materiales, únicamente pueden obtenerse en el moldeo generado por una reacción no reversible entre dos o más componentes, activada por temperatura, mezclado o catálisis, pues no pueden ser reblandecidos para reprocesarse. Son rígidos, quebradizos, duros, frágiles, insolubles, no funden, por lo tanto son resistentes a temperaturas elevadas, no se disuelven y rara vez se hinchan al contacto con solventes.



ELASTÓMEROS

- *Termofijos*: estos materiales están formados por una gran molécula en forma de red a través de enlaces químicos muy separados entre si, lo que les permite gran movilidad o elasticidad, recuperan su forma original, son insolubles.
- *Termoplásticos*: son unidos química y físicamente por formar copolímeros en bloque y aleaciones entre polímeros con propiedades elásticas dentro de cierto rango de temperatura.

1.5.3 Conformación física

Las cadenas se unen en ciertos ángulos como se muestra en la siguiente (Figura 1.6).

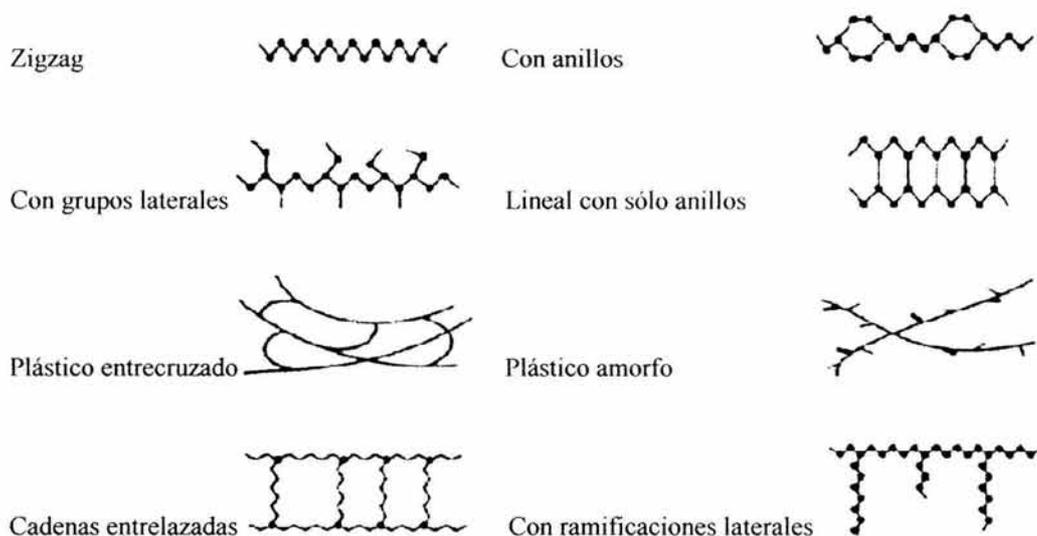


Figura 1.6 Tipo de forma que presentan las cadenas poliméricas.



1.5.4 Orientación

Otra variación que presentan es el estereoisomerismo, que es el efecto que desarrolla un compuesto que posee la misma fórmula que otro de referencia, pero con diferente orientación de sus átomos (Figura 1.7).

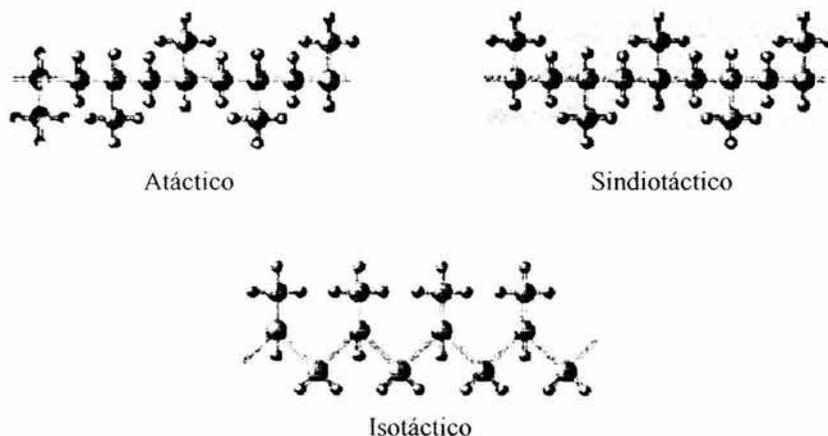


Figura 1.7 Diferentes arreglos en el estereoisomerismo de los plásticos.

1.5.5 Polaridad

Se debe al desplazamiento de los electrones compartidos entre los átomos de los distintos elementos que constituyen la molécula, debido principalmente a las diferencias de número atómico. El par de electrones compartido es atraído con mayor fuerza por el átomo que presente mayor carga en el núcleo (Figura 1.8).

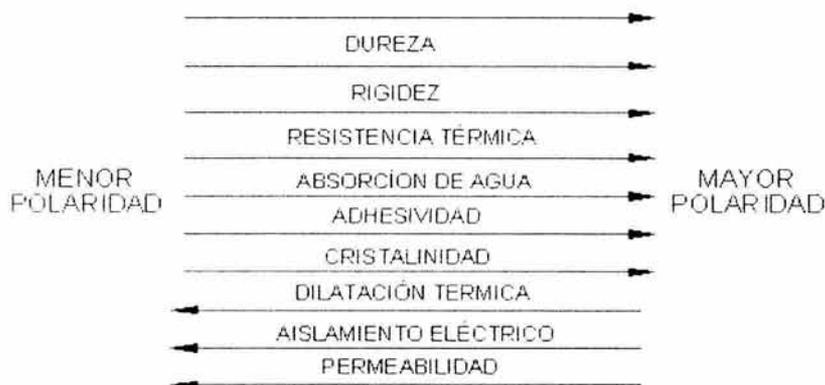


Figura 1.8 Influencia de la polaridad en las propiedades físicas de los plásticos.

1.5.6 Consumo

De acuerdo a su importancia comercial en sus aplicaciones en el mercado se muestran la siguiente clasificación:

- *Comodities*: aquellos de mayor consumo y precio moderado.
Por ejemplo: PEBD, PEAD, PELBD, PP, PVC, PS, PET
- *Versátiles o termofijos*: con versatilidad para diseño de productos en aspectos de apariencia, color y forma.
Por ejemplo: PUR, EP, UP, PF, MF, UF, SI
- *Técnicos o de ingeniería*: con alto desempeño funcional como; resistencia mecánica y límites de temperatura elevada.
Por ejemplo: ABS, SAN, POM, PC, PA, PMMA, PST
- *Especiales y compsites*: bajo índice de fricción, elevada resistencia dieléctrica, pueden ser termoplásticos o termofijos reforzados, además de ser caros.
Por ejemplo: PPO, PPS, PAN, PTTE



1.5.7 Por familia

- *Poliiolefinas*: su fórmula química consiste solo en átomos de carbono (C) e hidrógeno (H).
Ejemplos: PEBD, PEAD, PEBD-L, UHMWPE, PP, EVA.
- *Vinílicos*: en su estructura química siempre predomina el cloruro de Vinilo.
Ejemplos: PVC-R, PVC-F.
- *Estirénicos*: mantiene presente el anillo aromático bencénico.
Ejemplos: PS, EPS, SB, SAN, ABS, ASA.
- *Acrílicos*: son aquellos que contienen unidades repetitivas de tipo acrílico.
Ejemplo: PMMA, PAN.
- *Poliámidas*: mejor conocido como “Nylon” contiene en su cadena unidades repetitivas del tipo amida.
Ejemplos: PMMA, PAN.
- *Poliéster termoplástico*: su característica es los eslabones éster ($-CO-O-$). Estos grupos pueden destruirse con moléculas de agua generando una reacción de hidrólisis, por lo que deben de procesarse en seco.
Ejemplos: PET, PBT, PEN, PC.
- *Polióxidos*: también se les conoce como acetales, se caracterizan por la presencia de unidades repetitivas éter.
Ejemplos: POM, PPO.
- *Sistemas formaldehído*: involucran una reacción con; fenol, urea y melamina.
Ejemplos: PF, MF, UF.



- *Sistemas poliéster insaturado*: consisten en cadenas poliméricas resultantes de la reacción entre ácido bifuncional o anhídrido y un alcohol del tipo glicol (UP).
- *Sistemas epóxicos*: resultado de la reacción entre epiclorohidrina y ácidos multifuncionales, aminas o alcoholes, requiere agentes de endurecimiento o catalizadores (EP).
- *Poliuretanos*: la macromolécula de los poliuretanos ocurre por la reacción de un polioliol y un poliisocianato (PUR).
- *Silicones*: son combinaciones del silicio con una estructura química fundamental del silicio-oxígeno (SI).
- *Elastómeros termoplásticos*: es una mezcla de un hule termoplástico generalmente (EPDM) y poliolefinas, también se conocen por (TPE) *Thermoplastic elastomers*.

1.6 Propiedades.

1.6.1 Físicas

Se ocupa de los componentes fundamentales, las fuerzas que estos ejercen entre si y de los efectos de dichas fuerzas.

- La densidad es menor entre más desordenadas sean las cadenas de su estructura.
- La absorción de humedad depende del desorden de las cadenas y su polaridad.
- La permeabilidad aumenta al ser más compleja la estructura del plástico o muy cristalina, evitando así el paso de los gases.
- La transparencia se obtiene al ser su estructura completamente desordenada, si la estructura es más ordenada o cristalina, el material sólo es traslúcido.



1.6.2 Químicas

Es la propiedad que presenta la acción molecular de los mismos de acuerdo a su composición para producir combinaciones o reacciones al añadir o extraer energía en cualquiera de sus formas.

- Al tener una estructura molecular y no atómica, se consideran materiales inertes frente a la mayoría de las sustancias líquidas, sólidas y gaseosas comunes.
- En condiciones extremas de presión, humedad o intemperie, se acelera el proceso de degradación.

1.6.3 Mecánicas

Se ocupa de los movimientos y equilibrios mecánicos de los objetos y de su respuesta al ser sometidos a fuerzas de flexión, tensión o compresión.

- Por efecto de la temperatura y su estructura molecular, los hace ser blandos, frágiles, quebradizos y rígidos como el metal o el vidrio que presentan estructura atómica.
- Los termoplásticos se deforman y se recuperan, a esta cualidad se le denomina memoria, los Termofijos se quiebran.

1.6.4 Térmicas

Relativo al calor y la temperatura, su capacidad para conducir energía térmica y efectos que presentan.

- Malos conductores del calor.
- Algunos presentan dilatación volumétrica con el aumento de la temperatura
- Otros se degradan al estar expuestos por mucho tiempo a altas temperaturas.



1.6.5 Eléctricas

Categoría de fenómenos físicos originados por la existencia de cargas eléctricas, por la interacción de las mismas y la capacidad de captar o conducir cargas eléctricas.

- Debido a que los plásticos no poseen electrones libres en movimiento; no conducen la electricidad, convirtiéndose en aislantes.
- En ocasiones suelen cargarse sólo de energía estática.

1.7 Tratamientos.

1.7.1 Aditivos

Son compuestos que se agregan al plástico para modificar química o físicamente sus propiedades, para mejorar y proporcionar resistencia a condiciones externas, estos pueden ser orgánicos o inorgánicos y se incorporan antes o durante su transformación, mejoran su apariencia y procesamiento.

ADITIVOS DE PROCESAMIENTO

- *Plastificantes*: dan conformación física, sustituyen el enlace polimérico dando espacio intermolecular.
- *Modificadores de flujo*: reducen desperdicios o crean nuevas aplicaciones.
- *Agentes deslizantes*: evitan adherencias entre equipo y plástico fundido.
- *Lubricantes*: mejoran el flujo, reducen la fricción intermolecular y aumentan la velocidad de producción.
- *Modificadores de viscosidad*: facilitan la transformación.
- *Activadores o Kikers*: retardan la descomposición de los agentes espumantes.



ADITIVOS ESTABILIZADORES DE CALOR E INTENSIFICADORES DE RESISTENCIA

- *Absorbentes de luz ultravioleta (UV)*: protección contra la luz ultravioleta, absorbedores que convierten la luz ultravioleta en infrarroja la cual se disipa como calor, protectores que reflejan la luz UV, recolectores destructores inestables que actúan antes de descomponerse en radicales libres, inhibidores que absorben la luz UV excitándose y luego disipándola en forma de calor y bloqueadores que reaccionan recolectando radicales libres.
- *Antioxidantes*: para alargar vida útil, protegen el polímero de degradaciones químicas causadas por el oxígeno o el ozono.
- *Retardantes a la flama*: protegen contra la exposición al fuego, generan gases que no se volatizan con la lumbre, desplazando el oxígeno y retardando la combustión.
- *Supresores de humo*: recubren el material físicamente con cargas inertes o químicamente generando compuestos secuestrantes que capturan el hollín.
- *Agentes antiestáticos*: incrementan la humedad relativa, ionizando el ambiente (fijando escobillas de descarga en el equipo) o con aditivos aumentan la conductividad del material aumentando la humedad del medio ambiente disipando la carga.
- *Estabilizadores*: protegen de la intemperie para evitar la degradación, frenando el ataque de factores físicos y químicos del medio ambiente.
- *Fungicidas o biocidas*: evitan la procreación de microorganismos.
- *Agentes antibloqueo*: genera pequeñas secciones o capa continua de material que causa interferencia para que no se adhieran las láminas u hojas del producto plástico o bien generan cargas electroestáticas.
- *Desactivadores de metales*: desactiva la descomposición del plástico en presencia de metales como los cables.
- *Antifog*: evitan el efecto de neblina



ADITIVOS DE PRESENTACIÓN

- *Pigmentos*: para conferir color a los polímeros se utilizan un polvo de origen orgánico o inorgánico, con tamaño de partícula de 0.001 a 1 μm , insoluble en el medio de aplicación razón por la que se emplean medios mecánicos de mezcla para incorporarlos. El color es la impresión que hace en la retina del ojo la luz reflejada por los cuerpos, ésta puede causar diferentes efectos por *metamerismo*, que se refiere al cambio de color que puede presentarse al exponerse a diferentes fuentes de luz y *Anisotropía*: que son los cambios de color por efecto de la orientación de las partículas.
- *Tintas*: también son utilizadas las tintas especiales para los plásticos; son sustancias, líquidas o viscosas, cuya composición y consistencia permite teñir fibras poliméricas, todas las tintas contienen dos componentes básicos: un pigmento o tinte llamado colorante, y un aglutinante, el líquido en el que se dispersa el pigmento. Para el caso de un tinte la sustancia es soluble en el medio a consecuencia de una reacción.
- *Abrillantadores ópticos*: proporcionan tono nacarados o generan fluorescencia
- *Aromatizantes y desodorantes*: evitan malos olores o confieren aromas agradables.

1.7.2 Cargas

Muchos plásticos se fabrican en forma de material compuesto, lo que implica la adición de algún material a la matriz de la resina plástica ya sea como reforzante o relleno. Los materiales compuestos tienen la resistencia y la estabilidad de los metales, pero por lo general son más ligeros.

REFUERZOS

Incrementan resistencia mecánica, resistencia de flexión, tensión, elasticidad, resistencia a la compresión, dureza, temperatura de deflexión, rigidez.



- *Modificadores de impacto*: aumenta la resistencia funcional al producto. Los más usados son la fibra de vidrio y el asbesto
- *Agentes nucleantes*: Aumentan la cristalinidad de los plásticos a menor temperatura para dar pureza, elasticidad, resistencia, transparencia, elongación punto de ruptura. Es el caso cuando se utilizan fibras cerámicas.
- *Agentes de entrecruzamiento*: Mejora propiedades mecánicas, haciendo que las cadenas poliméricas formen redes más resistentes como cuando se agregan fibra de carbón o fibras cortas orgánicas.

RELLENOS

Son materiales complementarios para optimizar el uso de material base con calidad superficial, modifican la densidad para reducir la contracción y costos. Los rellenos comúnmente utilizados son; el hormigón de madera, cáscara de nuez o arroz, almidón, silicatos, caolín y talco.

AGENTES ESPUMANTES

A elevadas temperaturas generan gases entre el material para reducir su peso, esto también incrementa resistencia mecánica, aislamiento acústico y térmico, absorben y desvían la vibración hasta reducirla.

CARACTERÍSTICAS GENERALES QUE DEBEN TENER ADITIVOS Y CARGAS.

- Efectivo a bajas concentraciones
- Facilidad de dispersión
- Facilitar el procesamiento
- No desarrollar efectos secundarios
- No ser tóxico
- Estabilidad térmica



- Estabilidad química
- Estabilidad a la luz e intemperie
- No presentar migración por solubilidad parcial
- Disponer de presentaciones en: líquido, polvo, *masterbatch* (gránulos) o pastas

1.8 Reciclado.

Esta necesidad se genera primeramente para aprovechar al máximo la resina, por ecología, economía o por escasez y únicamente los termoplásticos son reciclables, en ocasiones los termoplásticos pueden ser pulverizados para aplicarse como aditivo en algunas mezclas.

Una resina reciclada no debe tener ningún problema en sus propiedades para volver a ser procesada, siempre y cuando no haya sufrido contaminación o degradación en su primer uso.

1.9 Bases reológicas.

La reología es la parte de la física que estudia la mecánica de los materiales deformables cuando están sujetos a algún esfuerzo.

1.9.1 Reología en fase líquida

Para el análisis de un termoplástico en estado líquido, es necesario conocer la fuerte influencia que tiene la temperatura, debido a su estructura molecular.

La cantidad de energía producida por efecto de elevar la temperatura permite que las cadenas se muevan, se relaciona con la estructura y composición de las mismas. Si baja la temperatura a cierto nivel, las macromoléculas se encuentran enredadas, limitando el movimiento relativo de las mismas. Si las cadenas son muy cortas es más fácil que se produzca fluencia viscosa una vez superado el nivel energético.



Debido a la estructura química que presentan los plásticos, el comportamiento que presentan ante los cambios de temperatura es muy diferente al de los compuestos de bajo peso molecular, los plásticos se funden en un rango más o menos amplio de temperatura, además de que presentan un segundo grado de transición, la temperatura de transición vítrea, debajo de la cual los termoplásticos amorfos y la fase amorfa de los plásticos cristalinos presentan características similares a las del vidrio, son frágiles (Figuras 1.9 y 1.10).

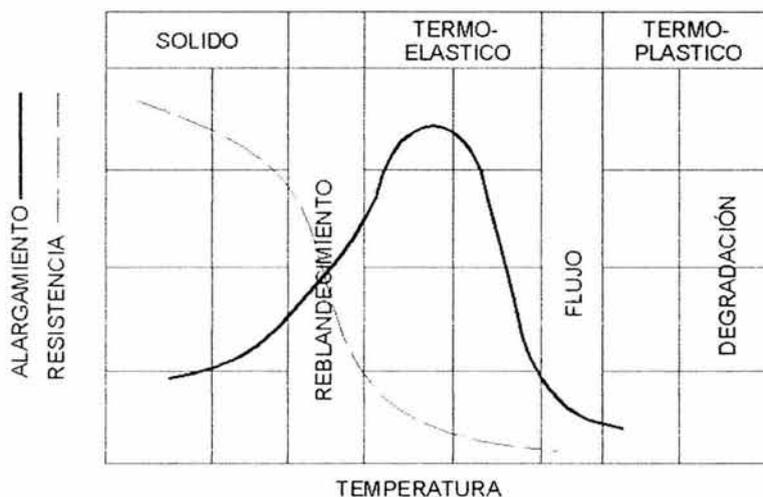


Figura 1.9 Diagrama de comportamiento de los termoplásticos amorfos.

Los termoplásticos en estado sólido pueden ser maquinados en forma normal por torneado, fresado, taladrado, etc.

En estado termoelástico las fuerzas intermoleculares de unión son poco débiles y los materiales se encuentran reblandecidos, pudiendo ser transformados por doblado, estirado y aplastado.

Una vez que las moléculas tienen suficiente energía para proporcionar al material un estado líquido viscoso, es cuando los termoplásticos pueden ser transformados por diversos procesos que se ven más adelante.



Cuando el material que se encuentra en estado termoplástico se le añade una cantidad mayor de calor, éste se degrada por la destrucción de la estructura molecular.

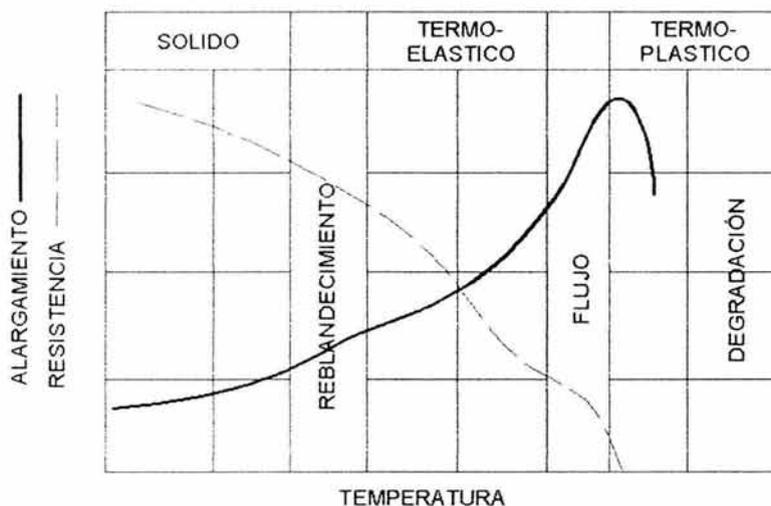


Figura 1.10 Diagrama de comportamiento para los termoplásticos cristalino.

Dado que los termofijos están constituidos por moléculas que durante el procesamiento (compresión, inyección, etc.) reaccionan químicamente para formar una red tridimensional por medio de enlaces tipo primario, no es posible propiciar cambios de estado en el material, por aumento en la temperatura, es por eso que los termofijos permanecen en estado sólido cuando se les aplica calor y permanece así hasta una temperatura en la cual comienzan a descomponerse o carbonizarse (Figura 1.11).

Los elastómeros, debido a su estructura molecular químicamente entrecruzada, tampoco pueden fundirse mediante la aplicación de calor, llegan a un límite mucho menor que los termofijos.

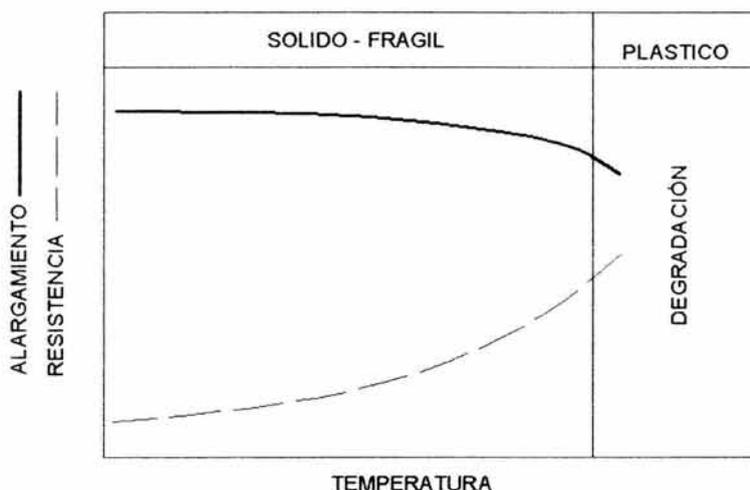


Figura 1.11 Diagrama de comportamiento para los termofijos.

Otras influencias son la presión, que cuando aumenta, también lo hace la viscosidad, debido a que las moléculas tienen menor libertad para moverse y también influye el peso molecular donde una vez que se aplica un esfuerzo cortante, las cadenas poliméricas tienden a alinearse en la dirección de la fuerza, conforme aumenta el tamaño molecular, la movilidad de las cadenas poliméricas disminuye y por tanto su viscosidad.

La resistencia que un fluido real ofrece a la deformación se conoce con el nombre de viscosidad de fluido.

$$\mu = \sigma / \gamma \quad \text{Ecuación 1.1}$$

Donde μ : viscosidad [lb/(ft x seg.)]

σ : esfuerzo cortante [lb/ft²]

γ : velocidad o razón de corte [ft/seg.]

El fluido donde la viscosidad es constante cuando se fijan la presión estática y la temperatura, es del tipo **Newtoniano**, el tipo de flujo es laminar (Figura 1.12), donde las líneas aerodinámicas



definidas como aquella que queda en la dirección del flujo en cada uno de los puntos en un instante dado, se mantiene bien definidas unas con otras en toda su longitud.

Un **fluido ideal** se considera aquel que no opone resistencia al corte y por lo tanto tiene viscosidad cero.

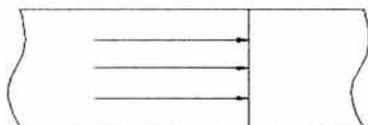


Figura 1.12 Perfil de un flujo laminar para un fluido Newtoniano.

Si la velocidad de un fluido es función del esfuerzo cortante, equivalente a la razón de corte, además de la temperatura y presión, el fluido se denomina **No Newtoniano**, este presenta un perfil en el tipo de flujo laminar (Figura 1.13).

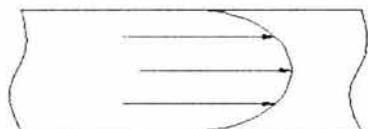


Figura 1.13 Perfil de un flujo laminar para un fluido No Newtoniano.

Otro fluido No Newtoniano cuando se generan turbulencias en la zona inicial de inestabilidad, que se extiende rápidamente por todo el fluido produciendo con ello una perturbación en el patrón general de flujo, se le llama flujo turbulento (Figura 1.14).



Figura 1.14 Perfil de un flujo turbulento en un fluido No Newtoniano.



FLUIDOS INDEPENDIENTES DEL TIEMPO

- *Fluidos plásticos de Bingham*: su relación lineal entre el esfuerzo cortante y la razón de corte no parten del origen (Figura 1.15).
- *Materiales pseudoplásticos*: aquí se incluye la mayor parte de soluciones plásticas y fundiciones o pigmentos. En general la curva de flujo en un intervalo de razón de corte, puede aproximarse a la forma de la línea recta en un diagrama logarítmico.
- *Materiales dilatantes*: son los que exhiben un comportamiento reológico opuesto al de los materiales pseudoplásticos, en la que parece observarse que la viscosidad se incrementa al incrementar la razón de corte.

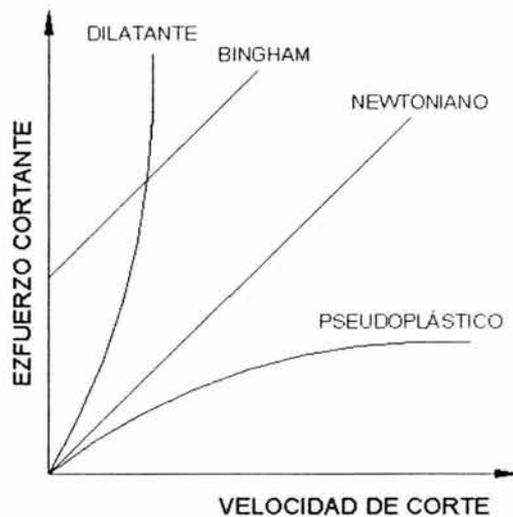


Figura 1.15 Relación del esfuerzo cortante con respecto a la viscosidad.

FLUIDOS DEPENDIENTES DEL TIEMPO

- *Fluidos tixotrópicos*: son los que poseen una estructura que puede sufrir un trastorno en función del tiempo, bajo corte, el esfuerzo cortante decrece.



- *Reopécticos*: incrementan su viscosidad con mucha rapidez cuando son agitados o golpeados rítmicamente.
- *Fluidos viscoelásticos*: son los que exhiben recuperación elástica de la deformación que sufren durante el flujo, los plásticos presentan un comportamiento intermedio entre los sólidos elásticos y los líquidos viscosos. Los termoplásticos se comportan de manera viscoelástica. Si el valor de la viscosidad es bajo, se requieren esfuerzos menores para mover al fluido, en cambio, los valores altos de viscosidad requieren mayor esfuerzo, entonces se dice que el material es altamente viscoso, en general la viscosidad disminuye al aumentar la temperatura.

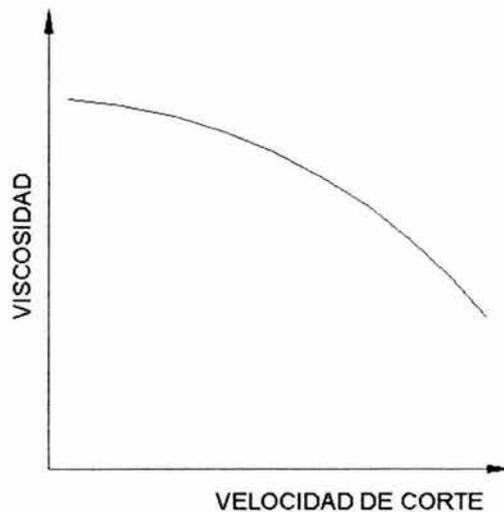


Figura 1.16 Relación de la viscosidad con respecto a la velocidad de corte.

La ley de Newton establece que el esfuerzo cortante y la velocidad de deformación serán proporcionales, esta proporcionalidad se elimina mediante el uso de una constante, este el caso de la viscosidad, entonces:

$$\sigma = \mu \times \gamma$$

Ecuación 1.2



Debido a lo anterior es indispensable conocer la temperatura y la velocidad de corte siempre que se desee conocer la viscosidad de un plástico, siendo ésta la razón por la que se logra que el polímero pase de estado sólido al fluido más fácilmente, se requiere aplicar grandes esfuerzos cortantes combinados con temperaturas relativamente altos.

Sin embargo la industria de transformación de plástico, ha adoptado una prueba para estudiar el comportamiento de los termoplásticos, haciéndolos pasar bajo una carga precisa a través de una boquilla de dimensiones estandarizadas. La cantidad de polímero, en gramos, que emerge en un tiempo de 10 minutos a 190 °C, se llama índice de fluidez.

Los datos no pueden siempre correlacionarse bien con el comportamiento del material en condiciones reales, en cualquier forma, el índice de fluidez es un parámetro muy útil, si no se le atribuye demasiada exactitud al predecir características de procesamiento de una resina.

1.9.2 Reología en estado sólido

En el caso de los plásticos, también las propiedades mecánicas, como son resistentes a la tracción, a la compresión, a la torsión, el alargamiento, a la ruptura, etc., son dependientes de la temperatura.

Los materiales termoplásticos, no cumplen totalmente la Ley de Hooke (deformación proporcional a la carga). A la temperatura normal de 23 °C, se presenta un fenómeno en estos materiales cuando son sometidos a carga constante, llamado escurrimiento viscoso o *creep*, es decir que cuando la carga desaparezca, el material presentará la misma deformación durante un cierto tiempo.

Desde el punto de vista reológico, una deformación es el alargamiento producido en una probeta de material cuando ésta se somete a una fuerza de tracción. La deformación depende del esfuerzo de tensión, la temperatura y el tiempo.



$$\tau = F/A$$

Ecuación 1.3

Donde:

 τ : esfuerzo de tensión [lbf/ft²]

F: fuerza de tensión [lbf]

A: área de la probeta [ft²]

Los factores que influyen en forma notablemente sobre las propiedades mecánicas de las piezas (Figura 1.17) y su estabilidad dimensional es:

- Variación de la temperatura de trabajo.
- Absorción de humedad.
- Tipo y duración de la carga a la que se encuentra sometida la pieza.
- Degradación provocada por agentes químicos o del medio ambiente.
- Tensiones internas generadas durante el moldeo.

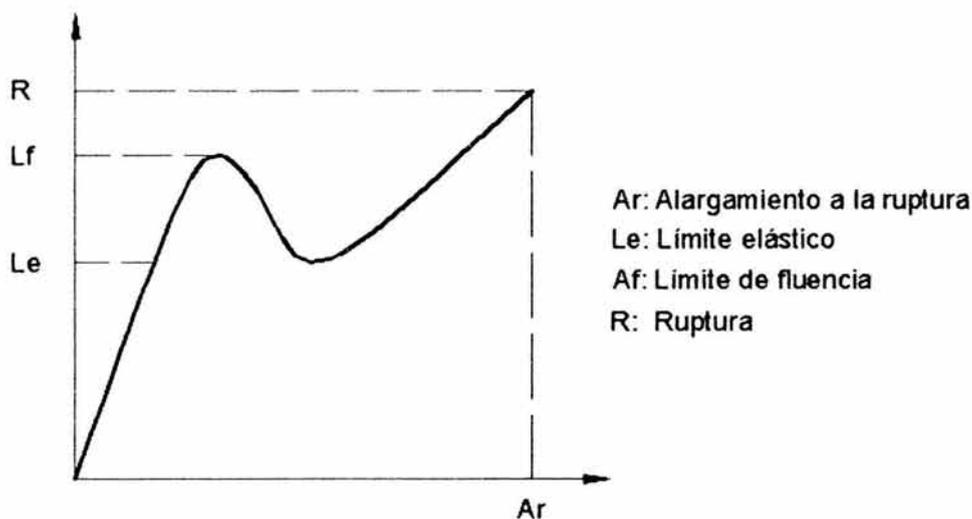


Figura 1.17 Diagrama Carga Vs. Alargamiento, en un termoplástico en estado sólido.

CAPITULO II.
INTRODUCCIÓN A LOS PROCESOS DE
TRANSFORMACIÓN



CAPITULO II. INTRODUCCIÓN A LOS PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN

A continuación se describe de manera general, una breve introducción a los diferentes procesos de transformación del plástico, por la gran extensión que implica cada proceso, únicamente se explica el principio de su funcionamiento, para justificar en los próximos capítulos, la factibilidad de fabricar el producto por el método de inyección de plástico, considerando aquellos procesos que representarían una alternativa de rentabilidad similar.

2.1 Extrusión.

Es un proceso de transformación primario continuo para la producción de grandes longitudes de plástico, éste es fundido y expulsado a través de un herramental de salida en la máquina para inducirle una forma específica constante de manguera, hilo, cinta, etc. Después es enfriado fuera de la máquina introduciendo aire en el centro del un tubo o *parison*, esto genera un globo que es expandido hasta dar un espesor, es cortado mientras se enrolla (Figura 2.1). Con aire se generan bolsas de plástico, pero también, se puede enfriar el tubo plastificado con agua para formar una manguera.

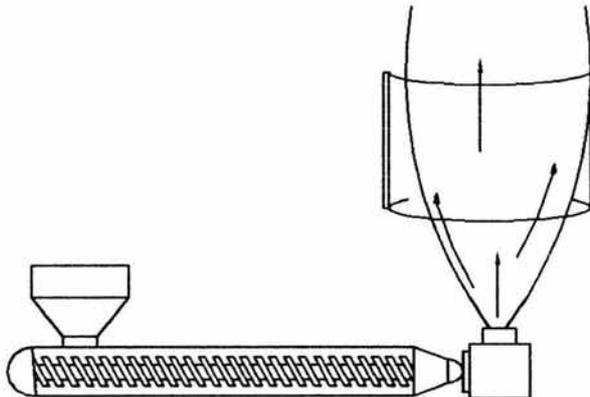


Figura 2.1 Esquema de una extrusión.



2.2 Extrusión sopro.

Proceso de transformación continuo para la producción de recipientes y artículos huecos, donde una resina plástica es fundida, transformada en tubo hueco o *parison* y llevada a un molde donde se expande para tomar la forma del mismo, por la introducción de aire a presión en su interior, posteriormente es enfriado dentro del molde y expulsado como un artículo terminado. Este se utiliza para la fabricación de recipientes de cuello angosto, con o sin cuerda y asas huecas integradas al cuello (Figura 2.2).

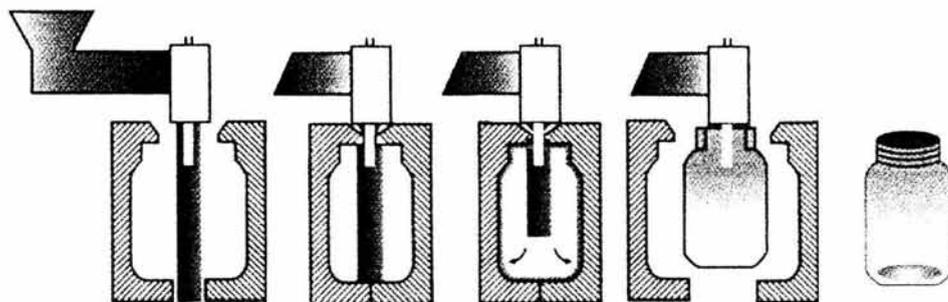


Figura 2.2 Esquema de una extrusión sopro.

2.3 Inyección sopro.

Proceso de transformación discontinuo, donde el termoplástico fundido es inyectado a un molde utilizado para fabricar preformas, que en un segundo plano, son expandidas con aire para dar la forma del molde que tiene la forma final del producto y después de enfriarse en el mismo, es expulsada la pieza terminada (Figura 2.3).

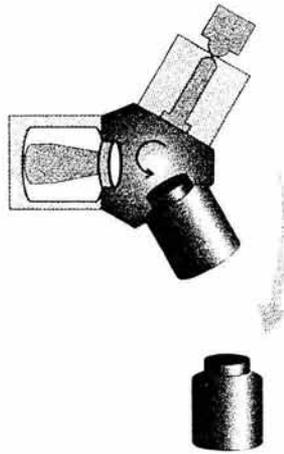


Figura 2.3 Esquema de una inyección sopló.

2.4 Inyección sopló biorientado.

Es el mismo principio del anterior a diferencia de que en este caso, la preforma se deja enfriar para ser nuevamente calentada y reblandecida en hornos para biorientar las moléculas mediante estiramiento biaxial en dos planos por la inducción de aire a presión y así incrementar la resistencia a la tensión, transparencia y mejorar considerablemente la permeabilidad a gases (Figura 2.4).

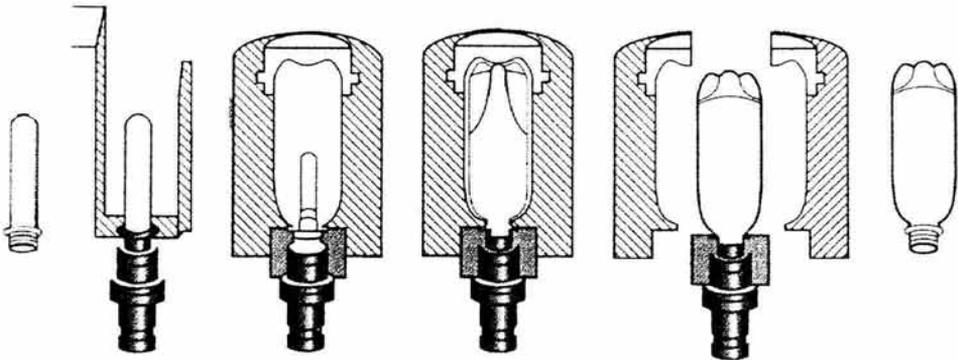


Figura 2.4 Esquema de una inyección sopló biorientado.



2.5 Termoformado.

Es un proceso de transformación secundario donde una lámina de material termoplástico es moldeada por medio de presión con asistencia de un molde a temperatura alta (Figuras 2.5 a 2.7).

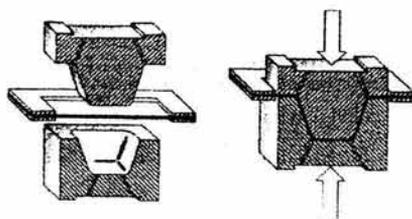


Figura 2.5 Termoformado asistido.

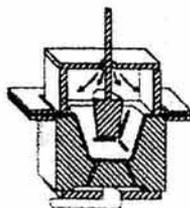


Figura 2.6 Termoformado a presión.

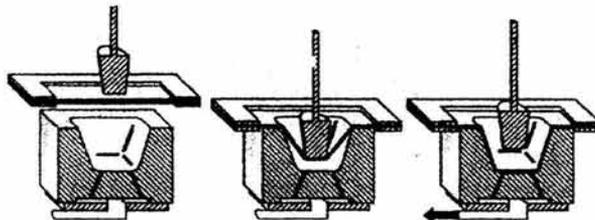


Figura 2.7 Termoformado al vacío.

2.6 Rotomoldeo.

Es un moldeo rotacional, es un proceso empleado para producir huecos, en el que un plástico en polvo o en líquido dentro de un molde que gira en dos ejes biaxiales, se distribuye y adhiere en



toda la superficie interna del molde que posteriormente se enfría para permitir la extracción de la pieza terminada (Figura 2.8).

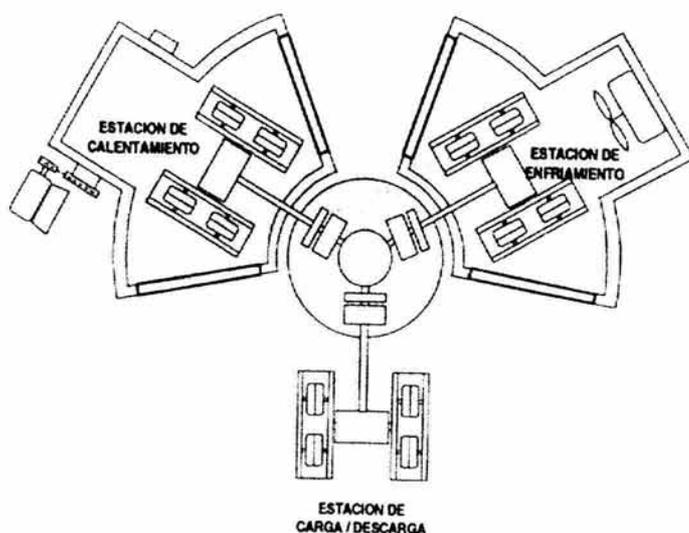


Figura 2.8 Esquema de un rotomoldeo en sus tres etapas.

2.7 Calandreo.

Es un proceso de transformación primario continuo, utilizado para producir láminas y películas mediante un sistema de cilindros que comprimen el material preplastificado llevándolo al espesor deseado y transportando posteriormente a una serie de rodillos que lo enfrían (Figura 2.9).

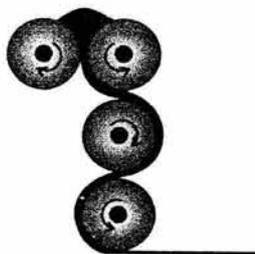


Figura 2.9 Esquema de un calandreo.



2.8 Otros.

INMERSIÓN

Es un proceso de transformación primario, donde un plástico en estado líquido recubre un molde o modelo, solidificándose y permaneciéndose para utilizar el molde en la fabricación de una nueva pieza.

RECUBRIMIENTO POR CUCHILLA

Proceso primario cuyo principio de funcionamiento es lograr la incorporación del plástico a diferentes materiales como tela o papel o metal.

LECHO FLUIDIZADO

Proceso utilizado para recubrir piezas metálicas a través de un proceso similar a la inmersión, la materia prima utilizada es en forma de polvo y el espesor de pared obtenido es menor, el termoplástico se deposita dentro de un depósito micro poroso y se le suministra aire a baja presión por la parte inferior del sistema, consiguiendo formar una suspensión turbulenta constante donde se introduce la pieza metálica en la temperatura de fusión del termoplástico.

TRANSFERENCIA

Procesos para moldear termofijos con resina fenólica y epóxica, exclusivamente de manera similar a un proceso de inyección, donde son mezcladas las resinas para que reaccionen y después se inyecta a presión en un molde hasta que solidifiquen por finalización de la reacción.



PULTRUSIÓN

Proceso con gran similitud a la extrusión pero con materiales termofijos.

COMPRESIÓN

Como el termoformado, pero utilizando una prensa hidráulica caliente.

VACIADO

Como su nombre lo dice, el plástico es vertido en un molde hasta enfriarlo.

ASPERSIÓN

Este proceso produce laminados o recubrimientos de resina con fibra de vidrio utilizando sistemas de atomizado.

CAPITULO III.
PROCESO DE MOLDEO POR INYECCIÓN DE
PLÁSTICO



CAPITULO III.

PROCESO DE MOLDEO POR INYECCIÓN DE PLÁSTICO

El principio del método, consiste en introducir a presión un plástico fundido dentro de la cavidad de un molde cerrado a presión para tomar la forma hueca del mismo y que después de ser solidificado por enfriamiento en el mismo molde, éste se abre para extraer el producto terminado.

El proceso ofrece:

- Máxima exactitud de forma y tolerancias estrechas en el producto inyectado.
- Posibilidad de formación de orificios, refuerzos, ajustes y marcas, así como de inserción de elementos de otros materiales, con lo que la producción se hace compleja.
- Superficie lisa y limpia de las piezas inyectadas.
- Buenas propiedades de resistencia a pesar de espesores de pared finos, con una configuración de las piezas adecuadas al proceso y al material.
- Múltiples posibilidades en cuando a un ennoblecimiento posterior de las superficies.
- Elevada productividad de piezas en moldes duraderos con una o varias cavidades; esto permite plazos de entrega relativamente cortos y una capacidad de almacenaje reducido.
- Gran aprovechamiento del material.

3.1 Máquina y descripción de partes.

Una máquina de inyección de plástico es un arreglo de piezas y partes metal-mecánicas, impulsadas por un sistema hidráulico, neumático o eléctrico y que tiene como propósito llevar a cabo la transformación de plástico mediante un molde.

CATEGORÍAS

Existe diversidad en el tipo de máquinas inyectoras, pero todas trabajan bajo el mismo principio, los tipos más comunes son:



- *Inyectora de un husillo*: es la más común pues cuenta con un solo barril de fundición e inyección de plástico y es impulsada por un sistema hidráulico.
- *Inyectora de husillo vertical*: la inyección del material se efectúa en línea recta perpendicular al plano de separación del molde.
- *Inyectora de doble husillo*: la peculiaridad de ésta, es que tiene doble barril calefactor para fundir e inyectar dos diferentes colores o tipos de material que se unen de manera proporcional en el mismo molde. Esta es impulsada por un sistema hidráulico.
- *Inyectora eléctrica*: es lo último en alta tecnología y costosa, la ventaja que ésta presenta es su velocidad de producción, sus partes móviles son impulsadas exclusivamente por motores eléctricos.

En este trabajo se describirá sólo la primera categoría, no solo por ser la más común de todas, sino que además es el tipo de máquinas con las que únicamente cuenta la planta y tienen disponibles para llevar a cabo este proyecto.

Generalmente una máquina para inyección se describe en tres partes importantes: bancada, unidad de inyección y unidad de prensa o cierre (Figura 3.1).

3.1.1 Bancada

Es la base de toda la máquina donde se encuentran sostenidas la unidad de inyección y la unidad de prensa, así como los componentes para función de la máquina como tanques de aceite, intercambiador de calor del aceite, bomba hidráulica, sistema eléctrico y área de servicio por donde caen las piezas.

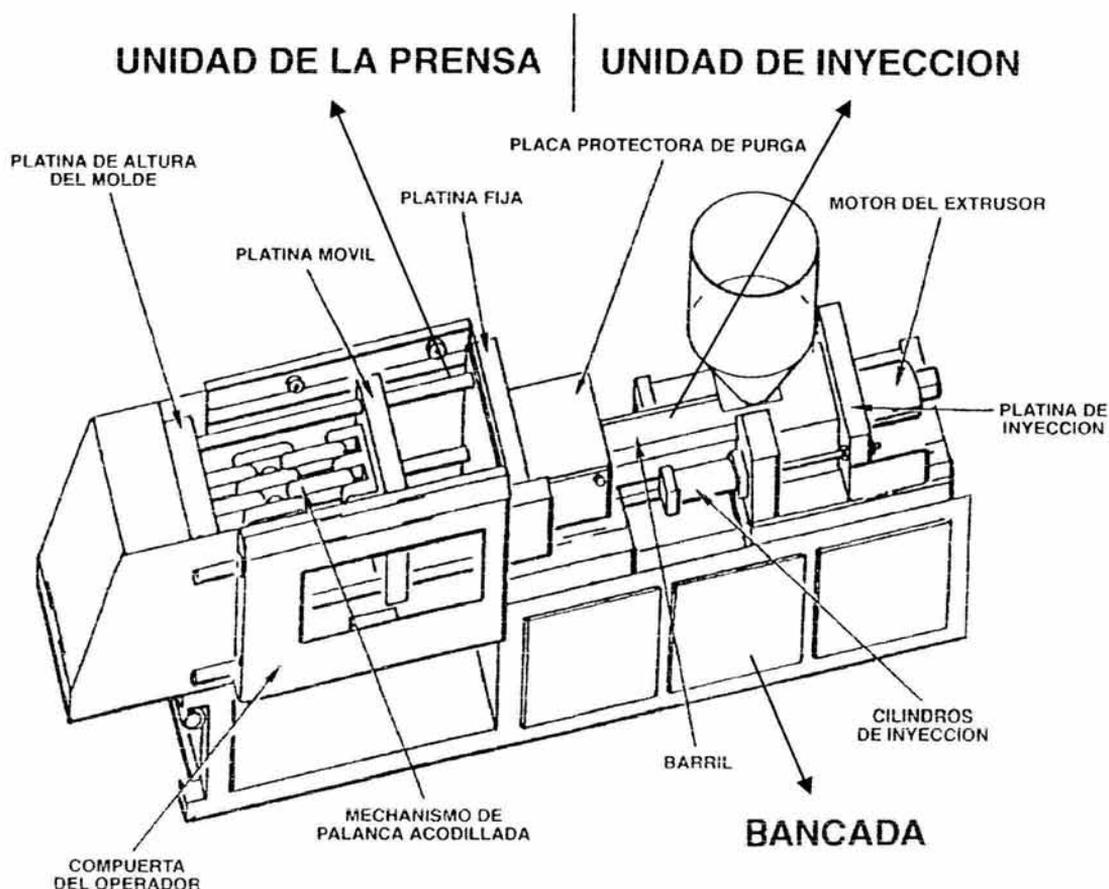


Figura 3.1 Máquina de inyección de plástico.

El panel de control puede ubicarse en un cuadro de control apartado de la máquina, puede encontrarse a la altura de la platina fija o bien a un costado de la bancada y sirve para regular o ajustar las variables del proceso en la máquina.

3.1.2 Unidad de inyección

Tiene como propósito alimentar y fundir el material para inyectarlo a presión dentro del molde, los pasos del proceso son los siguientes:



- A) El material se coloca en la tolva (Figura 3.2) listo para ser moldeado seco, pigmentado, mezclado, etc.

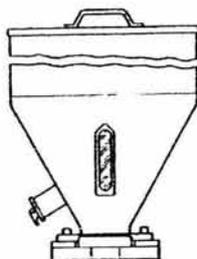


Figura 3.2 Tolva de alimentación.

- B) El molde se cierra en varias etapas (Figura 3.3).

- A alta velocidad y a alta presión hasta antes de que se toquen las dos partes del molde.
- Continúa a baja velocidad y baja presión hasta que las dos partes del molde hagan contacto total.
- Finalmente se ejerce alta presión, generando la fuerza necesaria para evitar que el molde se abra durante la inyección.

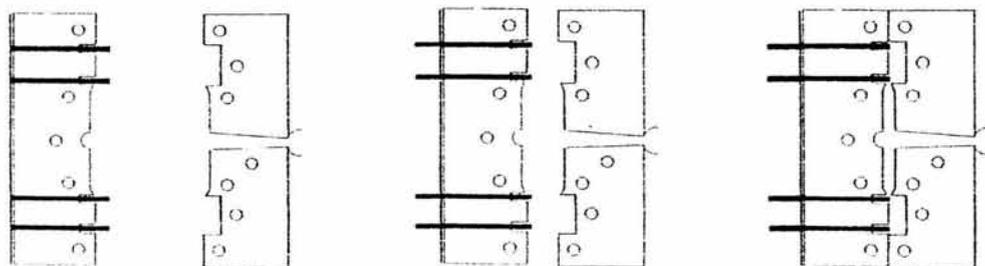


Figura 3.3 Etapas de cierre en el molde.

- C) El material es conducido a un cilindro o cañón (Figura 3.4) el cual cuenta en su interior con un tornillo sin fin o husillo que gira de forma rotacional para introducir y dispersar el material proporcional y homogéneamente, este es plastificado (fundido) por acción de resistencias eléctricas, en forma de bandas calefactoras que abrazan el exterior de la



periferia del cilindro y también por el calor debido a la fricción que genera la rotación del husillo, de las moléculas entre sí y con las paredes del husillo y el cilindro.

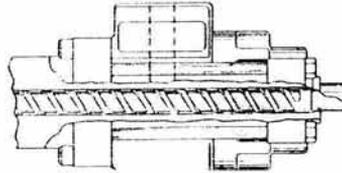


Figura 3.4 Husillo dentro del barril o cámara calefactora.

- D) El husillo sigue girando hasta que acciona un microswitch, que determina la cantidad de material que ha de ser alimentado a la punta del cilindro. Para evitar que el material plastificado que se encuentra en la punta del cilindro empuje al husillo hacia atrás, se le aplica a éste una presión en sentido contrario llamada contrapresión.
- E) Al finalizar la dosificación del husillo, retrocede ligeramente para evitar que el material fluya hacia fuera de la boquilla antes de ser inyectado dentro del molde, a esto se le llama descompresión. El flujo de plástico fundido es controlado por una válvula de antirretorno o *check* (Figura 3.5) que se encuentra en la punta del husillo para evitar que regrese.

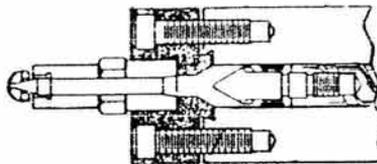


Figura 3.5 Boquilla o cañón de la cámara calefactora.

- F) Por medio de un sistema hidráulico (Figura 3.6) se empuja el husillo para que actúe como un pistón hacia la boquilla, inyectando el material dentro de las cavidades del molde a determinadas velocidades y presión de inyección. Terminada la inyección se ejerce una presión de sostenimiento sobre el material por medio del husillo (Figura 3.7)



que generalmente es menor a la de inyección y sirve para contrarrestar las contracciones del material debidas a la solidificación.

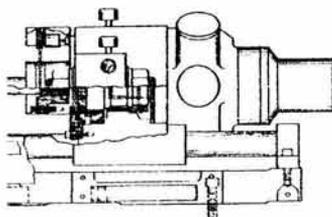


Figura 3.6 Sistema hidráulico.

- G) Poco a poco el material solidifica y por lo tanto la presión de sostenimiento ya no tiene ningún efecto (Figura 3.7).

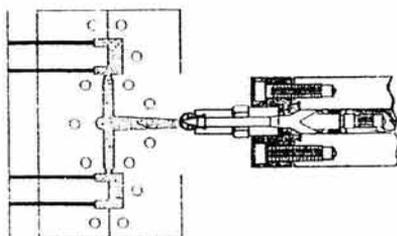


Figura 3.7 Husillo ejerciendo presión sobre el material.

- H) El calor que desprende la pieza se trasmite al molde y éste a su vez es disipado por refrigerante, generalmente agua que corre a través de los canales de enfriamiento del molde. Una vez que ha transcurrido el tiempo de enfriamiento ajustado en la máquina, el molde se abre.
- I) Un mecanismo de expulsión saca el producto del molde y la máquina puede iniciar el siguiente ciclo (Figura 3.8).

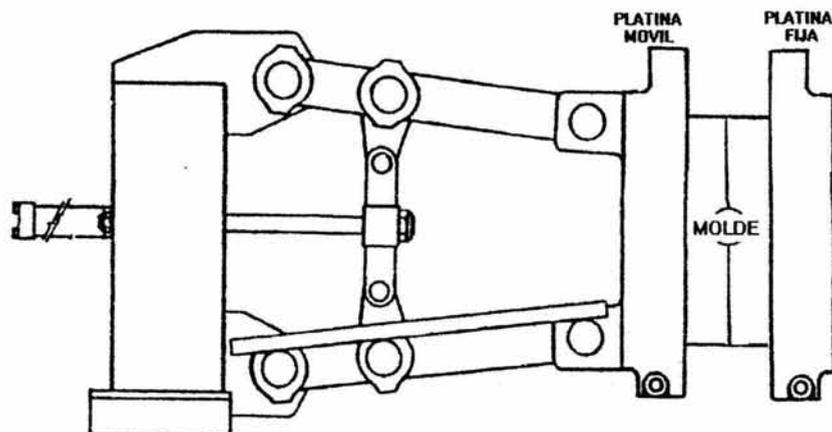


Figura 3.10 Sistema de rodilleras que desplazan la platina móvil.

Las funciones de la unidad de prensa son:

- Abrir y cerrar las mitades del molde, de tal forma que las proteja, haciendo que antes de que se toquen al cierre y antes de abrirse actúe el sistema a baja presión y baja velocidad.
- Ejercer la fuerza de cierre necesaria durante la inyección y el sostenimiento, para evitar que el molde se abra.
- Expulsar automáticamente a la pieza una vez que se ha solidificado.

El sistema de cierre por rodilleras es uno de los más usados en máquinas grandes, sin embargo existen otros dos tipos de sistemas que proporcionan grandes fuerzas de cierre (Figuras 3.11 y 3.12).

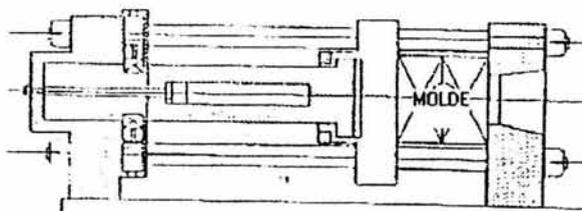


Figura 3.11 Sistema hidráulico con pistón.

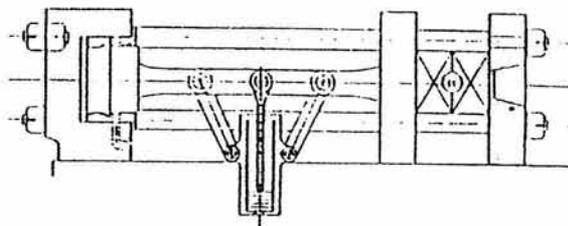


Figura 3.12 Sistema mixto de rodilleras con pistón.

3.2 Moldes para inyección de plástico.

Un molde para inyección de plástico es el arreglo de varios elementos ensamblados, fijos y móviles que generan un espacio con la forma del producto deseado, entre una parte negativa llamada cavidad o hembra y otra positiva llamada corazón o macho (Figura 3.13). Precisamente en el proceso de inyección es indispensable una adaptación entre molde y máquina si quiere lograrse un resultado rentable.

Las funciones básicas de un molde son:

- Distribución y acomodo de masa plástica fundida.
- Formación del producto.
- Enfriamiento para solidificación del material.
- Expulsión de la pieza.

Siempre existirá una compleja variedad de moldes con infinitas formas y arreglos, todas válidas siempre y cuando funcionen en la práctica, a pesar de esto algunos países han venido desarrollando piezas estándar para la fabricación de moldes, pero aún no existen moldes normalizados por la variación en su constitución como en sus elementos. Existen moldes de una cavidad y de multicavidades, de dos placas (Figura 3.13) y de tres placas (Figura 3.16), la colada puede llevar resistencias para mantener caliente el material dentro de los conductos, este sistema



se le llama colada caliente o bien sin ella es un molde de colada fría, puede llevar un sistema de desenrosque automático, pernos inclinados, desplazamiento lateral, etc.

3.2.1 Componentes

Se presentan a continuación, las partes principales con las que cuenta un molde normal para inyección de plástico (Figura 3.13).

1. Bebedero.- Punto de acceso al molde del plástico que proviene de la boquilla del cañón, conecta el molde con la boquilla de la máquina.
2. Anillo centrador.- Centra el molde en la platina fija de la máquina.
3. Placa de respaldo superior.- Conecta la mitad estacionaria del molde a la platina fija de la máquina.
4. Plato "A" de cavidades.- Contiene los insertos de cavidades.
5. Insertos de la cavidad.- Forma el exterior del producto.
6. Perno guía.- Asegura el alineamiento de las mitades del molde.
7. Línea de partición.- Línea donde las dos mitades se juntan.
8. Placa "B" o Portacorazones.- Normalmente contiene los insertos del alma o corazón
9. Buje guía.- Sirve como guía del perno.
10. Inserto del alma, Corazón o Macho.- Forma el interior del producto.
11. Plato soportador.- Provisiona soporte para el plato "B".
12. Carril de soporte.- Soporta el plato "B" y forma el plato expulsor.
13. Pilar de soporte.- Soporta el plato "B" y guía el plato expulsor.
14. Plato posterior de fijación.- Conecta la mitad del molde con la platina móvil de la máquina.
15. Agujero para la barra expulsora.- Permite entrada al mecanismo expulsor.
16. Tope del expulsor.- Tope para el regreso del plato expulsor.
17. Plato expulsor.- Empuja los pasadores de expulsión hacia delante para quitar las partes.
18. Plato retenedor de los expulsores.- Contiene los pasadores de expulsión.
19. Espigas de expulsión.- Botador para expulsar las partes del molde.

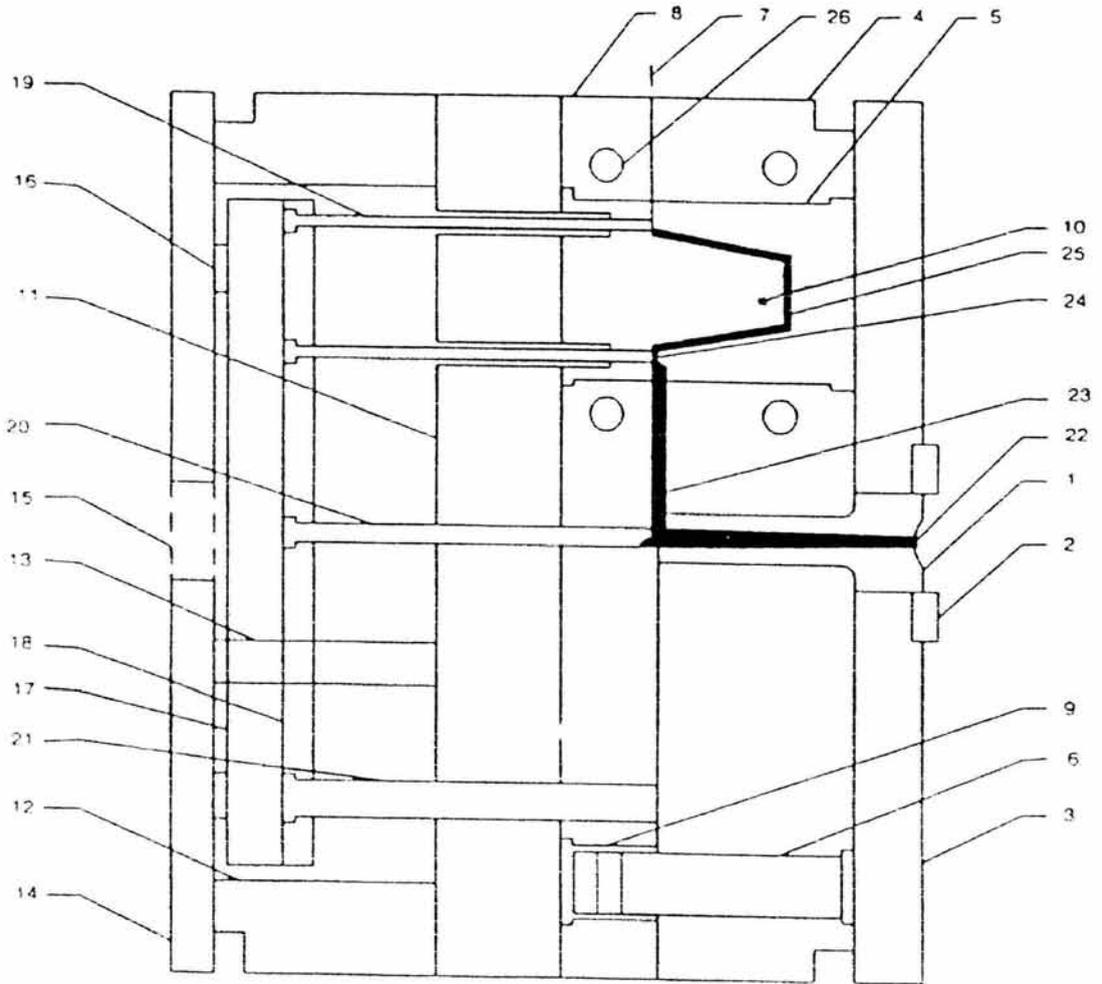


Figura 3.13 Molde para inyección de plástico de dos placas.

- 20. Gancho para la colada.- Trae consigo la colada en cuanto abre el molde.
- 21. Pasadores de retorno.- Regresa el plato expulsor con el cierre del molde.
- 22. Colada.- Canal para hacer llegar el material de la boquilla hasta la corredera del molde.
- 23. Corredera o bebedero.- Permite el flujo del material desde la colada hasta la puerta de la cavidad.



24. Puerta de la cavidad.- Permite y dirige el flujo de material desde la corredera hacia el interior de la cavidad.
25. Parte.- Diferencia entre cavidad y alma o corazón.
26. Conductos para el agua.- Elimina el calor del plástico y permite que se endurezca.

Mediante las boquillas de inyección, que se fijan en la parte anterior del cilindro de inyección, se establece la conexión con el molde, para dirigir el material termoplástico al bebedero y de ahí distribuir el material fundido a todas las cavidades.

La conexión con el bebedero puede existir de dos tipos, convexa y plana, ambas son efectivas siempre y cuando coincidan en su diámetro y centro (Figura 3.14).

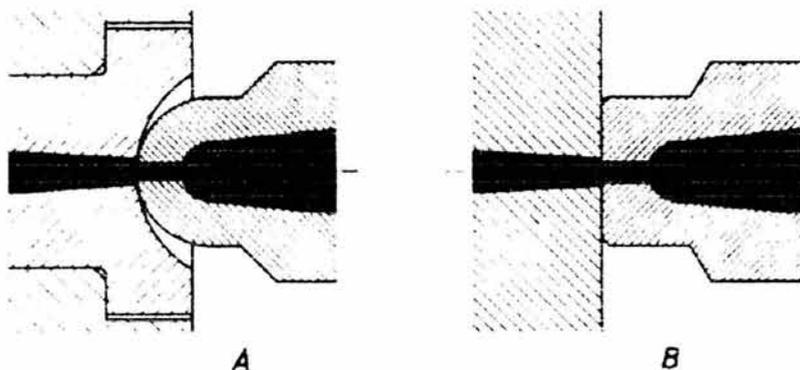


Figura 3.14 Tipo de boquillas que se conectan al bebedero del molde.

3.2.2 Materiales de construcción

Para la fabricación de los elementos que conforman los moldes de inyección, se emplean diversos tipos de acero, los principales suministradores editan folletos para asesoramiento (Anexo II) y en la mayoría de los casos, es el fabricante de moldes quien tiene que elegir los aceros necesarios, apoyándose en las experiencias realizadas con los materiales; sabe como pueden elaborarse, templarse, su facilidad de maquinado, qué calidad de superficie puede esperar, etc.



3.2.3 Costo de un molde

A continuación se mencionan los aspectos más importantes que implican un costo de fabricación en los moldes para inyección de plástico:

- Claridad en presentación del producto: papel, diseño asistido por computadora, 2D, 3D, Sólidos y superficies.
- Número de cavidades.
- Tolerancias dimensionales estrechas.
- Esquinas exteriores cuadradas.
- Esquinas interiores redondeadas.
- Esquinas exteriores cuadradas.
- Acabado superficial texturizado.
- Localización de puntos de inyección.
- Movimientos adicionales para desmoldeo de producto.
- Sistema de inyección.
- Expulsión escalonada.
- Componentes intercambiables.
- Facilitan el mantenimiento.
- Uso de resinas corrosivas o abrasivas.
- Grabados y leyendas.

3.3 Ciclo de moldeo por inyección de plástico.

El proceso de moldeo por inyección es primario intermitente, es decir que es donde se inicia la formación de un producto desde el principio y éste se repite de manera constante.

Cada parte del moldeo conforman un tiempo de ciclo de producción con en el que se pueden controlar la fabricación de un número determinado de piezas, dependiendo también del número



de cavidades que contenga el molde. Un ciclo de moldeo se encuentra establecido por un principio y un final, entre los que se lleva a cabo una serie de etapas que intervienen en la formación de la pieza.

Para explicar cada una de éstas etapas se representa el Ciclo de Moldeo por Inyección de Plástico (Figura 3.9), en donde podrá observarse que algunas etapas se llevan a cabo al mismo tiempo, mientras que otras tienen que esperar un determinado tiempo hasta que se cumpla la primera.

El proceso de moldeo por inyección de plástico es de tipo primario debido a que es donde se genera la formación del producto desde el principio y no requiere de un segundo proceso.

Esta operación es cíclica ya que conforma un tiempo de producción donde se repite a intervalos regulares de tiempo, de manera intermitente todo el proceso para producción del producto o productos según el número de cavidades.

3.3.1 Cierre del molde

El aceite hidráulico se dirige hacia los cilindros que contienen los pistones encargados de mover la rodillera en un sistema mecánico o platina móvil en un cierre hidráulico directo.

Una vez alcanzada cierta posición anterior al cierre total del molde, la presión desciende para proteger al molde de un duro impacto o por si quedara una pieza atrapada.

Al finalizar esta etapa, el sistema hidráulico aplica presión, llevando las rodilleras a una posición extendida para asegurar el cierre total.

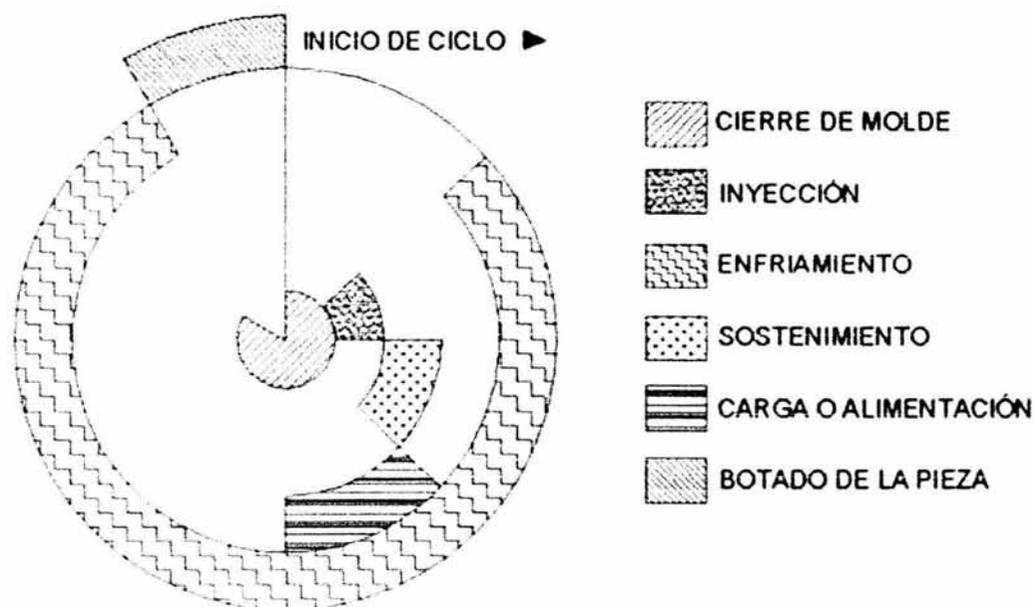


Figura 3.15 Ciclo de moldeo por inyección de plástico.

3.3.2 Inyección

En esta etapa el aceite hidráulico se dirige al cilindro de inyección para desplazar el husillo hacia delante en dirección a la boquilla del barril. Al moverse una válvula antirretorno en la punta del mismo debe evitar el contraflujo del plástico y controlar el volumen de masa alojado en la cámara de inyección. Al finalizar la inyección, la cavidad del molde se llena volumétricamente con el plástico fundido.

3.3.3 Enfriamiento

El molde siempre se encuentra frío por la recirculación en sus conductos internos con agua de enfriamiento, pero el punto de enfriamiento de la pieza comienza desde que el material empieza a ser inyectado a la cavidad del molde y termina cuando es expulsado el producto del molde.



3.3.4 Sostenimiento

Después de llenar la cavidad una presión sobre el material que se denomina de sostenimiento es ajustada con la intención de compactar la pieza, dándole sus propiedades, estabilidad a la pieza y evitar que pueda escapar plástico mientras la pieza solidifica.

3.3.5 Carga o alimentación

El aceite hidráulico es dirigido hacia un motor que acciona el giro del husillo, transportando el material plástico expuesto a fricción, compresión y temperatura, para pasar finalmente a la cámara de inyección ubicada en la punta del husillo. Mientras tanto, la pieza permanece en el interior del molde adquiriendo la consistencia requerida por enfriamiento para su extracción.

Una vez que el husillo llega a un punto predeterminado durante la plastificación, empujado por el plástico acumulado en la cámara de inyección, detiene el giro y puede desplazarse hacia atrás. Con esta descompresión se logra evitar que el plástico fundido se encuentre sometido a presión y provoque fuga cuando se abra el molde.

3.3.6 Botado

Transcurrido el tiempo programado para enfriamiento del producto y descompresión, el sistema de cierre separa las mitades del molde en varias etapas, la primera de ellas requiere baja velocidad con el fin de lograr que la pieza sea separada de la platina fija y permanezca en la mitad móvil del molde. La segunda fase puede desarrollarse a velocidad elevada y cuando alcanza un determinado punto de la carrera, amortigua su llegada al punto máximo de apertura utilizando baja velocidad. La distancia final entre las caras del molde debe ser suficiente para que el producto pueda ser botado mediante el sistema de expulsión automático.

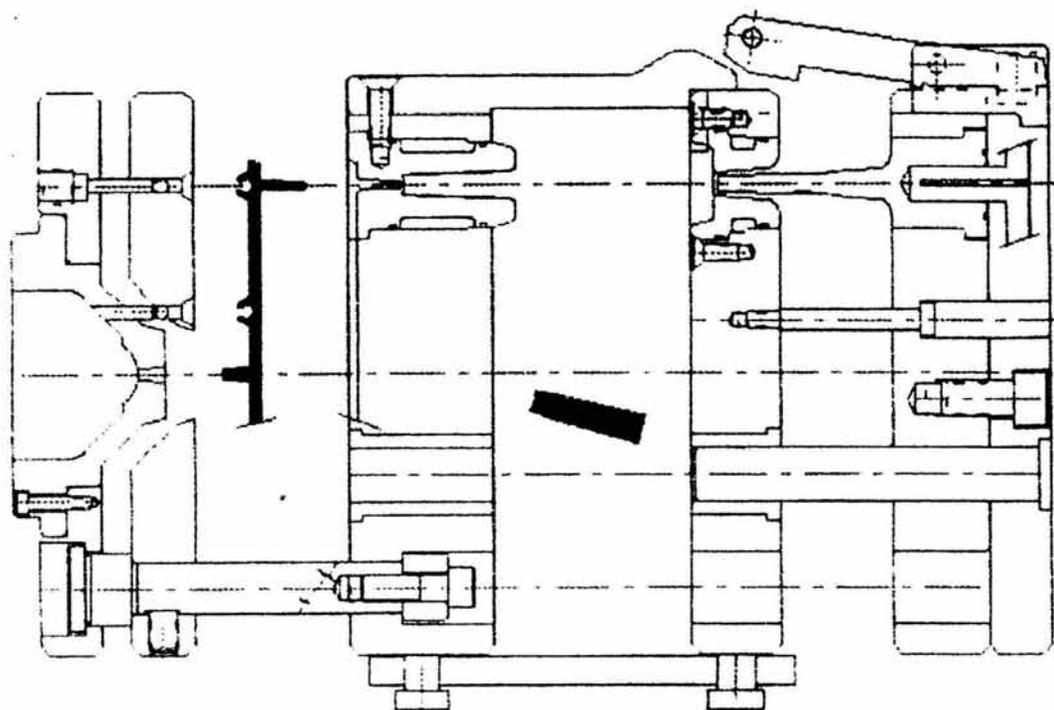


Figura 3.16 Molde para inyección de plástico de tres placas.

CAPITULO IV.

ANÁLISIS Y DIAGNOSTICO, PARA DETERMINAR LOS CRITERIOS DE DISEÑO EN LA FABRICACIÓN DE UN MOLDE DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO



CAPITULO IV.

ANÁLISIS Y DIAGNOSTICO, PARA DETERMINAR LOS CRITERIOS DE DISEÑO EN LA FABRICACIÓN DE UN MOLDE DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO

El sector de diseño y fabricación de moldes para inyección de plástico, se caracteriza entre otras cosas, por la necesidad de utilizar tecnologías avanzadas de producción como son control numérico, máquinas y herramientas de alta velocidad y precisión, inspección, tridimensional, prototipos rápidos, simuladores de inyección, asistencia de ordenadores por computadora (CAD, CAE, CAM, etc.).

No obstante, existen empresas que no cuentan con todo esto y por lo tanto requieren de la ingeniería para desarrollar un modelo de información que permita evaluar, si es posible llevar a cabo proyectos como el diseño y fabricación de un molde para inyección de plásticos.

Siendo el propósito del presente trabajo, se propone el algoritmo general de fabricación de un molde para inyección de plástico en el (Anexo III), pero antes se plantean los criterios necesarios a considerar para hacer posible este proyecto.

4.1 Información general.

4.1.1 Productividad deseada

Primeramente debe tenerse una idea del producto que se desea fabricar, el cual se muestra en el (Inciso 4.2), A partir de aquí, lo más importante que hay que pensar, es la cantidad de producto que se desea fabricar dependiendo de la demanda y exigencias del cliente.

Criterio I: Tipo de Molde

Es necesario conocer el volumen de producción esperado de un molde, antes de comenzar su diseño con el fin de determinar el número óptimo de cavidades, así como materiales para su



construcción, con esto determinamos como moldear productos sin altos requerimientos dimensionales y costo moderado.

De acuerdo con esto los moldes de inyección de plástico pueden clasificarse como sigue:

- *Molde experimental o de prototipos.*- Comúnmente de una sola cavidad y con capacidad de producir hasta 100 piezas. Sólo para pruebas preliminares.
- *Molde para especímenes de pruebas.*- Herramienta de alta precisión y producción limitada hasta 10,000 ciclos, cuando hay factibilidad de aprovechar la producción.
- *Molde de media producción.*- Utilizado frecuentemente para una cavidad aproximada de 500,000 ciclos.
- *Molde de alta producción.*- Su objetivo es obtener el mayor número de piezas al menor costo, requiriendo una determinación cuidadosa del número de cavidades, diseño detallado y minuciosa selección de materiales para su construcción para realizar un millón de golpes o más.

En nuestro caso solamente será una muestra para evaluación con los clientes y determinar si tendrán demanda o no, es decir, sólo es una propuesta para el envasado de pintura vinílica, si es calificado aceptable, ya se tendrá que realizar la planeación para el desarrollo de otro molde más grande con multicavidades.

Se establece entonces que el molde a desarrollar será para especímenes de prueba, otras consideraciones tomadas fueron, que se trata de la primera vez que se diseñará y fabricará un molde para inyección y no es conveniente para la planta arriesgarse a pérdidas considerables en caso de algún error o falla. Además se pretende aprovechar la máxima cantidad de piezas producidas por el molde, con la seguridad de que será aceptado. Esta seguridad proviene de encuestas iniciales que se realizan para saber que necesidades y gustos satisfacer en los clientes.



4.1.2 Maquinaria y equipo existentes

Se refiere a la cantidad, capacidad y disponibilidad de las máquinas de inyección de plástico que se encuentran funcionalmente trabajando dentro de la planta y al equipo periférico que suministra los servicios de agua, aire y corriente eléctrica para llevar a cabo satisfactoriamente el proceso de transformación de plástico

Criterio II: Disponibilidad de Maquinaria y Equipo

Es necesario saber si se cuenta con la maquinaria y equipo periférico apropiado para el funcionamiento óptimo del molde, ya que de lo contrario surgirá la necesidad de adquirir algún equipo nuevo o de proseguir, puede no funcionar el molde correctamente, dañarse o simplemente no se tendrá el producto deseado.

Se cuentan con 25 máquinas de inyección de plástico que son del tipo común, con un husillo, cierre por rodilleras y de pistón. Sus capacidades varían en el rango de 40 a 950 toneladas de capacidad.

Se inyectan productos desde 10 a 923 gramos de material plástico fundido, principalmente polietileno de alta densidad (PEAD) y los moldes existentes son de 1 a 6 cavidades, dependiendo el tamaño del producto.

De acuerdo con los cálculos de capacidad de la máquina requeridos para el funcionamiento del molde a diseñar en (Inciso 4.6), únicamente se mencionan las máquinas que representan la opción más adecuadas para que funcione el molde de este proyecto (Tabla 4.1).



Tabla 4.1 Máquinas de inyección mas adecuadas para éste proyecto.

<i>Máquinas de Inyección</i>	<i>Capacidad en toneladas de cierre</i>	<i>Dimensiones para libre montaje del molde</i>
Jon Wai	125	41 x 41 cm.
Sandretto	220	58 x 58 cm.
Jon Wai	220	51 x 51 cm.
Cincinatti	250	58 x 58 cm.
Red Rommi	300	55 x 55 cm.

También se cuenta también con un sistema de agua helada *Chiller* para enfriamiento del molde, su capacidad de absorción de calor es de 50 toneladas de refrigeración (TR) y trabaja a una eficiencia del 90%. En la (Figura 4.1) se muestra el arreglo del sistema.

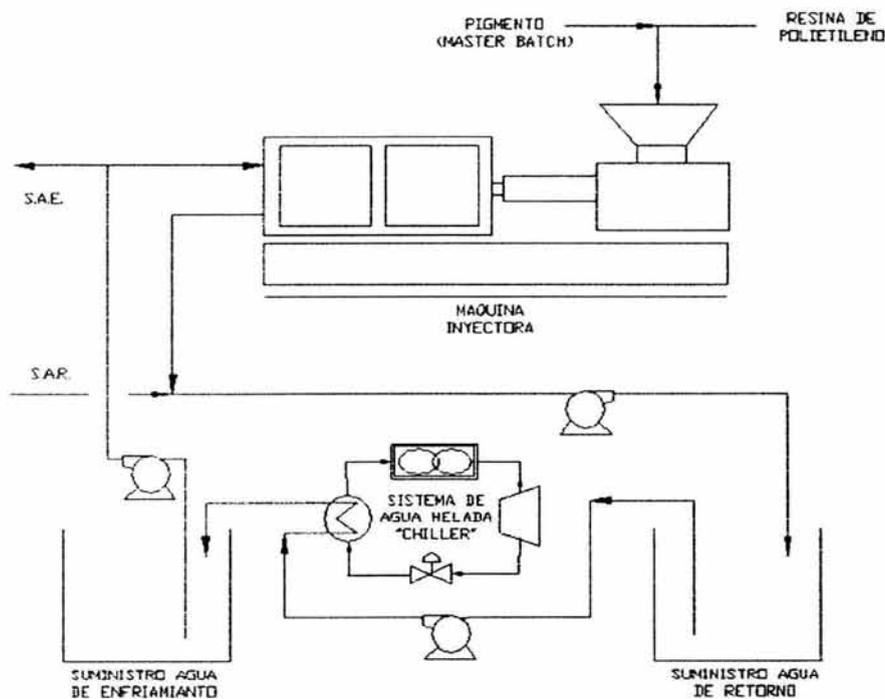


Figura 4.1 Arreglo de distribución del agua de enfriamiento.



Se utiliza un compresor de aire, que suministra aire seco a 8.5 kg/cm^2 , suficiente para impulsar los sistemas de botado en todos los moldes que lo requieran.

Tanto los componentes de las máquinas como de los equipos trabajan con 240 volts y 60 amperes.

La alimentación de material se realiza directamente de dos Silos y cada máquina en su tolva cuenta con su propio dosificador de *masterbatch* (pigmento en gránulos).

4.1.3 Recursos disponibles

Son aquellos factores, que hacen posible evaluar y aprobar el proyecto de diseño y fabricación del molde.

Criterio III: Recursos Disponibles

Los aspectos importantes que deben estudiarse son: económico, mercado y tecnológico, todos están involucrados, sino falta alguno no es posible realizar el proyecto.

El primer recurso a valorar es el de aspecto tecnológico:

- No es necesario comprar tecnología, ésta se desarrolla a partir de la experiencia obtenida en el ámbito, durante mas de 10 años realizando réplicas de otros moldes de procedencia externa y modificaciones. Además se trata de un producto no complejo en su forma y sencillo de fabricar por ser de una sola cavidad
- La planta cuenta con su propio taller mecánico y éste posee las máquinas y herramientas necesarias para el maquinado de aceros para moldes. Tiene personal capacitado en la operación de las mismas.
- Los materiales utilizados para la fabricación del molde, pueden conseguirse fácilmente en México.



- Se cuenta con el apoyo del departamento de ingeniería básica y de detalle.

El segundo aspecto es el estudio de mercado:

- Se tiene el apoyo del principal cliente para promocionar el producto.
- Es una venta directa, solo en México.
- El producto es versátil en cuanto a sus características para ser utilizado en otros campos de consumo.
- Existe la disponibilidad y tiempo, para realizar dicho trabajo.

De igual importancia el aspecto económico:

Criterio IV: Costo Real del Molde

En el (Inciso 3.2.3) se mencionan los factores de los que depende el costo del molde, sin embargo existen factores que tienen un costo en la planeación y desarrollo de fabricación de molde. Se presentaron peticiones de cotización para el diseño y fabricación del molde a varios fabricantes de moldes para obtener un valor aproximado y de esta manera se estima con un gran margen de error el presupuesto necesario para fabricarlo y el ahorro que se pudiera tener posteriormente.

- Contratación de servicio para acabado del molde en caso de ser necesarios.
- Luz, agua, energía eléctrica, teléfonos, mensajería, etc.
- Rectificaciones, reparaciones y correcciones en caso de ocurrir un error o falla en la fabricación del molde.
- Se evitarán visitas costosas para supervisión de fabricación del molde.



- En caso de haberse mandado a fabricar externamente, se evitará su transporte de envío con pago de seguros.
- Adaptaciones en los ajustes de último momento.

4.2 Diseño de la pieza.

4.2.1 Forma y geometría

Esta parte describe esencialmente la forma del producto, la tolerancia que exige su fabricación y proporciona la información necesaria que definirá los componentes del molde.

Criterio V: Satisfacción de los Clientes.

Los clientes son los que finalmente aprueban el consumo del producto por su funcionalidad, calidad y precio, por eso es necesario conocer sus necesidades.

- a) *Cliente intermedio*: es el que se encargará de envasar pintura, etiquetar el envase, empacarlo y transportarlo para su distribución.
- El envase deberá tener tolerancia de llenado por errores de precisión. Se requiere un envase hermético para almacenar 1 galón (3.58 litros) de pintura vinílica, se diseñará para 4.5 litros.
 - Deberá fabricarse en color blanco para verificar su limpieza y así evitar que contamine la pintura.
 - La boca del envase no debe presentar ovalamiento para que la tapa ensamble correctamente en la línea de envasado, por lo que deberá llevar un refuerzo en la periferia.



- Los envases deberán estibarse de manera segura, llenos y vacíos para ahorro de espacio y fácil transporte.
 - No se debe fracturar o abrir lleno de pintura, al caer por accidente.
 - Debe ser ligero y barato.
- b) *Cliente final*: es quien comprará y utilizará el envase en su fase final con producto, tomando en cuenta; tamaño, color, rigidez, suavidad, durabilidad, aroma y precio.
- Debe ser ligero pero para su transporte pero deberá llevar un asa que facilite su transporte.
 - Debe ser resistente para soportar golpes o caídas accidentales.
 - El costo total debe implicar un envase barato.

Criterio VI: Normatividades

Existen Normas Nacionales e Internacionales que definen y limitan las condiciones de un producto, atributo y características que deben tener, son de gran utilidad, ya que se toman como patrones para generar estándares.

Una norma es realizada por instituciones dedicadas a la materia y llegan a tener resultados confiables, aunque no siempre son garantía por la infinidad de variables que intervienen en las condiciones de prueba.

Existen normas ambientales que no son aplicables en este caso de transformación del plástico ya que no genera ninguna contaminación durante el proceso y en el uso final que se le dé al envase bajo control resulta ecológico, puesto que los termoplásticos son reciclables al 100% reprocesándolos de manera más fácil que el vidrio o los metales. Aunque si no se tiene cuidado,



el impacto ambiental que representan como basura es muy dañina, dan mal aspecto, generan focos de infección y su proceso de degradación es muy lento, tardando inclusive años dependiendo el lugar de deposito, si son quemados se generan humos tóxicos debido a las reacciones de combustión.

También se hace uso de normas principalmente para controlar pruebas, por ejemplo, el problema que comúnmente se reclama, es la fractura por caída libre, por eso se requiere como fundamento las siguientes normas, para evitar rechazos.

- NMX-EE-109-1982 (Norma Oficial Mexicana) para determinación de resistencia al impacto en envases de plástico.
- ISTA 178.607, abril 1996 (Norma Internacional) para identificar las partes de un envase que se somete a pruebas.

Como se verá mas adelante, también la selección de material requiere de pruebas realizadas bajo normas y condiciones específicas.

Criterio VII: Forma de Acuerdo a su Funcionalidad

Es el aspecto más importante ya que define la complejidad del molde y sus partes para su fabricación.

- La forma del envase será de una cubeta cónica, esto para poder estibarse entre si ahorrando espacio y no presentar dificultad para separarse una de otras.
- La base deberá tener una concavidad hacia el interior, para dar un nivel plano en el momento de su llenado con pintura y para que también de estabilidad al momento estibar.



- Llevará dos arillos de refuerzo integrados en la periferia de la parte superior de la boca para reducir el ovalamiento, y a su vez, que sirva de labio para ensamble con la tapa. Por la forma transversal de los refuerzos, el molde necesariamente llevará elementos colapsables que abran y cierren transversalmente con respecto a la apertura del molde para la formación estos arillos de refuerzo.
- El asa metálica se colocará en un segundo proceso de acabado, enganchada sobre dos extensiones en forma de orejas que se ubicarán en ambos extremos de la cubeta y con capacidad de soportar el peso del envase con pintura (48 kg.).
- La base inferior presentará refuerzos que ayudarán a absorber los impactos durante el transporte o en una caída vertical.

4.2.2 Selección de material

Se tiene que escoger un material plástico adecuado que cumpla con las exigencias de fabricación y funcionalidad del producto. Su comportamiento en la elaboración, muestra diferencias demasiado grandes para permitir una consideración desde el punto de vista de la forma ideal y no puede esperarse que todos los materiales tengan las mismas propiedades de elaboración, pero se exige que cumpla los siguientes requerimientos.

Criterio VIII: Forma de Suministro

Es el requerimiento de la forma y tamaño de la materia prima, que tienen que estar ajustados para que garanticen una disgregación termoplástica óptima.

La presentación más práctica es en *pellets* o gránulos de 3 mm. porque esta forma de presentación evita aglutinaciones y la variación que pudieran presentar no afecta en el comportamiento dentro de la zona de fusión homogénea, garantizando un llenado uniforme en las cavidades del molde.



Criterio IX: Exigencias Respecto al Material

- Debe de comportarse estable a las influencias térmicas y no presentar síntomas de descomposición.
- No debe presentar separación de componentes químicos que tiene a menudo carácter agresivo y atacan el cilindro de la máquina o el molde. Pueden formarse vapores nocivos, que provoquen durante la elaboración problemas por su mal olor o por irritación de las vías respiratorias o la piel del personal de servicio.
- Muchas veces se agregan pigmentos o cargas. Como es natural, hay que exigir a todos estos aditivos la misma estabilidad térmica que el plástico.
- Las piezas inyectadas tienen que presentar una óptima exactitud de medidas y formas, por lo que la contracción debe ser relativamente uniforme o lo más baja posible.

No corresponde al propósito de este proyecto considerar en detalle la amplia escala de materias termoplásticas en el mercado y sus particularidades técnicas de elaboración. Aquí solo se enfocará al estudio de las resinas más comunes el proceso de transformación por inyección de plástico y la elección de la más apropiada.

Se presentan a continuación de forma gráfica, una comparación de las propiedades más importantes para la selección de termoplásticos en el proceso de transformación por inyección de plástico, estos valores son obtenidos de pruebas normalizadas.



a) Densidad: es la cantidad de materia que tienen los materiales plásticos por unidad de volumen, los valores mostrados se obtuvieron de la prueba regida por las normas ASTM 1248 y ASTM D-1505 (Figura 4.2).

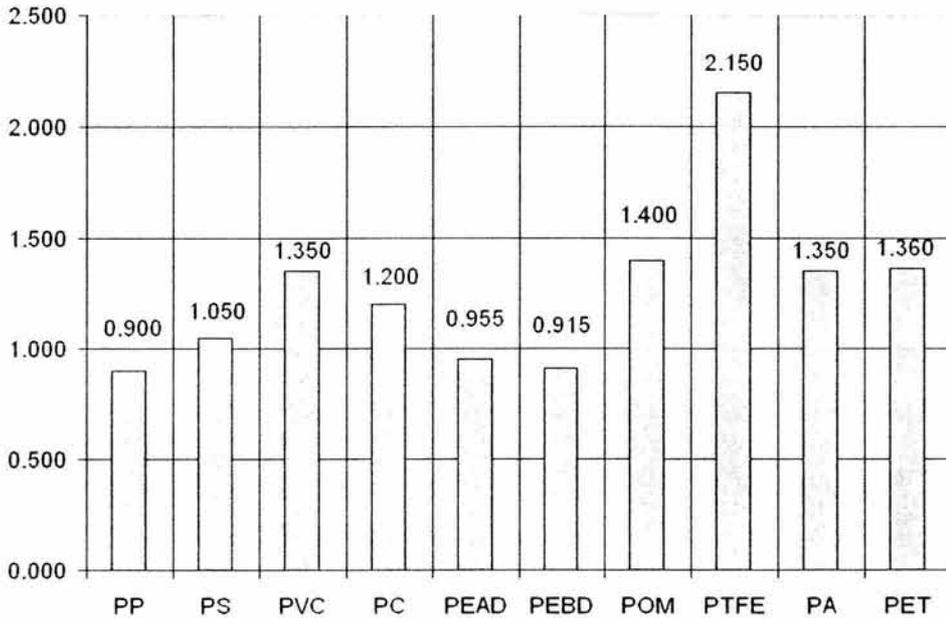


Figura 4.2 Densidad en g/cm^3 .

A medida que la densidad es mayor, el plástico será mas duro y sus propiedades mecánicas serán mayores, excepto la resistencia al impacto, por eso conviene tener un valor bajo que también permite una mejor procesabilidad, tal es el caso de:

$$(\text{PP}) = 0.900 ; (\text{PEBD}) = 0.915 ; (\text{PEAD}) = 0.955 ; (\text{PS}) = 1.050$$



- b) Absorción de agua: es la cantidad de agua que los plásticos tienden a retener, reflejándose en su aumento de peso al contacto continuo con ambientes húmedos. Esta prueba está regida por las normas ASTM D-570, ISO 62 y DIN 53495 (Figura 4.3).

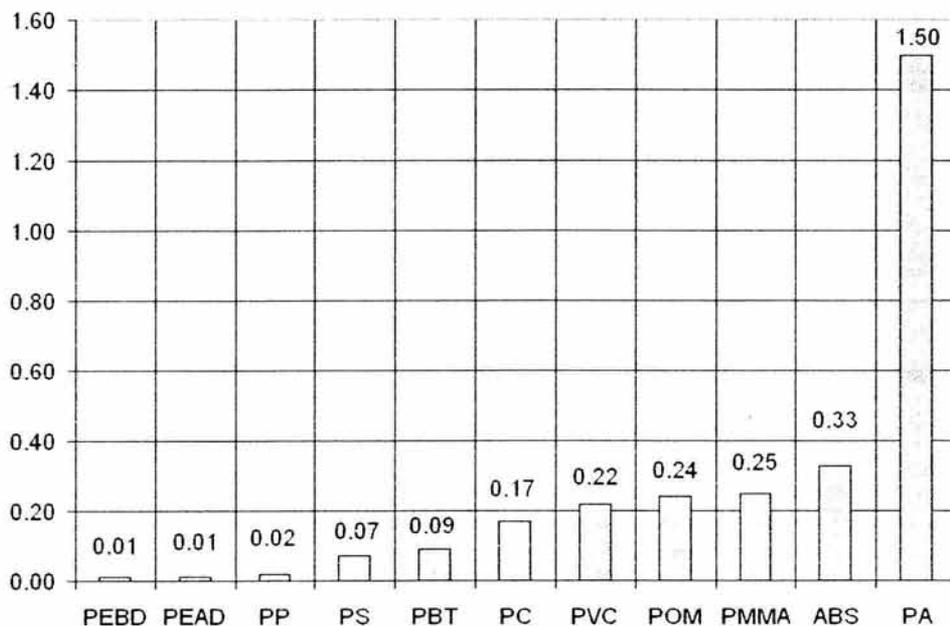


Figura 4.3 Absorción de humedad en %.

Indiscutiblemente deben tener límite a un mínimo soportable de absorción de humedad, incluso tras largo almacenaje. Si es altamente hidróscopica produce un desarrollo de vapor en el curso de la disgregación del material dentro del cilindro de plastificación influyendo en los resultados del producto final.

$$(PEBD) = 0.01 ; (PEAD) = 0.01 ; (PP) = 0.02 ; (PS) = 0.07$$



- c) Permeabilidad. - Es la cantidad de vapor de agua o gas que se difunde a través del espesor de la pared de los plásticos. Esta prueba está sujeta a las normas ASTM D-1434, ISO 1133 y DIN 53122 (Figura 4.4).

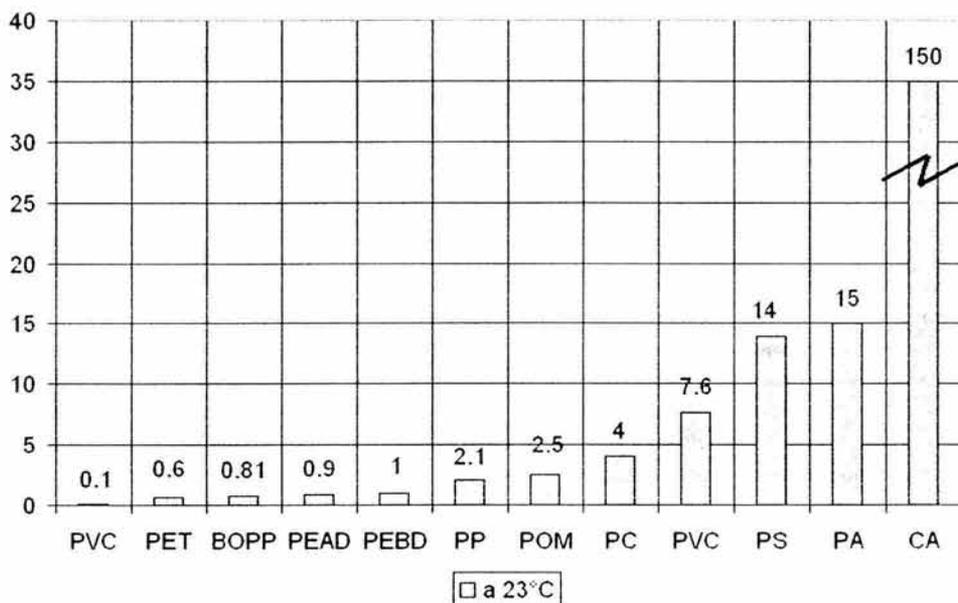


Figura 4.4 Permeabilidad al vapor de agua ($\text{cm}^3/\text{m}^2\text{-día-bar}$)

Es importante establecer que nuestro producto debe ser impermeable, para evitar fuga de gases, olores o migración de líquidos y mantener la integridad de nuestro producto, las mejores opciones son:

$$(\text{PVC}) = 0.1 ; (\text{PET}) = 0.6 ; (\text{BOPP}) = 0.81 ; (\text{PEAD}) = 0.90$$



- d) Resistencia a la tensión.- Es la capacidad que presentan los plásticos a oponerse al esfuerzo de estiramiento o compresión, determinándose la fuerza de tensión por unidad de área que resiste una muestra antes de deformarse. Esta prueba está regida por las normas ASTM D-638, ISO 527 y DIN 53455 (Figura 4.5).

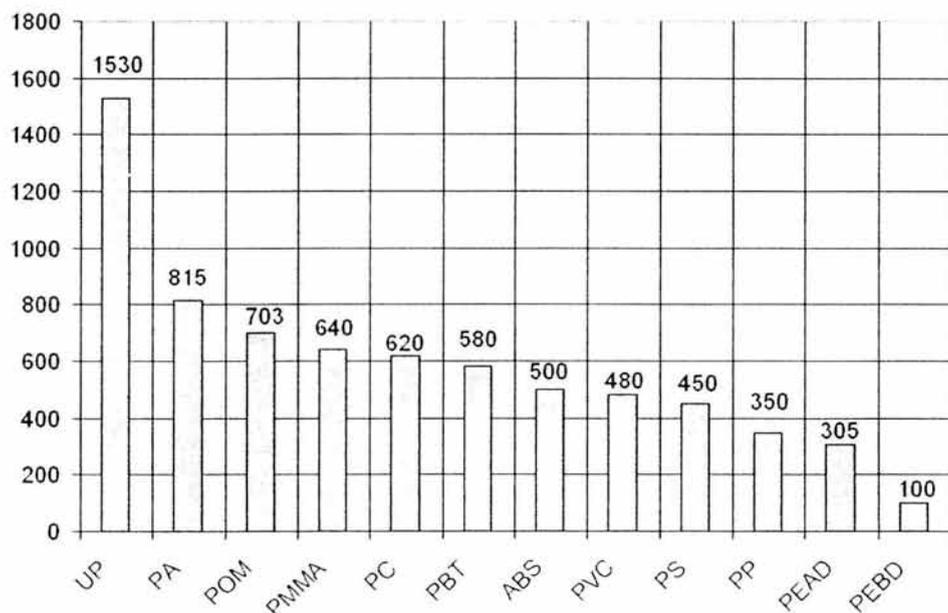


Figura 4.5 Resistencia a la tensión (kg/cm²).

Una alta resistencia a la tensión implica generalmente que el material sea rígido y no significa que también sea resistente al impacto, descartando el PEBD por ser muy suave y flexible, los materiales más recomendados son:

(PEAD) = 305 ; (PP) = 350 ; (PS) = 450 ; (PVC) = 480



e) Resistencia al impacto.- Es la propiedad de los plásticos a resistir un golpe o prolongar una fractura. Esta prueba se realizó bajo las normas ASTM D526-A , ISO 180 y DIN 53453 (Figura 4.6).

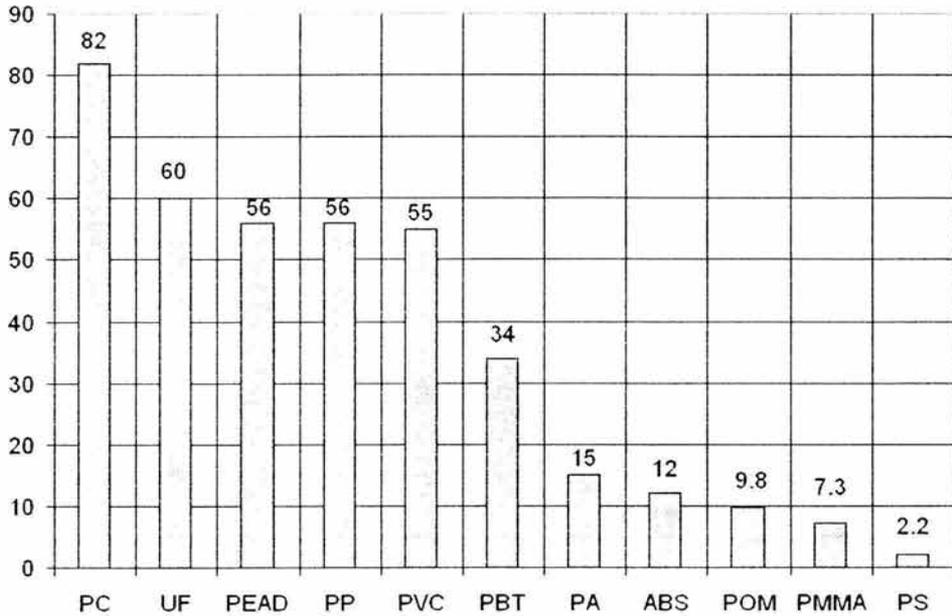


Figura 4.6 Resistencia al impacto (kg/cm²).

Esta prueba nos ayuda a determinar que materiales pueden proporcionarles resistencia al producto, sobre todo en la prueba de fractura por caída libre.

$$(PEAD) = 56 ; (PP) = 56 ; (UF) = 60 ; (PC) = 82$$



f) La temperatura de deflexión.- es a la que un espécimen se deflexiona 0.25 milímetros bajo una carga de 4.6 ó 18.6 kg/cm² en condiciones preestablecidas de prueba. Esta prueba se rige bajo las normas ASTM D-648, ISO 75 y DIN 53461 (Figura 4.7).

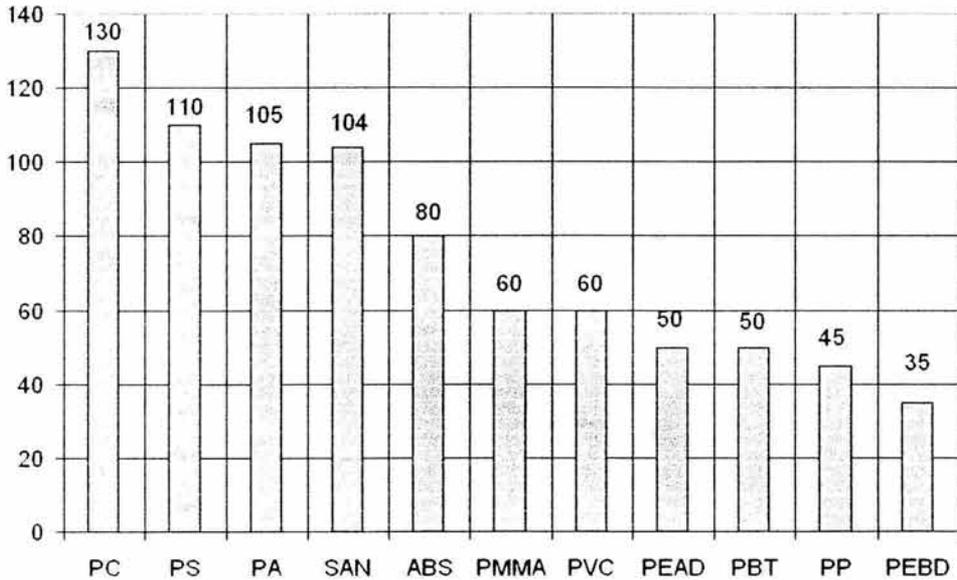


Figura 4.7 Temperatura de deflexión (°C) a 1.86 N/mm².

Estos valores nos sirven para visualizar las temperaturas en las que podemos desmoldar un producto inyectado sin que éste se deforme, pero también se debe considerar la menor contracción posible que alcanza en su enfriamiento total. el PEBD es muy flexible y suave por lo que lo descartaremos, entonces las mejores opciones son:

$$(PP) = 45 ; (PEAD) = 50 ; (PBT) = 50 ; (PVC) = 60$$



- g) Dureza.- es la resistencia que presentan los plásticos a ser mellados o rallados sobre su superficie. Estos valores se muestran en la (Tabla 4.2) debido al amplio rango de variación y a diferentes escalas en las que se midieron (Figura 4.8). Esta prueba se rige bajo las normas Rocwell ASTM D785, ISO 2039, Shore ASTM D-2240, ISO 868, DIN 53505 y Barcol ASTM D-2583.

Tabla 4.2 Dureza de varios Termoplásticos.

PLASTICO	DUREZA
PEAD	SHORE D (60 – 70)
PEBD	SHORE D (40 – 51)
PP	ROCWELL R (80 – 102)
PVC	SHORE D (65 – 85)
PS	ROCWELL M (65 - 80)
ABS	ROCWELL R (107 – 115)
PA	ROCWELL R (120)
PC	ROCWELL M (70)
PMMA	ROCWELL M (85 - 105)
POM	ROCWELL M (94 - 120)
CA	ROCWELL R (34 - 125)
CAB	ROCWELL R (31 - 116)
EP	ROCWELL M (100 - 112)
MF	ROCWELL M (115 - 125)
PF	BARCOL (64 – 95)
PPO	ROCWELL R (119)
PSU	ROCWELL M (69 - 120)

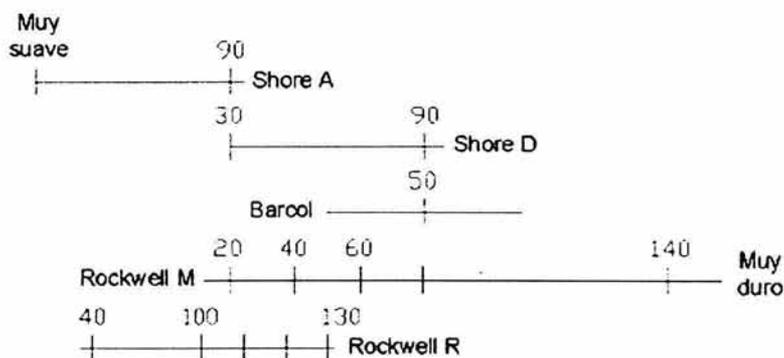


Figura 4.8 Escalas de dureza para Plásticos

Los materiales que se encuentran dentro del valor medio, sin afectar las características deseables del producto inyectado son:

(PEBD) = SHORE D (40-51)

(PEAD) = SHORE D (60-70)

(PVC) = SHORE D (65-85)

(PSU) = ROCKWELL M (69-120)

De los materiales seleccionados, se observa una repetición continua de dos de ellos en cada una de las características que requerimos para el envase, así que por lo observado se puede decir que se tiene dos opciones de materiales, el PP y el PEAD.

Pero aún faltan considerar sus propiedades, físicas, mecánicas, químicas y térmicas.

Opción I: Polipropileno (PP).

- Color y aspecto del material corriente en el mercado: masa granulada, incolora opaca y teñida, transparente y oscura.
- Propiedades generales del producto acabado: elevada estabilidad de forma al calor, resistencia a la tracción y al choque, rigidez. Buena dureza Superficial; sin tendencia a la corrosión por



- tensiones. Esterilizable hasta 102 °C. Prácticamente sin absorción de agua. Se hace quebradizo a temperaturas inferiores a 0 °C.
- Temperatura de uso permanente sin perjuicios: máximo 120 °C -130 °C
 - Estabilidad frente a productos químicos: estable frente a ácidos débiles, álcalis débiles. Condicionalmente estable frente alcohol, ésteres, cetonas, éteres, aceites y grasas.
 - Comportamiento y olor al aplicar la llama: sigue ardiendo al separarla, llama luminosa con núcleo azul, gotea.
 - Olor: débil a parafina o resina
 - Conductividad térmica 0.26 kcal/m h °C y calor específico 0.46 kcal/kg. h °C
 - Tiempo recomendado de secado previo de 1 a 1.5 hr. a 75 °C
 - Para la construcción de moldes hay que contar con una contracción de 1.3 a 2.5 % en partidas de buena fluidez; 2 a 3 % en partidas de menor fluidez.

Opción II: Polietileno de alta densidad (PEAD).

- Color y aspecto del material corriente en el mercado: masa granulada, incoloro opaco (lechoso) y en todas las tonalidades transparentes y opacas
- Propiedades generales del producto acabado: alta rigidez, estabilidad a la temperatura y estabilidad de forma; buena dureza superficial; insípido e inodoro, resistente a la ebullición y esterilizable, excelente aislante eléctrico, tiene tendencia a conservar cargas eléctricas estáticas, induciendo a la atracción de polvo pero no genera ningún tipo de radiación que evite utilizar materiales especiales en el molde.
- Temperatura de uso permanente sin perjuicios: máximo 105 °C
- Estabilidad frente a productos químicos: estable frente a ácidos y álcalis, alcohol. Condicionalmente estable frente a esterres, cetonas, éteres, aceites y grasas. Inestable frente a hidrocarburos clorados, benzol, bencina, carburantes.
- Comportamiento y olor al aplicar la llama: sigue ardiendo tras separarla, llama luminosa con núcleo azul, gotea
- Olor: a parafina de velas



- Conductividad térmica 0.33 kcal/m h °C y Calor específico 0.45 kcal/kg °C
- Tiempo recomendado de secado previo 1 a 1.5 hrs. a 65 °C
- Para la construcción de moldes hay que contar con una contracción de 1.5 a 3 %

Dentro del mismo criterio, se debe considerar las condiciones de funcionalidad que debe tener el producto terminado y corroborar que es capaz de resistirlas.

- El envase talvez se almacene en bodegas de diferentes ciudades de la Republica con rangos de temperatura que van de los - 5 °C a 45 °C
- Exposición a la intemperie con lluvia y rayos UV
- Vibración al momento de transportar por diferentes carreteras irregulares.
- Golpes al momento de descargar, rodar, girar o levantar y poner sobre el piso.

Otros valores que también pueden observarse en el (Anexo IV), es el rango de temperaturas de inyección recomendadas, comparando en ambos plásticos, es mínima la diferencian, no hay ventaja de uno sobre el otro, por lo tanto los dos materiales PP y PEAD son buenas opciones.

Actualmente la planta utiliza para todos sus productos el polietileno de alta densidad, así que por tal motivo inclinaremos la elección a utilizar el PEAD.

El polietileno de alta densidad PEAD tiene algunas variantes que dependen de su densidad y su índice de fluidez.

En la siguiente tabla se presentan los diferentes tipos de polietileno de alta densidad (Tabla 4.3) del mayor proveedor en México, Petroquímica Morelos PEMEX. Utilizado por ser un material de origen nacional y respaldado por normas internacionales, nacionales e internas de calidad, garantías y fácil adquisición.



Tabla 4.3 Tipos de Polietileno de Alta Densidad, Proveedor PEMEX

Nombre Comercial	Índice de fluidez (gr./10 min.)	Densidad (g/cm ³)	Proceso de transformación	Aplicación
Padmex - 6002T	0.2	0.9600	Extrusión, Soplado	Películas, laminados, tuberías.
Padmex - 6003PS	0.3	0.9600	Soplado	Películas, laminados.
Padmex - 6004	0.4	0.9600	Soplado, Inyección	Películas, laminados de pared delgada.
Padmex - 6007S	0.7	0.9600	Soplado	Películas, laminados de pared delgada.
Padmex - 65050	5.0	0.9650	Inyección	Cajas, botes, tarimas, juguetes.
Padmex - 65080	8.0	0.9650	Inyección	Cajas, botes, tarimas, juguetes.
Padmex - 60120	12.0	0.9600	Inyección	Cajas, botes, tarimas, juguetes.

La elección que debemos tomar, tal parecería que es el polietileno de alta densidad con fluidez 12, pero en la práctica se han encontrado muchos problemas para inyectarlo en productos de mas de 200gr. porque requiere de velocidades altas de inyección y mayor enfriamiento, muchas veces esto origina tensiones en el producto al momento de inyectado originando fractura o torsión y variación de sus dimensiones con respecto a lo especificado.

Definitivamente, considerando también la experiencia, el material que presenta mejor control para su procesabilidad es el polietileno de alta densidad (Padmex-65050).

Al producto se le dará un color blanco azulado, así que será pigmentado con un *masterbatch*, cuya presentación es más limpia y controlable. Como se recordará en las características de los aditivos de color (Inciso 1.7.1) es despreciable la influencia de este aditivo no solo por su baja



aplicación del 1.5 % sino porque ser inerte y estable. Únicamente se trata de una mezcla donde la misma base del pigmento utilizado es un polietileno de alta densidad, datos del proveedor.

4.2.3 Tolerancias

Son las restricciones que deben considerarse en la forma de la pieza, para que no afecte su proceso de transformación como en el funcionamiento del molde.

Criterio X: Configuración Adecuada

- La pieza a fabricar ha de ser tan sencilla como permitan las exigencias, de ser posible deben evitarse salientes complicados.
- Las dimensiones y peso de la pieza deben ser lo menor posible, para un mejor control sobre el proceso.

Por término medio, el espesor de las piezas inyectadas hasta de 50 gramos, se sitúa entre 1.00 y 3.00 mm. Para piezas mayores, con caminos de flujo más largos se sitúa entre 3.00 y 8.00 mm. En la práctica industrial se ha encontrado una fórmula empírica para determinar aproximadamente el espesor mínimo de pared (EP_m) en el molde, tomando como relación la longitud máxima de flujo (LF_M)

$$EP_m = (LF_M / 100) + 0.5 \quad \text{ó bien } 0.6 \text{ para piezas grandes} \quad \text{Ecuación 4.1}$$

Si se aprecia que la magnitud de la pieza se encuentra por arriba de los 50 gramos de material y su longitud de flujo calculado en el (Inciso 4.6) es $LF_M = 276.94$ mm.

Sustituyendo en la ecuación 4.1: $EP_m = (274.94 / 100) + 0.6$

Se estima un espesor aproximado de: $EP_m = 3.0$ mm.



- Las secciones de la pieza serán de espesor lo más uniforme posibles para un llenado y enfriamiento mas uniforme, de igual manera representa un mejor control del proceso.
- Si la corriente de material tiene que rodear, además, elementos insertados en el molde (machos, espigas expulsoras y similares), hay que aumentar convenientemente el espesor mínimo. De otro modo no queda garantizada una fusión homogénea de los frentes de flujo al reunirse. La línea de unión resultante perjudicaría la resistencia de la pieza. Hay que estabilizar mediante nervios de refuerzo las piezas de gran superficie con reducido espesor de pared si es posible.
- Se evitarán cambios inmediatos de sección y acumulaciones parciales de material, estos producen un diverso enfriamiento del material y tender a formar zonas de tensión y rechupes
- Hay que evitar cantos agudos en los nervios o estribos. En todo caso deben redondearse con un radio adecuado, porque de no hacerlo es como si presentaran una fisura que a la larga se convertirá en fractura.
- La pieza necesita para su desmoldeo una inclinación adecuada (cónica o ángulo de desmoldeo). Cuanto mayor pueda ser el ángulo de inclinación de todas las partes situadas en dirección de la apertura, más fácilmente se desmoldará la pieza. La misma forma que obtendrá la pieza (Figura 4.13) beneficiará la expulsión.
- Muchas piezas, especialmente las profundas, sólo pueden desmoldarse con ayuda de espigas expulsoras o botadores, accionadas por el sistema extractor del molde. Sin embargo, los expulsores dejan marcas visibles sobre las superficies de la pieza. Por ello, al configurar una pieza, debe evitarse que estas marcas aparezcan en puntos que perjudiquen su aspecto o su función.
- Las aberturas, orificios y similares, en especial cuando no son paralelos a la apertura del molde y exigen elementos móviles para su configuración, que aumentan el precio del molde,



sólo deben disponerse cuando la forma de la pieza lo requiera. Como la mayor parte de elementos móviles, y especialmente las espigas, no pueden refrigerarse, resultan de ello desventajas para la producción.

- La sección y posición del canal de flujo para el llenado del molde dependen del tamaño y forma de la pieza. También aquí hay que intentar elegir un punto no perjudicial; además hay que tener en cuenta que los bebederos de sección gruesa hacen a menudo necesaria una posterior mecanización. Este punto se trata ampliamente en el (Inciso 4.3.2).
- A lo largo de la línea de partición o separación del molde se forma una rebaba en las piezas. Al configurar la pieza, considerando todas las exigencias de la misma, hay que situar esta rebaba en zonas (cantos, escalones y similares) que no perjudiquen el aspecto ni la función de la pieza. El molde se partirá sobre el arillo de refuerzo bajo las orejas del envase (Figura 4.13).
- Las inscripciones, grabados, marcas e imitaciones de estructura se disponen preferentemente en las superficies de la pieza paralelas al plano de separación del molde. Todas las inscripciones situadas en ángulo respecto al plano de separación forman entalladuras y han de desmoldarse mediante elementos móviles.

Este trabajo es de tipo artístico y se realiza cuando hay que detallar una figura en el molde para que salga impresa en el producto inyectado, implica un mayor costo de maquinado por lo laborioso que es, pero es necesario para lograr otros objetivos como:

- Reconocimiento del molde o número de cavidad
- Identificación del material plástico utilizado
- Información de la capacidad del envase
- Extensión de la publicidad
- Protección a través de patentes
- Mejorar presentación



Nuestro molde llevará las siguientes leyendas labradas directamente en el molde (Figura 4.9), aunque en otro tipo de arreglos más pequeños se pueden elaborar como insertos removibles.

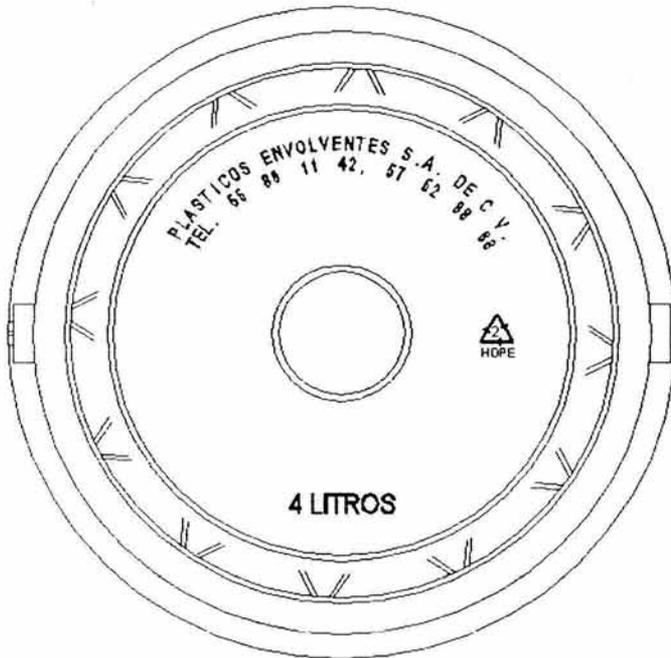


Figura 4.9 Base de la pieza con los grabados que lleva.

1. Todos los materiales sufren una dilatación al calentarse, debido que sus moléculas son excitadas por la gran cantidad de energía calorífica que se les suministra, en el proceso de moldeo por inyección de plástico la pieza es solidificada por enfriamiento del molde con agua, así que sufre una contracción dentro del molde que debe ser compensada con un exceso de material y presión de alimentación, aunque el producto continuará caliente después de extraerlo y seguirá contrayéndose por el reacomodo de las cadenas poliméricas, pero de manera lenta, hasta lograr una dimensión distinta.

Como puede observarse en la (Figura 4.10) existe un valor nominal de contracción específico para cada material plástico, para el Polietileno de Alta Densidad (Padmex-65050) es de 1.5%



a 3.0% según proveedor. En los productos moldeados sucede principalmente en la fase de cristalización del polímero.

Este fenómeno puede controlarse con las condiciones de operación, así como el control de temperaturas del molde, aunque también depende de las características moleculares del plástico, peso molecular, distribución y modificadores como cargas, por los que también presenta un efecto visible en este comportamiento, como al estibar en caliente metiendo una cubeta dentro de otra se abrazan (Figura 4.11) y al enfriarse difícilmente salen.

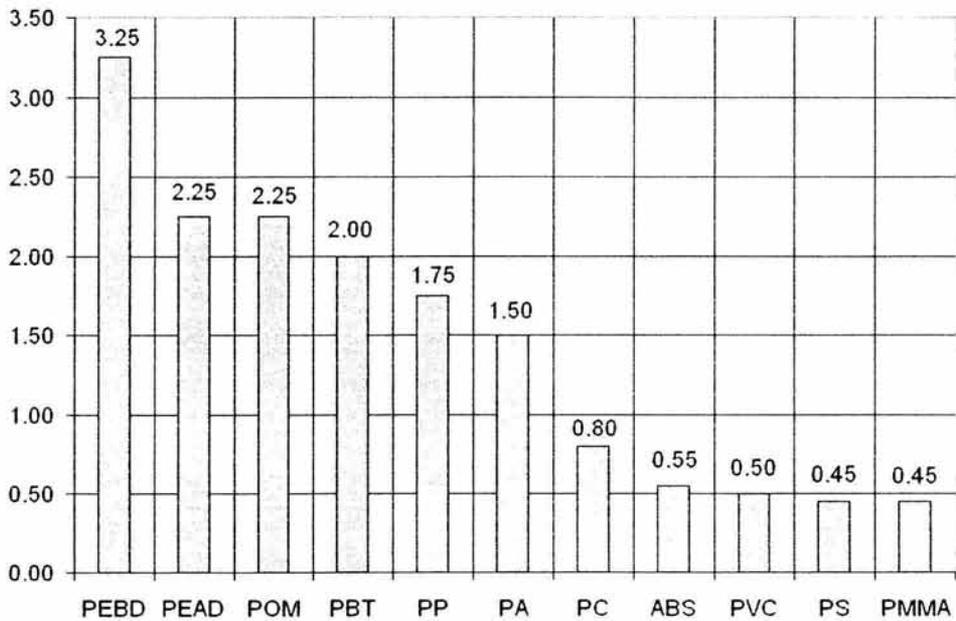


Figura 4.10 Contracción promedio para diferentes plásticos (%).

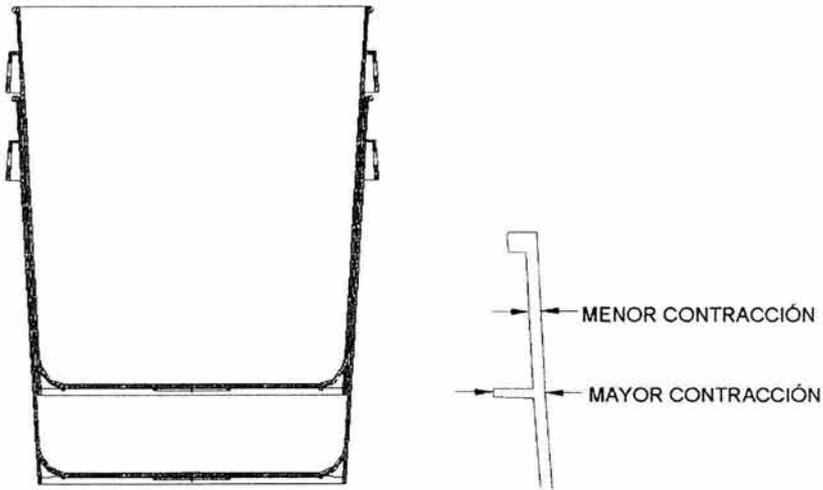


Figura 4.11 Perfil del corte de la pieza.

Esto nos indica que tenemos que hacer un molde con tolerancias no tan estrechas, que la cavidad del producto dentro del molde sea mayor. Hay que considerar que los refuerzos utilizados en plásticos influyen en el encogimiento de diferentes zonas de la pieza (Figura 4.11), se ha decidido utilizar un factor de 0.20 en las zonas de menor contracción, mientras que un valor de contracción del 0.30 se utilizará en las zonas de refuerzos donde existe mayor contracción.

4.2.4 Presentación

Es el dibujo completo de la pieza, a detalle, se representa desde la forma preliminar que se desea tener hasta sus dimensiones en unidades milimétricas con exactitud y sirve de referencia durante el diseño del molde, incluye datos de la empresa y responsables del diseño.

En los siguientes capítulos, conforme se requiera, se mostrarán los dibujos también para cada uno de los componentes del molde.



Criterio XI: Representación más Conveniente

Actualmente existen diversas herramientas de computación que sirven para dibujar diseños de cualquier objeto que se imagine, asistidos con programas clasificados como *CAD*, *CAM*, *CAE* y facilitan la tarea permitiendo reducir costos y tiempo de desarrollo.

El diseño de la pieza fue realizado con el programa *AutoCAD 2000* en escala milimétrica (SI). en la (Figura 4.12) se muestra la pantalla del programa con el dibujo completo en dos dimensiones.

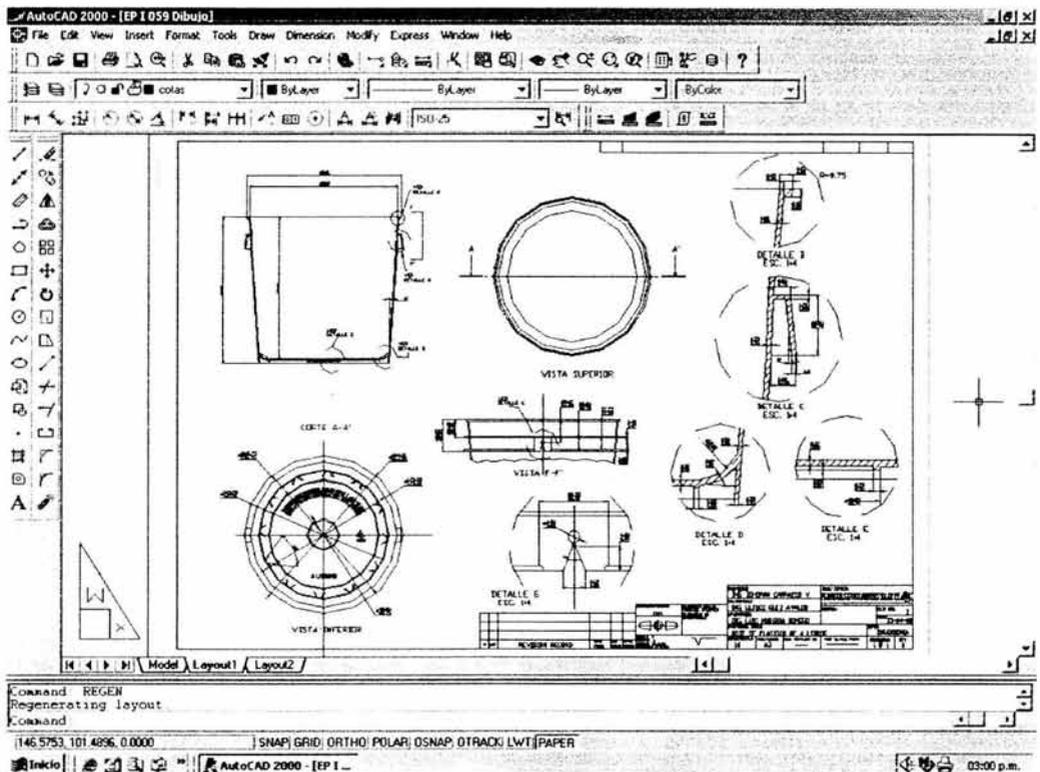


Figura 4.12 Representación 2D de la pieza dibujada en *AutoCAD 2000*.

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA



Con una presentación del producto en tres dimensiones (Figura 4.13) se logra una mejor claridad en la forma del envase en todos sus lados.

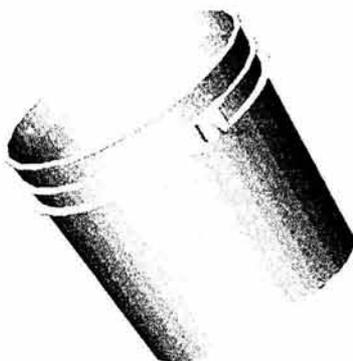


Figura 4.13 Representación 3D de la pieza.

4.3 Diseño del molde.

4.3.1 Determinación de cavidades

Una cavidad hueca es la diferencia de espacio que existe entre el lado positivo (macho o núcleo) y lado negativo (Hembra) del molde y corresponde a la forma que tendrá la pieza.

Criterio XII: Distribución de las Cavidades

Para lograr consistencia en las piezas, se requiere de una distribución balanceada de los canales (Figura 4.14), evitando cambios de dirección para evitar caídas de presión y hacer una selección cuidadosa de la sección transversal en los canales que no provoquen retrasos en el llenado de algunas piezas provocando diferencias de compactación, dimensiones y peso.

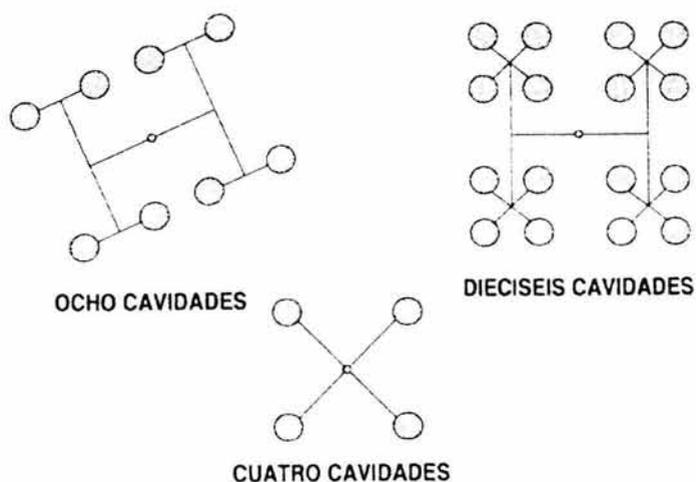


Figura 4.14 Balance en la distribución de multicavidades.

Como se determino en el (Inciso 4.1.1), el tipo de molde que requerimos es de una sola cavidad y en este caso también es necesario prever los siguiente puntos:

- Que el llenado sea uniforme
- Que la cavidad se llene completamente con menos esfuerzo
- Evita líneas de unión que provoquen fractura
- Evitar tensiones en el material que en su reacomodo molecular después de haberse procesado, origina pandeo o deformaciones
- Exista un mejor control de enfriamiento

Criterio XIII: Canales de Distribución

El diseño de los canales transversales que pasan por la línea centro de unión de molde, generalmente son circulares pero debido a que para extraer la colada se requiere dividirla diametralmente en partes iguales, es necesario maquinarse en ambas mitades del molde, incrementando el costo, por lo que otra opción es maquinarse solo una parte del molde dando secciones parabólicas o trapezoidales (Figura 4.15).

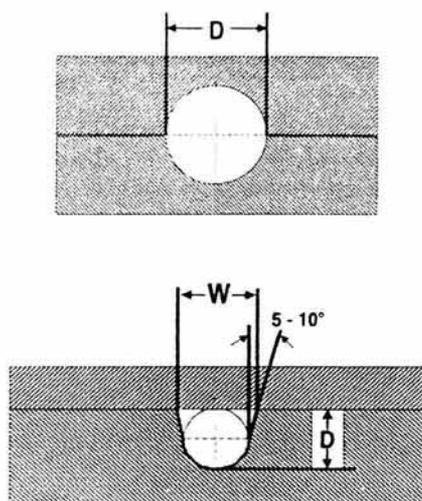


Figura 4.15 Canales de alimentación de plástico en el molde.

Se recomienda que:

$$D = EP_M + 1.5 \text{ mm.}$$

Ecuación 4.2

$$W = 1.25 D$$

Ecuación 4.3

Donde:

D: diámetro del canal [mm.]

EP_M : espesor de pared máximo de la pieza en el molde [mm.]

W: longitud de lado trapezoidal [mm.]

Para el caso de nuestra pieza diseñada, por ser de una sola cavidad, se necesita una forma especial de llenado a partir del punto de inyección mas conveniente en el (Inciso 4.3.2).

Criterio XIV: Posos Fríos

Cuando se trata de un sistema de distribución debe contar con *pozos fríos* localizados en cada cambio de dirección de los canales de distribución y deben tener el mismo diámetro. Estos atrapan el material frío a lo largo del trayecto antes de que llegue a los puntos de inyección (Figura 4.16).

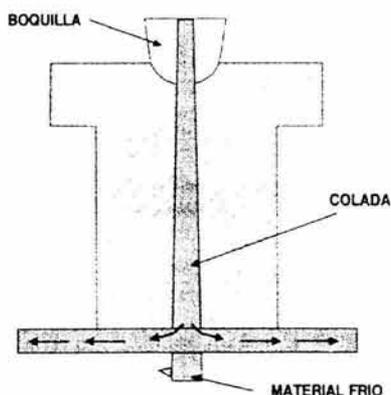


Figura 4.16 Corte de un pozo frío.

4.3.2 Punto de inyección

Es el origen por donde se alimenta el plástico fundido hacia la cavidad hueca del molde y que tiene la forma de la pieza.

Criterio XV: Forma y Tamaño del Punto de Inyección

En un sistema multicavidades el punto de inyección conecta el sistema de canales de distribución con cada cavidad, en este caso la profundidad del punto de inyección puede ser de aproximadamente 50% del espesor de la pieza y el valor de longitud debe ser lo mas bajo posible para disminuir la oposición al flujo del plástico (Figura 4.17).

Es recomendable ubicar el punto de inyección en la sección de mayor espesor en la pieza para asegurar que exista espacio suficiente para el ingreso del material y alcance las paredes más delgadas, también es posible mantener la presión sobre el plástico que se encuentra dentro de la cavidad hasta que el punto de inyección enfríe.

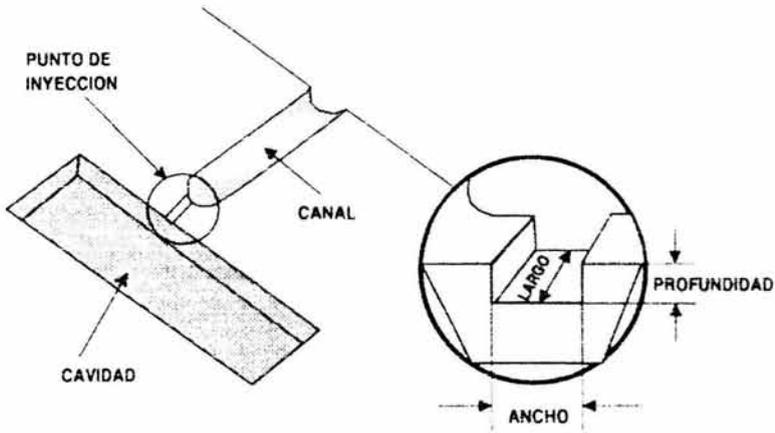


Figura 4.17 Punto de inyección.

Existen casos especiales donde un producto circular debe ser alimentado con múltiples puntos de inyección para llenar la cavidad. En estos casos es muy importante cuidar las inevitables líneas de unión (Figura 4.18).

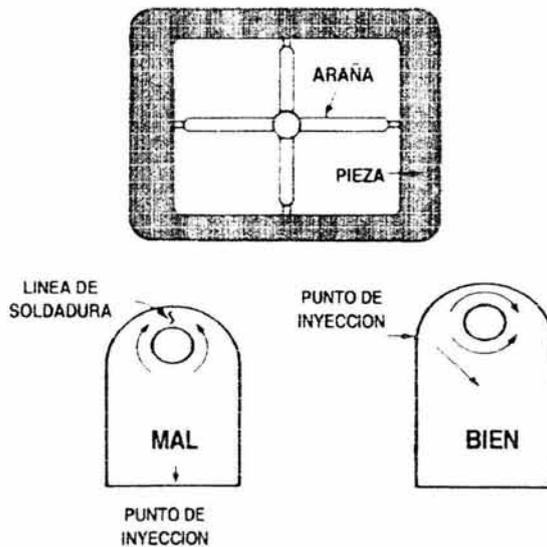


Figura 4.18 Zonas de alimentación especiales.



Existen diferentes tipos de Puntos de Inyección

- a. *Bebedero directo*: se utiliza en moldes de una sola cavidad debido a que existe una baja resistencia al flujo de masa fundida, facilita la transmisión de presión, una de las desventajas es la marca de separación mecánica. La entrada de material hacia la cavidad debe de estar provista de un radio de curvatura que permita que el plástico se extienda durante la inyección sin el riesgo de degradarse por elevada fricción con el canto agudo.
- b. *Estándar o lateral*: se encuentra cuando el punto de inyección está localizado en la línea de partición del molde (Figura 4.19).
- c. *Lamina, membrana o aleta*: el canal distribuidor desemboca a un espacio acumulador de sección circular que coloca el material frente a un estrechamiento, abarcando un lado completo de la superficie plana de la pieza, éste se utiliza para piezas de forma rectangular
- d. *Abanico*: generalmente las zonas por donde se introduce el plástico a elevada velocidad hacia cavidades de superficie relativamente grande, presentan puntos frágiles en el producto. El punto de inyección tipo abanico minimiza dicho defecto (Figura 4.20) con estabilidad dimensional.

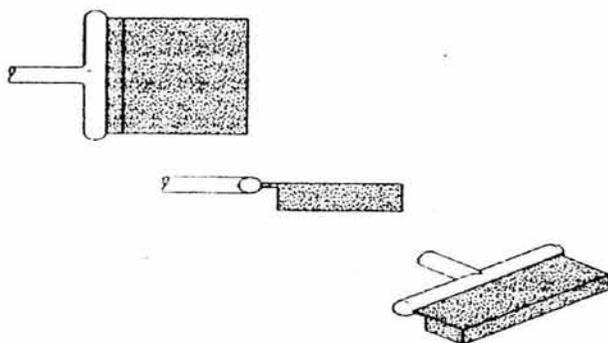


Figura 4.19 Punto de inyección tipo lámina, membrana o aleta.

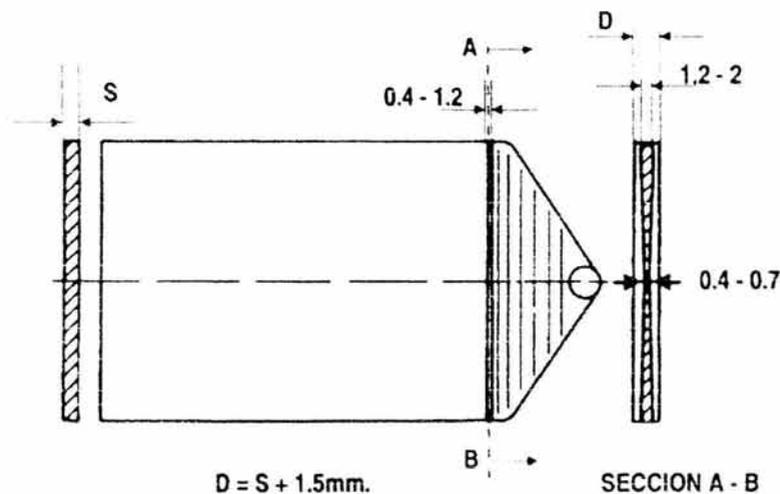


Figura 4.20 Tipo de inyección tipo abanico.

- e. *Túnel o submarino*: aplicado para introducir la masa plástica de forma lateral en las partes inyectadas. El ángulo formado entre el punto de inyección y la pared de la cavidad crea una arista de corte que reduce el esfuerzo requerido para separar el producto (Figura 4.21).

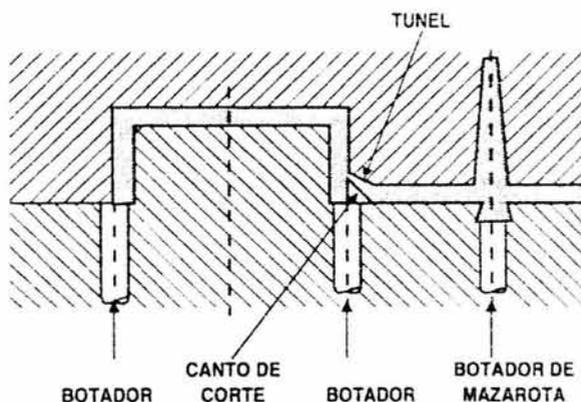


Figura 4.21 Punto de inyección tipo túnel o submarina.



- f. *Diafragma o disco*: el arreglo consiste en una membrana alimentada a través de un disco que distribuye el plástico proveniente del bebedero en forma concéntrica (Figura 4.22).

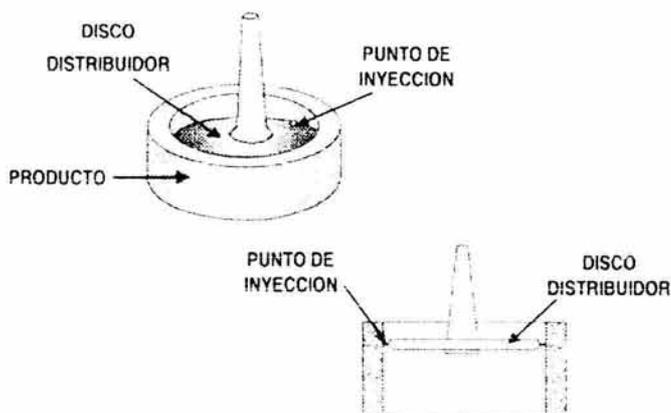


Figura 4.22 Punto de inyección de diafragma o disco.

- g. *Anular*: el plástico es conducido por un canal de distribución hasta llenar una extensión anular, que unida a la pieza mediante una entrada estrecha, permite el flujo del material al resto del producto (Figura 4.23).

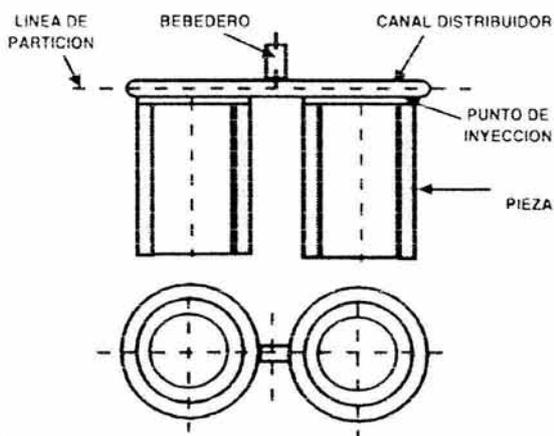


Figura 4.23 Punto de inyección tipo anular.



- h. *Aguja*: es usado para producir piezas que puedan inyectarse por el centro, la marca del producto es mínima. La geometría de la pieza se presta para utilizar este tipo (Figura 4.24).

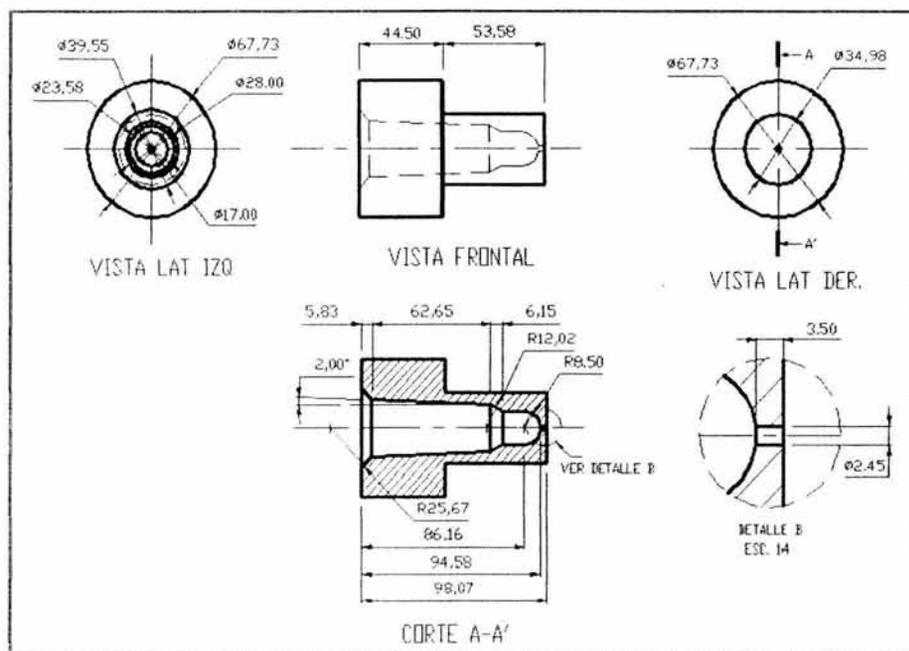


Figura 4.24 Punto de inyección tipo aguja.

Criterio XVI: Boquillas para Inyección

En un principio los moldes multicavidades fabricados incluían canales de distribución expulsados en conjunto con la pieza denominada *Colada fría*, generando merma o desperdicio de material a moler. La forma de resolver este problema fue desarrollando un sistema para mantener la temperatura del plástico fundido y distribuido en dirección a los puntos de inyección para eliminar la colada, a este sistema se le denomina *Colada caliente*. Pero también con este sistema se logra una menor presión de inyección, reducción de caídas de presión y temperatura, tiempo de



enfriamiento determinado por el producto y no de la colada, mejor calidad de piezas, ahorro de material (Figura 4.25).

La desventaja es que requiere de eyectores especiales con resistencias de calentamiento, un sistema de calentamiento y otro para control de temperaturas que elevan el costo mantenimiento como fabricación del molde.

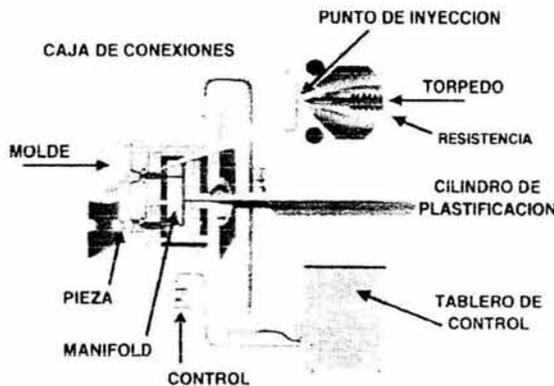
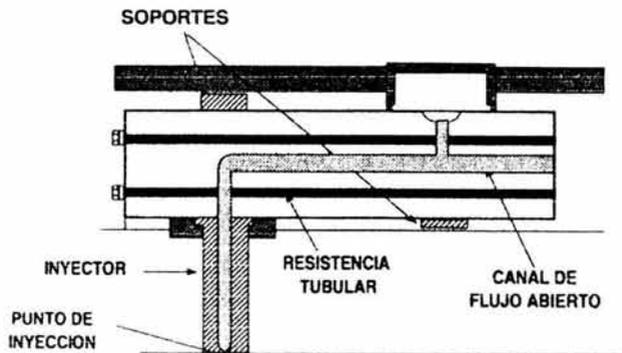


Figura 4.25 Sistema de resistencias de colada caliente en puntos de inyección.

Nuestro caso es simple por tratarse de una sola cavidad y un producto simétrico, por lo que se ha designado que el punto de inyección se ubique en el centro de la parte exterior de la base de la cubeta (Figura 4.26), por lo mismo no requiere de canales de distribución, es conveniente que la



alimentación sea directa del bebedero, además no se requieren gastos en el costo de una colada caliente.

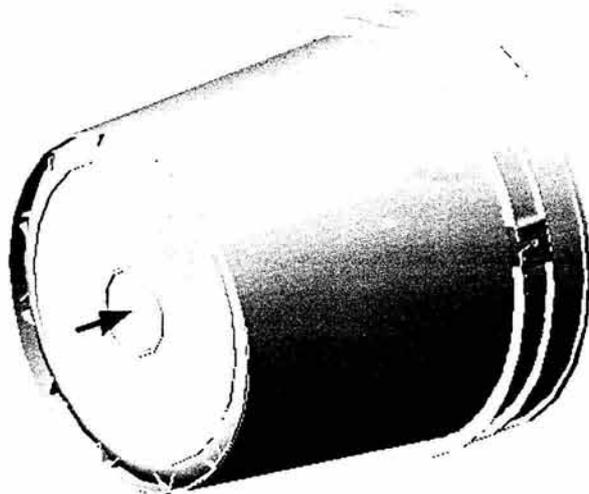


Figura 4.26 Vista 3D, indicando el punto de inyección de la pieza.

El diámetro del canal de entrada en este tipo de entrada, se obtiene de la gráfica del (Anexo IV). En caso de no tener el peso se puede contar con el dibujo del diseño para obtener un volumen y con la densidad del material es posible calcular el peso aproximado.

4.3.3 Flujos dentro del molde

Dentro del molde circulan tres flujos por separado: el medio refrigerante, el material plástico fundido y aire atrapado en la cavidad del molde cerrado.

Criterio XVII: Flujo de Refrigerante Necesario

El comportamiento del plástico durante el proceso recibe influencia directa de la temperatura en la superficie del molde. La relación entre rigidez de desmoldeo y temperatura del molde es afectada por fluctuaciones en la temperatura del medio enfriador que al no ser alcanzada la



temperatura óptima el producto puede llegar a ser deformado por los mismos dispositivos expulsores.

Los efectos en la pieza inyectada al incrementar la temperatura del molde son:

- Mayor contracción en el molde
- Menor contracción después del moldeo
- Menor distorsión o alabeo en la pieza por diferentes grados de encogimiento
- Compensación interna de tensiones
- Mejor fluidez de la masa
- Mayor brillo superficial en la pieza
- Menor tendencia a formar líneas de unión
- Mayor cristalinidad
- Ciclos más largos
- El punto de inyección no enfría rápido
- Mejor transmisión de presión en la cavidad

En moldes con baja temperatura la pieza moldeada se enfría más rápido y se puede tener una mayor orientación de la estructura, elevadas tensiones, del mismo modo las propiedades mecánicas de las piezas pueden verse afectadas.

En esta parte importante se realizan los cálculos que permitirá conocer los requerimientos mínimos que necesitamos en el equipo periférico de enfriamiento por agua helada *Chiller* para evaluar si es posible llevar a cabo nuestro proceso de forma completa.

Se cuenta con un sistema de refrigeración por agua helada *Chiller* donde las condiciones de operación fueron proporcionadas por el mismo fabricante que generalmente es quien recomienda la capacidad, modelo y condiciones de operación óptimas para un proceso.



En esta parte se realizan los cálculos para calculo de refrigeración de nuestro producto, verificando que el sistema de enfriamiento cuenta con la capacidad.

La temperatura a la que enfriaremos el producto, es la temperatura de flexión del Polietileno de alta densidad (50 °C), se considera que es el punto ideal para extraer el producto con flexibilidad para ser botado sin sufrir deformación, además nos permitirá acortar el tiempo de ciclo de moldeo, porque es la temperatura mínima que se necesita para alcanzar la solidificación del material.

Calculo de calor a eliminar en la pieza.

Datos del material:

Material: Polietileno de alta densidad (Padmex-65050).

Masa inyectada: $m = 230$ g.

Temperatura de fusión: $T_{fusión} = 135$ °C

Temperatura de inyección: $T_{inicial} = 240$ °C

Temperatura de deflexión: $T_{final} = 50$ °C

Calor específico: $C_p = 0.55$ kcal/kg.

Calor latente de fusión: $\lambda_f = 57.72$ kcal/kg.

La (Figura 4.27) es una representación gráfica que representa el comportamiento de un termoplástico en función de la temperatura, se observa un enfriamiento gradual y al llegar al punto de fusión ocurre una transformación repentina de estado líquido a sólido y después continúa gradualmente hasta lograr el enfriamiento.

La energía calorífica que contiene el producto por unidad de masa, se expresa por la siguiente ecuación:

$$\Delta H = C_p \Delta T_{sólido} + \lambda_f + C_p \Delta T_{líquido} \quad \text{Ecuación 4.4}$$



Donde: $\Delta H = [C_p (T_{\text{flexión}} - T_{\text{fusión}})] + \lambda_f + [C_p (T_{\text{fusión}} - T_{\text{inyección}})]$

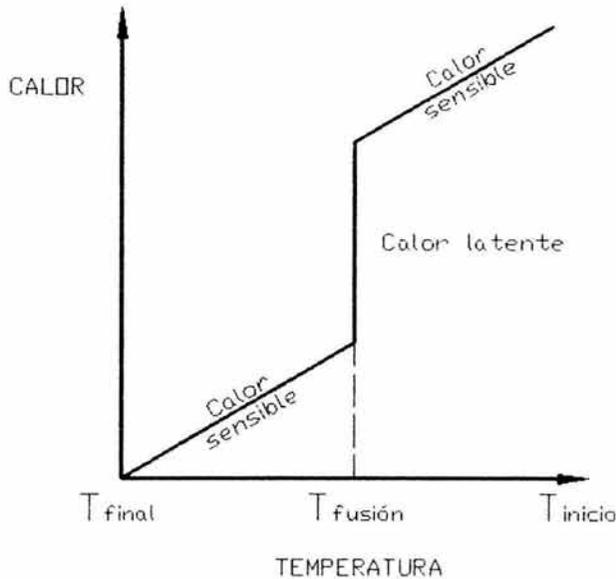


Figura 4.27 Perfil que presenta un cambio de fase en un termoplástico.

Substituyendo valores en (Ecuación 4.4):

$$\Delta H = [(0.55 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C})(50-135)^\circ\text{C}] + 57.72 \text{ kcal/kg.} + [(0.55 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C})(135-240)^\circ\text{C}]$$

$$\Delta H = 162.22 \text{ kcal/kg.}$$

Así que el calor contenido (q) en una masa (m) de producto inyectado que debe eliminarse, se obtiene de la siguiente expresión:

$$q = m \Delta H \quad \text{Ecuación 4.5}$$

Substituyendo valores en (Ecuación 4.5):

$$q = (0.230 \text{ kg}) (162.22 \text{ kcal/kg})$$



$$q = 37.31 \text{ kcal}$$

Donde (q) es la energía calorífica que contiene el producto y se tiene que eliminar con flujo refrigerante para enfriarlo de 240 °C, que es la temperatura de inyección, a 50 °C que es la temperatura de flexión deseada.

Calculo de refrigeración requerida.

Para conocer la cantidad de refrigeración necesaria, se debe conocer las características del medio refrigerante, porque de ser necesario, deberá adquirirse un equipo extra de refrigeración donde debe solicitarse la siguiente información al proveedor.

- Líquido refrigerante: ecológicamente y por economía siempre es agua.
- Caudal volumétrico
- Capacidad de absorción de calor, generalmente en toneladas de refrigeración
- Gradiente de temperatura límite entre salida y entrada

A continuación se da las características del suministro de agua de enfriamiento con el que se cuenta en la planta para las máquinas que fueron seleccionadas para el presente proyecto.

Datos del refrigerante:

Líquido refrigerante: Agua

Caudal volumétrico: $w = 16,985 \text{ lt/hr.}$

Capacidad de absorción de calor: 50 TR

Temperatura de enfriamiento: 10 °C

Gradiente manejado: $\Delta T = 3 \text{ °C}$

Capacidad Calorífica: $C_{p_{10^\circ}} = 1.05 \text{ kcal/kg.}^\circ\text{C}$



El flujo de agua se divide por los conductos de refrigeración en las dos partes del molde (macho y hembra), debido a su complejidad (Figuras 4.29 y 4.30) se evitará realizar cálculos de los diferentes perfiles de transferencia de calor que se presentan en las diferentes zonas del molde y donde requiere del uso de coeficientes de transmisión térmica. Por aspectos prácticos, se obtendrá con un balance de energía simple:

$$\text{Calor perdido en el producto} = \text{Calor ganado por el medio refrigerante}$$

Esta opción se realiza solo para estimación de la cantidad de enfriamiento necesaria aproximada a la realidad, ya que debido a la experiencia se puede comprobar en los ajustes finales que siempre se requiere de ajustes finales en las variables de operación que afectan todo el proceso por depender una de otra.

Para obtener el flujo de absorción calorífica en un tiempo dado, se utiliza un método de iteración.

$$\text{Si:} \quad Q = q / t \quad \text{Ecuación 4.6}$$

Donde:

Q: flujo de absorción calorífica [kcal/hr]

q: energía calorífica del producto [kcal]

t: tiempo de enfriamiento [seg.]

Se supone un tiempo de enfriamiento empírico, basado en algún otro producto similar y sabiendo que debe ser en segundos.

Suponemos un tiempo de enfriamiento: $t = 10 \text{ seg.}$

Substituyendo en la (Ecuación 4.6) :

$$Q = 31.37 \text{ kcal} / [10 \text{ seg.} \times (1 \text{ hr.} / 3600 \text{ seg.})]$$



$$Q = 13325 \text{ kcal/hr} = 52,876.98 \text{ Btu/hr} = 4.4 \text{ TR}$$

Esto significa que a 10 seg. se enfría el producto de 240 °C a 50 °C para solidificarlo en su temperatura de flexión deseada.

Para asegurarse que a estas condiciones, el sistema refrigerante funcionará, se toma de referencia el gradiente de temperaturas que maneja un rango de $\Delta T = 3 \text{ °C}$ y que también es una limitante.

Para esto se calcula la temperatura del agua de enfriamiento a la salida del molde.

Si: $Q = w C_p \Delta T$ Ecuación 4.7

Donde: $\Delta T = (T_{\text{salida}} - T_{\text{entrada}})$

Despejando T_2 : $T_2 = [Q/(W \times C_p)] + T_1$ Ecuación 4.8

Sustituyendo:

$$T_2 = [13,325 \text{ kcal/hr.} / ((16,985.20 \text{ kg/hr.})(1.05 \text{ Kcal/kg.°C}))] + 10 \text{ °C}$$

$$T_2 = 10.75 \text{ °C}$$

Entonces la diferencia de temperaturas del agua a la entrada y la salida del molde se calcula por la siguiente expresión:

$$\Delta T = (10.75 - 10) \text{ °C} = 0.75 \text{ °C}$$

Donde se confirma que es posible contar con estas condiciones del refrigerante durante todo el proceso a este tiempo de enfriamiento. Con esta misma secuencia se crea una tabla de iteración (Tabla 4.4) y la gráfica de operación, a diferentes tiempos de enfriamiento que posteriormente nos indicará el punto óptimo.



4.4 Tabla de iteración de tiempos de enfriamiento.

<i>Tiempo</i>	<i>Flujo de Calor</i>	T_2	<i>TR</i>	<i>Incremento T°C</i>
2	67158.00	13.77	22.21	3.77
4	33579.00	11.88	11.10	1.88
6	22386.00	11.26	7.40	1.26
8	16789.50	10.94	5.55	0.94
10	13431.60	10.75	4.44	0.75
12	11193.00	10.63	3.70	0.63
14	9594.00	10.54	3.17	0.54
16	8394.75	10.47	2.78	0.47
18	7462.00	10.42	2.47	0.42
20	6715.80	10.38	2.22	0.38
22	6105.27	10.34	2.02	0.34
24	5596.50	10.31	1.85	0.31
26	5166.00	10.29	1.71	0.29
28	4797.00	10.27	1.59	0.27
30	4477.20	10.25	1.48	0.25
32	4197.38	10.24	1.39	0.24
34	3950.47	10.22	1.31	0.22
36	3731.00	10.21	1.23	0.21
38	3534.63	10.20	1.17	0.20
40	3357.90	10.19	1.11	0.19

En un estudio de mayor alcance es necesario considerar que existen variaciones de temperatura del refrigerante durante su trayecto en la tubería antes de llegar al molde, inclusive pérdidas por fricción que afecten la velocidad del flujo.

De momento con el cálculo de las toneladas de refrigeración que necesita el molde para solidificar el material fundido, es posible saber a través del gradiente de temperatura, que el



equipo periférico ofrece el suministro necesario para enfriar nuestro producto en un ciclo aceptable, ofreciendo al producto las características esperadas teóricamente.

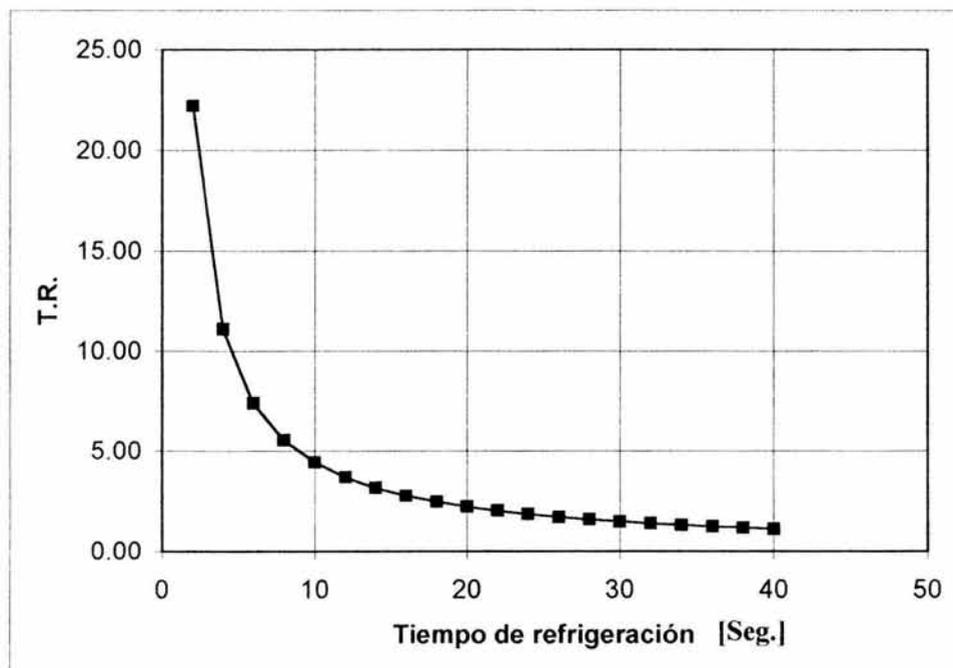


Figura 4.28 Curva de operación donde muestra la cantidad de toneladas de refrigeración (TR) que se requieren para enfriar la pieza en un tiempo de refrigeración (seg.).

En la gráfica de la (Figura 4.28) se observa una línea de operación tipo logarítmica, donde puede seleccionarse el tiempo de enfriamiento que se requiere con respecto a la cantidad de refrigeración que se le suministre, considerando que el punto óptimo es aquél donde se cruzan las líneas rectas que se trazan en el mayor número de puntos sobre el eje "x" y sobre el eje "y". Este punto óptimo es el que se utilizó en un principio para ejemplo de la secuencia de iteración.

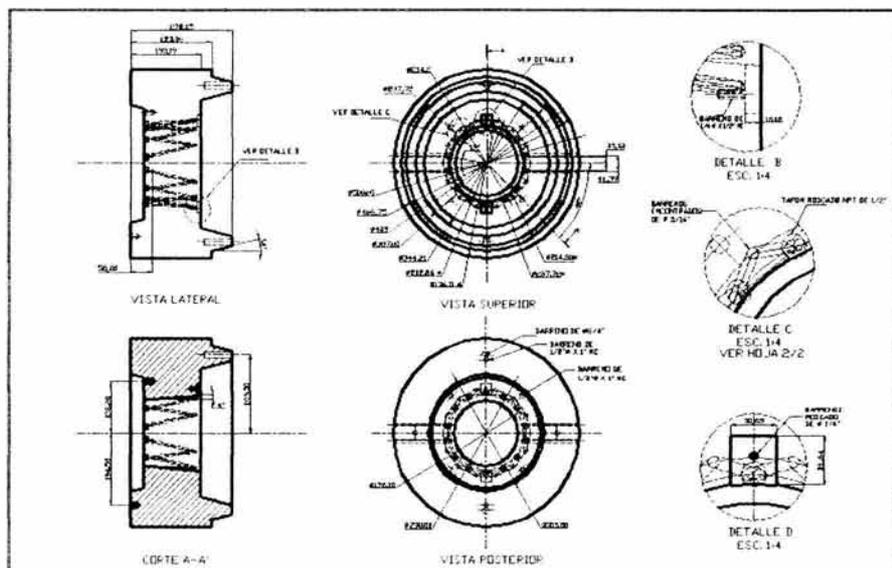


Figura 4.30 Distribución de canales de refrigeración que enfría la parte externa de la pieza.

Criterio XVIII: Comportamiento Reológico del Material.

La problemática empieza en el émbolo de inyección, que actúa sobre el material termoplástico con una presión específica desde unas fracciones hasta varias toneladas por centímetro cuadrado. Este material se funde con una viscosidad determinada que varía en el transcurso del proceso de inyección en forma análoga a la diferencia de temperatura entre el cilindro y la cavidad del molde. Esta diferencia de viscosidad es influenciada también por la velocidad de inyección.

Debido a la variación de viscosidad y a la creciente reducción de la sección de los caminos de flujo, con la resistencia así originada, la presión de inyección desciende dentro de la cavidad del molde.



Si partimos de la concepción de que el llenado del molde se efectúa perpendicularmente a la dirección de flujo, el proceso puede compararse a la corriente de una masa viscosa, con determinada viscosidad estructural, por el espacio libre entre dos paredes. La distancia entre ambas paredes corresponde aproximadamente al espesor de la pieza a fabricar. El curso de la corriente no es en absoluto uniforme durante el llenado del espacio, ya que los factores que pueden influir en ella, velocidad y presión de inyección, temperatura de plastificación, temperaturas en las zonas de las vías de flujo del material, etc., están asimismo sujetos a variables.

Como se representa esquemáticamente en la (Fig. 4.31) en embolo de inyección (5) comprime el material termoplástico, bajo la presión de inyección externa específica (A_1), a través de la boquilla (3) y el canal de llenado (2), en la cavidad del molde (7). Este proceso tiene por resultado una circulación a través de una cámara (B, C donde B = espesor de la pieza, C = longitud del camino de flujo). La velocidad de corriente es máxima en el centro de la sección de los caminos de flujo. El valor de esta velocidad (D) se determina mediante una resistencia (E), producida por una variación de la viscosidad del material debida a la disipación térmica en la superficie de la pared.

Las fuerzas que se ilustran en este ejemplo es de una determinada posición de material (1). Las capas (D_2) de la corriente de material, que está en contacto con las superficies de la pared refrigerada del molde, se mueven mas lentamente que las capas (D_1) situadas en el eje dentro de la sección de flujo. La diferencia de velocidad, que se manifiesta por un retraso de las partes marginales, exige una elevada presión en la dirección de flujo para vencer las resistencias (F + E donde E es la resistencia al flujo por enfriamiento y F la resistencia al flujo por aire atrapado). la presión específica (A_1) en el embolo de inyección tiene que ser, por lo tanto, mayor que (A + F + E), ya que de lo contrario no puede producirse el llenado del molde. La presión de inyección específica interna (ϵ) es por tanto considerablemente inferior al valor (A_1).



Tabla 4.5 Ecuaciones empleadas para calcular otras variables.

Concepto	Capacidad	Fórmula	Cavidades
(1)	Capacidad de disparo	$\zeta = \alpha \cdot \beta$	$\alpha^1 = \zeta / \beta$
(2)	Capacidad de plastificación	$\eta = \alpha \cdot \beta \cdot \delta$	$\alpha^2 = \eta / (\beta \cdot \delta)$
(3)	Fuerza de cierre	$\vartheta = \alpha \cdot \chi \cdot \varepsilon$	$\alpha^3 = \vartheta / (\chi \cdot \varepsilon)$

Donde:

α : Número de cavidades del molde

β : Peso de carga de cavidad [gr.]

χ : Extensión superficial de cada cavidad [cm²]

δ : Cantidad de inyección por hora [gr.]

ε : Presión de inyección específica en las cavidades, en [kg/cm²]

ζ : Capacidad de disparo de la máquina [gr.]

η : Capacidad de plastificación de la máquina (indicación de peso referencial a una hora de producción) en [gr.]

ϑ := Fuerza de cierre del molde [ton.]

TEMPERATURA DE INYECCIÓN

La temperatura de la resistencia en la zona de alimentación del cilindro de plastificación es de gran importancia para favorecer una óptima introducción y avance del material. La temperatura que finalmente debe inyectarse es la máxima de fusión, que permita menor dificultad para inyectarse, pero considerando que existe calentamiento por fricción con el giro del husillo, las paredes del cañón y de los canales de alimentación que elevan el calentamiento del material hasta exponerlo a degradación térmica, además requeriría de mayor refrigeración. El perfil de



temperaturas recomendado es el siguiente, considerando que no existe precalentamiento por secado de material (Figura 4.32).

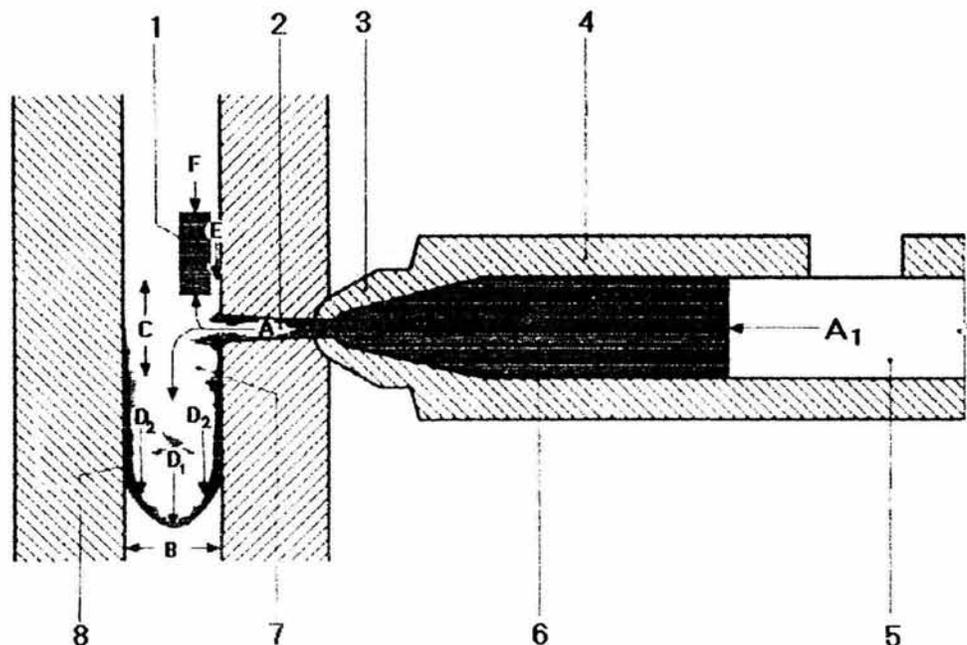


Figura 4.31 Perfil de flujo plástico inyectado en el molde.

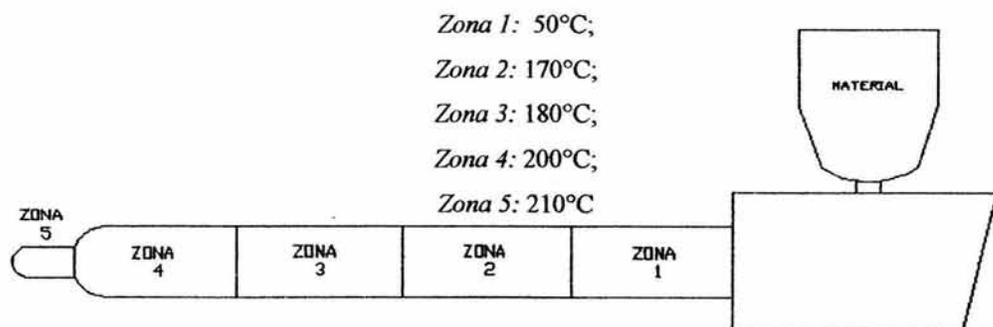


Figura 4.32 Zonas de calentamiento.



VELOCIDAD DE INYECCIÓN

La velocidad de inyección es programada en la máquina y se refiere al desplazamiento del husillo, que a su vez, introduce plástico en el molde, puede ser expresada en cm/seg. considerando que al ubicar un molde en máquina con husillos de diámetro distintos, el ajuste de la velocidad de inyección debe ser diferente.

Dependiendo de la longitud de flujo, enfriamiento del molde, cambios de dirección y espesor de la pieza, se debe programar una velocidad de llenado variable para tener como resultado un flujo uniforme del plástico en la cavidad.

La velocidad de desplazamiento adecuada para la pieza inyectada, influye en la prevención de aspectos relativos al producto obtenido:

Velocidad alta

- Para llenar todas las zonas con masa plastificada de la misma viscosidad y mantener así una buena orientación de las moléculas, reduciendo tensiones residuales que provoquen distorsiones en la pieza
- Para conseguir una cristalización uniforme cuando se trabaja con materiales parcialmente cristalinos.
- Para avance del flujo sin líneas de unión, eliminando el efecto de corte sobre el material
- Para conseguir un tiempo corto de inyección

Velocidad baja

- Para conseguir una buena superficie en la pieza.
- Para evitar cizallamientos excesivos en la masa plastificada al fluir por las esquinas o por los cambios de espesor.
- Para evitar arrastrar partículas ya enfriadas.



- Para no sobrecalentar los bebederos.
- Para llenar suavemente piezas de gran espesor sin formar chisguete

Si un producto presenta paredes muy delgadas, es recomendable utilizar una velocidad de inyección mayor para evitar su rápido enfriamiento y que el material no llegue a llenar la parte más lejana y delgada de la cavidad del molde (Figura 4.33).

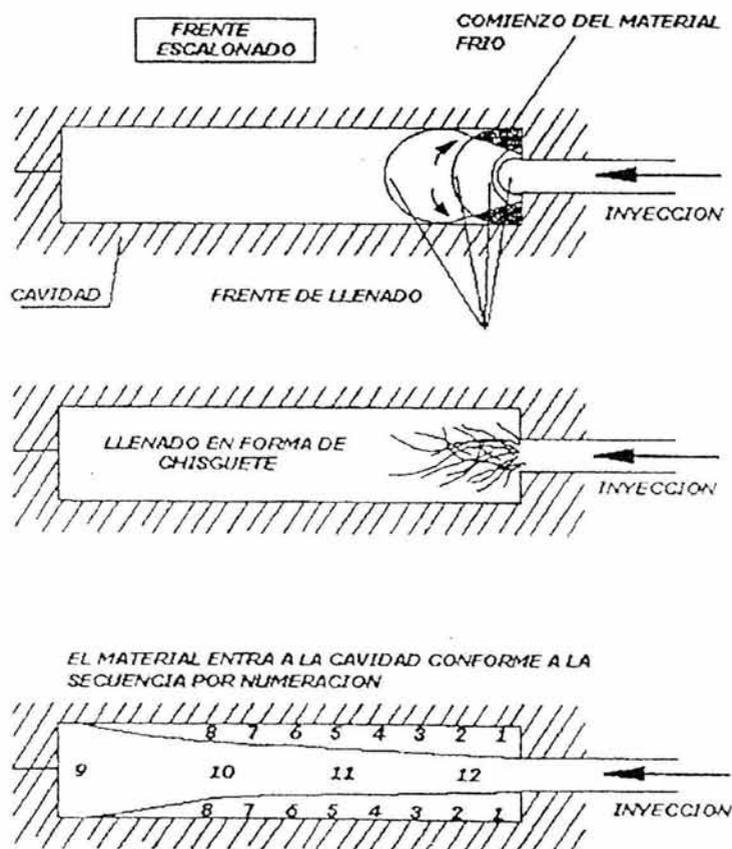


Figura 4.33 Influencia de la velocidad de inyección



La velocidad de inyección en las máquinas se encuentra también regulada por los fabricantes con respecto a la capacidad cada máquina, generalmente esta se ajusta en el panel de control en porcentaje.

PRESIÓN DE INYECCIÓN

Es la presión requerida para vencer la resistencia al flujo desde el cilindro de plastificación hasta el molde, generalmente se expresa en lb/in^2 ó kg/cm^2 .

La presión de inyección es dependiente de la velocidad de inyección, por que ésta involucra mayor control en llenado de cada rincón de la cavidad del molde, como se mencionó anteriormente. La pieza debe quedar completamente comprimida, la presión de inyección deberá ser tan alta como sea necesario y tan baja como sea posible.

En la mayoría de los casos no se limita la presión de inyección y se hace el cambio a presión de sostenimiento cuando la cavidad del molde ha sido llenada entre 80 % y 90 %, de esta manera, se va formando la presión de inyección, según la resistencia que presente el flujo. Una presión remanente alta y larga no sirve de nada cuando el bebedero ha solidificado. Por esta razón no se calcula este parámetro, aun que la (Ecuación 4.9) nos muestra los factores de los que depende.

Durante la etapa de llenado, la magnitud en presión de inyección es el resultado de los siguientes aspectos:

- Viscosidad del material
- Temperatura del molde
- Diseño del molde
- Perfil de velocidad programada por el operador



$$P = (8QLV) / \pi r^2$$

Ecuación 4.9

Donde:

P = Presión de inyección [kg/cm²]

Q = Velocidad de flujo [kg/seg.]

L = Longitud del flujo [m]

V = Viscosidad a un esfuerzo Cortante [N seg/m²]

R = Radio de la colada [m]

El criterio en general es que a menor tiempo de llenado, mayor flujo volumétrico de plástico a la cavidad del molde y requerimiento de presión. Una elevada velocidad de inyección genera calentamiento por fricción del plástico disminuyendo la viscosidad del material y presión de inyección.

PRESIÓN DE SOSTENIMIENTO

También denominada recalque o de empaque, generalmente es menor a la de inyección y tiene como función mantener el material dentro de molde hasta su solidificación, ya que al finalizar el llenado, el plástico alojado en el centro de la pared del producto, posee cierta temperatura con la fluidez necesaria para tratar de salir de las cavidades y regresar al barril de inyección.

El criterio de una suficiente presión de sostenimiento se determina de manera practica y experimental ajustándola en función de los siguientes atributos del producto:

- Contracción
- Peso
- Grado de cristalinidad
- Tensiones internas y distorsión en piezas
- Aparición de huecos o rechupes
- Rebabas



TIEMPO DE SOSTENIMIENTO

A una presión dada de sostenimiento corresponde un tiempo adecuado para la solidificación del punto de inyección.

No existe criterio para determinar el tipo de sostenimiento, este se determina aumentando paulatinamente su valor hasta verificar que la pieza no muestra variaciones en el peso

PUNTO DE CAMBIO DE INYECCIÓN A SOSTENIMIENTO

La fase de llenado debe concluir cuando el plástico a llegado a los puntos más lejanos de la cavidad, momento en el que se registra el valor máximo de presión. A partir de ese instante, la presión debe ser solo la suficiente para evitar el retorno de la masa plastificada y compensar las contracciones.

CONTRAPRESIÓN

Es la presión que se opone al libre retroceso del husillo, por el avance del material durante la fase de plastificación, carga o alimentación. El material acumulado en la punta del husillo genera una presión que obliga a este a retroceder, mientras la contrapresión se opone a este movimiento.

VELOCIDAD DE GIRO DEL HUSILLO

Son las revoluciones por minuto con el que el husillo gira sobre su eje en la etapa de alimentación o carga. Provoca la plastificación del material, transportándolo a la cámara delantera para posterior dosificación, al molde en la etapa de inyección. La velocidad no es la que desarrolla de manera angular sino la tangencial en milímetros por segundo mm./seg. Esto significa que en diámetros de husillo mayores, deben ser programadas menores velocidades angulares respecto a husillos menores, produciendo el mismo efecto de corte sobre el plástico.



Una velocidad baja del husillo produce un material plastificado más homogéneo, menor fricción del material y mínima variación de temperatura en masa durante la carrera de dosificación pero también es riesgo de degradación térmica. Las velocidades se encuentran expresada por las siguientes expresiones:

$$\text{Velocidad superficial (mm./seg.)} = \pi \times \text{diámetro del husillo (mm.)} \times (\text{r.p.m./60}) \quad \text{Ecuación 4.10}$$

$$\text{r.p.m. máx.} = 60 \times \text{vel. máx. superficial permitida} / \pi \times \text{diámetro del husillo} \quad \text{Ecuación 4.11}$$

Para cada material se recomienda un ámbito de temperatura en el cilindro. Si el peso de material a inyectar es inferior al máximo de la máquina, habrá que graduar la velocidad de giro del husillo al límite mas bajo para que no sufra degradación térmica. Pero si el tiempo de permanencia es corto y el caudal de plastificación es alto, convendrá graduar la velocidad de giro de husillo al límite mas alto.

Criterio XIX: Ventilación de Aire.

Las ranuras de venteo que presenta un molde de inyección son vías de escape del aire atrapado en las cavidades y gases generado por el calentamiento del material, ya que el aire contenido enfría el frente plástico y actúa como una fuerza contraria al flujo provocando una caída de presión prematura. Como consecuencia se puede fabricar piezas incompletas por dificultad al llenado de la cavidad, líneas de soldadura débiles, esfuerzos residuales internos y puntos quemados; estos últimos resultan de una explosión semejante a la que se lleva a cabo en los pistones de un motor de combustión interna llamado *Efecto diesel*.

Generalmente el sistema de ventilación se localiza sobre el plano de partición de molde, en las últimas zonas de llenado, y en las (trampas o pozos fríos), ver la (Tabla 4.6) para diferentes materiales plásticos.



Tabla 4.6 Dimensiones comunes en ranuras de venteo.

MATERIAL	PROFUNDIDAD (plg)	LARGO (plg)
ABS, SAN	0.002 – 0.003	0.030 – 0.050
POM	.0005 - .0015	0.040 – 0.050
PMMA	.0015 – 0.003	0.040 – 0.050
PA	.0005 - .0001	0.020 – 0.040
PC	0.001 – 0.003	0.030 – 0.050
PET, PBT	.0005 - .0015	0.030 – 0.050
PE	0.001 – 0.002	0.020 – 0.040
PP	0.001 – 0.002	0.020 – 0.040
PS	0.001 – 0.003	0.030 – 0.050
PVC – R	0.001 – 0.003	0.040 – 0.050
PVC – F	.0005 – 0.002	0.030 – 0.050

4.3.4 Sistemas de expulsión

En la mayoría de los moldes de inyección la pieza contrae sobre el corazón del lado móvil, por lo que el sistema de expulsión casi siempre opera en el lado móvil del molde y consiste en una serie de dispositivos localizados en puntos clave detrás de la pieza y sistema de distribución, accionado de manera mecánica, hidráulica o mecánica. La selección del sistema varía en función del material utilizado, forma y complejidad de la pieza.

Criterio XX: Forma de Botado

- Pernos expulsores: son los dispositivos utilizados con mayor frecuencia, se encuentran en la placa de extracción y es accionada al abrir el molde con movimiento opuesto a la apertura del molde, los pernos de sección circular muy delgados pueden ser sustituidos por pernos planos rectangulares con mayor área de contacto, ya que el área de contacto con el producto y su



acción deja una marca visible en la pieza. Los pernos recuperadores se encargan de asegurar el retorno de los expulsores a la posición de moldeo.

- Placas botadoras: distribuyen la fuerza de eyección sobre un área mayor y la marca resultante es menos notoria. Para evitar el contacto y daño entre placa-corazón, debe existir una tolerancia aproximada de 0.25 mm. y un ángulo de ajuste de 3 a 6 grados.
- Corrientes de aire: se emplea para piezas profundas con ángulo de desmoldeo y de pared delgada, ya que el aire comprimido se introduce entre corazón y pieza, ejerciendo la fuerza suficiente para extraer la pieza. Debe controlarse la presión del aire para que no ocurra una expulsión violenta que proyecte la pieza contra la cavidad del molde. Las ventajas encontradas son, menos peso en el molde, menos ruido y poco mantenimiento.
- Sistemas roscados: productos con rosca interna pueden ser liberados a través del giro de los corazones, que se encuentran conectados mediante un juego de engranes a un sistema motriz independiente cuando la rosca interna es muy larga y la apertura del molde es insuficiente para su liberación como se haría con un mecanismo de cremallera ajustado a la carrera del molde.
- Corazones colapsibles: se emplean cuando la pieza presenta proyecciones internas muy grandes a lo largo de todo el perímetro que impiden su desmoldeo.

Debe prevenirse la perforación, deformación y daño mecánico o estético. Usualmente los productos deben ser impulsados sobre puntos rígidos, generalmente los productos de gran tamaño como automotrices, se retiran de forma manual o con robots.

Para el adecuado diseño del sistema expulsor (número ubicación y tipo de dispositivo), se debe calcular la fuerza requerida para extracción del producto que depende de las siguientes características:



- Angulo de desmoldeo
- Área de contacto pieza-molde
- Pulido de la cavidad
- Grado de empaquetamiento en la pieza
- Temperatura del molde

Cuando abre el molde, debe existir espacio suficiente entre corazón y cavidad que permita el desalojo del producto por caída ya que el contacto con algún elemento del molde provocará falla del producto y obstrucción del cierre en el siguiente ciclo, con riesgo de dañar la superficie. También es importante la posición del producto sobre todo en multicavidades que permitan una caída más rápida como lo muestra el dibujo.

Otro aspecto importante que influye en el tiempo de ciclo es la distribución de las cavidades y el tiempo en que tardan las piezas en caer que se determina por la siguiente fórmula:

$$t = \sqrt{2d/a} \quad \text{Ecuación 4.12}$$

Donde:

t : tiempo [seg.]

d : distancia [m.]

a : aceleración de la gravedad 9.80 m/seg².

Esta formula asume que la pieza posee una velocidad nula al momento de su expulsión, logrando reducir en forma importante el tiempo requerido por una corriente de aire que impulse al producto verticalmente hacia abajo.

Entonces el tiempo de caída de la cubeta se encuentra representado por:

$$t = \sqrt{[(2 \times 1.5 \text{ m}) / 9.80 \text{ m/seg}^2]} = 0.5533 \text{ seg.}$$



Por lo anterior, el inciso (c) nos define claramente que es la mejor opción para el botado de la pieza y además se considera conveniente por el aspecto económico.

4.3.5 Sistema de cierre

La fuerza de cierre es la máxima fuerza disponible en la máquina, para mantener el molde cerrado durante la inyección. La fuerza de cierre es diferente en cada material e influye en la relación de flujo entre el espesor de pared, si el espesor de pared es variable, tomar en cuenta el valor mínimo. Es conveniente considerar que la fuerza interna en el molde es proporcional al área proyectada por cada cavidad.

- Área proyectada (A.P.): Es la superficie de la sombra proyectada sobre un plano. Esta se obtiene al dirigir sobre el producto una fuente luminosa en el sentido que se inyectara la pieza (Figura 4.34)

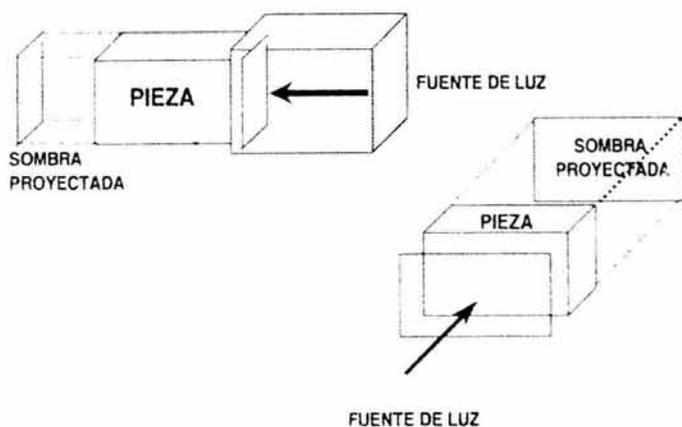


Figura 4.34 Proyección de sombra para una pieza.

Diámetro de mayor sombra para nuestra pieza: 20.943 cm.

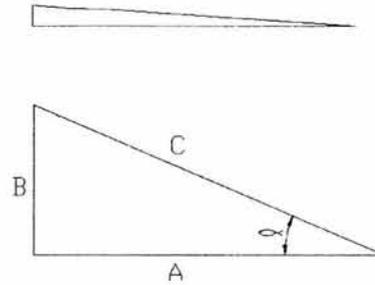
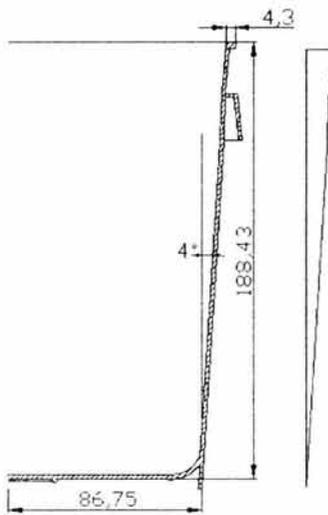


$$A.P. = (3.1416 \times D^2)/4$$

Ecuación 4.13

$$A.P. = [3.1416 (20.943 \text{ cm})^2]/4 = 344.48 \text{ cm}^2$$

- Longitud de flujo (LF_M): es el punto más lejano que debe recorrer el flujo de material fundido desde el punto de entrada de inyección (Figura 4.35).



$$C = A / \cos \alpha$$

$$C = 188.43 / \cos 4^\circ = 188.89 \text{ mm.}$$

$$LF_M = 188.89 + 86.75 + 4.30 = 279.94 \text{ mm.}$$

Figura 4.35 Perfil del camino de longitud mas larga que recorre el plástico.

- LF_M/EP_m : es la relación de Longitud de Flujo entre Espesor de Pared

Sección más delgada del producto: 1.40 mm.

$$LF_M/EP_m = (279.94 \text{ mm.} / 1.40 \text{ mm.}) = 199.96$$



- Presión dentro de la cavidad (PC): este valor se obtiene en la grafica (Anexo VII.) con la interpolación entre LF_M/EP_m y el EP_m dando una presión dentro de la cavidad

$$PC = 330 \text{ bar}$$

- Constante de Viscosidad (FV): para el polietileno de alta densidad éste valor se conoce de tablas.

$$FV = 1.30$$

- Fuerza de Cierre = $PC \times 1.02 \text{ kg/cm}^2 \times A.P \times FV$ Ecuación 4.14

$$F.C. = (330\text{bar.}) \times (1.02 \text{ kg/cm}^2) \times (344.48\text{cm}^2) \times (1.30)$$

$$F.C. = 150737.56 \text{ kg. ó } 150.74 \text{ toneladas de cierre en máquina.}$$

Los cálculos son teóricos y por el amplio rango de variaciones que existen, la fuerza de cierre que requiere el molde debe considerarse una tolerancia mayor de aproximadamente 20 %, por lo tanto:

$$\text{Toneladas de cierre total requeridas} = 150.74 (1.20) = 180.88 \text{ toneladas}$$

La máquina comercial mas cerca de esta capacidad con la que se cuenta en la planta es de 220 Toneladas de Cierre, es nueva y cuenta con todos los servicios por lo tanto garantiza el cierre necesario para nuestro molde.

Criterio XXI: Pieza Móviles

Para botar la pieza es necesario tomar en cuenta el desplazamiento de partes móviles. La formación de los arillos de refuerzo que requiere la boca del envase y la formación de las *orejas* para el asa metálica, requiere necesariamente utilizar elementos móviles (Figura 4.36) Las estrechas tolerancias en la zona de movimiento de elementos, que en general no pueden engrasarse y la frecuencia de movimiento, producen un mayor desgaste que reduce la duración del molde.

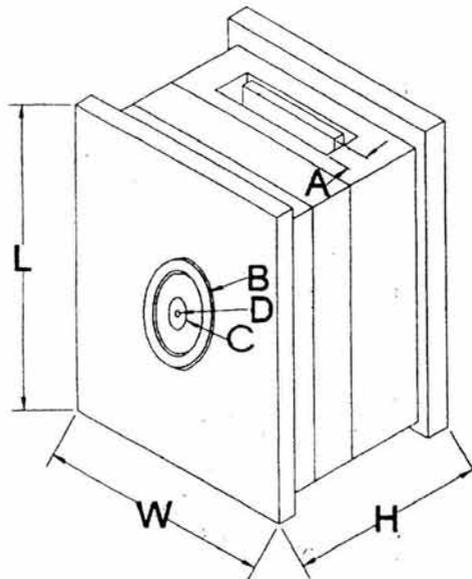


Figura 4.37 Molde cerrado

Esto es con la finalidad de asegurar libre montaje del molde sobre la unidad de prensa de la máquina, librando las barras paralelas por donde se desplazan longitudinalmente las platinas. Es muy importante destacar que uno de los grandes peligros que se presentan, es el cambio de un molde, en general son voluminosos, pesados (500 a 2500 kg), difíciles de cambiar y ajustar, incluso se lleva horas.

También es importante conocer la longitud máxima de apertura del molde, ya montado en la unidad de prensa para botado de la pieza, porque también se encuentra limitado por algunas máquinas.



Como se observa en al (Figura 4.38), el molde terminado tiene tres opciones de montaje:

- Anclaje con calzas
- Anclaje con Tornillos
- Anclaje con grapas

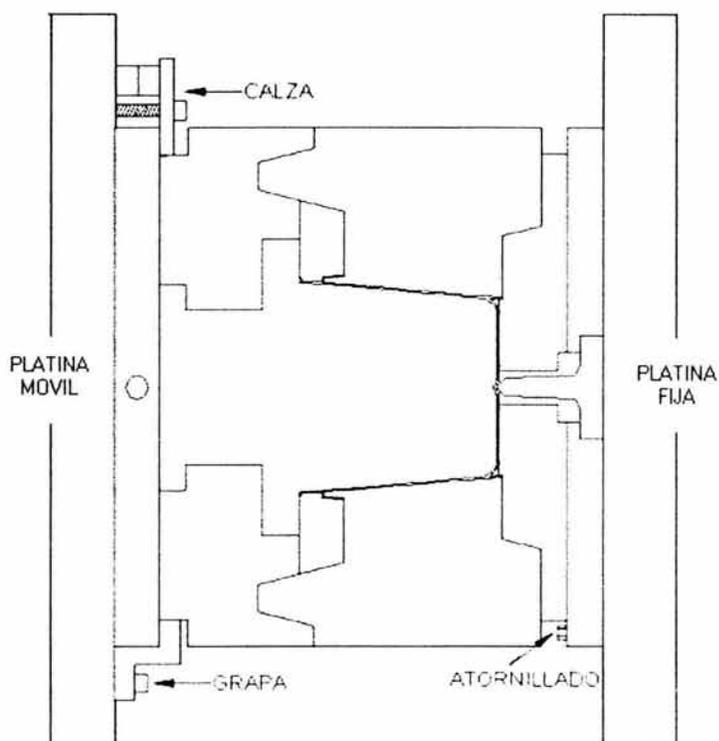


Figura 4.38 Perfil del molde con diferente maneras de anclaje

RESULTADOS



RESULTADOS

Habiendo mandado a maquinar y mecanizar el molde, se encuentra que requiere una dimensión de 55 x 55 mm. para ser montado y con la capacidad de máquina de 220 toneladas calculada en (Inciso 4.6) se encuentra que las máquinas mas apropiadas para trabajar el molde son:

Tabla 4.6 Maquinas mas adecuadas para el molde diseñado.

<i>Máquinas de Inyección</i>	<i>Capacidad en toneladas de cierre</i>	<i>Dimensiones para libre montaje del molde</i>
Sandretto	220	58 x 58 cm.
Cincinatti	250	58 x 58 cm.

Se efectúan las primeras pruebas obteniendo muestras que son analizadas por el departamento de control de calidad, éste reporta al departamento para que realice los ajustes necesarios para adquirir la pieza deseada. Nunca saldrán en el primer intento las piezas con las características satisfactorias, por lo que es necesario estar presente en todo momento para efectuar las rectificaciones o rediseñar nuevamente algunas partes del molde.

A continuación se muestra una serie de problemas que ocurrieron durante las pruebas y otras de manera prevista, que sirven como referencia para resolver problemas de ajuste que comúnmente ocurren durante un proceso de inyección de plástico. Cabe aclarar que estos problemas se presentan con el polietileno de alta densidad (*Padmex-65050*) en otros plásticos puede existir variaciones o problemas más específicos

El molde no se llena por completo:

La presión de inyección es muy baja.

Dosificación insuficiente.

Temperatura muy baja del sistema de plastificación.

Molde muy frío.

Tiempo de compresión muy corto.



Orificio de la boquilla muy pequeño.

Las piezas presentan rechupes:

Presión de inyección muy baja.

Tiempo de compresión muy corto.

Sección insuficiente del sistema de llenado.

Temperatura de elaboración muy alta.

Molde muy caliente.

Las piezas tienen burbujas:

Temperatura de elaboración muy alta.

Molde muy frío.

Tiempo de compresión muy corto.

Presión de inyección muy baja.

Sección insuficiente de los canales de llenado.

Las piezas son escamosas y se exfolian:

Temperatura muy alta en el sistema de plastificación.

Ciclo de trabajo muy largo.

Presión de inyección muy baja.

Molde muy frío.

El aire de las cavidades no escapa con suficiente rapidez.

Material impuro con otra masa de inyección.

Material húmedo.

La superficie de los expulsores tiene aceite o grasa.

Poca resistencia en las zonas de unión de flujo:

Temperatura de elaboración muy baja.

Punto de corte en lugar desfavorable.

Presión de inyección muy baja.



Molde muy frío.

El aire del molde no puede escapar.

Las líneas de flujo quedan muy marcadas:

Temperatura de elaboración insuficiente.

Molde muy frío.

Presión de inyección muy baja.

Material húmedo.

Excesivo desmoldante.

Las piezas son frágiles y se rompen:

Temperatura de elaboración insuficiente.

Material impurificado.

Porcentaje de material reciclado muy alto.

El molde no tiene temperatura necesaria.

Excesiva duración de la compresión.

La coloración de las piezas obtenidas con material pigmentado no es uniforme:

Excesiva sección de los canales de corte.

La boquilla mezcladora empleada no es apropiada.

La adhesión del pigmento es insuficiente (colorante muy viejo).

Los colorantes usados no son estables a la temperatura.

De momento no fueron necesarias modificaciones en las piezas del molde, se está realizando otro diseño de su tapa y en el análisis dimensional se rectificará que son compatibles, de no ser así, entonces si se tendrá que realizar modificaciones, dependiendo cual sea menos costoso. El procesamiento exitoso fue el resultado de combinar adecuadamente: temperaturas, presión, tiempos y velocidades. Se muestra a continuación como sugerencia, la hoja maestra de operación, que siempre debe consultarse para nuevos ajustes cuando se utilice el mismo molde, máquina y materiales, esto ahorra mucho trabajo y tiempo.



Hoja maestra de proceso.

MÁQUINA

MOLDE

Marca: Sandreto Cap. 220 TON No. 5

Molde No. 1 Núm. de Cavidades: 1 Tipo de colada: fría

PRODUCTO

Descripción: Cubeta de 1 galón (3.58 Litros) Color: Blanco azuloso
Material: 1. Polietileno de alta densidad (Padmex-65050) 98.5 %
2. Masterbatch color blanco azuloso 1.5 %

Clave: CU-4LT-40P-BA
Peso promedio: 230 gramos
Ciclo: 21.5 segundos.

PARÁMETROS DE OPERACIÓN

No.	VARIABLE DE CONTROL	VALOR PUESTA A PUNTO				UNIDADES
		1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	
1.	Velocidad de inyección	44	-	-		mm/seg.
2.	Velocidad de carga		55			mm/seg.
3.	Velocidad de husillo		0.79			rpm.
4.	Presión de inyección	1,500	-	-		kg/cm ²
5.	Presión de sostenimiento		750			kg/cm ²
6.	Contrapresión		5			kg/cm ²
7.	Tiempo de inyección		1.86			Seg.
8.	Tiempo de enfriamiento		9.50			Seg.
9.	Tiempo de sostenimiento		5			Seg.
10.	Tiempo de apertura		1.7			Seg.
11.	Tiempo de botado		1.5			Seg.
12.	Tiempo de cierre		1.2			Seg.
13.	Tiempo de carga		8			Seg.
14.	Dosificación de material		97			mm.
15.	Fuerza de cierre		99			%
16.	Temp. agua de enfriamiento Chiller p/molde		10			°C
17.	Temperatura del molde		10-60			°C
18.	Temp. agua de enfriamiento torre p/aceite		12			°C
19.	Temperatura de aceite hidráulico		34			°C
20.	Temperatura ambiente		28			°C
21.	Temperatura presecado de material		Ninguno			°C
22.	Temperatura de la boquilla		210			°C
23.	Temperatura del cañón zona 1		190			°C
24.	Temperatura del cañón zona 2		193			°C
25.	Temperatura del cañón zona 3		189			°C
26.	Temperatura del cañón zona 4		50			°C
27.	Temperatura del cañón zona 5		-			°C
28.	Temperatura del cañón zona 6		-			°C
29.	Temp. de resistencias colada caliente	-	-	-	-	°C

CONCLUSIONES



CONCLUSIONES

Con el seguimiento del algoritmo propuesto en la construcción del molde para inyección de plástico y la aplicación de los criterios aquí determinados, se logró lo siguiente:

1. Que el diseño y la fabricación del molde se realizaran en un menor tiempo a comparación de haberse realizado sin fundamentos, sólo con experiencias pasadas por prueba y error.
2. No fue necesario realizar correcciones parciales o modificaciones totales en el molde, existe esta posibilidad, pero hasta haber diseñado la tapa correspondiente para el envase, verificando que ensamblan correctamente, pero serían modificaciones menores.
3. El costo del molde fue menor, también considerando que la gente involucrada en todo este trabajo, percibió un sueldo normal cotidiano, es decir que se aplicó la capacidad, conocimientos y experiencias actuales no requirió de ingeniería y tecnologías más sofisticadas, de igual forma la mano de obra en taller mecánico de la planta.
4. Se obtuvo una autocapacitación durante lo realizado, para desarrollar habilidades y tener mayor experiencia en nuevos diseños, o bien, para rectificar moldes que ya se tienen.
5. Algunos de los criterios planteados pueden ser ajustados en otros procesos similares de transformación.
6. Se entiende mejor el comportamiento del material plástico para lograr ajustar los parámetros de forma óptima en la operación de la máquina inyectora que se usó para la prueba final (marca: Sandreto capacidad: 200 toneladas de cierre).
7. Se obtuvieron menos piezas malas y mayor producción por obtener un molde que trabaja óptimamente por estar bien diseñado.



8. Se visualiza un mejor aprovechamiento de todos los recursos debido a que no se necesita adquirir equipo o materiales de alta tecnología, es posible lograr los objetivos con lo que ya se tiene.

9. Puede observarse que los valores de ajuste reales, están dentro del rango de tolerancia recomendada teóricamente, y por todos los resultados anteriores, se puede concluir que este proyecto es confiable para aplicarse a cualquier otro caso de este tipo.

10. Se obtuvo una fuente importante de información y aplicación teórico-práctico, que pueden ser utilizados por los estudiantes de la carrera de Ingeniería Química que se encuentren interesados o implicados en la industria de la transformación de plástico y del diseño de moldes de inyección.

GLOSARIO DE TÉRMINOS



GLOSARIO DE TÉRMINOS

ACOPLAMIENTO DE LA BOQUILLA: Describe la unión exacta de la boquilla del cañón con el vertedero que se encuentra en la platina fija y está conectada a la alimentación del molde.

ACRÓNIMO: Conjunto de siglas que abrevian el nombre de un plástico.

ADITIVO: Sustancia que modifica las propiedades del plástico.

AFNOR (Associati3n Francaise de Normalization): Siglas de la Asociaci3n Francesa de Normalizaci3n, que otorga normas y procedimientos para cumplir.

ALABEO: Falla en una pieza que se deforma despu3s de moldearse, la forma original se tuerce de manera curva debido a los esfuerzos residuales en el material transformado.

ASTM (American Society for Testing and Materials): Siglas de la Sociedad Americana para Pruebas y materiales, que otorga normas y procedimientos para cumplir.

BOQUILLA: Es la parte que se encuentra en cañ3n o c3mara calefactora de la unidad de inyecci3n, la cual nos sirve para unir la unidad de inyecci3n con el molde, para que el material llene la cavidad del mismo.

BSI (British Standards Institute): Siglas del Instituto Brit3nico de estandarizaci3n, que otorga normas y procedimientos para cumplir.

CALOR ESPECIFICO O CAPACIDAD CALORÍFICA: Es el calor requerido para elevar la temperatura de un kilogramo de material, un grado Celsius.



CAMINO DE DOSIFICACIÓN: Es la carrera total del émbolo de inyección dentro de un ciclo.

CAMINO DE INYECCIÓN: Es el camino que recorre del émbolo de inyección durante el tiempo de la presión de sostenimiento.

CAMINO DE SOSTENIMIENTO: Es el camino del émbolo de inyección con el comienzo del tiempo de sostenimiento.

CAÑÓN o BARRIL: Es la cámara calefactora que contiene el husillo y se encarga de calentar el material por medio de resistencias eléctricas hasta fundirlo para después ser inyectado al molde

CARGA (aditivo): Elemento inerte, adicionado al plástico para hacerlo menos costoso mejorando las propiedades mecánicas, en particular dureza y resistencia al impacto. Generalmente las partículas de carga son pequeñas a diferencia de los refuerzos.

CARGA (de resina): alimentación de material plástico en su presentación de materia prima.

CICLO DE INYECCIÓN: Comprende todos los pasos necesarios para la obtención del producto, es decir, la inyección del material, compactación del mismo, enfriamiento de la pieza, expulsión de la misma y los movimientos necesarios del molde.

CIZALLAMIENTO: Esfuerzo cortante.

COLADA: En un molde de inyección o Transferencia, el canal usualmente circular, que conecta la esprea con la compuerta de la cavidad del molde.

COLCHÓN O COJÍN: Es un determinado volumen, que queda al final del tiempo de inyección, delante del embolo de inyección (husillo). La almohada varía durante el tiempo de retención (presión de sostenimiento).



CONTRAFLUJO: En inyección se denomina así al flujo de material plástico que intenta regresar al cañón de la máquina.

CONTRAPRESIÓN: Es la presión que debe vencer el husillo en su movimiento de retroceso y tiene una notable influencia en la homogenización del material en cuanto a la temperatura, fusión, pigmentación y trabajo sobre el mismo.

COPOLIMERO: Si en la reacción de obtención de un polímero, intervienen dos monómeros, se obtiene un copolímero.

CRISTALINIDAD: Arreglo estructural, donde las cadenas de un polímero se acomodan unas a otras formando zonas cristalinas que impiden el paso de la luz.

CHILLER: Equipo de enfriamiento que mantiene los fluidos de refrigeración a determinada temperatura. Su funcionamiento se basa en un depósito y una bomba.

DEGRADACIÓN: Deterioro en las propiedades del polímero, pérdida de transparencia, amarillamiento, alteración del peso molecular por la acción de solventes, decremento de las propiedades mecánicas por fatiga, oxidación por calor excesivo y degradación biológica.

DGN: Siglas de la Dirección General de Normas en México, que otorga normas y procedimientos para cumplir.

DIN (Deutsches Institut Für Normung): Siglas del Instituto Alemán para Normalización, que otorga normas y procedimientos para cumplir.

DESMOLDEO: Etapa de un proceso como inyección donde la pieza se retira del molde después de tomar la forma deseada.



DISPERSIÓN: Dividir una partícula mediante el esfuerzo cortante de husillo, la dispersión es importante para incorporar un aditivo como los pigmentos.

DOSIFICACIÓN: Es el transporte, plastificación y homogenización de la cantidad de material necesario para un llenado de las cavidades del molde, esto es llevarlo a la punta del cilindro listo para ser inyectado.

DUCTIBILIDAD: Es la propiedad que tienen los materiales de transformarse con facilidad.

DUREZA: La resistencia de un material plástico a la compresión y al mellado. Los métodos de prueba más importantes para esta propiedad son: Brinell, Rockwell y Shore.

ELONGACIÓN: Incremento en la longitud de una muestra debido a una tensión que se aplica sobre ella. Generalmente se expresa como un porcentaje de la longitud original.

EMBOLO DE INYECCIÓN: Es el husillo cuando se desplaza longitudinalmente dentro del cañón sin girar.

ENTALPÍA: Cantidad de calor que se calcula al sumar la energía interna y el producto de la presión por el volumen de un sistema donde se efectúa un calentamiento, es decir: $H=U+PV$

ENTRECRUZAMIENTO: Característica de las estructuras químicas de los plásticos, reconocida por la formación de enlaces entre las cadenas moleculares. La estructura entrecruzada impide al plástico fundir, particularidad de los termofijos.

ESFUERZOS RESIDUALES: Las resinas están formadas por cadenas de polímeros de gran longitud y si el material no está a una temperatura uniforme, algunas cadenas estarán más juntas que otras, esto varía la densidad y por esto la capacidad de encogerse al ser enfriadas. Si la resina es enfriada o solidificada en estas condiciones rápidamente, no tiene tiempo para que sus cadenas se liberen y adquieran su dimensión natural como resultado se obtiene una



pieza deformada, que se tuerce o pandea fácilmente y con poco calor, además de volverse muy frágil y quebradiza.

FLASH O SOBRANTE: Palabras usadas para referirse a las rebabas.

FLUIDEZ O VISCOSIDAD DEL MATERIAL: Es la variable que determina el grado de fricción, degradación y apariencia de la pieza, esto manifestado en brillo, líneas de unión, marcas de flujo, rebabas, vacíos burbujas, rechupes, etc.

FLUJO NEWTONIANO: Corresponde A Un líquido que no cambia su viscosidad cuando es agitado, por ejemplo, el agua responde uniformemente a la fuerza aplicada sin cambiar su viscosidad.

FLUJO NO NEWTONIANO: Flujo que altera su viscosidad al agitarse, ya sea para aumentar o disminuir, según la naturaleza del líquido. Los plásticos son fluidos no newtonianos por que su viscosidad baja al agitarse en estado fundido.

FUERZA DE CIERRE: Es la suma de fuerzas que se transmiten a través del molde sobre las barras guías hasta cerrar el molde y sostener la presión en contra.

FUERZA DE INYECCIÓN: Es el resultado de la presión de inyección que emite el molde y la superficie eficaz.

FUNCIONAMIENTO AUTOMÁTICO: después del recorrido de un ciclo, comienza el siguiente.

HOMOGENIZACIÓN: Es el mezclado del material para obtener características iguales en todo el volumen que comprende.



HUSILLO: Es la herramienta donde se transporta, se plastifica y se homogeniza la materia prima.

IRANOR: Siglas del Instituto español de Normalización, que otorga normas y procedimientos para cumplir.

ISO (International Organization for Standardización): Siglas de la Organización Internacional de Estandarización, que otorga normas y procedimientos para cumplir.

INDICE DE FLUIDEZ: Es la capacidad de un material plástico para desplazarse en estado líquido, sometido a calor y presión

INYECCIÓN: Es la introducción a alta presión de una masa de plástico fundido dentro de las cavidades de un molde

MASTER BATCH: Compuesto de plástico con alta concentración de uno o varios aditivos, está diseñado para usar las cantidades apropiadas del aditivo sobre la resina base, son ampliamente usados para varios plásticos como método para obtener tonos uniformes de color.

MONOMERO: Molécula relativamente simple, que contiene carbono e hidrógeno, puede también tener otros heteroátomos como oxígeno, cloro, fluor y azufre. Al repetirse varias veces, la molécula forma el polímero a través de una reacción conocida como polimerización para formar cadenas de alto peso molecular.

OLIGÓMERO: polímero de bajo peso molecular, se origina debido a la presencia de pocas moléculas unidas en una pequeña cadena, donde la unidad monomérica se repite de dos a diez veces. Los oligómeros se forman cuando un polímero empieza a formarse o degradarse.



PELLETS: Gránulos de plástico con tamaño regular, de forma esférica o cilíndrica, constituyen la presentación comercial del material.

PERNO EXPULSOR O EYECTOR: Cualquier pieza o elemento que facilite la expulsión de lago. En inyección existen pernos que empujan al producto fuera del molde, son llamados botadores.

PESO MOLECULAR: Es la suma de los pesos atómicos de todos los átomos que componen una molécula. En el caso de los plásticos, es una medida directa de la longitud de las cadenas de un polímero. A mayor peso molecular, mayor longitud de la misma.

PIRÓMETRO: Instrumento que permite medir temperaturas muy elevadas, como las de un horno de fundición.

PLASTIFICACIÓN: Es la fusión de un material hasta llevarlo a un estado líquido viscoso o estado de buena fluidez.

PLASTIFICANTE: Agentes químicos agregados a las composiciones de plástico para proporcionar flujo y procesabilidad y para reducir su rigidez. Esto es alcanzado al bajar su temperatura de transición vítrea.

POSICIÓN DE DOSIFICACIÓN: Es la posición del émbolo de inyección al final del tiempo de dosificación.

POSICIÓN DE SOSTENIMIENTO: Es la posición del émbolo de inyección con el comienzo del tiempo de sostenimiento.

PREFORMA: Forma previa que se proporciona al plástico antes de moldearlo en forma definitiva.



PRESIÓN DE INYECCIÓN: Es la presión que ocurre durante el tiempo de inyección, así como el recorrido que hace el embolo del husillo para llenar la cavidad del molde de inyectar.

PRESIÓN DE SOSTENIMIENTO: Es la presión que ejerce sobre el material después de la inyección, con objeto de compactar al plástico compensando las contracciones de la pieza debida al enfriamiento. Esta presión es generalmente a la presión de inyección.

PSEUDOPLÁSTICO: Materiales que aumentan su fluidez al agitarse, los polímeros de alto peso molecular se comportan de esta manera.

RADICAL LIBRE: Molécula orgánica que contiene átomos con electrones desapareados.

REBABA: Exceso de plástico presente en una pieza a lo largo de la línea de partición.

RECHUPE: Hueco en un producto inyectado, pieza incompleta.

REGRANULADO: Nombre que recibe el plástico cuando se fragmenta por molienda, después de ser moldeado por algún proceso de transformación. También es conocido como remolido o material de reproceso.

REOLOGÍA: Estudio del flujo de la materia en relación con el esfuerzo y la deformación, debe ser considerado en el moldeo de plásticos porque al fundir se transforman en líquidos viscosos.

RESINA: Fluido polimérico denso, viscoso, natural o sintético con alto peso molecular.

SCRAP: Sobrante del moldeo que no forma parte de la pieza final, como; rebabas, coladas, piezas defectuosas y que se muelen para ser recicladas.



SOLUTO: Nombre que recibe cualquier componente sólido que se puede disolver en cualquier líquido.

SNV (Association Suisse of Normalisation): Siglas de la Asociación Suiza de Normalización, que otorga normas y procedimientos para cumplir.

TEMPERATURA DE FUSIÓN: Es la temperatura, en la cual un material cambia del estado sólido a líquido.

TEMPERATURA DE LA MASA: Es la temperatura sin una definida posición, pues se da en el cilindro, en la tolva, en el molde y en el husillo.

TEMPERATURA DE TRANSICIÓN VITREA: Conocida como Tg. Es el punto en el que un plástico se vuelve semilíquido. Por encima de ésta, el material se reblandece gradualmente y antes de ella presenta rigidez, semejante al vidrio.

TEMPERATURA DEL MATERIAL: Es la temperatura real del material en el momento de ser moldeado. Debe ser la misma temperatura en todos los puntos del material.

TEMPERATURA DEL MOLDE: Es la temperatura de las paredes del molde y es importante por su influencia en la apariencia de la pieza, el contenido de los esfuerzos residuales y el ciclo de moldeo.

TERMOPAR: Elemento de medición de la temperatura, que consta de un par de metales que al dilatarse por efecto del calor, envía una señal eléctrica proporcional a la temperatura a la que se encuentren.

TIEMPO DE DOSIFICACIÓN: Es el tiempo que el embolo de inyección, así como el husillo en el camino de dosificación hace de adelante hacia atrás.



TIEMPO DE ENFRIAMIENTO: Este tiempo es el que se puede ajustar en la máquina y que comprende, desde que desaparece la presión de sostenimiento, hasta la apertura del molde.

TIEMPO DE INYECCIÓN: Es el tiempo necesario que tarda el husillo para llenar la cavidad del molde en su totalidad con una masa plastificada y durante el cual actúa la presión de inyección.

TIEMPO DE SOSTENIMIENTO: Es el tiempo que ocurre durante el efecto de la presión de sostenimiento. Empieza al final de la presión de inyección y termina al final de la presión de sostenimiento.

UL (Underwriters Laboratory): Siglas del Laboratorio de seguridad que otorga normas y procedimientos para cumplir.

UNIDAD DE CIERRE: la unidad de cierre aumenta el volumen junto con el molde, lo cual nos da el efecto de cerrar, de sostener el molde al entrar la inyección. Las partes principales son: barras guías y platinas.

VELOCIDAD DE CIZALLA: Es la velocidad requerida por una capa de polímero fundido para cruzar las paredes de un canal con flujo laminar.

VELOCIDAD DE INYECCIÓN: Es la velocidad que el husillo inyecta el material en el molde, influye en la apariencia de la pieza, su contenido de esfuerzos residuales y su resistencia.

VERTEDERO: Suministro que alimenta y distribuye el material fundido a las cavidades del molde.



VISCOELASTICO: Denominación que recibe un material que tiene un comportamiento intermedio entre un líquido viscoso y un sólido elástico.

VISCOSIDAD: Resistencia que presenta un líquido a fluir, generalmente debido a la fricción entre las moléculas del líquido.

ZONA DE PLASTIFICACIÓN: Es la zona en los canales del husillo, donde la masa es plastificada.

REFERENCIAS



REFERENCIAS

1. Morton & Jones, David H. (2000) Procesamiento de los Plásticos, México: Editorial Limusa, 5ª edición.
2. Meysenburg, CarlMax (1983) Tecnología de los Plásticos para Ingenieros, México: Editorial Urmo, 3ª edición.
3. Raymond B. Seymour (1990) Additives for Plastics, Bilbao: Editorial Academic Press, 2ª edition.
4. Sánchez López, Santiago (1992) Aditivos para Materiales Plásticos, México: Editorial Limusa, 3ª edición.
5. Walter E. Driver (1979) Química y Tecnología de los Plásticos, México: Editorial Continental, 1ª edición.
6. Bodini, Gianni (1998) Moldes y Máquinas de Inyección para Transformación de Plásticos, México: editorial Mc. Graw Hill, 3ª edición.
7. Dubois, John Harry (1982) Ingeniería de Moldes para Plásticos, México: Editorial Urmo, 3ª edición.
8. Mink, W. (1991) El plástico en la Industria, México: Editorial G. Gili, 5ª edición.
9. Mink, Walter Spe (1981) Inyección de Plásticos, México: Editorial Gustavo Gili, 4ª. Edición.
10. Moore, Harry D. & Kibber, Donald R. (1990) Manual del Ingeniero Químico, México: Editorial México Orientación 5ª edición.
11. John, Mc Murry (2001) Química Orgánica, México: Editorial International Thomson, 5ª edición.
12. J. Gilbert Mohor, Samuel S. Oleesky, Grald D. Shook, Leonard S. Meyer (1981) SPI Handbook of Technology and Engineering of Reinforced Plastics/Composites, USA: Publishing Robert E. Krieger Company.



13. Instituto Mexicano del Plástico Industrial (2000) Enciclopedia del Plástico, México: Editorial IMPI, 1ª edición.
14. IMECPLAST (2002) Manual del curso: Conoce y Opera Correctamente la Máquina de Inyección, México.
15. Centro Empresarial del Plástico (2002) Manual del Seminario: Moldes de Inyección para Plásticos, México.
16. IMECPLAST (2003) Informe: "*La Industria del Plástico*", México.
17. Regine V. Klitzing and Bernard Tieke Advanced in Polymer Science "*Polyelectrolyte membranes*" Publisher Springer-Verlag Heidelberg, ISSN: 0065-3195 (Paper) 1436-5030 (Online) volume 165/2004.
18. Michael Stranz and Uwe Köster, Colloid & Polymer Science, "*Irreversible structural changes in cryogenic mechanically milled isotactic polypropylene*", Publisher Springer-Verlag Heidelberg, ISSN: 0303-402X (Paper) 1435-1536 (Online), DOI: 10.1007/s00396-003-0953-7, Issue: volume 282, number 4, date: February 2004.
19. Jörg Bohrisch, Chaus D. eisenbatch, Eerner Jaeger, Hideharu Mori, Axel H. E. Müller, matt Christian Schaller, Steffen Traser and Patrick Wittmeyer. Advanced in Polymer Science, "*New Polyelectrolyte architectures*", Publisher Springer-Verlag Heidelberg, ISSN: 0065-3195 (Paper) 1436-5030 (Online), volume 165/2004.
20. <http://www.plástico.com.mx>
21. <http://www.dayplas.com>
22. <http://www.economia-noms.gob.mx>

ANEXOS



ANEXO I.

Acrónimos

Siglas	Nombre del plástico
ABS	Acrilonitrilo Butadieno Estireno
ASA	Acrilonitrilo Estireno Acrilonitrilo
CA	Acetato de celulosa
CAB	Acetato Butirato de Celulosa
CAP	Acetato Propionato de Celulosa
EP	Resina Epóxica
EPS	Poliestireno Expansible
EVA	Copolímero de Etileno y Acetato de Vinilo
EVOH	Alcohol Etil Vinílico
LCP	Polímeros de Cristal Líquido
MF	Melamina de Formaldehído
PA	Poliáamida
PAEK	Poliaril Eter Cetona
PAI	Poliáamida Imida
PAN	Poliacrilonitrilo
PBT	Polibutilen Tereftalato
PC	Policarbonato
PCTFE	Policlorotrifluoroetileno
PEAD (HDPE)	Poliétileno Alta Densidad
PEBD (LDPE)	Poliétileno Baja Densidad
PEEK	Poliéter Eter Cetona
PEI	Poliéter Imida
PEK	Poliéter Cetona
PLBD (LLDPE)	Poliétileno Lineal Baja Densidad
PEN	Poliétilén Naftalato
PET	Poliétilén Tereftalato
PETG	Copolímero de Poliétilén Tereftalato
PF	Fenol Formaldehído
PI	Poliimida
PMMA	Polimetil Metacrilato
POM	Poliacetales
PP	Polipropileno
PPA	Poliftalamida
PPO	Polióxido de Fenileno
PPS	Polisulfuro de Fenileno
PPSU	Polifenilén Sulfona
PS	Poliestireno
PSAI	Poliestireno Alto Impacto



Siglas	Nombre del plástico
PSU	Polisulfona
PTFE	Politetrafluoretileno
PUR	Poliuretano
PVC	Policloruro de Vinilo
PVOH	Alcohol Polivinílico
SAN	Copolimero de Estireno Acrilonitrilo
SB	Copolimero de Estireno Butadieno
SI	Silicón
TPO	Elastómeros Olefinicos Termoplásticos
TPU	Poliuretano Termoplástico
UF	Urea Formaldehido
UP	Poliéster Insaturado



ACEROS PARA HERRAMIENTA

DESIGNACION AISI	COMPOSICION QUIMICA EN %								
	C	Mn	Si	Cr	Ni	V	W	Mo	OTROS
ACEROS PARA TRABAJOS EN FRIO, GRUPO O, TEMPLE AL ACEITE									
O 1	0.85 - 1.00	1.00 - 1.40	0.10 - 0.50	0.40 - 0.70		0.30 máx.	0.40 - 0.60		
O 2	0.85 - 0.95	1.40 - 1.80	0.10 - 0.50	0.50 máx.		0.30 máx.		0.30 máx. (a)	
O 7	1.10 - 1.30	0.20 - 1.00	0.10 - 0.60	0.35 - 0.85		0.15 - 0.40	1.00 - 2.00	0.30 máx. (a)	
ACEROS RESISTENTES AL IMPACTO, GRUPO S									
S 1	0.40 - 0.55	0.10 - 0.40	0.15 - 1.20	1.00 - 1.80		0.15 - 0.30	1.50 - 3.00	0.50 máx.	
S 2	0.40 - 0.55	0.30 - 0.50	0.90 - 1.20			0.50 máx.		0.30 - 0.60	
S 4	0.50 - 0.65	0.60 - 0.95	1.75 - 2.25	0.10 - 0.50		0.10 - 0.35			
S 5	0.50 - 0.65	0.60 - 1.00	1.75 - 2.25	0.10 - 0.50		0.10 - 0.35		0.20 - 1.35	
S 6	0.40 - 0.50	1.20 - 1.50	2.00 - 2.50	1.20 - 1.50		0.20 - 0.40		0.30 - 0.50	
S 7	0.45 - 0.55	0.20 - 0.90	0.20 - 1.00	3.00 - 3.50		0.35 máx.		1.30 - 1.80	
ACEROS PARA MOLDES, GRUPO P, CLAVADOS									
P 1	0.10 máx.	0.10 - 0.30	0.10 - 0.40						
P 2	0.10 máx.	0.10 - 0.40	0.10 - 0.40	0.75 - 1.25	0.10 - 0.50			0.15 - 0.40	
P 3	0.10 máx.	0.20 - 0.60	0.40 máx.	0.40 - 0.75	1.00 - 1.50				
P 4	0.12 máx.	0.20 - 0.60	0.10 - 0.40	4.00 - 5.25				0.40 - 1.00	
P 5	0.06 - 0.10	0.20 - 0.60	0.10 - 0.40	2.00 - 2.50	0.35 máx.				
P 6	0.05 - 0.15	0.35 - 0.70	0.10 - 0.40	1.25 - 1.75	3.25 - 3.75				
ACEROS PARA MOLDES, GRUPO P, MAQUINADOS									
P 20	0.28 - 0.40	0.60 - 1.00	0.20 - 0.80	1.40 - 2.00				0.30 - 0.55	
P 21	0.18 - 0.22	0.20 - 0.40	0.20 - 0.40	0.20 - 0.30	3.90 - 4.25	0.15 - 0.25			1.05 - 1.25 Al
ACEROS PARA HERRAMIENTAS DE BAJA ALEACION PARA USOS ESPECIALES, GRUPO L									
L 1	0.90 - 1.10	0.10 - 0.40	0.10 - 0.40	1.20 - 1.60					
L 2	0.45 - 1.00	0.10 - 0.90	0.10 - 0.50	0.70 - 1.20		0.10 - 0.30		0.25 máx.	
L 7	0.95 - 1.05	0.25 - 0.45	0.20 - 0.40	1.25 - 1.75				0.30 - 0.50	

(a) opcional



ACERO GRADO MAQUINARIA

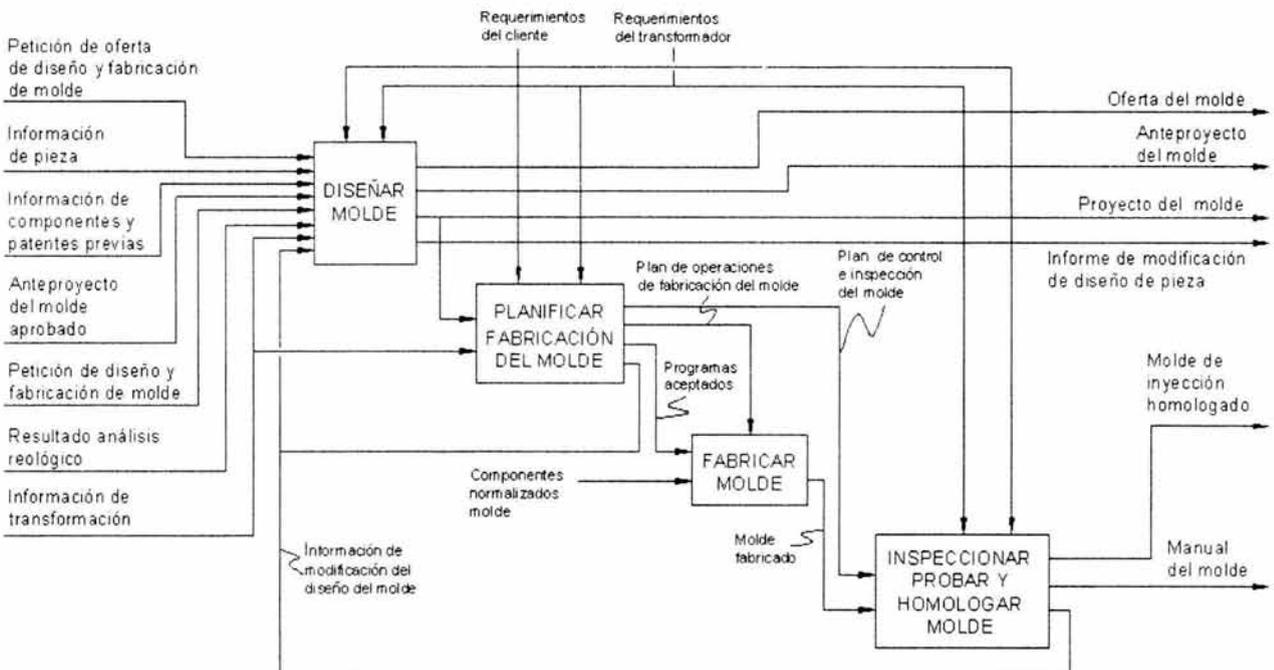
ACEROS FORTUNA	* ANALISIS BASICO MEDIO	TRATAMIENTO TERMICO		EQUIV. AISI APROX.	CARACTERISTICAS
		TEMPLE	RECOCIDO		
TX 10 T	0.40% C, 0.80% Cr, 1.00% Ni, 0.25% Mo	Se surte con dureza controlada 220 y 330 BHN según diámetro		9840	Acero al Cr-Ni-Mo con dureza controlada para construcción de maquinaria.
TX 10 R	0.40% C, 0.80% Cr, 1.00% Ni, 0.25% Mo	830 - 860° C aceite	760 - 845° C	9840	Acero al Cromo-Níquel-Molibdeno de gran tenacidad para construcción de maquinaria.
TX 15 T	0.40% C, 0.80% Cr, 1.80% Ni, 0.25% Mo	Se surte con dureza controlada 220 y 330 BHN según diámetro		4340	Acero al Cr-Ni-Mo con dureza controlada para construcción de maquinaria.
TX 15 R	0.40% C, 0.80% Cr, 1.80% Ni, 0.25% Mo	800 - 845° C aceite	800 - 925° C	4340	Acero al Cromo-Níquel-Molibdeno de gran tenacidad para construcción de maquinaria.
TCMO 4 T	0.40% C, 0.95% Cr, 0.20% Mo	Se surte con dureza controlada 220 y 330 BHN según diámetro		4140	Acero al Cr-Mo con dureza controlada para construcción de maquinaria.
TCMO 4 R	0.40% C, 0.95% Cr, 0.20% Mo	830 - 860° C aceite	780 - 840° C	4140	Acero al Cromo-Molibdeno para construcción de maquinaria.
EX 17	0.20% C, 0.50% Cr, 1.83% Ni, 0.25% Mo	870 a 950° C (cementado)	650 - 775° C	4320	Acero al Cromo-Níquel-Molibdeno de alta templabilidad para cementación.
EX 8	0.20% C, 0.50% Cr, 0.55% Ni, 0.20% Mo	870 - 950° C (cementado)	660 - 790° C	8620	Acero al Cromo-Níquel-Molibdeno para cementación.

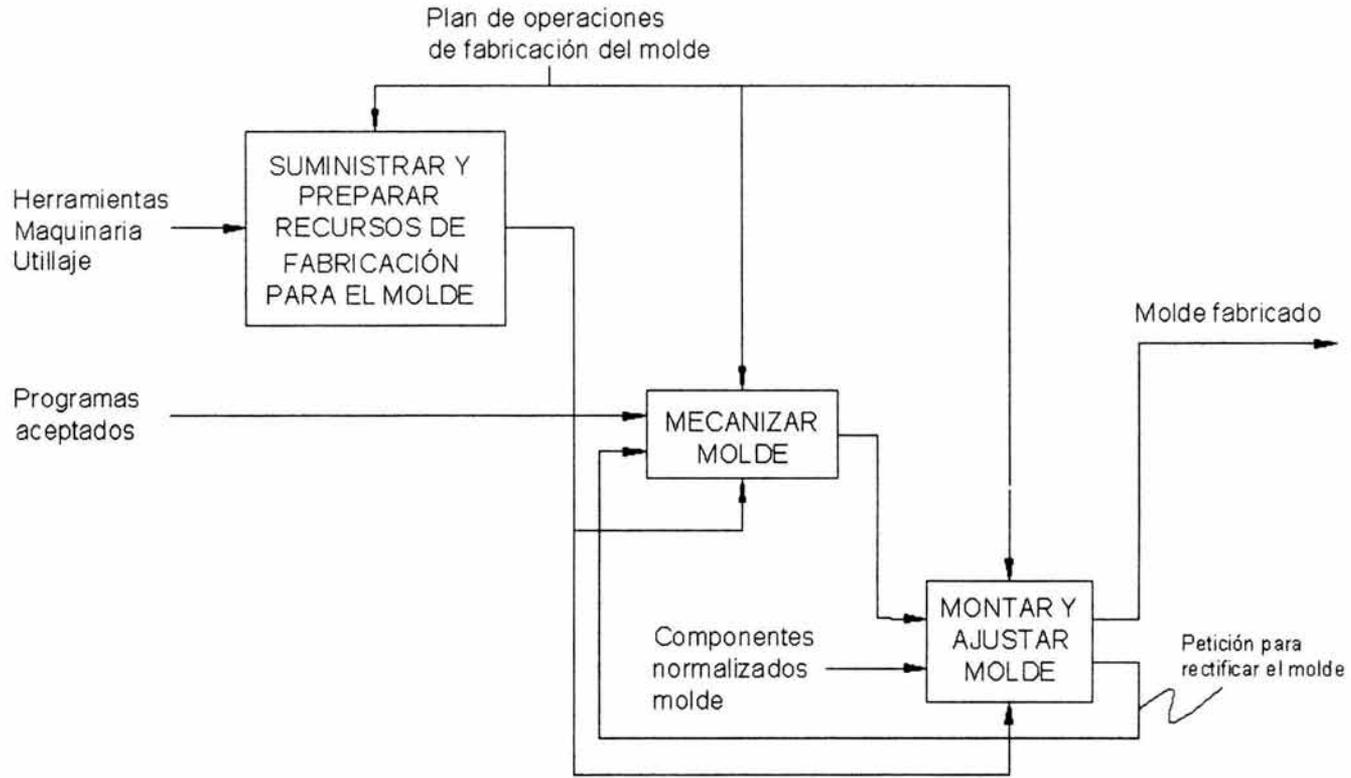
* Estos análisis pueden variar dentro de la NORMA
Para lo relacionado al tratamiento térmico sírvase hablar al Tel. 5.361.2626

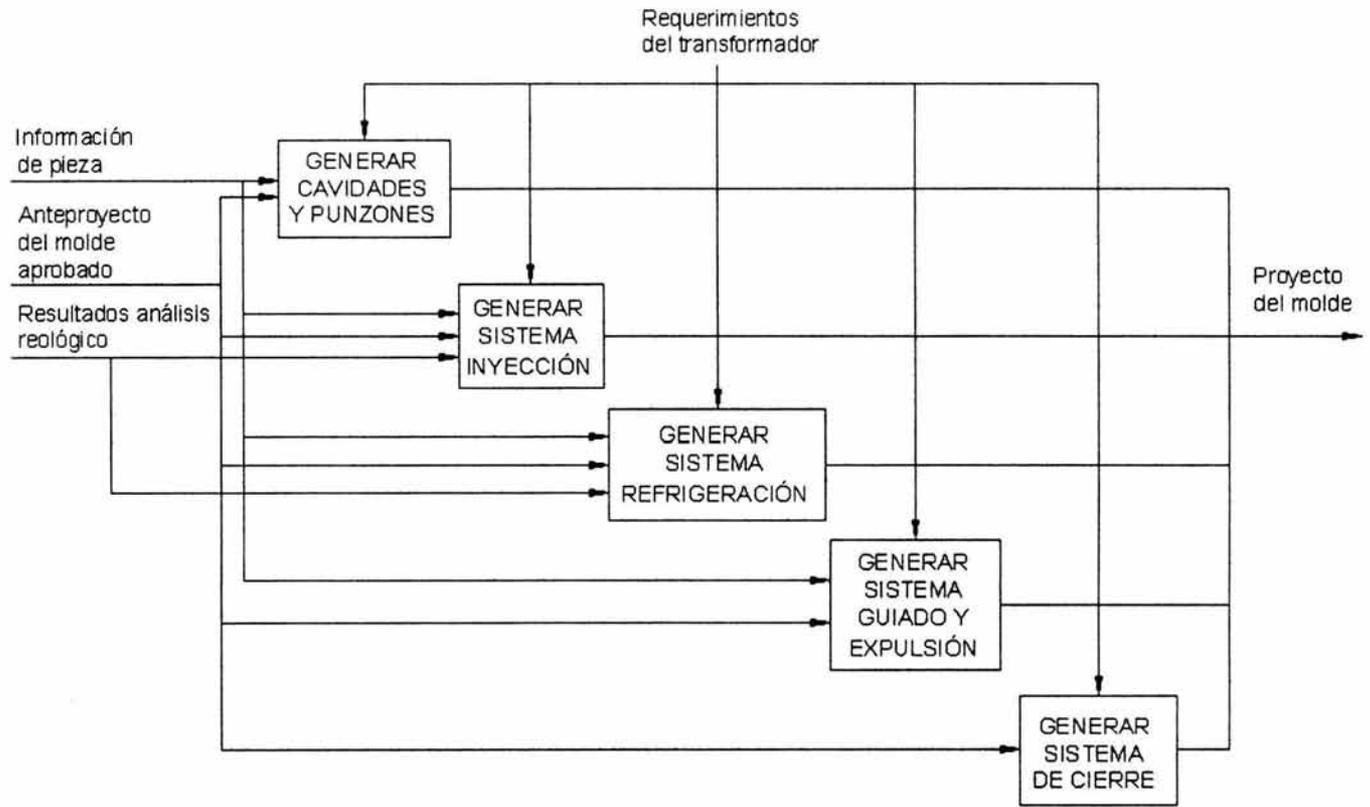


ANEXO III.

Algoritmo general para el diseño y fabricación de un molde de inyección de plástico



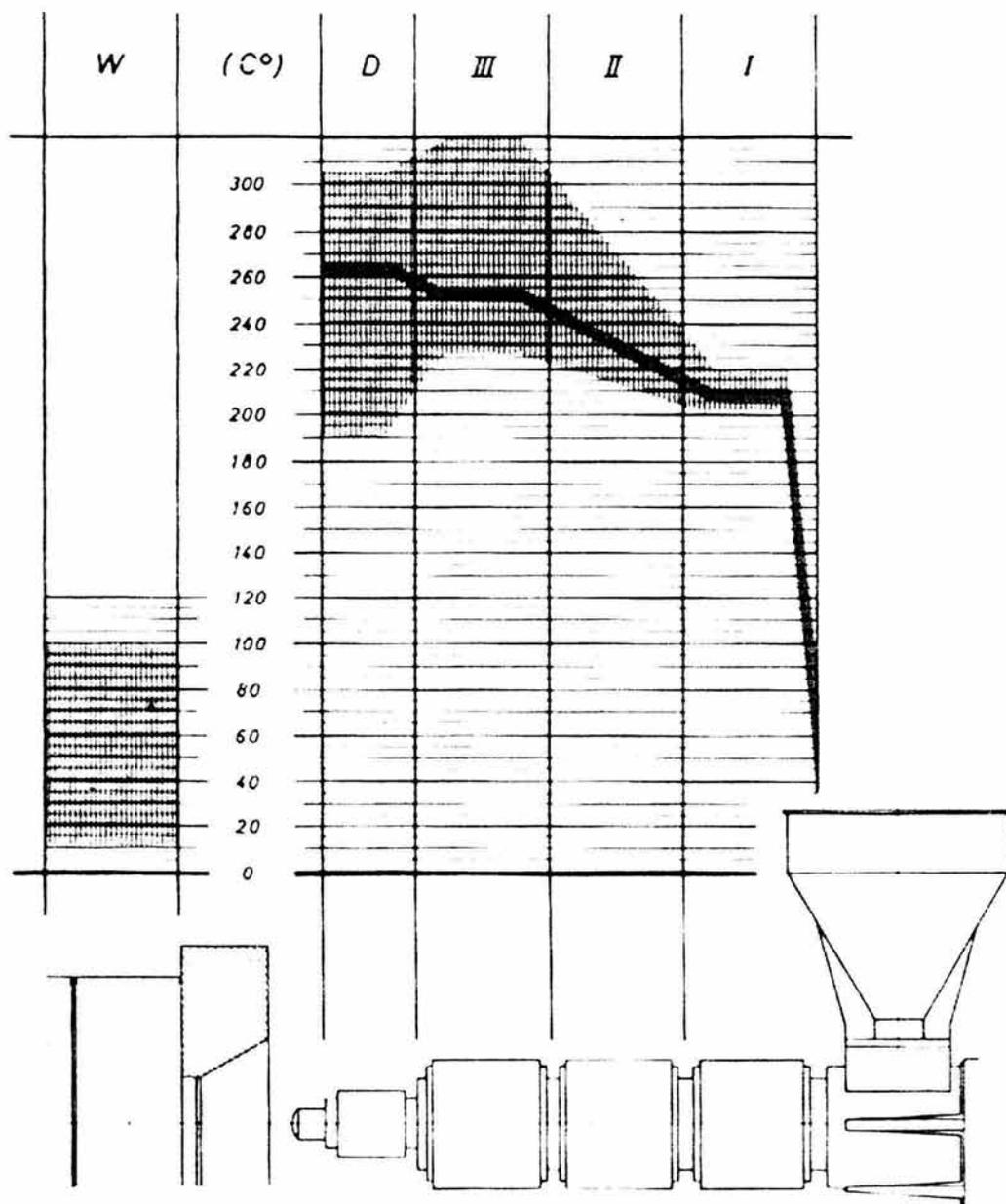






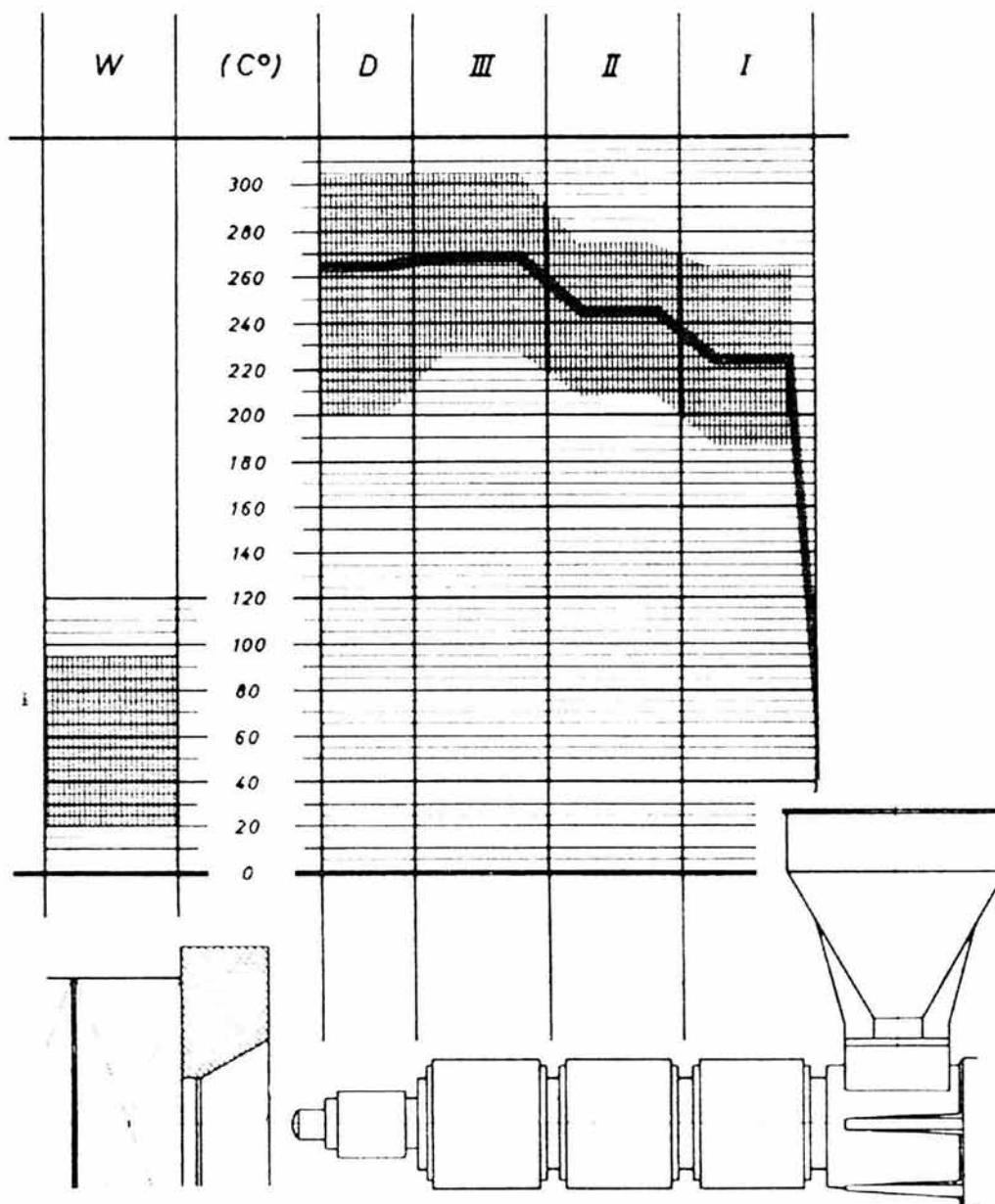
ANEXO IV.

Perfil de temperaturas recomendado para inyección de polietileno de alta densidad (PEAD).





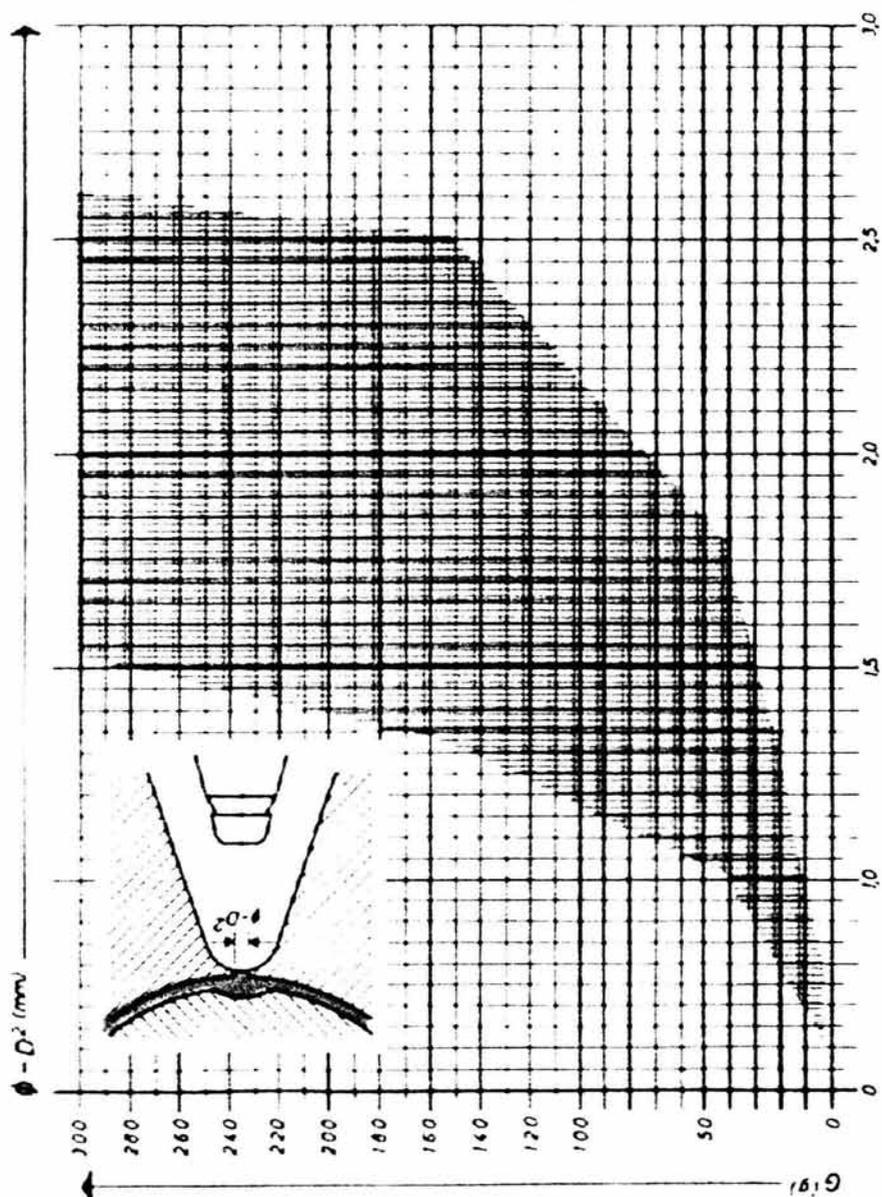
ANEXO V.
Perfil de temperaturas recomendado para inyección de Polipropileno (PP).





ANEXO VI.

Diagrama para determinar la amplitud de diámetro de acceso en bebederos puntiformes, en relación con el peso de la pieza

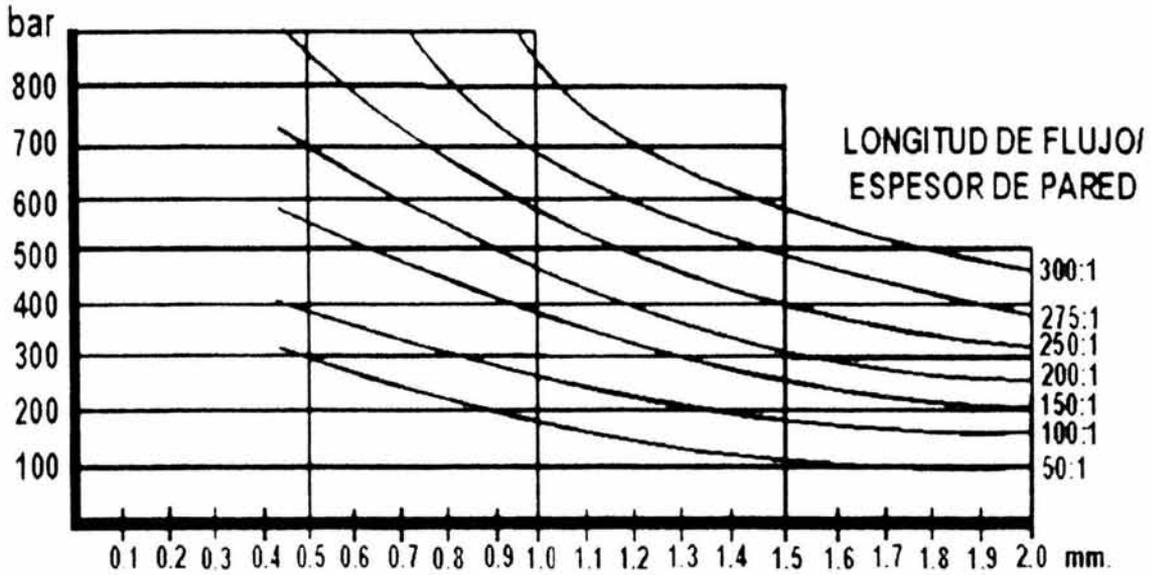


G = peso de la pieza en g. D = diámetro de entrada del bebedero (en mm)



ANEXO VII.

Grafica para Espesor de Pared Vs. Presión dentro del molde





ANEXO VIII.

Datos de polietileno de alta densidad (Padmex-65050) por el proveedor.



Petroquímica Morelos, S.A. de C.V.
Polietileno de Alta Densidad
Hoja de Datos Técnicos



MOLDEO POR INYECCION
COPOLIMERO: PROPILENO

PADMEX 65050PROPIEDADES TÍPICAS DE LA RESINA:

PARAMETRO	UNIDAD	METODO DE PRUEBA	VALOR TÍPICO
DENSIDAD	gr/cm ³	ASTM D - 1505	0.9665
INDICE DE FLUIDEZ	gr/10 min.	ASTM D - 1238	5.0
RESISTENCIA MÁXIMA A LA TENSIÓN	kgf/cm ²	ASTM D - 638	310
ALARGAMIENTO MÁXIMO	%	ASTM D - 638	900
IMPACTO IZOD (RANURADO)	kgf-cm/cm	ASTM D - 256	10
MODULO DE FLEXIÓN	kgf/cm ²	ASTM D - 790	17,000
DUREZA SHORE	TIPO D	ASTM D - 1706	72
TEMP. DE ABLANDAMIENTO (VICAT)	° C	ASTM D -1525	128
TEMP. DE FRAGILIDAD	° C	ASTM D -746	-70

CARACTERÍSTICAS :

Copolímero apropiado para impartir excelente dureza y la más alta resistencia al impacto en artículos moldeados por inyección que requieren alta rigidez, excelente resistencia al medio ambiente y luz solar. Cumple con los requerimientos: FDA Título 21.CFR 177.1520 en artículos que estén en contacto con alimentos.

APLICACIONES:

Se recomienda su uso en el moldeo por inyección de productos que requieren mayor resistencia mecánica. Adecuado en la fabricación de artículos de tamaño grande, cajones para transporte de cajas de refresco, cerveza, jugos; juguetes y carretillas, recipientes para alimentos, cubetas de uso industrial.

ADITIVOS:

Contiene antioxidante primario y secundario, agente antiácido/lubricante, además protección contra la luz ultravioleta.

PRESENTACION:

En sacos de 25 kgs., y granel en auto tolva y carro tolva.
 L.A.B. Centro Embarcador de Petroquímica Morelos, S.A de C.V.
 Coatzacoalcos, Veracruz.

Gerencia de Comercialización
División Polímeros

■ 01 (921)1-12-14
 Fax: 01 (921)1-12-72 / 1-12-22
 Conmutador: 01 (921)1-11-00
 Ext 20-204
 Jrello@ptq.pemex.com

Jacarandas No.100
 Fracc. Rancho Alegre 1 Nivel-B2
 96558 Coatzacoalcos, Ver.

Informes y Ventas

■ 01 (921) 1-12-96 / 1-12-93
 Conmutador 01 (921) 1-11-00
 Ext. 21-296 / 21-293

Atención a Clientes

■ 01 (921) 1-13-32 / 1-13-38
 Fax: 01 (921)1-12-72 / 1-12-22