

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE
MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN**

**“ANÁLISIS Y MEJORA DEL PROCESO DE INYECCIÓN Y
SOPLADO DE P.E.T. PARA LA OBTENCIÓN DE GARRAFONES
DE AGUA DE 20 LITROS”**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

**PRESENTA:
*ERICK GEOVANNY VAZQUEZ HERNANDEZ***

ASESOR: M. I. FELIPE DIAZ DEL CASTILLO RODRIGUEZ.

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEXICO. 2007



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.

AGRADECIMIENTOS

A nuestra máxima casa de estudios: la Universidad Nacional Autónoma de México, por brindarme la oportunidad de cumplir con esto que inició como un sueño, y porque es un orgullo pertenecer a esta gran institución.

A la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, porque fué mi casa, donde viví por más de 5 años; porque en este lugar me forme profesionalmente; pero sobre todo, porque ahora soy un hijo egresado de esta institución.

A mi asesor de Tesis, el M. en I. Felipe Díaz del Castillo Rodríguez, por su vocación, su paciencia, su atención, sus conocimientos y su dedicación. Por que con sus observaciones y sugerencias este trabajo es una realidad, pero sobre todo por que siempre se agradece cuando alguien te tiende la mano, y más aún cuando lo hace sin esperar nada a cambio.

A los miembros del jurado: Ing. Enrique Cortés González, Ing. Bernardo Gabriel Muñoz Martínez, M. en I. Felipe Díaz del Castillo Rodríguez, Ing. Sergio Martín Durán Guerrero y al Ing. Eusebio Reyes Carranza, por el tiempo dedicado a este proyecto, por sus atinados comentarios y sus valiosas sugerencias.

A todos los profesores de la carrera de los cuales siempre obtuve atención.

A mis compañeros y amigos, por los momentos vívidos y por el apoyo recibido en el transcurso del tiempo.

A todas aquellas personas que en algún momento me apoyaron incondicional y desinteresadamente.

A todas las personas que siempre creyeron en mí.

Por que cuando algunos ven el fin de un ciclo, yo veo el principio de otro; y este no es sino el comienzo de uno nuevo.

Atentamente:

Erick Geovanny Vázquez Hernández

Por mí raza, hablará el espíritu

INDICE

	Pág.
INTRODUCCION	1
OBJETIVOS	3
CAPITULO 1	
MATERIALES PLASTICOS	
1.1.- DEFINICION E HISTORIA	4
1.2.- CLASIFICACION.....	4
1.2.1.-Clasificación según la estructura molecular.....	5
1.2.2.-Clasificación según las reacciones de formación.....	6
1.2.3.-Clasificación según su aplicación.....	7
1.2.4.-Clasificación según su manipulación.....	7
1.3.- MACROMOLECULAS Y SU FORMACION.....	7
1.4.- PROPIEDADES DE LOS PLASTICOS.....	9
1.4.1.-Propiedades de las materias primas.....	10
1.4.2.-Propiedades mecánicas.....	10
1.4.3.-Propiedades Térmicas.....	11
1.4.4.-Propiedades eléctricas.....	11
1.4.5.-Propiedades ópticas.....	12
1.4.6.-Propiedades físico-químicas.....	12
1.4.7.-Propiedades de envejecimiento.....	12
CAPITULO 2	
PRINCIPIOS BASICOS DE INYECCION	
2.1.- ORIENTACIÓN EN EL MOLDEO.....	13
2.1.1-Efecto molde.....	14
2.1.2.-Factores que influyen en la Orientación.....	15
2.1.3.-Efecto de la Orientación en las Propiedades.	16
2.1.4.-Contracción térmica.....	19
2.2.- PROPIEDADES DE FLUJO DEL MATERIAL.....	20
2.2.1.-Fluidos Newtonianos.....	21
2.2.2.-Fluidos no Newtonianos.....	22
2.2.3.-Efecto de las condiciones de moldeo en el comportamiento de flujo de los materiales.....	24
2.2.4.- Llenado de Molde.....	26
2.2.5.-Ciclo de Presión en la Cavidad.....	27
CAPITULO 3	
MAQUINARIA EN INYECCION DE PLASTICOS	
3.1.- COMPONENTES.....	30

3.1.1.-Unidad de inyección.....	32
3.1.2.-Unidad de cierre.....	35
3.2.- TIPOS DE MAQUINAS DE INYECCIÓN.....	38
3.2.1.-Máquinas con tornillo alternativo.....	38
3.2.2.-Máquinas de inyección con pistón.....	38
3.2.3.-Máquinas con sistema de pre-plastificación.....	38
3.2.4.-Máquinas de inyección multicolor.....	40
3.2.5.-Máquinas Giratorias.....	42
3.2.6.-Máquinas para inyección de espumas rígidas.....	42
3.2.7.-Máquinas de co-inyección.....	43
3.2.8.-Máquinas de inyección reactiva (RIM).....	45
3.2.9.- Diferentes arreglos de las unidades de las Máquinas de Inyección.....	45
3.3.- PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LAS MAQUINAS DE INYECCIÓN.....	47
3.3.1.-Capacidad de cierre.....	47
3.3.2.-Dimensiones del molde.....	49
3.3.3.-Recorrido de apertura del molde.....	50
3.3.4.-Capacidad de inyección.....	50
3.3.5.-Presión de inyección.....	52
3.3.6.-Capacidad de plastificación.....	52
3.3.7.-Velocidad de inyección.....	52
3.4.- EQUIPOS AUXILIARES.....	53
3.4.1.-Diseños especiales de tornillos.....	53
3.4.2.- Equipos para secado.....	56
3.4.3.- Válvulas anti-retorno.....	57
3.4.4.- Boquillas de Inyección.....	59

**CAPITULO 4
PROCEDIMIENTOS PARA TRABAJO DE MATERIALES
PLASTICOS**

4.1.- ELABORACIÓN DE PRODUCTOS PLÁSTICOS.....	65
4.1.1.- Moldeado de Piezas.....	66
4.1.2.- Piezas semiacabadas.....	69
4.1.3.- Obtención de hilos y fibras.....	71
4.1.4.- Trabajo con arranque de viruta.....	72
4.1.5.- Soldadura y adhesión.....	72
4.1.6.- Otros procedimientos de trabajo.....	73

**CAPITULO 5
DISEÑO DE MOLDES**

5.1.- GENERALIDADES.....	76
5.2.- TIPOS DE MOLDES.....	77
5.2.1.- Molde de dos platos.....	77
5.2.2.- Molde de tres platos.....	79
5.2.3.- Moldes de canales calientes.....	80

5.2.4.- Molde de canales aislados.....	81
5.2.5.- Moldes con elementos deslizables.....	82
5.3.- DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE CAVIDADES EN UN MOLDE.....	82
5.4.- SISTEMAS DE CANALES DE ALIMENTACIÓN.....	84
5.5.- SISTEMAS DE ENTRADA.....	85
5.5.1.-Entradas laterales.....	85
5.5.2.- Entradas Submarinas.....	86
5.5.3.- Entradas capilares.....	86
5.5.4.-Entrada de diafragma o disco.....	87
5.5.5.- Entada radial.....	87
5.5.6.- Entrada de anillo.....	88
5.5.7.- Entrada central.....	88
5.5.8.- Entrada múltiple.....	89
5.5.9.- Entradas de abanico.....	89
5.5.10.- Entrada de membrana.....	89
5.5.11.- Entada de lengüeta.....	90
5.6.- RESPIRACIÓN.....	91
5.7.- REFRIGERACIÓN Y CALEFACCIÓN.....	91

CAPITULO 6

PROCESO DE FABRICACIÓN DEL GARRAFÓN	96
6.1.- MATERIA PRIMA.....	96
6.1.1.-Propiedades del PET.....	96
6.1.2.-Desventajas.....	97
6.1.3.-Ventajas.....	97
6.1.4.-Características del PET.....	98
6.1.5.-Daros técnicos.....	99
6.1.6.-Proceso de producción del PET.....	99
6.1.7.-Uso del PET en envases para alimentos.....	102
6.2.- ELECCIÓN DEL PROCESO: “ONE-STAGE” Ó DOS ETAPAS.....	105
6.3.- MOLDEADO DE PET.....	107
6.3.1.-Tratamiento del PET antes del formado.....	107
6.3.2.-Técnicas de formado de envases.....	108
6.3.3.-La coloración.....	111
6.3.4.-El acetaldehído.....	111
6.4.- SOPLADO DE PET.....	112
6.4.1.-Calentamiento de la preforma.....	112
6.4.2.- Soplado.....	113
6.4.3.-La maquinaria de soplado.....	115
6.4.4.-Distribución de PET en el envase.....	116
6.4.5.-La biorientación.....	117

CAPITULO 7

PROBLEMAS PRESENTES EN EL PROCESO	118
7.1.- DEFECTOS EN EL PROCESO.....	118

7.1.1.-Defectos en el moldeo por inyección.....	119
7.2.- OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO.....	125
7.2.1.- Control de variables.	126
7.2.2.-Tiempo de Enfriamiento.....	127
7.2.3.-Husillo y Calentamiento del Molde.....	127
7.2.4.-Lubricación y Movimiento de la Unidad de Cierre.....	128
7.2.5.-Los Sigüientes Pasos.....	129
CONCLUSIONES	130
BIBLIOGRAFIA	132

INTRODUCCION

Los plásticos son materiales polímeros orgánicos, compuestos por grandes moléculas orgánicas plásticas, es decir, que pueden deformarse hasta conseguir una forma deseada.

Las moléculas pueden ser de origen natural, por ejemplo la celulosa, la cera y el caucho (hule) natural, o sintéticas, como el polietileno y el nailon. La estructura para dichas moléculas puede ser lineal, ramificada o entrecruzada, dependiendo del tipo de plástico. Las moléculas lineales y ramificadas son termoplásticas (se ablandan con el calor), mientras que las entrecruzadas son termoestables (no se ablandan con el calor). Debido a ello, el plástico se procesa de diferentes formas, respetando esta clasificación.

Los termoplásticos, son resinas con estructura molecular lineal (obtenida por polimerización o policondensación) que durante su transformación por moldeo no sufren modificación química. En estos materiales, puede repetirse el ciclo fusión-solidificación (aunque la resina puede sufrir cierta degradación). Por otra parte, los termofijos solo se funden una vez, tienen una estructura molecular reticulada o entrelazada; debido a ello, cuando se funden, no puede seguirse aplicando calor porque cambian químicamente, y hace que los materiales se vuelvan infusibles e insolubles.

Las técnicas empleadas para conseguir la forma final y el acabado de los plásticos dependen de tres factores: tiempo, temperatura y deformación. La naturaleza de muchos de estos procesos es cíclica, si bien algunos pueden clasificarse como continuos o semicontinuos.

En la actualidad, una parte importante de la industria dedicada a la inyección de plásticos, es aquella referente al ramo alimenticio, es decir, aquella que realiza los envases donde son empaquetados los alimentos y bebidas.

Para ello, a partir de 1952 comenzó a utilizarse un material denominado Poli Etilén Tereftalato (PET), el cual confiere a los envases propiedades únicas como lo son transparencia y brillo, excelentes propiedades mecánicas, barrera a los gases, liviano, esterilizable, reciclable y algunas otras debido a las cuales, incluso en la actualidad, no se ha encontrado un sustituto.

Por otra parte, el proceso utilizado en la fabricación de los envases es prácticamente el mismo en cuanto al proceso de inyección. Se tiene una maquina a la cual se le alimenta la materia prima en forma de pellets (pequeños granos de material); después, mediante un proceso de calentamiento, el polímero se funde y es enviado hacia un molde el cual ya tiene la forma deseada del producto (preforma); finalmente el producto es enfriado y expulsado.

Sin embargo para la formación del envase “hueco” final, se requiere un siguiente paso. Una vez concluido el ciclo de inyección del producto semi terminado denominado “preforma”, se utiliza un proceso denominado soplado, en el cual se inyecta aire a presión en dicha preforma para que esta tome la forma hueca del envase.

De esta forma es como el presente trabajo nos muestra el proceso en su totalidad, iniciando con un panorama general de las propiedades y características de los materiales plásticos, la maquinaria utilizada para su elaboración, el proceso de inyección y soplado, y por último, un capítulo dedicado a la optimización y resolución de problemas.

OBJETIVOS

- Conocer el proceso de fabricación de un garrafón de plástico, mediante inyección y soplado.
- Establecer los lineamientos para la adecuada selección de la máquina y el molde para la obtención del garrafón.
- Proponer algunas posibles mejoras en el proceso, tomando en cuenta el costo-beneficio.

CAPITULO 1

PLASTICOS

1.1.- Definición e historia.

Plásticos son aquellos materiales formados por moléculas orgánicas gigantes, resultado de la unión de otras moléculas (que pueden ser de origen natural ó sintéticas) más pequeñas llamadas monómeros, y que tienen la capacidad de deformarse hasta conseguir la forma deseada por medio de procesos de extrusión, moldeo o hilado.

La historia de estos materiales se remonta a mediados del siglo XIX, cuando se realizó un concurso para encontrar un sustituto del marfil (utilizado para fabricar bolas de billar). Como resultado de este concurso, un ciudadano estadounidense de nombre Wesley Hyatt, desarrolló un método para procesar piroxilina (un nitrato de celulosa tratado previamente con alcanfor y alcohol) a presión. A pesar de no ganar el concurso, el invento se patentó con el nombre de celuloide y se considera el primer material plástico.

1.2.- Clasificación.

La mayor parte de los materiales plásticos, son producto de la química orgánica, su componente principal es el carbono C (a parte del nitrógeno N, hidrógeno H, oxígeno O y azufre S).

Pero, de acuerdo a sus propiedades, los materiales plásticos no pueden clasificarse como un conjunto, pues según su naturaleza y finalidad pueden ser de consistencia vítrea (en transparencia y fragilidad), coriácea (duros o flexibles) o incluso tener analogía con algún material metálico (debido a esto, se piensa que los materiales plásticos pueden sustituir algunos otros materiales). La tabla 1.1 muestra una primera clasificación de los plásticos dentro de los materiales clásicos mas utilizados en la industria.

Tabla 1.1.- Clasificación de los plásticos dentro de los materiales mas utilizados en la industria.

MATERIALES ORGANICOS		MATERIALES INORGANICOS	
NATURALES	SINTETICOS	NO METALICOS	METALICOS
madera, caucho, lana, seda	Resinas sintéticas, plásticos , fibras sintéticas.	piedra, tierra (cerámicos)	metales y aleaciones

1.2.1.-Clasificación según la estructura molecular.

De acuerdo a esta clasificación se tienen los siguientes grupos:

- Termo-plásticos: Son resinas con estructura molecular lineal (obtenida por polimerización o poli condensación) que durante su transformación por moldeo no sufren modificación química. En estos materiales, puede repetirse el ciclo fusión-solidificación (aunque la resina puede sufrir cierta degradación)
- Termo-fijos: Estos solo se funden una vez. Tienen una estructura molecular reticulada o entrelazada. Debido a ello, cuando se funden, no puede seguirse aplicando calor por que cambian químicamente, y hace que los materiales se vuelvan infusibles e insolubles.
- El grupo de los elastómeros comprende los hules naturales y sintéticos y pueden tener una elongación de 200 a 1000 %.Esto es gracias a un proceso de vulcanización o curado con peróxido o azufre.

Según esta clasificación, la tabla 1.2 muestra una visión de las estructuras moleculares en los altos polímeros.

Tabla 1.2.- Clasificación de los plásticos según su estructura molecular.

MATERIALES DE ALTOS POLIMEROS			
<i>LINEALES</i>	<i>RAMIFICADOS</i>	<i>ENTRELAZADOS SUPERFICIALMENTE</i>	<i>ENTRELAZADOS EN EL ESPACIO</i>
TERMOELASTICOS		-	TERMOPLASTICOS
Termoplásticos permanentes= materiales termoplásticos			Malla ancha: vulcanizados
Termoplásticos entrelazados=materia prima de termoelásticos			Malla estrecha: termoestables

1.2.2.-Clasificación según las reacciones de formación

Considerando las reacciones de formación que dan origen a las macromoléculas, estos se clasifican como lo muestra la tabla 1.3:

Tabla 1.3.- Clasificación de los plásticos según las reacciones de formación.

<i>DENOMINACION</i>	<i>REACCION DE FORMACION</i>
Sustancias naturales modificadas	Esterificación, eterificación, saponificación, vulcanización, etc.
Polimerizados Plásticos de polimerizaciones	Polimerización en macromoléculas lineales o ramificadas
Poli condensados Plásticos de poli condensaciones	Poli condensación preponderante en macromoléculas entrelazadas, pero también lineales
Poliaductos Plásticos de poli adiciones	Reacciones múltiples conducentes a macromoléculas lineales o entrelazadas.

1.2.3.-Clasificación según su aplicación

Existen innumerables posibilidades de uso, debido a ello no se puede hacer una clasificación completa. De cualquier modo existe la siguiente diferenciación:

Resinas sintéticas para lacas y barnices	Plásticos para embalajes
Plásticos anticorrosivos	Plásticos aislantes
Plásticos aglomerantes (de construcción)	Colas de resina sintética
Plásticos aglomerantes (textiles, papel)	Plásticos para exigencias mecánicas
Plásticos para fabricación de fibras	Plásticos para exigencias térmicas
Plásticos para decoración	

1.2.4.-Clasificación según su manipulación.

Debido a esta clasificación, se puede diferenciar primeramente entre masas moldeables y los semiacabados. Una masa moldeable a la que se ha dado forma (conformada) sin arranque de viruta, se llama material moldeado, y se presenta como pieza moldeada o como semiacabado. Estos a su vez, se trabajan termo plásticamente o con arranque de viruta. Por tanto se puede establecer la siguiente clasificación:

Masas moldeables	Semiabados
Masas para prensar, para moldeo por inyección y para extrusión.	Hojas, planchas, perfiles, tubos, materiales para embutir y para trabajo con corte.

1.3.-MACROMOLECULAS Y SU FORMACION.

La química orgánica, tiene como principal objetivo las combinaciones de bajo peso molecular, con moléculas de 10 hasta 100 átomos. Debido a que el átomo de carbono es de los pocos que pueden unirse consigo mismo (formando cadenas y anillos), pueden formarse las llamadas macromoléculas o moléculas de gran tamaño que pueden contener átomos de magnitudes 10^3 y 10^6 o mayores. Los plásticos son sustancias macromoleculares, debido a ello también se les llama altos polímeros, que proviene del griego *polis* = muchos y *meros* = partícula, equivalente a decir con muchas partes pequeñas.

Por tanto, la polimerización ocurre cuando en los monómeros (compuestos químicos no saturados en donde dos átomos de carbono están unidos por un doble enlace) se rompe el doble enlace y se unen entre sí formando una cadena.

En la figura 1.1 se muestra la polimerización del etileno monómero en polietileno. Cabe señalar que la polimerización puede ocurrir entre 2 o mas moléculas de diferente tipo (biopolímero o multi polímero).

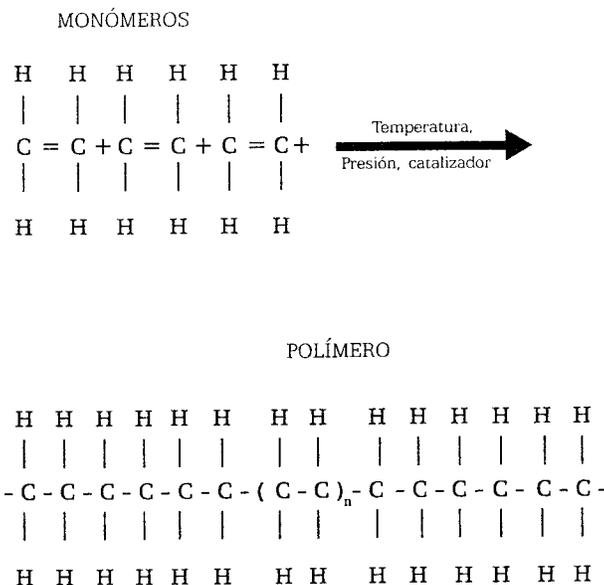


Figura 1.1.- Polimerización del etileno monómero en polietileno.

Por otro lado, existe otra manera de formar macromoléculas llamada poli condensación, en ella ocurre una reacción química donde se unen unidades iguales y diferentes para formar las macromoléculas. Esta unión química ocurre con grupos capaces de reaccionar separando sus productos secundarios como el agua, amoniaco, ácido clorhídrico, etc. Una característica de la poli condensación es que ocurre poco a poco y puede detenerse en cualquier momento, formándose moléculas filiformes en un principio, las cuales se alargan, ramifican y entrelazan después.

La tercera forma de producir macromoléculas es la poli adición. Aquí las macromoléculas se construyen a partir de la adición de grupos químicos de diferente naturaleza entre sí. Cabe señalar que la poli condensación no se completa si no hasta que se fabrica el producto definitivo, o sea que la ultima etapa se efectúa durante la transformación del producto final. La ventaja de la poli adición es que se pueden obtener mallas estrechas o amplias, que dan origen a una gran variedad de productos, ya sean plásticos duros y entrelazados ó gomosos y elásticos

1.4.-PROPIEDADES DE LOS PLASTICOS.

Como se ha mencionado anteriormente, la configuración macromolecular del material, influye en todas sus propiedades, especialmente en las mecánicas. De esta forma, se han elaborado tablas de datos en relación a dichas propiedades, pero ellas sirven solo como una orientación para el constructor de piezas de plástico, ya que todas las propiedades de los materiales plásticos se modifican en forma proporcional a las condiciones del medio ambiente.

Debido a ello, el constructor de piezas de plástico, debe tener en cuenta por ejemplo, al calcular la resistencia del material, el tipo de esfuerzo (tracción, compresión, flexión, etc.) pero además la influencia que tiene la forma de la pieza en ella (efecto de entalladura, efecto de apoyo, resistencia a la deformación, etc.). Además se debe considerar el comportamiento frente a las distintas velocidades del esfuerzo y acción de la temperatura y humedad.

Sin embargo, para calificar la calidad de un material, se usan los valores de las tablas, para comparar los valores con los obtenidos en otros materiales experimentales. Estas comparaciones, presuponen condiciones experimentales fijas, en las que se encuentran especificaciones de forma y tamaño de las probetas de ensayo, además de normas de material.

La ISO (Internacional Standards Organization), trata de unificar los métodos experimentales de las diversas Organizaciones a nivel mundial para el control de materias sintéticas. La figura 1.2 muestra una selección de probetas normalizadas, tal como se utilizan en Alemania y otros países.

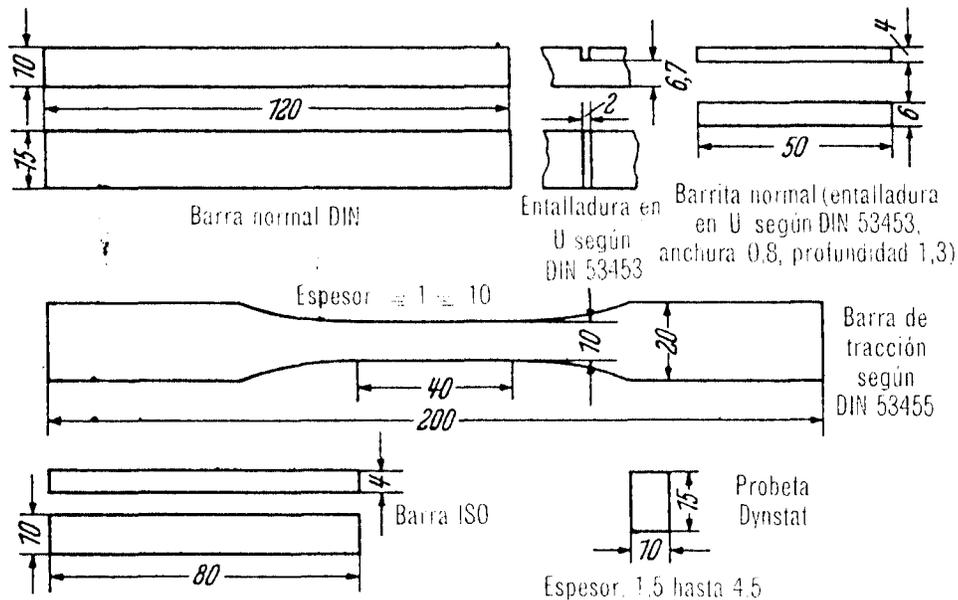


Figura 1.2.- Probetas normalizadas para ensayos sobre plásticos.

1.4.1.-Propiedades de las materias primas

Las propiedades de los plásticos ya elaborados, se ven influenciados por el tipo de su elaboración, pero sobre todo de las propiedades de las materias primas. De esta forma, se analizan los ingredientes inorgánicos y sus componentes volátiles, la acidez, grado de saponificación, el contenido de cloro, la viscosidad del material (que se usa para determinar el peso molecular del material) etc.

1.4.2.-Propiedades mecánicas

Como ya se ha mencionado, estas varían por la temperatura, el tiempo y el medio ambiente. La relación tiempo-temperatura la tenemos cuando un material se reblandece al elevar su temperatura, y se necesita solo una pequeña fuerza para desplazarlo con cierta rapidez. Sin embargo, a menor temperatura es necesaria una mayor fuerza, o en su defecto, mayor será el tiempo necesario para lograr el mismo desplazamiento. Estos efectos se muestran en la figura 1.3.

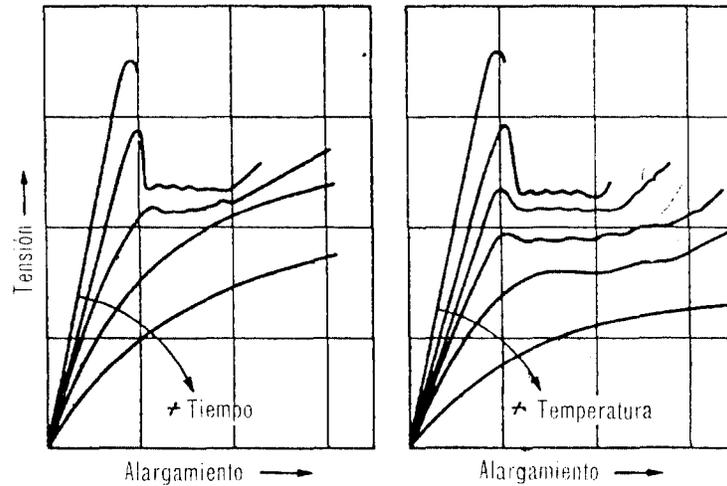


Figura 1.3.- Efecto del tiempo y temperatura sobre la resistencia de los termo-plásticos.

1.4.3.-Propiedades Térmicas

Los plásticos ante el calor cambian sus propiedades físicas como la dilatación o la conductividad térmica, pero el aumento de temperatura, además afecta en la resistencia durante el calentamiento, los puntos de reblandecimiento, fusión o descomposición. De esta forma, en comparación con los metales, los materiales plásticos tienen un mayor coeficiente de dilatación térmica, pero por el contrario su conductividad térmica es mucho menor.

Existen pruebas que se realizan a probetas para verificar dichas propiedades térmicas, por ejemplo para la estabilidad dimensional al calor, se someten dichas probetas a un esfuerzo mecánico mientras se calienta el material linealmente con el tiempo. Para determinar la resistencia a la incandescencia, las probetas se someten al fuego directo o en contacto directo con cuerpos incandescentes.

1.4.4.-Propiedades eléctricas.

Estas propiedades han sido, y aún en la actualidad de gran importancia debido a sus características aislantes y dieléctricas (cabe señalar que estas están en función del porcentaje de humedad y de la temperatura). Sin embargo, al analizar estas propiedades, se debe tomar en

cuenta información acerca de factor de pérdidas dieléctricas, rigidez dieléctrica, resistencia al aislamiento, etc.

1.4.5.-Propiedades ópticas.

La mayoría de resinas sintéticas son claras y pueden teñirse con pigmentas translúcidos, transparentes u opacos .Las resinas fenólicas se usan solo con tonos oscuros y opacos. Para usos ópticos se usan acrilatos ya que las propiedades de estos últimos en cuanto a refracción y transmisión de luz son excelentes.

1.4.6.-Propiedades físico-químicas.

El análisis de dichas propiedades en los materiales plásticos, es muy complicado y costos. Pero a grandes rasgos se mencionan las principales características.

- Resistencia a la corrosión.-los plásticos presentan una alta resistencia al ataque de agentes químicos. Aunque debe tenerse cuidado si están presentes solventes orgánicos que si los atacan.
- Agrietamiento por tensiones.-causado por ciertos agentes los cuales fragilizan por efecto de la difusión, la superficie del material. Debido a ello la sección se debilita.
- Estabilidad ante agentes atmosféricos.-Los plásticos tienden a descomponerse con la luz solar o con el ataque corrosivo de la atmósfera (humedad, gases, etc.).Para ello se añaden estabilizadores como el hollín, que protege de la luz.
- Acción corrosiva de los plásticos.-Debido a que pueden haber monómeros residuales, que reaccionarían para formar macromoléculas (como se menciona en el punto 1.3), y podrían afectar a piezas metálicas que estén en contacto con el plástico.

1.4.7.-Propiedades de envejecimiento

El envejecimiento es la modificación de las propiedades con el transcurso del tiempo sin que intervengan en el material. Entonces se tiene la plasto-deformación, corrosión y disgregación por agentes atmosféricos y/o radiación luminosa como acción del envejecimiento.

CAPITULO 2

PRINCIPIOS BASICOS DE INYECCION

Cuando se moldea una pieza, sus propiedades mecánicas varían al haber cambios en las condiciones de moldeo, incluso aún si se trata de la misma inyectora, el mismo molde y mismo material. Estos cambios se deben a la variación de las condiciones morfológicas del material, la variación en el procesado y la diferencia en orientación.

2.1.-Orientación en el moldeo.

Un polímero en su forma natural posee un arreglo de moléculas “enredado”; al aplicarle un esfuerzo, estas cadenas de moléculas se “desenredan” y orientan en dirección del flujo (figura 2.1).

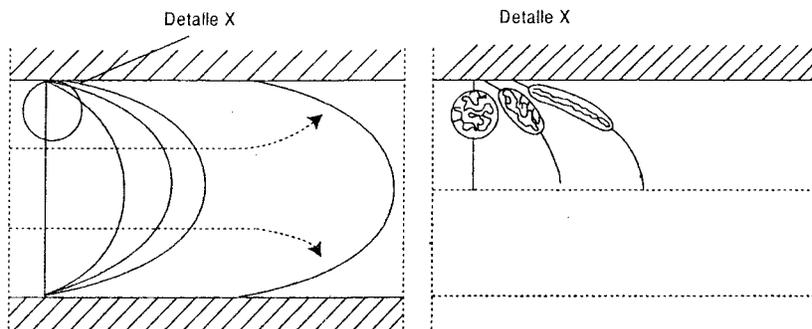


Figura 2.1.- Orientación de las cadenas durante el flujo de un polímero.

Cuando el polímero aún está fundido y el esfuerzo deja de aplicarse, las moléculas vuelven a recobrar su forma original (enredada), dándose el efecto de relajación. Sin embargo no se tiene el tiempo suficiente para regresar totalmente al estado original y quedan moléculas sin relajarse, lo que se conoce como tensiones congeladas.

El resultado de este efecto sobre el material es una diferencia en las propiedades de la pieza según su orientación. Se observa en la presencia de mayor resistencia en la dirección de flujo, ya que las fuerzas de enlace carbono-carbono son mayores que las otras. La figura 2.2 muestra dicho efecto.

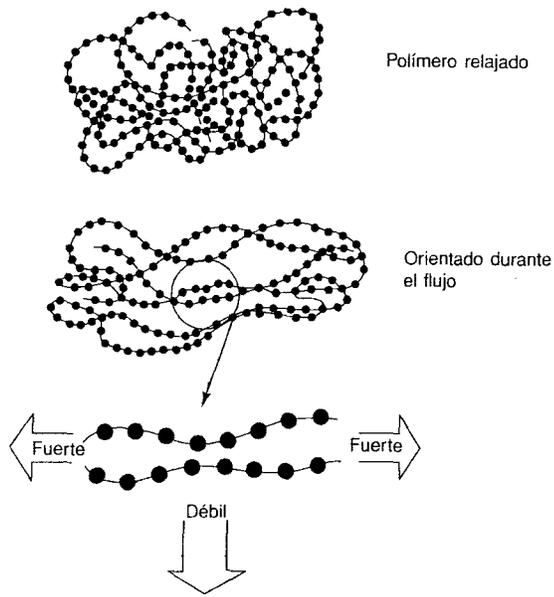


Figura 2.2.- Anisotropía provocada por la orientación de cadenas durante el flujo de los polímeros.

2.1.1-Efecto molde.

Si un material polímero es forzado a entrar al molde, este solidifica primeramente en las paredes del mismo. Esta solidificación ocurre sin orientar, ya que a pesar de que el flujo provoca cierta orientación, existe turbulencia en el fluido. Por otro lado, en el centro existe igualmente una desorientación, debida a que al ser la zona más alejada para que ocurra un enfriamiento, se tiene mas tiempo para que ocurra el fenómeno de la relajación. Esto conduce a que haya un gradiente de orientación en el espesor de la pieza como lo muestra la figura 2.3, y este varía con el tipo de material y las condiciones de proceso.

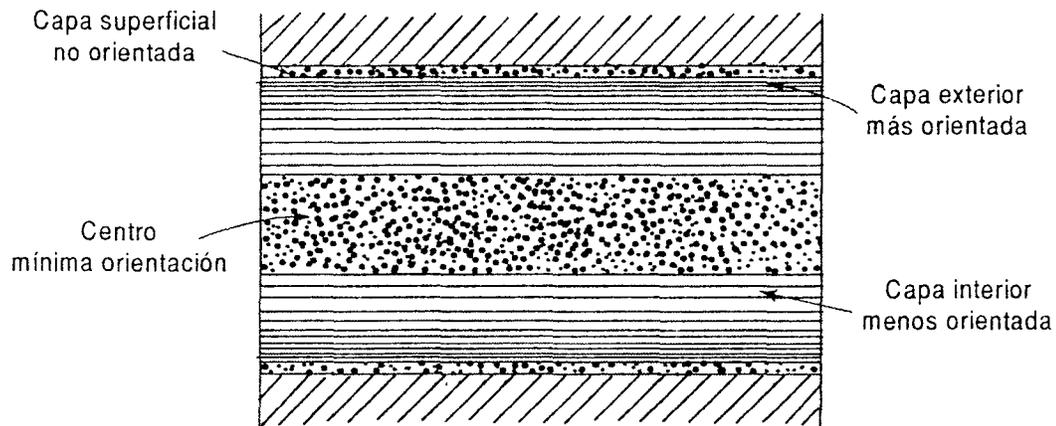


Figura 2.3.- Gradiente de orientación para una pieza de moldeo.

2.1.2.-Factores que influyen en la Orientación

Debido a que cualquier cosa que aumente la relajación reduce la orientación, se deben considerar las siguientes condiciones de operación:

- Las altas temperaturas en el material y en el molde disminuyen la orientación.
- La alta presión da origen a grandes esfuerzos y velocidades de corte, lo cual aumenta la orientación.
- A mayor tiempo de compactación, mayor es la orientación (ya que la presión del flujo provoca mas esfuerzos de corte, principalmente en la entrada del molde)
- El espesor de la pieza, ya que el centro se mantiene más tiempo caliente, lo que provoca relajación y menor orientación.

Para tener un mejor panorama del efecto de las variables del proceso, se muestra la tabla 2.1:

Tabla 2.1.- Factores que influyen en la orientación.

	ORIENTACION	ANISOTROPIA
TEMPERATURA		
<i>ALTA EN MATERIAL</i>	DISMINUYE	DISMINUYE
<i>ALTA EN MOLDE</i>	DISMINUYE	DISMINUYE
<i>ENFRIAMIENTO RAPIDO DE PIEZA</i>	AUMENTA	AUMENTA
PRESION		
<i>ALTA DE INYECCION</i>	AUMENTA	AUMENTA
<i>TIEMPO LARGO DE SOSTENIMIENTO</i>	AUMENTA	AUMENTA
GEOMETRIA		
<i>MAYOR ESPESOR DE PIEZA</i>	DISMINUYE	DISMINUYE
<i>ENTRADAS GRANDES</i>	AUMENTA	AUMENTA
OTROS		
<i>BAJA VELOCIDAD LLENADO</i>	AUMENTA	AUMENTA

2.1.3.-Efecto de la Orientación en las Propiedades.

Uno de los efectos inmediatos de la orientación se ve reflejado en la contracción del material. Como se mencionó anteriormente, en el proceso de inyección de la pieza ocurre una orientación de las cadenas de polímeros, cuando el flujo cesa, estas cadenas tienden a regresar a su forma original. Al hacerlo, el artículo se reducirá en longitud mayormente en la dirección del flujo, y aunque en mucho menor medida, en dirección perpendicular. Esta contracción diferencial (en tamaño), es causa del alabeo o distorsión.

El alabeo de una pieza por contracción puede ser provocado por diversos factores:

- Contracción diferencial.- como ya se mencionó anteriormente, las diferencias de contracción por efecto de la orientación, provocan que haya distorsión en la pieza, sobre todo si su geometría no es suficientemente rígida (figura 2.4).

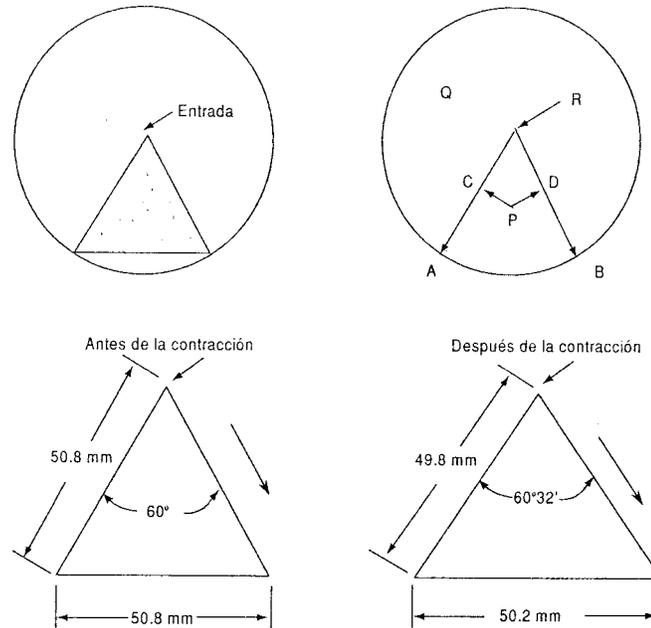


Figura 2.4.- Contracción diferencial a causa del efecto de alabeo en una pieza de moldeo circular.

- Diseño de la pieza.- Si en la pieza se tienen diversos espesores, la rapidez del enfriamiento será distinta para cada espesor, esto ocasionará que hayan diferentes densidades y orientaciones y por consiguiente grandes tensiones internas cuando la pieza se enfría.
- Diseño de Molde.- Si la entrada en el molde esta mal situada, provocará que haya una orientación no deseada y un enfriamiento no uniforme, lo cual es causa de alabeo.
- Condiciones de Moldeo.-Por ejemplo, si se tiene un mayor tiempo de enfriamiento, el alabeo disminuye ya que la pieza tendrá menos esfuerzos al extraerla, los cuales provocarían deformaciones.
- Materiales.- Los materiales cristalinos presentan mayor contracción que los materiales amorfos. Sin embargo, a mayor cristalinidad, mayor rigidez en la pieza, y por tanto menor alabeo. La tabla 2.2 muestra de forma resumida los factores a considerar para evitar el alabeo.

Tabla 2.2.- Factores a considerar para evitar el alabeo.

	ALABEO
TEMPERATURA	
Alta en material	Disminuye
Alta en molde	Disminuye
Enfriamiento uniforme de pieza	Disminuye
Enfriamiento lento en pieza	Disminuye
PRESION	
Alta en inyección	Aumenta
Largo tiempo de sostenimiento	Aumenta
GEOMETRIA	
Mayor espesor en pieza	Disminuye
Espesores no uniformes	Aumenta
Entradas grandes	Aumenta
OTROS	
Alta velocidad de llenado	Disminuye

Por otro lado, ya se mencionó la importancia de la orientación durante el moldeo en la pieza. Para tener un panorama general del efecto de la orientación en las propiedades de las piezas moldeadas, se tiene la tabla 2.3:

Tabla 2.3.- Orientación en las propiedades de las piezas moldeadas.

PROPIEDADES	DIRECCION PERPENDICULAR	DIRECCION LONGITUDINAL
Resistencia a la tensión	Disminuye	Aumenta
Resistencia a impacto con muesca	Disminuye	Aumenta
Resistencia a impacto por caída de peso	Disminuye	Disminuye
Resistencia a la flexión	Aumenta	Aumenta
fluencia	Disminuye	Disminuye

2.1.4.-Contracción térmica.

Como se mencionó anteriormente, la temperatura altera las cadenas de polímeros incrementando su movilidad y el volumen libre entre ellas. Cuanto mayor es la temperatura en la pieza y en el molde, mayor será la contracción en el material al enfriarse. Esto es porque la disminución de temperatura es lenta, lo cual provoca mayor movimiento molecular y por tanto aumenta la probabilidad de que haya más contracción. Este efecto de contracción es inevitable, sin embargo se pueden tomar en cuenta las variables del proceso que pueden evitar una contracción excesiva.

- Efecto de la Presión.-Cuando el molde se llena, la presión en el molde aumenta comprimiendo el material. Cuando la pieza se enfría disminuye su tamaño, sin embargo la presión de inyección mete más material al molde, lo cual compensa dicha reducción en el volumen. Debe tomarse en cuenta en este caso el tiempo de pospresión, mientras mas material entre en la cavidad, menor será la contracción.
- Efecto de la Temperatura.-Ya se ha mencionado que a mayor temperatura será mayor la contracción por el lento enfriamiento. Sin embargo, el aumento en la temperatura disminuye la viscosidad, lo cual permite una mayor presión para inyectar más material y así compensar la reducción de volumen. Entonces el efecto de la presión sobrepasa el efecto de la temperatura, disminuyendo la contracción.
- Efecto de la geometría del molde y de la pieza.- Un mayor espesor en la pieza da lugar a un lento enfriamiento en el interior de la pieza, y por ende, una mayor contracción. Por otro lado, es necesario determinar con cierta precaución el tamaño de la entrada y su ubicación para evitar una solidificación prematura en esta zona, ya que es importante para el efecto de la presión en la pieza.

La tabla 2.4, es un resumen de las condiciones que afectan a la contracción:

Tabla 2.4.- Condiciones que afectan la contracción.

	¿QUE SE DEBE HACER PARA DISMINUIR LA CONTRACCION?
TEMPERATURA	
<i>EN EL FUNDIDO</i>	AUMENTAR
<i>EN EL MOLDE</i>	DISMINUIR
PRESION	
<i>EN INYECCION</i>	AUMENTAR
<i>TIEMPO DE POSPRESION</i>	ALARGAR
GEOMETRIA	
<i>ESPESOR DE PAREDES</i>	DISMINUIR
<i>TAMAÑO DE ENTRADA</i>	AUMENTAR
OTROS	
<i>VELOCIDAD DE INYECCION</i>	AUMENTAR
<i>CICLO TOTAL</i>	ALARGAR

2.2.- Propiedades de flujo del material.

Cuando los materiales plásticos se procesan, son sometidos a una deformación para darle la forma deseada. Existe una parte de la ciencia llamada Reología, que además de la deformación, estudia las propiedades de flujo del material, tomando en cuenta la deformación, esfuerzo y tiempo como variables en el proceso.

Un ejemplo explícito de lo anterior es considerar dos placas paralelas (una móvil y una fija) separadas por una distancia (X), entre las cuales hay un flujo de viscosidad " η ". El sistema se encuentra en reposo en el tiempo 0, y la lamina superior, debido a una fuerza (F) se mueve a una velocidad (V) constante. Con el transcurrir del tiempo, se alcanza un perfil de velocidades como el que muestra la figura 2.5.

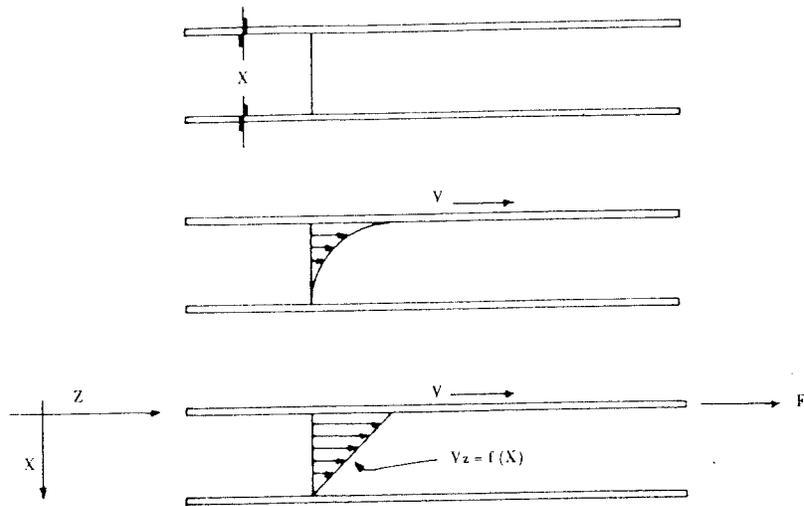


Figura 2.5. Perfil de velocidades de flujo plástico respecto al tiempo.

Lo anterior se considera un flujo laminar. Al ser necesaria una fuerza para conservar el movimiento a cierta velocidad, se tiene una relación entre dicha fuerza y el área donde esta es aplicada, llamada esfuerzo de corte (σ) (ecuación 2.1)

$$\sigma = \frac{F}{A} = \eta \frac{V}{X} \dots\dots\dots (2.1)$$

2.2.1.-Fluidos Newtonianos

Newton estableció una ley que describe el comportamiento de un fluido ideal. Esa ley, demostrada en la ecuación 2.2, establece que el esfuerzo de corte causado por la viscosidad de un fluido es proporcional a la velocidad de corte, o sea:

$$\sigma_{xz} = \eta \dot{\gamma} \dots\dots\dots (2.2)$$

Teniendo en cuenta que la velocidad del fluido (en dirección Z) varía debido a que la velocidad máxima ocurre junto con la placa móvil, y esta disminuye a través de la distancia X, entonces se tiene que este cambio de velocidades se representa como en la ecuación 2.3:

$$\sigma = \eta \frac{dV_z}{dX} \dots\dots\dots (2.3)$$

Expresando la derivada como el cambio de velocidad respecto a la dirección, tenemos la ecuación 2.4:

$$\frac{\Delta V^+}{\Delta X} = \frac{\Delta L / \Delta t}{\Delta X} = \frac{\Delta L / \Delta x^+}{\Delta t} = \frac{\dot{\gamma}}{\Delta t} = \dot{\gamma} \dots (2.4)$$

($\dot{\gamma}$ se conoce como gradiente de velocidades o velocidad de corte)

Sustituyendo la relación anterior en la ecuación 2.1, se llega a la ecuación 2.5, la ecuación de Newton:

$$\sigma_{xz} = \eta \dot{\gamma} \dots \dots \dots (2.5)$$

Para los fluidos llamados Newtonianos, la viscosidad es una constante independiente del tiempo y de los esfuerzos de corte, y solo depende de la temperatura.

2.2.2.-Fluidos no Newtonianos.

Estos fluidos pueden clasificarse en tres tipos:.

a.- Fluidos independientes del tiempo.

Son aquellos en los que la viscosidad es independiente del tiempo, pero dependiente de la velocidad de corte y temperatura. Para estos fluidos, se tiene la ecuación 2.6, llamada de la Ley de Potencia o de Ostwald de Waele, donde:

$$\sigma = K \left[\frac{dV_z}{dr} \right]^n = K \dot{\gamma}^n \dots \dots \dots (2.6)$$

Donde:

σ =esfuerzo de corte

$\dot{\gamma}$ = velocidad de corte

K= constante de la Ley de Potencia

N= índice de la Ley de Potencia.

Existen tres casos que se presentan en la variación de la viscosidad con la velocidad de corte:

- Cuando n=1, la Ley de Potencia se transforma en Ley de Newton de Viscosidad, donde $K = \eta$. Así se obtiene fluido newtoniano donde la viscosidad es constante respecto a la velocidad de corte.

- Si $n < 1$, el fluido es no newtoniano tipo pseudo plástico, donde la viscosidad disminuye al aumentar la velocidad de corte.
- Cuando $n > 1$ igualmente es no newtoniano, tipo dilatante donde la viscosidad aumenta al incrementar la velocidad de corte.

b.- Fluidos dependientes del tiempo.

Aquellos fluidos donde la viscosidad cambia con el tiempo cuando se le aplica un esfuerzo o deformación. Cuando los fluidos son tizo trópicos, la viscosidad disminuye con el tiempo con la aplicación constante del esfuerzo, mientras que en el caso de los fluidos reopéticos, la viscosidad aumenta con el tiempo al aplicar el esfuerzo.

c.- Fluidos Visco elásticos.

Se consideran una subclase de los fluidos dependientes del tiempo. Presentan un comportamiento intermedio entre un sólido elástico y un líquido viscoso. El comportamiento esfuerzo-deformación de un sólido elástico esta definido por la Ley de Hooke:

$$\text{Esfuerzo} = \text{Módulo} \times \text{Deformación}$$

Mientras el esfuerzo-deformación para un Líquido Viscoso está definido por la Ley de Newton de la viscosidad:

$$\text{Esfuerzo} = \text{Viscosidad} \times \text{velocidad de deformación}$$

El modelo que describe el comportamiento visco-elástico, es el de Maxwell (ecuación 2.7), y esta relaciona la disminución del módulo con el tiempo:

$$G = G_0^{(-t/\theta)} \dots\dots (2.7)$$

Donde:

G = módulo como función del tiempo.

G_0 = módulo inicial

t = tiempo

θ = tiempo de relajación, definido por viscosidad / módulo.

2.2.3.-Efecto de las condiciones de moldeo en el comportamiento de flujo de los materiales.

Las variaciones en la viscosidad debidas a cambios en la rapidez de flujo, pueden provocar problemas de densidad, llenado de molde no uniforme, distorsión de pieza, etc. durante el procesamiento del material.

a.-Relación de la viscosidad y el flujo.

El flujo de los materiales plásticos depende del deslizamiento que haya entre las cadenas moleculares y de las fuerzas que mantienen las moléculas unidas.

Según la teoría del Volumen Libre, la cual considera a los polímeros como unos sólidos en desorden, en donde hay áreas no ocupadas llamadas Volumen Libre, entonces tenemos que al aumentar la presión, se reduce el Volumen Libre existente, y aumenta la viscosidad que es dependiente de la distancia entre moléculas.

La viscosidad, además depende de la temperatura. Si se tiene un aumento de esta, existe mayor separación molecular, por consiguiente se tiene una disminución de las fuerzas intermoleculares y por tanto una menor viscosidad. Esta relación puede expresarse por la ecuación 2.8, de Arrhenius:

$$\eta = Ae^{(E/RT)} \dots\dots (2.8)$$

Donde:

η = Viscosidad

A = constante que depende del material

R = constante universal de los gases

T = temperatura

E Energía de activación para material viscoso

Lo anterior es de gran importancia para el moldeo por inyección. Debido a ello se tienen graficas con pendientes donde se observa el efecto de la temperatura sobre la viscosidad (figura 2.6) o de la velocidad de corte sobre la misma (figura 2.7).

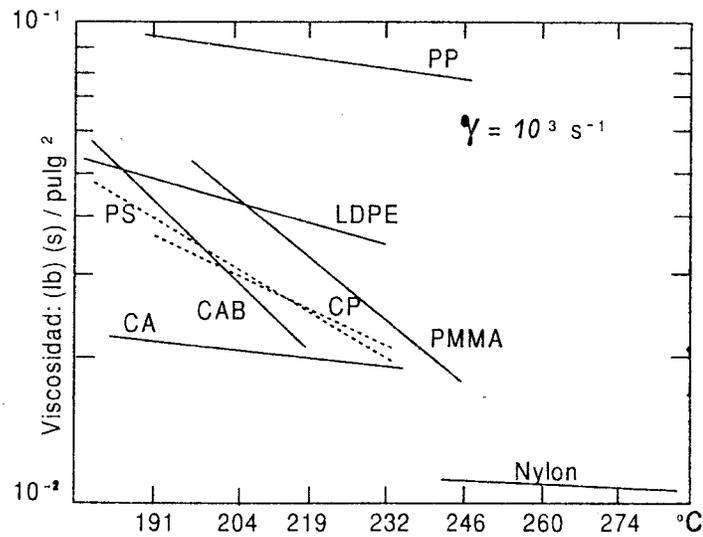


Figura 2.6.-Efecto de la temperatura sobre la viscosidad a velocidad de corte constante.

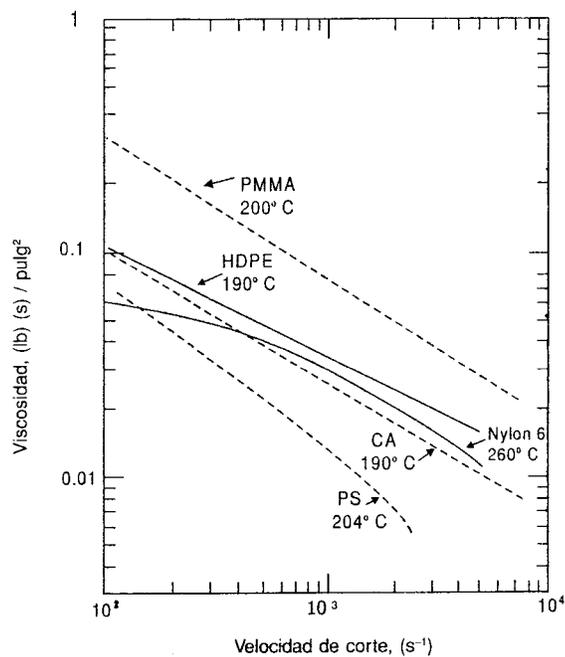


Figura 2.7.- Efecto de la velocidad de corte sobre la viscosidad.

Entonces, de acuerdo a la figura 2.6, si por ejemplo se tiene un problema en el llenado de molde de una pieza de nylon, el subir la temperatura tendría poco efecto. En cambio sería muy útil aumentar la presión o el tamaño de entrada. En cambio para un material muy sensible a la temperatura (como el PMMA- polimetil metacrilato), sería mejor ajustar la temperatura.

Por otra parte, si el aumento de temperatura para disminuir la viscosidad se ve limitado por la energía de activación del flujo o por la temperatura de degradación del material, se tiene la posibilidad de incrementar la velocidad de corte, como lo muestra la gráfica de la figura 2.7.

Esta posibilidad se ve limitada por la capacidad de la máquina y por la degradación que puede sufrir el material.

Para aumentar la velocidad de corte, se pueden usar entradas estrechas y cortas, que además beneficia evitando el retroceso del material fundido a los canales de alimentación, y la rápida solidificación de la pieza.

2.2.4.- Llenado de Molde.

El flujo volumétrico de los fluidos Newtonianos se calcula con la ecuación 2.9, llamada de Hagen y Poiseuille:

$$Q = \frac{\pi r^4 \Delta P}{8L\eta} \dots\dots\dots (2.9)$$

Donde:

Q = Flujo Volumétrico

R = radio en el tubo

L = longitud del tubo

ΔP = Caída de presión

H = Viscosidad

Considerando que L y r para un molde dado son constantes, se tiene la ecuación 2.10:

$$Q = A \frac{\Delta P}{\eta} \dots (2.10)$$

Donde A se calcula con la ecuación 2.11:

$$A = \left(\frac{\pi}{8}\right)\left(\frac{r^4}{L}\right) \dots\dots (2.11)$$

y representa las dimensiones de entrada.

Si se despeja la viscosidad de la ecuación 2.9, tenemos la ecuación 2.12:

$$\eta = \frac{r^4 \pi \Delta P}{8 L Q} = \frac{r \Delta P / 2 L}{4 Q / \pi r^3} = \frac{\sigma}{\dot{\gamma}} \dots\dots (2.12)$$

Entonces la velocidad de corte y la viscosidad son afectadas por el cambio de radio.

2.2.5.-Ciclo de Presión en la Cavidad

El llenado de molde se realiza a baja presión. A medida que la cavidad se llena, esta aumenta hasta un máximo, donde inicia el tiempo de compactación (tiempo de sostenimiento y pospresión) y mas material es forzado para compensar la contracción térmica. Si la entrada del molde no ha solidificado al retirar el pistón de inyección, ocurre un retroceso de material fundido hacia los canales de alimentación. Si ya ha solidificado, la pieza se enfría y contrae en dentro del molde, esto permite la disminución de presión. Al cesar la presión, el molde se abre y la pieza se eyecta. La figura 2.8 muestra el ciclo de presión en la cavidad del molde.

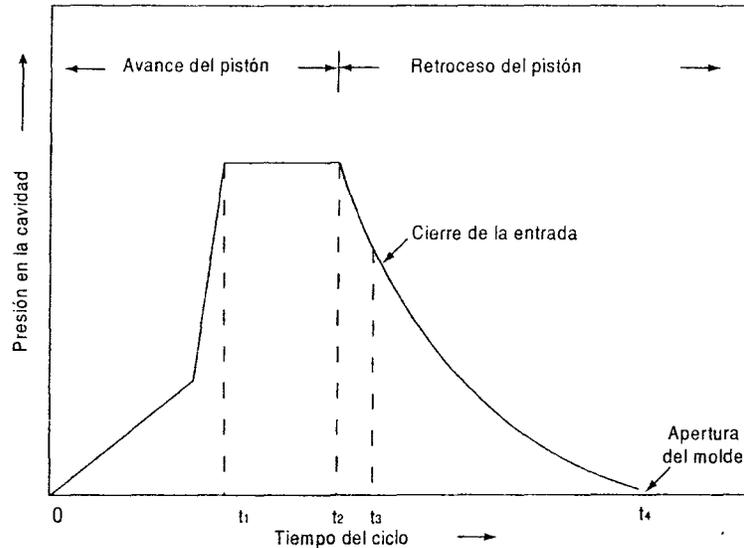


Figura 2.8.-Ciclo de presión en la cavidad del molde.

De lo anterior, se pueden mencionar los principales factores que influyen en la cantidad de una pieza moldeada.

- La velocidad a la cual se llena el molde. Cuanto mas rápido sea el llenado, menor será el tiempo que tendrá el material para enfriarse, y por tanto la viscosidad no aumentará.
- La presión de inyección, que determina la cantidad del material añadido al molde y el tiempo de compactación que añade más material para compensar la contracción. Si este tiempo rebasa al tiempo ideal, se tienen dificultades en la expulsión de la pieza. La presión necesaria para llenar el molde se ve afectada por dos factores. La geometría del molde, que depende del recorrido en la cavidad, anchura, espesor y dimensiones de la entrada y canales de alimentación; y la viscosidad del material, donde intervienen los parámetros del material (ejemplo el peso molecular) y las variables del proceso (ejemplo la temperatura).
- El tiempo de cierre de la entrada, ya que al cerrarlo prematuramente, no se puede completar la pieza, pero si se hace muy tarde, se debe prolongar la presión de sostenimiento para evitar una excesiva descarga de material a los canales.

La contracción (dimensiones de las piezas terminadas), alabamiento, orientación, extracción de piezas y los esfuerzos congelados, son función de la cantidad de material en la cavidad.

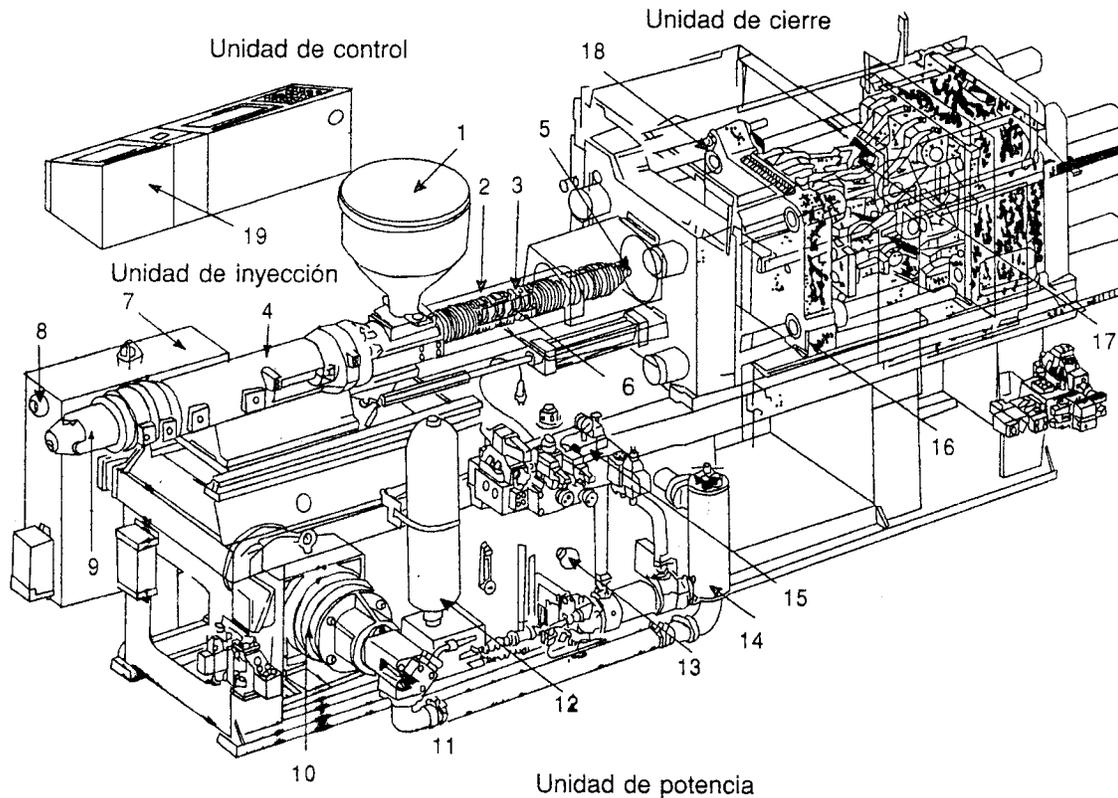
CAPITULO 3

MAQUINARIA EN INYECCION DE PLASTICOS.

3.1.-Componentes.

Dentro de las máquinas inyectoras pueden identificarse diferentes partes fundamentales (figura 3.1), de las cuales las que tienen mayor importancia son:

- Unidad de cierre.- Esta comprende las partes necesarias en la colocación, accionamiento y funcionamiento de las 2 mitades del molde.
- Unidad de inyección.-Son las partes necesarias en la carga, fusión e inyección de plástico.
- Unidad de potencia.-Todos aquellos dispositivos utilizados en la transformación y suministro de la fuerza motriz en las unidades de cierre e inyección.
- Unidad de control.-Es la parte de la máquina que permite realizar el proceso de lo forma como se pretende, y poder variarla a voluntad. Esta unidad esta ligada directamente a las tres anteriores.



- | | |
|--|---|
| 1.-Tolva alimentadora | 11.- Bomba hidráulica |
| 2.- Cubierta de barril | 12.- Acumulador |
| 3.- Barril con bandas calefactores | 13.- Sensor de temperatura de aceite |
| 4.- Cilindro de inyección | 14.- Filtro |
| 5.- Boquilla | 15.-Válvula hidráulica de control |
| 6.- Tornillo | 16.-Platinas porta molde |
| 7.- Controlador de temperatura de aceite | 17.-Sistema d cierre con palancas acodadas |
| 8.- Alarma de temperatura de aceite | 18.- Columnas guía |
| 9.- Motor hidráulico | 19.- Microprocesador para control del proceso |
| 10.- Motor eléctrico | |

Figura 3.1. Partes de una máquina de inyección de plásticos.

Dentro de una máquina inyectora, las unidades más importantes para el proceso son la unidad de cierre y la unidad de inyección. Por eso, a continuación se profundiza un poco más en ellas.

3.1.1.-Unidad de inyección.

Como se mencionó anteriormente, la unidad de inyección carga y plastifica el material sólido mediante el giro del tornillo; mientras que con el movimiento axial de este, se inyecta el material plastificado hacia el molde y lo mantiene a presión hasta ser eyectado.

La unidad de inyección consta de un cilindro o barril de acero que soporta altas presiones, va cubierto de bandas calefactoras que funden el material al avanzar éste por el tornillo.

Dentro del cilindro se encuentra el tornillo de acero pulido o cromado para facilitar el movimiento del material en su superficie. Este elemento recibe el plástico, lo funde, lo mezcla y lo inyecta en le molde. Existen tres tipos de unidades de inyección: de pistón de una fase, de dos fases pistón-tornillo y unidades en línea con tornillo alternativo. Este último es el más común actualmente ya que alterna las funciones de giro e inyección. La figura 3.2 muestra las partes de una unidad de inyección de tornillo alternativo.

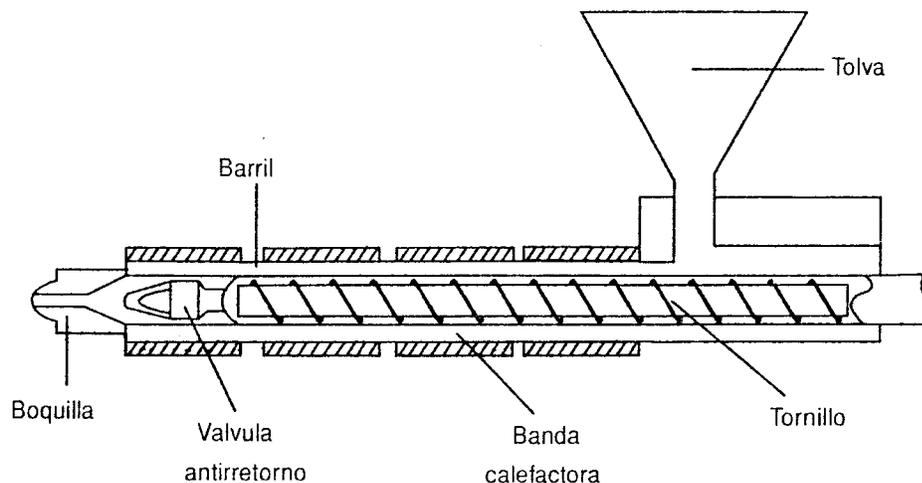
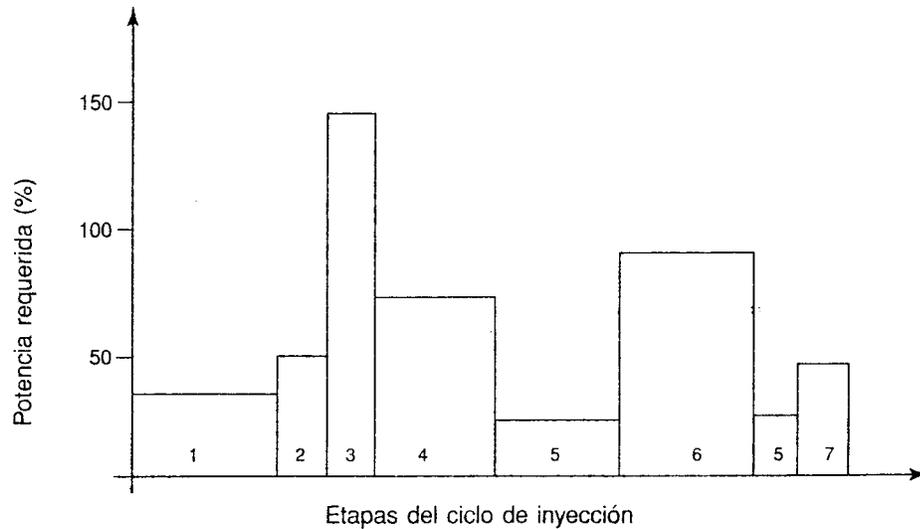


Figura 3.2. Unidad de inyección con tornillo alternativo.

En el proceso de inyección, se requiere gran cantidad de energía; esta se obtiene en su mayoría de un motor. Si se analiza la demanda de potencia en cada una de las partes del ciclo, se tiene que en el movimiento de cierre, se necesita solo una pequeña potencia, sin embargo al final de este movimiento, debe aplicarse una gran fuerza rápidamente para mantener cerradas las mitades del molde. En cuanto a la etapa de inyección, es necesaria

una potencia máxima por un tiempo corto. En cuanto al movimiento de la unidad de inyección y apertura del molde, la potencia requerida es reducida. La figura 3.3 muestra un gráfico del consumo de potencia en las etapas de inyección.



Etapas el ciclo de Inyección

1.- Cierre

2.- Acercamiento de la unidad de inyección

3.- Inyección

4.- Aplicación de la presión de sostenimiento

5.- Pausa

6.- Plastificación para la siguiente inyección.

7.- Apertura

Figura 3.3. Consumo de potencia en las etapas de un ciclo de inyección.

Actualmente se utilizan principalmente dos formas de suministro de potencia para la unidad de inyección: eléctrica e hidráulica. A partir de estos se basan los sistemas de motor eléctrico con unidad reductora de engranes, motor hidráulico con unidad reductora de engranes y un sistema hidráulico directo.

- **Potencia eléctrica.**-Se usa en máquinas pequeñas. El sistema de potencia eléctrico se emplea en el giro del tornillo, apertura y cierre del molde y en la unidad de cierre. La maquina consta de dos sistemas mecánicos, uno para cierre y otro para inyección, estos sistemas son a base de engranes y palancas acodadas. Cada uno de ellos es accionado por un motor eléctrico independiente; de esta forma, la rotación de uno de los motores en un sentido acciona el cierre del molde y aplica una alta fuerza y si se invierte el giro del motor se abre el molde. Por otra parte, para el otro

motor se accionan los engranes que suministra la potencia para la rotación del tornillo. La figura 3.4 muestra un sistema de potencia eléctrico típico.

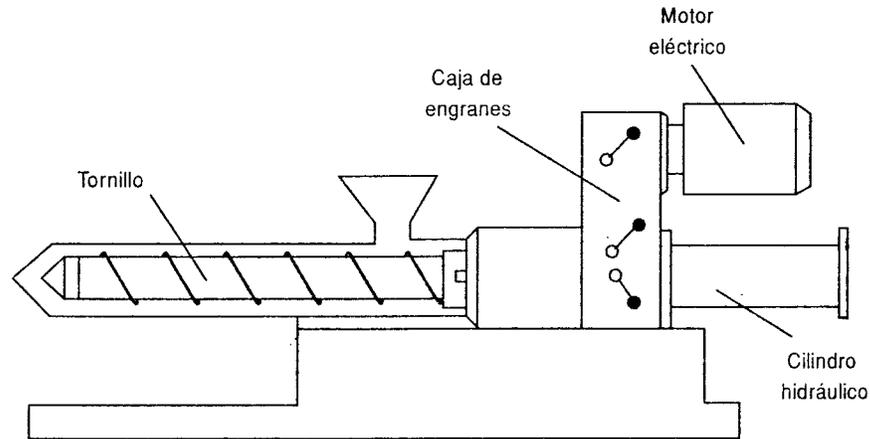


Figura 3.4. Sistema de potencia eléctrico para rotación de tornillo

- Potencia hidráulica.-Son los más utilizados y se basan en la transformación de la energía de un fluido (agua, aire o aceite) en potencia mecánica. A diferencia de las máquinas electromecánicas que utilizan engranajes, en las máquinas hidráulicas estos se sustituyen por tuberías de conducción que llevan el fluido a presión a los pistones de inyección y cierre del molde. El hecho de que sean más recurrentes este tipo de motores hidráulicos respecto a los eléctricos radica en sus muchas ventajas, entre las cuales están:
 1. Permite variar las velocidades al controlar el volumen del fluido.
 2. Existen bajas relaciones peso-potencia, lo cual favorece a la velocidad de inyección del material.
 3. Pueden ocurrir inicios y paros rápidos debidos al pequeño momento de inercia.
 4. Existe una relación muy próxima a la lineal entre torque-velocidad.

La figura 3.5 muestra un diseño de potencia hidráulica.

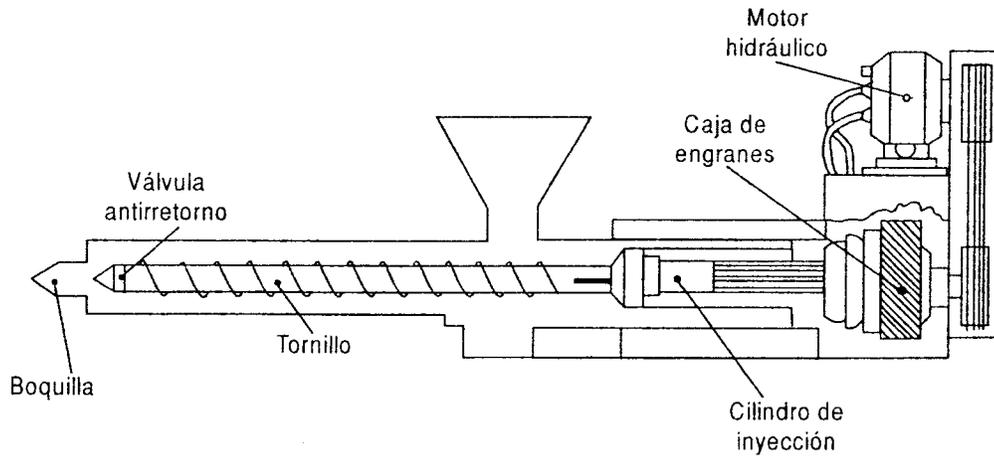


Figura 3.5. Sistema de potencia hidráulico para rotación de tornillo.

3.1.2.-Unidad de cierre.

Se compone de columnas guías, platinas porta moldes fijas y móviles y también un mecanismo de apertura y cierre de molde, como lo muestra la figura 3.6. Su función es la de sujetar el molde de inyección y además dar movimiento y fuerza para mantener abiertas y cerradas las mitades del molde.

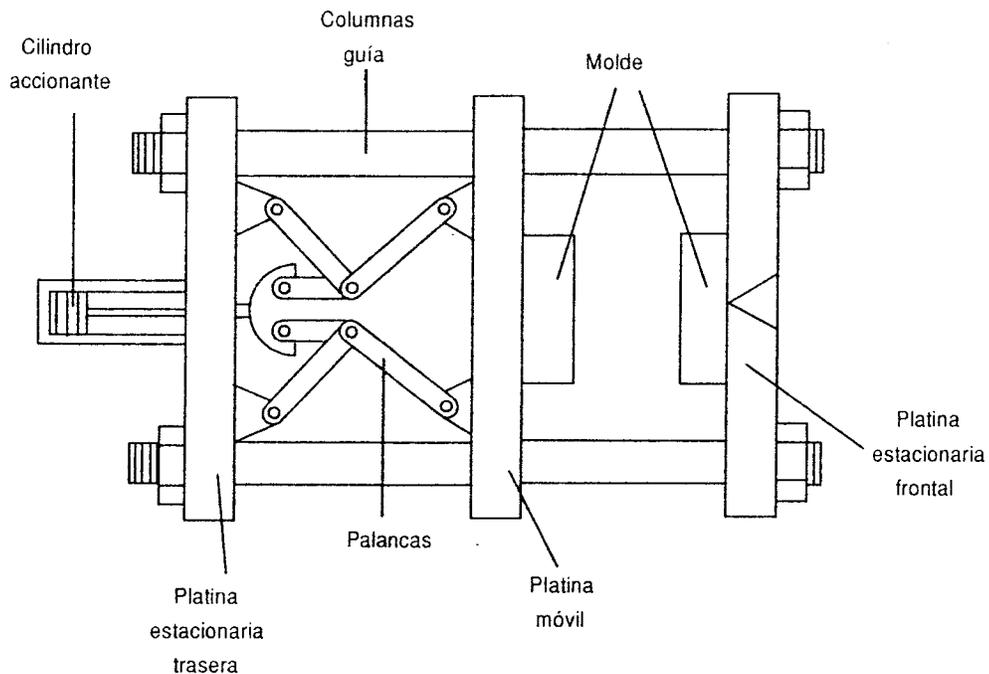


Figura 3.6. Partes fundamentales en una unidad de cierre.

A continuación se tiene una pequeña descripción de los elementos antes mencionados:

- Platinas estacionarias frontal y trasera.- La platina estacionaria frontal esta sujeta a la base de la máquina y conecta la unidad de inyección y también la unidad de cierre. Este elemento soporta la mitad fija del molde.
Por otra parte, la platina trasera soporta el mecanismo de cierre y por otra parte es el elemento sobre el cual se ejerce la fuerza de cierre en el molde.
- Platina móvil.-Este elemento soporta la otra mitad del molde y es móvil. Su movimiento es axial sobre las columnas guía, esto permite la apertura y cierre del molde.
- Mecanismo de cierre.- Se puede utilizar un sistema mecánico con palancas acodadas o un sistema hidráulico. La diferencia entre los dos sistemas radica en la efectividad de transmisión de fuerzas en el cierre del molde.

1. Mecanismo de palancas acodadas.- La fuerza de cierre se obtiene de un sistema de palancas articuladas, accionadas a su vez por un sistema de engranes o de forma hidráulica. El sistema consta de un cilindro hidráulico con un pistón unido a las barras primarias del sistema articulado. El movimiento de adelanto en el pistón provoca el cierre del molde a través de las barras de articulación. Como regularmente se usan cilindros hidráulicos pequeños, se obtienen altas velocidades en el movimiento de aproximación en la carrera de cierre del molde. Después, al final del movimiento de cierre, la velocidad reduce y el plato móvil desacelera, lo cual disminuye el choque al unirse las mitades del molde. Las ventajas de este sistema son que son mas económicos, además que el sistema de palancas multiplican la fuerza suministrada, lo cual asegura la fuerza de cierre una vez extendidas las palancas. Sin embargo las desventajas radican en la falta de indicador de fuerza, corriendo el riesgo de aplicar mayores fuerzas que puedan dañar el molde; además resulta difícil controlar las velocidades y fuerzas de arranque y paro. Otras desventajas son un mantenimiento mayor debido al desgaste y una variación de las fuerzas al

variar la temperatura del molde. La figura 3.7 muestra las partes que conforman un sistema de cierre a base de palancas acodadas.

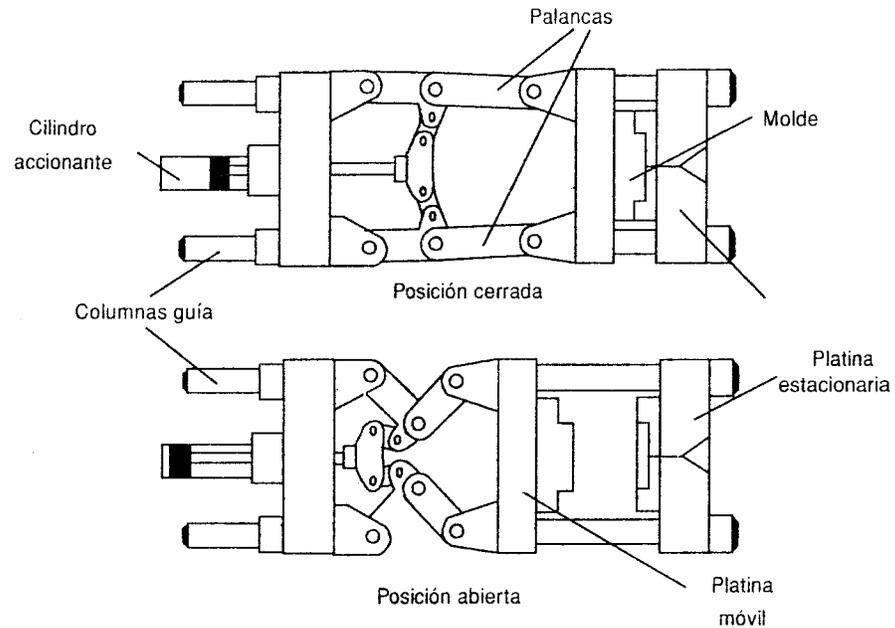


Figura 3.7. Sistema de cierre mecánico-hidráulico a base de palancas acodadas.

2. Mecanismo Hidráulico.-Se utiliza un cilindro hidráulico para ejercer la fuerza de cierre y apertura. El cierre es realizado por cilindros pequeños de alta velocidad, conectados directamente a la bomba hidráulica. La figura 3.8 nos indica un sistema hidráulico de cierre.

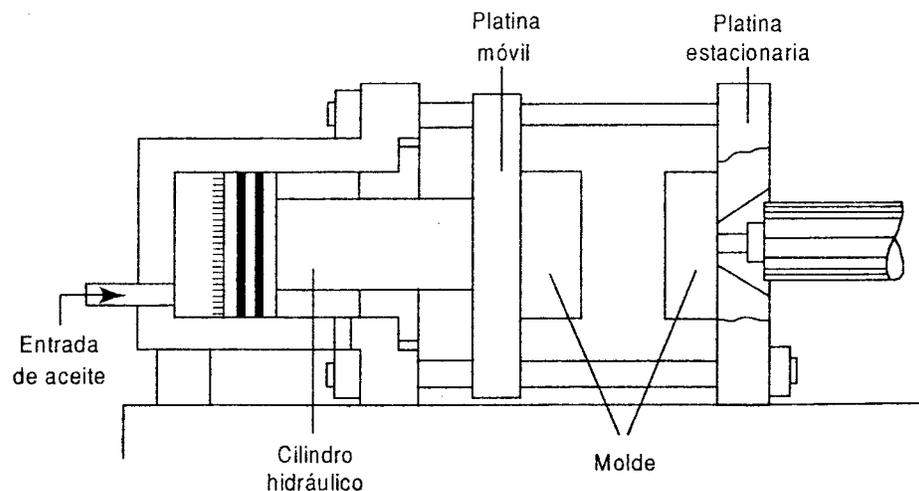


Figura 3.8. Sistema de cierre hidráulico.

3.2.-Tipos de Máquinas de inyección.

3.2.1.-Máquinas con tornillo alternativo.

Este tipo de máquinas realizan la fusión e inyección del material mediante el tornillo alternativo; y se llama alternativo por que hace esta función entre la plastificación y la inyección del material fundido. El movimiento de giro del tornillo transporta el material hacia adelante mientras va fundiendo; cuando se tiene el volumen necesario para fabricar la pieza, deja de girar y se mueve axialmente hacia delante actuando como un pistón. Existen muchas ventajas al usar este sistema, por ejemplo, se tiene control de la temperatura y de la cantidad de material a inyectar, el material funde rápidamente, se tiene un fundido más homogéneo entre otras. La figura 3.9 nos muestra un sistema de este tipo.

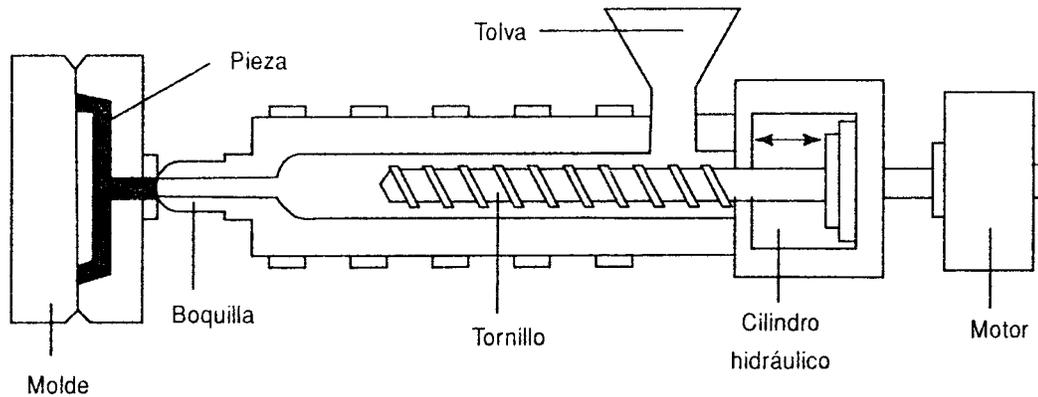


Figura 3.9. Sistema de inyección con tornillo alternativo.

3.2.2.-Máquinas de inyección con pistón.

Este sistema consta de un cilindro que se llena con material plástico, el cual funde mediante bandas calefactores con resistencias localizadas alrededor del cilindro. Después el material es forzado a través de un distribuidor mediante el movimiento axial de un pistón, de esta forma el material es inyectado en el molde. Este sistema no se utiliza actualmente debido a que el flujo en el cilindro es laminar, lo cual no permite homogeneizar el material.

3.2.3.-Máquinas con sistema de pre-plastificación.

Para este tipo de máquinas, se encuentran de forma independiente el calentamiento del material y el desarrollo de la presión para llenado del molde. La primera etapa es el

calentamiento del material a temperatura de moldeo, después se pasa al receptáculo donde el plástico es forzado a entrar el molde.

Debido a la independencia que existe entre cada una de las etapas, se puede tener el control de las variables que actúan en cada paso como la temperatura, presión y volumen de inyección.

Una de las características en este tipo de máquinas es las grandes velocidades de inyección del material, esto debido a que es más fácil desplazar fundido en comparación con el polímero granulado. Las formas más comunes de realizar la pre-plastificación son a base de un pistón o con tornillo.

- Pre-plastificación con pistón.-El material se funde en un cilindro de plastificación, después se transporta con el movimiento de un pistón a otra cámara con otro pistón, donde se acumula el plástico hasta tener la cantidad requerida; después se desconectan ambas cámaras a través de una válvula giratoria y se conecta la última con el molde para así poder realizar la inyección. Entre las principales ventajas de este proceso se encuentran la homogeneidad en el fundido y el control directo del peso inyectado y la velocidad de inyección; sin embargo este proceso puede afectar las propiedades de algunos materiales sensibles térmicamente como el PVC. La figura 3.10 muestra un sistema de pre-plastificación con pistón.

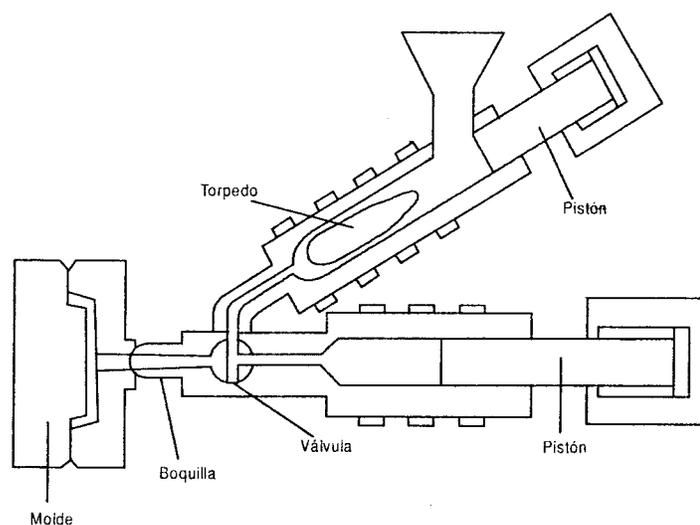


Figura 3.10. Sistema de pre-plastificación con pistón.

- Pre-plastificación con tornillo.-Se utiliza un tornillo giratorio para transportar y calentar el material plástico. La turbulencia creada por el giro del tornillo beneficia en la transferencia del calor desde el cilindro, además de permitir una mayor homogeneidad. Por otra parte, el material puede ser alimentado en forma de gránulos, polvos o cinta según el diseño del tornillo. Las principales ventajas que se tienen al usar este sistema son un control preciso de la temperatura, rápida fusión del material, mayores velocidades de inyección y mezclas más homogéneas. La figura 3.11 es un esquema representativo de un sistema de pre plastificación de este tipo.

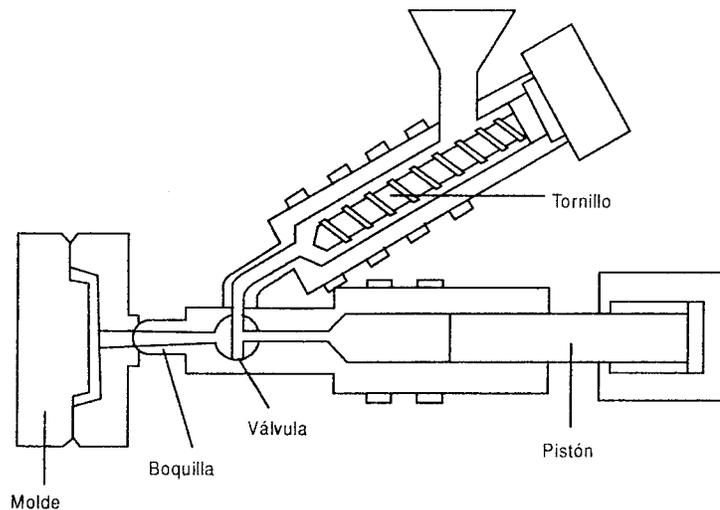


Figura 3.11. Sistema de pre-plastificación con tornillo.

3.2.4.-Máquinas de inyección multicolor.

Este tipo de máquinas son especiales, y actualmente son de gran importancia en el mercado debido a la gama de productos que se fabrican con estas características, como por ejemplo las micas traseras del sistema de iluminación de los automóviles. Existen dos categorías para este tipo de maquinarias:

- Diseño horizontal.-tienen arreglos de dos o tres unidades de inyección paralelas con el eje. Estas máquinas se forman a partir de unidades adaptadas de máquinas convencionales con sistemas de accionamiento de tornillo, se tiene una alimentación y calentamiento independiente para cada unidad, pudiendo o no ser del mismo tamaño. Una de las características importantes en estas máquinas es el movimiento rotatorio del

molde, a diferencia del movimiento axial en las máquinas convencionales. La figura 3.12 muestra una máquina de este tipo.

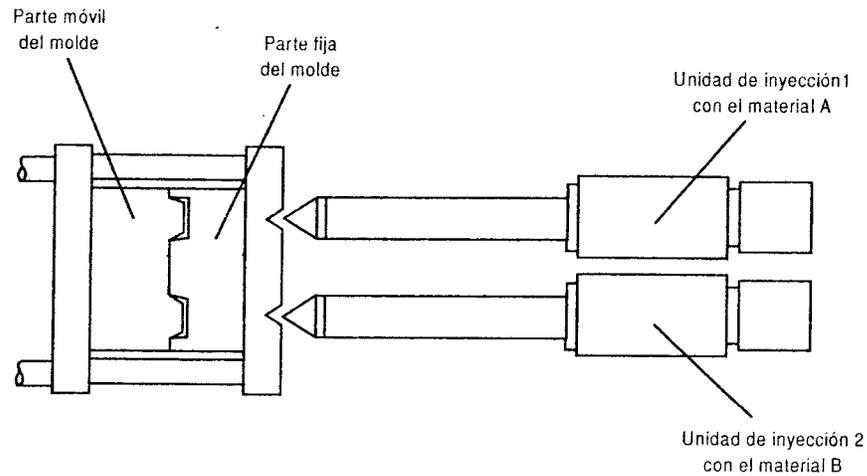


Figura 3.12. Máquina de inyección multicolor de diseño horizontal.

- Diseño vertical.-Se tiene una unidad de cierre central con operación vertical, con tres o más unidades de inyección a su alrededor. La parte superior del molde gira alrededor del eje vertical moviendo el producto moldeado en cada una de las etapas de inyección. La figura 3.13 presenta un diseño de este tipo.

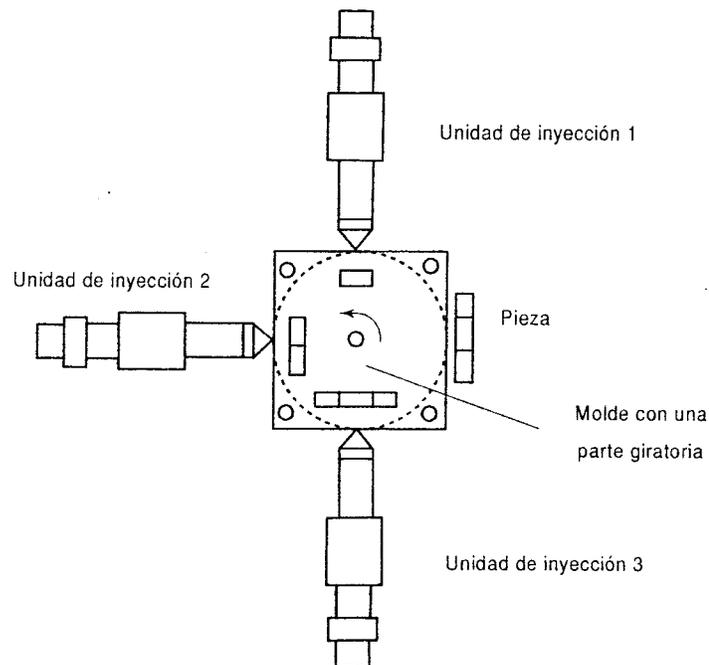


Figura 3.13. Máquina de inyección multicolor de diseño vertical.

3.2.5.-Máquinas Giratorias.

Durante el moldeo por inyección de plástico, el tiempo de enfriamiento representa una gran parte del tiempo total del ciclo. Por otra parte, los movimientos restantes de la máquina no pueden realizarse si no hasta que se ha terminado el enfriamiento en el molde.

Si se desea tener un aumento de producción, es necesario reducir el tiempo del ciclo. Esto se logra si son empleados varios moldes, situados en una unidad giratoria. Cada uno de los moldes se coloca frente a la unidad de inyección para realizar el llenado de molde y posteriormente gira para llenar el siguiente mientras el primero se continúa enfriando.

Cabe señalar que en este proceso se debe tener una unidad de inyección de alta capacidad de plastificación, además se debe emplear un mismo material y con un mismo color. La figura 3.14 muestra una máquina de inyección giratoria.

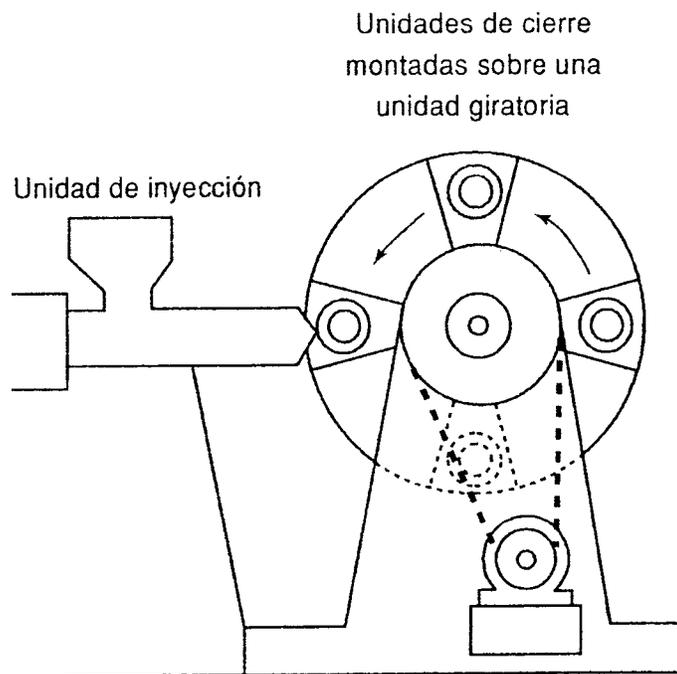


Figura 3.14. Máquina de inyección giratoria.

3.2.6.-Máquinas para inyección de espumas rígidas.

Son utilizadas normalmente para elaborar materiales de alta rigidez; el incremento de esta propiedad se logra con una técnica que involucra la expansión del material fundido mediante el uso de gases disueltos o gases producidos por la descomposición de un reactivo químico a temperatura de fusión.

Conforme se completa la inyección del material, se cierra la válvula de la boquilla de inyección, esto permite que la presión del gas al expandirse llene todo el molde. Así se pueden tener bajas presiones en el molde permitiendo moldear piezas de mayor área y con menores fuerzas de cierre, requiriendo moldes más ligeros y económicos; además para este tipo de maquinaria, no es necesaria una fuerza de sostenimiento. Un ejemplo de este tipo de maquinaria se presenta en la figura 3.15.

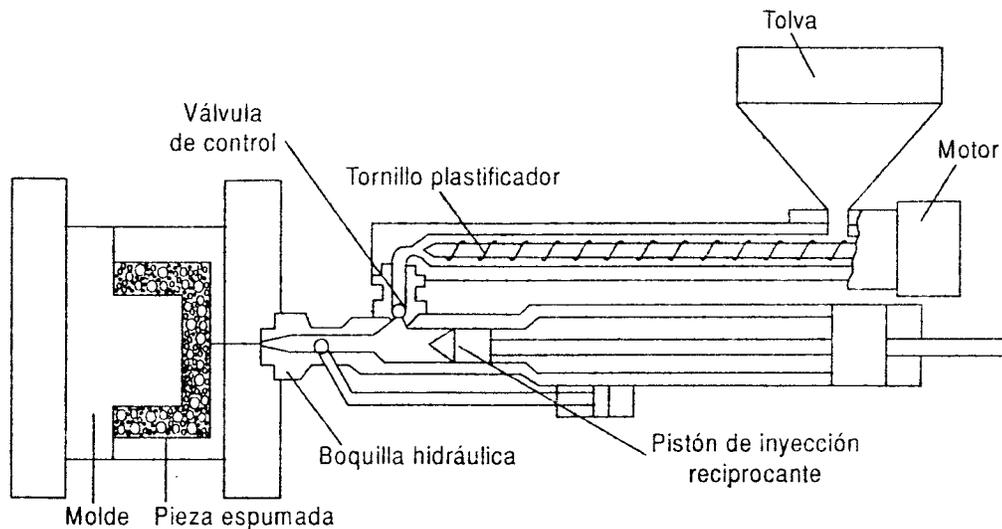


Figura 3.15. Máquina de inyección de espumas rígidas.

3.2.7.-Máquinas de co-inyección

Esta técnica es llamada “sándwich”, los productos obtenidos son de una capa exterior compacta y un núcleo espumado; debido a ello son necesarias más de dos unidades de inyección. Para poder realizar este proceso, es necesaria una válvula especial que permite co-inyectar concéntrica mente las diferentes corrientes del fundido.

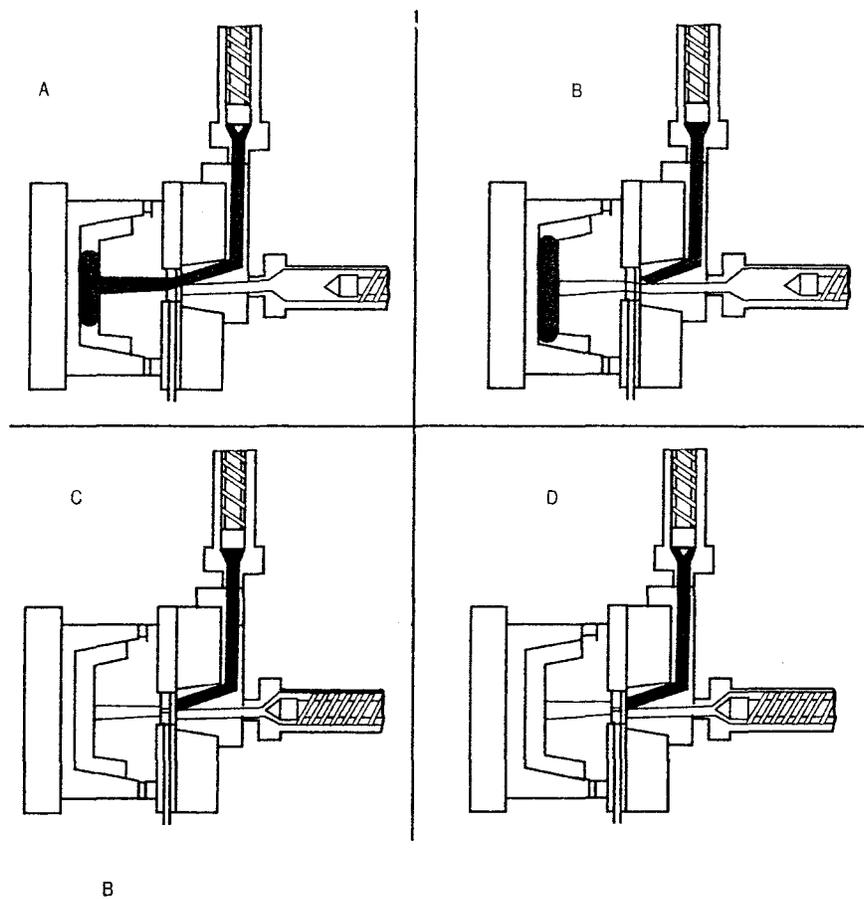


Figura 3.16. Proceso de co-inyección.

La figura 3.16 muestra las etapas para este proceso; para la parte A el molde se encuentra cerrado y el tornillo de la primera unidad inyectora material a través de una válvula giratoria. Posteriormente la válvula bloquea el paso de la primera unidad de inyección y permite el paso de la masa acumulada expandible en la segunda mitad hacia el molde. La segunda corriente comprime el material anterior hasta colocarlo sobre toda la cavidad como la capa exterior. En este mismo paso, la cavidad se llena totalmente a presión y para el inciso C la válvula abre otra vez para que la primera unidad inyectora ponga el resto del material para cerrar la capa exterior y cubrir totalmente el núcleo espumado. Por último la válvula bloquea el paso de ambas unidades mientras actúa una fuerza de cierre en el molde. Pasado un breve tiempo se abre el molde y se obtiene una estructura uniforme de “sándwich” debido a la expansión gaseosa del núcleo dentro de la capa exterior de material.

3.2.8.-Máquinas de inyección reactiva (RIM)

Para este tipo de máquinas se utilizan resinas líquidas reactivas en lugar de polímeros fundidos. En este proceso se mezclan dos o más líquidos a alta presión, los cuales reaccionan espontáneamente para después ser inyectados a menor presión.

Por otro lado, en lugar de extrusores se utiliza un sistema de almacenaje y dispersión, de esta forma se obtienen grandes producciones de piezas gruesas y robustas. Otras ventajas obtenidas de este proceso es el uso de menos energía ya que los componentes líquidos se inyectan a temperaturas bajas, además se requieren menores fuerzas de cierre debido a la expansión de los agentes espumantes dentro del molde. Sin embargo para poder extraer la pieza, se requieren sofisticados dispositivos debido a que los materiales suelen pegarse al molde. La figura 3.17 muestra el proceso de moldeo de este tipo.

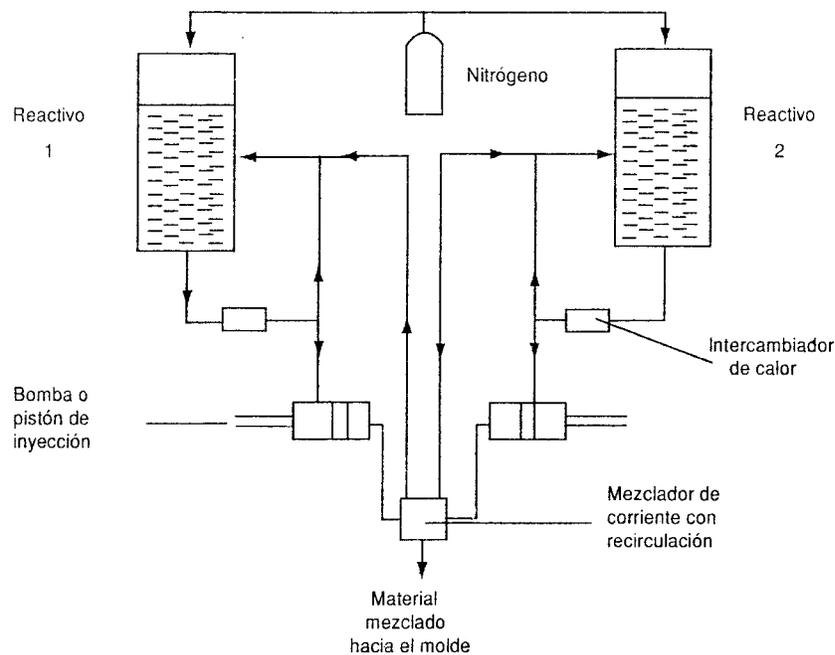


Figura 3.17. Proceso de inyección reactiva (RIM)

3.2.9.- Diferentes arreglos de las unidades de las Máquinas de Inyección.

En una máquina inyectora se tienen diversos arreglos en sus unidades de cierre y de inyección; los principales acomodados se presentan a continuación.

- Inyección y cierre horizontal.-Es lo mas común y a pesar de ocupar mayor espacio, se tienen algunas ventajas como:
 1. Altura adecuada para el montaje y ajuste de partes de la máquina, para llenado de la tolva y mantenimiento de moldes.
 2. Fácil extracción de piezas debido a la gravedad al ser las caras del molde verticales.
 3. No hay derrames de aceite sobre el molde o el tornillo de inyección.

Sin embargo, para evitar el desgaste de las partes móviles de las máquinas, es necesario poner cojinetes o guías en dichas partes. Un ejemplo de este tipo de maquinaria es la mostrada en la figura 3.1 de este capítulo.

- Cierre horizontal con inyección vertical.-Se emplean para moldes de inyección central o lateral, de una o varias cavidades. Ocupan menos espacio que las horizontales, sin embargo no tienen mucha popularidad.
- Cierre e inyección vertical.- Necesitan poco espacio en el suelo, sin embargo son de gran altura. Tienen la ventaja para inyección de piezas con inserciones, sin embargo se necesitan dispositivos adicionales para extraer las piezas. La figura 3.18 muestra una máquina de este tipo.

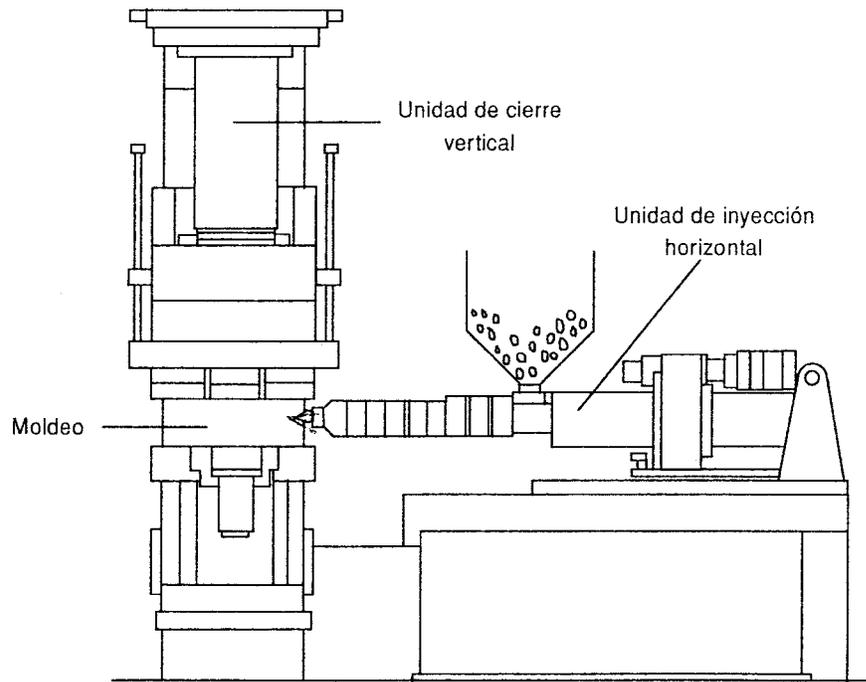


Figura 3.18. Máquina de inyección horizontal y cierre vertical.

- Cierre vertical e inyección horizontal.- Es de gran uso para inserciones metálicas. Utiliza poco espacio en el suelo pero necesita más altura en la nave. Otra característica es que la gravedad puede permitir altas velocidades en el cierre del molde sin utilizar mucha potencia.

3.3.-Principales características de las Máquinas de inyección.

Las características principales de una maquina describen sus características de tamaño, peso, producción etc. Estas se incluyen en las especificaciones del fabricante, y entre las principales se pueden mencionar:

3.3.1.-Capacidad de cierre.

Es la fuerza máxima en toneladas que se opone a la presión de inyección la cual evita una apertura en el molde.

Los materiales termoplásticos fundidos se comportan como fluidos no newtonianos, debido a esto, la presión aplicada a ellos no se transmite igualmente en todas las direcciones, por tanto la presión transmitida al molde es menor que la aplicada por el tornillo de inyección.

Por otra parte en dicha transferencia de presión influye directamente la viscosidad del material y la temperatura de plastificación. Por otra parte, el enfriamiento del molde es continuo, por lo tanto la zona próxima a la entrada estará menos fría que en los extremos, generándose una presión en la línea de partición del molde. Como consecuencia, la fuerza de apertura real (F) debida a la presión en el molde es producto de la presión media en el molde (P_m) por el área proyectada de la pieza (A_p).

La presión media es la que ejerce el material en las paredes de la cavidad y la cual intenta abrir el molde. Por otra parte, el área proyectada es el área que presenta la pieza y colada perpendicularmente a la unidad de cierre (figura 3.19).Dicha área presenta resistencia a la presión de inyección.

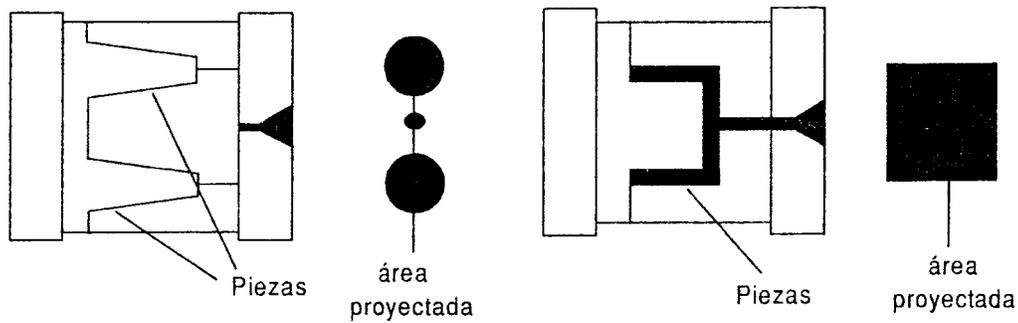


Figura 3.19. Área proyectada de una pieza moldeada.

Los valores de área proyectada que se pueden utilizar con seguridad para una fuerza de cierre determinada dependen además de otras características de las piezas como lo son profundidad de la pieza, tipo de entrada de la cavidad, espesor de la pared, etc. Para observar la influencia de dichos factores, se tiene la gráfica de la figura 3.20, nos muestra el comportamiento de la fuerza de cierre respecto al espesor de la pieza.

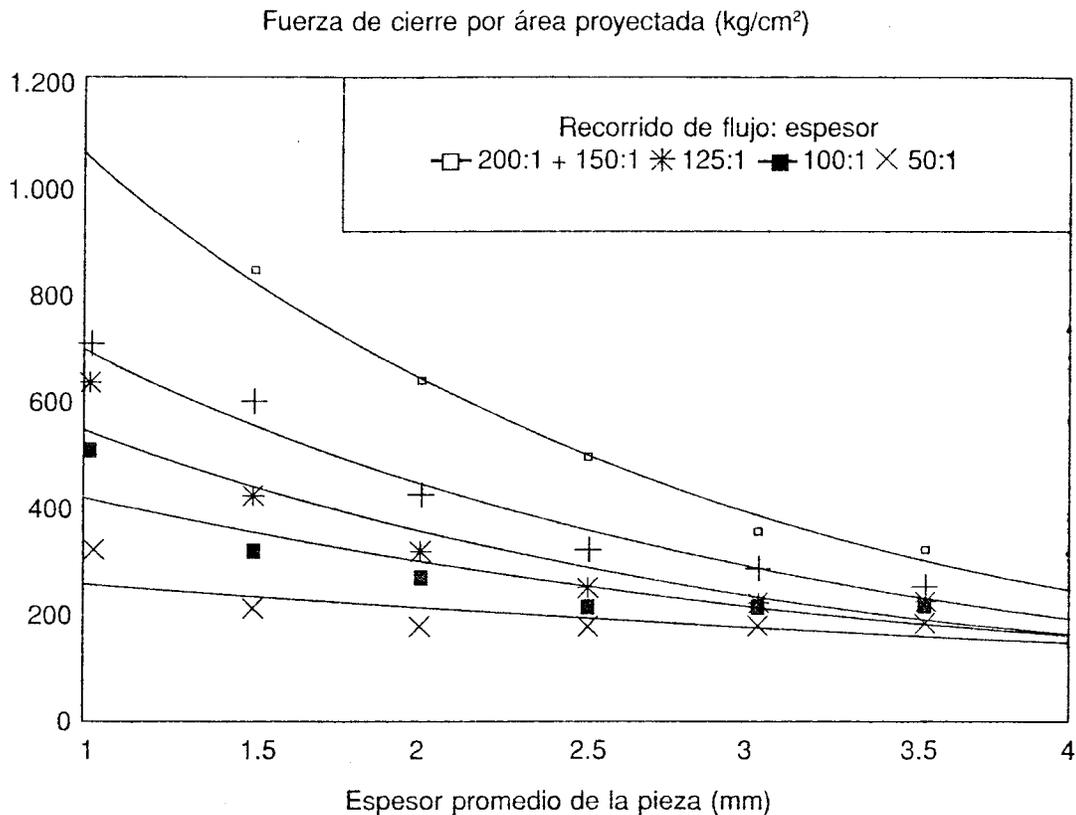


Figura 3.20. Fuerza de cierre requerida en función del espesor de la pieza.

Dentro de la industria se manejan valores promedio para valores de fuerza de cierre dependiendo del tipo de material como lo muestra la tabla 3.1.

Tabla 3.1.-Fuerza de cierre requerida según el tipo de material utilizado.

MATERIAL	FUERZA DE CIERRE (MN/ m^2)
ABS	38.6-61.8
CA	15.4-30.9
HIPS	15.4-30.9
PA 6	61.8-77.2
PA 66	61.8-77.2
PA 11	23.2-30.9
PA 12	23.2-30.9
PC	46.3-77.2
HDPE	23.2-38.6
LDPE	15.4-30.9
PET-Amorfo	30.9-38.6
PET-Cristalino	61.8-92.6
PMMA	30.9-61.8
PS	15.4-30.9
PVC-Plastificado	23.2-38.6

3.3.2.-Dimensiones del molde

El espesor del molde es la distancia libre entre los platos fijos y el móvil cuando se halla cerrado, por otra parte el tamaño del molde es limitado por la altura y anchura de los platos.

El espesor máximo del molde es la distancia mayor entre el plato fijo y el móvil cuando el sistema de cierre esta retraído en su totalidad. Por otro lado, el espesor mínimo es la distancia al estar el mecanismo de cierre totalmente extendido. Dicho espesor puede variar según el tamaño y tipo de sistema de extracción usado.

Por otra parte, las dimensiones de las platinas porta moldes indican las medidas globales del molde que podría colocarse en la máquina. En la superficie de las antes mencionadas platinas,

hay una gran cantidad de orificios distanciados de forma estándar, donde se colocan los tornillos que sujetan el molde. La figura 3.21 muestra las dimensiones dentro de una platina porta moldes.

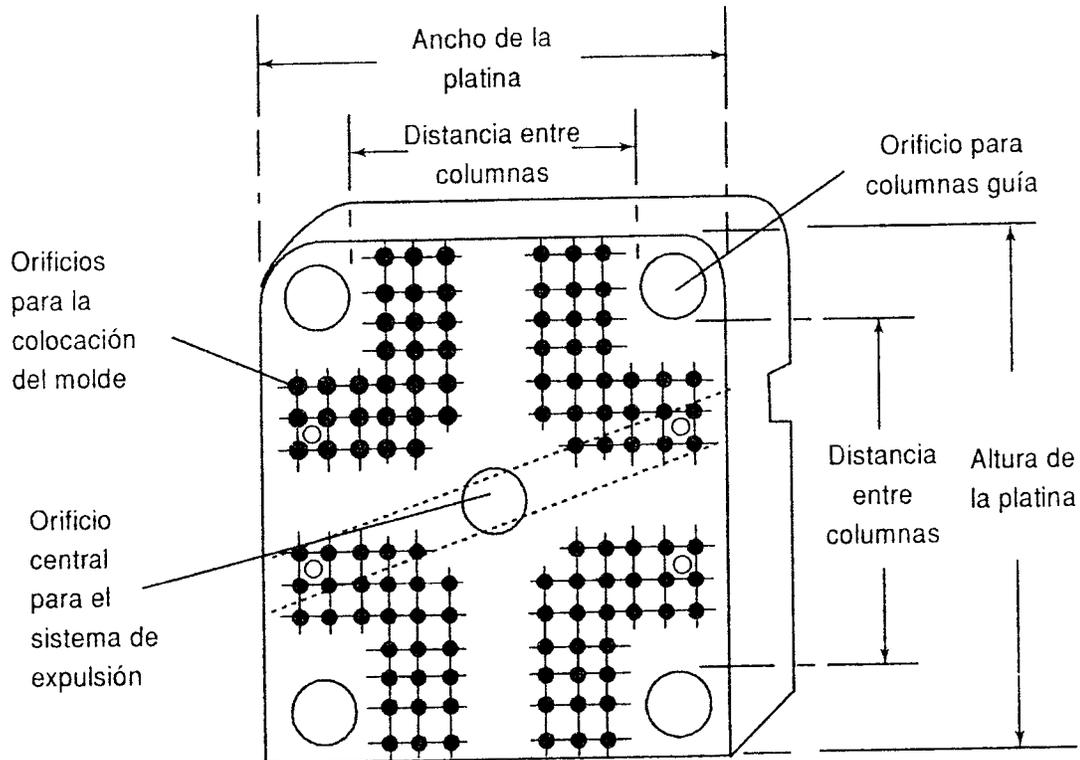


Figura 3.21. Dimensiones de una platina porta moldes.

3.3.3.-Recorrido de apertura del molde.

Se refiere a la distancia recorrida por el plato móvil en la apertura y cierre de la máquina. Esta característica establece la longitud máxima de la pieza en la dirección paralela al eje de la máquina. En consecuencia, la longitud real máxima de una pieza moldeada con una apertura determinada depende del tipo de molde, conicidad de la pieza y flexibilidad del material. Cabe señalar que en ocasiones al emplear moldes con partes móviles deslizables, se requiere un aumento en el recorrido de apertura del molde.

3.3.4.-Capacidad de inyección.

Se da en forma teórica y en forma real. La capacidad teórica o calculada es el volumen máximo de material que puede ser desplazado por el movimiento hacia delante del tornillo de

inyección a lo largo de la longitud de su carrera máxima sin que haya fugas de material. Esta capacidad se puede calcular mediante la ecuación 3.1:

$$C_i = \frac{\pi}{4} * d^2 * L \dots\dots\dots (3.1)$$

Donde **C_i** es la capacidad de inyección calculada en *cm³*; **d** es el diámetro del tornillo en cm y **L** es el recorrido máximo del tornillo en cm.

Por otra parte, la capacidad de inyección real es una indicación del peso máximo de la pieza que puede ser inyectado por el tornillo bajo carga máxima (se toman en cuenta canales y venas en la pieza). Estos pesos máximos inyectados dependen de la carrera del tornillo, el diámetro del mismo y la densidad aparente de los gránulos.

Para incrementar la capacidad de inyección en algunas máquinas es necesario colocar tornillos de inyección de diferentes tamaños, aunque esto afecta la presión máxima de inyección como lo muestra la relación de la ecuación 3.2:

$$P_i = \frac{F_i}{A} \dots\dots\dots (3.2)$$

La presión de inyección es igual a la fuerza de inyección entre el área del tornillo de inyección. En la figura 3.22 se muestra la relación entre el diámetro y la fuerza de inyección.

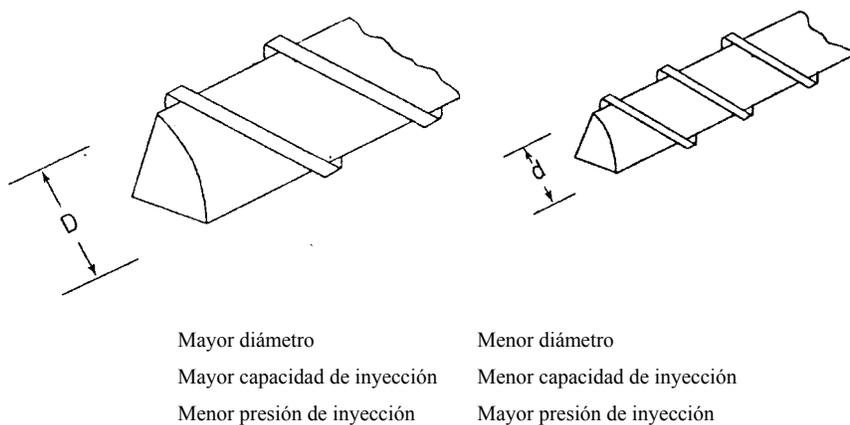


Figura 3.22. Relación entre diámetro del tornillo, presión de inyección y capacidad de inyección.

3.3.5.-Presión de inyección.

Es la fuerza máxima que puede ejercer el tornillo sobre el material plástico por unidad de área. Esta presión es la que provoca que el material entre en el molde; la forma en que se transmite dicha presión varía con las características del plástico y la forma del cilindro de inyección.

Es común que se presenten pérdidas de presión en el trayecto desde la punta de la boquilla hasta la cavidad del molde. Por otra parte, en el proceso de inyección el giro del tornillo se ajusta para que siempre quede una cantidad de material entre el tornillo y el cilindro cuando la inyección ya ha concluido; esto permite que se aplique mejor la presión de inyección y de sostenimiento.

3.3.6.-Capacidad de plastificación.

Es la cantidad máxima de material que se funde, a una temperatura uniforme para moldearse en una unidad de tiempo. En otras palabras, es la cantidad de material plastificado descargado por el tornillo, cuando este rota a su máxima velocidad en un tiempo determinado.

Para poder calcular esta propiedad, es necesario conocer además de la eficacia de rendimiento térmico del cilindro y del tornillo, las propiedades de los materiales como su calor específico, conductividad térmica, temperatura de inyección, etc.

3.3.7.-Velocidad de inyección.

Se refiere a la cantidad de material que entra en el molde en el tiempo de llenado. Su valor depende de la potencia necesaria y utilizada en la carrera de inyección y se puede calcular con la ecuación 3.3.

$$Vi = \frac{Ci[cm^3]}{ti[s]} \dots\dots\dots (3.3)$$

La velocidad de inyección es la capacidad de inyección calculada entre el tiempo de inyección. Las máquinas de inyección necesitan uno o más motores para mover sus unidades, dicho motor o motores también accionan la bomba suministradora de aceite de los cilindros hidráulicos que realizan los movimientos. Así, la velocidad del pistón de inyección depende de dicho fluido hidráulico.

3.4.- Equipos Auxiliares.

Es común que los equipos utilizados en la inyección de plásticos, sean en base a un diseño universal. Sin embargo, cuando se requieren procesar algunos polímeros particulares como lo son el PA, PBT, PET y POM, se requiere otro tipo de equipos especiales, o adaptaciones de los que ya se tienen.

Por ejemplo, para los materiales antes mencionados, se requiere un tipo de tornillo con una zona de compresión más corta y menor profundidad de canal, para obtener el calor necesario de fusión; mientras para materiales como el CA y el CAB, se requieren mayores profundidades.

3.4.1.-Diseños especiales de tornillos.

a) Tornillos para elastómeros.

Este tipo de tornillos evita que el elastómero no vulcanice en los canales del tornillo ni en la boquilla. Esto es logrado utilizando barriles con control de temperatura, tornillos cortos en longitud y con poca diferencia en la profundidad de los canales a lo largo del tornillo para evitar fricción y lograr un mejor transporte.

b) Tornillos con cabezas mezcladoras.

Es común su uso en maquinas de extrusión, se usa un cabezal mezclador (o torpedo) en la punta del tornillo (figura 3.23) que permite obtener gran recirculación del flujo al hacerlo pasar por los diferentes canales; además, se forma una barrera de altos esfuerzos de corte que permite tener una fusión total y mas homogénea del material, además de una mayor dispersión de pigmentos, aditivos, etc. Sin embargo, existen algunas desventajas en su uso, como lo son la disminución en la capacidad de transporte del tornillo, mayor desgaste del barril o puntos muertos donde pueda estancarse el material.

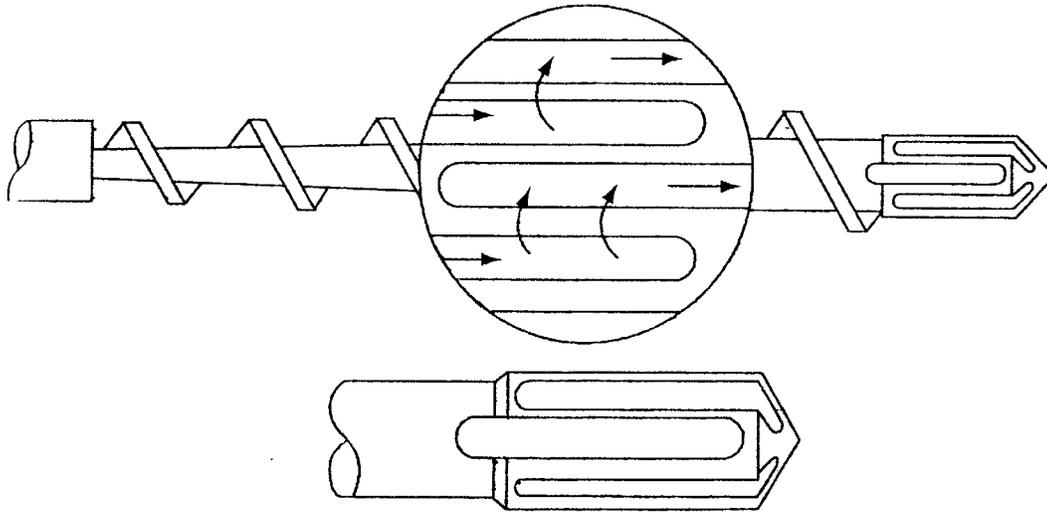


Figura 3.23. Tornillo con cabeza mezcladora.

c) Tornillos con zona de mezclado prolongado.

Cuentan con una zona de mezclado más larga, la cual tiene canales de distintas profundidades localizados de forma periódica. Al existir una variación en las profundidades de los canales, permite que los esfuerzos de corte sean moderados, incrementando la fusión y teniendo un aumento periódico en la presión del fundido, alcanzando un mezclado distributivo. La figura 3.24 presenta el diseño de un tornillo de este tipo.

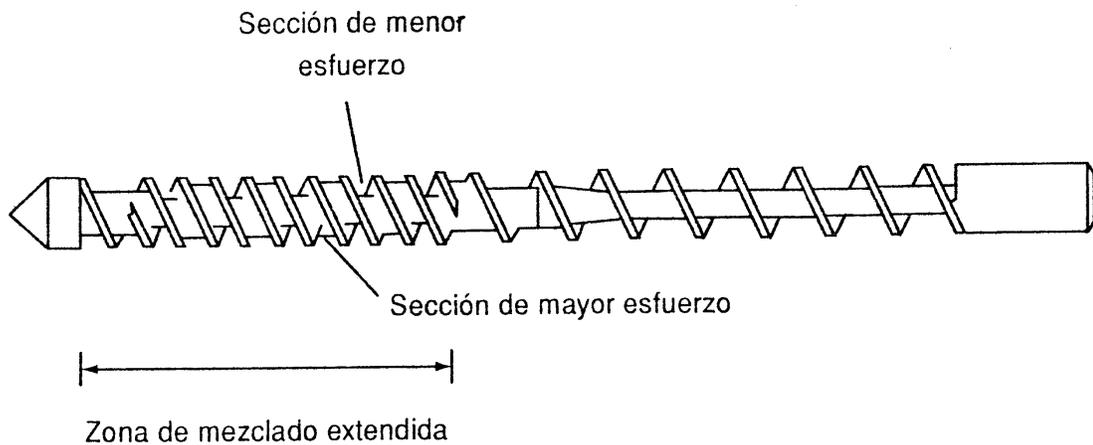


Figura 3.24. Tornillo con zona de mezclado prolongada.

d) Tornillos y barriles con des-gasificación.

Se utiliza para trabajar con polímeros de características higroscópicas (latentes a atrapar humedad) contaminados con agua y/u otras sustancias con bajo peso molecular (ejemplo monómeros).

La extracción de la humedad puede realizarse mediante equipos de secado antes de alimentarse el material a la tolva o con máquinas con des-gasificación. Es común el uso de desecantes, los cuales son materiales afines a la humedad derivados de los aluminio-silicatos. Debido a que cada material reacciona diferente ante los desecantes, la tabla 3.2 presenta las condiciones de secado en algunos polímeros.

Tabla 3.2. Condiciones de secado en algunos polímeros.

MATERIAL	ABSORCION DE AGUA (%)	TIEMPO DE SECADO	TEMPERATURA DEL DESECANTE (°C)
ABS	0.2-0.35	2	75
CA	4.5-6	1-2	85
HIPS	0.08	1-2	70
PA 6	1.6	12	105
PA 66	1.5	12	105
PBT	0.08	2-3	135
PC	0.16	2	120
HDPE	0.01	1-1.5	85
LDPE	0.2	1-1.5	85
PET	0.03	2	135
PMMA	0.3	3-4	90
PS	0.08	1-2	70

El proceso en las máquinas con tornillo y barril con desgasificación consta de varias etapas. Primero, el material se funde, después se descomprime para provocar que los volátiles se desprendan y salgan a través del respiradero. Posteriormente se vuelve a comprimir y pasa a la zona delantera del tornillo para inyectarse al molde. La figura 3.25 muestra las etapas en un tornillo con desgasificación.

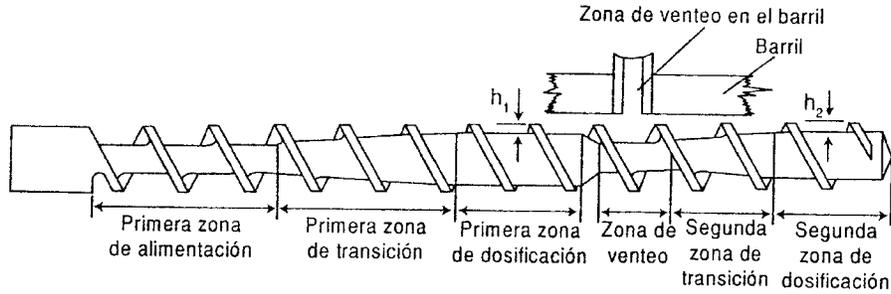


Figura 3.25. Tornillo con desgasificación.

3.4.2.- Equipos para secado.

Para evitar problemas de apariencia o en las propiedades de las piezas fabricadas, algunos materiales requieren se secados antes de alimentar la maquina de inyección de plásticos. Para ello, el material debe calentarse y exponerse al aire seco con bajo punto de rocío; esto provoca un flujo de humedad del gránulo hacia el ambiente debido a la diferencia de presiones.

Los equipos de secado típicos constan de un depósito de material desecante con auto-regeneración, calentadores de aire, filtros, intercambiadores de calor y tolvas aisladas como lo muestra la figura 3.26.

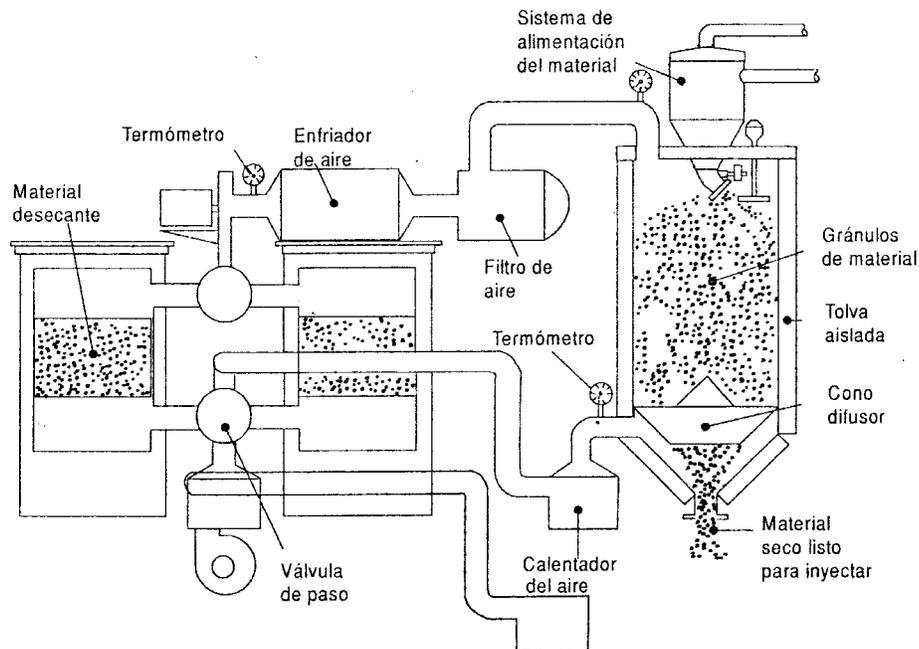


Figura 3.26. Equipo secador para plásticos.

A partir del esquema anterior (figura 3.26), se puede explicar el proceso de secado: se hace pasar aire seco del depósito desecante hacia los calentadores donde es elevada su temperatura; posteriormente el aire se distribuye hacia el material para remover su humedad y finalmente regresa hacia la cama de desecante pasando por filtros de polvos y enfriadores.

3.4.3.- Válvulas anti-retorno.

Cuando las maquinas con tornillo alternativo utilizan dicho tornillo como pistón, el material puede regresar hacia atrás. Debido a ello es necesaria la colocación de válvulas de bloqueo de flujo.

Para materiales muy viscosos, es suficiente colocar una cabeza cónica para que actúe como pistón y el material no regrese; la cabeza deber colocarse al final del tornillo como lo muestra la figura 3.27.

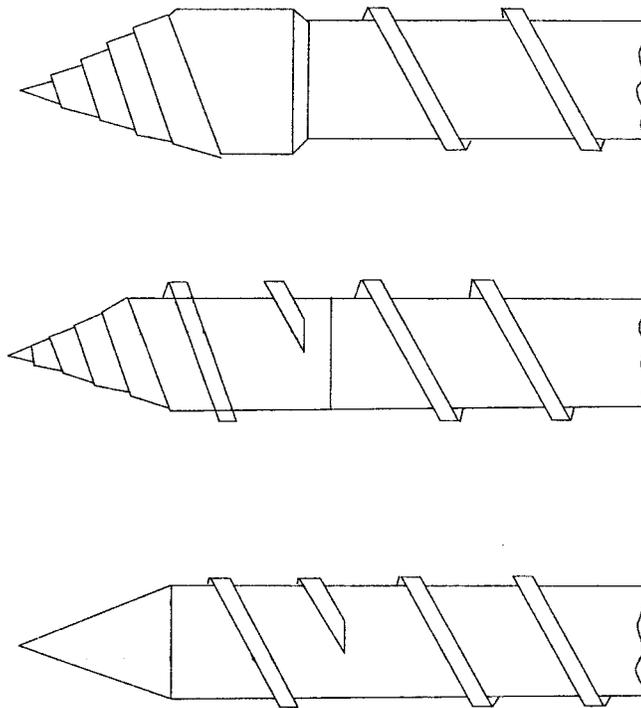


Figura 3.27. Cabeza anti-retorno para materiales de alta viscosidad.

Sin embargo, para materiales de baja viscosidad, se requieren válvulas anti-retorno de bola o de anillo.

- Válvula de anillo.-Está válvula está conformada por un anillo que se desliza sobre el barril, y es colocada en la punta del tornillo. De esta forma, con el giro del tornillo, la fuerza del plástico obliga al tornillo a moverse hacia enfrente, permitiendo el paso del fundido (figura 3.28).

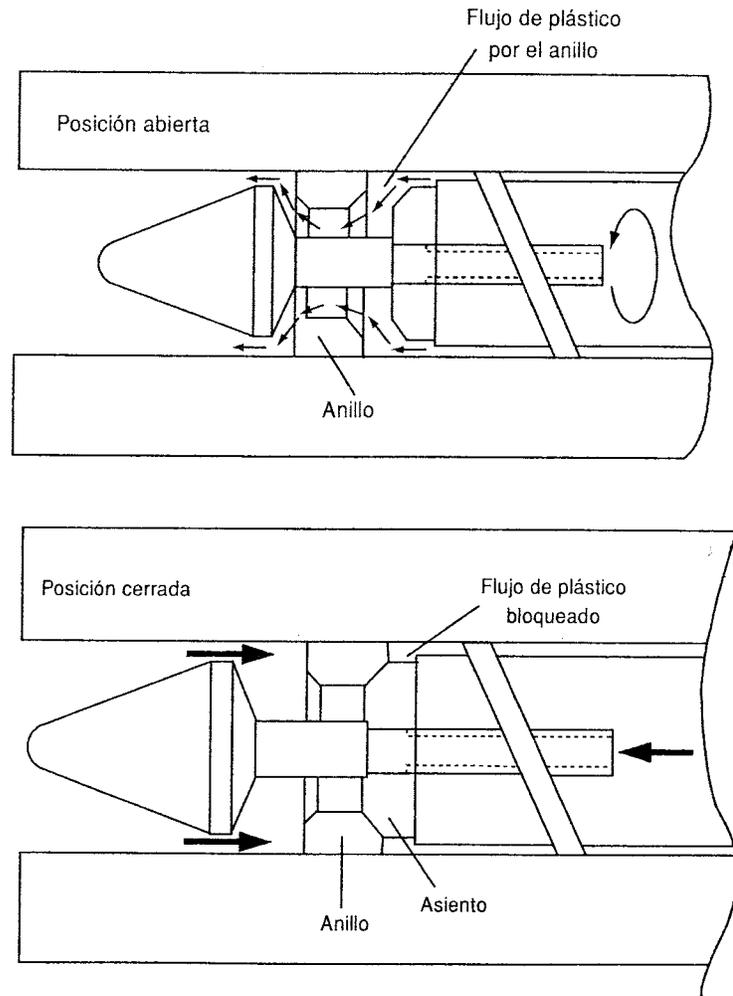


Figura 3.28. Válvula anti-retorno de anillo.

Al actuar como pistón el tornillo, el anillo se mueve hacia atrás y hace contacto con el asiento, evitando el regreso del material hacia los canales y, además, generando la presión de inyección necesaria.

- Válvula de bola.- En lugar de un anillo, se coloca una bola que se mueve para realizar el cierre. Este tipo de válvulas requieren una sección grande de paso y un recorrido corto para que no se genere calor por fricción.

Este tipo de válvulas son de gran utilidad, sin embargo, presenta algunos defectos como puntos muertos en los orificios de entrada y/o detrás de las esferas; por otro lado, cuando la válvula no cierra por completo, se tiene variación en la calidad de las piezas. La figura 3.29 esquematiza este tipo de válvula.

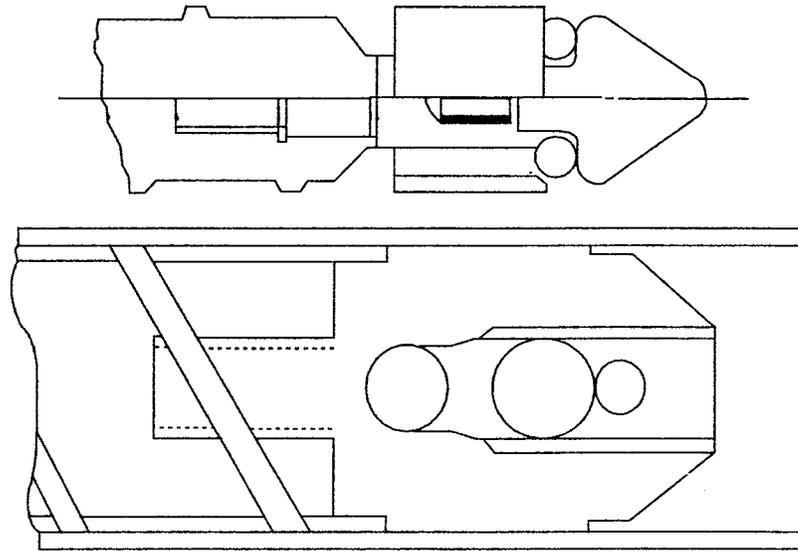


Figura 3.29. Válvula anti-retorno de bola.

3.4.4.- Boquillas de Inyección.

Su diseño depende del material y el diseño del molde, se ubican en el extremo frontal del barril de calefacción. Las boquillas hacen pasar el material ya fundido desde el barril hasta el molde.

Es común que las boquillas sean de forma esférica, como lo muestra la figura 3.30. Cabe señalar que el radio de la boquilla (que va de 12.7 a 19 mm en Estados Unidos y de 10 a 35 mm en Europa) debe ajustarse adecuadamente al radio del bebedero del molde. Por otra parte, el diámetro del orificio de salida de la boquilla debe ser menor al orificio de entrada del bebedero, esto para evitar tener puntos muertos (figura 3.31).

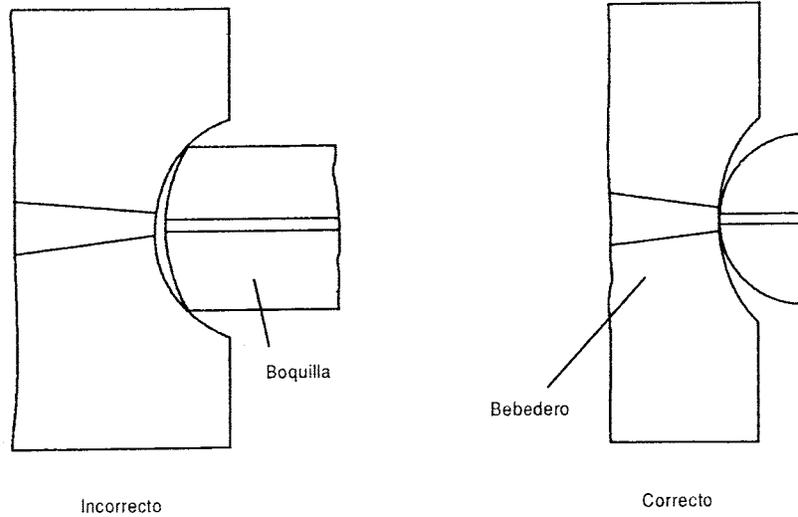


Figura 3.30. Ajuste del radio de la boquilla en el bebedero.

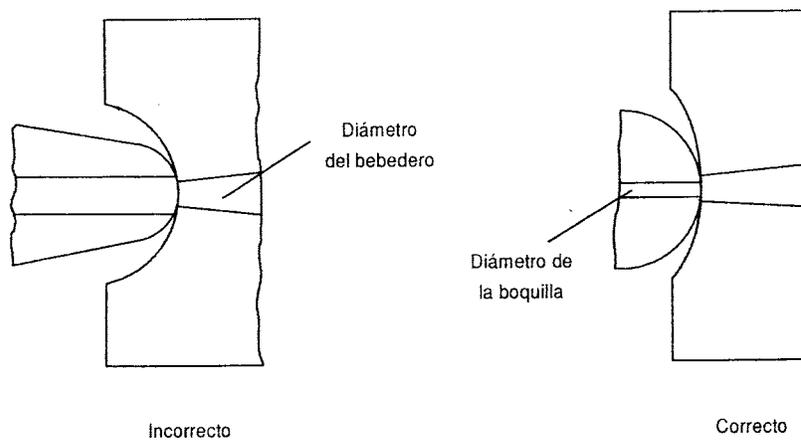


Figura 3.31. Ajuste del diámetro interior de la boquilla en el bebedero.

De forma común, se presentan problemas de goteo de material en la boquilla. Cuando esto ocurre, se puede resolver con la des-compresión del material (modificando la presión sobre la que actúa el tornillo) o utilizando boquillas con cierre.

La des-compresión consiste en liberar, mediante una válvula, la presión de fundido en el barril y en los canales de alimentación. Sin embargo, cuando la descompresión es demasiado grande, se corre el riesgo de que aire entre en el material fundido. La figura 3.32 muestra el mecanismo de descompresión de una máquina.

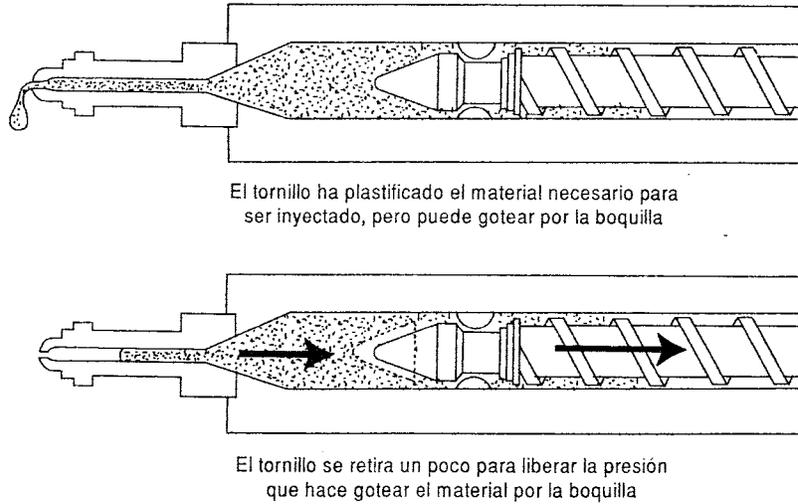


Figura 3.32. Mecanismo de des-compresión.

- Boquilla cónica.- La conicidad permite desprender el polímero cuando se retira la boquilla y evita el problema de goteo (figura 3.33). Es barata y de fácil adaptación al molde, sin embargo la forma cónica aumenta la velocidad y reduce la presión del fluido.

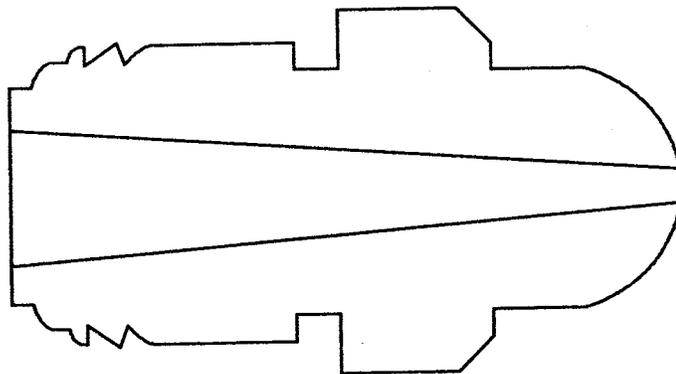


Figura 3.33. Boquilla cónica.

- Boquilla de flujo libre.- La longitud del orificio final es corta y el diámetro del orificio principal es mas grande; esto permite una menor resistencia al paso del material y provoca que la presión del flujo se conserve. Su uso es común cuando el plástico entra directamente en la cavidad a través de un bebedero muy pequeño. La figura 3.34 muestra esta variante de boquilla.

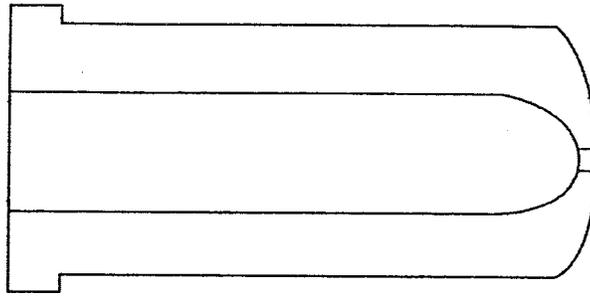


Figura 3.34. Boquilla de flujo libre.

- Boquilla de conicidad invertida.- La figura 3.35 muestra un tipo de boquilla usado para polímeros de baja viscosidad donde se presenta el problema de goteo entre cada ciclo. Al tener una temperatura relativamente baja, la boquilla solidifica en el estrechamiento y evita el goteo cuando no se está inyectando. Cuando por el contrario se requiere inyectar, el tapón de material funde por fricción y permite el paso del fundido.

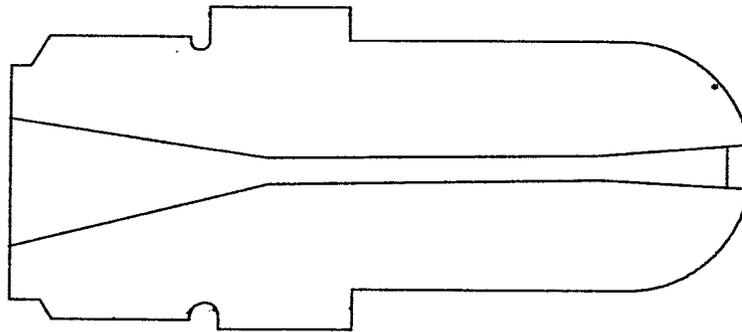


Figura 3.35. Boquilla de conicidad invertida.

- Boquilla válvula de aguja.- Este tipo de válvula es de cierre mecánico. La figura 3.36 permite mostrar que cuando la boquilla apoya sobre el molde, el extremo redondeado de la aguja se aloja en la cavidad esférica delante de ella, permitiendo el paso del material fundido. Sin embargo cuando el barril es retirado, el muelle hace avanzar la parte móvil, por lo tanto el extremo de la aguja asienta cerrando el paso de material.

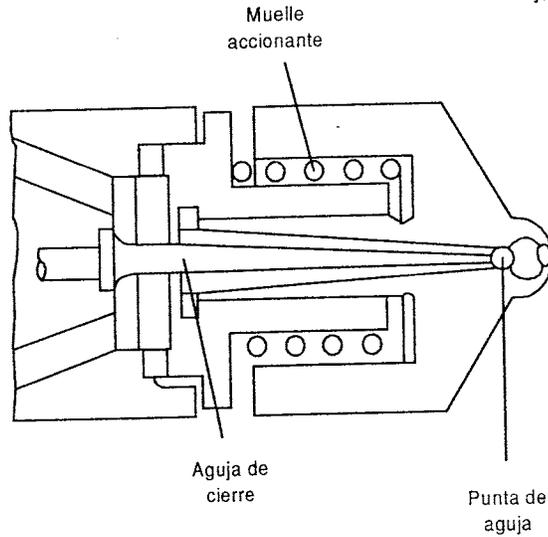


Figura 3.36.Boquilla con válvula de aguja.

- Boquilla con válvula cónica y muelle.- Al avanzar el tornillo (figura 3.37), la presión del material actúa sobre el muelle manteniendo abierta la boquilla, si retrocede el tornillo, hace la función opuesta.

Por otra parte, debido a que la fuerza de inyección debe ser capaz de vencer la fuerza del muelle; pueden generarse esfuerzos de corte y calor extra sobre el material, ocasionando nuevos problemas.

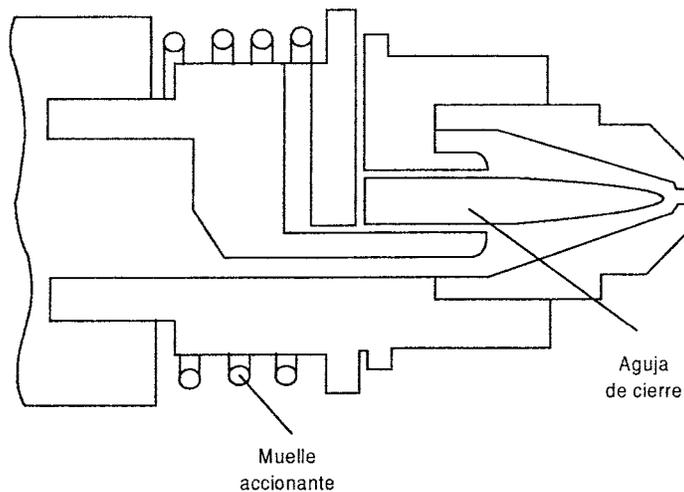


Figura 3.37.Boquilla con válvula de aguja.

Sin embargo, para evitar este efecto de fricción pueden emplearse boquillas de aguja accionadas externamente como la mostrada en la figura 3.38.

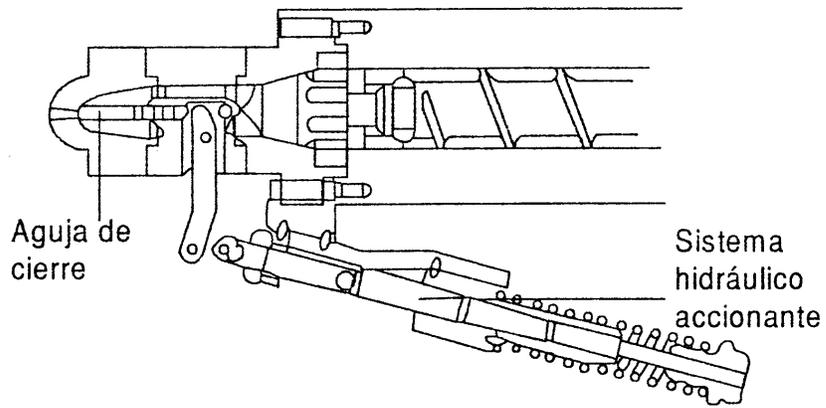


Figura 3.38.Boquilla de accionamiento externo.

CAPITULO 4

PROCEDIMIENTOS PARA TRABAJO DE MATERIALES PLASTICOS

4.1.- *Elaboración de productos plásticos.*

Actualmente, existen diversas posibilidades para procesar los materiales plásticos. La tabla 4.1 proporciona un panorama general de las posibilidades de transformación de estos materiales.

Tabla 4.1.- Gama de productos plásticos y los tipos de elaboración.

TIPO DE ELABORACION	PRODUCTOS
<i>Extrusión</i>	Semiacabados, productos intermedios para calandrado, soplado o hilado.
<i>Calandrado</i>	Hojas de materiales, tiras revestidas.
<i>Inflado</i>	Hojas y cuerpos huecos.
<i>Colada por inyección</i>	Piezas a partir de masas de colada por inyección.
<i>Conformado en caliente</i>	Piezas moldeadas a partir de semiacabados.
<i>Prensado inyección-prensado.</i>	Piezas de resinas sintéticas y masas prensables.
<i>Prensado en capas (estratificación)</i>	Productos estratificados a partir de rollos impregnados con resinas sintéticas.
<i>Lienzo de caucho con presión o vacío</i>	Productos estratificados a partir de rollos soporte impregnados con resinas baja presión.
<i>Colada</i>	Modelos, inclusiones, piezas moldeadas.
<i>Centrifugado</i>	Cuerpos huecos con simetría axial o huecos cerrados
<i>Inmersión</i>	Cuerpos huecos o revestimientos
<i>Recubrimiento</i>	Plastificados sobre rollo de papel o tejido
<i>Arranque de viruta</i>	Transformación de semiacabados, acabados y limpieza de piezas moldeadas.
<i>Inyección por llama</i>	Revestimientos sobre base fija.

...Continuación de tabla 4.1.

<i>Soldadura y encolado</i>	Unión de semiacabados y piezas a partir de los mismos mediante conformado en caliente o arranque de viruta.
-----------------------------	---

4.1.1.- Moldeado de Piezas.

Es lo más común dentro de la elaboración de plásticos y es realizado en un estado plástico-blando sin arranque de viruta. Para ello se hace uso de moldes, comúnmente de acero y compuestos de al menos dos partes para hacer más fácil el desmolde de las piezas. En ocasiones se usan moldes compactos o elásticos en la fabricación de ciertas piezas que requieran un desmolde sin esfuerzo. Existen varias formas de moldeado, aquí se mencionan algunas.

- Moldeo por compresión.- Se coloca dentro del molde precalentado el polvo de moldeo, cuando el molde es cerrado y bajo cierta presión, este se funde y rellena todas las partes. Para materiales termoestables, la reacción formativa de fusión y entrelazado se experimenta dentro del molde, por lo cual la pieza puede sacarse sin enfriar. En cambio para los termoplásticos, el polvo funde en el molde, y por ello no puede sacarse la pieza si no hasta que esta enfríe.
- Moldeo por transferencia ó por inyección.- solo es usado con polvos de moldeo termoestables. Aquí se hace fluida la masa en una antecámara de calentamiento, y se inyecta en el molde precalentado mediante presión debida a un pistón. La figura 4.1 presenta la forma de un molde de prensa.

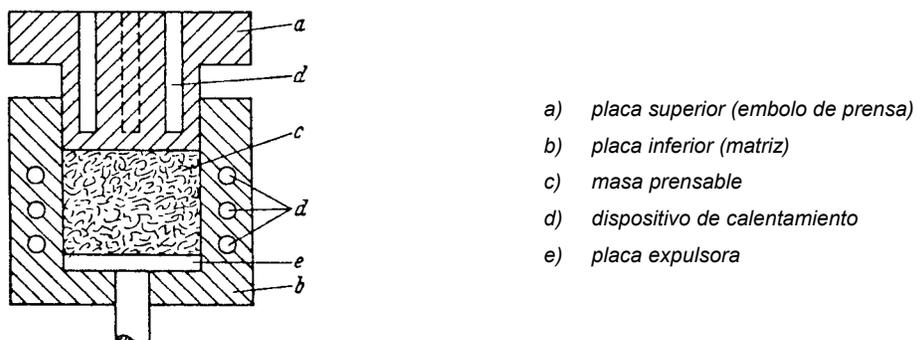


Figura 4.1 Esquema de un molde de prensa.

- Moldeo por inyección.- La masa de polvos de moldeo termoplásticos se hace fluida fuera del molde y se inyecta a presión a través de una boquilla al interior del molde frío, donde el material se solidifica al instante. La pieza puede desmoldarse al instante y se estará listo para la siguiente operación (figura 4.2). Cabe señalar que en ocasiones es conveniente mantener el molde frío, mientras en otras debe estar caliente. Para ello suelen colocarse canales de refrigeración o calentamiento, como lo muestra la figura 4.3.

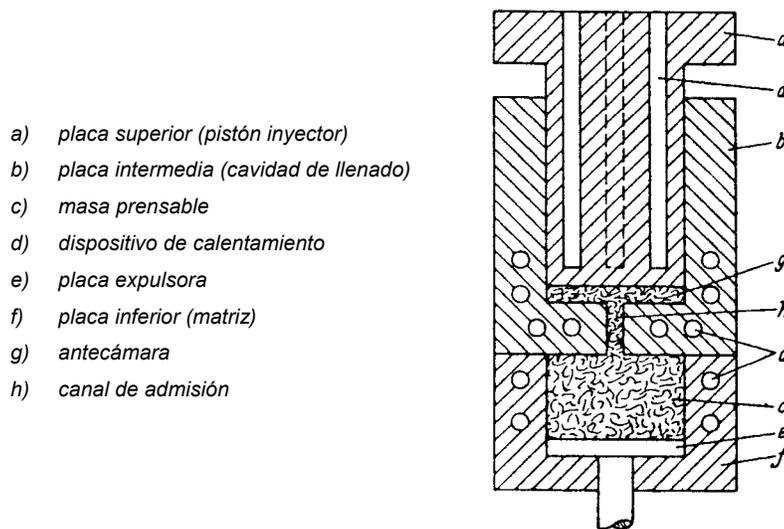


Figura 4.2. Esquema de un molde de prensa por inyección

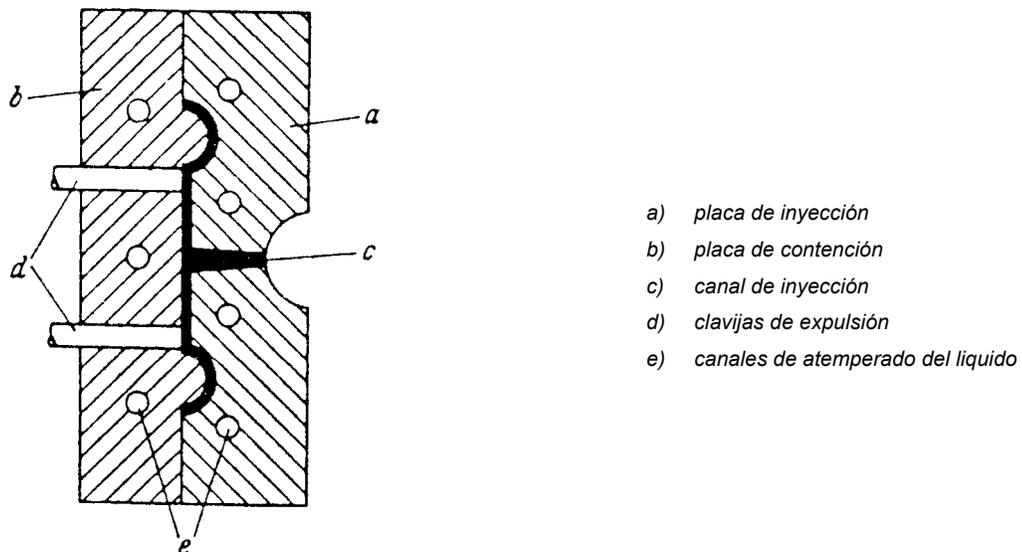


Figura 4.3. Esquema de un molde de colada por inyección.

- Conformación en caliente.- este procedimiento es para materiales termoplásticos, y es también llamado embutido. En este procedimiento, una placa de plástico se calienta (mediante aire caliente, infrarrojo o alta frecuencia) a un estado blando y se comprime en una moldeadora. Esto se hace mediante aire a presión, donde la placa se estampa contra el molde (de una sola pieza), o mediante vacío (figura 4.4).

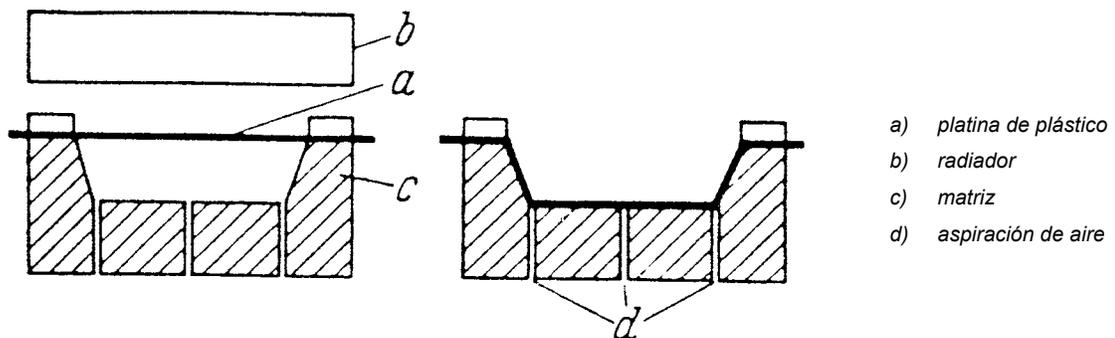


Figura 4.4. Esquema de molde en caliente bajo vacío.

- Prensado con bolsa elástica.- Esto es para piezas de gran tamaño, partiendo de materiales dispuestos en capas estratificadas o laminados y reforzados con fibra de vidrio. Al ser este un proceso intermedio entre el prensado y el embutido, utiliza el mismo principio de este último mediante aire o vacío para realizar la compresión, como lo muestra la figura 4.5.

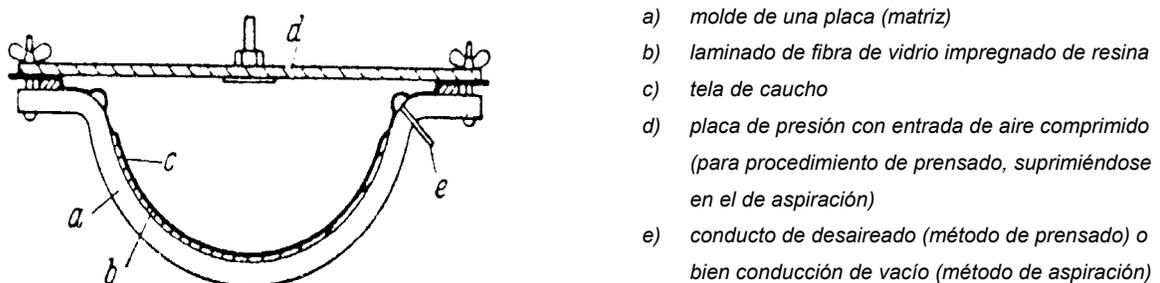


Figura 4.5. Esquema de prensado con bolsa elástica.

- Soplado.- también llamado insuflado se utiliza para fabricar cuerpos huecos. El procedimiento se realiza mediante la inserción de tubería en el material en estado plástico blando, una vez cerrado el molde, se insufla aire para que el material tome la forma de las paredes del molde (figura 4.6).

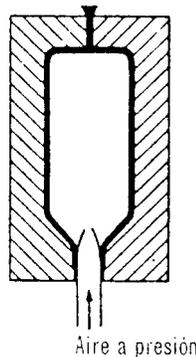


Figura 4.6. Esquema de insuflado de cuerpos huecos.

- Colada.- Para materiales tanto termoplásticos como termoestables, es posible colar materiales en piezas moldeadas sin necesidad de aplicar presión, así como colar pastas plásticas que han sido rebajadas en su viscosidad por disolventes o plastificantes.

4.1.2.- Piezas semiacabadas.

Estos semiacabados plásticos son utilizados para transformarlos posteriormente en piezas moldeadas. Los semiacabados termoplásticos, puede dárseles forma calentándoseles y enfriándoseles (planchas y perfiles), sin embargo, a los termo fijos solo se les puede dar acabado mediante arranque de viruta.

Los procedimientos para fabricación de semiacabados son diversos y dependen del tipo de material.

a) Placas, planchas y bloques.

1. Polimerización in situ.-Polimerización directa en moldes apropiados para fabricar planchas y bloques.

2. Estratificación.- Mediante compresión de hojas aisladas unidas mediante calentamiento (prensado en capas)
3. Extrusión.- de plásticos para fabricar planchas.

b) Perfiles.

1. Extrusión.- se fabrican perfiles de longitud ilimitada. Regularmente esta operación es para materiales termoplásticos; el material que pasa en el extrusor se plastifica en el tonillo, se amasa y se impulsa por una tobera con forma definida. El producto es un perfil que solidifica a la salida del extrusor. Es común obtener de este proceso tanto perfiles macizos como huecos, sin embargo también se fabrican planchas.
2. Enrollado.- En este proceso, la resina (termoestable) se hace fluida y entrelaza por medio del calentamiento a través de un rodillo compresor. Pueden obtenerse barras y tubos limitados en su longitud.
3. Centrifugado.- a partir de termoplásticos pueden obtenerse perfiles redondos de longitud corta. Se hace mediante polimerización in situ con un centrifugado, pero solo es para productos de calidad especial.

c) Hojas.- estos semiacabados termoplásticos, son similares a unas planchas delgadas, (las planchas fueron tratadas en el inciso a de este apartado). Sin embargo las formas de obtenerlas son muy variadas.

1. Colada.- se extiende el plástico mediante dispersión, disolución o fundición sobre una base; una vez solidificado el producto, este puede retirarse en forma de hoja.
2. Laminación.- se realiza mediante prensado o extrusionado en rodillos calientes, esto permite estirar el material y obtener el semiacabado requerido.

3. Calandrado.- es una serie de laminaciones a través de rodillos consecutivos. El último de estos está refrigerado, lo que permite que el producto se separe.
4. Extrusión.- Este procedimiento puede realizarse a través de toberas de ranura ancha (aquí el producto es pasado a un estirado posterior en dirección mono axial) o de hojas tubulares (en donde se orienta biaxialmente a través de insuflado).
5. Insuflado.- Mediante esta operación, un tubo foliar insufla aire a la hoja. Así esta es estirada longitudinal y transversalmente.

4.1.3.- Obtención de hilos y fibras.

Estos productos pueden usarse a su vez forma aislada, torcidos en conjunto o como tejido para obtener nuevos productos. Se pueden distinguir los siguientes métodos para su fabricación.

- Extrusión.-Haciendo pasar el plástico desde el husillo a través de una placa inyectora con múltiples orificios (el diámetro de los orificios corresponde al del hilo).
- Hilado en estado fundido.-El proceso corresponde a una extrusión de mono-filamentos, sin embargo el producto no es empujado por el husillo, fluye directamente del proceso de polimerización a la placa inyectora impulsado por bombas.
- Hilado en disolución.-Debido a que no todos los plásticos pueden transformarse en fibras a partir de su estado fundido, se tiene otra forma de hacerlo basada en la disolución. De la misma manera que en el inciso anterior, la disolución se comprime con ayuda de bombas a través de la placa inyectora. Sin embargo, a la salida las fibras se lavan con agua (hilado húmedo), y posteriormente el disolvente se elimina mediante secado en corriente de aire caliente (hilado seco).

4.1.4.- Trabajo con arranque de viruta.

Es característico de los termoplásticos duros o los termoestables. Sin embargo se limita a pequeñas series de piezas o transformación de semiacabados.

- Semiacabados.-Se deben tener altas velocidades en las maquinas herramientas de corte con arranque de viruta para que los plásticos quebradizos no se astillen ni rasquen. De igual forma debe haber una excelente refrigeración a base de aire comprimido, agua emulsión para taladrar o petróleo para conservar las propiedades de los polímeros (de otra manera los materiales termoplásticos pueden fundir y los termoestables corren el riesgo de sufrir una descomposición). Para este tipo de trabajos, deben usarse herramientas alta velocidad o herramientas dotadas con una punta de material duro (insertos). En operaciones como el taladrado se toma en cuenta además de lo anterior, la dilatación que sufre el material debido a las altas temperaturas.
- Limpieza de piezas.- El desbarbado o “rebabado” de piezas prensadas o de colada por inyección se realiza a mano y se completa con un disco para pulir (para materiales termoplásticos); sin embargo para los termoestables, puede hacerse mediante el tratamiento de tambor donde las piezas ruedan en un tambor metálico y al chocar la pieza contra las paredes se desprenden las rebabas. Para aquellas piezas que son de alta calidad, el desbarbe se hace mediante un chorro de arena fina que desprende las rebabas sin dañar la superficie.

4.1.5.- Soldadura y adhesión

Es un medio de unión usado solo en termoplásticos. Siempre y cuando el punto de fusión del polímero no este próximo a su punto de descomposición, se pueden utilizar diversos métodos para soldar.

- Por fusión.-Se funden las superficies que se van a unir mediante calentamiento. La fuente de calor puede obtenerse directamente de una llama

de gas o un radiador eléctrico. Sin embargo, existen otros métodos de calefacción, como por ejemplo mediante frotamiento o mediante un chorro de aire caliente.

- Por material de aportación.- Se hace mediante una varilla para soldar. Se utiliza también un soplete donde se calienta aire comprimido; el chorro de aire caliente se ubica sobre la unión de las piezas a soldar donde previamente se ha colocado la varilla de aportación, esto con el objeto de fundir los materiales y lograr su unión.
- Por alta frecuencia e impulsos caloríficos.-Para plásticos de alta resistencia dieléctrica se puede efectuar una soldadura mediante un campo de alta frecuencia. Los electrodos se pueden adaptar a la forma de la soldadura y al mismo tiempo realizar una compresión sobre las partes soldadas. Cuando en lugar de electrodos se colocan elementos calefactores como rodillos, los cuales reciben calor mediante un radiador eléctrico, se llama soldadura por impulsos de calor. Este procedimiento se usa cuando hay una pequeña resistencia dieléctrica en el material y no puede utilizarse la alta frecuencia.
- Adhesión.-Este procedimiento es también llamado encolado. Existen muy pocos materiales a los cuales no puedan unirse mediante pegado. Estos se distinguen por una resistencia química tal que no se ven afectados por adhesivos ni disolventes por que en sus superficies no actúan fuerzas adherentes. Para los polímeros que si se pueden pegar, debe tomarse en cuenta el tipo de adhesivo, la preparación de la superficie y la manipulación de la pieza hasta el momento en que se les somete a esfuerzos. Pueden haber dos tipos de adhesivos: de un componente que se presentan en forma de dispersiones acuosas o disoluciones en disolventes orgánicos; y de dos componentes, los cuales están compuestos de un monómero o polímero disuelto y un acelerador.

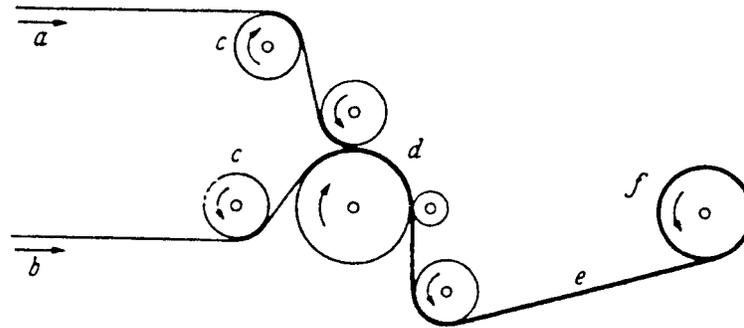
4.1.6.- Otros procedimientos de trabajo.

- Espumado.- algunos polímeros, tienen la capacidad de transformarse en materiales espumosos. Aquellas espumas blandas, se usan en la industria

colchonera y de amortiguamiento, mientras que las espumas duras tienen aplicación en aislamientos térmicos, amortiguamiento sonoro o relleno para la construcción. Existen principalmente dos formas de fabricar estos materiales:

- a) Batido.- también llamado mezclado, se usa para fabricar goma espuma; se bate el material entremezclando aire, después se vacía en moldes y se vulcaniza.
 - b) Hinchamiento.-Existen diversos modos para hinchar los polímeros, pero eso depende del tipo de material que se está trabajando. Para algunos plásticos, los gases disueltos a presiones elevadas o bajas temperaturas se desprenden al reducir dichas variables, teniendo como consecuencia el hinchamiento del material. Para otros, se añaden agentes dilatadores, los cuales reaccionan químicamente al calentarse, desprendiendo gases. Otros más producen por sí mismos agentes de hinchamiento, como por ejemplo cuando se está fabricando poliuretano, se produce anhídrido carbónico que reacciona violentamente en presencia de agua.
- Pulverización y sinterizado.-Sirve para recubrir objetos con plástico, impulsando un polvo fino a través de una pistola pulverizadora con ayuda de gas a presión y posteriormente de una llama “soldadora”. Por otra parte el sinterizado es un procedimiento donde polvo plástico fino se agita violentamente por efecto de una corriente gaseosa al interior de un recipiente. Al sumergir el objeto precalentado a la temperatura de fusión del plástico, se sinteriza el polvo sobre la superficie formando una capa.
 - Elaboración de pastas y plastisoles.-Si un polvo plástico fino se mezcla en estado frío con un plastificante líquido, se hinchan sus partículas obteniéndose una pasta. Si a esta pasta se aumenta la temperatura, prosigue el hinchamiento la masa se convierte en un gel de alta elasticidad. Si en cambio tenemos un plastificante combinado con una dispersión acuosa, obtenemos plastisoles. Cabe señalar que estos productos únicamente son fabricados a base de cloruro de polivinilo.

- Forrado.-Es la unión de dos o más hojas delgadas. El procedimiento más común para hacerlo es reunir las tiras de material en una calandria para comprimirlas y unir las mediante un cilindro caliente. La figura 4.7 muestra este proceso realizado sobre una calandria.



- a) acceso de la primera lámina
- b) acceso de la segunda lámina
- c) cilindros calentadores
- d) cilindros guía y compresor
- e) lamina en capas
- f) enrollado

Figura 4.7. Forrado sobre calandria.

CAPITULO 5

DISEÑO DE MOLDES

5.1.- Generalidades

Con anterioridad se mostró la forma en que le material plastificado se inyecta desde la unidad de inyección hasta los canales y cavidades del molde, donde enfría y solidifica tomando la forma de la cavidad para posteriormente ser expulsada la pieza moldeada cuando se abren las dos mitades del molde. Sin embargo, la calidad de las piezas así como su costo tienen una fuerte relación según el diseño, construcción y maquinado del molde. La figura 5.1 muestra las partes fundamentales que forman un molde.

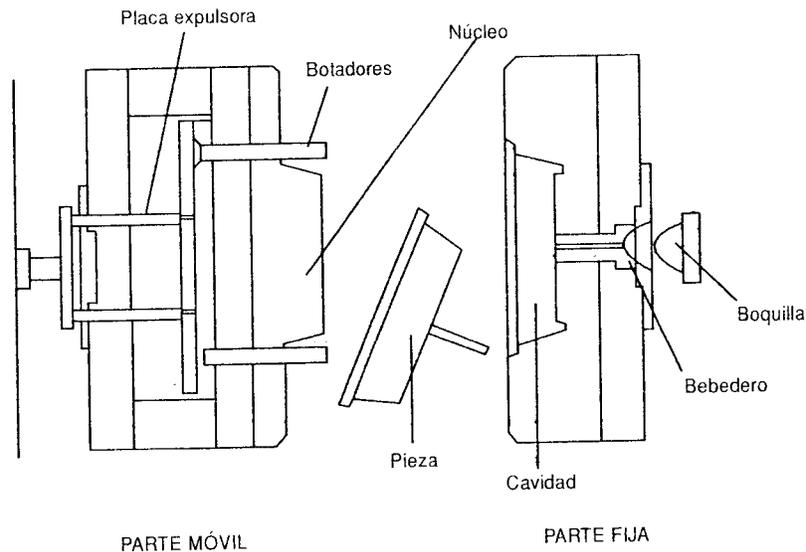


Figura 5.1. Partes fundamentales de un molde.

Es común que los moldes se elaboren de acero, sin embargo algunas ocasiones son utilizadas aleaciones de berilio-cobre o algunos otros materiales ferrosos. Debido a la importancia del diseño de los moldes para el tamaño, forma, dimensiones y acabado, es conveniente tomar en cuenta algunos aspectos:

- Considerar las dimensiones, tolerancias y conicidades de las piezas.

- Conocer el tamaño y peso de la pieza, así como el número de cavidades; esto tomando en consideración el tamaño de la máquina y las exigencias de fabricación.
- Determinar el tipo de máquina y su efecto en el diseño del molde.
- Establecer líneas de partición, lugar de entrada y de los botadores.
- Conocer el plano de la pieza a inyectar.
- Tener en cuenta la contracción, características de flujo, abrasión, y los requerimientos en el calentamiento y enfriamiento según el material a inyectar.

5.2.-Tipos de moldes.

Actualmente existen varios tipos de moldes, entre los más utilizados se encuentran los siguientes:

5.2.1.- Molde de dos platos.

En este tipo de moldes, las cavidades se montan sobre un plato y los núcleos (también llamados machos) sobre otro. El bebedero central que se encuentra en la parte fija del molde; este alimenta ya sea al sistema de canales de alimentación (para moldes de cavidades múltiples) o a la entrada directa en el centro para moldes de una sola cavidad. Es común que en el diseño de los moldes, se ubiquen los machos, así como los canales de alimentación y el mecanismo de extracción sobre la parte móvil del molde. La figura 5.2 muestra el diseño básico del molde de dos platos.

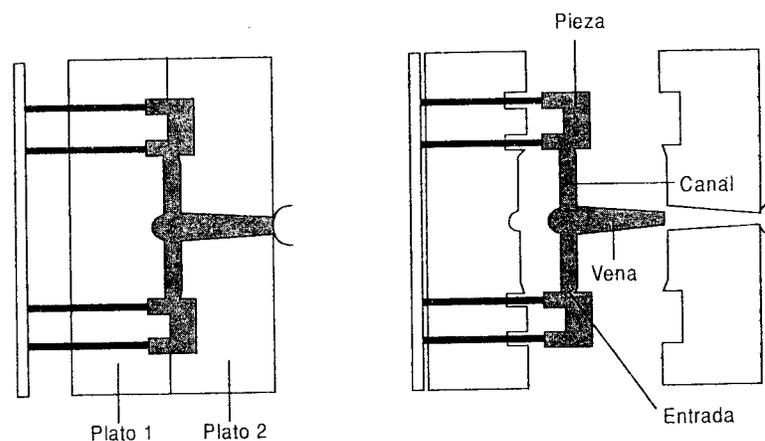


Figura 5.2. Molde de dos platos.

Por otra parte, la figura 5.3 detalla los componentes de este tipo de moldes.

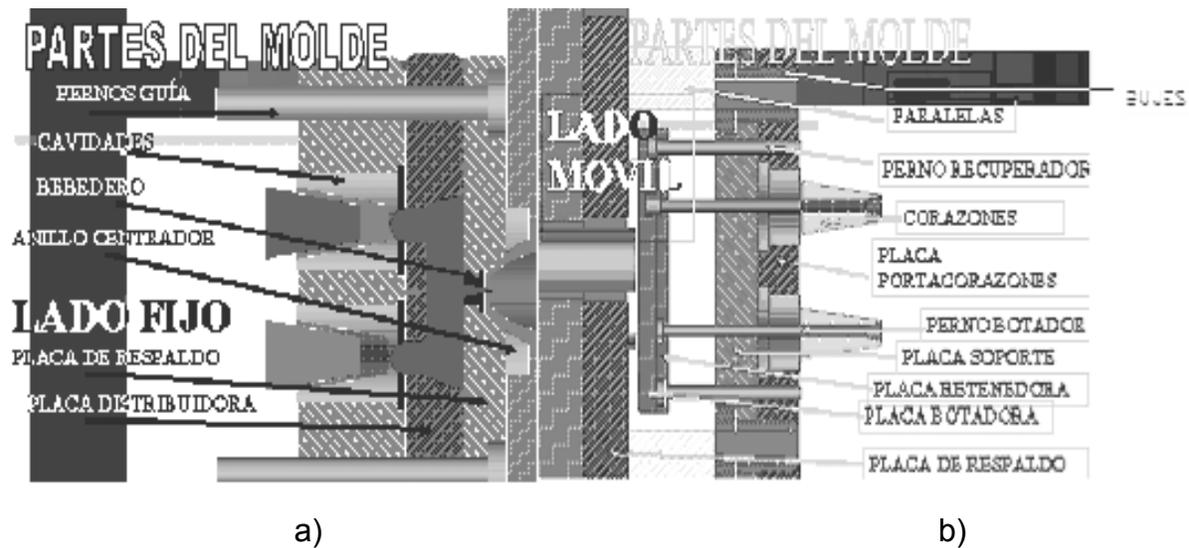


Figura 5.3. Componentes principales de un molde en sus partes fija (a), y móvil (b).

Buje: cumple la función de alinear las dos mitades del molde y hacen pareja con los pernos guía.

Pernos guía: Los pernos guía se localizan en el lado fijo del molde, y su función principal es la de proteger los corazones.

Cavidad: Es el hueco que forma el producto deseado. Gracias a que el plástico se encoge o contrae, la cavidad esta siempre del lado fijo. Si se llega a quedar la pieza del lado fijo es porque se esta sobre-empacando el plástico o tiene algún negativo la cavidad. Esta mitad, a fin de dar más brillo al producto, se le deja con agua de refrigeración más caliente que el lado móvil; esta agua es de la torre mientras que el corazón se enfría con chiller.

Corazón: Es conocido también como el macho. Al contraerse el plástico, este se adhiere fuertemente por lo que al abrirse el molde es más fácil desmoldarlo. Esta parte se deja abierto todo el caudal del agua a fin de enfriar la pieza en el menor tiempo posible.

Placa porta-cavidad: Como su nombre lo dice, en esta placa se colocan las cavidades y en ocasiones, los pernos guía, que regularmente, son de acero tratado.

Placa porta-corazón: De la misma manera, aquí se colocan los machos o porta-corazones, además de los bujes que también son de acero tratado.

Perno Recuperador: Su función es la de asegurar el regreso de la placa de expulsores durante el cierre del molde; de esta forma se logra que los pernos expulsores no peguen en las cavidades. Cabe mencionar que para sistemas de expulsión hidráulicos, se debe acoplar el sistema de expulsión al botador de la máquina.

Placa de respaldo de corazones: Es la parte que soporta la presión que ejerce el plástico en la cavidad, y debe ser lo suficientemente gruesa para que no se flexione más allá de 1/2 milésima durante la inyección.

Placa de respaldo de cavidades: Tiene la misma función que la placa de respaldo de corazones, sin embargo esta montada en la platina.

Perno botador: Son los elementos que expulsan a la pieza

Placa retenedora de botadores: En esta placa están alojados los pernos botadores y los pernos retenedores.

Paralelas: debido a su ubicación bajo la placa soporte y sobre la placa inferior, se forma un espacio intermedio que permite el movimiento de las placas expulsoras para de esta forma, poder expulsar las piezas terminadas.

5.2.2.- Molde de tres platos.

Está conformado como el nombre lo dice, por tres platos; uno de ellos estacionario y unido al plato porta moldes, el cual comúnmente contiene la vena y la mitad de los canales de la alimentación. Para el segundo plato (flotante), se tiene la segunda mitad de los canales de alimentación, las entradas y las cavidades. Finalmente, en la tercera parte se tiene un plato móvil el cual contiene la parte macho del molde y el

sistema de expulsión. De esta forma, cuando se mueven tanto el plato intermedio como el plato móvil, liberen por un lado la vena y canales de alimentación y por el otro la pieza. Se puede observar un molde de este tipo en la figura 5.4.

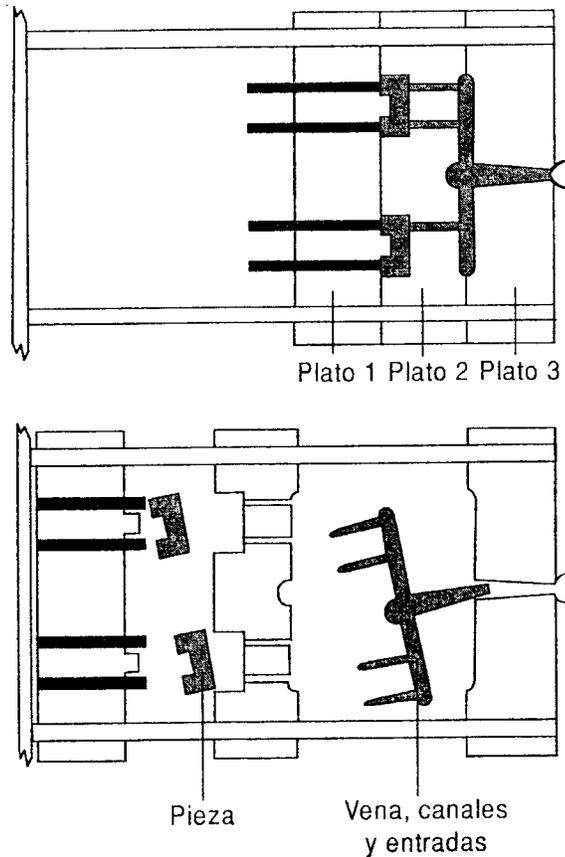


Figura 5.4. Molde de tres platos

5.2.3.- Moldes de canales calientes.

Se utilizan cuando se requiere mantener el material en su estado fundido hasta la entrada de la cavidad. Este sistema se conoce también con el nombre de colada caliente o moldeo sin canales.

En el momento en que el molde se abre, la entrada ya endurecida, queda libre del sistema de canales de alimentación aún calientes. De esta forma la pieza sale del molde libre de entadas y canales de alimentación.

Para este tipo de moldes, las temperaturas elevadas se utilizan para el plato que porta los canales o para los canales mismos.

En la figura 5.5 se muestran las partes de un molde de colada caliente.

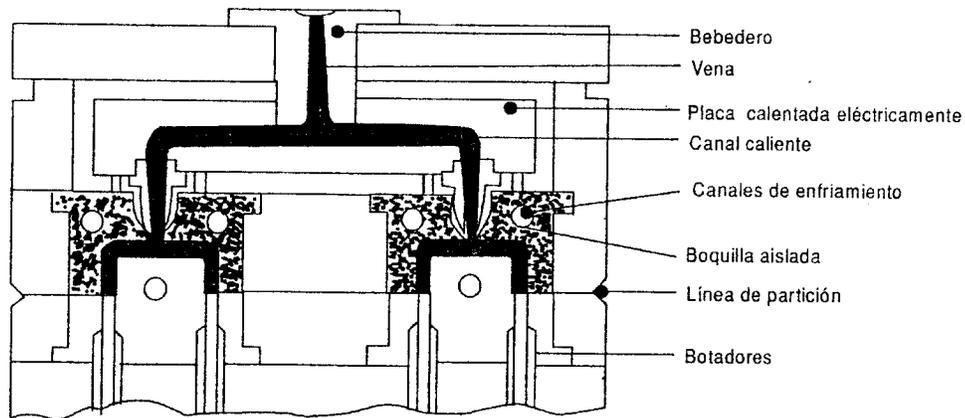


Figura 5.5. Molde de canales calientes

5.2.4.- Molde de canales aislados.

Es una variación del molde de canales calientes. La diferencia radica en que la capa externa del material en el canal actúa como aislante para mantener fundido el material, el cual fluye al centro del canal, como lo muestra la figura 5.6. Cabe señalar que el diámetro de los canales llega a ser casi el doble que en los canales convencionales.

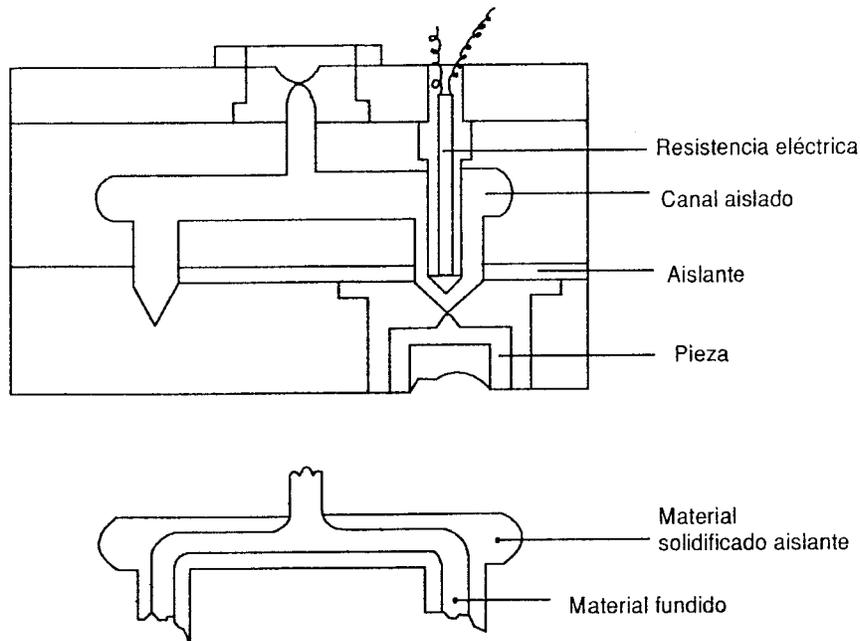


Figura 5.6. Molde con canales aislados.

5.2.5.- Moldes con elementos deslizables.

Se emplean para piezas con huecos, relieves u otros elementos que dificulten la extracción de las mismas. Por lo tanto, estos moldes cuentan con varias líneas de partición y con métodos especiales para la liberar las piezas. Dichos métodos de liberación utilizan levas o pequeños pistones deslizables, los cuales se accionan de forma manual, mecánica, hidráulica, neumática o electromecánica. La figura 5.7 detalla un molde de este tipo.

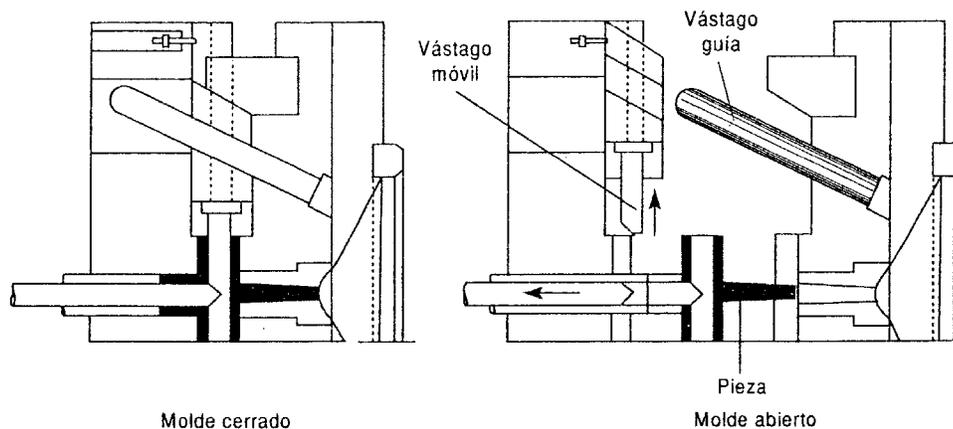


Figura 5.7. Molde con elementos deslizables.

5.3.- Determinación del número de cavidades en un molde.

Para poder calcular el número de cavidades que debe tener un molde, se tienen varios criterios, que se mencionan a continuación:

- Calculo por la relación entre el peso o volumen máximo del material correspondiente que puede inyectar la maquina y el peso o volumen del articulo. Debido a lo anterior, la cantidad máxima teórica de cavidades será como se muestra en la ecuación 5.1:

$$F_1 = \frac{V_{\max}}{V_{\text{pieza}} + V_{\text{vena}}} \dots\dots (5.1)$$

F_1 = volumen máximo de inyección de la maquina / (volumen de la pieza + volumen de la vena de colada).

b) Por la relación entre el rendimiento de plastificación del cilindro inyector y el producto del número de inyecciones por el volumen del artículo, referido al material correspondiente. Según ello, el número de cavidades realizables es el mostrado en la ecuación 5.2:

$$F_2 = \frac{\text{Rendimiento}}{[No.inyecciones (V_{pieza} + V_{vena})]} \dots\dots (5.2)$$

F_2 = rendimiento de plastificación / [número de inyecciones x (volumen de la pieza + volumen de la vena de colada)].

Como al realizar un molde con F_1 como número de cavidades se consume cada vez el volumen total de inyección de la máquina, F_2 solo puede ser menor o igual a F_1 .

F_1 Es siempre el valor teórico máximo. No puede emplearse en la práctica, ya que no satisface ninguna exigencia de calidad. Las máquinas de inyección trabajan, en la práctica, con un grado de aprovechamiento volumétrico de 0.2 a 0.8. De ello se deduce que F_2 debe ser menor o igual a $0.8F_1$.

Sin embargo, no conviene llegar a un valor inferior a $F_2 = 0.4F_1$, ya que, de otro modo, el tiempo de permanencia se hace muy largo y se producen inexactitudes de dosificación.

Otro criterio para determinar el número de cavidades es el que se basa en la presión de cierre que puede ejercer la máquina de inyección. Durante el proceso de llenado actúa la llamada fuerza expansiva, que tiende a abrir el molde actuando contra la presión de cierre. Si esta fuerza expansiva, que es igual a la suma de las superficies de proyección de las cavidades y canales de llenado multiplicada por la presión en el molde, es mayor que la presión de cierre, se producirán escapes de material fundido entre los planos de partición de molde, lo cual dará como consecuencia rebabas en la pieza.

La fuerza expansiva se puede calcular con la fórmula

$$F = P.A \dots\dots\dots (5.3)$$

Donde:

F = fuerza expansiva.

P = presión del polímero fundido en el interior del molde.

A = la suma de las superficies de proyección de las cavidades y canales.

5.4.- Sistemas de Canales de Alimentación.

Los canales de alimentación se refieren a aquellas conexiones entre la vena y la entrada; estos deben tener un tamaño que permita un llenado rápido y uniforme de las piezas. Dichos canales de alimentación pueden presentar diversas formas, como lo muestra la figura 5.8. Aquellos que presentan un diseño circular, se pueden obtener excelentes resultados con pérdidas mínimas en cuanto a calor y presión.

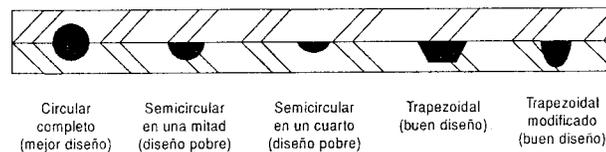


Figura 5.8. Vista lateral de los más comunes tipos de canales de alimentación

Por otra parte, la disposición de los canales de alimentación, preferiblemente debe ser en forma de *canales equilibrados*, como lo muestra la figura 5.9. De esta forma, al encontrarse a igual distancia del bebedero, se permite una mejor uniformidad del flujo del material a las diferentes cavidades.

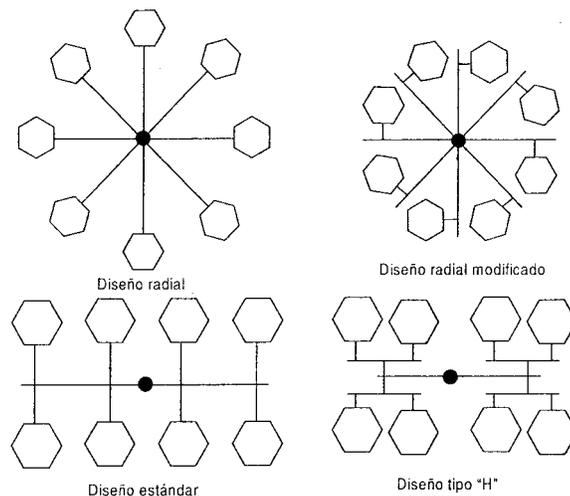


Figura 5.9. Distintos arreglos de canales de alimentación

5.5.- Sistemas de entrada.

A la abertura que hay entre la cavidad y el sistema de alimentación se le conoce con el nombre de entrada. Esta, comúnmente no supera 1.5 mm de diámetro, para así permitir que el material aumente su velocidad y disminuya su viscosidad, además de obtener un desprendimiento fácil de la pieza de los canales de alimentación.

Por otra parte, el tamaño reducido a la entrada, permite que el material en dicha zona enfríe rápidamente cuando el flujo cesa una vez llena la cavidad, impidiendo un sobre empaque y atascamiento en el molde. Es común que la ubicación de las entradas sea en la parte mas gruesas de la pieza, en partes no críticas o evitando líneas de soldadura de las diferentes corrientes del plástico. Enseguida se describen algunos diseños de sistemas de entrada en los moldes.

5.5.1.-Entradas laterales.

Como se puede observar en la figura 5.10, las entradas laterales permiten alimentar el plástico fundido por un costado de la pieza, por lo que se requiere un desprendimiento manual de la misma.

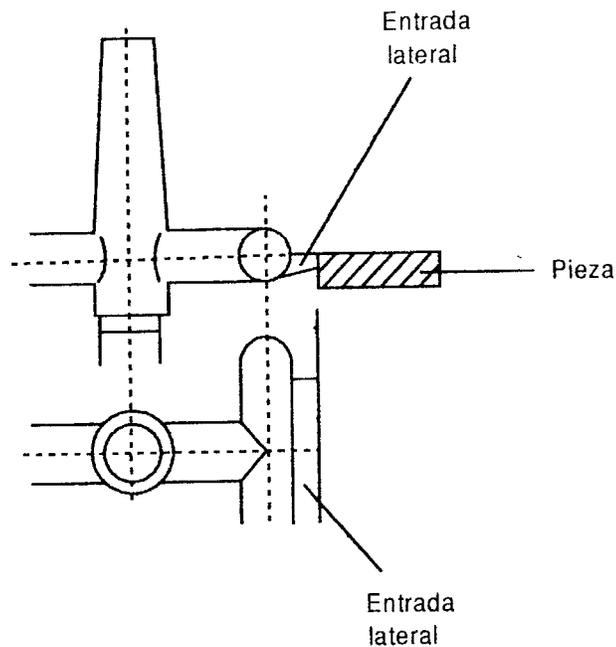


Figura 5.10. Entradas laterales.

5.5.2.- Entradas Submarinas.

También conocidas como entradas en túnel, son regularmente usadas para moldes multi cavidades y permiten un desprendimiento automático de las piezas en el sistema de expulsión. La figura 5.11 muestra un sistema de entradas de este tipo.

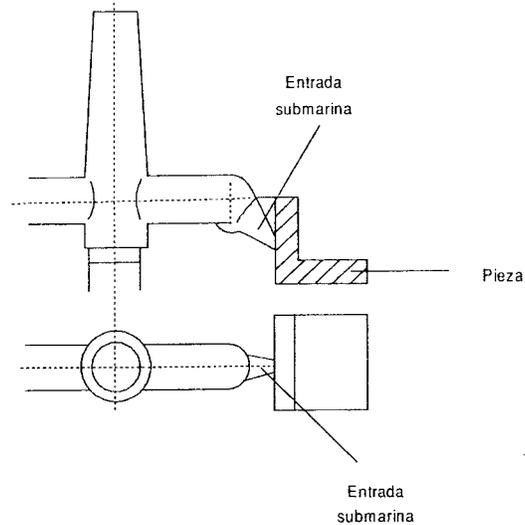


Figura 5.11. Entradas Submarinas.

5.5.3.- Entradas capilares.

Son las más utilizadas ya que permiten un enfriamiento rápido y separación automática de la pieza debido a que el pequeño capilar se desprende con facilidad (figura 5.12).

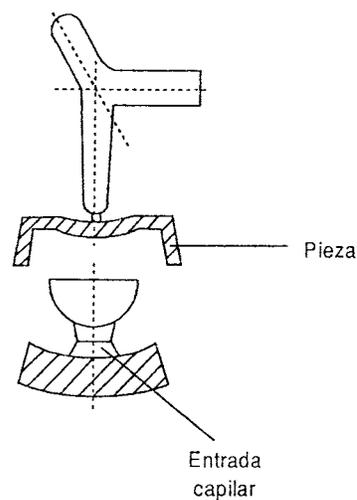


Figura 5.12. Entrada capilar.

5.5.4.-Entrada de diafragma o disco.

Son muy usadas en piezas con orificios de gran superficie. Con este diseño (figura 5.13) se pueden eliminar las líneas de soldadura. Cabe señalar que el disco es eliminado después del moldeo.

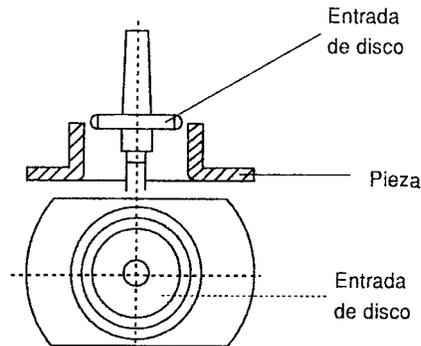


Figura 5.13. Entrada de Disco.

5.5.5.- Entrada radial.

Conocida también como entrada en estrella, es una alternativa de la entrada de disco, obteniéndose piezas para las cuales el costo de eliminar las entradas es menor, además de obtenerse un menor desperdicio de material; sin embargo presentan una formación de líneas de soldadura. La figura 5.14 presenta este tipo de diseño.

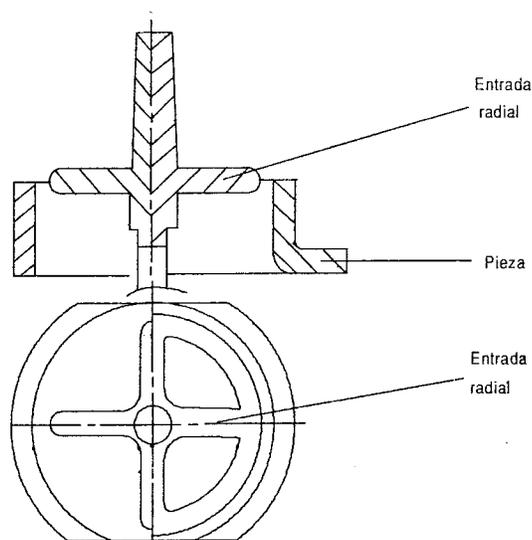


Figura 5.14. Entrada Radial.

5.5.6.- Entrada de anillo.

Regularmente se utilizan en piezas cilíndricas para permitir el flujo libre de material alrededor del núcleo antes de moverse de manera uniforme de manera descendente para el llenado del molde, como lo muestra la figura 5.15. El sistema es similar al de la extrusión de un tubo.

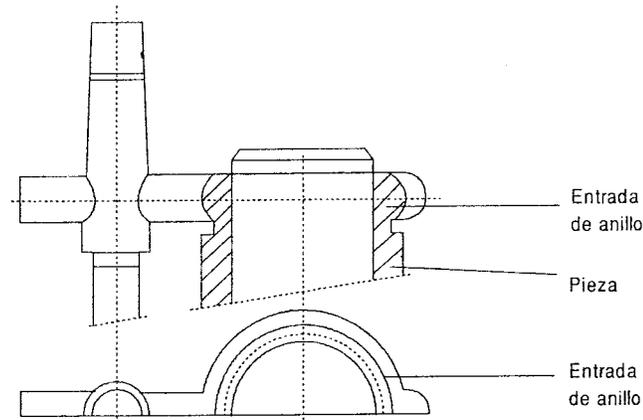


Figura 5.15. Entrada de Anillo.

5.5.7.- Entrada central.

Son utilizados en piezas grandes y de moldes de una sola cavidad en las que se obtenga un llenado rápido. Las entradas son mas anchas a diferencia de las entradas capilares, y la vena queda unida a la pieza para después ser desprendida (figura 5.16).

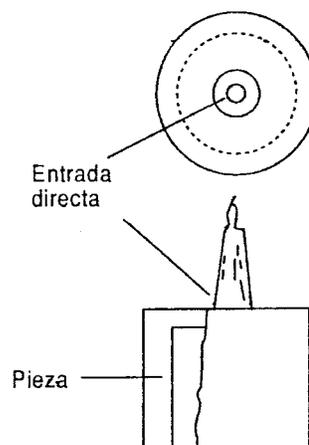


Figura 5.16. Entrada directa o central.

5.5.8.- Entrada múltiple.

Es usado cuando el diseño de la pieza tiene zonas frágiles con flujo limitado. En la figura 5.17 se muestra el diseño de este tipo que permite una mejora en el equilibrio del flujo alrededor de las zonas frágiles.

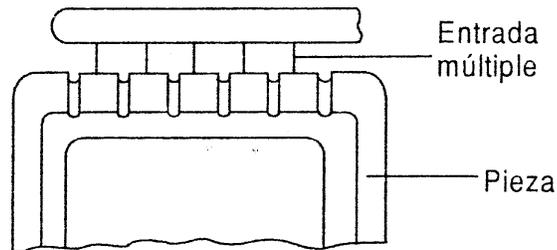


Figura 5.17 Entrada múltiple.

5.5.9.- Entradas de abanico.

Se permite un flujo a la cavidad a través de una entrada de gran área pero con poco espesor. Es común la utilización de este sistema (figura 5.18) para piezas con zonas frágiles o de gran superficie.

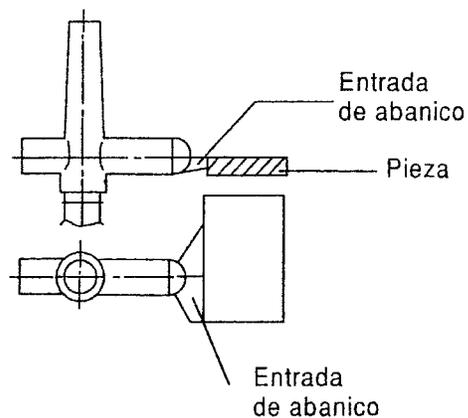


Figura 5.18. Entrada de Abanico.

5.5.10.- Entrada de membrana.

Es común para piezas de gran superficie donde se desea minimizar su alabeamiento como lo muestra la figura 5.19.

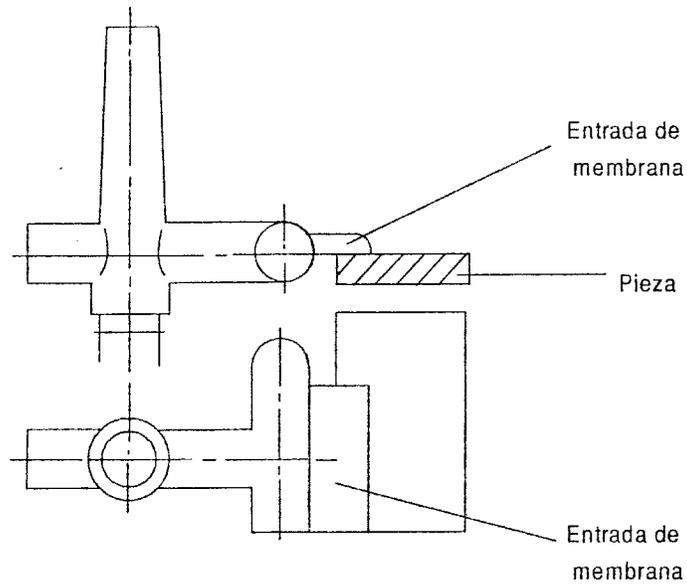


Figura 5.19. Entrada de membrana.

5.5.11.- Entada de lengüeta.

Se usa cuando se requiere transferir los esfuerzos producidos a la entrada hacia una lengüeta que posteriormente se removerá, como se muestra en la figura 5.20.

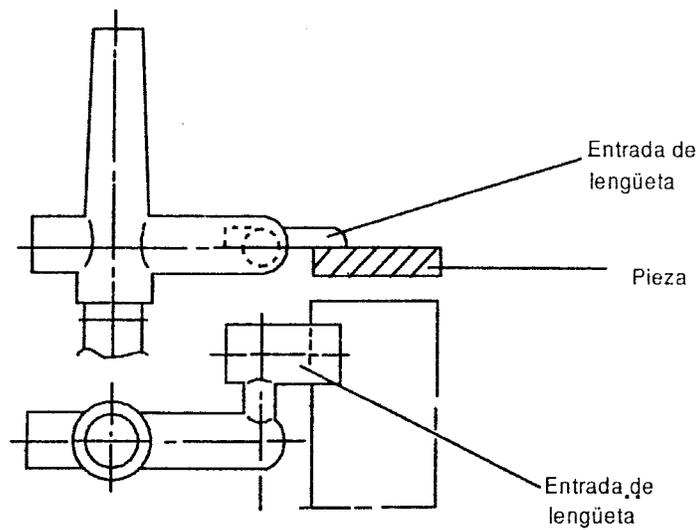


Figura 5.20. Entrada de Lengüeta.

5.6.- Respiración.

El aire atrapado cuando el molde es llenado por el material fundido debe tener una salida para evitar defectos en la pieza o en el proceso, como pueden ser burbujas atrapadas, zonas sin rellenar, etc.

Debido a ello es necesario contar con una respiración para el molde. Comúnmente, los respiraderos se localizan en los sistemas de expulsión y núcleos móviles, así como en la línea de partición (figura 5.21). Sus dimensiones pueden ir desde 0.025 a 0.076 mm de profundidad, y 1.59 a 6.35 mm de ancho.

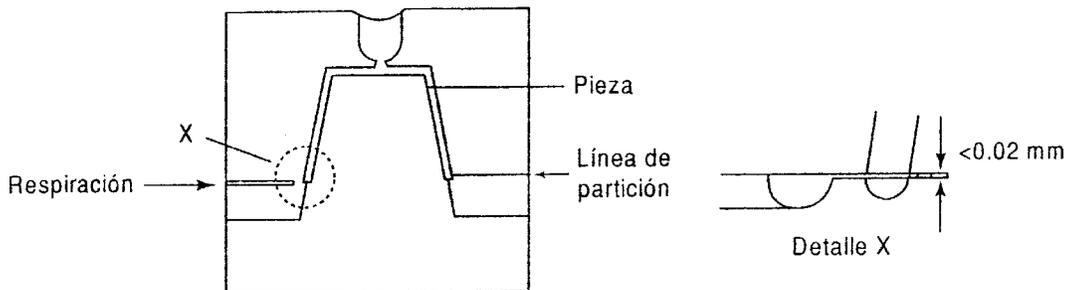


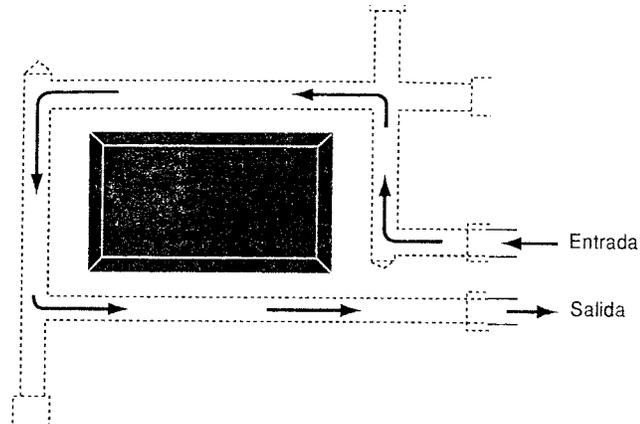
Figura 5.21. Sistema de respiración en inyección de plásticos.

5.7.- Refrigeración y Calefacción.

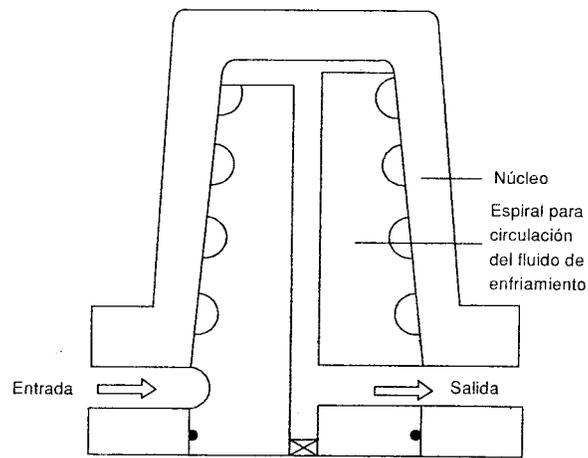
El sistema de enfriamiento en el diseño de un molde, es aquel que le permite al material endurecer y solidificar después de que este penetra en las cavidades. Un adecuado diseño en este sistema reduce el tiempo y costo del ciclo, además de mejorar la calidad en el producto disminuyendo problemas de encogimiento, esfuerzos residuales o extracción de la pieza.

Es recomendable enfriar a la misma velocidad cada parte del molde; para ello se puede utilizar agua fría para las partes internas y agua mas templada para las partes externas.

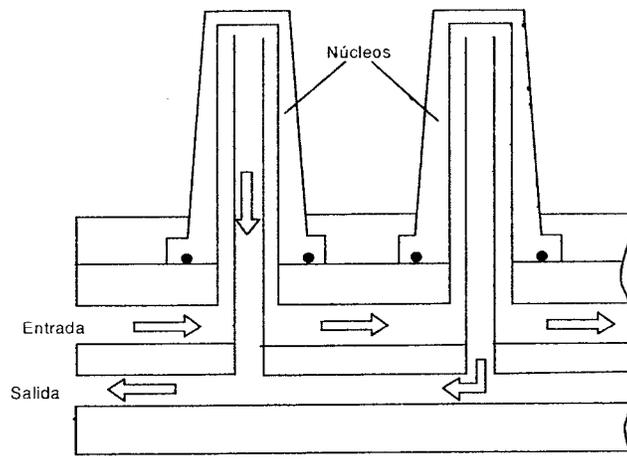
Es común que los moldes tengan canales interiores que permiten el flujo del fluido de enfriamiento (o calefacción), ya sea agua, agua con alcohol, aceite, etc. Por otro lado, las partes móviles deben refrigerarse en las zonas que rodean las cavidades y en los machos. La figura 5.22 presenta algunos diseños de sistemas de enfriamiento-calefacción según requieren las diferentes piezas.



(a)



(b)



(c)

Figura 5.22. Sistema de enfriamiento para piezas rectangulares (a), cónicas (b) o para varios núcleos (c).

Ahora, haciendo un análisis de ecuaciones, se sabe que la entalpía es la cantidad de calor que se necesita para cambiar la temperatura de cualquier masa de material, tenemos la ecuación 5.4:

$$H = Cp\Delta T \dots\dots\dots (5.4)$$

Donde:

Cp= calor específico ($Jg^{-1}C^{-1}$)

ΔT = Cambio de Temperatura

Entonces, de lo anterior, la cantidad de calor (q) requerida para cambiar la temperatura del material dentro de los límites establecidos, sería el producto de dicha masa (m) por el cambio de la Entalpía (ΔH) (ecuación 5.5):

$$q = m\Delta H \dots\dots\dots (5.5)$$

Dicho calor, debe ser removido del molde a través del líquido de enfriamiento a una rapidez (Q), que por definición, partiendo de la ecuación 5.4, se tiene la ecuación 5.6:

$$q_1 = QCp\Delta T \dots\dots\dots(5.6)$$

Donde:

q_1 = cantidad de calor a remover por unidad de tiempo (J/s)

Cp= calor específico ($Jg^{-1}C^{-1}$)

ΔT = diferencia entre la temperatura del fundido y la del molde ($^{\circ}C$)

Q= flujo másico del líquido de enfriamiento (g/s)

Por otra parte, si se desea calcular el contenido de calor a remover por unidad de tiempo (q_1), se tiene la ecuación 5.7:

$$q_1 = \frac{\text{Peso_total_de_la_inyección}(g) * \text{Calor_a_remover}(J/g)}{\text{Tiempo_de_ciclo}(s)} \dots\dots\dots(5.7)$$

Donde:

Q = Flujo másico del líquido de enfriamiento (g/s)

q_1 = Cantidad de calor a remover por unidad de tiempo (J/s)

C_p = Calor específico del líquido de enfriamiento (J/kg°C)

ΔT = Diferencia de temperaturas entre el líquido de enfriamiento a la entrada y a la salida del molde (°C)

A continuación, la tabla 5.1 muestra los valores de cantidad de calor a remover por unidad de masa (J/g) de los principales materiales polímeros.

Tabla 5.1. Valores del contenido de calor en algunos termo plásticos.

MATERIAL	TEMP. FUNDIDO (°C)	TEMP. MOLDE (°C)	ΔT	CALOR ESPECIFICO (Jkg⁻¹K⁻¹)	CALOR A REMOVER (J/g)
CA	210	50	160	1700	272
PET	240	60	180	1570	283
PMMA	240	60	180	1900	342
PC	300	90	115	3000	345
ABS	240	60	180	1968	364
PS	220	20	200	1970	394
PA 6	250	80	170	3060	520
PA 66	280	80	200	3075	615
LDPE	210	30	180	3180	572
HDPE	240	20	220	3640	801
PP	240	50	190	2790	670

En la tabla 5.2 se presentan algunos valores recomendados para las dimensiones de los canales de enfriamiento dependiendo el espesor de la pieza.

Tabla 5.2. Valores para diámetros de canales de enfriamiento.

ESPESOR DE LA PIEZA (mm)	DIAMETRO DEL CANAL DE ENFRIAMIENTO (mm) ²
	8-10
4	10-12
5	12-15

Por último, la longitud para los canales de enfriamiento, puede calcularse según la ecuación 5.8:

$$\text{Longitud total (mm)} = \frac{2dq_1}{k\pi D\Delta T} \dots\dots\dots (5.8)$$

Donde:

D= Distancia entre cada canal (m)

q_1 = Cantidad de calor por remover en el material por unidad de tiempo (J/s)

k= Conductividad Térmica del material del molde (J/m s °C)

D= Diámetro del canal del enfriamiento (m)

ΔT = Diferencia de temperaturas entre el fundido y el molde (°C)

CAPITULO 6

PROCESO DE FABRICACIÓN DEL GARRAFÓN

6.1.-Materia Prima

El PET es un tipo de materia prima plástica derivada del petróleo, correspondiendo su fórmula a la de un poliéster aromático, con unidades repetidas de ácido tereftálico y monoetilenglicol. Su denominación técnica es Polietilén Tereftalato o Politereftalato de etileno. Empezó a ser utilizado como materia prima en fibras para la industria textil y la producción de films El PET, sea homopolímero o copolímero, es un material semicristalino que puede presentarse en estado amorfo o parcialmente cristalizado.

El PET (Poli Etilén Tereftalato) perteneciente al grupo de los materiales sintéticos denominados poliésteres, fue descubierto por los científicos británicos Whinfield y Dickson, en el año 1941, quienes lo patentaron como polímero para la fabricación de fibras. Su uso textil se debe a la necesidad que hubo en este tiempo de sustituir al algodón debido a las batallas bélicas de Inglaterra en este tiempo. Fue hasta 1952 cuando se lo comenzó a emplear en forma de film para el envasamiento de alimentos. Pero la aplicación que le significó su principal mercado fue en envases rígidos, a partir de 1976; pudo abrirse camino gracias a su particular aptitud para el embotellado de bebidas carbonatadas.

6.1.1.-Propiedades del PET

- Procesable por soplado, inyección, extrusión. Apto para producir frascos, botellas, películas, láminas, planchas y piezas.
- Transparencia y brillo con efecto lupa.
- Excelentes propiedades mecánicas.
- Barrera de los gases.
- Biorientable-cristalizable.
- Esterilizable por gamma y óxido de etileno.
- Puede reciclarse.
- Liviano

6.1.2.-Desventajas

- Secado

Todo poliéster tiene que ser secado a fin de evitar pérdida de propiedades. La humedad del polímero al ingresar al proceso debe ser de máximo 0.005%.

- Costo de equipamiento

Los equipos de inyección soplado con biorientación suponen una buena amortización en función de gran producción. En extrusión-soplado se pueden utilizar equipos convencionales de PVC, teniendo más versatilidad en la producción de diferentes tamaños y formas.

- Temperatura

Los poliésteres no mantienen buenas propiedades cuando se les somete a temperaturas superiores a los 70 ° C. Se han logrado mejoras modificando los equipos para permitir llenado en caliente. Existe una excepción en el PET cristalizado (opaco) tiene buena resistencia a temperaturas de hasta 230 ° C.

- Intemperie

No se aconseja el uso permanente en intemperie.

6.1.3.-Ventajas

- Propiedades únicas

Claridad, brillo, transparencia, barrera a gases u aromas, impacto, termoformabilidad, fácil de imprimir con tintas, permite cocción en microondas.

- Costo

El precio del PET ha sufrido menos fluctuaciones que el de otros polímeros como PVC-PP-LDPE-GPPS en los últimos años.

- Disponibilidad

Hoy se produce PET en Sur y Norteamérica, Europa, Asia y Sudáfrica.

- Reciclado

El PET puede ser reciclado dando lugar al material conocido como RPET, lamentablemente el RPET no puede emplearse para producir envases para la industria alimenticia debido a que las temperaturas implicadas en el proceso no son lo suficientemente altas como para asegurar la esterilización del producto.

6.1.4.-Características del PET

- Biorientación

El estirado tanto longitudinal como radial, es decir, la biorientación inducida durante el proceso de soplado, provoca una ordenación de las cadenas de PET. Esto Permite lograr propiedades mecánicas y de barrera con optimización de espesores.

- Cristalización

Permite lograr resistencia térmica para utilizar bandejas termo formadas en hornos a elevadas temperaturas de cocción.

- Esterilización

El PET resiste esterilización química con óxido de etileno y radiación gamma.

- Viscosidad Intrínseca (IV).

La viscosidad intrínseca (dl/g) es el parámetro que se emplea habitualmente como indicador de la longitud promedio de las cadenas regulares de unidades repetitivas de ácido tereftálico y monoetilenglicol, que compone el PET. Por tanto, la viscosidad Intrínseca hace relación a la longitud de las cadenas de PET.

Un grado de resina de PET estándar corresponde generalmente a un copolímero de PET con una viscosidad intrínseca (IV) de 0,80 dl/g.

- Viscosidad del fundido.

La viscosidad en fundido del PET es un parámetro reológico, que caracteriza el comportamiento del material PET en procesos donde existe flujo.

Si bien la viscosidad en fundido del PET está también influenciada en parte por la longitud promedio de las cadenas de PET (viscosidad intrínseca), principalmente depende de la temperatura, del gradiente de velocidad de deformación por cizalla y de la propia composición de las cadenas poliméricas de PET. Distintos grados de resina de PET pueden por tanto presentar un comportamiento en estado fundido diferenciado.

- Absorción de radiación de infrarrojo cercano (NIR).

Dentro del espectro electromagnético la radiación de infrarrojo cercano (NIR) constituye únicamente una pequeña fracción, que va desde una longitud de onda de 0.8 μ m hasta 1,4 μ m.

Así como la capacidad de los polímeros de absorber en el IR medio y lejano encuentra principalmente aplicaciones en identificación y caracterización de estructuras poliméricas, la capacidad de absorción de radiación en el rango citado NIR es el fundamento de multitud de procesos industriales en los que se requiere calentar materiales plásticos, también el PET.

- Resistencia Química del PET

Este material posee una buena resistencia, en especial a las grasas y aceites presentes en alimentos, soluciones diluidas de ácidos minerales, álcalis, sales, jabones, hidrocarburos alifáticos y alcoholes. Sin embargo presenta poca resistencia a solventes halogenados, aromáticos y cetonas de bajo peso molecular.

6.1.5.-Datos técnicos.

En la tabla 6.1 se presentan las propiedades principales de PET.

Tabla 6.1- Datos técnicos del PET.

Valor límite de la viscosidad medido en ácido dicloroacético a 25°C	1.07
Punto de fusión °C	aprox. 252/260
Acetaldehído	ppm < 1
Contenido en grupos carboxílicos	mval/kg 20
Densidad aparente [g/cm ³] aprox.	0.85

Valores de permeabilidad

Oxígeno 23°C, 100% RF	2
Nitrógeno 23°C , 100% RF	9
Permeabilidad al vapor de agua	0.9
Dióxido de carbono	5.1

6.1.6.-Proceso de producción del PET

a) Polimerización

Industrialmente, se puede partir de dos productos intermedios distintos:

- TPA ácido tereftálico;
- DMT dimetiltereftalato

Haciendo reaccionar por esterificación TPA o DMT con glicol etilénico se obtiene el monómero Bis-beta-hidroxi-etil-tereftalato, el cual en una fase sucesiva, mediante policondensación, se polimeriza en PET según la figura 6.1.

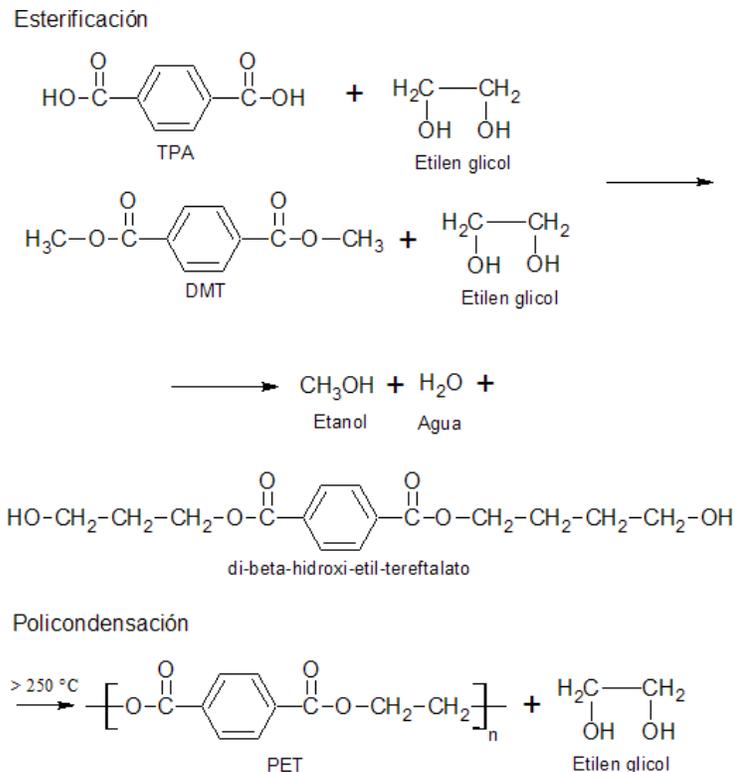


Figura 6.1. Obtención de PET mediante policondensación.

En la reacción de esterificación, se elimina agua en el proceso del TPA y metanol en el proceso del DMT.

La reacción de policondensación se facilita mediante catalizadores y elevadas temperaturas (arriba de 270°C).

La eliminación del glicol etilénico es favorecida por el vacío que se aplica en la autoclave; el glicol recuperado se destila y vuelve al proceso de fabricación.

Cuando la masa del polímero ha alcanzado la viscosidad deseada, registrada en un reómetro adecuado, se romperá el vacío, introduciendo nitrógeno en la autoclave. En

este punto se detiene la reacción y la presencia del nitrógeno evita fenómenos de oxidación. La masa fundida, por efecto de una suave presión ejercida por el nitrógeno, es obligada a pasar a través de una matriz, en forma de spaghetti que, cayendo en una batea con agua se enfrían y consolidan. Los hilos que pasan por una cortadora, se reducen a gránulos, los cuales, tamizados y desempolvados se envían al almacenamiento y fabricación

El gránulo así obtenido es brillante y transparente porque es amorfo, tiene baja viscosidad, o sea un bajo peso molecular, I.V. = 0.55 a 0.65; para volverlo apto para la producción de botellas serán necesarios otros dos pasos.

b) Cristalización

Con este término se describe el cambio de estructura de los polímeros semi cristalinos y que consiste en el fenómeno físico con el cual las macromoléculas pasan de una estructura en la cual su disposición espacial es desordenada (estructura amorfa, transparente a la luz) a una estructura uniforme y desordenada (estructura cristalina, opaca a la luz) que le confiere a la resina una coloración blanca lechosa. El proceso industrial consiste en un tratamiento térmico a 130- 160 °C, durante un tiempo que puede variar de 10 minutos a una hora, mientras el gránulo, para evitar su bloqueo, es mantenido en agitación por efecto de un lecho fluido o de un movimiento mecánico.

Con la cristalización, la densidad del PET pasa de 1.33 g/cm³ del amorfo a 1.4 del cristalino.

c) Polimerización en estado sólido o Post polimerización.

Esta es una fase ulterior de polimerización del PET.

El granulo cristalizado se carga en un reactor cilíndrico en cuyo interior, durante tiempos muy largos, es sometido a un flujo de gas inerte (nitrógeno) a temperatura elevada (sobre los 200 ° C).

Este tratamiento ceba una reacción de polimerización que hace aumentar posteriormente el peso molecular de la resina hasta los valores correspondientes de

I.V. (0.72 – 0.86) idóneos para la fabricación de la botella. El aumento de la viscosidad intrínseca es directamente proporcional al aumento del peso molecular. En esta reacción, mientras se ligan las moléculas, es eliminado parte del acetaldehído que se forma en la primera polimerización. Un buen polímero tiene valores de A.A inferiores a 1 ppm.

De estos reactores, se descarga PET de elevado porcentaje de cristalinidad (> 50) con viscosidad Grado para Botella (“Bottle Grade”).

6.1.7.-Uso del PET en envases para alimentos.

a) Ventajas del PET en envases alimentarios

Existen múltiples razones por las cuales el uso del PET en la fabricación de envases esta avalado mundialmente. A continuación se mencionan algunas.

- Factor Barrera

Se refiere a la resistencia que ofrece el material al paso de agentes exteriores al interior del mismo. Estos agentes pueden ser por ejemplo malos olores, gases ofensivos para el consumo humano, humedad, contaminación, etc. El PET se ha declarado excelente protector en el envasado de productos alimenticios, precisamente por su buen comportamiento barrera.

- Peso

Un envase requiere una consistencia aceptable para proteger el producto que contiene y dar sensación de seguridad al consumidor. El peso medio de un envase de agua en 1500 cm³ es de 37 a 39 gramos.

Así, por ejemplo, con este peso obtenemos la misma consistencia que un mismo envase en PVC con 50 gramos. Aproximadamente y en forma orientativa, diremos que el peso de un envase PET es de un 25 % menos que el mismo envase en PVC.

- Transparencia

La claridad y transparencia obtenida con este material (figura 6.2), es su estado natural (sin colorantes) es muy alta, obteniéndose un elevado brillo. No obstante, puede ser coloreado sin ningún inconveniente.



Figura 6.2.-Propiedades de transparencia y claridad de los envases PET.

- Resistencia Química

El PET es resistente a multitud de agentes químicos agresivos los cuales no son soportados por otros materiales (tabla 6.2.).

Tabla 6.2.-Resistencia química del PET ante distintos agentes químicos.

ALCOHOLES	
Metanol	muy resistente
Etanol	muy resistente
Isopropanol	resistente
Ciclohexanol	muy resistente
Glicol	muy resistente
Glicerina	muy resistente
Alcohol bencílico	resistente
ALDEHÍDOS	
Acetaldehído	muy resistente
Formaldehído	muy resistente
CARBONOS	
Tetracloruro de carbono	muy resistente
Cloroformo	resistente
Difenil clorado	muy resistente

... Continuación de tabla 6.2.

Tricloro etileno	muy resistente
DISOLVENTES	
Eter	muy resistente
Acetona	no resistente
Nitrobenceno	no resistente
Fenol	no resistente
ÁCIDOS	
Acido formica	muy resistente
Acido acético	muy resistente
Acido Clorhídrico 10 %	resistente
Acido Clorhídrico 30 %	resistente
Acido Fluorhídrico 10 y 35 %	muy resistente
Acido Nítrico 10 %	muy resistente
Acido Nítrico 65 y 100 %	no resistente
Acido fosfórico 30 y 85 %	.muy resistente
Acido sulfúrico 20%	resistente
Acido sulfúrico 80 % o más	no resistente
Anhídrido sulfuroso seco	muy resistente
SOLUCIONES ACUOSAS ALCALINAS	
Hidróxido amónico	no resistente
Hidróxido cálcico	resistente
Hidróxido sódico	no resistente
SALES (SOLUCIONES)	
Dicromato	muy resistente
Carbonatos alcalinos	muy resistente
Cianuros	muy resistente
Fluoruros	muy resistente
SUSTANCIAS VARIAS	
Cloro	muy resistente
Agua	muy resistente
Peróxido de hidrógeno	muy resistente
Oxígeno	muy resistente

- Degradación Térmica

La temperatura soportable por el PET sin deformación ni degradación aventaja a la de otros materiales, tomando en cuenta que este material se extrusiona a temperaturas superiores a 250 ° C, siendo su punto de fusión de 260° C.

- Total conformidad sanitaria

El PET supera a multitud de materiales en cuanto a calidad sanitaria por sus excelentes cualidades en la conservación del producto.

El PET es un poliéster y como tal es un producto químicamente inerte y sin aditivos.

Los envases fabricados correctamente, acorde con experiencias realizadas son totalmente inofensivos en contacto con los productos de consumo humano.

Debido a lo anterior, actualmente las industrias alimenticias más reconocidas a nivel mundial (figura 6.3) han optado por la utilización de PET en los envases, lo que marca una pauta para las demás empresas .



Figura 6.3.- Envases PET utilizados por las empresas alimenticias más reconocidas.

6.2.- Elección del proceso: “one-stage” ó dos etapas.

La primera aplicación importante del PET fue en el mercado de bebidas carbonatadas suaves. No obstante este mercado es muy estacional, con la mayor demanda durante los cálidos meses de verano, y algo menor en Navidad y Año Nuevo.

El proceso de una etapa, el cual fabrica la botella a partir de la materia prima en bruto en un solo proceso, trabajaba a su máxima capacidad sin cubrir los picos de demanda o los cubría y en tal caso trabajaba por debajo de su capacidad la mayor parte del tiempo.

Por añadidura, el sistema de mesa giratoria empleado estaba limitado en relación al número de cavidades que podían ser moldeadas en una sola máquina. Para alcanzar la gran demanda de botellas significaba invertir en un gran número de máquinas, las cuales estarían paradas la mayor parte del año.

Todo ello en tanto que el desarrollo de aplicaciones no carbonatadas no tuviera lugar. Además, las máquinas eran lentas y presentaban unas características de diseño que limitaban su uso.

El desarrollo del proceso de 2 etapas se basó en este mercado. Bajo este proceso el moldeo de las preformas fue separado del estirado y soplado de la botella, entonces esas preformas podrían ser fabricadas durante todo el año y almacenadas. Estas podrían ser sacadas del almacén y alimentar a una sopladora de preformas de alta producción para cubrir las oscilaciones de la demanda estacional.

De esta forma, aunque la inversión era relativamente alta, en la actualidad un gran número de compañías (dedicadas a la fabricación de garrafones de agua de 20 litros) invirtieron en este proceso debido a las ventajas anteriores, además de que el transporte de las preformas significan un costo menor en comparación al transporte del envase terminado.

En su excepción, la mayoría de las compañías que optan por el proceso de una etapa, son aquellas que realizan la inyección-soplado-llenado del producto final.

A continuación se mencionarán las características de los procesos de una y de dos etapas

6.3.-Moldeado de PET

6.3.1.-Tratamiento del PET antes del formado

El PET es un polímero que requiere una serie de procesos simples, para permitir su correcta transformación. Básicamente se requiere una fase de secado, deshumidificado y con la utilización de recuperado, el cristalizado.

- Secado

El proceso de secado consiste en almacenar el PET en una tolva con un dispositivo calefactor y mantenerlo durante un período de cuatro horas como mínimo a una temperatura de 170° C.

- Des-humidificado

El proceso anterior es más efectivo si el aire suministrado a la tolva de secado es seco. De esto se encarga un equipo deshumidificador del aire antes de que este sea utilizado por la tolva de secado. Se evitan condensaciones y fenómenos perjudiciales para su correcta transformación. La figura 6.4 muestra un deshumidificador utilizado en este proceso.



Figura 6.4.- Equipo de des-humidificación de aire.

- **Cristalizado**

Cuando se desea utilizar PET ya extrusionado debe ser triturado y cristalizado antes de volver a introducirse en la tolva secadora. De esta labor se encarga el cristizador, el cual bate el material a una temperatura de 100 grados aproximadamente, logrando que adquiera las propiedades precisas para su posterior re – utilización. Cabe señalar que este material, no puede usarse para envases alimenticios.

6.3.2.-*Técnicas de formado de envases.*

Existen dos sistemas para la realización de cuerpos huecos en PET. La Inyección – Soplado (la generación de la preforma y el posterior soplado de la misma) y la Extrusión- soplado “one stage”. Cada uno de ellos presenta sus ventajas e inconvenientes.

a) Sistema de Inyección – Soplado

La Técnica de Inyección – Soplado realiza el envase partiendo de dos procesos. Un preenvase (denominado preforma) que consiste en una especie de “tubo de ensayo” (figura 6.5) realizado por inyección y el soplado posterior del mismo. Esta preforma una vez fabricada es enfriada y posteriormente se calienta ligeramente. Una vez caliente, una cánula estira esa preforma hasta el fondo del molde, sometiéndose posteriormente a una alta presión de aire cercana a los 40 kg/cm² en su interior, la cual realiza un estirado de la misma adaptándose a las paredes del molde.



Figura 6.5. Preformas de PET

La producción de preformas de PET consiste en un proceso de moldeo por inyección. El PET para envases, que se presenta como pellets (figura 6.6) con un porcentaje de cristalinidad superior al 50%, tiene un punto de fusión de 240-250 °C medido por DSC.

La primera fase en el proceso de moldeo por inyección de preformas de PET es la fusión de los pellets de PET que ha de ser inyectada en el molde.

El equipo para el moldeo por inyección de preformas de PET consta de un extrusor para fundir y plastificar el PET, que una vez en ese estado, es inyectado en un molde cerrado con una gran presión, en lo que constituye la segunda fase del proceso de fabricación de preformas.

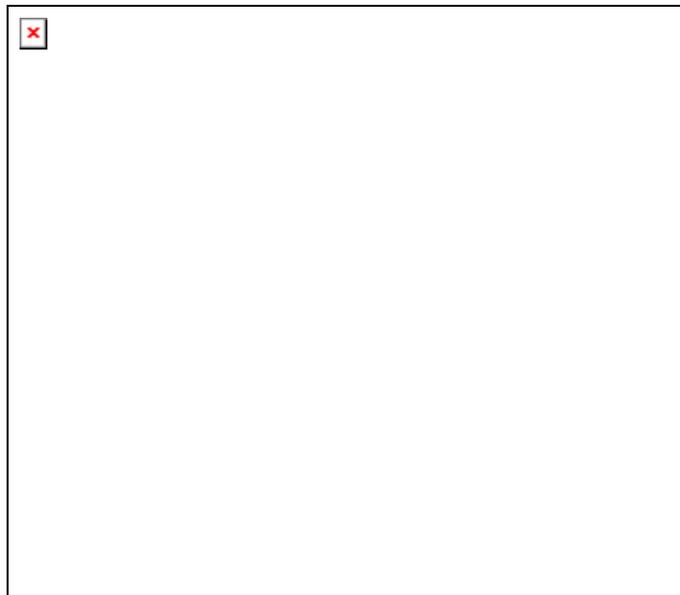


Figura 6.6. Pellets de PET.

Cabe señalar que además de las fases de fundido y de inyección, el proceso de fabricación de preformas requiere de dos operaciones auxiliares, fundamentales para la obtención de preformas de calidad: el secado del PET y la refrigeración del molde.

b) Extrusión-Soplado “one stage”.

La inyección de preformas en procesos integrados o de un solo proceso, integra el fundido, la inyección y el soplado del envase. Es lo que llama proceso integrado de producción de envases de PET.

En este sistema, el PET se introduce en la máquina a través de la tolva superior donde el husillo lo extrusiona y almacena en un cabezal acumulador diseñado a tal efecto. Cuando el molde precisa el material, una rápida expulsión permite el soplado del mismo, generándose el envase en un solo paso, al partir exclusivamente del PET y no precisar preforma.

En términos de los procesos de producción para el PET, el equipo usado para la producción de envases en un solo paso, diferencia del equipo de dos pasos principalmente en la "sección fría" del molde. En este caso cuando se inyecta la preforma, no se refresca a la temperatura ambiente sino se mantiene a una temperatura en el rango de 20 a 30 °C sobre la temperatura vítrea de la transición para poderlo soplar inmediatamente. La figura 6.7 muestra una maquina "one-stage" o de un solo paso.

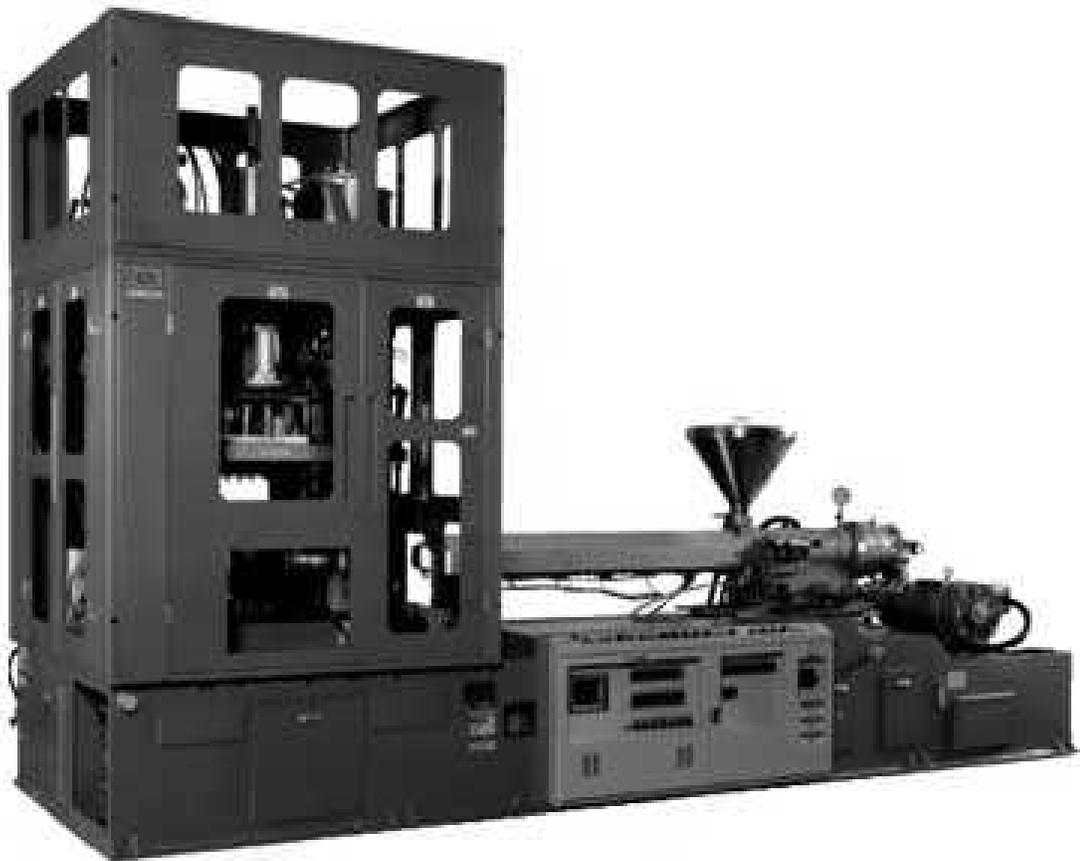


Figura 6.7.- Máquina de un solo paso o "one-stage"

6.3.3.-La coloración.

Las preformas de PET ofrecen también la posibilidad de ser coloreadas prácticamente sin ninguna limitación (figura 6.8), permitiendo de esta forma una gran flexibilidad en el diseño de los envases. Las máquinas de moldeo por inyección de PET generalmente permiten aditivar tanto masterbatches sólidos como colorantes líquido, cuyo uso se ha extendido notablemente en los últimos años. Existe la posibilidad de inyectar preformas de PET con una gran variedad de colores, incluso dando lugar a envases de PET opacos, tomando en cuenta que la saturación del color disminuirá en la botella, debido al adelgazamiento de las paredes, esto de acuerdo con la ley de Beer-Lambert o ley de absorción-transmisión de luz.

Es común que para envases de agua de 20 litros (garrafones), se utilice una aditivación para obtener un color azul-violeta. El aplicar esta tonalidad a casi el 100% de la producción de este tipo de envases en el país implica un estudio anterior basado en su función de barrera ante los rayos UV, previniendo la formación de microorganismos al interior cuando ya ha sido envasada el agua. Sin embargo, en la actualidad existe una empresa (BONAFONT) en nuestro país que recurre a una tonalidad naranja.



Figura 6.8.- Aditivación de color en preformas PET.

6.3.4.-El acetaldehído.

El acetaldehído es un compuesto orgánico, componente natural de muchas frutas y verduras, que puede surgir durante el proceso de producción de envases de PET a

consecuencia de algunas reacciones de degradación termo-oxidativa que tienen lugar durante la fase de fundido. Esta sustancia, en determinadas proporciones, afecta a las propiedades organolépticas del agua envasada en PET, por lo que los envasadores más exigentes tienden a limitar los niveles en los que se presenta.

Tradicionalmente deben incorporarse durante la fase de inyección, aditivos que limiten los efectos de las reacciones que generan acetaldehído, sin embargo, el uso de resinas de PET de determinadas características, permite, por sí mismo, producir envases con niveles óptimos de esta sustancia.

6.4.- Soplado de PET.

El proceso de soplado permite obtener, a partir de una preforma de PET, un envase final en cuya pared las cadenas de polímero han sido biorientadas y el PET se presenta parcialmente cristalizado. Dicho proceso presenta dos pasos, los cuales se mencionan a continuación.

6.4.1.-Calentamiento de la preforma.

El PET polimérico tiene una temperatura vítrea de transición de aproximadamente 78°C. Sobre esta temperatura, algunos de los segmentos de la cadena polimérica del PET tienen ya cierta movilidad, que aumenta en temperaturas más altas.

La primera etapa del proceso de soplado es el calentamiento de la preforma, aproximadamente 20-30°C sobre la temperatura vítrea de la transición del PET.

Para ello la preforma se hace pasar rotando por un horno de lámparas que emiten en el IR cercano (NIR). Al absorber esta radiación de NIR, el PET es calentado por el efecto de la vibración de los acoplamientos químicos generados, y es transmitida por la conducción al interior de la preforma hasta obtener una calefacción uniforme.

Estos hornos constan de varias zonas de lámparas de NIR a diversas intensidades. Dichas lámparas puede regular y controlar la distribución de la radiación de NIR en la preforma, optimizando de esta manera la distribución del material en la pared del envase. La figura 6.9 muestra un horno de calentamiento de preformas.

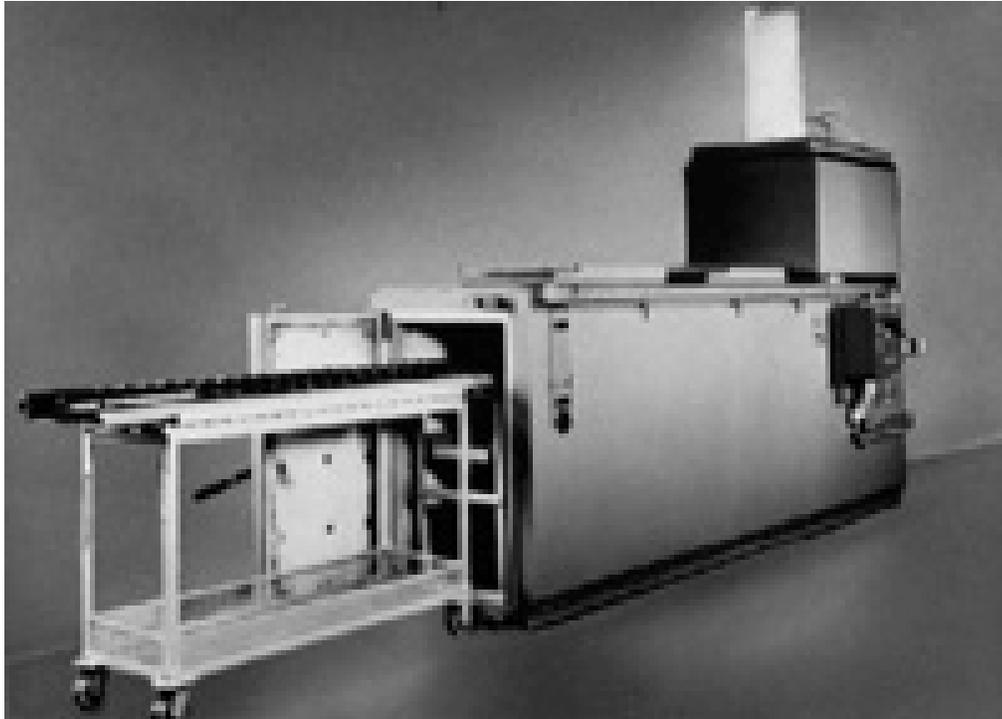


Figura 6.9.- Horno para calentamiento de preformas.

6.4.2.- Soplado.

La siguiente etapa en el proceso es propiamente el soplado de la preforma mediante aire seco comprimido. Esto se realiza en una maquina sopladora (figura 6.10), la cual contiene el molde de la forma final del envase.

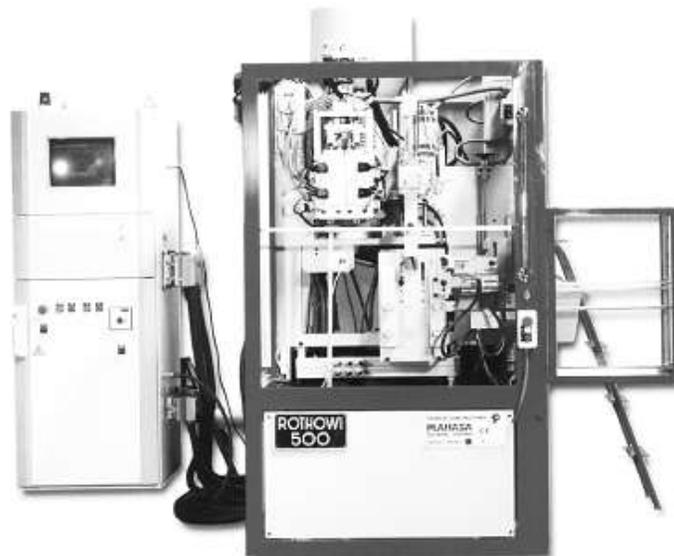


Figura 6.10.- Máquina sopladora de plásticos.

Cuando la preforma previamente calentada es colocada dentro del molde de soplado, este cierra e inmediatamente una varilla es introducida en la preforma, alcanzando la base interior y comenzando a estirarlo longitudinalmente.

Existe una etapa intermedia que se realiza durante el proceso llamada el pre-soplado. Esto consiste en el introducir el aire seco comprimido en la presión baja (<15 bar) por un instante. El pre-soplado provoca cierto grado de biorientación pero, sobretodo, favorece el control de la distribución del material a lo largo de la longitud de la pared de empaquetado.

La sincronización, la duración y la presión de pre-soplado son todos los parámetros dominantes para la optimización del proceso. El estiramiento longitudinal de la preforma de PET con la barra continúa hasta que la varilla casi alcanza la base del molde de soplado, en ese instante se activa la presión de soplado (35-40 bar) y así biorientan el material del PET a un máximo mientras se conforma con la forma del envase. Esta alta presión de aire seco comprimido se mantiene solamente por cierto tiempo, cuando ésta termina, se abre el molde de soplado y se obtiene el envase final de PET (figura 6.11).



Figura 6.11.- Envase de 20 litros de PET.

6.4.3.-La maquinaria de soplado.

Las maquinas utilizadas para el soplado de PET (y otros polímeros) en general están basadas en el mismo principio de funcionamiento, incluso aquellas que realizan la operación de inyección y soplado en un solo paso. Sin embargo, en la actualidad, la diferencia radica en la capacidad de dichas maquinas para realizar el proceso y obtener una mayor producción. A continuación se menciona una clasificación basada en dicho parámetro.

- Máquinas de soplo rotatorias.

El diseño de estas maquinas contiene un bloque que gira, el cual contiene de 2 a 24 moldes, con la capacidad actual de obtener más de 1.600 envases por hora.

Estas máquinas también se optimizan con hornos de calefacción de lámparas NIR, los cuales permiten obtener hasta 30.000 preformas por día.

- Máquinas de soplo lineales.

Dichas máquinas, en vez de un bloque que gira, tienen un diseño lineal con 2, 3 o 4 moldes de soplado en línea, y su capacidad de producción por molde es levemente inferior a la de las máquinas rotatorias.

La instalación de estas máquinas, generalmente es menos costosa que las rotatorias y es recurrente en pequeños fabricantes de envases.

- Maquinaria integrada para los procesos de una etapa.

Para los procesos integrados (1 etapa), se tienen un tornillo para derretir y plastificar el PET, además de una prensa y un molde para dar lugar a la preforma.

En este caso, la preforma inyectada no se enfría a la temperatura ambiente, si no que permanece en las temperaturas 20 a 30°C sobre la temperatura de la transición vítrea.

Por lo tanto, la etapa de la calefacción con las lámparas de NIR no es necesaria. Existe sin embargo, un período de acondicionamiento térmico de la preforma, usando corrientes de aire; de esta manera, existe una distribución uniforme del calor.

Posteriormente se tiene la etapa de soplar-moldear, esta se realiza de la misma forma que en el proceso de dos etapas.

6.4.4.-Distribución de PET en el envase.

Un reparto uniforme del PET a lo largo del envase es fundamental para optimizar sus propiedades mecánicas, principalmente la estabilidad dimensional y la resistencia a la compresión.

Para una correcta distribución del material en la pared del envase influyen también el diseño de la preforma y el grado de resina de PET empleado. Para cada combinación de ambos será siempre necesario ajustar las condiciones de soplado para optimizar el reparto en el envase final.

Entre los parámetros de proceso que permiten controlar la distribución del material en el soplado hay que destacar dos principalmente: el perfil de distribución de potencia en las lámparas del horno y las condiciones de pre-soplado.

- Perfil de la fuerza de la distribución de las lámparas del horno.

La distribución de la potencia en las lámparas permite el control del calentamiento de la preforma, de esta forma se tiene un estiramiento mayor en las zonas donde se tiene una temperatura más alta.

- Condiciones de pre-soplado.

El pre-soplado constituye una primera fase de la biorientación, esto se realiza anterior a la emisión del aire comprimido.

La sincronización, la longitud y la presión usadas en dicha fase son de gran importancia. Estas tres variables determinan la distribución longitudinal al estirar la preforma.

Si el pre-soplado se retrasa o si se reduce la presión, se tiene un exceso de material en el fondo. Por el contrario, si esta fase se adelanta o aumenta la presión, se aligera la base y se tiene más material en el cuerpo de la botella.

6.4.5.-La biorientación.

El extendido uso de los envases de PET en distintas aplicaciones se debe en parte a las ventajas que confiere la biorientación de las cadenas poliméricas de PET. El estirado tanto longitudinal como radial, es decir, la biorientación inducida durante el proceso de soplado, provoca una ordenación de las cadenas de PET que incluso llega a cristalizar por deformación, a pesar de estar a temperaturas notablemente inferiores a la Temperatura de cristalización medida por DSC.

En el proceso de soplado de las preformas de PET, el efecto combinado de la varilla de estirado y el aire de soplado provocan un estirado simultáneo tanto longitudinal como radial. Este estirado biaxial induce una ordenación espacial de las cadenas poliméricas que da lugar a la formación de estructuras cristalinas de PET. Esta cristalización en el cuerpo de los envases de PET inducida por la deformación mecánica durante el soplado está favorecida por relaciones de estirado más elevadas.

El porcentaje de cristalización, que alcanza normalmente entre 20 y 30%, es responsable de la estabilidad dimensional del envase final de PET. Como la cristalización es producida por deformación más bien que por la temperatura, la estructura cristalina en las paredes del envase mantiene un brillo y una transparencia similares a las del cristal.

Las altas relaciones de la biorientación significan características mecánicas mejores en el envase de PET. Debido a ello la tendencia en diseño de preformas de PET en los últimos años ha sido reducir el peso reduciendo longitud y aumentando el grueso de pared, buscando relaciones más altas de biorientación.

CAPITULO 7

PROBLEMAS PRESENTES EN EL PROCESO

7.1.- Defectos en el proceso.

El proceso de moldeo por inyección es muy utilizado en la actualidad debido a sus altas velocidades de producción, versatilidad y un gran número de ventajas más. Debido a esto, en muchas ocasiones las piezas obtenidas presentan características de poca calidad, que no representan un obstáculo para poder ser comercializadas o utilizadas para el efecto que se fabricaron.

Sin embargo, se deben tomar medidas especiales para piezas de calidad (como lo son las preformas de PET), las cuales exigen medidas dimensionales muy precisas, coloración exacta, acabado superficial especificado (como por ejemplo, sin "burbujas de aire incrustadas") y resistencia a algunos ensayos físicos y químicos, como resistencia a la tensión o al ataque de agentes químicos.

Cuando dichas piezas no cumplan con las mencionadas especificaciones, deben aplicarse correcciones para obtener el producto deseado. Para tal efecto, los aspectos a analizar son: máquina, material, molde, medio ambiente y mano de obra.

Para poder solucionar algún problema relacionado con la máquina, el molde o la materia prima es necesario conocer el proceso, los ciclos que intervienen en éste y sus variables.

El ciclo de moldeo puede describirse con claridad de la siguiente forma.

- Cierre del molde.
- Se inyecta el polímero fundido y se compacta
- Comienza el enfriamiento de la parte inyectada, la máquina inicia el recargado de material para su posterior inyección.
- Finalizando el tiempo de enfriamiento, inicia la apertura del molde
- Expulsión de la pieza.

Las variables que intervienen en dicho proceso son.

- Variables de la máquina
- Variables del molde
- Variables de la materia prima
- Variables del equipo periférico (secadoras, molinos, climas etc.)
- Variables del acabado y manejo de las piezas moldeadas.
-

Las primeras cuatro variables involucran tiempos, presiones, temperaturas y velocidades, los cuales son parámetros que se pueden modificar para corregir defectos en nuestro producto. La última variable, posiblemente es la más voluble de todas, es en algunas ocasiones difícil de fijar, debido a que interviene el factor humano.

7.1.1.-Defectos en el moldeo por inyección.

La tabla 7.1 presenta algunos de los defectos mas comunes en el proceso de inyección, sus posibles causas y las soluciones probables que pueden realizarse.

Tabla7.1.- Defectos, causas y soluciones presentes en el moldeo por inyección.

DEFECTO	POSIBLES CAUSAS	PROBABLES SOLUCIONES
No hay carga de material.	<ul style="list-style-type: none"> - Garganta de la tolva obstruida. - Perfil de temperaturas inadecuado - Tornillo desgastado 	<ul style="list-style-type: none"> -Limpiar la garganta de tolva -Verificar que el perfil de temperaturas sea el adecuado. -Cambio de tornillo.
Alabeo, pandeo, torcido.	<ul style="list-style-type: none"> -Material inadecuado. -Diseño deficiente del molde. -Temperaturas de procesamiento inadecuadas. 	<ul style="list-style-type: none"> -Cambiar a un material de mayor fluidez. -Cambiar el lugar de la entrada. Mejorar el pulido del molde. -Aumentar la temperatura de la resina. Aumentar el tiempo de enfriamiento.

... Continuación tabla 7.1

<p><i>Enchuecamiento</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> -Enfriamiento demasiado intensivo. -Diseño inadecuado de la pieza. -Tiempo de enfriamiento muy corto. -Sistema de extracción inapropiado. -Esfuerzos en el material. 	<ul style="list-style-type: none"> -Incrementar el tiempo de enfriamiento dentro del molde. -Utilizar un polímero reforzado.
<p><i>Acabado superficial deficiente en la pieza.</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - Resina entra fría al molde. - Llenado del molde muy lento - Defectos en el molde (acabado, diseño). 	<ul style="list-style-type: none"> -Verificar perfil de temperaturas para el material. Verificar temperatura de la boquilla. Verificar temperatura del molde. -Aumentar perfil de temperaturas para el material. Aumentar temperatura de la boquilla. Aumentar temperatura del molde. Aumentar presión de inyección -Posible recubrimiento superficial al molde. Rectificar la superficie del molde. Verificar que la configuración de los corredores y entradas sea la idónea para la pieza.
<p><i>Puntos negros</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> -Hay carbonizaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> -Purgar el husillo. Reducir la temperatura de proceso. Limpiar el husillo manualmente.
<p><i>Piel de naranja</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> -Incompatibilidad del material. 	<ul style="list-style-type: none"> -Disminuir la temperatura de proceso. Incrementar la temperatura del molde. Cambiar el concentrado de color.

... Continuación tabla 7.1

<p>Líneas de flujo</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Mala dispersión del concentrado de color o del pigmento. -Temperatura demasiado baja. -Molde muy frío. -Baja presión de inyección. - Canales obstruidos. - Entrada o boquilla inadecuada muy estrecha. - Dosificación insuficiente. 	<ul style="list-style-type: none"> -Cargar el material más lentamente. -Incrementar la temperatura del barril. Modificar el perfil de temperaturas. -Eleva la temperatura del molde. Verificar los canales de alimentación para el enfriamiento del molde, que no se encuentren obstruidos. -Incrementar presión de inyección. -Limpieza de los canales. Verificar si el diseño es el adecuado. -Rectificar o cambiar la boquilla. -Disminuir la velocidad de inyección. Aumentar la dosificación.
<p>Delaminación de capas</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Temperatura demasiado baja. -Velocidad de inyección demasiado baja. -Baja contrapresión de la máquina. 	<ul style="list-style-type: none"> -Incrementar la temperatura. -Incrementar la velocidad de inyección. -Incrementar la contrapresión de la máquina.
<p>Marcas de las barras eyectoras</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Tiempo de enfriamiento muy corto. Temperatura del molde alta. -Temperatura del polímero demasiado alta. -Rapidez de eyección demasiado alta. -Localización inadecuada de las barras eyectoras. 	<ul style="list-style-type: none"> -Incrementar el tiempo de enfriamiento. -Disminuir la temperatura del fundido. -Disminuir la rapidez de eyección. -Modificar la ubicación de las barra eyectoras.

... Continuación tabla 7.1

<p>Piezas incompletas</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Insuficiente carga del material en la cavidad y en la tolva. - Temperaturas no uniformes en el molde. - Diseño deficiente del molde. - Sistema de venteo en el molde obstruido. 	<ul style="list-style-type: none"> -Aumentar la cantidad de material. Aumentar la presión de inyección. -Verificar y limpiar sistema de refrigeración del molde. -Corrección de entradas y corredores. Cambio de molde. -Limpieza de los sistemas de venteo.
<p>Rechupes y huecos</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Presión de inyección demasiado baja. -Tiempo de sostenimiento de presión muy corto. -Material sobrecalentado. -Velocidad de inyección baja. -Humedad. -Enfriamiento del molde no uniforme. -Canales o compuerta muy pequeños. Mal diseño de la pieza. 	<ul style="list-style-type: none"> -Incrementar la presión. -Incrementar el tiempo de sostenimiento de presión. -Disminuir la temperatura del barril. -Incrementar la velocidad de inyección. -Abrir el venteo o presequer el material. -Modificar los canales de enfriamiento del molde o el flujo del agua. -Modificar el molde.
<p>Dificultad de extracción de la pieza del molde.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Piezas demasiado frías. - Excesivo empaquetamiento del material. - Defectos en el molde (acabado, diseño). - Material inadecuado. 	<ul style="list-style-type: none"> -Verificar la temperatura del molde -Disminuir la presión de empaquetamiento -Posible recubrimiento superficial al molde. Rectificar la superficie del molde. Cambiar molde en última instancia. -Cambiar a un material de menor fluidez.

... Continuación tabla 7.1

<p>Quemado de la pieza</p>	<p>- Quemado por efecto de jet (chorro).</p>	<p>- Disminuya la velocidad de inyección.</p>
<p>Flash</p>	<p>- Presión de cierre demasiado baja.</p>	<p>- Incrementar la presión de la unidad de cierre.</p>
<p>Líneas de soldadura.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Plástico demasiado frío. - Variación en el espesor de las piezas. - Molde demasiado frío. - Presión insuficiente. - Baja velocidad de inyección. - Sistemas de venteo inadecuados. 	<ul style="list-style-type: none"> - Aumentar temperatura del molde y barril. Aumentar presión de inyección. - Rediseño de la pieza. Rediseño de la entrada de material a la pieza. - Aumentar temperatura del molde - Aumentar la presión de inyección. - Aumentar velocidad de inyección. - Limpieza de los sistemas de venteo. Rediseño de los sistemas de venteo.
<p>Rebaba</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Alimentación excesiva. - Presión elevada - Material sobrecalentado. - Molde desajustado. - Baja fuerza de cierre. 	<ul style="list-style-type: none"> - Reducir la alimentación - Disminuir la presión - Verificar el perfil de temperaturas del material. Disminuir la temperatura del molde. - Verificar la calibración del molde para su cierre. - Aumentar la presión de cierre. Verificar si la maquina es la adecuada para la presión necesaria por la pieza a inyectar.

... Continuación tabla 7.1

<p>Burbujas internas en la pieza</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Plástico en el molde insuficiente para impedir una contracción producida por bordes, nervios. - Humedad en el material - Temperatura desigual en el molde. 	<ul style="list-style-type: none"> -Aumentar la alimentación. Aumentar el tamaño de la entrada. Aumentar presión de inyección. -Secado adecuado del material antes de su procesamiento. Verificar el equipo periférico de secado y transporte a la tolva de alimentación. -Verificar los canales de alimentación para el enfriamiento del molde, que no se encuentren obstruidos.
<p>Ruptura o pieza con grietas</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Molde frío. - Diseño o impresiones del molde inadecuados - Excesivo empaquetamiento del material. - Sistema de eyección demasiado agresivo o inadecuado. 	<ul style="list-style-type: none"> -Eleva la temperatura del molde. -Posible recubrimiento superficial al molde. Rectificar la superficie del molde. Cambiar molde en última instancia. -Verificar la presión de empaquetamiento (disminuir la presión de sostenimiento) - Modificar las barras eyectoras. Utilice un robot para extraer la pieza.
<p>Coloración deficiente en la pieza.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Colorante inadecuado. - Mala distribución en el premezclado. - Tornillo inadecuado. 	<ul style="list-style-type: none"> -Cambiar el tipo de colorante o la concentración. -Aumentar la contrapresión en la recarga de material -Cambiar la configuración del tornillo. Cambio de tornillo
<p>El color es más oscuro</p>	<ul style="list-style-type: none"> -La temperatura es demasiado alta o la compuerta es demasiado pequeña y se quema el polímero por presión. 	<ul style="list-style-type: none"> -Disminuir la temperatura. -Modificar la compuerta del molde.

... Continuación tabla 7.1

<p><i>El concentrado de color no se mezcla</i></p>	<p>-Perfil incorrecto de temperaturas.</p>	<p>-Probar un perfil inverso de temperaturas. Bajar la temperatura de las primeras dos zonas de la unidad de inyección. Usar un perfil de temperaturas más agresivo.</p>
<p><i>Degradación por aire atrapado</i></p>	<p>-Humedad. Degradación de aditivos. -Temperatura demasiado alta. - Respiración del molde insuficiente.</p>	<p>-Secar el material. -Disminuir la temperatura. -Modificar la respiración del molde.</p>

7.2.- Optimización del proceso.

El mejor método para procesar preformas, resolviendo cualquier problema es mediante un Diseño de Experimentos (DDE), lo cual permitiría mejorar y aprender de los procesos rápida y efectivamente.

Es común que los ciclos de inyección estén ajustados a la ventana del proceso. Esto regularmente sucede cuando se compensa algún defecto de dicho proceso, y en ocasiones, aún después de corregir el problema mecánico, la planta continúa trabajando con el proceso ajustado de esa forma.

Si esto ocurre, existen dos caminos a seguir: realizar una serie de Diseños de Experimentos para el proceso actual, lo cual estaría soportado con evidencias; o bien, ir hacia un punto de partida más lógico antes de iniciar los experimentos.

En este caso, deben considerarse aspectos como por ejemplo un secador deficiente o bajo flujo de agua en el molde, que pueden afectar el resultado final cuando ya se ha ajustado la máquina. En cuanto a moldes, los más antiguos pueden tener venteos y enfriamientos más pobres que los más recientes y mejor diseñados en el mundo.

Otras situaciones que son incontrolables y que pueden afectar la habilidad de mantener un proceso optimizado, incluyen problemas con alguna de las dos camas

desecantes donde un ajuste puede funcionar muy bien por cuatro horas con una de ellas, pero no con la otra, o puede darse el caso de que la empresa acostumbre comprar lotes pequeños de resina fuera de especificación a precios preferentes. Al corregir estos factores, aumenta la ventana de proceso.

A continuación se mencionan algunos aspectos que pueden acercarnos a una ventana de proceso adecuada para preformas de PET.

7.2.1.- Control de variables.

Las principales variables relacionadas con el llenado de la cavidad son disparo, presión de inyección, velocidad de inyección, punto de cambio o conmutación y, finalmente, el tiempo y presión de sostenimiento. Algunas recomendaciones para el correcto llenado de las cavidades son:

1. Adecuar el tiro o disparo para mantener un cojín de plástico de 5mm al final de la fase de sostenimiento.
2. Ajustar el punto de cambio o conmutación al 15% de la longitud del disparo (Longitud del disparo = disparo – cojín).
3. Establecer el tiempo de llenado en segundos al 10% del equivalente en peso (por ejemplo: Una preforma de 45 gramos deberá iniciar con una inyección o tiempo de “llenado” de 4.5 segundos. Una de 28 gramos con 2.8 segundos).
4. Buscar una curva plana para la presión de Inyección. La presión debe permanecer relativamente constante al reducir la velocidad mientras se ajusta el tiro.
5. Usar los tres pasos de las Presiones de Sostenimiento. El primero ajustarlo al 60% de la presión de inyección máxima; el segundo, al 50%, y el tercero, al 40% (por ejemplo: Si la presión de inyección máxima es 1500psi durante la inyección, Presión de Sostenimiento No. 1 deberá ser 900psi, No. 2 = 750psi y la No. 3 = 600psi)
6. Ajustar los Tiempos de Sostenimiento de las tres fases al 10% del equivalente en peso. Divida el tiempo en partes iguales para cada etapa de sostenimiento (por ejemplo: una preforma de 45 gramos tendrá 4.5 segundos de sostenimiento; 1.5 segundos para cada una de las tres fases).

Si la inyección se realiza sin disminuir la presión de inyección mientras se llenan las cavidades, usualmente se crea exceso de “flash” y hace más difícil expulsar las piezas. La velocidad excesiva de inyección excederá la capacidad de ventilación de la cavidad y atraparé aire contra las paredes. Buscamos mantener un flujo regular para sacar el aire por los canales de venteo durante la fase de inyección, sin sobreempacar en la fase de sostenimiento, lo que puede generar fallas en el punto de inyección de la preforma. Si el tiempo de sostenimiento es casi el doble del tiempo de inyección para apenas eliminar rechupes, hundimientos o perforaciones en la preforma, la velocidad de inyección estará demasiado elevada. La regla del 10% del peso como tiempo de inyección es una buena guía. Sin embargo, los productos de pared delgada (<2.5mm) usualmente pueden inyectarse más rápido. A más de 4.5mm de espesor, la velocidad será menor.

7.2.2.-Tiempo de Enfriamiento

Por varias razones, es deseable minimizar el tiempo de enfriamiento. A mayor Viscosidad Intrínseca VI, menor generación de acetaldehído AA, y mayores ganancias económicas. Las preformas pueden salir de la máquina a temperaturas superficiales mas allá de los 60°C y no sufrir deformación en el contenedor. Así, disminuimos el tiempo de enfriamiento hasta antes de deformar el punto de inyección o generar problemas de transferencia de deformación en la banda de salida.

7.2.3.-Husillo y Calentamiento del Molde

Para alcanzar ciclos más rápidos también es forzoso analizar si realmente es necesario todo el calor suministrado al proceso. A menor energía de calentamiento aplicada a la resina, también es menor la energía que debe quitarse después a la preforma con el tiempo de enfriamiento.

El primer objetivo es reducir el tiempo de carga a dos segundos o menos. A veces se encuentran inyectoras con cinco segundos, lo que significa que la presión de transferencia estaba muy lejos de lo que el proceso necesitaba en realidad. Un

exceso de presión de sostenimiento requiere más trabajo en la parte media del husillo.

Como siguiente paso es necesario disminuir la contrapresión de 100 en 100 psi. Esto es clave para reducir trabajos. En caso de que se generen burbujas en la pieza final será necesario regresar la presión un paso de 100psi. Posteriormente, se disminuyen las temperaturas del husillo y de las resistencias, desde el cabezal hasta la boquilla, 5 °C cada vez hasta encontrar pellets sin fundir. En este punto será necesario aumentar alrededor de 7 °C en los husillos. Se puede optar por dejar la sección del distribuidor más caliente que el resto de las resistencias para facilitar el movimiento de la válvula.

Después, se disminuye la temperatura del molde 5 °C cada vez. El límite se observará cuando queden restos de plástico en las paredes. Entonces será necesario regresar a un paso anterior y aumentar 5 °C. Finalmente, se disminuye la temperatura de la boquilla sin pasar el 5% de su valor original cada vez. (Por ejemplo: las boquillas que normalmente están al 40%, se disminuyen 2% cada vez).

Se debe observar el tamaño y la cristalinidad del punto de inyección y la cantidad de descascaramiento. Al eliminar una gran cantidad de calor del proceso se puede intentar reducir más el tiempo de enfriamiento. Es sorprendente el tiempo que se puede ahorrar en enfriamiento al optimizar la temperatura de los husillos, cabezales y boquillas.

7.2.4.-Lubricación y Movimiento de la Unidad de Cierre

Para la unidad de cierre y sus ciclos de auto lubricación, continuamente encontramos que los intervalos de lubricación están al máximo. Al disminuirlos a valores entre 200 a 250 de ciclo, podemos hacer más suave y rápido el cierre en sus puntos de frenado, al menos se puede ahorrar 0.3 segundos.

Menos lubricante pero más frecuente, otorga mayor control que mucha grasa cada 1250 ciclos. “Robar tiempo” del tiempo de expulsión es un método común para

acortar el ciclo que puede evitarse completamente al adquirir un sistema de fotoceldas para el molde cuando está nuevo. Éstas pueden reducir el tiempo de expulsión por lo menos 0.1 segundos. Para una máquina con un ciclo de 20 segundos al 95% de eficiencia, significan 7,259 ciclos adicionales por año. En un ciclo de 10 segundos, significan 14,518 ciclos. Si se trata de un molde de 144 cavidades, son 2, 090,592 preformas más al año, además habrá mucho menos paros por problemas de transferencia de piezas.

Un problema común con máquinas de 3 ejes son las mangueras que quedan dobladas, y eventualmente cortadas, debido al movimiento constante y la fatiga. Las fugas en el sistema de vacío requieren de retrasos del expulsor.

7.2.5.-Los Sigüientes Pasos

El proceso, con todas estas modificaciones, deberá encontrarse en mejores condiciones y listo para comenzar una optimización adecuada con Diseño de Experimentos. Una buena selección de experimentos es similar al orden de optimización mostrado:

1. Corregir la inyección: Velocidad de Inyección, Punto de cambio o permutación, Presión y Tiempo de sostenimiento, Tiempo de Enfriamiento.
2. Mejorar la fundición: Temperatura del husillo, contrapresión, Temperatura del Molde.
3. En forma opcional, como un experimento usar la metodología de Respuesta de Superficie, RSM. Mejorar la apariencia del punto de inyección: Retraso de Cierre de Válvula, Presión Final de Sostenimiento, Tiempo de Enfriamiento, Retroceso.
4. Optimizar Secado: Temperatura de Proceso, Tiempo de Secado, Flujo de Aire. Asegúrese de medir la humedad de la resina, la cantidad de acetaldehído generada y la viscosidad intrínseca como respuestas para documentar su proceso de secado. (Buscar con su proveedor de resina la verificación de VI. Las pruebas de humedad son más confiables con el método de análisis real de humedad en vez del método gravimétrico por pérdida).

CONCLUSIONES

Después del trabajo realizado, se pueden establecer las siguientes conclusiones:

1. El PET confiere a los envases alimenticios propiedades únicas entre las cuales se encuentran: procesable por soplado, inyección, extrusión; tienen una transparencia y brillo similar al vidrio; excelentes propiedades mecánicas; liviano, reciclable y esterilizable.
2. Las principales características de un envase hueco de PET, como una correcta biorientación del material o una adecuada distribución del material en las paredes, se adquieren durante el proceso de soplado, sin embargo, es de vital importancia obtener una preforma de calidad, que no tenga burbujas de aire incrustadas o deficiencias superficiales o de coloración, para lograr obtener un buen producto final.
3. La inyección-soplado de dos etapas, representa ventajas más tangibles (al menos en la elaboración de envases de agua de 20 litros) en comparación al ciclo de una etapa. Por ejemplo, una de las ventajas se observa debido a que dichos garrafones son elaborados para su posterior llenado, lo que significa que tienen que ser transportados; entonces, transportar preformas (las cuales son sopladas posteriormente) significa un ahorro en comparación a transportar el producto ya terminado.
4. Los problemas más comunes en el ciclo de inyección-soplado de envases huecos se deben a las variables que intervienen en los procesos, como lo son: variables de las máquinas, variables de los moldes, variables de la materia prima, variables de equipos periféricos y variables de acabado y manejo de piezas.

5. Para lograr una optimización en el proceso de la inyección-soplado de envases de 20 litros, debe realizarse un control de variables y un acoplamiento a la ventana de proceso de cada caso (cabe señalar que aunque los ciclos puedan ser idénticos en teoría, en la práctica cada uno tiene su respectiva ventana de proceso con características propias); pero también deben realizarse diseños de experimentos que se traduzcan en mejoras, por ejemplo al disminuir los tiempos, lo cual se traduce en mayor producción y mayores ganancias.

6. Actualmente y desde hace tiempo, en todo el mundo la producción de envases PET ha tenido gran auge por todas las ventajas antes mencionadas. El presente trabajo ha tenido como objetivo el recopilar y proporcionar los conocimientos acerca del proceso para la obtención de garrafones, además de proporcionar información para lograr mejoras tangibles para las empresas y una optimización particular del proceso para cada caso.

BIBLIOGRAFIA

1. "Diseño en Ingeniería Mecánica".
Shigley, Joseph Edgard.
Mc Graw Hill. México. 1979.
2. "Diseño de moldes para la inyección de termoplásticos."
Mateo M. Oscar.
FES-Cuautitlán .Tesis profesional. 1997.
3. "Extrusión de plásticos."
Ramos de Valle, Luis Francisco.
Editorial Limusa. México D.F. 2000.
4. Fundamentos de Dibujo en Ingeniería.
Luzzader J. Warren.
Editorial Continental. México. 1985.
5. "Inyección de plásticos."
Mink Spe, Walter.
Editorial Gustavo Gilli. México D.F.1981.
6. "Injection moulding machine. Instruction Manual."
Haitian Machinery Co., LTD.
Haitian Machinery Co., LTD. China. 2000.
7. "Moldeo por inyección."
Anguita Delgado, Ramón.
Editorial Blume. España. 1975.

8. "Moldeo por inyección de termoplásticos."
Sánchez Valdés, S.
Editorial Limusa. México D.F. 1998.
9. "Moldes y máquinas de la inyección para la transformación de plásticos."
Bodini, Gianni y Cacchi P. Franco.
Mc. Graw Hill. México. 1993.
10. "Plastics Engineering".
Crawford, R. J.
Maxwell Mc Millan International Editions. Republic of Singapore. 1989.
11. "Procesamiento de plásticos."
Morton D.H. y Lancaster, Jones.
Editorial Limusa. México D.F. 1993.
12. "Tecnología de plásticos para ingenieros."
Von Meysenbug, C. M.
Urmo Ediciones. España. 1981.
13. "Transformación de plásticos."
Savgorodny, V. K.
Editorial Gustavo Gilli, España. 1978.