



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA  
DEL ESTADO DE HIDALGO**

**INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA**

**SISTEMA DE INYECCIÓN CON COLADA CALIENTE  
APLICADO EN LA INDUSTRIA DEL PLÁSTICO  
COMO HERRAMIENTA DE COMPETITIVIDAD**

**T E S I S**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO INDUSTRIAL**

**DANIEL GUTIÉRREZ GARCÍA  
CRISTIAN ALBERTO OÑATE LONGONI**

**DIRECTOR DE TESIS:**

**ING. ROBERTO PICHARDO CABRERA**

**Pachuca de Soto, Hgo. Abril de 2006**

# INDICE GENERAL

|                  |  |
|------------------|--|
| Lista de figuras |  |
| Lista de Tablas  |  |
| Objetivo general |  |
| Justificación    |  |
| Hipótesis        |  |
| Introducción     |  |

## **CAPITULO 1. La maquina de inyección**

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1.1   | Antecedentes de la maquina de inyección  | 3  |
| 1.2   | Principio de funcionamiento de la maquina de inyección                             | 4  |
| 1.3   | Plastificación de materiales termoplásticos  | 4  |
| 1.4   | Mecanismos de inyección  | 5  |
| 1.5   | Tipos de maquinas  | 8  |
| 1.5.1 | Maquinas de inyección simples (pistón o embolo)                                    | 8  |
| 1.5.2 | Etapas o fases del proceso para maquinas de inyección por medio de pistón          | 9  |
| 1.5.3 | Maquinas de inyección de husillo recíprocante                                      | 10 |
| 1.5.4 | Etapas o fases del proceso para maquinas de inyección de husillo recíprocante      | 10 |
| 1.6   | Mecanismos de cierre   | 11 |
| 1.6.1 | Tipos de unidades de cierre del molde  | 13 |
| 1.6.2 | Cierre por rodillera simple  | 13 |
| 1.6.3 | Cierre por rodillera doble   | 14 |
| 1.6.4 | Cierre por pistón hidráulico   | 16 |
| 1.7   | Sistema hidráulico   | 17 |
| 1.8   | Sistema eléctrico para el control del calentamiento del cilindro de plastificación | 18 |
| 1.9   | Sistema eléctrico para la bomba hidráulica   | 18 |
| 1.10  | Criterios para la elección de una maquina de inyección                             | 19 |
| 1.11  | Condiciones de operación de una maquina de moldeo por inyección                    | 20 |
| 1.12  | Regulación de los parámetros de moldeo   | 21 |

## **CAPITULO 2. Los materiales plásticos**

|     |                               |    |
|-----|-------------------------------|----|
| 2.1 | Propiedades                   | 23 |
| 2.2 | Introducción al polipropileno | 28 |
| 2.3 | Introducción al poliestireno  | 32 |

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 2.4 | Introducción al polietileno                                     | 35 |
| 2.5 | Técnica del proceso para resinas Commodities                    | 38 |
| 2.6 | Ajuste de la maquina para obtener el llenado adecuado del molde | 41 |
| 2.7 | Reducción de la duración del ciclo para optimizar la producción | 44 |

### **CAPITULO 3. Los moldes de inyección.**

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 3.1 | Metodología para el diseño y construcción de moldes de inyección                       | 45 |
| 3.2 | Consideraciones en diseño  | 47 |
| 3.3 | Componentes del molde de inyección   | 60 |
| 3.4 | Materiales utilizados en la construcción del molde de inyección                        | 70 |
| 3.5 | Sistemas con colada caliente   | 76 |
| 3.6 | Precauciones para la disposición del sistema   | 83 |
| 3.7 | Selección del sistema de colada caliente   | 83 |
| 3.8 | Elementos de calefacción para los moldes de colada caliente                            | 94 |
| 3.9 | Aumento de producción por medio de la implementación de un corredor de colada caliente | 96 |

### **CAPITULO 4. Desarrollo del proyecto.**

|     |  |     |
|-----|--|-----|
| 4.1 | Estudio de factibilidad macro económica        | 102 |
| 4.2 | La industria plástica en México                | 102 |
| 4.3 | Desarrollo del proyecto pinza para hielo       | 105 |
| 4.4 | Cronograma de diseño y construcción de molde   | 107 |
| 4.5 | Recomendación y compra de aceros               | 109 |
| 4.6 | Selección y diseño del porta molde             | 111 |
| 4.7 | Selección de colada caliente                   | 112 |
| 4.8 | Puesta en marcha del proyecto pinza para hielo | 119 |

### **Conclusiones**

### **Glosario de términos**

### **Anexos**

### **Bibliografía**

### **Cibergrafía**

## LISTA DE FIGURAS

|      |   |       |
|------|---|-------|
| 1.1  | Maquina de inyección  | 3     |
| 1.2  | Husillos y puntas de inyección  | 5     |
| 1.3  | Mecanismos de plastificación e inyección  | 6     |
| 1.4  | Mecanismos de plastificación e inyección  | 7     |
| 1.5  | Diagrama simplificado de una maquina de inyección simple                                | 8     |
| 1.6  | Diagrama simplificado de una maquina de inyección tipo pistón                           | 9     |
| 1.7  | Diagrama simplificado de una maquina de inyección de husillo reciprocante               | 10    |
| 1.8  | Diagrama simplificado de una maquina de inyección de husillo reciprocante               | 11    |
| 1.9  | Mecanismos de cierre  | 11,12 |
| 1.10 | Sistema de cierre por rodillera   | 13    |
| 1.11 | Diagrama de un sistema de cierre por rodillera simple                                   | 14    |
| 1.12 | Diagrama de un sistema de cierre por rodillera doble de 4 puntos                        | 14    |
| 1.13 | Diagrama de un sistema de cierre por rodillera doble de 5 puntos                        | 15    |
| 1.14 | Diagrama de un sistema de cierre por pistón hidráulico                                  | 16    |
| 1.15 | Sección longitudinal de una máquina de moldeo por inyección<br>con husillo reciprocante | 16    |
| 1.16 | Sistema hidráulico de maquina de inyección  | 17    |
| 1.17 | Bandas calefactoras del cilindro de plastificación                                      | 18    |
| 1.18 | Sistema de arranque estrella delta para bomba hidráulica para máquina de inyección      | 18    |
| 1.19 | Diagrama de las fases de operación con ciclo de producción                              | 20    |
| 1.20 | Diagrama de las fases de operación con boquilla apoyada sobre el molde                  | 21    |
| 1.21 | Diagrama de las fases de operación y tiempo para una maquina de inyección.              | 21    |
| 2.1  | Arreglo molecular de los plásticos cristalinos  | 23    |
| 2.2  | Arreglo molecular de los plásticos amorfos  | 24    |
| 2.3  | Resina en presentación pellets  | 25    |
| 2.4  | Conformación típica de los polímeros  | 26    |
| 2.5  | Comportamiento térmico de los plásticos   | 27    |
| 2.6  | Comportamiento térmico de los plásticos cristalinos                                     | 27    |
| 2.7  | Comportamiento térmico de los plásticos amorfos   | 28    |
| 2.8  | Símbolo internacional del polipropileno   | 28    |
| 2.9  | Pellets de polipropileno homopolímero HS013   | 30    |
| 2.10 | Símbolo internacional del poliestireno  | 32    |
| 2.11 | Pellets de poliestireno cristal HF 777  | 33    |
| 2.12 | Símbolo internacional del poliestireno  | 35    |
| 2.13 | Pellets de polietileno NA870 252  | 36    |
| 3.1  | Calculo de fuerza de cierre   | 49    |

|      |   |       |
|------|---|-------|
| 3.2  | Puntos de inyección   | 50,51 |
| 3.3  | Corte transversal de molde de 3 placas que muestra el flujo de material inyectado | 51    |
| 3.4  | Sistema de expulsión de pernos botadores  | 53    |
| 3.5  | Pernos de retorno y pernos guía   | 53    |
| 3.6  | Distribuidor de agua para enfriamiento del molde de inyección                     | 54    |
| 3.7  | Arreglos de enfriamiento en el molde  | 58    |
| 3.8  | Sistemas internos de enfriamiento en el molde                                     | 59    |
| 3.9  | Despiece de molde de inyección  | 60    |
| 3.10 | Tipos de colada fría  | 62    |
| 3.11 | Molde de inyección de 2 placas  | 63    |
| 3.12 | Molde de inyección de 3 placas  | 63    |
| 3.13 | Molde de inyección con elementos deslizantes                                      | 64    |
| 3.14 | Molde de inyección familiar   | 64    |
| 3.15 | Molde de inyección varios niveles   | 65    |
| 3.16 | Molde de colada fría de 2 placas  | 65    |
| 3.17 | Molde de inyección colada caliente de 32 cavidades                                | 66    |
| 3.18 | Molde de inyección colada mixta de 6 cavidades                                    | 66    |
| 3.19 | Molde stack de 2 niveles  | 69    |
| 3.20 | Acabado superficial tipo espejo   | 75    |
| 3.21 | Canales de fundido a idéntica longitud  | 79    |
| 3.22 | Componentes de teléfono móvil   | 80    |
| 3.23 | Tapón de shampoo  | 80    |
| 3.24 | Simulación de inyección para componente de teléfono móvil                         | 81    |
| 3.25 | Simulación de inyección para componente de shampoo                                | 81    |
| 3.26 | Tipo de punto de inyección  | 82    |
| 3.27 | Bebedero central para molde de 1 cavidad con inyección directa a la pieza         | 84    |
| 3.28 | Inyector lateral con bebedero central y soportes de titanio                       | 84    |
| 3.29 | Sistema de colada caliente para moldes multicavidad                               | 85    |
| 3.30 | Boquilla de inyección flujo indirecto   | 88    |
| 3.31 | Boquilla de inyección flujo directo   | 90    |
| 3.32 | Boquilla con orificio anular  | 92    |
| 3.33 | Boquilla con varilla de cierre  | 92    |
| 3.34 | Grupo de resistencias de cartucho o tubulares                                     | 95    |
| 3.35 | Inyector de inyección y resistencia espiral                                       | 96    |
| 3.36 | Manifull de inyección y placa porta manifull                                      | 97    |
| 3.37 | Típico corredor de inyección frío   | 98    |
| 3.38 | Comparativo de secuencia de proceso de inyección                                  | 99    |

|   |     |
|---|-----|
| 3.39 Punto de inyección colada caliente   | 100 |
| 3.40 Vestigio de inyección controlado por vastago   | 101 |
| 3.41 Componentes de sistema de colada caliente  | 101 |
| 4.1 Consumo histórico de plásticos en México  | 103 |
| 4.2 Comparativo de ingresos económicos por actividades relacionadas a la industria plástica   | 103 |
| 4.3 Distribución de consumo de resinas plásticas en México                                    | 104 |
| 4.4 Histórico de venta del articulo pinza para hielo y proyección de venta próximos tres años | 105 |
| 4.5 Dibujo preliminar proyecto pinza para hielo   | 107 |
| 4.6 Dibujo final pinza para hielo   | 109 |
| 4.7 Ensamble porta molde propuesto por el proveedor Polimold S.A. DE C.V.                     | 111 |
| 4.8 Dibujo de placa de sujeción y cierre de manifiull de inyección                            | 113 |
| 4.9 Dibujo de placa alojamiento de manifiull de inyección                                     | 114 |
| 4.10 Dibujo de placa porta inyectores   | 115 |
| 4.11 Dibujo manifiull de inyección y esquema eléctrico  | 116 |
| 4.12 Dibujo de ensamble de sistema de colada caliente   | 117 |
| 4.13 Diagrama de manifiull propuesto por el proveedor   | 118 |
| 4.14 Diagrama del inyector propuesto por el proveedor   | 118 |
| 4.15 Acoplamiento entre manifiull e inyector dentro del molde de inyección                    | 119 |
| 4.16 Molde de inyección 4 cavidades, colada caliente de pinza para hielo                      | 120 |
| 4.17 Cavidades y corazones de inyección de molde pinza para hielo                             | 120 |
| 4.18 Pinza para hielo   | 121 |
| 4.19 Comparativo molde 2 cavidades contra molde 4 cavidades                                   | 121 |

## **LISTA DE TABLAS**

|   |    |
|---|----|
| 1.1 Especificaciones de la unidad de inyección.                       | 19 |
| 1.2 Especificaciones de la unidad de cierre.                          | 19 |
| 1.3 Especificaciones generales.                                       | 19 |
| 2.1 Ficha técnica del polipropileno HS013.                            | 31 |
| 2.2 Ficha técnica del poliestireno PS HF777.                          | 34 |
| 2.3 Ficha técnica del PEBD NA870 252                                  | 37 |
| 3.1 Factor de contracción.  | 46 |
| 3.2 Factor de viscosidad.   | 49 |
| 3.3 Salidas de aire en el molde.                                      | 52 |
| 3.4 Contracción de resinas plásticas al momento de la transformación. | 57 |
| 3.5 Contenido de calor total.   | 59 |

|   |     |
|---|-----|
| 3.6 Efectos de los elementos aleantes en las características de los aceros. | 72  |
| 4.1 Cronograma para diseño y construcción de molde pinza para hielo.        | 108 |
| 4.2 Tabla de especificaciones aceros Fortuna.                               | 110 |
| 4.3 Especificaciones de porta molde de proveedor Polimold S.A.              | 112 |

## **EL OBJETIVO GENERAL ES:**

Seleccionar, construir y poner en marcha un molde de inyección con sistema de colada caliente de 4 cavidades y sistema autónomo de expulsión para la fabricación del artículo denominado PINZA PARA HIELO con la finalidad de aumentar el volumen de producción para satisfacer la demanda del mercado en el que se encuentra la empresa de inyección de plásticos para el hogar ubicada en el Estado de Hidalgo. Buscando obtener la reducción de costos de producción, mano de obra y merma.

## **JUSTIFICACION**

El proyecto que sustenta y justifica esta tesis es la construcción de un molde de 4 cavidades con sistema de colada caliente para un producto plástico denominado PINZA PARA HIELO el cual además de cumplir con los requerimientos y normas de calidad de la empresa de inyección de plásticos para el hogar ofrece al cliente un costo razonable y un tiempo de entrega que satisface sus necesidades de venta.

Dando a la empresa ahorros significativos en costos de producción tomando los siguientes parámetros:

1. Reducción de tiempo máquina
2. Reducción de merma
3. Optimización de mano de obra
4. Mejora del proceso

## **HIPOTESIS**

Se construirá un molde de inyección de 4 cavidades con sistema de colada caliente y sistema autónomo de expulsión de piezas, para lo cual se utiliza un simulador de inyección de piezas plásticas, el cual indique los puntos críticos de moldeo por inyección, así como, posibles fallas de diseño, lo cual permitirá determinar la geometría adecuada de la pieza (líneas de partición, puntos de expulsión, espesor adecuado de la pieza) y el comportamiento del material inyectado en el molde. Por otro lado se seleccionara dentro de un grupo de porta moldes y sistemas de inyección de colada caliente ya existentes en el mercado mexicano el adecuado a los requerimientos productivos.

Todo esto es un factor determinante para obtener un arranque y puesta en marcha del molde de inyección de PINZA PARA HIELO exitoso, y así reducir costos de fabricación, mano de obra, mejora de proceso y reducción de tiempos de entrega del producto.

# INTRODUCCION

El moldeo por inyección de plásticos es un proceso que depende del adecuado funcionamiento de una maquina, la cual utiliza un material termoplástico o termo fijo para producir una o mas piezas moldeadas mediante su inyección en un molde. Siendo este un proceso de total dependencia entre ambos elementos debido a las características propias del proceso.

En el caso de la maquina, esta se encarga de plastificar el material (fundirlo) para hacerlo fluir mediante la aplicación de presión, y para el molde este recibe el material donde se solidifica y toma la forma del mismo. Este proceso es conocido como moldeo por inyección.

En la actualidad este proceso cuenta con una gran aceptación debido en gran parte a las altas velocidades de producción, costos por mano de obra reducidos y sobre todo la automatización del proceso, la cual permite que las piezas requieran poco o ningún acabado , de igual forma se obtienen artículos que serian casi imposibles de fabricar en gran cantidad por otros métodos productivos, ya que se obtienen diferentes tipos de superficies, acabados y colores con el moldeo de diferentes materiales, sin necesidad en algunos casos de cambiar de maquina o de molde.

Para comprender de manera general, a continuación se hace un resumen del capitulado.

**CAPITULO 1** Se explican los antecedentes de la maquina de inyección, funcionamiento, así como, sus componentes y especificaciones generales.

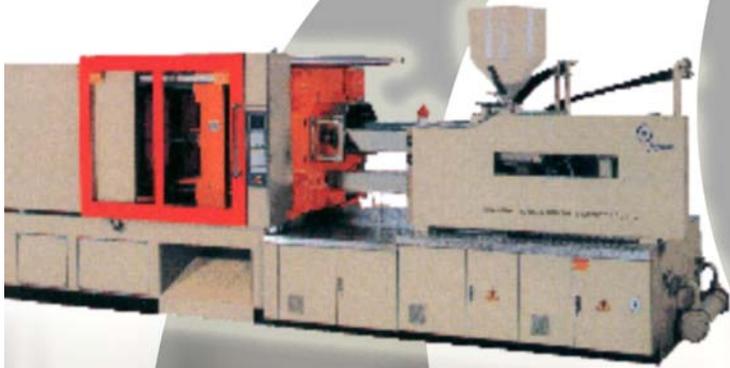
**CAPITULO 2** Se explican las propiedades y características físicas, químicas, mecánicas de los materiales plásticos y las técnicas de proceso utilizadas en la fabricación de artículos plásticos.

**CAPITULO 3** Se detalla la metodología para el diseño y construcción de moldes de inyección, describiendo los componentes de los tipos de moldes existentes, haciendo referencia a los avances tecnológicos aplicados en el ramo de la industria de inyección de materiales plásticos,

**CAPITULO 4** Muestra los resultados obtenidos al utilizar la tecnología como herramienta de competitividad e innovación, al desarrollar un molde de inyección de 4 cavidades con sistema de colada caliente y desempeño autónomo para el artículo denominado PINZA PARA HIELO.

# CAPÍTULO 1

## LA MÁQUINA DE INYECCIÓN



## 1.1 ANTECEDENTES DE LA MAQUINA DE INYECCION

Las maquinas para el moldeo por inyección de materiales termoplásticos son una derivación de las maquinas de fundición a presión para metales. El primer ejemplar se desarrolla y termina en estados unidos de América en 1870. Con todo, la primera maquina para la producción de piezas de materiales termoplásticos, mediante el moldeo por inyección, se construyo en Alemania en 1920. Era una maquina totalmente manual; tanto el cierre del molde como la inyección lo efectuaba el operador a mano mediante mecanismos con leva.

En 1927 y nuevamente en Alemania se desarrolla una maquina para materiales plásticos accionada por cilindros neumáticos, pero inmediatamente se vio la necesidad de maquinas con presiones especificas superiores a lo que en ese momento estaba disponible.

En Italia aparece la primera maquina de inyección de construcción nacional en los inicios de la segunda guerra mundial; se trataba en principios de maquinas operadas manualmente, a esas las siguieron maquinas accionadas hidráulicamente, cuya construcción alcanzo su verdadero desarrollo hasta el termino de la guerra. Italia fue uno de los primeros países de Europa que iniciaron la construcción de maquinas por inyección de maquinas autónomas. Las primeras maquinas de este tipo aparecieron en Italia en el año de 1947, se trataba de maquinas pequeñas con una capacidad de inyección de 30grs de poliestireno. En la base tenia incorporada una unidad hidráulica para la operación y control de la inyección; el cierre del molde lo efectuaba manualmente el operador mediante una leva.

Desde entonces el progreso por el desarrollo y evolución técnica fue sorprendente. Actualmente tenemos maquinas totalmente automáticas que no requieren ninguna intervención del operador. Un similar rápido y sorprendente progreso ha tenido igualmente la construcción de moldes, lo que ha contribuido en buena parte a alcanzar la automatización de las maquinas.

A continuación se muestra una maquina de inyección de tipo horizontal con husillo reciprocante.



Figura 1.1 Maquina de inyección Asian Plastic

## **1.2 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LAS MAQUINAS DE INYECCION**

El proceso de moldeo por inyección consiste esencialmente en: calentar el material termoplástico que viene en forma de polvo o gránulos para transformarlo en una masa plástica en un cilindro apropiado llamado cilindro de plastificación y así inyectarlo en la cavidad del molde del cual tomara la forma.

Debido a que el molde es mantenido a una temperatura inferior al punto de fusión del material plástico después de que este es inyectado se solidifica con rapidez. En este momento el proceso del ciclo se ha completado y se expulsa la pieza moldeada. La duración del ciclo de trabajo varia según el tipo de resina empleada y la configuración de la pieza moldeada de un segundo (para las maquinas mas veloces que moldean piezas de mas o menos 5 gramos), hasta algunos minutos (para las que moldean piezas de 2 kilogramos o mas).

El molde puede ser de 1 o más cavidades, se han construido moldes de hasta 240 cavidades con resultado de piezas satisfactorias, con pocas excepciones las piezas obtenidas por moldeo resultan totalmente terminadas con tolerancias dimensionales muy cerradas.

Por este motivo es posible afirmar que las maquinas de moldeo por inyección son equipos de alta productividad.

## **1.3 PLASTIFICACION DE MATERIALES TERMOPLÁSTICOS**

Para asegurar una buena calidad de los artículos plásticos, la masa fundida homogeneizada de material termoplástico se debe inyectar en el molde de inyección a la máxima velocidad posible. Esto plantea situaciones encontradas, ya que la transmisión del calor se produce mejor cuando el diámetro del cilindro es mínimo y su longitud máxima, mientras que la presión, para su mayor efectividad, precisa de valores inversos.

Por lo anterior se sugieren dos formas de plastificación de material la primera es por medio de la utilización de unidad de inyección de embolo y la segunda de unidad de inyección de husillo.

La capacidad plastificadora de los dispositivos de inyección en la actualidad es muy superior a sus inicios, ya que permiten moldear artículos muy complejos, incluso de gran superficie y reducido espesor y de cualquier material termoplástico.

En la actualidad las unidades de plastificación de mayor aceptación son híbridas, es decir, husillo con desplazamiento axial.



Figura 1. 2. Husillos y puntas de inyección.

## 1.4 MECANISMOS DE INYECCION

Una maquina de inyección consta del dispositivo dosificador, mecanismo de cierre e inyección, accionamiento, cuadro de mandos, control y regulación de la temperatura. El elemento fundamental, desde luego, es el mecanismo de inyección que consta de varios dispositivos con funciones determinadas, a saber: dosificación del material en peso y volumen, plastificación e inyección, así como los accionamientos para el desplazamiento alternativo de los émbolos, rotación y avance de los husillos y desplazamiento del mecanismo de inyección propiamente dicho.

En las maquinas modernas se utilizan mecanismos de inyección, en los que la plastificación e inyección de material puede realizarse conjuntamente o por separado, Los mecanismos pueden ser con o sin desplazamiento axial.

Independientemente de que si la plastificación e inyección se efectúa conjuntamente o por separado, todos los mecanismos se clasifican por su concepción constructiva en mecanismos de uno o varios cilindros, a continuación lo anterior se aprecia en la siguiente tabla.

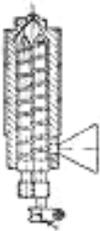
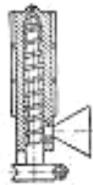
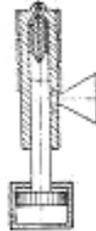
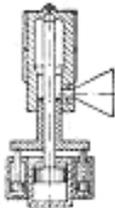
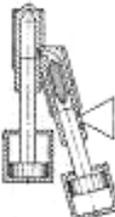
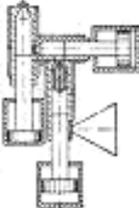
| La plastificación e inyección se efectúan por separado | La plastificación e inyección se efectúan conjuntamente                            |  |  | Mecanismos de plastificación e inyección   |   |   |
|--|--|--|--|--|---|---|
|  | Particularidades técnicas del mecanismo  | 1 cilindro   | 2 cilindros  | 3 cilindros  |   |   |
| De émbolo  | De 2 husillos  | De 1 husillo   | De émbolo  | 1 cilindro   | 2 cilindros   | 3 cilindros   |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |   |   |

Figura 1.3. Mecanismos de plastificación e inyección

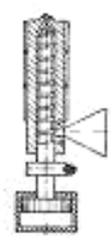
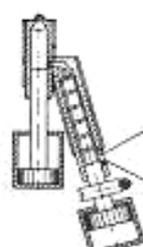
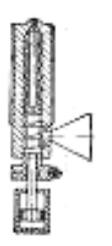
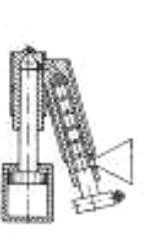
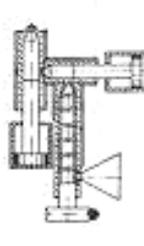
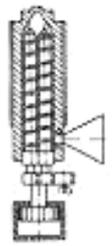
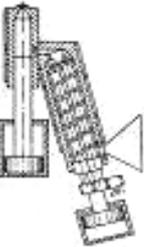
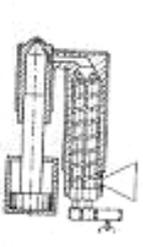
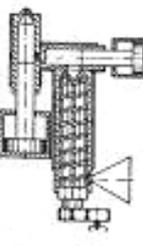
| Particularidades técnicas del mecanismo  | Mecanismos de plastificación e inyección   |   |   |
|--|--|---|---|
|  | 1 cilindro   | 2 cilindros   | 3 cilindros   |
| De un husillo con desplazamiento axial   |  |  |  |
| De un husillo sin desplazamiento axial   |    |    |    |
| De dos husillos sin desplazamiento axial |    |    |    |
| De dos husillos con desplazamiento axial | —  |    |    |

Figura 1. 4. Mecanismos de plastificación e inyección

La capacidad de plastificación de una maquina de inyección de husillo se determina por la cantidad de material que es capaz de plastificar y transportar el husillo durante una hora de funcionamiento ininterrumpido.

## 1.5 TIPOS DE MAQUINAS

Se presentan 2 tipos de maquinas empleadas para la inyección de plástico, cabe señalar que debido a los avances tecnológicos que se dieron en las ultimas décadas la unidad de inyección por husillo resulto ser la de mayor utilización y desempeño contra la unidad de inyección por embolo. Se darán a conocer las diferencias de proceso y aplicaciones de cada una de estas unidades de inyección.

### MAQUINAS DE INYECCION SIMPLES (PISTON O EMBOLO)

Teniendo en cuenta la gran capacidad plastificadora, el poco tiempo que permanece el material en el cilindro calentador y la elevada calidad de plastificación, en la actualidad se emplean principalmente maquinas de inyección de husillo, que prácticamente sustituyen en la industria a las maquinas de embolo. Sin embargo, teniendo en cuenta la sencillez de su estructura y la seguridad que ofrecen en el trabajo, sobre todo para moldear artículos pequeños de materiales termoestables, se siguen construyendo maquinas de embolo rápidas, con accionamiento mecánico, hidromecánico, hidráulico y neumático (este ultimo con menor frecuencia)

Por otro lado, con el fin de aumentar la producción y hacer las maquinas más universales, al mecanismo de inyección de embolo se le acopla un mecanismo de husillo para la plastificación previa del material que aumenta el volumen de la carga en tres veces y la producción en un 50%. Es por ello que las maquinas mixtas (de pistón y husillo) permiten combinar la capacidad de plastificación elevada de las maquinas de husillo con la gran presión de inyección que desarrollan las de embolo.

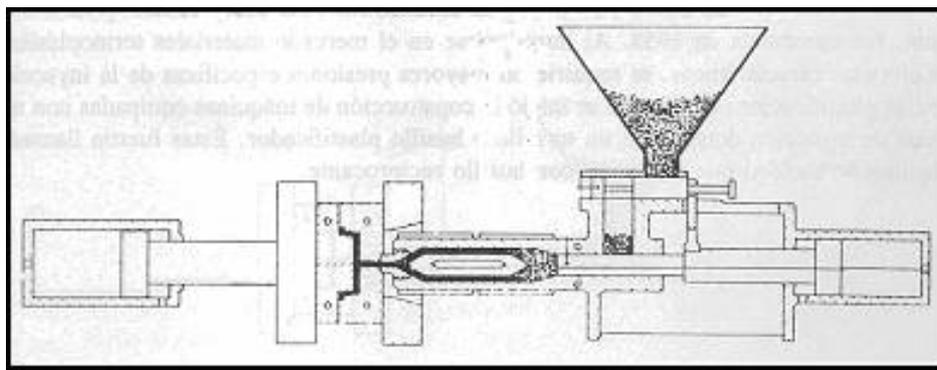


Figura 1.5. Diagrama simplificado de una maquina de inyección simple

## FASES DEL PROCESO PARA MAQUINAS DE INYECCION POR MEDIO DE PISTON

- A) Cierre del molde accionado por el pistón (1)
- B) Inyección del material al molde por medio del pistón (15) que a su vez es accionado por el pistón (17) del cilindro hidráulico. Debe tenerse en cuenta que el material inyectado no es el mismo que en ese momento cae de la tolva de alimentación al cilindro de plastificación, pues este contiene una cantidad de material superior a la inyectada de aproximadamente 5 veces, con el propósito de permitir que ese material sea plastificado.
- C) El torpedo (10) colocado dentro del cilindro de plastificación (9), tiene como función empujar el material termoplástico contra la pared externa de la cámara de plastificación con el fin de plastificar y mejorar la plastificación del material.
- Durante la fase de inyección, la corredera dosificadora introduce en el cilindro de plastificación cierta cantidad de material termoplástico. Dicha corredera es accionada durante la fase de inyección por un brazo movido por el pistón de inyección (17) En la figura 1.2 puede verse que el material dosificado cae sobre el pistón(15) y llegara al cilindro de plastificación en el momento que el pistón retorne a su posición primitiva.
- D) Pausa para el enfriamiento del material inyectado.
- E) Retorno del pistón (15) a su posición inicial.
- F) Apertura del molde y expulsión de la pieza moldeada.

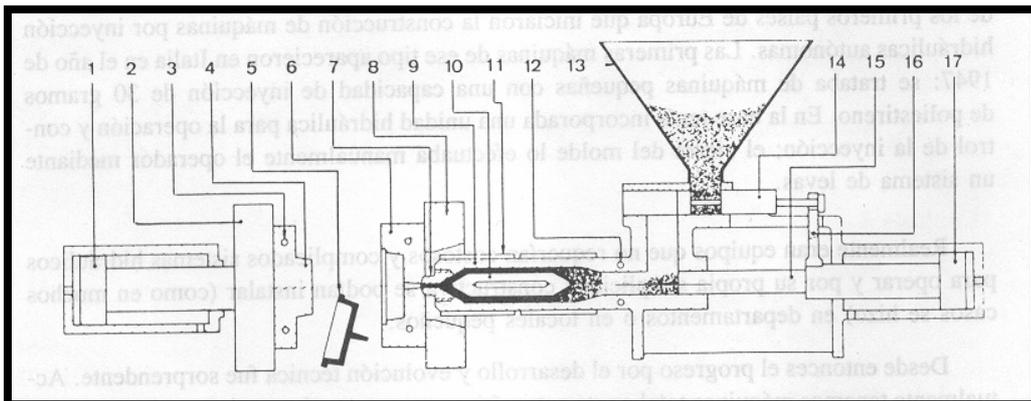


Figura 1. 6. Diagrama simplificado de una máquina de moldeo por inyección tipo pistón. Todos los componentes móviles de la máquina están representados al finalizar el ciclo. Nótese que la pieza moldeada (5) es expulsada del molde

- 1. Pistón de cierre del molde
- 2. Platina móvil
- 3. Circuito de agua para el enfriamiento del molde
- 4. Medio molde móvil
- 5. Pieza moldeada
- 6. Medio molde fijo
- 7. Boquilla
- 8. Platina fija
- 9. Cilindro de plastificación
- 10. Torpedo
- 11. Resistencia eléctrica para calentamiento del cilindro de plastificación
- 12. Circuito de agua para el enfriamiento del cilindro de plastificación
- 13. Tolva
- 14. Dosificador
- 15. Pistón de inyección
- 16. Brazo que actúa el dosificador
- 17. Pistón hidráulico de inyección.

Al introducirse en el mercado materiales termoplásticos con elevadas características, se requirieron mayores presiones específicas de la inyección y mejor plastificación, con lo que se inicio la construcción de maquinas equipadas con una unidad de inyección dotado con un tornillo o husillo plastificador. Estas fueron llamadas maquinas de moldeo por inyección por husillo reciprocante.

## MAQUINAS DE INYECCION DE HUSILLO RECIPROCANTE

En la actualidad las maquinas de inyección mas utilizadas son las de un husillo capaz de desplazarse axialmente. Acoplando al husillo una cabeza de embolo, estas maquinas combinan la gran capacidad plastificadora de una extrusora de husillo con la elevada presión de inyección común a las de embolo.

Una unidad de inyección de husillo reciprocante tiene la capacidad de inyectar materiales termoplásticos de alta y baja viscosidad, lo que la hace muy flexible tanto para la inyección de resinas Commodities (polipropileno, polietileno, poliestireno) como también resinas de ingeniería (ABS, policarbonato) pudiendo alcanzar altas velocidades de producción.

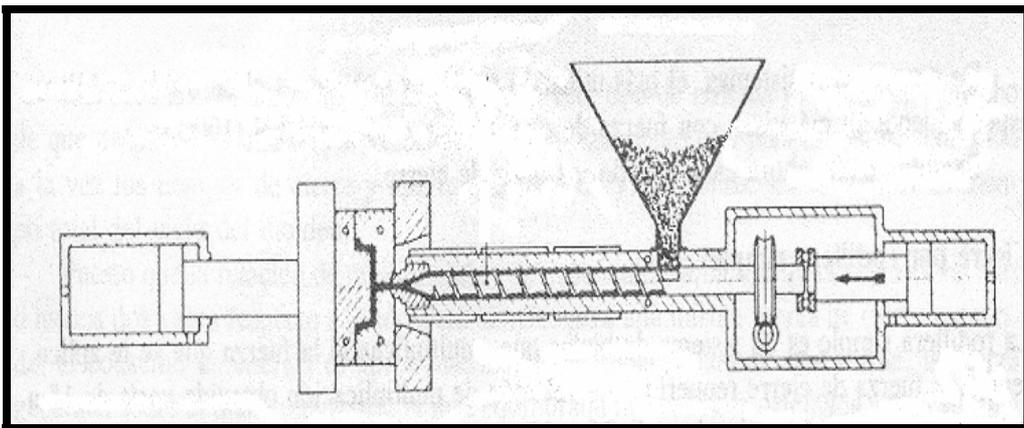


Figura 1. 7. Diagrama simplificado de una maquina de inyección de husillo reciprocante.

## FASES DEL PROCESO PARA MAQUINAS DE INYECCION DE HUSILLO RECIPROCANTE

- A) Cierre del molde por el pistón (1)
- B) Inyección : El pistón (11) empuja hacia delante el husillo(6), que se mueve con movimiento axial en el cilindro, transfiriendo el material plastificado de la cámara de inyección a la cavidad del molde
- C) Plastificación : terminada la fase de inyección, el husillo empieza a girar accionado por el moto reductor (9) De este modo se realiza la fase de plastificación durante la cual el material termoplástico es transferido de la tolva a la cámara de inyección(5)
- D) Pausa para el enfriamiento de la pieza inyectada.
- E) Apertura del molde y expulsión de la pieza moldeada.

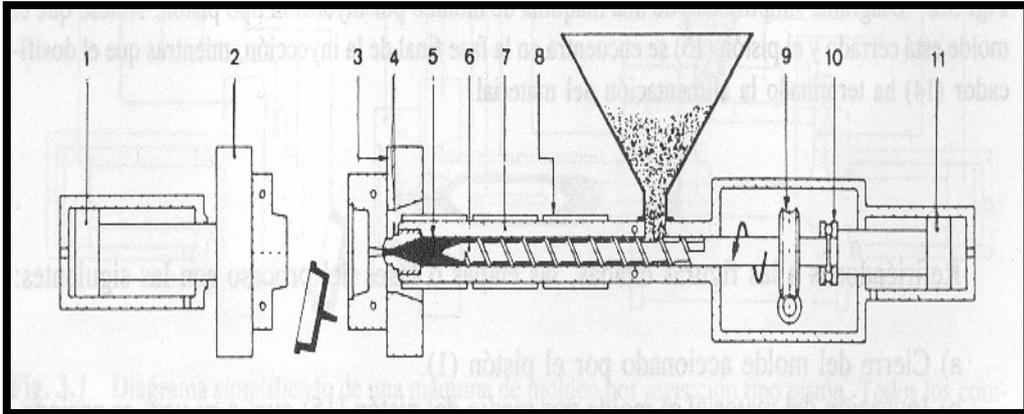


Figura 1.8. Diagrama simplificado de una máquina de moldeo por inyección con husillo recíprocante. Todos los componentes móviles están representados al finalizar el ciclo. Nótese que el molde está abierto y el husillo (6) se encuentra en la posición final de la fase de plastificación.  
 -1. Pistón de cierre del molde -2. Platina móvil -3. Platina fija -4. Boquilla tipo libre  
 -5. Cámara de inyección -6 Husillo de plastificación -7. Cilindro de plastificación  
 -8 Resistencia eléctrica para el calentamiento del cilindro -9 Reductor que actúa la rotación del husillo  
 -10 Balero (cojinete axial) -11 Pistón hidráulico de inyección.

Debemos considerar que la mayor transferencia de temperatura que recibe el material dentro de la cámara de inyección comienza al finalizar la etapa de plastificación y termina en el momento del nuevo ciclo de inyección.

## 1.6 MECANISMOS DE CIERRE

Por el tipo de elemento motor se clasifican en mecanismos de accionamiento hidráulico, hidromecánico o neumo-mecánico y electromecánico. Generalmente los mecanismos que desplazan y los que cierran el molde están unidos. Sin embargo, en los conjuntos escalonados y bloqueados (principalmente hidráulicos) el molde se desplaza por medio de unos cilindros y dispositivos auxiliares, separados del accionamiento del cierre.

A continuación se muestran los mecanismos de desplazamiento.

Figura 1.9. Mecanismos de cierre.

| Mera técnica de desplazamiento           | Mecanismos de cierre               |                        |                       |
|--|------------------------------------|------------------------|-----------------------|
|  | Cambiando un eje de desplazamiento | Hidráulicos bloqueados | De palanca bloqueadas |
| Hidráulicos o neumáticos                 |                                    |                        |                       |
| De palanca (hidromecánicos o neumáticos) |                                    |                        |                       |

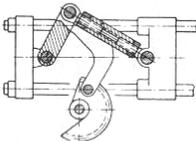
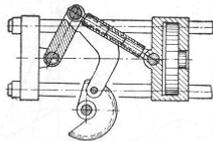
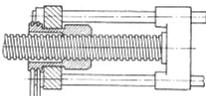
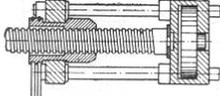
| Mecanismos de desplazamiento   | Mecanismos de cierre  |  |                       |
|--------------------------------|---|--|-----------------------|
|                                | Combinado con el de desplazamiento  | Hidráulicos bloqueados   | De palanca bloqueados |
| De palanca (electromecánicos)  |  |  | —                     |
| De tornillo (electromecánicos) |  |  | —                     |

Figura 1.9. Mecanismos de cierre.

Cuando se emplean mecanismos hidráulicos o neumáticos el esfuerzo de cierre, con relación al mecanismo propiamente dicho, es una fuerza exterior. Esta fuerza se desarrolla y mantiene con el cilindro hidráulico o neumático, debido a la presión que ejerce el líquido o aire sobre el embolo. Esta fuerza puede regularse variando la presión del líquido o del aire, según el caso.

Los mecanismo de cierre con accionamiento mecánico o hidromecánico son cinemáticas y proporcionan un cierre perfecto del molde, y el esfuerzo que desarrolla el eslabón motriz es mínimo, interrumpida la fuerza que desarrolla el accionamiento del mecanismo, el molde se mantiene cerrado gracias a una fuerza interna, que surge como resultado de la deformación elástica de los eslabones.

Cuando se emplean mecanismos de acumulador neumático, la velocidad de inyección aumenta rápidamente, engendrando una presión hidroneumática, que actúa sobre el molde y se mantiene durante la maduración.

Al calcular la fuerza necesaria para el cierre del molde se deben tener en cuenta las presiones hidrodinámicas. Durante la inyección propiamente dicha surgen esfuerzos que tienden a abrir el molde. La fuerza que actúa sobre el eje del mecanismo de cierre se puede obtener con la ecuación siguiente:

$$P - pF - qF + m \frac{d^2x}{dt^2} = 0$$

Siendo

P la fuerza de cierre;

p la presión hidrostática en el molde;

q la presión hidrodinámica;

F la sección del articulo;

M la masa de la parte móvil del mecanismo

$\frac{d^2x}{dt^2}$  la aceleración de la parte móvil del mecanismo durante su retroceso.

La distancia entre las mitades del molde, durante el retroceso de la parte móvil, esta en relación directa con la aceleración.

De la ecuación anterior se tiene:

$$P=pF+qF-m \frac{d^2x}{dt^2}$$

### **TIPOS DE UNIDADES DE CIERRE DEL MOLDE**

La unidad de cierre del molde es el componente de la maquina que sostiene el molde: efectúa el cierre y la apertura, genera la fuerza para mantenerlo cerrado durante la fase de inyección y cuando el molde se abre, expulsa la pieza moldeada. Se han creado muchos sistemas de cierre, pero los más conocidos y utilizados son:

- a) Cierre por rodillera (simple o doble).
- b) Cierre por pistón (también conocido como cierre directo).

De estos 3 sistemas, el mas utilizado es el de doble rodillera, especialmente en maquinas con fuerza de cierre de hasta 1000 toneladas.



Figura 1.10. Sistema de cierre por rodillera.

### **CIERRE POR RODILLERA SIMPLE**

La rodillera simple es un sistema de bielas que, multiplicando la fuerza que se le aplica, realiza la fuerza de cierre requerida. La relación de multiplicación obtenida varía de 15 a 25 veces en la rodillera simple. Normalmente el sistema de rodilleras



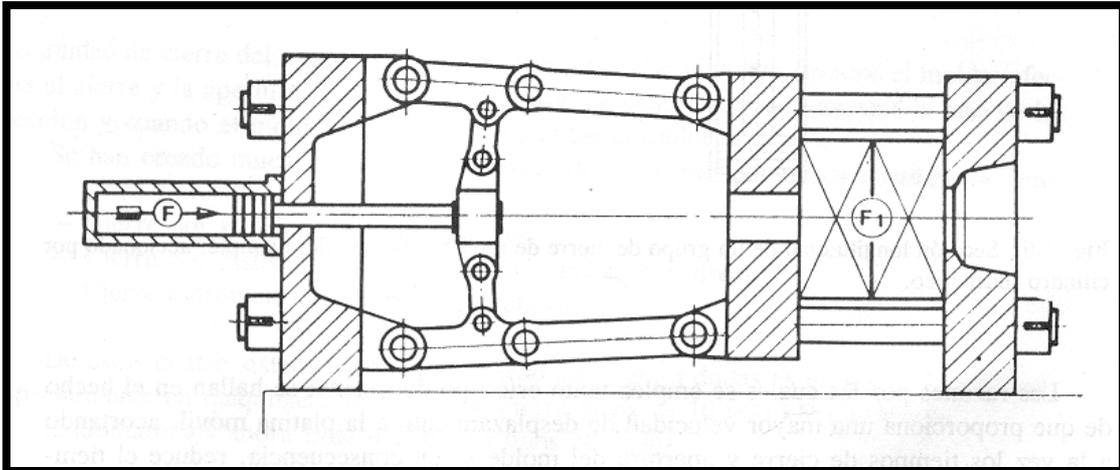


Figura 1.13. Diagrama de un sistema de cierre por rodillera doble de 5 puntos.

La fuerza de cierre de las rodilleras puede ser medida controlando el alargamiento de las columnas en el momento del cierre del molde. De hecho, todos los sistemas de cierre de moldes, sean estos por rodillera o por pistón, provocan una elongación en las columnas de la prensa cuando actúa la fuerza que cierra el molde, como es sabido en el campo de las deformaciones elásticas, las elongaciones y contracciones de dichas columnas son proporcionales a la fuerza que las provoca (ley de Hooke).

Por lo que considerando esta proporcionalidad y midiendo con suficiente precisión el alargamiento de las columnas se puede obtener la fuerza aplicada por medio de la siguiente ecuación:

$$F = \frac{n E A \Delta L}{L} \text{ de donde:}$$

$$F_{kN} = \frac{4 \cdot 210 \cdot A \cdot \Delta L}{L}$$

En donde:

F es la fuerza de cierre (kN)

E es el modulo de elasticidad del acero (210 kN / mm<sup>2</sup>)

A es el área de la sección de una columna (mm<sup>2</sup>)

AL es el alargamiento medio obtenido sobre las columnas (mm)

L es la longitud tomada como base sobre la columna (mm)

N es el numero de columnas de la maquina (generalmente 4)

Para el sistema de rodillera simple y rodillera doble se utilizan sistemas de lubricación automático que funcionan de acuerdo con los ciclos / hora con que la maquina trabaja para evitar desgaste de sus partes móviles.

## CIERRE POR PISTON HIDRAULICO

Este tipo de cierre comparado con el sistema por rodillera resulta mas lento, pero permite tener una carrera muy larga de la platina móvil, sin aumentar sustancialmente el tamaño de la unidad de cierre, en este sistema, la platina móvil se acerca a la platina fija por medio de un pistón pequeño localizado en el centro del pistón principal o por medio de dos pistones laterales al mismo pistón principal, la fuerza de cierre real es el propio empuje del pistón principal por lo que si queremos conocer la fuerza de cierre, basta multiplicar el área de la sección del pistón por la presión de fluido hidráulico que actúa sobre el mismo pistón.

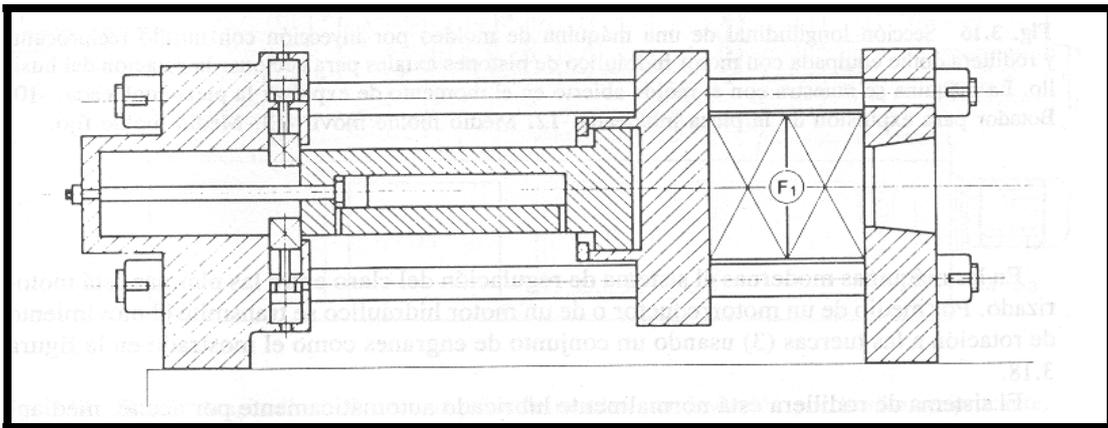


Figura 1.14. Diagrama de un sistema de cierre por pistón hidráulico.

Durante el desarrollo e implementación de estos sistemas se han dado algunas variantes que debido a la poca o nula utilización solo enunciaremos en este trabajo, unidad de cierre mixto rodillera-pistón y cierre hidromecánico o por pistón bloqueado. Independientemente del sistema de cierre que se utilice sin excepción alguna, se utiliza un sistema de expulsión hidráulico para realizar la extracción de la pieza y que es independiente y autónomo a los movimientos de cierre y apertura de la platina móvil.

Lo anterior se ejemplifica en el siguiente diagrama

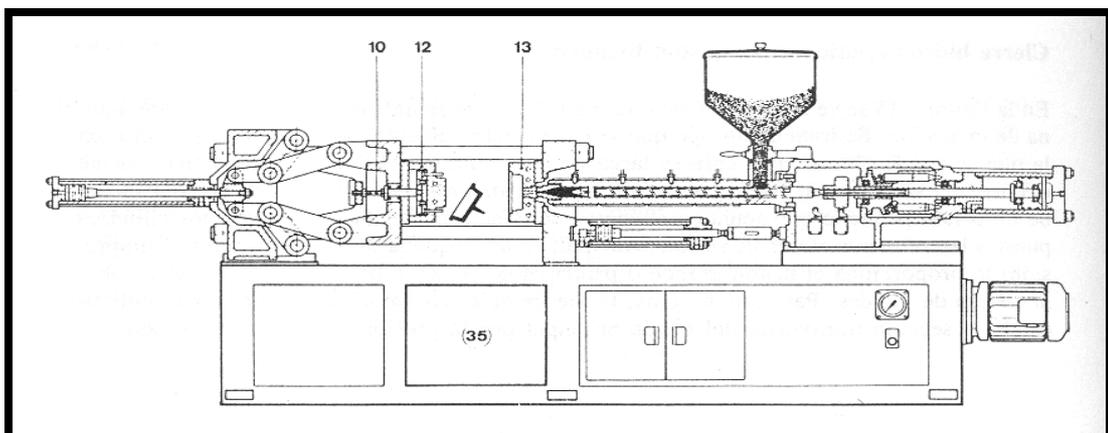


Figura 1.15. Sección longitudinal de una máquina de moldeo por inyección con husillo recíprocante y rodillera doble equipada con motor hidráulico de pistones axiales para accionar la rotación del husillo.

La máquina se muestra con el molde abierto en el momento de expulsar la pieza moldeada.

-10. Botador para expulsión de la pieza moldeada -12. Medio molde móvil -13. Medio molde fijo.

## 1.7 SISTEMA HIDRAULICO

Tanto la unidad de cierre como la unidad de inyección que componen a una maquina de inyección realizan sus movimientos específicos por medio de un sistema hidráulico a base de aceite mineral y controlados los movimientos por medio de un sistema de válvulas proporcionales para el control tanto de las presiones como de la velocidad. Dichas válvulas regulan el flujo y la presión del aceite por medio de un sistema eléctrico electrónico. El funcionamiento de este sistema se sintetiza de la siguiente manera:

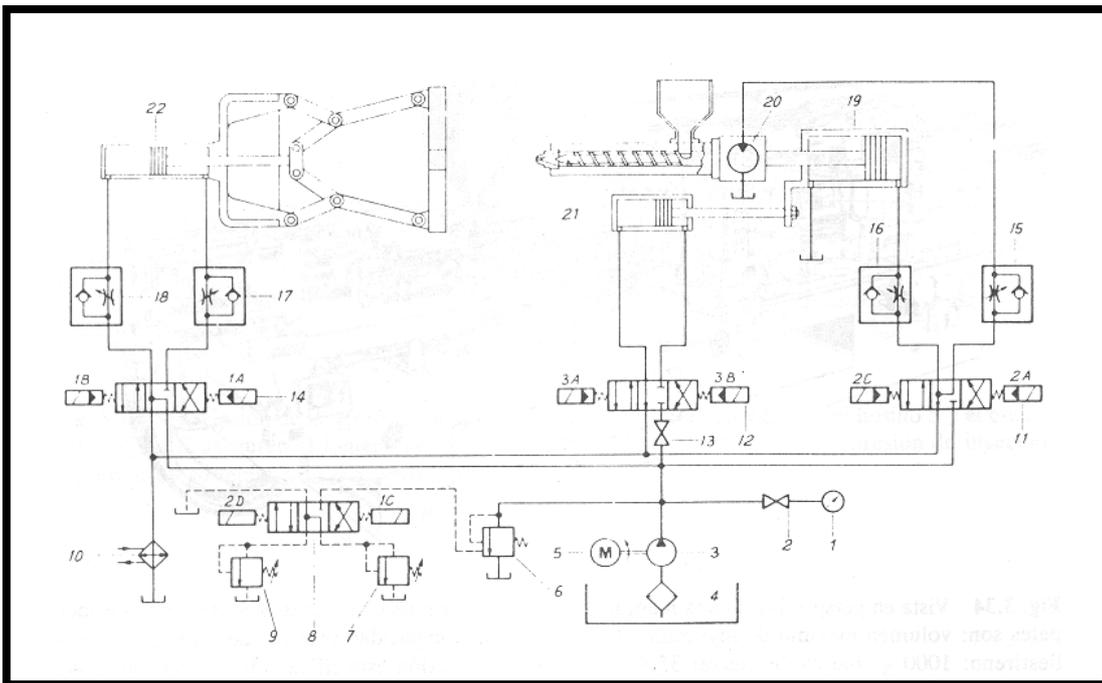


Figura 1.16. Sistema hidráulico de una maquina de inyección

La máxima presión del sistema esta controlada mediante la válvula (6), mientras que la válvula (7 y 9) controlan, respectivamente, la baja presión de cierre del molde y la segunda presión de inyección o pospresión de inyección. Los reguladores de flujo (17 y 18) tienen la función de controlar la velocidad de cierre y apertura del molde, mientras que el control de la velocidad de rotación del husillo y la velocidad de inyección se realizan mediante los reguladores (15 y 16). La velocidad de translación de la unidad de inyección, se regula mediante la válvula (13). El enfriamiento de aceite en circulación se hace por medio del intercambiador de calor (10), normalmente del tipo de tubos con circulación de agua fría, el aceite de retorno, antes de llegar al tanque pasa por el intercambiador de calor. También se tiene (1) manómetro para el control de la presión del sistema; (2) válvula de exclusión del manómetro; (5) motor eléctrico que acciona la bomba; (19) cilindro de inyección; (20) motor hidráulico del husillo; (21) cilindro para mover la unidad de inyección; (22) cilindro que controla el movimiento de la rodillera para el cierre y apertura del molde.

## 1.8 SISTEMA ELECTRICO PARA EL CONTROL DEL CALENTAMIENTO DEL CILINDRO DE PLASTIFICACION.

El cilindro de plastificación se calienta por medio de resistencias eléctricas tipo banda colocadas sobre su superficie externa. La cantidad de grupos de resistencias puede variar de 2 a 8, esto con relaciona a la longitud del cilindro de plastificación. Estas resistencias aseguran una temperatura constante del cilindro al nivel prefijado por medio de un controlador de temperatura, el cual recibe su lectura por medio de uno o más termopares insertados en el cilindro.



Figura 1.17. Bandas calefactores del cilindro de plastificación.

## 1.9 SISTEMA ELECTRICO PARA LA BOMBA HIDRAULICA

En las maquinas de moldeo por inyección, la bomba hidráulica esta accionada por un motor controlado por un circuito eléctrico. Normalmente el circuito eléctrico que controla el motor es muy sencillo; se trata de un arrancador manual estrella-delta. Estos equipos así como los de control de calefacción y control de movimientos de la maquina se instalan en el gabinete de control eléctrico o en la bancada de la maquina.

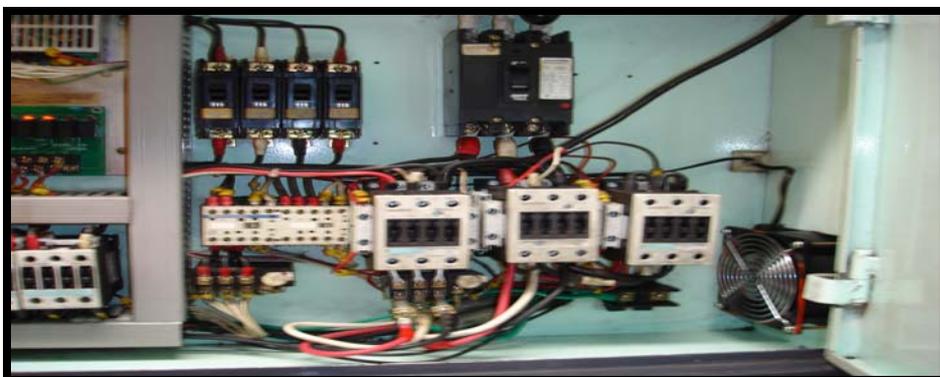


Figura 1.18. Sistema de arranque estrella delta para bomba hidráulica para maquina de inyección.

A continuación presentamos las características técnicas determinantes para la elección de una máquina de moldeo por inyección.

### ESPECIFICACIONES DE LA UNIDAD DE INYECCION

| Descripcion Model               |         | SM-50          | SM-90          | SM-120         | SM-150         | SM-180         | SM-210         |
|---------------------------------|---------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Dimernsionamiento internacional |         | 137/50         | 212/90         | 327/120        | 449/150        | 610/180        | 801/210        |
| <b>UNIDAD DE INYECCION</b>      |         |                |                |                |                |                |                |
| Tamaño de Dispare (PS)          | oz      | 2.0 2.5 3.1    | 3.1 4.2 5.5    | 4.8 6.5 8.2    | 7.2 9.0 11.6   | 10.6 13.6 18.1 | 14.3 19.0 23.8 |
|                                 | g       | 58 72 89       | 89 120 156     | 135 186 234    | 204 257 328    | 302 386 514    | 405 540 673    |
| Diámetro del husillo            | mm      | 25 28 31       | 31 36 41       | 35 41 46       | 41 46 52       | 46 52 60       | 52 60 67       |
| Presion de inyeccion            | kgf/cm² | 2150 1710 1390 | 2160 1600 1230 | 2190 1590 1270 | 1990 1580 1240 | 1830 1430 1070 | 1790 1340 1080 |
| Velocidad de inyeccion          | cm³/sec | 37 46 56       | 53 72 93       | 59 82 103      | 80 101 129     | 106 135 181    | 163 217 271    |
| Movimierto del husillo          | mm      | 130            | 130            | 155            | 170            | 200            | 210            |
| Velocidad de firo del husillo   | rpm     | 0-160          | 0-200          | 0-190          | 0-160          | 0-155          | 0-145          |
| Capacidad de plastificacion     | g/sec   | 4.0 5 6.2      | 9.5 12.9 16.7  | 13.2 18.1 22.8 | 16.6 20.9 26.8 | 23.5 30.1 40.1 | 23.5 31.3 39.1 |

Tabla 1.1. Especificaciones de la unidad de inyección.

### ESPECIFICACIONES DE LA UNIDAD DE CIERRE

| Descripcion Model               |          | SM-50   | SM-90   | SM-120  | SM-150  | SM-180  | SM-210  |
|---------------------------------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Dimernsionamiento internacional |          | 137/50  | 212/90  | 327/120 | 449/150 | 610/180 | 801/210 |
| <b>UNIDAD DE CIERRE</b>         |          |         |         |         |         |         |         |
| Fuerza de cierre                | ton      | 50      | 90      | 120     | 150     | 180     | 210     |
| Movimiento de apertura          | mm       | 220     | 270     | 310     | 350     | 405     | 450     |
| Máxima apertura de plationas    | mm       | 540     | 620     | 710     | 800     | 955     | 1050    |
| Altura de molde (Min-Max)       | mm       | 100-320 | 125-350 | 150-400 | 160-450 | 200-550 | 200-600 |
| Espacio entre barras            | mm x mm  | 310x310 | 360x360 | 410x410 | 425x425 | 450x450 | 500x500 |
| Eyector hidráulico              | ton x mm | 2.2x75  | 3x75    | 3x100   | 3x100   | 5x100   | 5x100   |

Tabla 1.2. Especificaciones de la unidad de cierre.

### ESPECIFICACIONES GENERALES

| Descripcion Model               |           | SM-50       | SM-90       | SM-120    | SM-150    | SM-180      | SM-210      |
|---------------------------------|-----------|-------------|-------------|-----------|-----------|-------------|-------------|
| Dimernsionamiento internacional |           | 137/50      | 212/90      | 327/120   | 449/150   | 610/180     | 801/210     |
| <b>POTENCIA</b>                 |           |             |             |           |           |             |             |
| Motor de la bomba               | Kw(Hp)    | 7.5(10)     | 11(15)      | 15(20)    | 18.5(25)  | 22(30)      | 30(40)      |
| Capacidad de calentamiento      | Kw        | 5.2         | 7.8         | 9.3       | 10        | 13.8        | 14.1        |
| Presion del sistema             | Kgf/cm²   | 140         | 140         | 140       | 175       | 140         | 175         |
| Capacidd del tanque             | liter     | 150         | 200         | 200       | 200       | 400         | 430         |
| <b>GENERAL</b>                  |           |             |             |           |           |             |             |
| Dimesiones de la máquina        | LxWxH (m) | 3.6x1.2x1.9 | 3.9x1.2x1.9 | 4.7x1.3x2 | 4.8x1.3x2 | 5.5x1.4x2.2 | 5.8x1.4x2.2 |
| Peso de la máquina              | ton       | 2.4         | 3.2         | 3.8       | 4.3       | 6.2         | 6.6         |

Tabla 1.3. Especificaciones generales.

## 1.11 CONDICIONES DE OPERACIÓN DE UNA MAQUINA DE MOLDEO POR INYECCIÓN

En una maquina de moldeo por inyección, las fases de operación de un ciclo de producción se efectúan según el diagrama que a continuación se presenta y son:

1. cierre del molde
2. acercamiento de la boquilla al molde
3. inyección del material termoplástico en el molde
4. pospresión de inyección (presión de sostenimiento)
5. solidificación de material inyectado en el molde
6. retiro de la boquilla del molde
7. plastificación (dosificación del material en la cámara de inyección)
8. apertura del molde y expulsión de la pieza inyectada

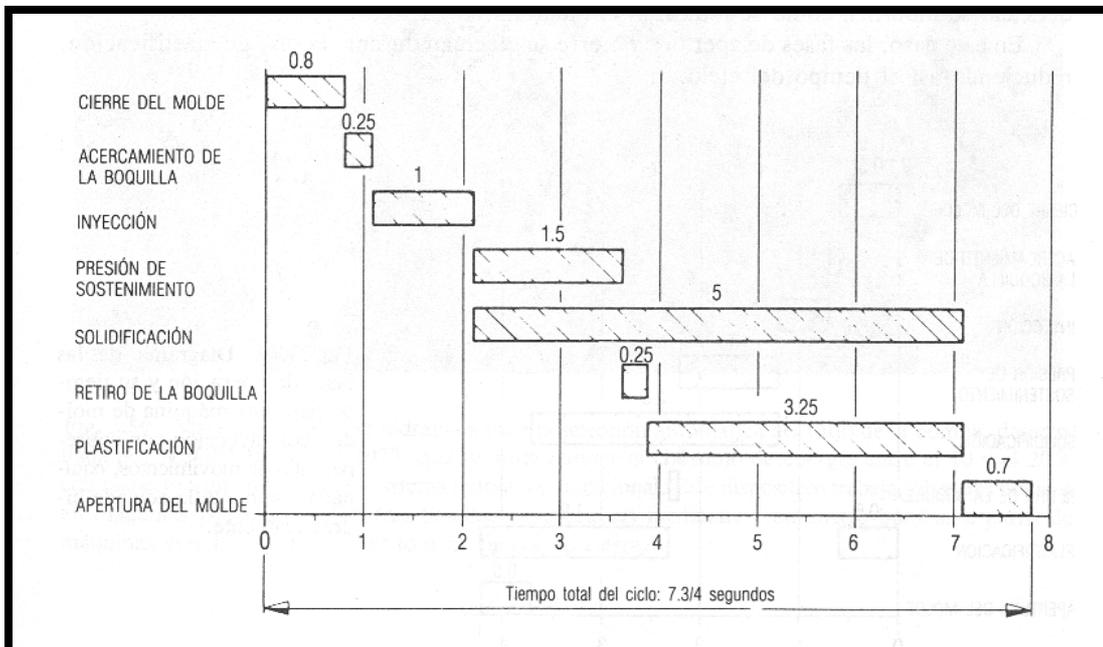


Figura 1.19. Diagrama de las fases de operación y su tiempo para una maquina con ciclo de producción con piezas de poliestireno con peso de 22 gramos.

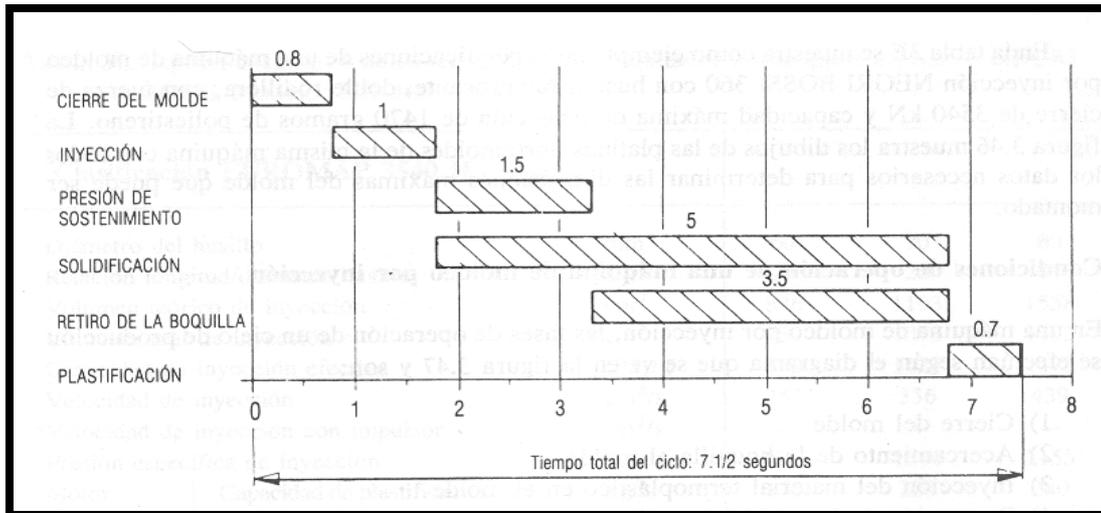


Figura 1.20. Diagrama de las fases de operación y su tiempo, para una máquina de moldeo por inyección con la boquilla siempre apoyada sobre el molde.

Si la máquina trabaja con la boquilla siempre en contacto con el molde, las fases 2 y 6 no se afectan, y en tal caso la secuencia de las fases del ciclo corresponde al diagrama representado en la figura anterior.

En el caso de una máquina que trabaja con sobre posición de movimientos, la secuencia del ciclo se modifica como se indica en el diagrama de la siguiente figura. En este caso, las fases de apertura y cierre se efectúan durante la fase de plastificación, reduciendo así el tiempo del ciclo.

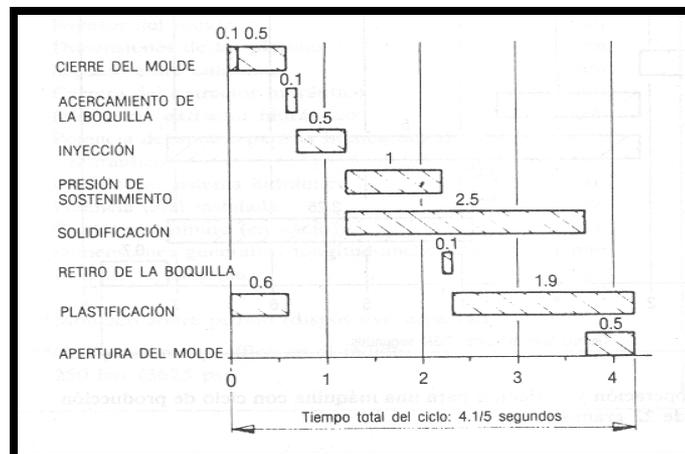


Figura 1. 21. Fases de operación y tiempo para una máquina de inyección.

## REGULACION DE LOS PARAMETROS DE MOLDEO

Con el objetivo de adaptarse a las exigencias de calidad, precisión de las piezas, características del molde y del material termoplástico que se utilice, en una maquina de moldeo por inyección, todos los parámetros del ciclo de trabajo pueden variarse y regularse. Los parámetros que deben regularse en una maquina de inyección en función de las características anteriormente mencionadas son las siguientes:

1. velocidad del cierre del molde
2. velocidad de apertura del molde
3. carrera de la platina móvil
4. fuerza de cierre del molde
5. espesor del molde (distancia entre platinas)
6. tiempo entre ciclos (reciclo)
7. velocidad de inyección
8. velocidad de plastificación (rpm velocidad del husillo)
9. carrera de inyección y espesor del colchón
10. 1ª presión de inyección (presión de llenado)
11. 2ª presión de inyección (pospresión o presión de sostenimiento)
12. tiempo de sostenimiento (pospresión)
13. contrapresión sobre el husillo
14. tiempo de solidificación del material inyectado en el molde
15. carrera de separación de la boquilla al molde
16. temperatura del cilindro de plastificación
17. temperatura de la boquilla
18. temperatura del molde (medio molde fijo y móvil)
19. carrera de extracción
20. velocidad de extracción
21. fuerza de extracción

Algunos de estos parámetros requieren una regulación predeterminada fácil de ajustar, otras en cambio son confiadas a la habilidad del operador que efectúa el ajuste de la máquina.

De estos últimos lo más crítico son:

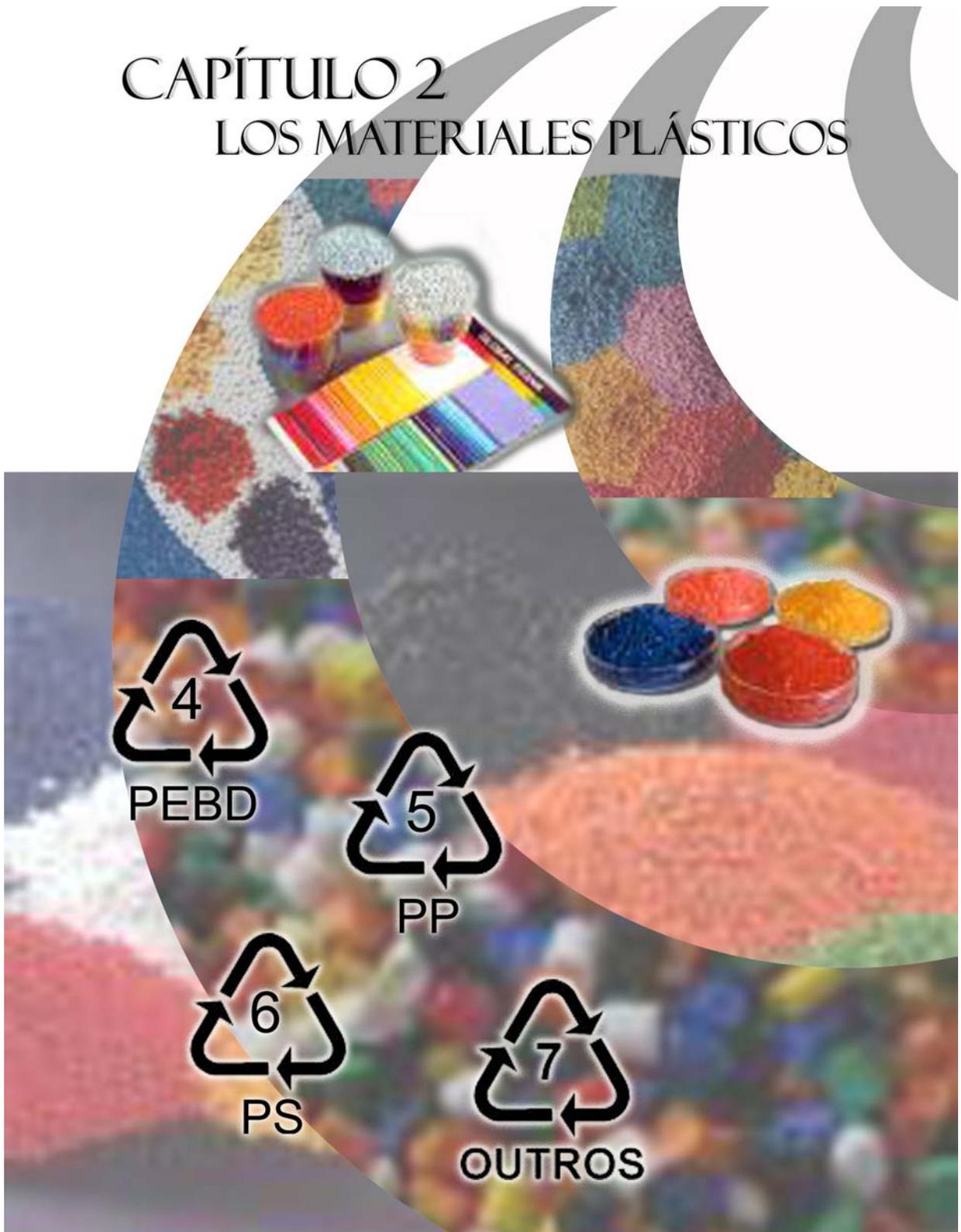
- a) Carrera de inyección.
- b) Velocidad de inyección.
- c) Tiempo de inyección.
- d) Presión de sostenimiento de inyección.
- e) Velocidad del husillo.
- f) Tiempo de ciclo.

Todos los dispositivos para la variación de estos parámetros se encuentran en la unidad de control de la máquina que por su avance tecnológico pueden ser de tipo digital o análogo.

El registro completo de los datos necesarios para el funcionamiento de la máquina de inyección pueden ser registrados en la memoria de la máquina o en caso contrario por medio de formatos establecidos por el operador. Sin embargo no debemos olvidar que factores externos como la calidad del material termoplástico inyectado y factores ambientales como la temperatura ambiental y la humedad pueden afectar estos ajustes.

# CAPÍTULO 2

## LOS MATERIALES PLÁSTICOS



## 2.1 PROPIEDADES

La principal característica de los plásticos es su economía y versatilidad en propiedades. Esto se debe principalmente a su ligereza con respecto a otros materiales principales, así como a los requerimientos de energía para su fabricación, que siempre serán menores a los de cualquier otro material. La fabricación involucra desde su obtención hasta su transformación.

### PROPIEDADES FÍSICAS

La estructura interna de los plásticos determina sus propiedades fundamentales y es la causa de las diferencias con otros materiales.

Los plásticos tienen densidad más baja que otros materiales debido a que sus cadenas son más desordenadas, esto también provoca absorción de humedad, comportamiento que en muchos de los casos no es deseado debido a que afecta el procesamiento del material.

La absorción de humedad depende también de la polaridad de cada plástico, así los materiales no polares absorben poca humedad y los materiales polares presentan valores elevados de absorción de humedad.

Esta estructura también afecta la transparencia de los plásticos, donde si la estructura es completamente desordenada, es decir, amorfa, el material es transparente y si la estructura presenta mayor ordenamiento, es decir, cristalina, el material es translucido.

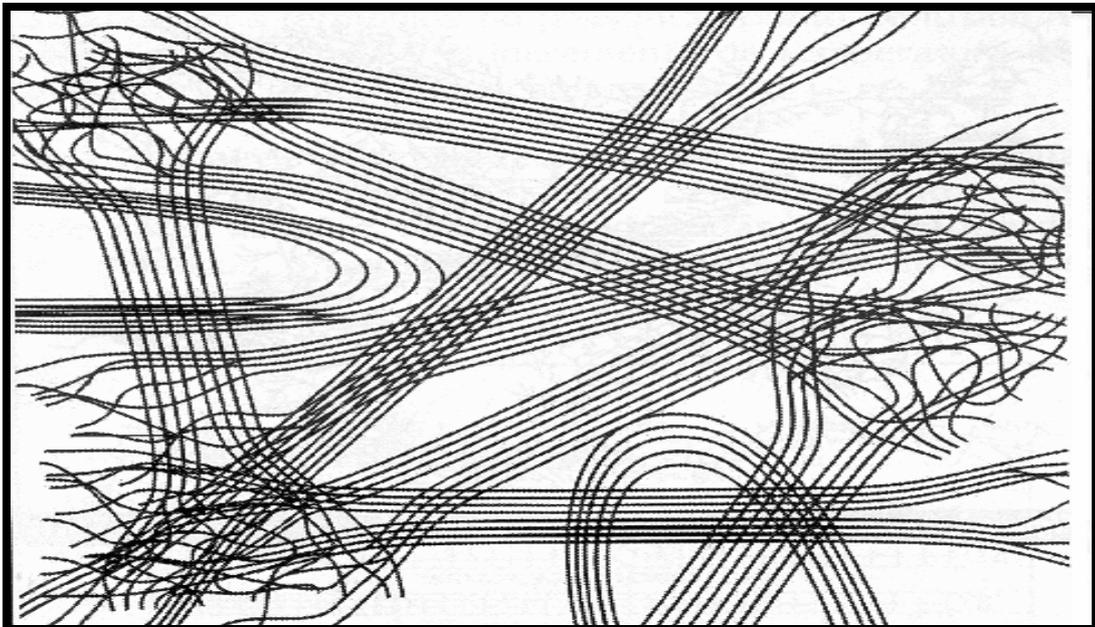


Figura 2.1. En la figura se observa el arreglo molecular de plásticos cristalinos lo cual en apariencia física resulta ser opaco debido a que refracta el paso de la luz.

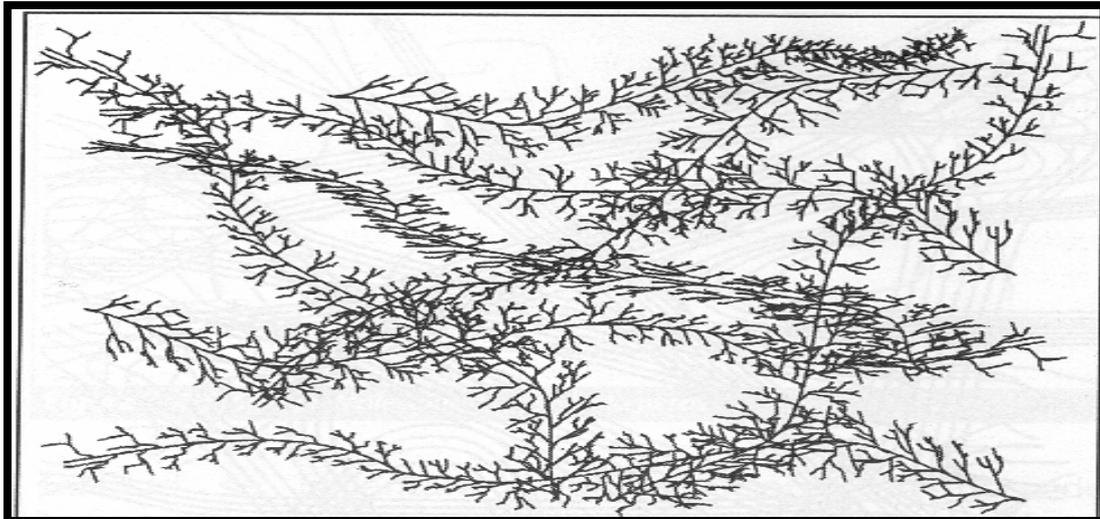


Figura 2.2. En la figura se observa el arreglo molecular de plásticos amorfos lo cual en apariencia física resulta ser transparente debido a que permite el libre paso de la luz.

Otra propiedad que está determinada por esta estructura es la permeabilidad, donde si la estructura del plástico es compleja o muy cristalina, el material presentará elevadas propiedades de barrera y por el contrario si la estructura es amorfa la barrera será baja y permitirá el paso de algunos gases.

### **PROPIEDADES MECÁNICAS**

Cuando se compara la estructura de los plásticos con cualquier otro material se encuentra la diferencia que radica en que los plásticos tienen una estructura molecular y el metal y el vidrio presentan una estructura atómica. Por esta razón los plásticos presentan una resistencia mecánica relativamente menor, un módulo de elasticidad menor, dependencia de las propiedades mecánicas con respecto al tiempo y modificación de propiedades por efecto de la temperatura.

También se presenta un comportamiento de deformación y recuperación interna de los plásticos, la cual confiere una cualidad denominada memoria, que en algunas ocasiones ayuda a piezas sometidas a impactos a recuperar su forma, pero que en otros casos provoca problemas para su uso.

Sin embargo, las propiedades pueden ser modificadas mediante aditivos, cargas, refuerzos a la unión con otros plásticos, así como mediante variantes en los procesos de transformación.

### **PROPIEDADES TÉRMICAS**

Los plásticos en general son malos conductores del calor, por lo tanto se consideran aislantes, sin embargo, cada uno de ellos presenta diferente comportamiento en sus propiedades cuando son expuestos al calor de acuerdo a su estructura propia.

Los plásticos termo fijos se presentan quebradizos a lo largo de todo el intervalo de temperaturas, no presentan reblandecimiento ni fusión y ligeramente por debajo de la temperatura de descomposición pierden parcialmente su rigidez.

Por el contrario, los termoplásticos si reblandecen, funden y sus propiedades mecánicas se modifican paulatinamente con respecto al tiempo. Este grupo de materiales primero presentan un reblandecimiento, que se considera la transición del estado sólido al estado termo elástico, posteriormente se incrementa la movilidad de las moléculas hasta llegar a un estado completamente fundido donde el material es transparente. Esta zona limita con la temperatura de descomposición del material. Debido a su estructura molecular los plásticos presentan dilatación molécula con el aumento de temperatura, modificándose este comportamiento cuando se encuentran formulados con cargas y refuerzos.

### **PROPIEDADES ELÉCTRICAS**

Debido a que los plásticos no poseen electrones libres móviles, no conducen la electricidad y por lo tanto también se convierten en materiales aislantes de la misma.

### **PROPIEDADES QUÍMICAS**

Al ser la estructura de los plásticos molecular y no atómica, se consideran materiales inertes frente a la mayoría de las sustancias líquidas, sólidas y gaseosas comunes, presentando mejores propiedades químicas que el papel, madera, cartón y metales, siendo superados únicamente por el vidrio.

### **FORMAS DE PRESENTACIÓN**

Existe una gran variedad de procedimientos de transformación de plásticos, cada uno de los cuales es resultado de la adaptación a las necesidades concretas de cada material u de las piezas que se desean obtener.

Los plásticos termoplásticos se presentan en diversas formas:

- a) Polvos (1-1000um)
- b) Pastas.
- c) Pellets (3mm aproximadamente.)
- d) Cubos.
- e) Lentejas.
- f) Cilindros.
- g) Aglomerados y granulados.
- h) Solución.

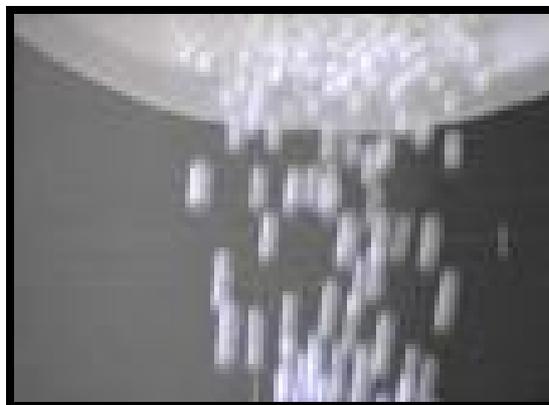


Figura 2.3. Resina en presentación de pellets.

Ciertos procesos requieren formas específicas de la materia prima y en algunos casos, el manejo, Almacenamiento, sistemas de alimentación y dosificación, son las que determinan la elección.

## CLASIFICACIÓN

Los polímeros pueden ser clasificados en función de muy variados parámetros, desde el origen de los mismos hasta los métodos de obtención utilizados en su manufactura.

Sin embargo, los principales factores en los que se pueden clasificar los plásticos son por:

- a) Origen.
- b) Comportamiento térmico.
- c) Conformación física.
- d) Polaridad.
- e) Consumo

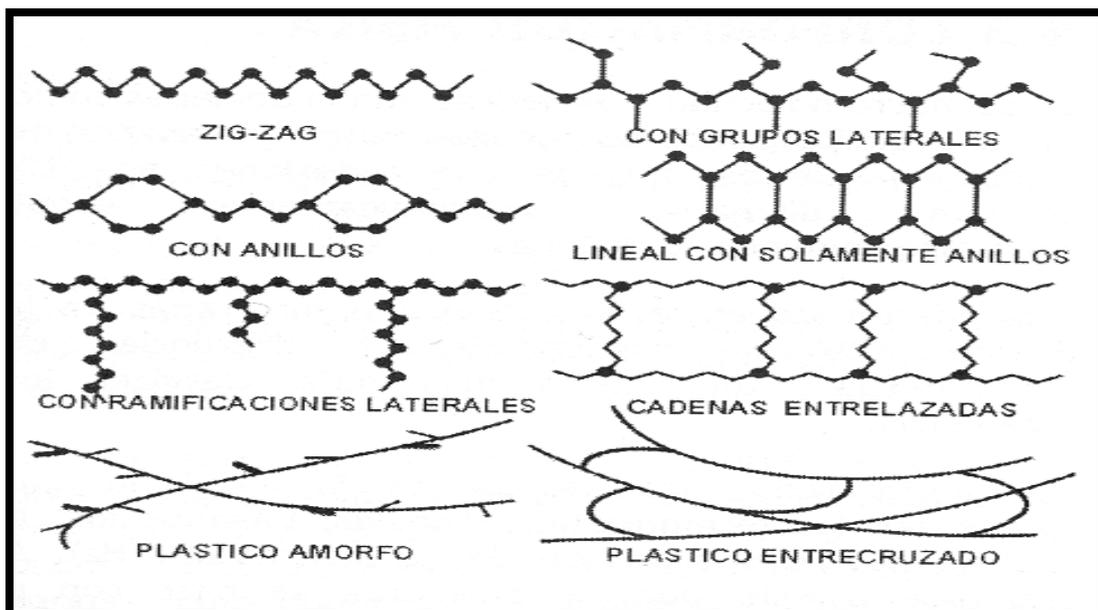


Figura 2.4. En la figura se muestra la conformación típica de los polímeros.

## COMPORTAMIENTO TÉRMICO

En función del comportamiento que presentan los polímeros al ser sometidos a procesos de transformación y por lo tanto, a diferentes temperaturas, estos pueden ser clasificados como:

Termoplásticos

- \*Amorfos
- \*Cristalinos
- Termo fijo
- Elastómeros
- \* Termo fijo
- \*termoplásticos

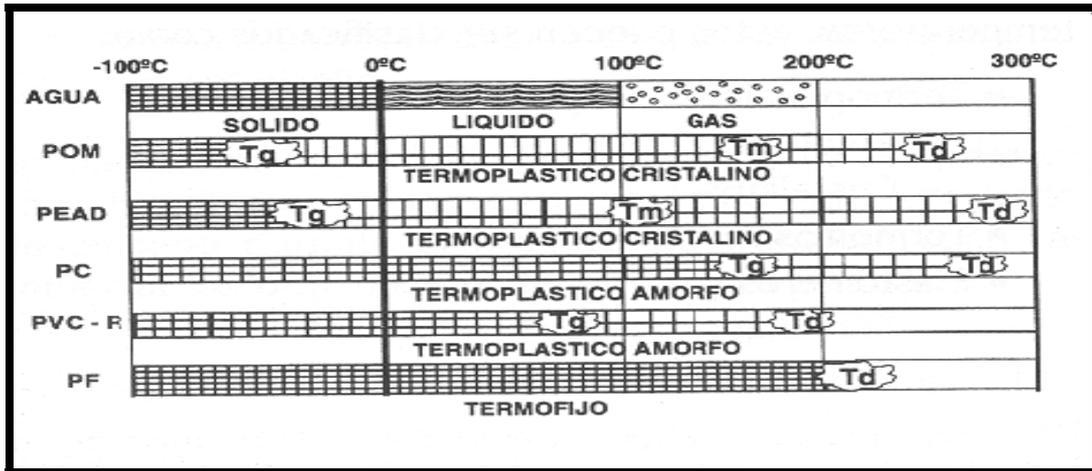


Figura 2.5. Comportamiento térmico de los polímeros.

Para su análisis deben considerarse tres niveles de temperatura:

Tg.- temperatura de transición vítrea. Por debajo de esta el plástico es rígido y quebradizo como el vidrio y en temperaturas superiores, el material adquiere mayor flexibilidad y elasticidad.

Tm.- temperatura de fusión. Solo los plásticos cristalinos presentan una temperatura de fusión, por arriba de esta pasan a su estado líquido.

Td.- temperatura de descomposición. El plástico se degrada.

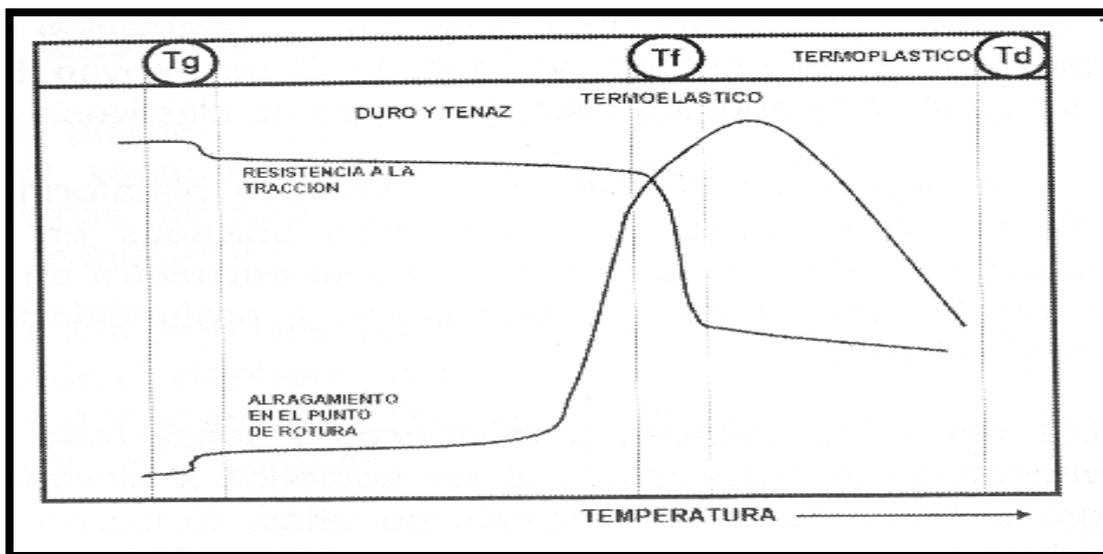


Figura 2.6. Comportamiento térmico de plásticos cristalinos.

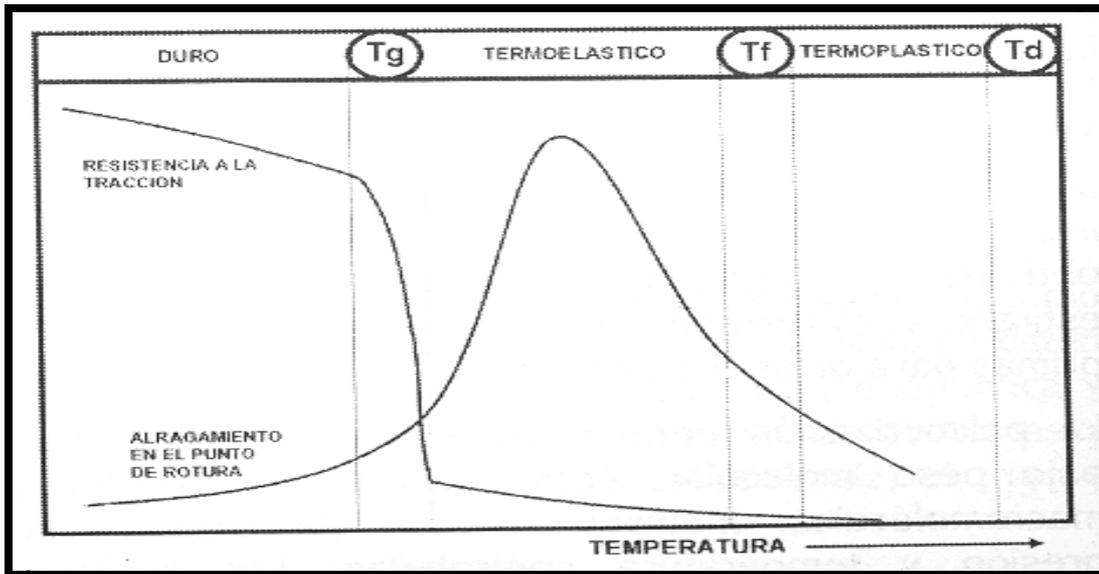


Figura 2.7. Comportamiento térmico de plásticos amorfos.

## 2.2 INTRODUCCION AL POLIPROPILENO

El polipropileno es un termoplástico muy versátil que tiene un buen equilibrio de resistencia térmica y química, excelentes propiedades mecánicas y eléctricas, así como facilidad de procesamiento.



Figura 2.8. Símbolo internacional del polipropileno.

### DESCRIPCIÓN DE LAS PROPIEDADES

El polipropileno no es un producto único; hay cientos de propilenos con propiedades y características que dependen de los siguientes factores:

- Clase de polímero: homopolímeros, copolímeros aleatorios o copolímeros de bloque
- Peso molecular y distribución de pesos moleculares

- Morfología y estructura cristalina
- Aditivos
- Rellenadores y refuerzos
- Técnica de fabricación

### **PROPIEDADES DE POLIMEROS DEL POLIPROPILENO**

- Índice de fluidez
- Densidad
- Resistencia a la tensión en el punto de cedencia
- Modulo secante de elasticidad por flexión
- Resistencia al impacto
- Resistencia al impacto sin muesca
- Temperatura de flexión

### **PROPIEDADES DEL POLIPROPILENO**

- Bajo peso específico(densidad)
- Excelente resistencia
- Alta temperatura de fusión(comparado con otros plásticos de alto consumo)
- Buen balance rigidez / tenacidad
- Adaptable a muchos métodos de transformación
- Gran variedad de clases especiales
- Excelentes propiedades dieléctricas
- Bajo costo(específicamente por unidad de volumen)
- Inflamabilidad
- Fragilidad a bajas temperaturas
- Rigidez moderada
- Dificultada para imprimir, pintar y pegar
- Baja resistencia UV
- Reducida productividad en extrusión (comparado con resinas suaves y amorfas)
- Nebulosidad(falta de transparencia)
- Baja resistencia cuando esta fundido



Figura 2.9. Se muestran pellets de polipropileno homopolímero HS013 de VALTEC.

INDELPRO VALTEC INDELPRO VALTEC

## INDELPRO VALTEC

HS013  
Homopolímero de Polipropileno, Usos Especiales.

Valtec es una nueva presentación para resina de polipropileno. Se produce en Indelpro usando el proceso Spharipol. Comparado con el polipropileno en gránulo (pellet), el Valtec puede mostrar ventajas en términos de productividad, procesamiento y consumo de energía. El Valtec HS013 es un homopolímero particularmente apropiado para la extrusión de fibras, multifilamento y listón decorativo así como en inyección en general.

El polímero base del Valtec HS013 cumple con los requerimientos de la U.S. Food and Drug Administration (FDA) conforme a sus especificaciones en 21 CFR 177.1520 (a), (1) y (c) 1.1. Todos los demás ingredientes empleados en la formulación satisfacen sus regulaciones respectivas con respecto a FDA y en 21 CFR 177.1520 (b). En resumen, el Valtec HS013 cumple con los requerimientos de FDA que cubren el empleo seguro de artículos en base poliolefinas y componentes de artículos para estar en contacto con alimentos, incluyendo el cocinar. Este producto también cumple con los requerimientos necesarios en aplicaciones médicas.

Características: Aplicaciones Típicas:

Excelente procesabilidad. \* Extrusión en fibras

Amplio rango de procesamiento. \* Multifilamento

Alta rigidez. \* Listón decorativo

Alta resistencia a los químicos y solventes. \* Inyección en general

Distribución del peso molecular estándar. \* Artículos del hogar

\* Artículos institucionales

VALTEC HS013: HOMOPOLÍMERO, USOS ESPECIALES, FLUIDEZ MEDIA; APROPIADO PARA CONTACTO CON ALIMENTOS

| PROPIEDADES TÍPICAS (A)   | VALOR TÍPICO    | METODO ASTM (B) |
|---|-----------------|-----------------|
| Índice de fluidez (MFR), dg/min   | 11              | D1238 (c)       |
| Resistencia a la tensión en el punto de cedencia, N/mm <sup>2</sup> (psi) | 34 (5,000)      | D638            |
| Resistencia al impacto Izod con muelles a 23°C, J/m (ft-lb/in)            | 35 (0.7)        | D256A           |
| Alargamiento en el punto de cedencia, %                                   | 11              | D638            |
| Módulo de flexión, N/mm <sup>2</sup> (psi)                                | 1,580 (230,000) | D790 B          |
| Densidad, g/cm <sup>3</sup>   | 0.9             | D792 A          |
| Dureza Rockwell, escala R   | 98              | D785A           |
| Punto de ablandamiento VICAT (2kg/mm <sup>2</sup> ), °C (°F)              | 153 (313)       | D1525           |
| Temperatura de deflexión a 0.46 N/mm <sup>2</sup> (66 psi), °C (°F)       | 98 (208)        | D648            |
| Envejecimiento acelerado en horno a 150°C, Hrs                            | 360             | D3012           |

(a) Los valores mostrados son promedios y no deberían ser interpretados como especificaciones.

(b) Los métodos de prueba ASTM empleados son los últimos generados por la sociedad.

Tabla 2.1. Ficha técnica del polipropileno HS013 de INDELPRO VALTEC.

## 2.3 INTRODUCCION AL POLIESTIRENO

El poliestireno es un termoplástico de excelentes propiedades ópticas, debido a sus enlaces moleculares amorfos lo cual representa transparencia del producto, pero a su vez dicho enlace molecular representa poca resistencia térmica, química y mecánica, teniendo así, ciertas limitantes en el procesamiento.



Figura 2.10. Símbolo internacional del poliestireno.

### PROPIEDADES DEL POLIESTIRENO

- Densidad 1.05g/cm<sup>3</sup>.
- Estructura: termoplásticos amorfos con poca absorción de humedad.
- Material de refuerzo: fibras de vidrio.
- Color: transparente con alto brillo superficial; se puede colorear en todos los tonos, en traslucido y opaco, también nacarado.
- Propiedades mecánicas: rígido, duro, quebradizo, muy sensible al impacto y a la entalla. Poca tendencia al flujo en frío.
- Propiedades eléctricas: buena resistencia eléctrica, casi independiente de la humedad absorbida; no obstante, la humedad superficial influye en las propiedades eléctricas. Buenas características dieléctricas, casi independientes de la frecuencia. Se carga electrostáticamente, por lo cual a menudo se le añaden aditivos antiestáticos.
- Propiedades ópticas: es apropiado para fines ópticos de importancia secundaria, dentro de interiores. En uso exterior, se pierde brillo superficial y amarillea.
- Propiedades térmicas: uso hasta 70°C, tipos estables al calor hasta 80°C, arde bien, con llama que genera humo denso, sin gotear.



Figura 2.11. Se muestran pellets de poliestireno cristal HF-777 de RESIRENE.

El PS es uno de los plásticos menos costosos. Gran capacidad de producción, procesos eficaces de manufactura y un amplio mercado mundial contribuyeron a que el PS sea uno de los plásticos más efectivos en costo.

El PS se reblandece a su temperatura de transición vítrea,  $T_g$ , que ocurre al aproximarse a  $100^{\circ}\text{C}$ . Arriba de esta temperatura el PS sometido a esfuerzos y se comporta como líquido viscoso; a temperaturas todavía mayores es un plástico fácilmente moldeable caracterizado por flujo newtoniano a bajos esfuerzos de corte y flujo no newtoniano si los esfuerzos son grandes. Las variedades modificadas con hules son opacas y tienen mayor tenacidad y resistencia al impacto.

El poliestireno retiene su rigidez hasta  $36$  a  $45^{\circ}\text{F}$  ( $20^{\text{a}}$   $25^{\circ}\text{C}$ ) por debajo de su  $T_g$ . Al aumentar todavía más la temperatura, el PS adquiere propiedades similares a las del caucho y se vuelve muy elástico hasta  $100\%$  de alargamiento justo debajo de la temperatura vítrea.

Al eliminar la tensión el material puede:

- Regresar a sus dimensiones originales, si se mantiene la temperatura.
- Retener su deformación si se enfría rápidamente, pero regresa a la forma original debido a su memoria elástica si se recalienta a la temperatura de la deformación.

**ESPECIFICACIÓN TÉCNICA  
HF-777 POLIESTIRENO CRISTAL**

RESIRENE\* HF-777: Es un material de flujo medio, estos son valores típicos que representan un promedio sobre pruebas realizadas en muestras naturales, llevadas a cabo a 23oC (73oF) y 50% de humedad relativa, usando procedimientos de uso común, excepto donde se indiquen otras condiciones. Los valores típicos se presentan para usarse como guía únicamente y no representan las especificaciones de los materiales, las condiciones reales dependerán del equipo utilizado y diseño del molde empleado.

| <b>Propiedades</b>                          | <b>Unidades</b>                            | <b>Valor Típico</b>  |
|---|--|----------------------|
| <b>MECÁNICAS:</b>                           |  |                      |
| Resistencia a la tensión a la ruptura       | psi (MPa)                                  | 5,400<br>(37)        |
| Elongación a la ruptura                     | por ciento                                 | 3.0                  |
| Módulo de elasticidad en tensión            | psi (MPa)                                  | 450,000<br>(3,105)   |
| Dureza                                      | Rockwell "M"                               | 75                   |
| Resistencia a la flexión                    | psi (MPa)                                  | 11,000<br>(76)       |
| Deflexión a la ruptura                      | in (cm)                                    | 0.25<br>(0.63)       |
| Módulo en flexión                           | psi (MPa)                                  | 465,000<br>(3,208)   |
| <b>TÉRMICAS:</b>                            |  |                      |
| Temperatura de deformación bajo carga (HDT) | oC a 1.8 MPa<br>(oF a 264 psi)             | 82<br>(180)          |
| Deformación bajo carga                      | por ciento a 4000 psi<br>(27.6 MPa) y 50oC | 0.9                  |
| Temperatura Vicat                           | oC (oF)                                    | 102<br>(216)         |
| Flujo Melt Index cond. "G"                  | gr/10 min                                  | 8                    |
| <b>FÍSICAS:</b>                             |  |                      |
| Gravedad específica                         |  | 1.05                 |
| <b>MOLDEO:</b>                              |  |                      |
| Volumen específico (pellets)                | cm3/gr.                                    | 1.6-1.9              |
| Encogimiento en el molde                    | in/in (cm/cm)                              | 4-8x10 <sup>-3</sup> |
| Temperatura de inyección                    | oC (oF)                                    | 175-285<br>(350-550) |
| <b>CUMPLIMIENTO FDA:</b>                    | Regulación 21, Parte 177.1640              |                      |

La información contenida en este boletín, es para Resirene, S. A. de C. V.\*, verdadera y exacta; sin embargo, todas las recomendaciones y sugerencias se proporcionan sin garantía alguna, ya que las condiciones de procesamiento y uso quedan fuera de su control.

Tabla 2.2. Ficha técnica del poliestireno HF- 777 de RESIRENE

## 2.4 INTRODUCCION AL POLIETILENO

Los polietilenos son resinas termoplásticas producidas mediante procesos a alta y baja presión en los que se usan varios catalíticos complejos. Como resultado se obtienen varias familias de polímeros (de baja densidad, de baja densidad lineal y de alta densidad), cada uno con características muy diferentes de comportamiento y cualidades térmicas. Por lo general, todos los polietilenos poseen propiedades eléctricas excelentes, una resistencia inmejorable a los disolventes orgánicos y a compuestos químicos. Son materiales translucidos de peso ligero, resistentes y flexibles.

El polietileno posee una estructura molecular compuesta por regiones cristalinas y amorfas.



Figura 2.12. Símbolo internacional del polietileno.

### DESCRIPCIÓN DE LAS PROPIEDADES

Los polietilenos son termoplásticos muy versátiles que se han ganado un sin fin de usos en muchas áreas de aplicación, particularmente en películas y en el moldeo por inyección. Cada uso final requiere condiciones balanceadas entre las variables. Las más importantes de estas condiciones son la temperatura de fusión, la densidad, el peso molecular, la distribución de peso molecular y el grado de ramificación.



Figura 2.13. Se muestran pellets de polietileno NA 870-252 de EQUSTAR

Petrothene®

# NA 870-252

**POLIETILENO BAJA DENSIDAD**

**GRADO INYECCION**

**FLUIDEZ 38.5 DENSIDAD 0.921**

## APLICACIONES

La resina PETROTHENE NA 870-252 tiene un excelente balance entre suavidad y resistencia así como estabilidad dimensional, Normalmente se utiliza en la fabricación de tapas y sellos, juguetes, artículos para el hogar, contenedores y artículos novedosos.

## CERTIFICACION

El NA 870-252 cumple con las normas 21 CF 177.1520 de la FDA (Food and Drug Administration). Esta norma se refiere al uso de resinas base polímero en artículos que están en contacto con alimentos. Para mayor información contacte a un representante de ventas de Equistar.

## Forma de procesamiento

Estas recomendaciones son válidas únicamente cuando las formas de transformación, equipos y maquinaria, así como uso final son conocidos, Para mayor información contacte a un representante de ventas de Equistar.

## Condiciones de Arranque

| Zona del cilindro   | Garganta     | Centro    | Frente           | Variz |
|---|--------------|-----------|------------------|-------|
| Temperatura del cilindro                                  | 325°F        | 350°F     | 350°F            | 350°F |
| Propiedad   | Valor        | Unidades  | Método de prueba |       |
| Melt Index  | 38.5         | g/10 min. | D 1238           |       |
| Density   | 0.921        | g/cc      | D 1505           |       |
| Tensile Strength @ Break <sup>1</sup>                     | 1,300 (9)    | psi (MPa) | D 638            |       |
| Tensile Strength @ Yield <sup>1</sup>                     | 1,850 (13)   | psi (MPa) | D 638            |       |
| Elongation @ Yield <sup>1</sup>                           | 13           | %         | D 638            |       |
| 1% Secant Modulus <sup>2</sup>                            | 33,000 (230) | psi (MPa) | D 790            |       |
| 2% Secant Modulus <sup>2</sup>                            | 27,000 (190) | psi (MPa) | D 790            |       |
| Vicat Softening Point                                     | 187 (86)     | °F (°C)   | D 1525           |       |
| Hardness, Shore D   | 41           |           | D 2280           |       |
| Low Temperature Brittleness, F <sub>50</sub> <sup>3</sup> | -13 (-25)    | °F (°C)   | D 746            |       |

<sup>1</sup>C roshead Speed - 20 in/min

<sup>2</sup>C roshead Speed - 1/4 in/min

<sup>3</sup> Test method has been found useful for specification purposes, but does not necessarily indicate the lowest temperature at which the material may be used.

La información que se presenta en este documento es para su conocimiento, verdadera y comprobable, de cualquier forma el desempeño de la resina depende del control y desarrollo que se tenga sobre la misma, la utilización de nuestros productos para el desarrollo y aplicaciones que determine el cliente son su responsabilidad.

Los materiales de Equistar no están desarrollados para el uso de implantes para el cuerpo humano o para el contacto de fluidos internos del cuerpo. Equistar no hace promesas de desarrollo de estos materiales ni se compromete en situaciones donde sus resinas se utilicen en la manufactura de piezas o artículos para este fin.

Más detalles de seguridad e información de nuestros productos están disponibles en nuestra tabla de seguridad de materiales (MSDS). Todos los usuarios de nuestros productos están obligados a conocer esta información. La MSDS es entregada al momento de la compra o enviada con los documentos de compra. Usted puede solicitar mayor información o pedir una nueva copia de su MSDS en línea (800) 790-0346.

Equistar Chemicals, LP  
1221 McKinney, Suite 700  
P.O. Box 2583  
Houston, Texas 77252-2583  
(800) 615-8999  
<http://www.equistarchem.com>

936310603



**EQUISTAR**

Tabla 2.3. Ficha técnica del polietileno NA 870-252 de EQUISTAR.

## 2.5 TECNICA DEL PROCESO PARA RESINAS COMODITIES

La elaboración de materiales termoplásticos por el proceso de inyección ofrece amplias posibilidades de nacionalización desde el punto de vista de producción económica, y se extiende a un campo de aplicación.

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

Las principales ventajas del procedimiento de inyección residen en el ahorro del material, espacio de fabricación y tiempo de producción.

Pese a los costos de instalaciones, moldes y producción, el proceso ofrece considerables ventajas económicas, ya a partir de series superiores a partir de mil piezas.

El proceso ofrece entre otras cosas:

- Máxima exactitud de forma y dimensiones de las piezas inyectadas.
- Posibilidades de formación de orificios, refuerzos, ajustes y marcas, así como de inserción de elementos de otros materiales, con lo que la producción se hace compleja o las piezas quedan considerablemente listas para el montaje.
- Superficie lisa y limpia de las piezas inyectadas.
- Buenas propiedades de resistencia a pesar de espesores de pared finos, con una configuración de las piezas adecuada al proceso y al material.
- Múltiples posibilidades en cuanto a un ennoblecimiento posterior de las superficies.
- Rápida producción de gran cantidad de piezas en moldes duraderos con una o varias cavidades; esto permite plazos de entrega relativamente cortos y una capacidad de almacenaje reducida.
- Gran aprovechamiento del material empleado; en muchos casos puede efectuarse la tripulación de las mazarotas directamente junto a la maquina de producción, mezclando de nuevo la molienda con el granulado virgen.

Considerando desde el punto de vista puramente tecnológico, hay que valorar como máxima ventaja de la inyección el hecho de que la pieza inyectada queda determinada por el molde en todas sus superficies, en cuanto a forma y dimensiones. En los restantes métodos de elaboración que compiten con la inyección (moldeo en caliente y soplado) las tolerancias de forma y dimensiones quedan determinadas solamente por la superficie de la cavidad del molde o del

núcleo. Por ello hay que considerar en estos procesos diferencias en espesor de pared y variaciones en la resistencia mecánica.

## **CONSIDERACIONES TECNOLÓGICAS**

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

## **CURSO DEL PROCESO**

La explicación seguirá el camino del material designado que se vierte en la tolva del dispositivo dosificador situado sobre la unidad inyectora de la maquina. Una determinada cantidad de este material cae ante el embolo del dispositivo dosificador. Esta porción de material es empujada hacia delante por el embolo dosificador en el curso del ciclo de trabajo y cae primeramente sobre el embolo de inyección a través del pozo vertical de la placa transversal, cayendo de nuevo ante este embolo cuando se efectúa su movimiento de retroceso. El embolo de inyección impulsa este material hacia delante al iniciar su movimiento de trabajo a través de la camisa hacia el cilindro de plastificación. Las bandas calefactoras situadas en la superficie exterior del cilindro le llevan a una temperatura que produce la transformación de la masa de inyección prensada en una fusión termoplástica.

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

La característica propia del proceso de inyección, de un método de trabajo intermitente, hace que el avance de material no sea permanente, sino que haya una cierta permanencia de la masa en el cilindro.

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

El molde de inyección es parte de la unidad de cierre de la maquina y consta fundamentalmente de dos mitades, fijadas respectivamente a los platos porta molde del lado de la boquilla y del lado del extractor. En la representación esquemática se indican estos platos mediante líneas de trazos.

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

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

Finalizando el proceso de solidificación puede abrirse el molde, y es extraída la pieza por los expulsores del sistema extractor. Ello ocurre cuando casi se ha alcanzado la posición de apertura máxima del plato porta molde del lado extractor y el puente extractor choca con el tope situado en el soporte de la maquina. Con el desmoldeo de la pieza inyectada termina el ciclo de trabajo.

### **CONDICIONES DE ARRANQUE**

Se debe estimar el tamaño de la carga en onzas y comparar con la capacidad nominal de la maquina. Las cargas de poliolefinas corresponden aproximadamente al 75% de la capacidad de inyección de la maquina, la cual se expresa siempre en términos del poliestireno. Esto debido a que el poliestireno dentro del husillo, representa el mayor nivel volumétrico.

Para la maquina de husillo reciprocante se recomienda arrancar en las siguientes condiciones:

- Temperatura del cilindro, 420 a 470°F (216 a 243°C)
- Temperatura del molde, 80 a 100°F (27 a 38°C)
- Presión de inyección, 60% de la disponible

El ciclo de moldeado es un factor importante en la determinación de las condiciones de procedimiento, pero no es posible definirlo con las condiciones de arranque. El ciclo depende también del diseño de la pieza, sus dimensiones y otros factores.

Independientemente de la maquina que se use, el objetivo debe ser alcanzar la temperatura de 500°F (260°C) en la mezcla fundida. Los incrementos posteriores en la temperatura del cilindro usualmente no se hacen para tener mayor temperatura en la mezcla fundida, sino principalmente para compensar por el mayor flujo de material que se requiere para la velocidad mayor de producción.

La temperatura de arranque para el molde, generalmente, es la del ambiente, la cual normalmente asegura el llenado del molde. Todas las otras variables se inician con valores que pueden ajustarse fácilmente para lograr las condiciones óptimas de operación.

## **2.6 AJUSTE DE LA MAQUINA PARA OBTENER EL LLENADO ADECUADO DEL MOLDE**

Al hacer ajustes en la maquina, es muy importante dar tiempo suficiente para que los cambios tengan efecto. Los ajustes de temperatura, en particular, requieren aproximadamente 15 minutos para que se note su efecto en la pieza moldeada. La experiencia ha demostrado que muchos problemas de moldeo se habrían resuelto si se hubiese tenido más paciencia al evaluar el efecto de los cambios en las variables.

### **CARGA CORTA**

Una carga completa se puede conseguir operando con un pequeño colchón de material al final del golpe del pistón. Se debe evitar que se acumule un colchón demasiado grande de material para la alimentación. Todavía se pueden producir cargas cortas durante el arranque, Si falta muy poco para llenar el molde, se debe aumentar gradualmente la presión de inyección hasta obtener la carga completa. Los incrementos deben ser de 20 a 50 lb/pulg<sup>2</sup>. (0.13 a 0.34 Mpa).

Si a la primera carga le falta mucho para llenar el molde, es necesario aumentar la temperatura del cilindro en incrementos de 10 a 20° y cada uno se debe evaluar completamente antes de intentar otros cambios en el proceso. No debe aumentar excesivamente la temperatura, ya que la exposición prolongada del material a temperaturas mayores de 575°F (302°C) conduce a la degradación del polímero. Cuando los ciclos de moldeo son cortos, no es raro fijar la temperatura final del cilindro entre 560 y 600°F (293 a 316°C).

A veces, una carga corta se debe a ventilación inadecuada del molde, Se podría corregir con una reducción de la presión de cierre, pero si hay fuga de material, es necesario mejorar la ventilación antes de poder continuar el proceso. Los agujeros de ventilación deben tener diámetros cuando mucho de 00015 pulgadas (0.04mm)

Las causas posibles de cargas cortas incluyen: capacidad insuficiente de calentamiento del cilindro; alimentación insuficiente o tiempo de inyección o presión de inyección; temperatura de la masa demasiado baja; una restricción en el flujo originada por tobera con diámetro demasiado pequeño; desbalanceo en el molde con cavidad múltiple; material extraño que tapa la tobera o los puntos de inyección; temperatura del molde demasiado baja.

### **EVAPORACIÓN EN EL MOLDE**

Ocasionalmente, al aplicar las condiciones iniciales de arranque, se produce evaporación del material en el molde. Suponiendo que ya se ha fijado la presión máxima del cierre, el primer paso debe ser reducir la presión de inyección a razón de 20 a 50 lb/pulg<sup>2</sup> (0.13 a 0.34 Mpa) en cada intento. Esto generalmente es efectivo a las temperaturas de arranque.

A temperaturas mayores, es preferible reducir primero la temperatura del cilindro 10 a 20°F (6 a 12°C) cada vez hasta lograr el llenado correcto del molde o bajar hasta

las temperaturas de arranque. Si persiste la dificultad, entonces el último recurso sería la presión de inyección.

Las causas posibles de fugas en el molde son: presión de cierre demasiado baja; temperatura del material demasiado alta; material extraño en las superficies de contacto del molde o presión de inyección demasiado alta.

### **AJUSTES EN LA MAQUINA PARA ELIMINAR DEFECTOS EN LA PIEZA Y EN SUS SUPERFICIES DEPRESIONES SUPERFICIALES**

Ante el problema de las depresiones, la mejor estrategia inicial es reducir la temperatura del molde 10°F (6°C) cada vez. El límite mínimo de temperatura sería el punto en que el llenado del molde ya no es completo.

Si las depresiones persisten, entonces debe aumentar el tiempo de inyección. Si el contenido del canal de alimentación no se ha solidificado cuando el pistón se retira, algo de material será extraído del molde, produciendo depresiones en la pieza. Sin embargo para evitar ciclos excesivamente largos, el tiempo de secado debe incrementarse únicamente hasta asegurar que ya no se está extrayendo material.

Otra manera de evitar depresiones consiste en sacar las piezas y enfriarlas rápidamente en agua, esta técnica es muy útil cuando persisten las depresiones a pesar de reducir la temperatura del molde.

Solo como último recurso se debe aumentar la presión de inyección. Aunque al incrementar la presión se eliminarían las depresiones, habría problemas muy graves de tensiones internas en las piezas.

Las causas posibles de depresiones son: molde a temperatura muy alta; tiempo o presión insuficiente de inyección; mal diseño de la pieza, secciones no uniformes o paredes muy gruesas; sitio de inyección mal colocado; enfriamiento lento de las piezas.

### **MARCAS DE FLUJO, FALTA DE BRILLO, MALA DISTRIBUCIÓN DE PIGMENTOS, SUPERFICIE RUGOSA**

En las maquinas de inyección con tornillo, la plastificación del material se puede mejorar variando la temperatura de la masa, la velocidad del tornillo o la presión de retroceso. Al aumentar la temperatura, la mezcla fundida se vuelve mas fluida y se facilita la mezcla a una velocidad dada del tornillo. Al aumentar la velocidad se obtiene una mejor mezcla manteniendo las demás variables constantes. El efecto de una mayor velocidad será mas trabajo de la mezcla dentro del cilindro y una temperatura mayor debido a la acción cizallante del tornillo. Si todo lo demás es constante, al aumentar la contrapresión, se retrasa el flujo en el cilindro y aumenta el tiempo de resistencia en la sección de plastificación. Esto también produce mejor mezcla y dispersión. La rugosidad en la superficie de las piezas, como si tuvieran partículas de mica, usualmente se debe a exceso de humedad, aunque también pueden contribuir las contaminaciones o las temperaturas demasiado altas en el material. Las causas posibles de marcas de flujo, líneas de soldadura, falta de brillo,

mala distribución de pigmentos o superficie rugosa, incluyen: temperatura del material demasiado baja; llenado muy rápido del molde; humedad excesiva; mala dispersión de pigmentos, cavidad del molde sucia o rayada; exceso de lubricante o mal colocado, ventilación inadecuada; presión de inyección demasiado baja.

## **FRAGILIDAD**

Para minimizar la posibilidad de tensiones internas que contribuyen a la fragilidad de las piezas moldeadas, se recomienda aumentar gradualmente (en incrementos de 10°) la temperatura del cilindro, con tal de no llegar a temperaturas tan altas que degraden en polímero.

Si persiste el problema, se debe aumentar la temperatura del molde en incrementos de 10°F (6°C). Esto debe facilitar el llenado del molde y minimizar las tensiones internas en la pieza. Muchos mantienen sus moldes entre 140 y 160°F (60 a 71°C) y tienen muy pocos problemas de fragilidad. Evítense temperaturas de moldes superiores a las indicadas.

Para encontrar las condiciones óptimas de operación se deben hacer pruebas físicas a las piezas obtenidas a varios niveles de temperatura en los moldes y cilindros. Cuando sea posible, las pruebas físicas se deben hacer no menos de 24 horas después de moldear las piezas. Después de 24 horas. Los resultados pueden diferir considerablemente de los obtenidos inmediatamente después del moldeo.

Las causas posibles de la fragilidad incluyen: material degradado en el cilindro; temperatura demasiado baja del material o del molde; uso de concentrados hechos con otra resina; diseño inadecuado; mala curvatura en esquinas, entalladuras, mal diseño de roscas, partes huecas.

## **ALABEO**

Este es un problema grave, especialmente cuando las piezas tienen formas complicadas. La causa de las deformaciones, por lo general, es el mal diseño de las partes cuyo análisis debería ser el primer paso hacia la solución del problema. Los postulados básicos del buen diseño son: paredes de sección uniforme, esquinas redondeadas y flujo suave de material. Puesto que el alabeo es principalmente el resultado de las tensiones internas, se debe reducir la presión de inyección si no se puede modificar significativamente el diseño de la pieza. El límite inferior sería el punto en que se empiezan a tener cargas cortas.

Si persiste el alabeo, se debe variar la temperatura del molde en la sección de la cavidad (y no en el corazón del molde). El enfriamiento desigual debe ser el enfriamiento uniforme de toda pieza. Se aconseja aumentar el tiempo de prepresión para llenar más aprisa el molde y lograr también mayor enfriamiento en el punto de inyección.

El último paso para resolver problemas de alabeo consiste en aumentar las temperaturas del cilindro, lo cual permite moldear a menor presión.

Las causas posibles de alabeo de las piezas incluyen: empuje excesivo en el punto de inyección debido a presiones altas; temperaturas desbalanceadas en la cavidad y el corazón del molde; tensiones internas causadas por baja temperatura del material o del molde; flujos demasiado largos; puntos de inyección insuficientes; mal diseño, paredes no uniformes; puntos de inyección múltiples mal balanceados;

extraídos de la pieza cuando esta demasiado caliente; extractores no adecuados o mal colocados.

### **CALIDAD IRREGULAR**

Cuando se tiene calidad irregular en las piezas moldeadas, generalmente se atribuye al funcionamiento de la maquina o a su capacidad. Cilindros con insuficiencias en volumen o en capacidad de calentamiento, producen mezclas que no tienen uniformidad de una carga a otra y eso origina las irregularidades en la calidad. También causan problemas de vibraciones en el funcionamiento de los controles de los ciclos y temperaturas.

Las causas posibles de irregularidades en la calidad de las piezas son: capacidad insuficiente del cilindro en volumen y calentamiento; ciclos no uniformes; variaciones en la temperatura de la mezcla; funcionamiento errático del equipo; sistema desbalanceado de bebederos o cavidades múltiples.

## **2.7 REDUCCIÓN DE LA DURACIÓN DEL CICLO PARA OPTIMIZAR LA PRODUCCIÓN**

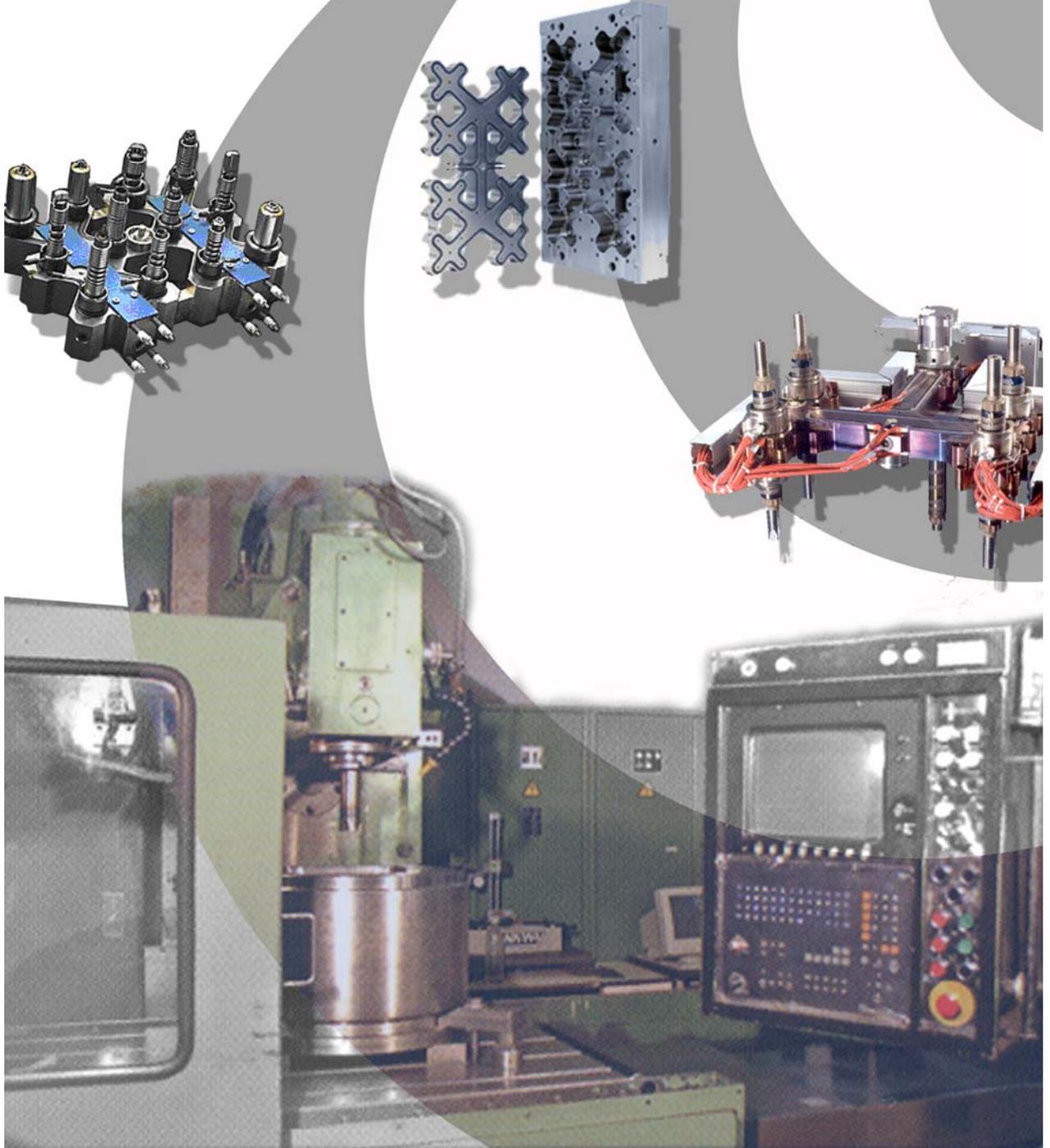
Para reducir la duración del ciclo y, por tanto, aumentar la producción por unidad de tiempo, el tiempo de inyección se reduce un segundo cada vez, hasta alcanzar el punto en que el empujador mecánico, a veces llamado pistón avanza durante 3 a 5 segundos mas por impulso propio o por tiempo necesario mientras se solidifica el materia en el canal e alimentación. El tiempo de compensación debe ser el mínimo. Aunque anteriormente se ha recomendado el llenado rápido, es importante hacer notar que muchos defectos de las piezas se corrigen reduciendo el tiempo de llenado.

El tiempo de curado se debe reducir un segundo cada vez. Las limitaciones para realizar lo anterior son las dimensiones y el aspecto de las piezas, lo cual se debe verificar cuidadosamente después de cada cambio, hasta encontrar el tiempo mínimo de curado. El molde debe permanecer abierto durante el periodo corta, pero suficiente para que la máquina expulse la pieza o un operador la saque de manera segura.

En resumen la duración mínima del ciclo para optimizar la producción se determina estudiando el orden en que ocurre cada componente del tiempo: reducción del tiempo de inyección; determinación del tiempo de sostenimiento de presión; reducción al mínimo del tiempo de curado y el de la extracción de al pieza.

# CAPÍTULO 3

## LOS MOLDES DE INYECCIÓN



### **3.1 METODOLOGIA PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCION DE MOLDES DE INYECCION**

Para diseñar un molde de inyección será necesario saber en líneas generales las exigencias que tendrá el sistema. Lo primero a tener en cuenta es que el diseño de moldes es una tarea altamente especializada realizada por moldistas expertos que implica una terminología y metodología de trabajo muy específicas. Las acciones a realizar durante el proceso son muy variadas y complejas, y durante su ejecución irán determinando los diferentes estados del problema. En las próximas líneas enunciaremos, muy por encima, las principales etapas que se siguen en el diseño de moldes para ver realmente la cantidad de factores que intervienen.

#### **ANALISIS DE LA GEOMETRIA DE LA PIEZA**

Para realizar el proyecto de un molde se ha de empezar estudiando su modelo y las líneas que lo definen, en forma específica, la geometría, dimensiones y material del producto a moldear, contribuyen a definir:

1. Gramaje o volumen a inyectar
2. Numero de cavidades
3. Maquina a emplear
4. Fuerza de cierre requerida
5. Velocidad de inyección
6. Mecanismos especiales para desmoldeo
7. Numero de placas en el molde
8. Sistema de inyección
9. Sistema y medios de enfriamiento
10. Sistema de expulsión

#### **CONTRACCIÓN**

Son muchos los factores que afectan el porcentaje de contracción de un producto moldeado, resaltando temperatura, presión, ciclo de moldeo, espesor de pared y resina principalmente. En materiales de baja contracción “amorfos”, alrededor del 0.6% es fácil calcular las dimensiones de cavidad y corazón para obtener las dimensiones finales y precisas del producto, en cambio para materiales semicristalinos, que presentan una contracción mayor al 0.6%, el calculo de dimensiones del producto final presenta mayor complejidad.

La presencia de cargas, como fibra de vidrio y talco reducen en forma considerable el factor de contracción.

Ecuación para calcular medidas del acero

$$Dc=Dp \times (1+S)$$

Donde

Dc= Dimensiones de molde

Dp= Dimensiones de producto

S= Factor de contracción.

Los rechupes son hundimiento que reflejan directamente la contracción del material y afectan el desempeño del producto, así como la apariencia.

| Material | Factor de contracción |
|----------|-----------------------|
| ABS      | 0.005-0.007           |
| PC       | 0.006-0.008           |
| PE       | 0.015-0.050           |
| PP       | 0.012-0.022           |
| PS       | 0.002-0.006           |

Tabla 3.1. Factor de contracción.

## **ESTUDIO DE LAS LINEAS DE PARTICION DE LOS NEGATIVOS**

Será importante encontrar el sentido y el ángulo de desmolde que contenga el menor número de negativos y que estos sean lo más fácil posible de desmoldar de una manera mecánica.

Determinar que superficies quedaran en el lado de expulsión y cuales quedaran en el lado de inyección para evitar marcas no deseadas en algunas superficies.

## **NÚMERO DE LÍNEAS DE PARTICIÓN**

El moldeado y el canal se liberan en un plano por la línea de partición durante la apertura del molde. De este modo, las piezas de plástico solidificado se expulsan y el molde queda listo para el ciclo siguiente.

Un molde normal tiene una línea de partición. El moldeado y el canal se desmoldean conjuntamente. Si el canal debe separarse automáticamente del moldeado, como es el caso con frecuencia en moldes multi-cavidad o con bebederos múltiples, se precisa una línea de partición adicional para el sistema de canales (molde de tres placas) o se usa un molde con canales calientes (canales fríos para resinas reactivas).

## **DETERMINAR LOS MECANISMOS DE EXPULSION**

Calcular el ancho y la profundidad máxima que tienen los negativos y poder así determinar las dimensiones de los mecanismos móviles que contendrá el molde para extraerlos.

## **DEFINIR EL SISTEMA DE INYECCION**

Que es uno de los puntos más importantes debido a que puede determinar el tipo de molde estándar a escoger (colada fría o colada caliente).

## **DEFINIR EL SISTEMA DE EXPULSION**

Que influye principalmente en el hecho de alojar la pieza en el lado de expulsión del molde para poder ser extraída mediante expulsores.

## **DETERMINAR EL NÚMERO DE CAVIDADES**

Del molde (número de piezas que ha de realizar el molde en cada inyección), que será muy importante para determinar la producción estimada.

## **DEFINIR EL CIRCUITO DE REFRIGERACION**

Que en la mayoría de casos consiste en la incorporación de un circuito de barrenos en los postizos de la figura, en las correderas y en aquellas placas que necesitan evacuación de calor.

Todas estas acciones no son nada triviales e implican una intensa colaboración entre todos los elementos del sistema. Esto quiere decir que para realizar cualquiera de estas acciones será necesario un diálogo constante entre todos estos elementos siguiendo las recomendaciones del sistema experto, donde se reflejarán los conocimientos de los moldistas. La arquitectura habrá de ser capaz de soportar la estrategia de resolución del problema, reconociendo todos los módulos del sistema y todas las acciones a realizar, sabiendo en que momento se han de ejecutar estas acciones y quien las ha de ejecutar, y permitiendo la comunicación con los otros módulos del sistema que apoyarán su ejecución.

## **3.2 CONSIDERACIONES EN DISEÑO**

El desarrollo de un molde comienza con el bosquejo de una idea, en donde deben estar incluidos los siguientes aspectos fundamentalmente:

1. Resina, el grado específico que se va a utilizar
2. Geometría del producto
3. Volumen y dimensiones del producto
4. Contracciones esperadas y deformaciones
5. Numero de cavidades
6. Volumen a producir
7. Área proyectada vs. Fuerza de cierre (incluida la colada)
8. Tamaño y capacidad de la maquina inyectora a emplear
9. Velocidad de inyección
10. Capacidad en gramos
11. Posición y numero de barrenos expulsores

12. Altura máxima y mínima de molde que permite la prensa
13. Tamaño de platinas y posición de barrenos de fijación
14. Distancia entre barras
15. Diámetro del anillo centrador
16. Radio de la nariz del canon inyector
17. Existencia de core pull para acciones laterales hidráulicas

Existe la posibilidad de tener otras consideraciones, dependiendo del diseño y tamaño de molde, por ejemplo un molde muy grande requiere dos anillos de centrado, para realizar una acción adicional del molde se requiere que la maquina cuente con elementos denominados core pull, que pueden realizar los movimientos especiales

### **NUMERO DE CAVIDADES EN UN MOLDE**

El número de cavidades en un molde para producir un producto, se puede calcular basándose en un volumen esperado de ventas o requerimiento por un año, mes o día y un estimado de velocidad o GPM (golpes por minuto) de fabricación. Otro punto a considerar es la capacidad de maquinas instalada con la que se cuenta, esto es la capacidad de cierre en toneladas y nivel de plastificación, si se cuenta con maquinas chicas probablemente sea recomendable fabricar cuatro moldes de 8 cavidades, tener tres produciendo y un molde de comodín para mantenimiento y reparaciones por citar algunos ejemplos.

### **AREA PROYECTADA VS FUERZA DE CIERRE**

El área proyectada de un producto esta directamente relacionada con la fuerza que se requiere para mantener el molde cerrado al tiempo de inyectar el material plástico al molde. La altura del producto es esencial al tiempo de determinar la fuerza de cierre, su importancia se puede ilustrar al obtener el área proyectada de una tapa y un vaso, la magnitud de cierre en el vaso será mayor. Para calcular la fuerza de cierre necesaria en un molde se requiere considerar los siguientes factores:

1. Material
2. presión interna de la cavidad
3. Factor de viscosidad
4. Dimensiones del producto y espesor de pared
5. Relación longitud de flujo/ espesor del producto
6. Área proyectada

Cabe mencionar que un correcto ajuste en la fuerza de cierre puede representar un ahorro considerable de energía de la maquina de inyección por efecto de presión hidráulica generada.

Los cálculos necesarios para determinar el área proyectada en un molde de inyección es el siguiente:

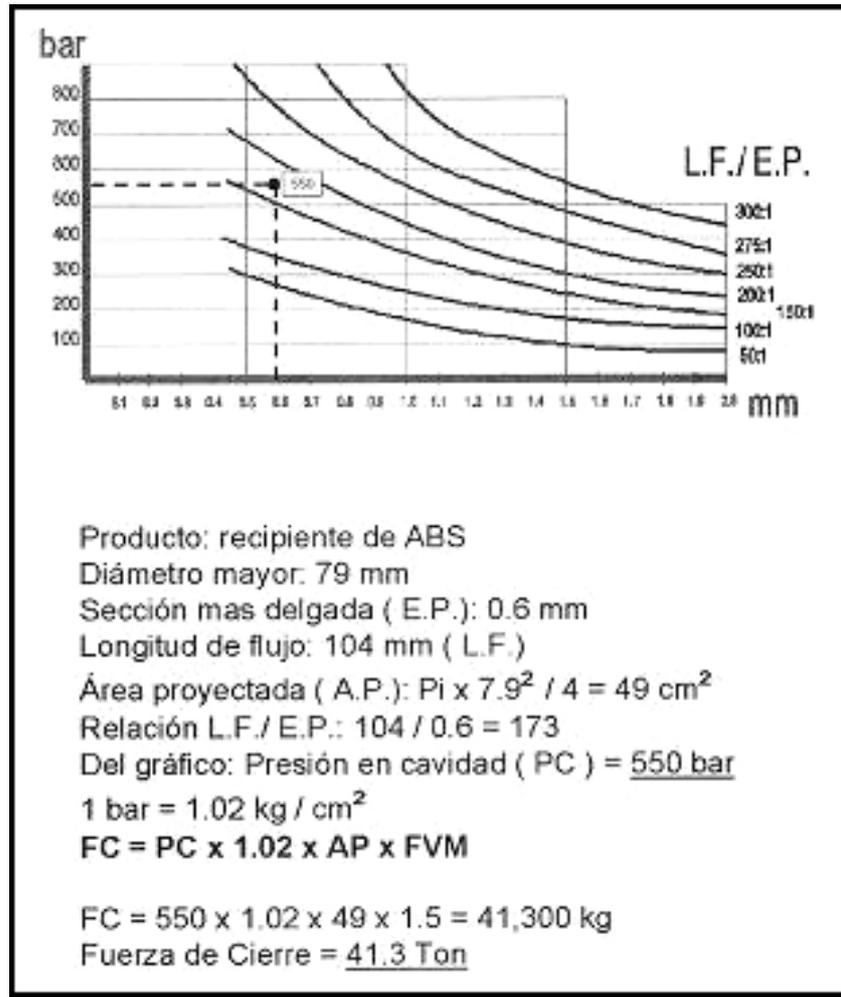


Figura 3.1. Calculo fuerza de cierre.

| FACTOR DE VISCOSIDAD |           |
|----------------------|-----------|
| MATERIAL             | FVM       |
| ABS                  | 1.3 a 1.5 |
| PC                   | 1.7 a 2.0 |
| PS                   | 1.0 a 1.1 |
| PP                   | 1.0 a 1.2 |
| PE                   | 1.0 a 1.3 |

Tabla 3.2. Tabla de factores de viscosidad

## DISTRIBUCIÓN DE CAVIDADES

Las reglas a considerar en la distribución de las cavidades están listadas a continuación:

1. Equidistancia de cavidades para obtener la misma cantidad de material en todas las cavidades al mismo tiempo y a la misma presión
2. Balance de la fuerza de cierre en la maquina de inyección
3. Distancia mínima de recorrido para evitar perdidas de temperatura, velocidad y presión.
4. Puntos fríos al final de largos recorridos y en cambios de dirección
5. Dos veces el diámetro de la colada, para eliminar el material frío que se forma en el frente de llenado.

## SISTEMAS DE INYECCION PARA MOLDE

Al diseñar el sistema de inyección del molde o recorrido que se llevara el plástico para producir productos constantes, es básico revisar los siguientes aspectos:

1. Equidistancia de cavidades al centro del molde
2. Balance del volumen en cada cavidad
3. Sección de los canales de inyección o colada
4. Mínima distancia de recorrido del material
5. Ubicar puntos fríos
6. Ventilación o salidas de aire
7. Dimensión de puntos de inyección-largo, ancho y profundidad
8. Localización del punto de inyección
9. Tipo de punto de inyección
  - Directo
  - Submarino
  - Abanico
  - Laminar
  - Anillo

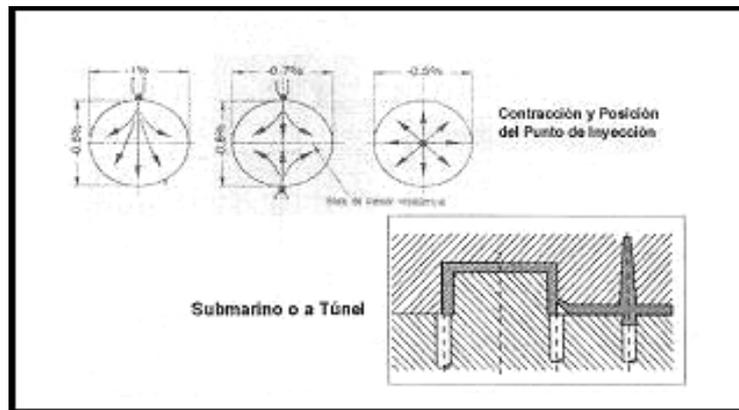


Figura 3.2. Puntos de inyección.

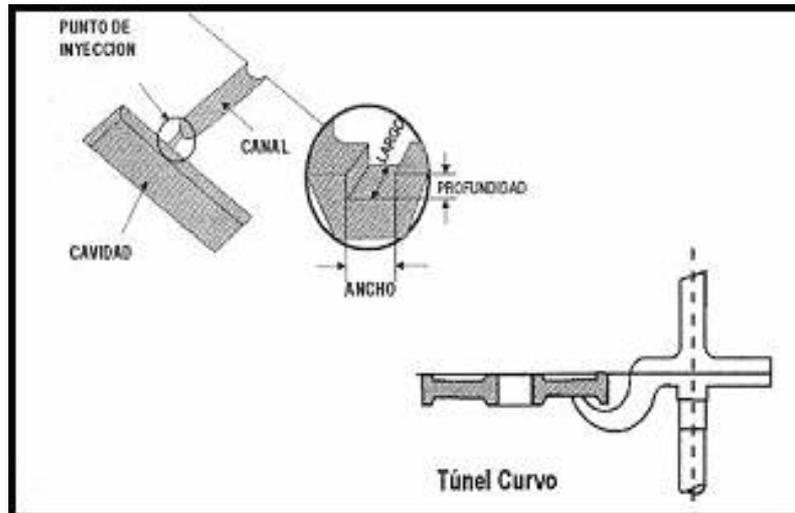


Figura 3.2. Puntos de inyección.

### FLUIDO DE MATERIAL AL INYECTAR UN MOLDE

El perfil de la velocidad del flujo de un polímero termoplástico fundido, dentro de un molde frío, tiene el siguiente comportamiento, mientras el polímero avanza, forzado por la presión de inyección, una delgada capa de material se solidifica al contacto con la pared del molde y tiende a incrementarse gradualmente como se observa en la siguiente figura.

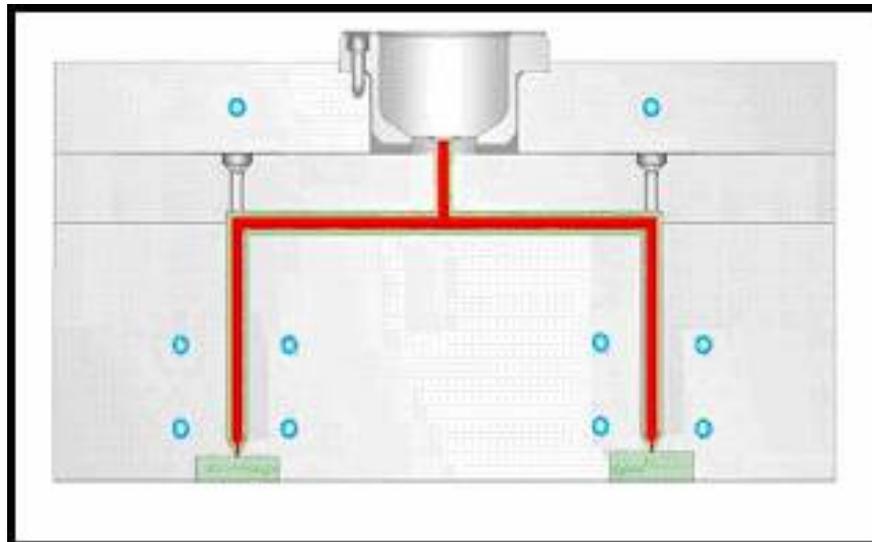


Figura. 3.3. Corte transversal de molde de 3 placas que muestra el flujo de material inyectado.

La vena fluida al centro de la sección fluye prácticamente dentro de una camisa o cubierta de material ya solidificado, por lo tanto, es inútil pulir a espejo los canales de alimentación del molde, eso no facilita el flujo de material fundido.

El perfil de velocidad del flujo de un líquido newtoniano (ejemplo: agua, aceite) dentro de un tubo, también se puede observar en la figura anterior, donde se

observa que la velocidad del liquido en contacto directo con la pared es nula (=cero). En la zona vecina a la pared se verifican los máximos esfuerzos viscosos y las mayores diferencias de velocidad entre los estratos contiguos con el flujo en movimiento.

El diseño de los canales de inyección esta relacionado con diferentes factores, como el espesor de pared y volumen de la pieza a moldear, distancia entre cavidad y bebedero, enfriamiento de la resina en los canales y material plástico a utilizar. El pulido de los canales debe realizarse solo para eliminar las huellas del maquinado, sin requerir un acabado espejo.

El flujo de material en la cavidad al inyectar, esta directamente vinculado con el numero y posición de los puntos de inyección, cuidar que la longitud de las coladas sea la misma, ya que la presión real dentro de la cavidad, temperatura de la masa y velocidad de avance del material decrece cuando se incrementa la distancia desde el punto de inyección, es decir la longitud de flujo.

| SALIDAS DE AIRE DEL MOLDE |             |        |
|---------------------------|-------------|--------|
| MATERIAL                  | A(plg)      | B(plg) |
| ABS                       | 0.002-0.003 | 0.040  |
| PC                        | 0.001-0.003 | 0.040  |
| PE                        | 0.001-0.002 | 0.030  |
| PP                        | 0.001-0.002 | 0.030  |
| PS                        | 0.001-0.003 | 0.040  |

Tabla 3.3. Salidas de aire del molde.

### SISTEMAS DE EXPULSION

El sistema de expulsión tiene como función principal retirar la pieza del molde, mediante un mecanismo que es desarrollado en función del producto a expulsar.

1. Numero de elementos o pernos expulsores al máximo posible
2. Diámetro de pernos expulsores lo mas grande posible (-1 pulg2 x cada 80 pulg2 contacto pieza-molde)
3. Angulo de desmoldeo (mínimo 0.5 grados-para plásticos no reforzados, mínimo 0.75 grados para plásticos reforzados)
4. Área de contacto
5. Espesor de pared del producto
6. Pulido o acabado de cavidad y corazón
7. Grado de empacamiento
8. Temperatura del molde
9. Tipo de resina a emplear
10. Vacío al desmoldeo

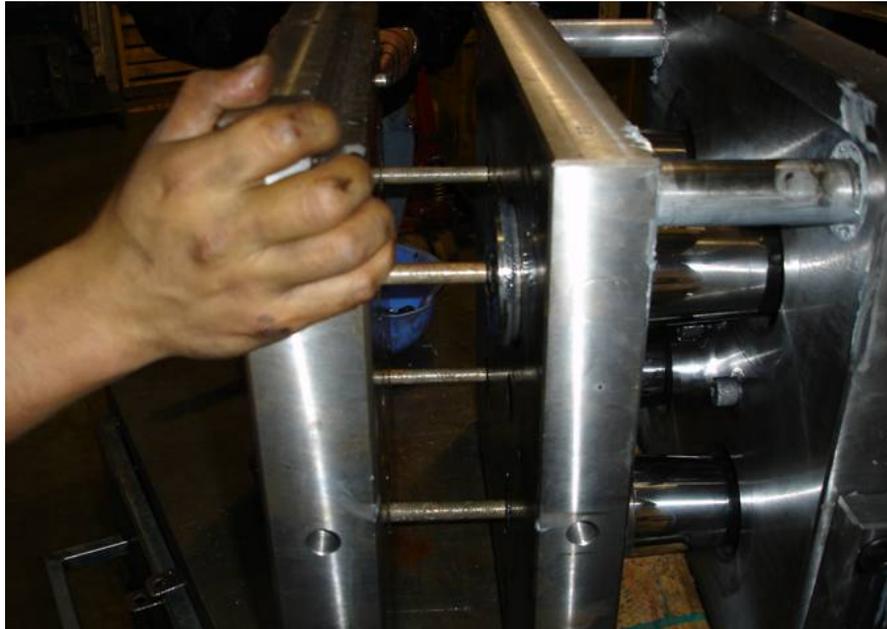


Figura 3.4. Sistema de expulsión por medio de 4 pernos botadores.

### **SISTEMAS DE RECUPERACION O CIERRE**

Al comenzar el cierre del molde el sistema de expulsión de la pieza se recupera en forma amortiguada para evitar choques de placas, secuencia lógica (core pull), seguridad y limpieza.



Figura 3.5. En la figura se observan los pernos de retorno, así como los pernos guía.

## SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

La principal función de este sistema esta dirigida a eliminar el calor que adquiere el molde del plástico fundido, durante la etapa de inyección y agilizar al mismo tiempo el enfriamiento del producto moldeado.

Debido a que el material plástico al momento de ser inyectado al molde se encuentra a una temperatura de entre 180 a 250 grados centígrados dependiendo de la resina utilizada requiere ser expulsada del mismo en un tiempo relativamente pequeño del molde de inyección, el molde de inyección esta dotado de canales internos que atraviesan las placas, corazones de inyección, y cavidades, para lograr un correcto y eficiente sistema de enfriamiento del molde se cuenta con los siguientes tipos de sistemas:

1. Jaula
2. Cascada
3. Directo
4. Circuito
5. Transferencia

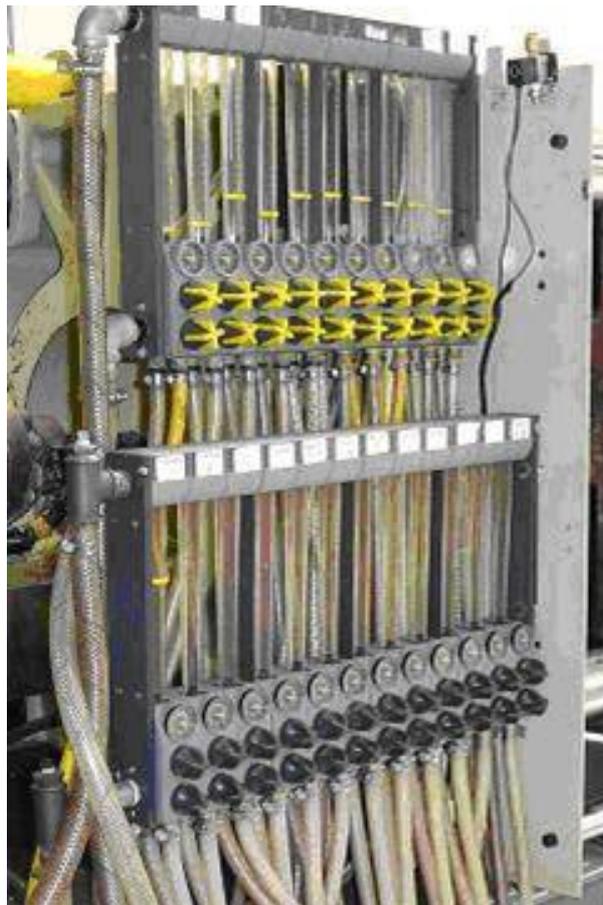


Figura 3.6. Distribuidor de agua para enfriamiento de molde de inyección.

Los principales aspectos a cuidar son los siguientes:

1. Sección de los canales de refrigeración
2. Velocidad del medio
3. Viscosidad el medio, debe ser lo mas bajo posible
4. Presión del sistema
5. Temperatura del medio al llegar al molde
6. Sistema cerrado o abierto
7. Materiales a emplear en cavidades y corazones
8. Flujo turbulento
9. Habilidades en el proceso
10. Distancias recorridas por el medio refrigerante
11. Tamaño y ubicación del equipo de enfriamiento
12. Dimensión de los canales y posición relativa con la pieza producida

Dentro del proceso de solidificación o congelamiento que ocurre inmediatamente después de haberse inyectado la resina caliente en el molde de inyección intervienen factores que determinan la rapidez con la que se genera un alto o bajo coeficiente de transferencia de calor y que determinaran la rapidez con la puede ser expulsada la pieza del molde y dar paso a un nuevo ciclo de inyección.

Estos factores son los siguientes:

- Resina utilizada en la fabricación de las pieza a inyectar
- Materiales utilizados en la fabricación de cavidad y corazón de la pieza a moldear.
- Diseño de canales de enfriamiento en cavidad(es) y corazón(es).
- Medio refrigerante (agua de torre, agua de chiller, aceite).

## **RESINA UTILIZADA EN LA FABRICACIÓN DE LA PIEZA A INYECTAR**

Una vez que contamos con el diseño de la pieza a moldear debemos considerar los materiales con los que serán inyectadas las piezas en el molde, en este punto hay que tomar especial cuidado si nos referimos a piezas que tendrán que ser ensambladas a otras para evitar problemas de fuga o empalme, ya que la contracción de los plásticos repercute en las tolerancias y en la exactitud dimensional de las piezas, por lo tanto, debe tenerse en cuenta ya en el momento de diseñar y dimensionar el molde. Cabe distinguir entre contracción de transformación (inyección) CI y contracción posterior CP, que sumadas nos dan la contracción total CT.

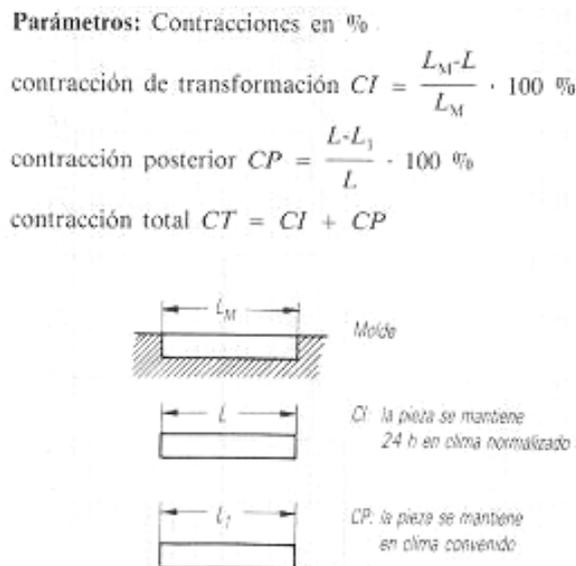
La contracción de transformación CI consiste en la diferencia de dimensiones entre la cavidad del molde y la pieza moldeada, medidas ambas en climas normalizados. La contracción depende del plástico, de si cuenta o no con cargas, del método empleado para su transformación, de la forma geométrica de la pieza, del propio diseño del molde y de las condiciones de transformación, por lo que la contracción de los distintos plásticos solo puede indicarse en intervalos de dispersión. La

contracción posterior CP aparece después de realizada la transformación, en el transcurso de 24 hrs. o bien en un estufado a temperatura elevada en un tiempo menor.

Independientemente de las condiciones de transformación, la contracción total de la pieza depende en gran manera del clima existente en el entorno después del moldeo, Ahora si bien como se ha mencionado existen una gran cantidad de factores que pueden determinar la contracción total de una pieza inyectada podemos decir la contracción total es igual a la suma de contracción de transformación y contracción posterior.

$$CT = CI + CP$$

Lo anterior se muestra en el siguiente diagrama



Los valores de contracción solo tienen poder de predicción cuando las piezas elegidas se someten a transformación y tratamientos definidos. Los valores de contracción permiten comparar distintos plásticos y realizar una estimación de la contracción de las piezas, tomando en cuenta estudios realizados en laboratorio podemos determinar un cierto nivel de contracción normalizado para los distintos tipos de resinas existentes, lo anterior se refleja en el siguiente diagrama.

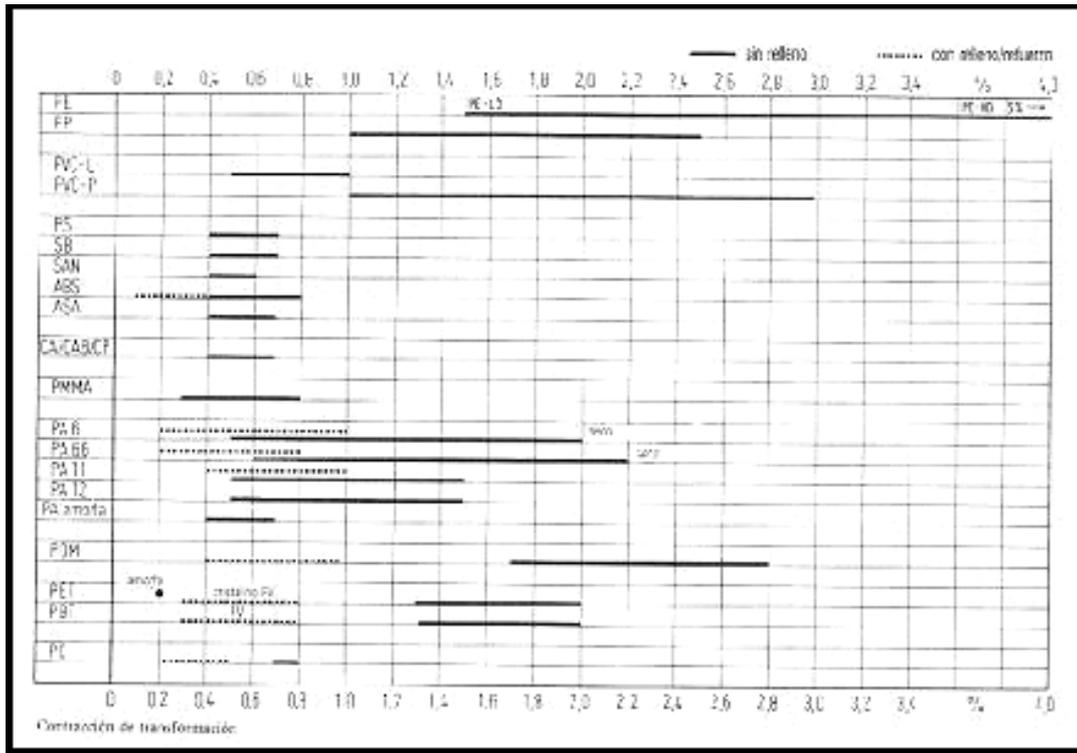


Tabla 3.4. Contracción de resinas plásticas al momento de la transformación.

## MATERIALES UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN DE CAVIDAD Y CORAZÓN DE LA PIEZA A MOLDEAR

Una vez determinada la resina a utilizar para la inyección de la pieza y considerando su porcentaje de contracción obtenido, debemos tomar en cuenta que los materiales con los que se fabricara el molde de inyección al estar sometidos a cambios de temperatura serán afectados de igual manera en sus dimensiones y tendrán cambios de aumento o reducción de tamaño. En este punto debemos de tomar precauciones al momento de tomar la determinación de utilizar distintos materiales en la construcción de un mismo molde de inyección ya que los factores de conductividad térmica de los materiales y dilatación son proporcionalmente directos a los cambios dimensionales de los materiales utilizados, esto se traduce en holgura entre líneas de partición del molde o rozamientos entre piezas móviles lo que afectara la vida útil del molde de inyección , en este caso la tolerancia máxima entre partes móviles del molde como son ajustes entre cavidad, corazón y placa expulsora no debe exceder 0.010 in. Por lo que es común la utilización de un mismo tipo de material para la fabricación de las cavidades y corazones para lo cual se recomiendan los aceros grado herramienta con alto contenido de carbono y proceso de refusión bajo escoria el cual permite al acero tener alta resistencia a choques térmicos y tenacidad para evitar deformaciones. Un ejemplo de estos materiales son: P20ESR y W1045V.

## DISEÑO DE CANALES DE ENFRIAMIENTO EN CAVIDAD(ES) Y CORAZÓN(ES)

El diseño de los canales de enfriamiento del molde de inyección tanto en cavidades como en corazones de inyección esta dirigido a eliminar el calor que adquiere el molde de inyección como resultado del material plástico fundido introducido en el molde durante la etapa de inyección y al mismo tiempo agilizar el enfriamiento del producto moldeado, por lo que este aspecto se vuelve crucial en el buen desempeño del molde. Por lo que se deben considerar los siguientes factores:

- Sección de los canales de refrigeración.
- Velocidad del medio.
- Viscosidad del medio refrigerante (el cual debe ser lo más bajo posible).
- Presión del sistema.
- Temperatura del medio al llegar al molde.
- Si se trata de un sistema abierto o cerrado.
- Materiales a emplear en cavidades y corazones.
- Favorecer un flujo turbulento.
- Distancias recorridas del medio refrigerante.
- Tamaño y ubicación del equipo refrigerante.
- Dimensión de los canales y posición relativa con la pieza producida.

De acuerdo a esto se debe disponer de un circuito de flujo dentro y fuera del molde que permita un enfriamiento en serie o en paralelo o una mezcla de ambos con la finalidad de mantener un enfriamiento uniforme de las cavidades y corazones del molde en caso de ser de mas de 1 cavidad.

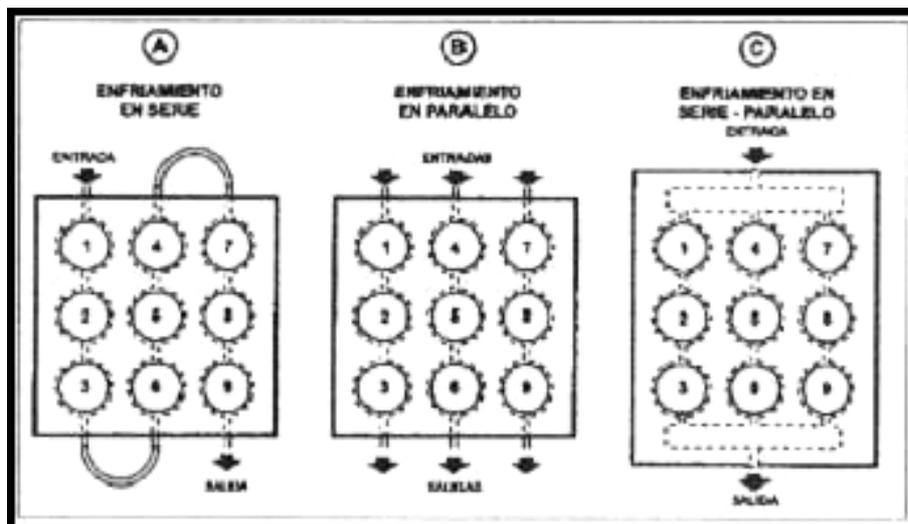


Figura 3.7. Arreglos de enfriamiento en el molde.

Ahora bien, internamente dentro de los corazones y cavidades existen barrenos por donde el medio refrigerante entra y circula para captar el calor estos barrenos se encuentran a no mas de  $\frac{1}{2}$  in. De profundidad de la superficie de la pieza y de igual

forma cuentan con un arreglo. Hacer que el medio refrigerante forme flujos turbulentos los cuales captan de manera más eficiente el calor acumulado que el flujo laminar, esto no quiere decir que existan diseños de cavidades o corazones en los que por razones de tamaño y espacio no es posible utilizar flujos turbulentos y se recurra a un simple flujo laminar.

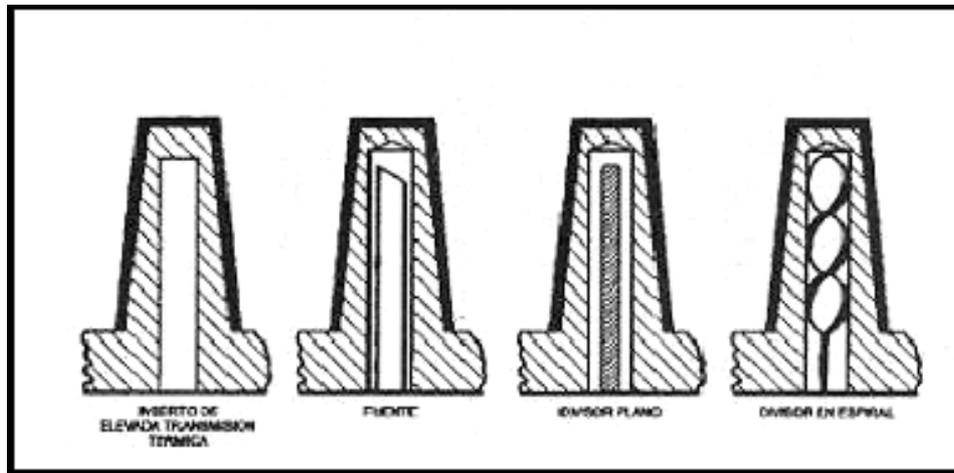


Figura 3.8. Sistemas internos de enfriamiento en el molde.

Es importante considerar que una vez determinado el tipo de sistema de enfriamiento y su curso dentro del molde de inyección debemos proyectar la cantidad de toneladas de refrigeración estándar necesarias para remover el calor generado en el molde. La unidad de refrigeración es: Una tonelada de refrigeración comercial, la cual es definida como el calor removido en el rango de 200 BTU/hora.

| Contenido de Calor Total |         |
|--------------------------|---------|
| Material                 | BTU/lb  |
| PA                       | 300-350 |
| PVC                      | 90      |
| PS                       | 160     |
| ABS                      | 140-170 |
| PEBD                     | 250-300 |
| PEAD                     | 300-350 |
| PP                       | 250-300 |
| SAN                      | 120-150 |

Tabla 3.5. Contenido de calor total.

La unidad estándar de medición del calor son los BTU (British Thermal Unit), un BTU es la cantidad de calor requerida para cambiar un grado Fahrenheit la temperatura

de una libra de agua. La unidad de refrigeración es: una tonelada de refrigeración comercial, la cual es definida como el calor removido en el rango de 200 BTU/hora. La tonelada de refrigeración estándar equivale a 288,000BTU o la cantidad de BTU removidos por una tonelada comercial de refrigeración en un día.

### 3.3 COMPONENTES DEL MOLDE DE INYECCION

El conocer los diferentes componentes de un molde es útil al comprar, vender, diseñar, fabricar, utilizar o analizar el funcionamiento del mismo. Existen diferentes componentes que conforman un molde, y a continuación enunciamos los diferentes componentes del sistema:

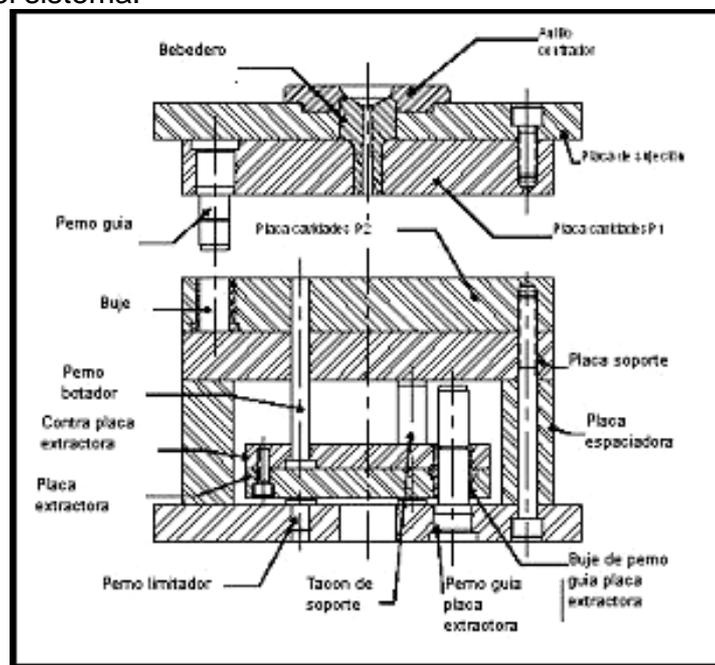


Figura 3.9. Despiece de molde de inyección

1. Placa A o de cavidades (contiene insertos de cavidades o pueden estar directamente erosionadas a la placa misma).
2. Cavidad (forma exterior del producto).
3. Anillo de centrado (mantiene el molde en posición central a las platinas fija y móvil de la maquina).
4. Boquilla o bebedero (Punto de acceso del plástico desde la boquilla o nariz de la maquina al molde).
5. Perno Guía (asegura el alineamiento de las mitades del molde, pero no garantiza su registro exacto)
6. Placa de respaldo superior (apoya la mitad del molde de inyección a la platina fija por medio de la colocación de bridas o tornillos de sujeción )
7. Placa B o porta corazones (Incluye los corazones o machos y figura que formara el interior del producto)

8. Línea de partición (línea donde las dos mitades del molde se unen y por donde cae el producto)
9. corazón o macho (forma el interior del producto)
10. Buje guía (sirve como guía del perno y es fácilmente reemplazable en caso de desgaste)
11. Placa Soporte (Proporciona soporte a la placa B del molde)
12. Barreno de placa expulsora (permite el paso al mecanismo expulsor)
13. Pilar soporte (Proporciona soporte a la placa b)
14. Tacón espaciador (Es un tope para el regreso de placas expulsoras)
15. Placas Paralelas (soporta la placa B y forma el punte)
16. Placa de respaldo inferior (Apoya la mitad de expulsión a la platina móvil)
17. Placa expulsora inferior (Empuja el conjunto de pernos expulsores)
18. Placa expulsora Superior (aloja cabezas de elementos expulsores)
19. Perno Expulsor (Expulsan el producto del molde)
20. Perno expulsor y gancho de colada (Retiene la colada cuando abre el molde y la expulsa posteriormente, o simplemente la expulsa)
21. Pernos Recuperadores (regresa el conjunto de placas expulsoras con el cierre del molde y su alojamiento es holgado)
22. Perno guía de placa expulsora (sirve como guía del perno y es fácilmente reemplazable)
23. Buje guía de placas expulsoras (Sirve como guía del perno y es fácilmente reemplazable)
24. Producto (diferencia entre cavidad y corazón o macho)
25. Punto de inyección (pequeña abertura que permite el paso del plástico de la colada al interior de la cavidad)
26. Colada (canal que permite el flujo de material plástico desde la boquilla hasta el punto de inyección)
27. Barrenos de refrigeración (absorben las calorías del plástico permitiendo que solidifique rápidamente, debido a la circulación del medio refrigerante).

## **SISTEMAS DE INYECCION**

El sistema de inyección de un molde es aquel que permite el llenado de la pieza seleccionada dentro del molde mismo dividiéndose en:

1. Colada Caliente
2. Colada Fría
3. Colada mixta

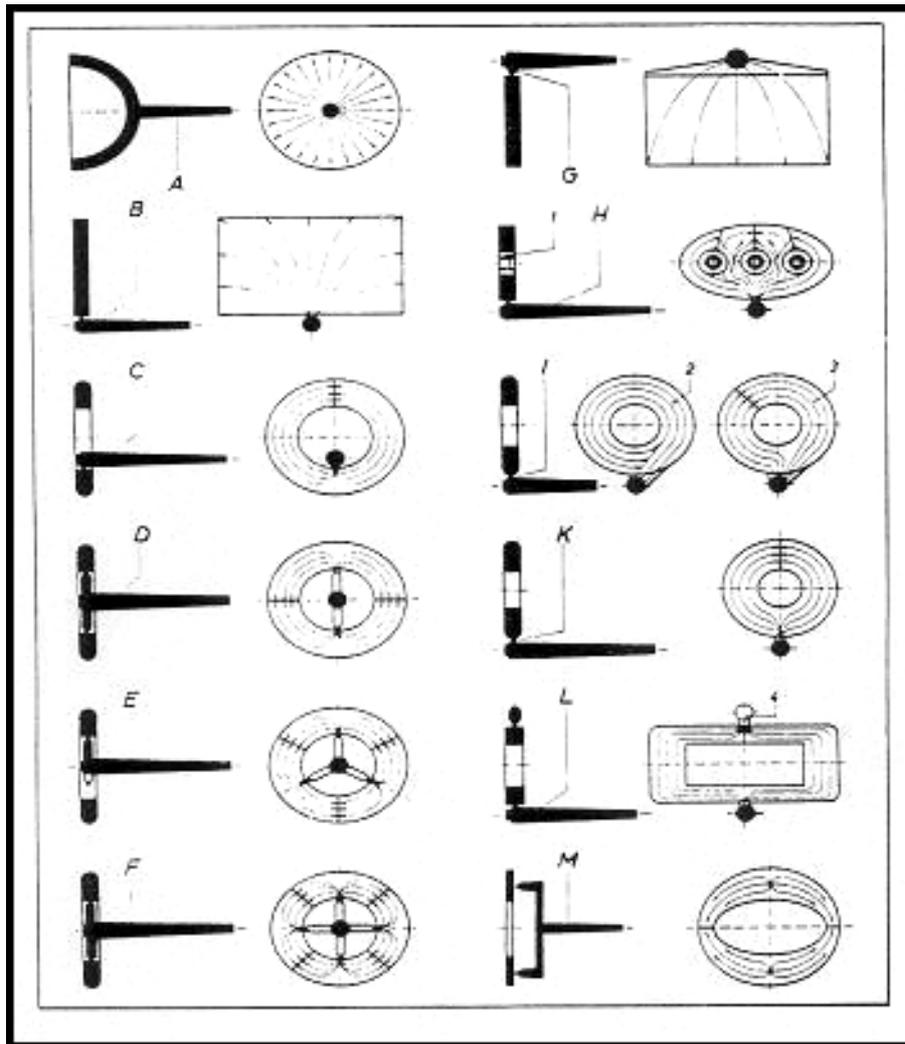


Figura 3.10. Tipos de colada fría

### SISTEMA DE EXPULSION

Tomando en consideración el diseño mismo de la pieza a inyectar, el tipo de resina utilizada, axial como cantidad de cavidades existentes en el molde se cuenta con los siguientes sistemas de expulsión:

1. Pernos
2. Placa
3. Aire
4. Desenrosque
5. Movimientos laterales

## SISTEMA DE RECUPERACION

El sistema de recuperación de un molde de inyección se refiere al mecanismo utilizado para que una vez que la pieza ha sido expulsada del molde sin importar el sistema de expulsión elegido este pueda regresar a una posición inicial.

1. Amortiguada/choque
2. Resortes
3. Cremalleras
4. Neumático o hidráulico

## TIPOS DE MOLDES DE INYECCION

Los moldes están clasificados de acuerdo a su configuración y mecanismo de funcionamiento de la siguiente manera:

1. Normal de dos placas

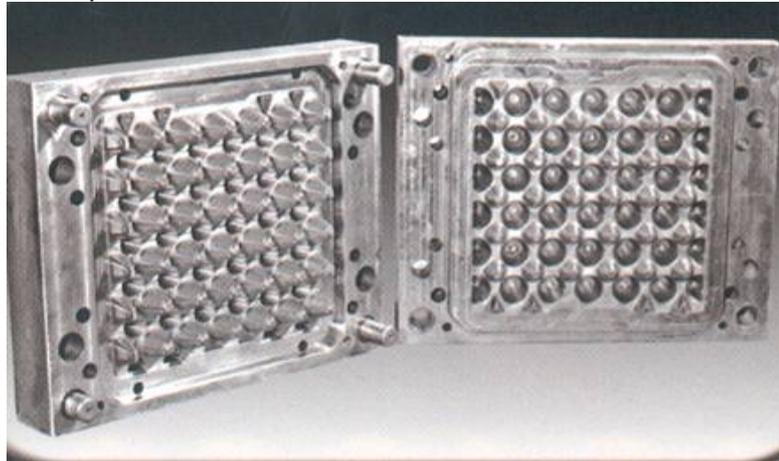


Figura 3.11. Molde de inyección de 2 placas.

2. Sistemas de tres placas



Figura 3.12. Molde de inyección de tres placas.

### De tipo especial

1. Con pernos inclinados y elementos deslizantes

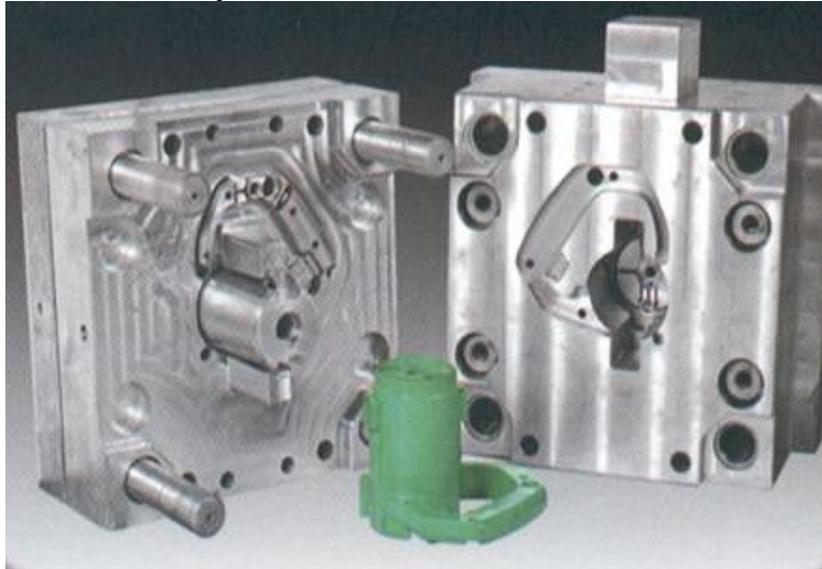


Figura 3.13. Molde de inyección con pernos deslizantes.

2. Combinados o familiares



Figura 3.14. Molde de inyección familiar.

### 3. Snack o varios niveles

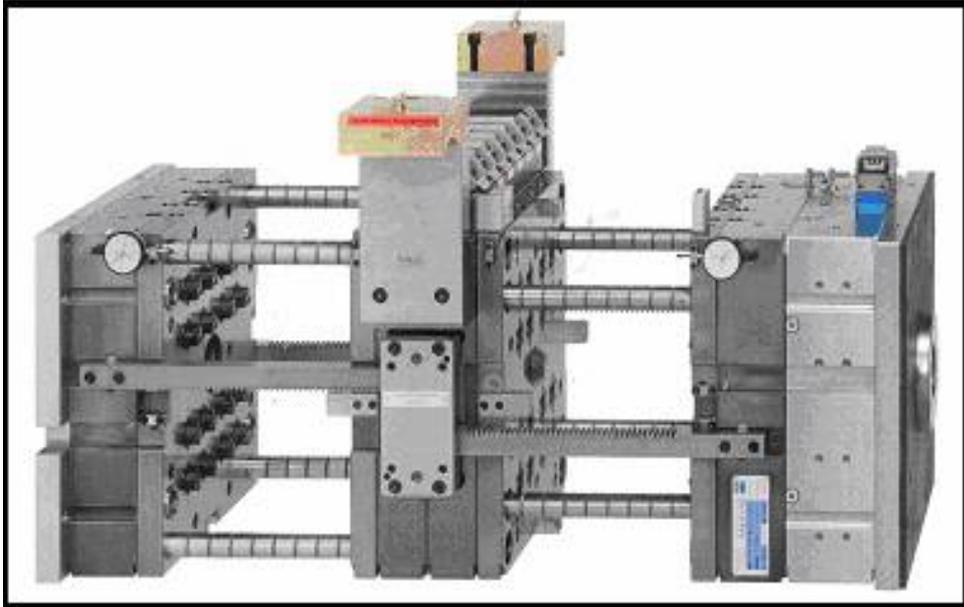


Figura 3.15. Molde de inyección de varios niveles.

### De tipo de colada

#### 1. Fría



Figura 3.16. Molde de colada fría de 2 placas.

## 2. Caliente

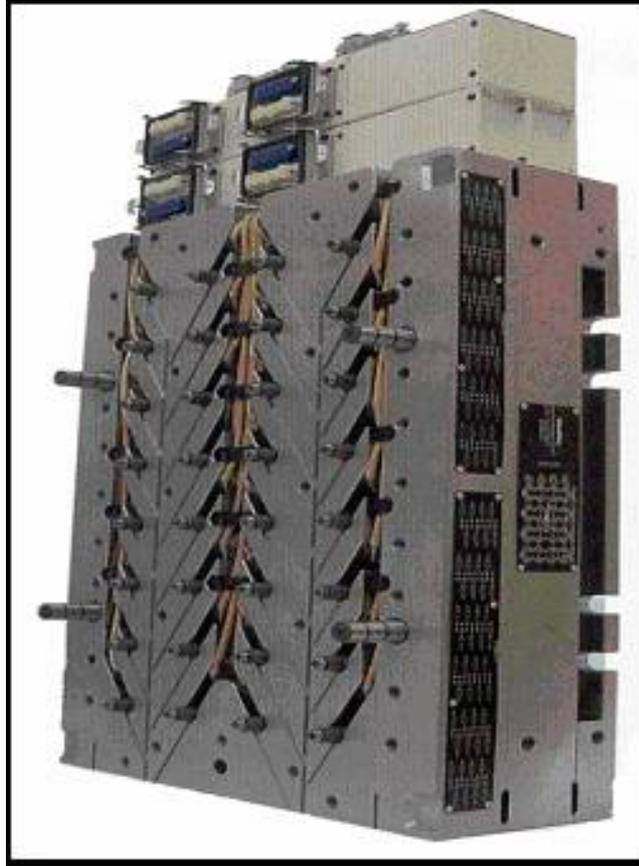


Figura 3.17. Molde de inyección colada caliente de 32 cavidades, lado platina fija.

## 3. Mixta



Figura 3.18. Molde de inyección mixta de 6 cavidades

La clasificación general de los moldes se lleva a cabo basándose en el conteo de las placas que están en el lado fijo del molde a partir de la línea de partición

Anteriormente con moldes simples, solo se señalaba a la placa de cavidades o lado fijo como A y a la placa de corazones o lado móvil con la letra B, al aumentar la complejidad de los mismos se adoptó el sistema de número de placas, la placa de cavidades es el número 1 la siguiente el número 2 y así sucesivamente. Es por eso que existen moldes de dos placas, tres placas y más, dependiendo del diseño de molde.

### **MOLDE NORMAL O DE DOS PLACAS**

Es la clase de molde más común en la industria y generalmente se emplea para producir piezas simples y hasta de complejidad media

En la parte fija del molde se encuentran cavidades, bebedero y anillo de centrado, mientras la mitad móvil contiene corazones o núcleos, el sistema de expulsión y en la mayoría de los casos, el sistema de distribución con sección trapezoidal o circular

En la actualidad, algunos moldes estándar son alimentados utilizando una boquilla extendida o bebedero caliente que conduce el material fundido directamente a la cavidad o al sistema de distribución, ahorrando en cada ciclo la parte correspondiente a la colada.

### **MOLDE DE TRES PLACAS**

Este tipo de moldes está formado por tres placas en el lado fijo del mismo, presenta dos planos de partición por la incorporación de una placa central número dos que se desplaza durante la segunda etapa de apertura del molde. Su empleo es cada vez más frecuente para sistemas multicavidades donde las piezas deben ser llenadas por el centro a través de puntos de inyección tipo aguja o entradas múltiples del mismo tipo, que aseguran marcas poco visibles en los productos.

Durante los movimientos de apertura se efectúa automáticamente la separación de la colada alojada entre placas uno y dos, de la pieza moldeada, contenida en la placa de cavidades.

Funcionamiento del sistema: El primer movimiento lo realiza la placa de cavidades, el producto moldeado es desprendido de la colada, atrapada entre las placas uno y dos, cuando el molde se abre por la línea de partición. Al llegar a determinado punto de la carrera, la placa uno arrastra a la dos para abrir el plano por donde la colada es expulsada mediante la acción del perno número cuatro.

Cuando el número de cavidades está limitado por espacio en un molde convencional, el empleo del sistema de tres placas permite disponer de mayor superficie para su construcción y evita tener que inyectar lateralmente los productos. En cuanto a la fuerza de cierre requerida por la máquina también se obtienen ventajas, ya que el área proyectada de los canales de distribución, construidos sobre la placa flotante, en un plano de partición distinto al de las cavidades, no debe

sumarse totalmente al área proyectada de los productos. Sin embargo, cuando se trata de piezas pequeñas, con área proyectada menor a la del sistema distribuidor, deberá tomarse en cuenta la de este último, para determinar la fuerza de cierre requerida.

La longitud del flujo de distribución puede ser menor, igual o mayor a la que podría presentarse en un molde de dos placas, ya que las secciones que atraviesan la placa flotante representan una cantidad importante de material que deberá ser reprocesado.

Por encontrarse en un plano de partición independiente, la configuración del sistema de distribución se hace más flexible. Por ejemplo, para un molde de cuatro cavidades, los canales pueden presentar una formación en cruz ya que pueden correr aun sobre el área de las cavidades, mientras una configuración en H no es necesaria y, las cavidades pueden colocarse mas cercanas entre si

Para sistema con un número mayor de cavidades, dicha flexibilidad representa la ventaja de poder orientarlas y distribuir las en el área disponible con mayor facilidad.

### **MOLDES COMBINADOS O FAMILIARES**

Este tipo de moldes producen dos o mas piezas con características distintas en su geometría, área proyectada y espesores, generalmente se trata de partes complementarias entre si que serán posteriormente ensambladas, la cantidad de producción debe ser igual, del mismo material plástico y color.

Los moldes combinados o familiares pueden presentar productividad elevada si el tiempo requerido para el molde o de cada pieza es el mismo, sin que alguna de ellas limite y controle el tiempo de ciclo.

En la mayoría de los casos, el balanceo de este tipo de moldes se vuelve muy complicado, recomendado utilizar herramientas de computación que faciliten su diseño.

### **MOLDES DE STACK O DE VARIOS NIVELES**

Empleados para operaciones de alta velocidad y elevada productividad como la producción de envases y tapas para lácteos, cuerpo de cassettes, estuches para discos compactos.

Un molde stack de dos pisos es un sistema equivalente a dos moldes convencionales, montados espalda a espalda.

Las cavidades en ambos planos de partición se encuentran dispuestas del mismo modo, de manera que la fuerza necesaria de cierre solo es 10 a 15% mayor que la requerida en un molde convencional con la misma área proyectada.

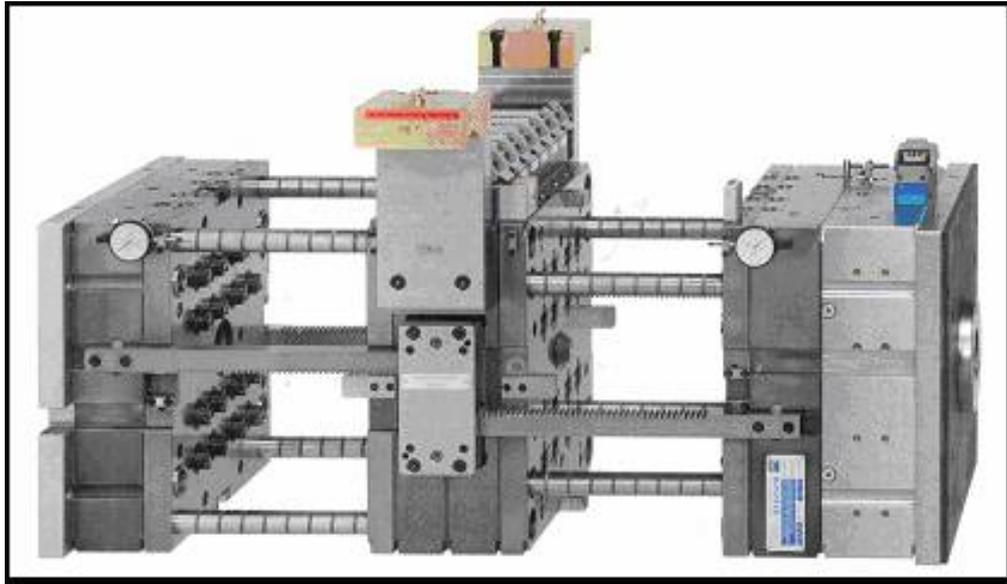


Figura 3.19. Molde stack de 2 niveles.

El plástico es introducido a través de un bebedero extendido hasta la sección media o flotante, donde se distribuye simultáneamente en las cavidades utilizando un sistema de colada caliente que conserva el material a temperatura de masa fundida.

Durante la apertura del molde, deja de existir contacto entre boquilla de la maquina y bebedero extendido acoplado a la placa flotante del sistema. Para el montaje de esta clase de moldes se requiere que la maquina cuente con larga carrera de apertura, que permita el desmoldeo de los productos.

Del mismo modo la selección de la unidad de inyección debe considerar la capacidad de plastificación y velocidad de recuperación necesaria para satisfacer la demanda de material fundido en cada inyección o golpe, para controlar, guiar y sincronizar el movimiento simultaneo de las secciones del molde, generalmente se emplean husillos, sistemas articulados o cremalleras.

El control con articulaciones tiene posibilidad de generar carreras de apertura diferentes para cada plano de partición cuando se moldean piezas con distintas altura, que requieren espacios diversos para su extracción. El sistema de expulsión también puede ser accionado mediante el mismo mecanismo articulado.

En la apertura del molde, la cremallera inferior se mueve a la misma velocidad de la placa móvil haciendo girar al piñón, que se desplaza bajo la cremallera superior ajustada en la placa fija. Dicho movimiento origina que la placa flotante de cavidades viaje simultáneamente a la mitad de la velocidad de la sección móvil de corazones.

El sistema de cremalleras del lado opuesto del molde, esta dispuesto de forma invertida. La productividad resultante al emplear un molde snack de dos niveles,

frente a la obtenida en un molde estándar, es aproximadamente 80% mayor ya que algunas funciones del ciclo requieren mas tiempo.

Un aspecto importante se refiere al soporte del molde, tomando en cuenta que la carrera de apertura, peso de placas flotante y móvil pueden producir deflexión en barras guía, afectando directamente el alineamiento entre cavidades y corazones, reduciendo la vida útil de herramienta y maquina.

Es importante contemplar el apoyo que pueda brindar la bancada de la maquina a la placa móvil o de forma directa a las barras guía inferiores.

Comúnmente, el bebedero extendido se encuentra ubicado sobre la línea central del molde, impidiendo que las cavidades puedan distribuirse en el centro del mismo. Además, las piezas pueden ser dañadas durante la expulsión si llegan a tener contacto con el bebedero caliente en la zona del primer nivel del molde. Para resolver estas limitaciones y permitir también la producción de piezas mas individuales en cada nivel, además de extender los diseños de los moldes snack hasta cuatro niveles, se ha desarrollado una técnica denominada VMTS (valves melt-transfer system) sistema no válvulado para transferencia de material, que permite el paso del material fundido a través de los planos de partición. El molde de cuatro pisos, se trata esencialmente del equivalente a dos moldes snack, dos niveles, dispuestos Espalda a espalda.

El sistema proporciona un sello hermético cada vez que cierra el molde y el plástico es introducido a elevadas presiones; permite la inyección del material sobre la línea central del molde y desvía el flujo hacia el lado opuesto del operador para después dividirse en dos direcciones.

En cada dirección, la masa fundida cruza los planos de partición a través del sistema VTMS y se introduce en los distribuidores respectivos que alimentan las boquillas que llenaran las cavidades. El empleo del VMTS puede extenderse al moldeo de piezas con mayores dimensiones.

### **3.4 MATERIALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DEL MOLDE DE INYECCIÓN**

Como diseñado de moldes de inyección debemos determinar el nivel aceptable de los defectos superficiales y de las imperfecciones que pueden aparecer en una parte moldeada plástica, estas condiciones son a menudo críticas en ciertos componentes de la industria médica y farmacéutica así como para los fabricantes de lentes y de otros dispositivos ópticos, por ejemplo. Sin embargo, por razones estéticas, muchos otros bienes de consumo tienen restricciones similares. Después de todo, cualquier defecto que aparezca en la superficie del acero del molde es probable sea replegado sobre la parte moldeada.

Los problemas que se asocian a la textura y el pulido de una cavidad en el molde pueden remontar a menudo al tipo y tratamiento dado al acero del molde. Las características materiales que han demostrado la influencia más grande en la obtención de un buen final superficial son el nivel de micro líneas, la severidad de la segregación química y el aspecto de carburos primarios del metal.

La composición química del acero del molde junto con las técnicas de fabricación usadas durante su producción, determinará su capacidad de servicio y aspectos ópticos de apariencia de las piezas moldeadas durante su servicio. Las tecnologías avanzadas tales como la refundición y los tratamientos para difusión térmica, desempeñan un papel significativo en influenciar las características de los aceros del molde.

## **PRODUCCION ESTANDAR DEL ACERO DEL MOLDE**

Desde el punto de vista del fabricante de acero, hay básicamente dos medios para mejorar los aceros existentes usados para los usos del moldeo:

- Ajuste de la composición química. Por medio de la adición de elementos de aleación específicos se elevan la resistencia, dureza, de los materiales.
- El proceso de acería real. Con el uso de técnicas especializadas, para derretir los aceros pueden ser producidos materiales que poseen un nivel muy alto del micro líneas limpias y una micro estructura homogénea.

Éstas son dos características extremadamente importantes con respecto al pulido que puede alcanzar un acero así como características de texturizado y dureza.

## **LIMITACIONES DE ACEROS PARA MOLDE**

Muchos aceros grado herramienta que se utilizan para los componentes del moldeo también tienen otros usos industriales. Por ejemplo, AISI S7 y H13 que comúnmente se utilizan para la fabricación de moldes de inyección pueden ser utilizados para realizar troquelados y forja. Las características que son importantes para la forja o troquelado son absolutamente diferentes de las características que son importantes para un constructor de moldes para plástico. Por lo tanto, uno debe tomar precauciones para asegurarse de que se está utilizando un acero con características adecuadas para un molde.

Para esto uno debe de considerar el nivel del micro líneas y pureza del acero, el grado de micro y del macro segregación y las restricciones en el número y tamaño de carburos grandes, primarios.

## **ACEROS ESPECIALES**

Tomando en cuenta que la fabricación de piezas, equipos y estructuras se hace con herramientas, Las cuales tienen características de especiales de dureza que de

acuerdo a su tipo nos ayudan a cizallar; barrenar, golpear, etc., Hay un acero para cada uso.

De acuerdo a esto la selección del acero apropiado para cada tipo de molde o herramienta es todo un arte. No es nada fácil establecer una relación directa entre la adición de un aleante específico y la característica del acero que se modifica.

Además, hay que tomar en cuenta variables como el procesado y los tratamientos térmicos, que suelen tener gran influencia. Sin embargo, en términos generales, puede decirse que las características enunciadas en la columna izquierda del cuadro 1 se ven afectadas, en orden decreciente, por los elementos que se enlistan en la columna derecha.

### **EFEECTO DE LOS ELEMENTOS ALEANTES EN LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS ACEROS PARA HERRAMIENTA Y MOLDES DE INYECCION**

| <i><b>Características</b></i>        | <i><b>Elemento</b></i>                         |
|--------------------------------------|--|
| Dureza a alta temperatura            | Tungsteno, cobalto, vanadio, cromo, manganeso. |
| Resistencia al desgaste por fricción | Vanadio, tungsteno, cromo, manganeso.          |
| Endurecimiento profundo              | Manganeso, cromo, silicio, níquel, vanadio.    |
| Distorsión mínima en el temple       | Cromo, manganeso.                              |
| Resistencia al impacto               | Vanadio, tungsteno, manganeso, cromo.          |

El cromo, que influye en todos los renglones que se mencionan, está sumamente concentrado.

Tabla 3.6. Efecto de los elementos aleantes para aceros grado herramienta

### **EL ENDURECIMIENTO SUPERFICIAL**

La competencia entre la dureza de los aceros y su tenacidad es casi tan vieja como el acero mismo. Es fácil hacer que un acero sea duro aunque frágil, o que un acero sea dúctil y tenaz, pero blando. Que sea duro, dúctil y tenaz ya no es tan fácil. Siempre se tiene que llegar a un compromiso porque, de lo contrario, una propiedad afecta a la otra.

Como la resistencia al desgaste de los aceros es casi siempre proporcional a su dureza, entre más dura sean las placas del molde, mayor duración tendrá.

No sería difícil conseguir aceros y otros materiales durísimos con los cuales fabricar las placas; el problema sería enfrentar su fragilidad. Por un lado hay que fabricar el molde mismo, lo que impone al acero la necesidad de dejarse cortar y maquinar. Luego, el molde mientras se opera, debe ser tenaz para soportar esfuerzos de flexión y torsión de manera permanente, además de impactos ocasionales.

Durante mucho tiempo los constructores de moldes le han dado vueltas a este problema y también desde hace años han sabido que las placas y componentes solo necesitan enfrentar el problema del desgaste en la superficie y no en su interior. Visto así, el problema se simplifica un poco porque se puede endurecer considerablemente una capa de una a dos décimas de milímetro en el exterior de un molde mientras se mantiene su interior menos duro pero sumamente tenaz.

### **ALUMINIO CONTRA EL ACERO**

Los moldes de inyección en acero convencional tienen algunas ventajas obvias en la industria del plástico pero el aluminio demuestra ganar una cierta fuerza en la competición, debido a que sus características de peso más bajo, la conductividad termal y la facilidad de corte al momento de la manufactura, son una oportunidad natural. Los productores de aluminio han respondido con productos adaptados para resolver la diversidad de los desafíos presentados por estos usos.

Se debe de mencionar que aceros tales como P-20, acero herramienta H13 y los aceros inoxidable así como las aleaciones cobre-berilio, se han utilizado en forma muy extendida en la industria de plástico, ya que ofrecen alta resistencia de la fuerza y al desgaste, y, en combinación o aleación logran buena conductividad termal. Sin embargo, ningún material tiene todas las características deseadas para un uso dado, y los materiales alternativos no son ninguna excepción.

A continuación se mencionaran algunas características con las que el aluminio ha logrado colocarse como un material a considerar al momento de desarrollar un molde de inyección:

- **Tiene un aumento cuádruple en conductividad térmica.** En operaciones de moldeado, esto reduce los ciclos ya que reduce al mínimo los puntos calientes locales que podrían producir distorsiones o escurrimientos. El aluminio también permite el diseño de sistemas de enfriamiento más simples, que requieren menos diseño y tiempo al momento de maquinar.
- **Es ligero.** El aluminio tiene la mitad de densidad del acero, con lo que se consigue obtener moldes mas ligeros logrando una abertura y cierre más rápido en el molde, dando además, menos desgaste de la prensa de la maquina de inyección.

Esta es una de las ventajas más relevantes al momento de diseñar moldes de grandes dimensiones.

- **Puede ser trabajado a máquina y pulido más rápidamente.** Dependiendo de la aleación de aluminio específica, los avances de corte de herramienta son tres a diez veces más rápidas que las del acero. Esto reduce sustancialmente el tiempo requerido para la producción del molde, particularmente para los moldes con cavidades profundas.
- **Alta conductividad eléctrica de los objetos expuestos.** Esto, junto con un punto de fusión más bajo con respecto al acero, permite el uso de trabajar con electrodos para realizar cortes por erosión, de cuatro a cinco veces más arriba que el acero.

Como resultado de estas ventajas el aluminio puede ahorrar 30 por ciento en los costos de la fabricación del molde, ya que reduce en promedio un 40 por ciento el tiempo de fabricación.

Un área en la cual el acero ofrece una clara ventaja sobre el aluminio es la dureza superficial de los componentes. Sin embargo, para esos casos donde se requiere una resistencia de desgaste más alta, los tratamientos superficiales del aluminio tales como anodización o la adición de níquel, dan lugar a niveles de dureza superficiales que se acercan a los del acero.

Puesto que hay una gama de diversas condiciones bajo las cuales los materiales del molde deben funcionar, se han creado diversas aleaciones de aluminio las cuales tienen características específicas que se han adaptado a las necesidades del uso. Para los usos tales como plástico de baja presión y moldeo compuesto, incluyendo thermoforming y el moldeo de transferencia de la resina, que requieren un material con resistencia a la corrosión y weldability excelentes, se prefieren las aleaciones 5xxx. Similares a 5083-O son las aleaciones tales como Fibrar, Gialtal, y Alumold 4-150 y 4-110.

Otros usos tales como moldeo de baja presión del caucho y de otros elastómeros, que implican temperaturas en el rango de 350°F a la gama 400°F, hacen necesario un material con moderada fuerza y con buena resistencia a las altas temperaturas. Aquí, los productores de aluminio ofrecen las aleaciones basadas en las series 2xxx, a menudo similares a 2618 o a 2219, que son tradicionalmente las mejores aleaciones de aluminio convencionales con buena resistencia a las altas temperatura. Este grupo incluye: Weldural, 2219-type con la composición de 2039 aleaciones, Alumold 3-350 y 3-300 y Alumecc HT.

Otra clase de usos, moldes de inyección los cuales están sometidos a fuerzas de compresión así como collarines y placas de la fuerza que deben tener una manufacturabilidad excelente, un alto nivel de pulido. La familia de la aleación del 7xxx resuelve bien esta necesidad (Certal, 7122, Hokotol, 7050-type, así como Alumold 1-600, 1-500, 2-450, y 2-400, y Alumecc 79, 89, 99, y Qc-7.

## SOLDADURA EN MOLDES DE INYECCION

La mayoría de los moldes plásticos de la inyección requieren la restauración superficial durante la vida del molde. La dificultad en la restauración de moldes delicados consiste en la limitación del calor a la pieza, para no cambiar las características del molde en el proceso de inyección. Hay muchas cosas a tomar en consideración antes de que se aplique cualquier proceso de soldadura, y mantener las características mecánicas y físicas del material del molde es esencial. Una deformación provocada por el calor durante el proceso de soldadura es indeseable. Actualmente la soldadura de arco de tungsteno (GTAW) o soldadura de gas inerte de tungsteno (TIG) ha sido la opción por más de 40 años. GTAW ha desarrollado un proceso termal altamente refinado de la fusión y se puede ahora aplicar en un microambiente. Esto ha provisto una herramienta extraordinaria para la soldadura del micro-arco.

## ABRILLANTADO Y PULIDO DEL MOLDE

El pulido de los elementos del molde normalmente esta enfocado a las partes donde se tendrá contacto con la resina, este proceso es altamente dependiente de la experiencia y técnica del pulidor. Sin embargo, si el material no es "un acero de la calidad para moldes," puede ser virtualmente imposible llevarlo hasta el final requerido. El pulido consiste en usar un medio abrasivo (piedra, goma del diamante, etc.) para quitar una capa superficial fina de acero. Por lo tanto, para asegurarse de que el acero del molde posea buenas características del pulido, es necesario considerar su nivel de micro líneas limpias.



Figura 3.20. Acabado superficial tipo espejo, con la utilización de pastas diamantadas.

## MICRO LINEAS LIMPIAS

Este termino utilizado en la industria metalúrgica define los niveles de contaminación o acumulación de carbonos en la superficie del acero, esto es determinado al momento de la forja del acero y el proceso de rolado o moldeado del mismo y da como resultado diferentes tipos de acero, como conclusión debemos decir que un acero con un alto nivel de carbono o contaminación da como resultado un pobre nivel de abrillantado y pulido.

### 3.5 SISTEMAS CON COLADA CALIENTE

El sistema de inyección de colada caliente, apoya su tecnología en mantener el material fundido en las diferentes boquillas o inyectores, expulsando los productos del molde dispuestos para ensamble, decorado o uso final, eliminando la colada de alimentación, entre otras ventajas, como la que se enuncian a continuación.

- Ahorro de material
- Menor tiempo de enfriamiento
- No hay que separar piezas de la colada
- No hay coladas para molienda
- Tiempo de apertura del molde mas corto
- Reducción del ciclo de moldeo
- No hay coladas atrapadas como en los moldes de tres placas.
- Presiones y temperaturas uniformes
- Reducción de tensiones en el producto
- Mejor distribución de cavidades en moldes con acciones laterales
- Posibilidad para moldes Snack o de varios niveles
- Posibilidad de inyectar por el corazón del molde

Algunos productos deben ser inyectados a través de numerosos puntos, lo cual representa mayor longitud del sistema distribuidor y una cantidad elevada de material plástico que forma la colada y que será reprocesada. En otras ocasiones, al fabricar piezas muy pequeñas en moldes multicavidades, el volumen de material plástico que conforma la colada es mucho mayor que la suma del volumen de las partes producidas. Esta situación es aun mas critica cuando se trata del moldeo de materiales de ingeniería y no es permitido por las especificaciones del producto la mezcla con remolidos.

Como respuesta e estos problemas comenzó el desarrollo de sistemas de colada caliente, en los cuales, el principio de funcionamiento es mantener el material fundido hasta el punto de inyección del producto y de esta forma se eliminan las coladas que representan material desechado en una primera instancia y por otra parte el tiempo de ciclo se puede reducir al ingresar al molde solamente el material de las piezas, logrando incrementar la productividad. Los perfiles de temperatura utilizados, normalmente son menores a los establecidos en un sistema de colada

fría, el balance de temperaturas en las diferentes cavidades de un molde llegan a ser un parámetro crítico a controlar

Entre algunas reglas de seguridad para el correcto mantenimiento del sistema de colada caliente esta el contar con trampas magnéticas en la tolva , filtros a la salida de la boquilla , no abrir el sistema cuando no se conoce la tecnología del mismo, considerar que las boquillas tienen un pulido extremo en el interior de las mismas y al iniciar la producción el sistema de enfriamiento debe estar abierto, además de conocer las especificaciones de temperatura para montaje y desmontaje del mismo, además de todas las recomendaciones sugeridas por el fabricante.

## SISTEMAS DE CANALES CALIENTES

Es decisivo el material a procesar para la selección de un determinado sistema de colada caliente. Actualmente pueden moldearse casi todos los materiales en canales calientes, incluso plásticos reforzados y espumas estructurales. Son aplicables algunas limitaciones para materiales sensitivos térmicamente y en particular para materiales resistentes a la llama. Los canales calientes se utilizan también en tecnologías modernas de inyección, tales como el proceso *Inmould* (respaldo de películas estampables en caliente) o con moldes para dos componentes. Los sistemas de canales calientes ofrecen un buen número de ventajas en comparación con los sistemas convencionales, que son de naturaleza económica y/o técnica. Los costos totales de un sistema de colada caliente pueden calcularse por la fórmula:

$$C_{HR} = [(C_{BHR} + g_A) + n_N \cdot (C_N + 200\$ + C_{NS})] \cdot g_G$$

Donde

- $C_{HR}$  = costo total de los canales calientes y montaje
- $C_{BHR}$  = costo básico de los canales calientes
- $g_A$  = Coeficiente de área [ $8 \cdot 10^{-3} \$/\text{mm}^2$ ]
- $n_N$  = número de boquillas
- $C_N$  = costo de una boquilla
- $C_{NS}$  = costo del cierre de una boquilla
- $g_G$  =
  - 1,1 a 1,2 para moldeo de plásticos reforzados con fibra de vidrio
  - 1,0 para moldeo de plásticos no reforzados

## **SELECCION DE UN SISTEMA DE COLADA CALIENTE Y DE SUS COMPONENTES**

Los moldes con canales calientes son sistemas ambiciosos en el sentido tecnológico. Son de diseño complejo para cumplir su función principal de conducir el fundido al bebedero sin dañar al material.

Un sistema de canales calientes consiste en un bebedero de mazarota, la conexión con la unidad de inyección, el colector, que distribuye el fundido dentro del molde, y as boquillas, que guían al material al interior de la cavidad.

El sistema debe calentarse por medios adecuados (cartuchos calentadores) y se precisa instalar termopares para controlar la temperatura. Los cables para los cartuchos y termopares deben conducirse al exterior del molde. Debe proveerse aislamiento para evitar pérdidas de calor.

Durante más de treinta años, los sistemas de colada caliente han ofrecido numerosas ventajas de producción a los transformadores del plástico. A lo largo de este período, las coladas calientes han evolucionado significativamente. En la actualidad están procesando muchos materiales distintos –desde resinas Commodities como el polipropileno y el polietileno hasta resinas de ingeniería como policarbonato, nylon con relleno de fibra de vidrio y polisulfonas– gracias a los sistemas de colada caliente. La elección del canal caliente apropiado para su aplicación sigue siendo el factor más crítico en la implantación de un sistema de colada caliente. Antes de tomar una decisión de compra, y diseño hay una serie de factores importantes que deben considerarse.

### **CALEFACCIÓN INTERNA O EXTERNA**

Una de las principales líneas divisorias entre sistemas de colada caliente es cómo se calienta la resina, en los sistemas de calefacción interno, la resistencia se coloca directamente en el canal de fundido y calienta el material desde dentro. En los sistemas de calefacción externo, en cambio, se calienta el material desde el exterior, disponiéndose de canales de flujo sin restricciones. El sistema de calefacción externo elimina los puntos muertos en la trayectoria de flujo y ofrece un mejor perfil de cizallamiento con respecto al diámetro del canal.

### **SISTEMA EQUILIBRADO**

Al no ser más que una extensión de la boquilla de la máquina, la única función del sistema de canal caliente es la de entregar el material de forma uniforme a cada punto de inyección. El modo más eficiente de conseguir esto es con un distribuidor equilibrado (véase la Figura 1) que aporta longitudes de flujo y tamaños de canal iguales desde el punto de inyección hasta cada cavidad. Este diseño mecánicamente equilibrado asegura un relleno uniforme de las piezas y evita rebabas o inyecciones incompletas.

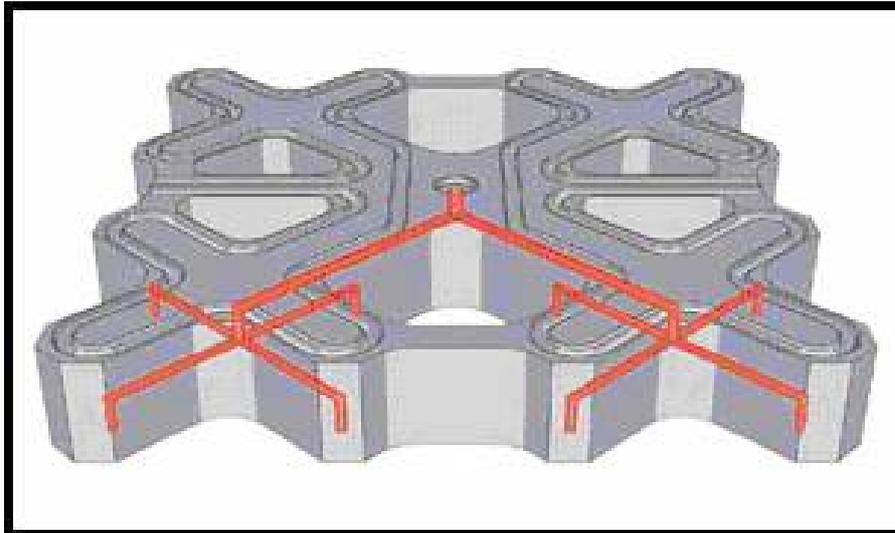


Figura 3.21. Los canales de fundido se encuentran a idéntica longitud y diámetro desde la boquilla de la máquina a cada punto de inyección, asegurando un flujo equilibrado.

### **CORRECTO DIMENSIONADO DEL CANAL DE INYECCIÓN**

El correcto dimensionado del canal de fundido es esencial para un óptimo rendimiento del canal caliente. El dimensionado inadecuado puede provocar la degradación de la resina plástica, el rellenado desequilibrado o incompleto de las piezas, y un cambio de color lento. Cada aplicación debe ser sometida a una cuidadosa revisión para determinar el dimensionado óptimo del canal de fundido. Los siguientes factores deben ser considerados en el dimensionado del canal de fundido:

- Caída de presión
- Tiempo de permanencia
- Subida de la temperatura de la resina
- Tasa de cizallamiento
- Frecuencia de los cambios de color

Para asegurar un rendimiento óptimo del sistema, es preciso formular varias preguntas sobre la pieza de plástico y las condiciones de procesamiento. No basta con considerar solamente el peso de la pieza. Además del peso de la pieza, se deberán considerar otros factores importantes para calcular el tamaño correcto del canal de fundido, como son el índice de fluidez, el tiempo de inyección, el tiempo del ciclo y la temperatura de fusión.

En el siguiente ejemplo se comparan dos piezas con pesos similares. Sin embargo, las aplicaciones son diferentes en cuanto a resinas, índices de fluidez, presión de inyección y requisitos de cambio de color.



Figura 3.22. Componente de teléfono móvil.

### Componente de teléfono móvil

Material: PC

Índice de fluidez: 12

Peso de la pieza: 8,2 gramos

Presión de inyección requerida: 2.760 bar (40.000 psi)

¿Cambio de color? No

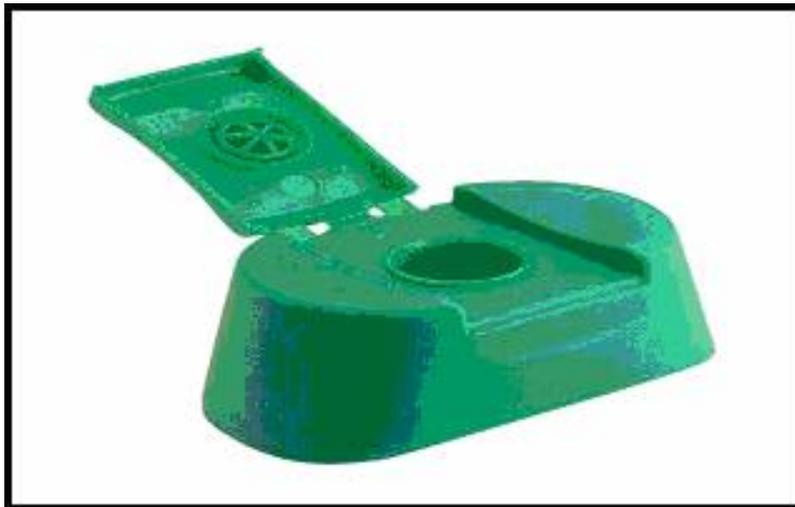


Figura 3.23. Tapón de shampoo.

### Tapón

Material: PP

Índice de fluidez: 10

Peso de la pieza: 8,1 gramos

Presión de inyección requerida: 1.035 bar (15.000 psi)

¿Cambio de color? Sí

El análisis del canal de fundido revela que sería necesario un dimensionado diferente del canal de fundido para un rendimiento óptimo del canal caliente. La

aplicación para tapones necesita diámetros de canal más pequeños para reducir el tiempo de cambio de color. La elevada caída de presión resultante no es un problema, ya que la pieza se llena con facilidad. Sin embargo, el componente del teléfono móvil no necesita canales tan pequeños para un rápido cambio de color, y la caída de presión tiene que ser menor porque la pieza de pared fina es difícil de rellenar.

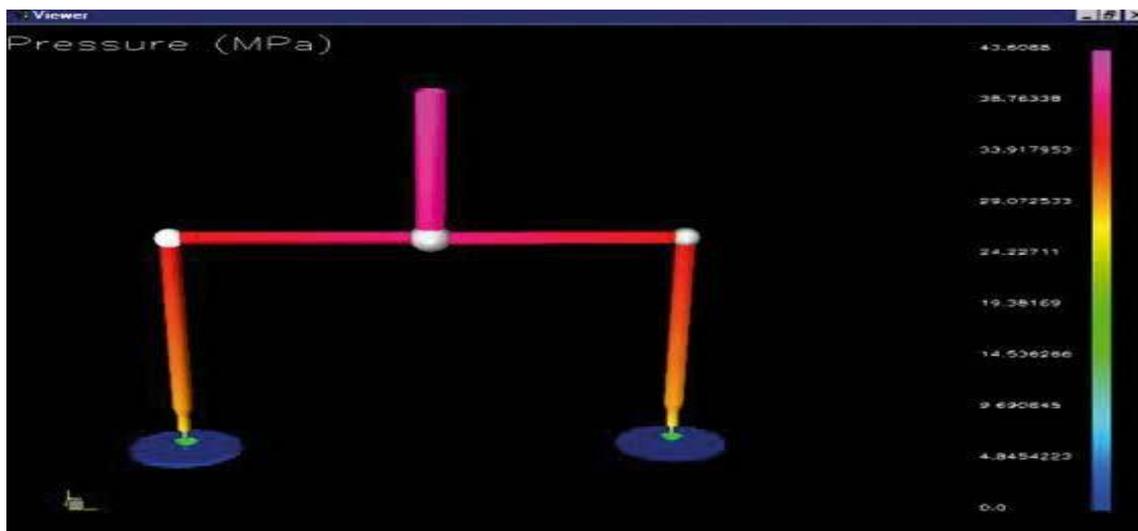


Figura 3.24. Simulación de inyección para componente de teléfono.

### Componente de teléfono móvil

- Distribuidor:  $\varnothing$  11 mm
- Bastidores:  $\varnothing$  8 mm
- Caída de presión: 14%
- Tasa de cizallamiento mínima: 1.085 1/s

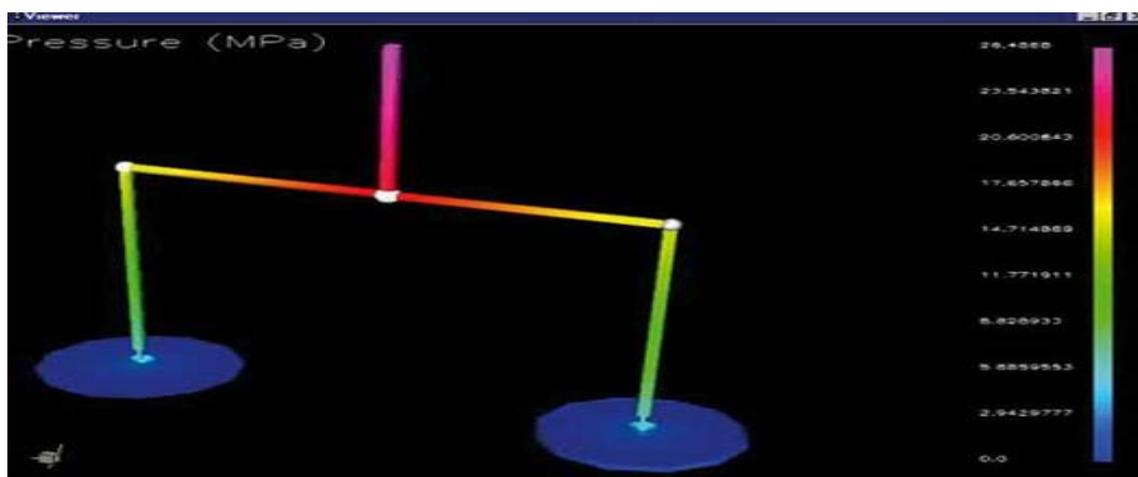


Figura 3.25. Simulación de inyección de tapón.

Tapón

Distribuidor:  $\varnothing$  6 mm

Bastidores:  $\varnothing$  5 mm

Caída de presión: 23%

Tasa de cizallamiento mínima: 1.059 1/s

### TIPO DE PUNTO DE INYECCIÓN

Una vez que se haya decidido el tipo de sistema, el siguiente reto consiste en seleccionar el tipo correcto de punto de inyección. Existen diversas opciones disponibles. Es preciso considerar el vestigio permisible del punto de inyección, la situación del punto de inyección y el tipo de material que se está procesando. Tanto si se trata de elastómeros amorfo, cristalino o termoplástico, todos los tipos de punto de inyección tienen limitaciones de cara a ciertos materiales. La comprensión del rango óptimo de materiales a utilizar para cada boquilla permite asegurar que se va a seleccionar la mejor solución.

Los tipos de puntos de inyección más utilizados son los de punta térmica y los de obturador.

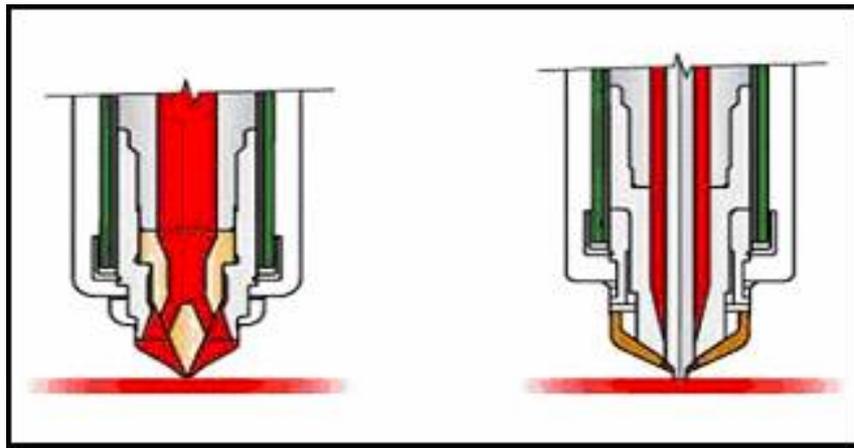


Figura 3.26. Detalles de tipo de punto de inyección típicos para una boquilla de punta térmica (izquierda) y de obturador (derecha) con enfriamiento adecuado.

### FLUJO DE MATERIAL

Después de abordar los temas de punto de inyección y material, el siguiente ámbito que se debe considerar es el del flujo de material por punto de inyección. La mayoría de los sistemas de canales calientes se ofrecen con distintos tamaños de alojamiento de boquilla, y cada uno tiene unos valores límite determinados de flujo. Un punto de inyección demasiado pequeño restringirá el llenado y compactado, y puede también generar un cizallamiento excesivo, provocando una degradación.

## 3.6 PRECAUCIONES PARA LA DISPOSICIÓN DEL SISTEMA

El molde y la unidad de cierre resultan cargados de modo desigual si las cavidades están dispuestas excéntricamente al bebedero. El molde puede ser forzado abierto por un lado. Pueden ocurrir como consecuencia rebabas y/o rotura de las barras.

Los moldes que hayan experimentado rebabas una vez quedan con la superficie de sellado dañada y producirán siempre de nuevo rebabas.

Por ello, la primera ley de diseño es que la resultante de todas las fuerzas de reacción (presión de inyección) y la resultante de todas las fuerzas de cierre actúen en el centro del bebedero. En los moldes complejos, debe determinarse el centro de gravedad y establecer la posición de las cavidades de acuerdo con ello.

El centro de gravedad puede calcularse para cada eje mediante:

$$X_m = (a_i \cdot x_i) / a_i$$

Donde:

$a_i$  = área parcial proyectada

Por otra parte, un diseño adecuado de moldes logra que las fuerzas de cierre actúen sobre el centro.

## 3.7 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE COLADA CALIENTE BEBEDERO CENTRAL EN MOLDES DE CAVIDAD ÚNICA

El molde de colada caliente más simple resulta del reemplazamiento de la boquilla de la mazarota, incluyendo la boquilla de mazarota inversa, con una boquilla caliente. Esta alimenta la cavidad directamente o el sistema de canal usual y puede llamarse bebedero directo o inverso, respectivamente. En comparación con el principio de mazarota inversa se dan las ventajas siguientes:

- control de la temperatura;
- independencia sustancial del material y/o el ciclo;
- adecuación para moldes mayores debido a la capacidad de puentear cualquier distancia;
- menor caída de presión y limpia separación del bebedero dependiendo del diseño de la boquilla.

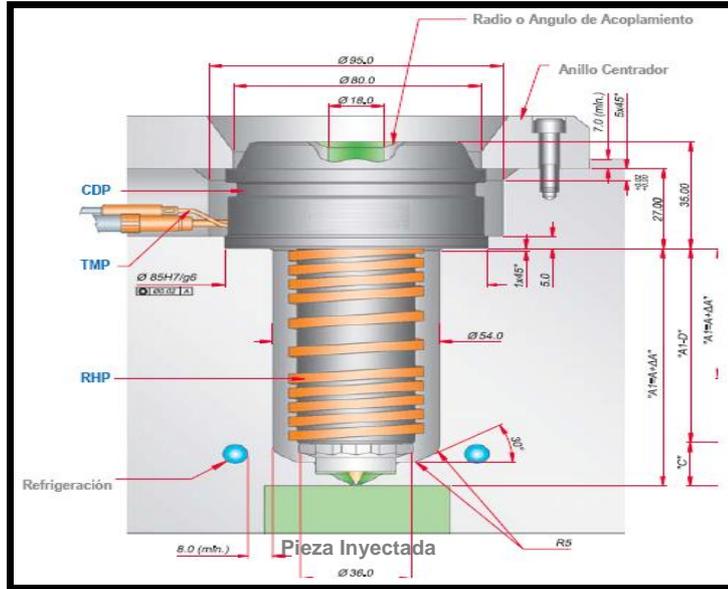


Figura 3.27. Bebedero central para moldes de 1 cavidad con inyección directa a la pieza

## BEBEDERO LATERAL EN MOLDES DE CAVIDAD ÚNICA

Si el tamaño del molde permite una única cavidad, para una pieza relativamente grande, frecuentemente se ha de disponer un bebedero lateral, esto debido a que la aplicación del producto o su diseño no permiten el punto de inyección central. En este caso, un colector caliente puede conducir el material fundido desde la posición de la boquilla de la máquina, esto es, el centro del molde, hasta el punto de inyección lateral.

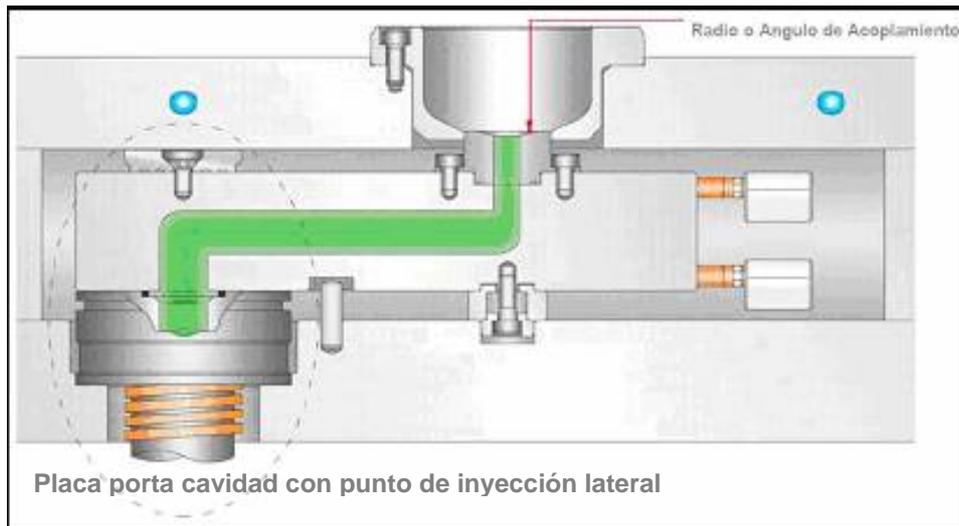


Figura 3.28. Inyector lateral con bebedero central y soportes de Titanio con capacidad de inyección de 2 kgrs de resina

## COLECTOR CALIENTE PARA MOLDES MULTI-CAVIDAD

Se utiliza a menudo un colector caliente si el material se ha de distribuir fuera de la línea de partición. Esto puede ser preciso en algunos moldes multi-cavidad, especialmente si las piezas tienen bebedero central o el material ha de cruzar por otras cavidades. Los ahorros de material y la eliminación de los costos de reproceso de resina tienen un gran peso si se intenta comparar esta solución con moldes de tres placas con un sistema de canales relativamente voluminoso, que puede causar también problemas de desmoldeo. Otras ventajas son una menor pérdida de presión, mejor transmisión de la presión y ciclos más cortos, este tipo de sistema puede aplicarse de igual forma a piezas con una gran relación de longitud respecto a espesor, para ahorrar espesor de pared y obtener un llenado uniforme. Si el fundido no puede distribuirse dentro de las aberturas de la pieza, esto es, en la línea de partición, como es el caso en rejillas de carcasas de equipos, el material debe conducirse a través de la cavidad fuera de la línea de partición.

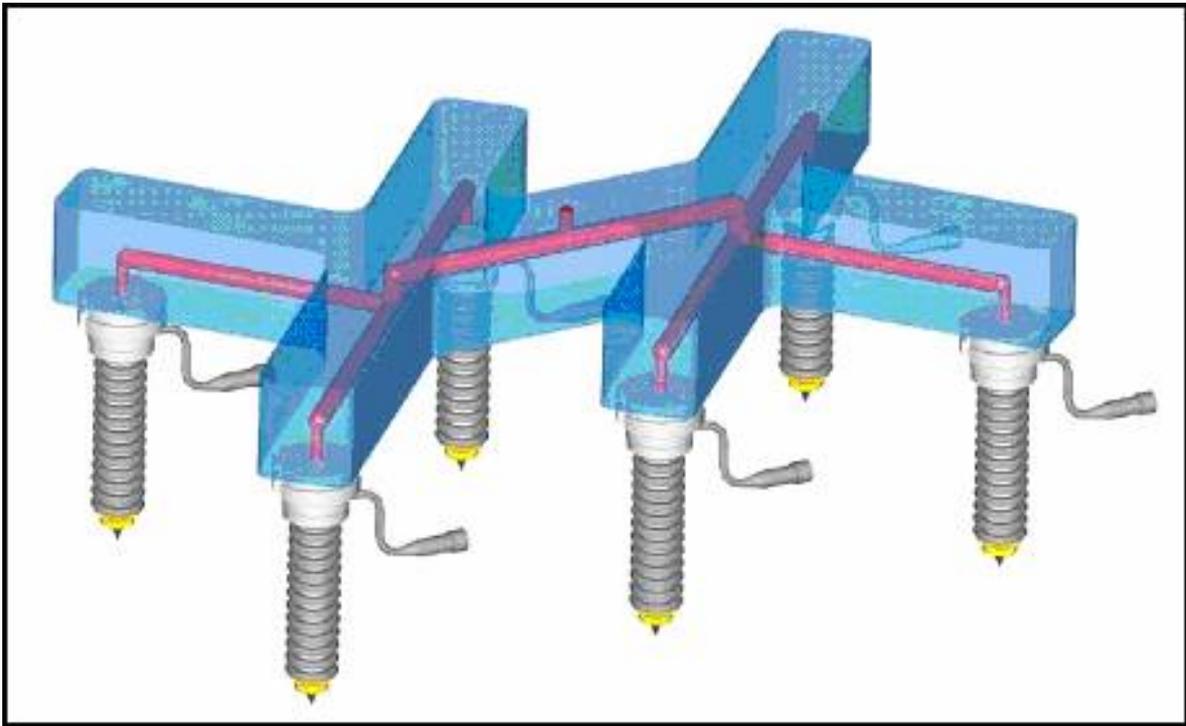


Figura 3.29. Sistema de colada caliente para moldes multicavidad o piezas con varios puntos de inyección

## BEBEDERO LATERAL EN MOLDES MULTI-CAVIDAD

El bebedero lateral de piezas por medio de colectores calientes se ha convertido en el estado actual de la técnica. La razón por la que se utiliza poco esta técnica es la particular dificultad de evitar escapes porque la fuerza de cierre de la máquina no puede utilizarse para este objeto. Además, un borbotón frío en el bebedero puede

impedir el desmoldeo y hay métodos menos problemáticos de realizar el bebedero. En muchos casos es posible el bebedero lateral, algunas veces con bebederos de túnel, con un canal normal en el plano de la línea de partición. El conducir el fundido en canales calientes permite una libre selección de los senderos de flujo. Es posible, incluso, llevar el fundido a las cavidades desde el lado de desmoldeo o desde el exterior.

## **LAS BOQUILLAS, LOS ELEMENTOS MÁS CRÍTICOS DE SISTEMAS DE CANALES CALIENTES**

Las boquillas del sistema de canales calientes deben cumplir varios requisitos, aparentemente contradictorios, para cumplir su función básica de conexión entre el colector y la cavidad. Existen las boquillas de cierre y las abiertas, dependiendo de si el sistema es por bebedero directo o indirecto.

Los elementos más críticos de un sistema de canales calientes son las boquillas, que constituyen la conexión entre el colector caliente y la cavidad.

Sus requisitos son varios:

- conducción del calor hasta el bebedero de modo que el fundido se conduzca isotérmicamente y el bebedero no se congele
- separación térmica entre el colector caliente y el molde enfriado. El molde no debe experimentar un indebido aumento de temperatura en el área del bebedero;
- separación limpia y reproducible entre el contenido fluido del canal y la pieza solidificándose durante el desmoldeo (sin formación de cintas);
- sellado de los puntos de transición desde el canal a la boquilla y desde ésta a la cavidad.

Con tales requisitos parcialmente contradictorios y a la vista de la multitud de variaciones de diseño producidas en los moldes de colada caliente, se han desarrollado varias configuraciones de boquilla.

Se puede distinguir entre bebedero indirecto (la boquilla acaba en un bebedero corto) y bebedero directo (la boquilla acaba inmediatamente en la cavidad). Se emplean boquillas abiertas y boquillas de cierre. El calentamiento de las boquillas se hace bien directamente por conducción de calor, utilizando el del propio fundido, indirectamente mediante resistencias. Pueden dividirse también en sistemas calentados externa o internamente. Los exponentes más importantes de estas clases se describen a continuación.

## **BOQUILLAS ABIERTAS PARA BEBEDERO INDIRECTO**

No se puede moldear una pieza que precise una muestra de flujo de llenado impecable con bebedero directo desde un colector caliente. El bebedero indirecto se emplea a menudo si hay varios bebederos tan cercanos que es poco práctico situar en cada uno de ellos una boquilla caliente separada. Como alternativa pueden utilizarse bebederos múltiples con varillas conductoras de calor, el bebedero de borde caliente del sistema Mold Master o el sistema de canal caliente de bloque.

La separación térmica se consigue con mayor facilidad debido a que puede mantenerse una distancia segura entre la boquilla y la cavidad. Aunque de diseño simple, el bebedero directo hace perder, hasta cierto punto, las ventajas del sistema de canales calientes, tales como el ahorro de material y el desprendimiento automático de las piezas.

En el bebedero indirecto puede distinguirse entre boquillas calentadas y boquillas conductoras del calor con casquillo. En las primeras, la expansión térmica de la boquilla se compensa con un muelle Belleville. La expansión del colector hace que la boquilla se deslice a lo largo del casquillo de mazarota y para que esto no cierre parcialmente el orificio de la boquilla, el diámetro de esta, se mantiene menor que el del casquillo.

En las segundas, hechas de una sola pieza, el canal caliente puede deslizarse dentro de la boquilla. Para evitar, en piezas grandes, velocidades de cizallamiento altas y la consiguiente caída de la presión, se ha desarrollado un bebedero de doble túnel. Otra opción es la de reducir la velocidad de cizallamiento mediante un bebedero de túnel con restricción.

Debe atenderse a la posición óptima del termopar y a la configuración del punto de separación. Aunque el bebedero indirecto es menos crítico que el directo, las piezas transparentes pueden exhibir marcas de flujo y enturbiado. En un molde de cavidad simple, el canal caliente no es más que una boquilla, que puede considerarse un casquillo de mazarota caliente.

En contraste con el tipo de boquillas anterior, que se calientan con bandas o cartuchos calentadores, la boquilla denominada de conducción térmica no lleva calentamiento separado. Un material de boquilla de elevada conductividad térmica conduce el calor del canal al bebedero. Para mantener la boquilla lo suficientemente caliente, un buen aislamiento debe asegurar que se transmita tan poco calor como sea posible de la boquilla al molde. Esto se consigue con un casquillo con el diámetro interno mayor que el diámetro externo de la boquilla.

Durante el funcionamiento, la separación se llena con el plástico fundido, que constituye el aislante, y se suelen mecanizar cavidades de aire en el cuerpo de la boquilla para aumentar el aislamiento. El casquillo sella también la boquilla con respecto a su entorno.

## VENTAJAS E INCONVENIENTES

La boquilla de conducción térmica presenta varias ventajas e inconvenientes con respecto a las boquillas calentadas sin casquillo.

### Entre las ventajas:

- es menos costosa y son innecesarios el calentamiento separado y el equipo de medición y control de la temperatura;
- mejor separación térmica entre boquilla y molde; y
- poca necesidad de espacio.

### Entre los inconvenientes:

- longitud de boquilla limitada a alrededor de  $2D$ ;
- elevadas fuerzas reactivas;
- el material del espacio aislante se va degradando. Si van trozos de este material a la cavidad, ocasionarán fallos cosméticos o puntos débiles. Por tanto, este sistema no es muy adecuado para material sensible al calor o en piezas cosméticamente críticas;
- acoplamiento térmico de la temperatura de la boquilla y el colector. La temperatura de la boquilla y en especial del bebedero son responsables del llenado equilibrado del molde y sólo pueden controlarse con la temperatura del colector en las zonas de las boquillas, ocasionando necesariamente cambios no deseables en la temperatura del colector en su conjunto.

Dado que la separación térmica se obtiene mejor con bebedero directo que con indirecto, este diseño se utiliza principalmente para el primer método.

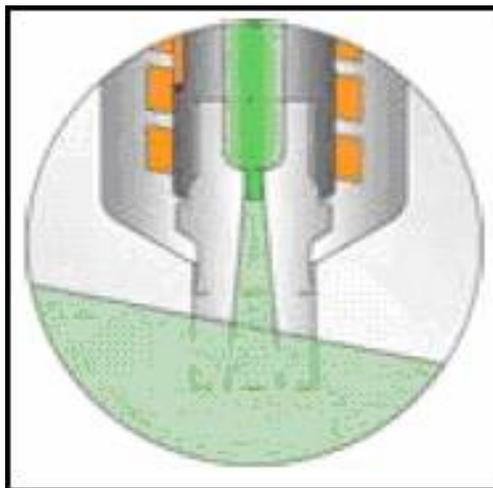


Fig. 3.30. Boquilla de inyección de flujo indirecto

## **BOQUILLAS ABIERTAS PARA BEBEDERO DE PUNTO DIRECTO**

Para el bebedero directo la boquilla termina en el punto del bebedero de la cavidad. La tasa máxima de cizallamiento permisible del material determina las dimensiones de su sección transversal. Cuanto mayor es el peso de la pieza, más elevada es la tasa de flujo a través del bebedero necesaria y, en consecuencia, la tasa de cizallamiento.

Para el bebedero directo se aplica también el principio de la boquilla térmicamente conductora con casquillo. En el diseño del área del bebedero, la abertura es cilíndrica o escalonada y a veces forma una punta sobresaliente de material enfriado. Si esto puede causar alguna interferencia, la punta puede llegar a un rebaje hemisférico en la pieza.

Si esto no es admisible, se sugiere una boquilla con orificio anular o con una varilla de cierre. En piezas moldeadas en PE, el mejor modo es un escalonado inverso de la abertura, en cuyo caso la punta fría permanece en el casquillo hasta que es arrastrada en la siguiente embolada.

Se recomiendan las características de diseño que siguen para obtener la temperatura más elevada posible en la punta de la boquilla:

- el espacio para acomodar la boquilla no debe mecanizarse directamente en la placa del molde. Debe insertarse un casquillo, que se aísla de la placa del molde mediante rebajes de aire, minimizando las áreas de contacto;
- el casquillo debe rodear toda la longitud de la boquilla;
- los rebajes de aire deben mecanizarse con suficiente profundidad para que la pared restante del casquillo sea sólo de 2,5 mm de espesor;
- la capa aislante de plástico debe ser mayor de 3,5-4 mm;
- la distancia de la punta de la boquilla a la pared del casquillo es de 0,8m; y
- la longitud máxima de la boquilla es el doble del diámetro roscado.

Se conocen boquillas térmicamente conductoras que están en contacto de sellado con insertos o placas de molde. Se recomendaban para procesar termoplásticos de ingeniería, que pueden degradarse por exposición térmica prolongada y evitan que el material degradado pueda pasar al moldeado causando marcas no deseadas.

Una boquilla tan ajustada resulta en una mayor conducción térmica, que debe compensarse parcialmente mediante materiales con conductividad baja. Para evitar estas dificultades se utilizan, actualmente, sistemas calefactados.

Una ventaja importante de las boquillas calefactadas es la capacidad de controlar individualmente la temperatura de cada boquilla, independientemente de la temperatura del colector. El costo extra se compensa en las piezas de precisión y el único inconveniente es el calentamiento del molde en el área de contacto con la boquilla. De todos modos, para estos tipos de plásticos se recomiendan temperaturas de molde elevadas, de modo que esto puede no ser un problema.

En contraste con las boquillas descritas que tienen la punta de la boquilla aislada del molde, la boquilla denominada Dynatherm está basada en una filosofía básicamente distinta. La punta de la boquilla está conectada térmicamente con el molde frío mediante una membrana metálica. El resto de la parte escalonada interior de la boquilla está aislado mediante una capa cerámica, en la que hay embebida una bobina calentadora que puede calentar rápidamente el interior de la boquilla.

Mediante el rápido cambio de temperaturas posible con este sistema, las paredes de la boquilla está caliente sólo durante la inyección y el mantenimiento de la presión y el bebedero se rompe al desmoldeo sin marca señalada.

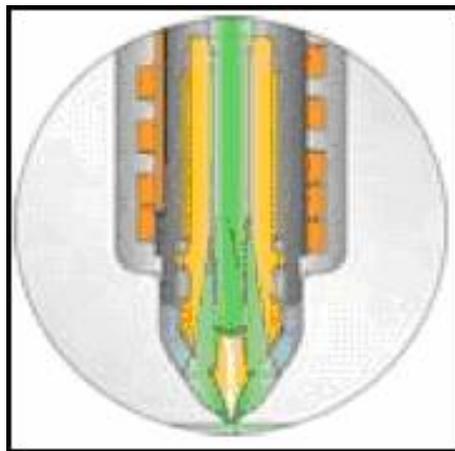


Figura 3.31. Boquilla de inyección de flujo directo

### **BOQUILLAS CON ORIFICIO ANULAR PARA BEBEDERO DIRECTO**

Las boquillas abiertas presentan el inconveniente de la punta que queda en la pieza y el riesgo de que se restrinja la abertura. Puede obtenerse una superficie relativamente lisa sin restricción convirtiendo la abertura central en una anular mediante una punta que llega al centro de la misma, que puede ser una aguja o una varilla.

Una ventaja adicional de esta punta es una conducción directa del calor en el área del bebedero, que lo mantiene abierto. Se distingue entre boquillas con las puntas calentadas y las que no lo son.

Entre las no calentadas hay tres clases basadas en principios distintos:

- boquillas con varilla fijada axialmente;
- boquillas en punta con taladros múltiples;
- boquillas con varillas térmicamente conductoras.

Entre las boquillas con varilla fijada axialmente, el orificio anular puede conformarse mediante una varilla flotante que se supone flotante en el fundido y, por tanto, autocentrante. Estas varillas pueden pegarse a la pared de la boquilla cuando se

expansiona el colector y, dada su pequeña sección, proporcionan menos calor al bebedero que la variante que sigue.

Las boquillas térmicamente conductoras con taladros múltiples y el flujo fluyendo alrededor de la punta presentan diversas variantes. Han trabajado satisfactoriamente en la práctica con plásticos amorfos y cristalinos, con el único riesgo de que ocurran puntos mates en el área del bebedero por plástico frío barrido con el fundido.

La variante con casquillo es mejor térmicamente, aunque ocupa más espacio. La boquilla puede estar fijada a presión, teniendo la ventaja de ser autocentrante, independientemente de la temperatura del colector, o roscada, en cuyo caso se ha de considerar la expansión térmica del colector para un dimensionado correcto.

Puede conseguirse un nivel elevado de temperatura en la punta de la boquilla, esto es, poca diferencia con la del colector, si las áreas de contacto con el casquillo están limitadas a, por ejemplo, tres espaciadores distribuidos a lo largo de la circunferencia. El propio casquillo debe centrarse sobre el plato con no más de tres espaciadores y la instalación de un anillo de acero inoxidable entre el reborde de la boquilla y el casquillo permite reducir aún más la temperatura del colector, sin interferir con el funcionamiento de la boquilla.

La variante con taladros múltiples puede utilizarse para bebedero directo en moldes de una cavidad. Otra alternativa para el moldeo de termoplásticos de ingeniería es un sistema con una varilla que conduce el calor del colector, evitando que se congele el bebedero. También existe este sistema para bebedero múltiple para espacios reducidos. Estos sistemas son simples, económicos, compactos y eficaces. Existen sistemas de boquilla con varilla fija calentada, que queda rodeada por el fundido. La mayor velocidad del material se produce junto a la varilla, en tanto que se forma una capa aislante de material congelado en la zona del diámetro externo, que debe llegar hasta el área del bebedero.

Las ventajas de este sistema son:

- posibilidad de una distancia mayor entre el colector y el bebedero;
- control individual de temperatura en el área del bebedero, independientemente del colector, similar a las boquillas con calentamiento externo.

En contraste con la boquilla con calentamiento externo, este principio de canal aislado tiene algunos inconvenientes:

- temperatura heterogénea del fundido, caliente en el interior pero frío en el exterior;
- riesgo aumentado, mayor que en las boquilla conductoras del calor con casquillo, de que el material sea barrido de la capa aislante, que está congelado pero puede estar degradado por un largo tiempo de residencia. Esto puede causar defectos cosméticos o daño estructural en la pieza, particularmente peligroso en piezas pequeñas en que puede representar un porcentaje importante del material;
- caída de presión elevada: para reducirla se ha de mantener la varilla bastante caliente;
- la temperatura local elevada puede resultar en la degradación térmica del material en la zona de la varilla;
- se precisan cartuchos calefactores de alta potencia debido al pequeño volumen de la varilla, que son difíciles de cambiar cuando se averían, lo que puede suceder con frecuencia.

En resumen, el sistema es poco válido para materiales de alta viscosidad y térmicamente críticos.

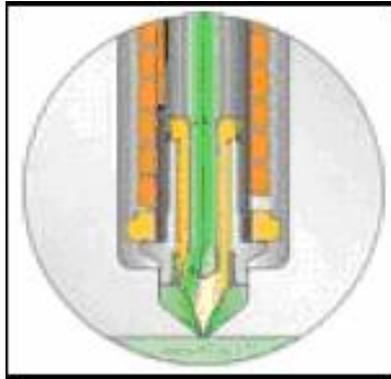


Figura 3.32. Boquilla con orificio anular

### **BOQUILLAS CON VARILLAS DE CIERRE**

Si se instala una varilla móvil en una boquilla de canal caliente, el bebedero puede cerrarse como una válvula de agua, la varilla se usa como elemento de cierre generalmente en combinación con canales aislados.

Los sistemas de boquilla con cierre tienen ventajas significativas:

- punto de bebedero liso, sin defecto o incluso refundido;
- la gran sección del bebedero después de la retracción de la varilla facilita el moldeo de materiales abrasivos o con flujo pobre;
- control sencillo de la temperatura en el bebedero
- la válvula de bebedero controlable permite el equilibrado;
- pueden evitarse líneas de soldadura mediante la apertura planificada de varios bebederos.

Por otra parte, existen los siguientes inconvenientes:

- moldes complejos, costosos y a menudo mayores;
- más peligro de fallos;
- desgaste.

En muchos casos la boquilla con orificio anular cumple los mismos objetivos que este tipo de boquillas con cierre, por lo que su elevado costo hace que se empleen poco pese a sus ventajas.

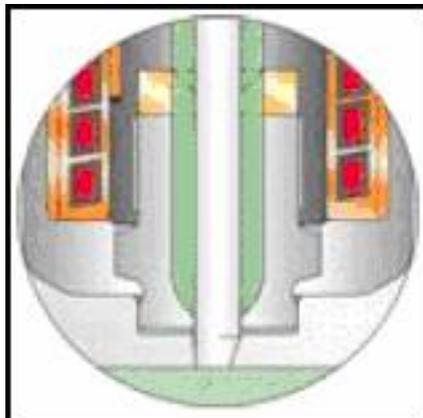


Figura 3.33 Boquilla con varilla de cierre.

## **EL COLECTOR CALIENTE**

El colector caliente tiene la función de conducir el fundido desde la boquilla de la inyectora hasta las del molde isotérmicamente, con una pérdida de presión lo más baja posible y sin degradación, especialmente en donde se precisan senderos de flujo largos. Pese a su pobre conductividad térmica, se suelen construir taladrando un bloque de acero, de fácil atemperado y elevada resistencia. El calentamiento se efectúa mediante cartuchos externos. Se han utilizado también colectores tubulares para moldes grandes, que deben tener paredes gruesas para soportar la presión. Los colectores con calefacción interna son de hecho canales aislados con núcleo caliente. Es una ventaja el efecto autosellante de las capas congeladas, pero la temperatura no uniforme del fundido es una desventaja.

El diámetro de un canal caliente tiene un límite inferior determinado por una excesiva caída de la presión y un límite superior marcado por un tiempo de residencia excesivo.

El acabado interno debe ser lo más pulido posible y las curvas deben ser una continuación de los tramos rectos sin solución de continuidad. Para ello se utilizan los denominados elementos nodales o bien casquillos especiales que se fijan mediante un efecto de cuña. Los cierres de los canales, que cambian la dirección del flujo, son puntos críticos con respecto a un sellado conveniente y a la generación de residuos.

Resulta práctico dividir los colectores grandes en segmentos debido a que la expansión térmica puede compensarse mediante elementos de conexión, sin generar fuerzas. Si no es posible compensar las diferencias de expansión entre colector y molde, éstas producen fuerzas transversales a través de los espaciadores. Es importante que la conexión entre colector y conector tenga buenas características de flujo para evitar que se estanque material.

El problema básico del montaje es el de generar fuerzas adecuadas para un buen sellado entre las boquillas y el colector con un mínimo de conducción de calor, pero sin una presión localizada demasiado elevada. Esto se ha conseguido con pernos de tensión y, para boquillas calentadas externamente, se utilizan muelles Belleville, que producen fuerzas definidas.

## **EL SUMINISTRO DEL FUNDIDO**

El suministro del fundido se hace con frecuencia mediante un casquillo de mazarota que se pone en contacto con la boquilla de la máquina. El taladro no precisa estar escalonado porque no hay un problema de desmoldeo. No pueden ocurrir escapes si la boquilla de la máquina entra en el casquillo como un émbolo.

Si la boquilla de la máquina se retrasa unos milímetros, se alivia la presión del material en el colector y no se producen problemas en las boquillas. En la boquilla se instala un filtro normal de fundido para retener partículas metálicas u otras impurezas del fundido, que podrían bloquear fácilmente el pequeño orificio de la boquilla de un sistema de bebedero directo.

Si no es posible efectuar un purgado correcto cuando se cambia de color o material, resulta adecuado diseñar la montura del canal caliente de modo que pueda desmontarse con facilidad sin desmontar todo el molde.

## **MEJORAR OTROS PARÁMETROS**

Equipar los moldes de inyección con sistemas de colada caliente aumenta las posibilidades de maniobra y permite mejorar, en muchos casos, otros parámetros del moldeo.

Resultan particularmente adecuados cuando se utilizan materiales poco sensibles a la degradación térmica y en grandes series. Sin embargo, al considerar su adopción, debe tenerse en cuenta no sólo el incremento de costos, sino también que se está aumentando la complejidad mecánica del molde y, con ello, el riesgo de averías.

Existe la tendencia a que sea el fabricante de moldes quien elige el sistema de colada caliente porque la validación del molde durante los ensayos en los centros apropiados le libera de responsabilidades. Sin embargo, quien deberá lidiar con los eventuales problemas que genere el sistema de colada caliente será el moldeador y, por lo tanto, es conveniente que exista un acuerdo previo sobre el material a emplear entre ambas partes.

El transformador debe tener en cuenta, para aprobar esta selección, no sólo la calidad de la marca, sino muy especialmente la calidad y prontitud del servicio postventa que espera del suministrador en el caso de avería del sistema.

### **3.8 ELEMENTOS DE CALEFACCIÓN PARA LOS MOLDES DE COLADA CALIENTE**

Los elementos de calefacción son el corazón de un sistema de colada caliente. Por esta razón, cuando se seleccionan piezas de recambio, el costo no debe estar por encima de la calidad

Los elementos de calefacción para los sistemas de colada caliente han cambiado tanto como los sistemas mismos. Debemos de considerar a los torpedos de inyección y manífull como el cuerpo - los elementos de calefacción son el corazón, el controlador de temperatura el cerebro, y los termopares son los nervios que conectan el sistema entero, juntos. Y como un cuerpo, si uno de estos elementos falla - entonces el sistema falla. A continuación se describen cada uno de los elementos que intervienen y forman este sistema.

### **RESISTENCIA DE CARTUCHO O TUBULAR**

Los múltiples de inyección o manífull utilizan alrededor del canal del flujo resistencias de cartucho o tubulares (según diseño del fabricante) para asegurar una temperatura uniforme a través del corredor de material, Es importante guardar la distancia entre las resistencias y el corredor mismo por lo menos o mayor que 1x el diámetro de la resistencia de cartucho.

La colocación del termopar se debe localizar entre la resistencia de cartucho y el canal de flujo y debe ser tener una profundidad de por lo menos el 1.5" en el acero del manífull para asegurar una lectura exacta.

Si se utiliza un termopar interno colocado directamente en la resistencia de cartucho, es importante asegurarse de que está situado hacia el centro de la misma (por lo menos 2 "lejos del extremo del plomo) dependiendo de si el regulador es puesto a tierra o infundado, normalmente esta especificación ya está determinada por el proveedor de dichas resistencias.

Algunas de las causas más comunes de falla en esta parte del sistema son:

- **Cortocircuito de la resistencia de cartucho o tubular.** Causada por temperatura excesiva del elemento.
- **Termopar que no lee correctamente.** Esto puede ser ocasionado por una mala localización en el manífull o conexión incorrecta del elemento.
- **Perdida de calor excesiva por parte de la resistencia.** Debido a un mal ajuste de niveles de enfriamiento de las placas del molde de inyección la capacidad calorífica de la resistencia no logra mantener la temperatura requerida para el libre flujo de la resina a través del corredor.

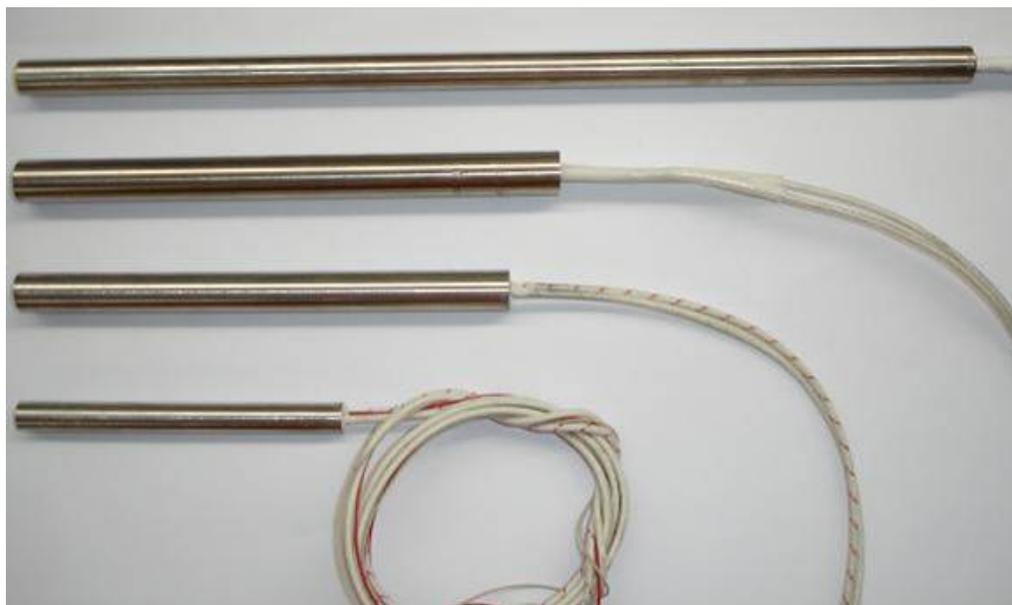


Figura 3.34. Grupo de resistencias de cartucho o tubulares.

## RESISTENCIA PARA INYECTOR O TORPEDO DE INYECCIÓN

El sistema de resistencia en el torpedo de inyección es el primer tipo de canal caliente implementado en la industria del plástico, el concepto es simple – una resistencia espiral se inserta sobre el inyector el cual permite el libre flujo de material

a través de el, se debe considerar la transferencia de calor emitida desde la resistencia en espiral sobre el inyector para que sea suficiente para mantener caliente el material , pero que no lo caliente tanto que pueda generar degradación o perdida de propiedades de la resina utilizada.



Figura 3.35. Inyector de inyección y resistencia espiral.

De igual forma que en el manífull de inyección se debe utilizar un elemento de lectura (termopar) para poder controlar debidamente la temperatura en el inyector, a diferencia de la localización del termopar de manífull el termopar de inyector se localiza inmerso entre la pared del inyector y la resistencia de espiral., para el caso de falla del elemento de calefacción se deben considerar los mismo puntos que en el manífull de inyección.

### **3.9 AUMENTO DE PRODUCCIÓN POR MEDIO DE LA IMPLEMENTACION DE UN CORREDOR CON COLADA CALIENTE**

Un sistema de colada caliente es uno de los realces más importantes que se pueden incorporar en un molde para mejorar la calidad de la pieza moldeada, para reducir tiempos de la producción y para seguir siendo competitivo en el mercado.

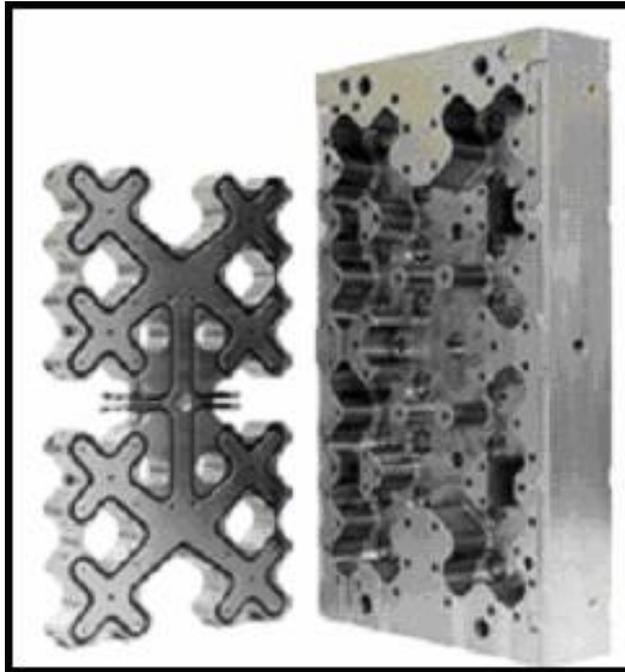


Figura 3.36. Manifull de inyección y placa porta manifull  
para molde de inyección de 32 cavidades.

Pues la competición para moldear piezas plásticas tan intensa, genera una enorme presión en la reducción de los costos de fabricación, por lo que se debe producir un producto de alta calidad rápidamente, y a un precio competitivo.

Una de las formas en las que se logra aumentar la calidad de la pieza moldeada aun reduciendo su tiempo de fabricación, es la implementación de un sistema de colada caliente, con lo que se logra lo siguiente:

- Bajar la duración de ciclo y aumentar la cantidad de piezas producidas por golpe;
- Reducir sensiblemente los costos de producción; y,
- Mejorar la calidad de la pieza.

A continuación se explican a detalle estos puntos

### **BAJAR LA DURACIÓN DE CICLO Y AUMENTAR LA CANTIDAD DE PIEZAS PRODUCIDAS POR GOLPE**

La duración de ciclo de cualquier molde es influenciada en gran parte por el tiempo que tarde la pieza moldeada en solidificarse lo suficiente para poder ser expulsada

sin sufrir una deformación permanente. En cualquier molde dado, las áreas que duran más en solidificarse son éstas con una sección de pared más gruesa.

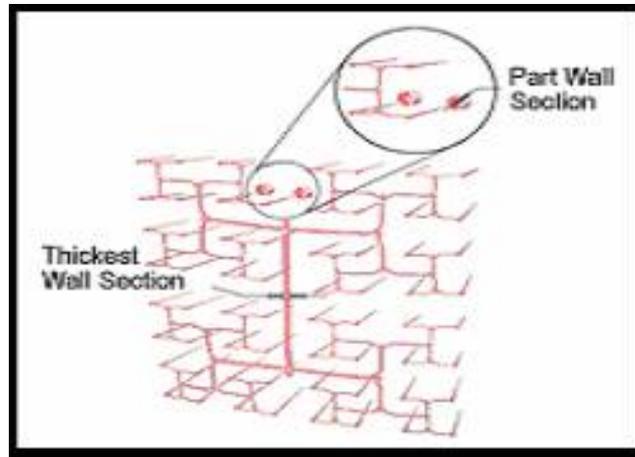


Figura 3.37. Típico corredor de inyección frío.

Puesto que el corredor debe proveer cavidades múltiples, es común que el corredor tenga una sección de pared más gruesa que la parte moldeada (véase figura 1). Eliminando el corredor, por medio de la implementación de un sistema de colada caliente el tiempo de enfriamiento será reducido, ya que no habrá que esperar a que la parte más gruesa alcance a solidificar.

El tiempo de inyección es otro componente que difiere entre los moldes equipados con colada caliente y colada fría. La diferencia del tiempo de inyección será el tiempo adicional requerido para llenar el corredor de colada fría.

Los movimientos de cierre y apertura en un molde de colada fría deben ser más grande o extendidos esto principalmente por que se tiene que considerar la extracción de la colada fría ya solidificada.

Por otro lado los moldes equipados con colada caliente pueden ser automatizados obteniendo mejores resultados debido a que solo nos preocuparemos por extraer el producto y no la colada, que en muchos casos requiere de apoyo manual para poder ser retirada.

Colectivamente, estas reducciones individuales de tiempo reducen el ciclo total de moldeo, contribuyendo al aumento de producción por unidad de tiempo. Dependiendo de la cantidad de producción deseada, se podrá tener disposición de maquina con mayor rapidez en un molde equipado con colada caliente que en uno de colada fría, a continuación se presenta una secuencia de pasos donde se aprecia esta diferencia.

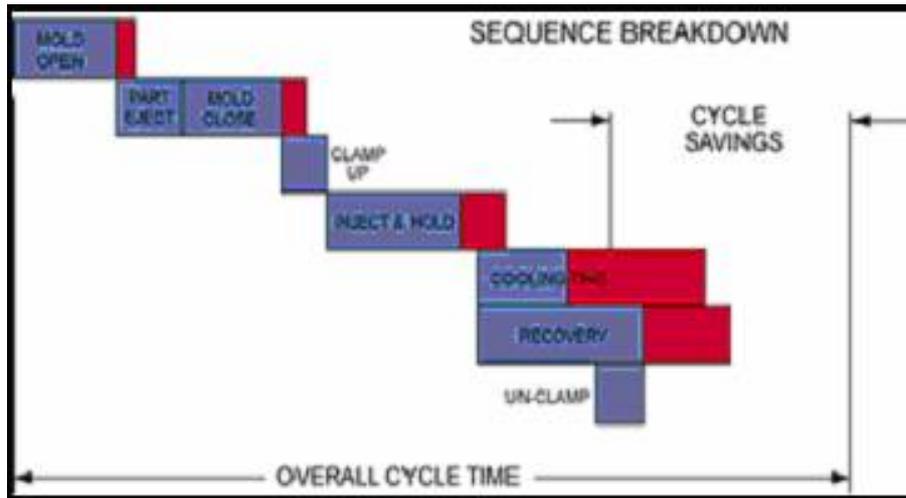


Figura 3.38. Comparativo secuencia de proceso de inyección, las porciones en rojo indican los tiempos extendidos en un molde de colada fría.

## REDUCCION DE LOS COSTOS DE PRODUCCIÓN

Aunque pareciera que los costos de inversión en un sistema de colada caliente son altos debemos considerar los siguientes puntos:

- Ahorro de resina (considerando el artículo moldeado, no todos permiten el reciclaje).
- Ahorro de energía.
- Ahorro de operaciones de trabajo (cortar puntos de inyección, retirar colada, etc.).
- Ahorro en los costos de inversión de molde y maquinaria, ya que al ser más eficiente el molde puede ser más pequeño (menor número de cavidades) y por consiguiente la máquina de inyección más pequeña.

## CALIDAD MEJORADA DE LA PIEZA INYECTADA

Cuando se selecciona la localización del punto de inyección y tipo (sin importar si se planea utilizar colada fría o colada caliente), lo principal es mantener un balanceo en el sistema que permita llenar de igual forma las piezas moldeadas.

La adecuada selección del punto de inyección en un molde de colada fría debe considerar también la localización óptima de la puerta (o entrada de material en la pieza), pues el corredor que alimenta la cavidad se puede encaminar más fácilmente para evitar interferencia con las características del molde. Inversamente, al seleccionar la localización de la puerta con un sistema de colada caliente, el diseñador debe considerar el mantener una condición segura de acero entre el

detalle del inyector, las características y formas de la pieza moldeada. En ciertas situaciones, esto puede requerir trabajo adicional para modificar la disposición del molde para satisfacer la condición segura del acero y para mantener un balance adecuado de las piezas. En la figura 3 que a continuación se muestra se aprecia la secuencia de pasos que se realizan al momento de inyectar material a través de un punto de inyección con colada caliente

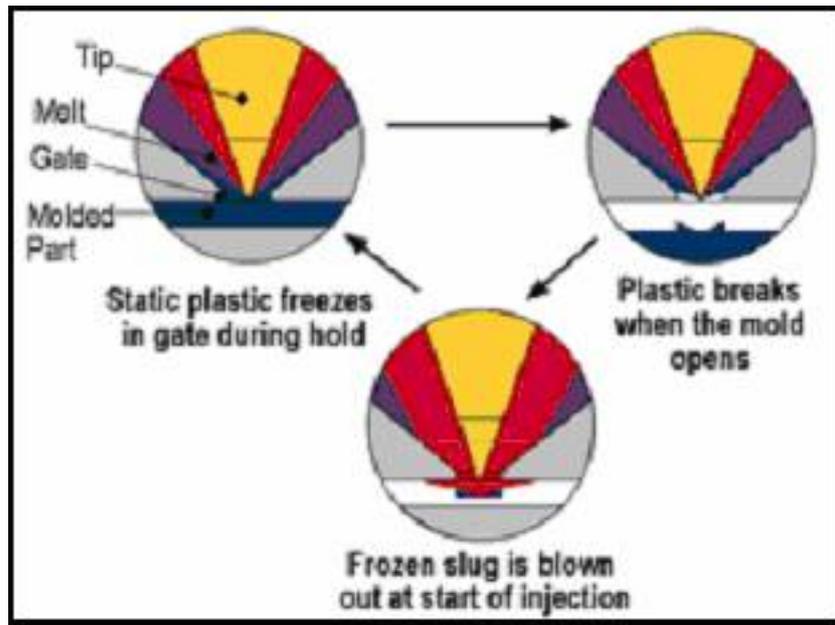


Figura 3.39 Punto de inyección de colada caliente

Aunque los moldes de colada fría logran una integración más simple, comparativamente con los moldes de colada caliente, es la calidad mejorada del vestigio de inyección de los moldes equipados con colada caliente la diferencia con la cual se evitan imperfecciones en las piezas moldeadas.

Los sistemas de colada caliente ofrecen una infinita variedad de opciones para bloquear o dar vestigios de inyección que ofrezcan calidad mejorada, Las opciones existentes para hacer un vestigio imperceptible se dividen en dos, El punto de inyección con corte térmico (figura 3) y el punto de inyección asistido (figura 4).

El Punto de inyección con corte térmico, confía en las características térmicas del área de la extremidad del punto de inyección y la pieza inyectada, para que en el momento de la solidificación de la resina esta se separe de la parte caliente o no solidificada (véase el cuadro 3). Cuando el derretimiento o inyección de resina dentro de la cavidad se ha solidificado, se expulsa la pieza y la resina en la localización del inyector deja solo un punto muy pequeño en la parte moldeada.

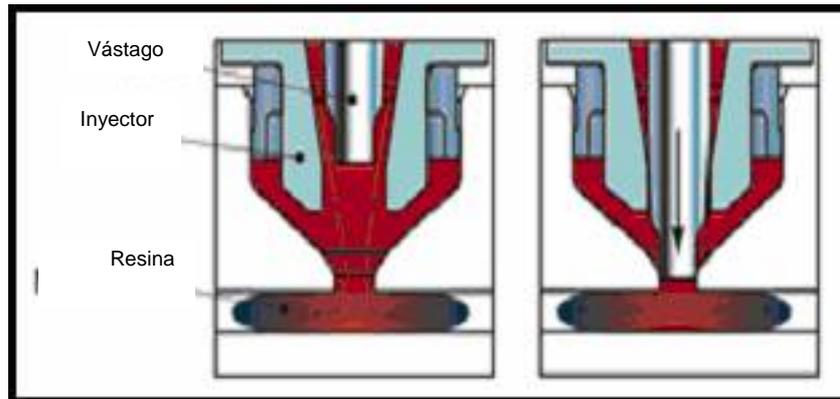


Figura 3.40. La terminación o vestigio de inyección se controla por medio de un vástago controlado neumáticamente dando una excelente calidad de acabado.

El punto de inyección asistido corta el flujo de material inmediatamente después de terminada la inyección de resina dentro del molde, la parte moldeada se separa de la puerta sin romper o esquilar el plástico; así, la decoloración o la deformación debido a la rotura de la puerta es imperceptible. Las características físicas de la parte moldeada se mejoran con el uso de un inyector asistido. El resultado es una parte con menos alabeo y características físicas mejores.

### SERVICIO DEL SISTEMA DE COLADA CALIENTE

Además de los aspectos técnicos que se deben tener en cuenta al elegir un sistema de canal caliente, también hay que considerar la capacidad del proveedor del sistema de canal caliente a la hora de dar soporte al moldista y al transformador, en cuanto a formación, información y servicio técnico posventa.

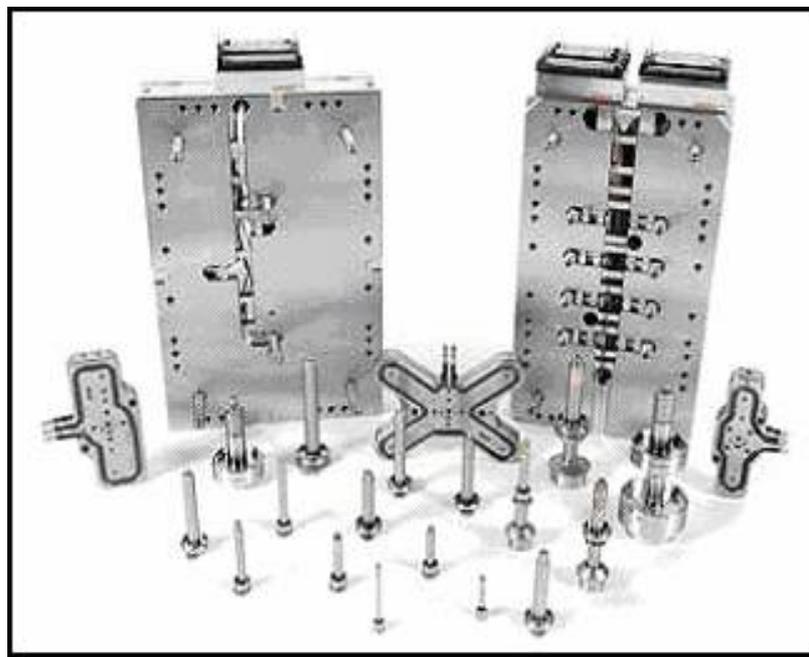
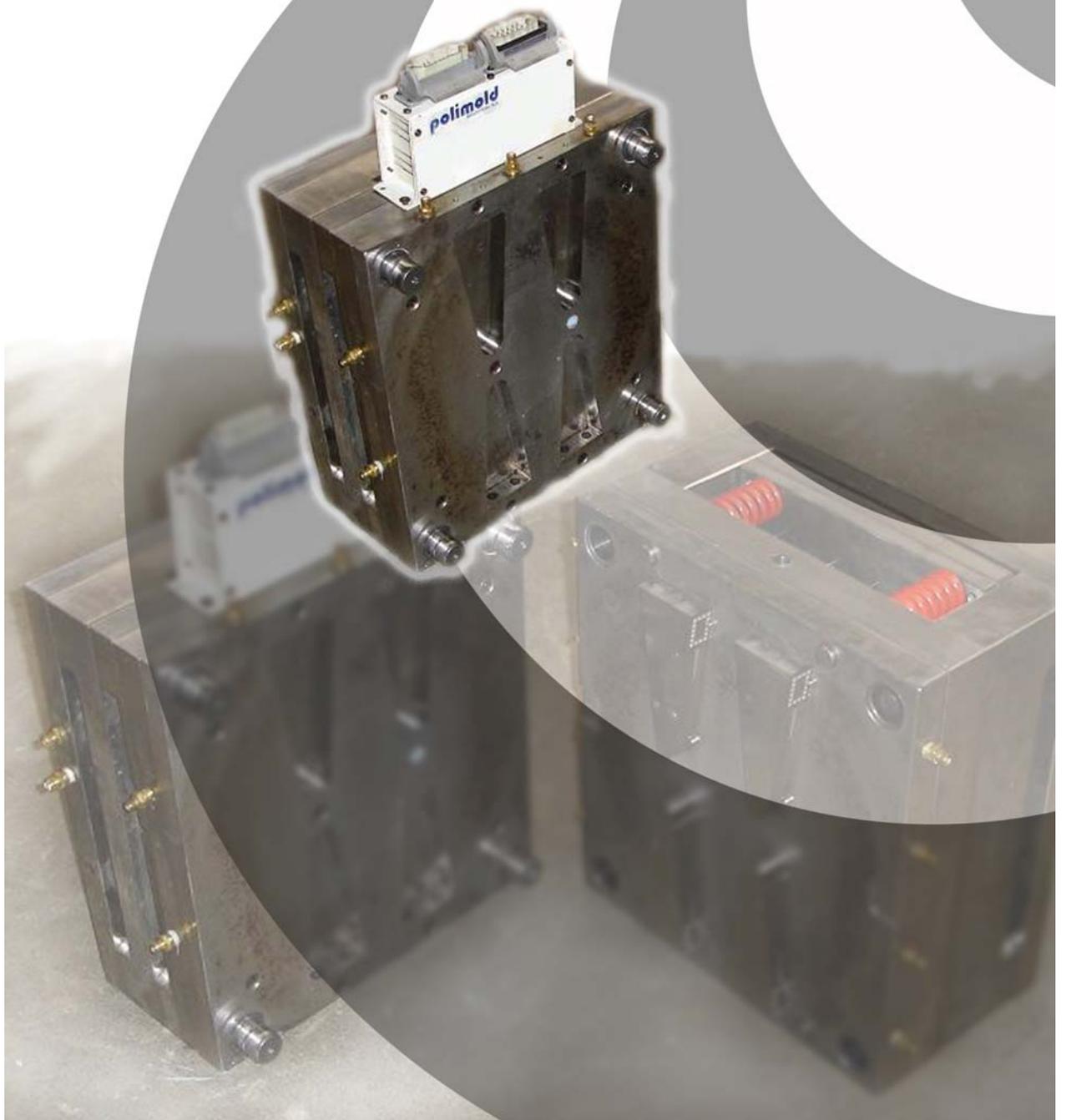


Figura 3.41. Componentes del sistema de colada caliente.

# CAPÍTULO 4

## DESARROLLO DE PROYECTO



## **4.1 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD MACROECONOMICA**

A través de información suministrada por las cámaras de la industria del plástico nacional y por organismos estatales y federales, hemos generado un análisis económico que presenta cómo se distribuye la producción de manufactura de plásticos en México respecto a los productores internacionales que para efectos de planteamiento de inversión es necesaria para determinar los niveles de oportunidad y riesgo del proyecto.

De acuerdo con esta información, Se calcula que las operaciones económicas realizadas en el ramo de transformación de resinas plásticas en México, se obtuvo un crecimiento sostenido en los años 2004 y 2005 de un 4,3% y se espera una tendencia ascendente durante el año 2006, momento en el cual se alcanzara una tasa de crecimiento cercana al 4,0%.

Con esto se completarían cuatro años consecutivos de expansión económica, que significarían un aumento del PIB per cápita cercano al 10% entre 2003 y 2006. Este comportamiento se explica principalmente por el muy favorable escenario externo, caracterizado por el crecimiento del PIB mundial y las bajas tasas de interés.

Los últimos dos años han estado marcados por una nueva geografía de flujos comerciales y financieros internacionales, debida principalmente a la mayor presencia de China en el panorama internacional.

## **4.2 LA INDUSTRIA PLÁSTICA EN MÉXICO**

México atraviesa por una delicada coyuntura debido a la difícil situación de abastecimiento de resina. En el 2005, los precios de las resinas han tenido un espectacular crecimiento, que ha sobrepasado el 100% para los "Commodities" y el 60% para las resinas de ingeniería.

Y la situación no tiende a mejorar. Esto sobre todo al déficit de generación de materias primas en México lo que limita el nivel de la competitividad a mediano y largo plazo para la industria plástica mexicana.

Aun con esta adversidad se espera que el crecimiento de la industria plástica ronde el 6% en 2006. Una buena forma de ver el gran salto dado por México en cuanto al consumo de materiales plásticos es observar la cifra de consumo por habitante. Según datos de ANIPAC, en 1980 el consumo por habitante era de 12 kilos por habitante al año; para 1990 este indicador se elevó a 19.1%; y al finalizar la década, el consumo por habitante era de 33.8 kilos por habitante al año. El sector de envases y empaques es responsable de la mayor porción del consumo de resinas en México. En el 2000, 43 de cada 100 kilos de resinas consumidos se utilizaban en el sector de empaques. En orden de importancia le siguen el sector de artículos de consumo (17%); construcción (14%) y artículos industriales (13%).

En los últimos 23 años el porcentaje de crecimiento anual de consumo de plásticos, en general, ha seguido siempre la tendencia del crecimiento del PIB mexicano, y salvo los fenómenos observados en 1982 y 1985, siempre ha sido superior al crecimiento del PIB. Sin embargo, para el año 2003 y principio del 2004, esta tendencia se revierte, y el porcentaje de crecimiento de la industria plástica tiende a alcanzar el mismo nivel de crecimiento del PIB.

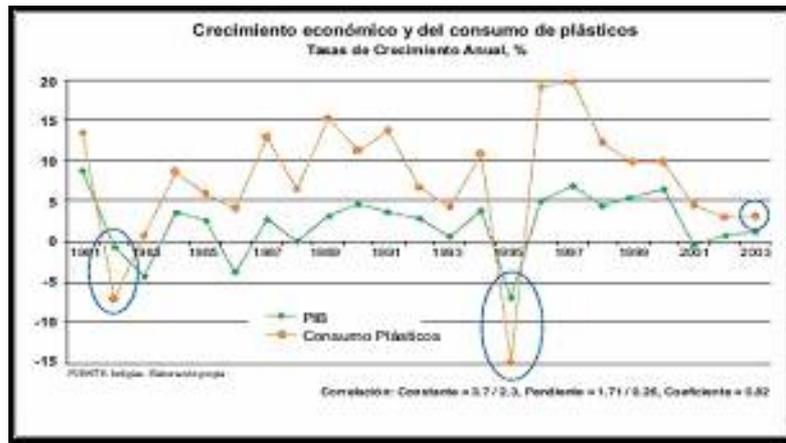


Figura 4.1. Consumo histórico de plásticos en México.

Puede observarse cómo se posiciona la industria plástica mexicana con respecto a las grandes potencias mundiales, en cuanto a su balance de comercio exterior. En la gráfica, que tabula la cantidad de resina procesada vs. La cantidad de plástico producida, se ve que México se encuentra en el cuadrante inferior, En síntesis, en el año 2004 creció muy poco el consumo doméstico; la materia prima no fue suficiente, y la creación de valor redujo aún más los márgenes de ganancia.

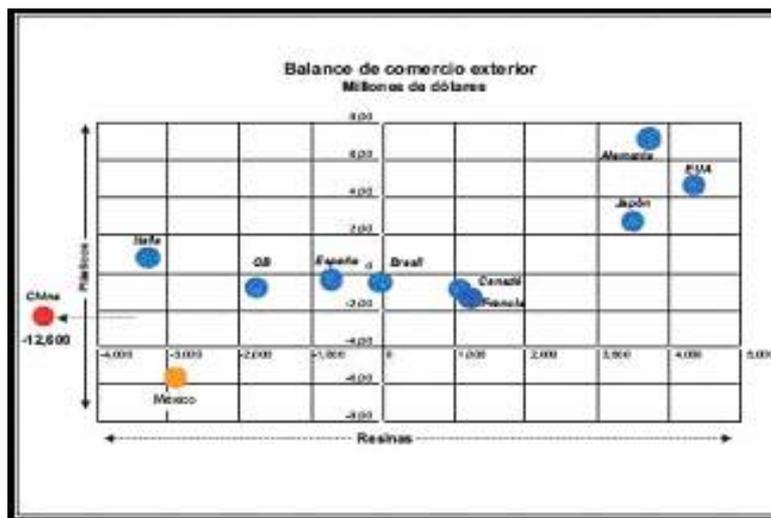


Figura 4.2. Comparativo de ingresos económicos por actividades relacionadas a la industria plástica.

Un punto importante en la determinación de un proyecto de inversión es la distribución de consumo de plásticos a través de los diferentes procesos, así como a qué mercado se dedican los 4,5 millones de toneladas de materia prima que anualmente se consumen en el país.

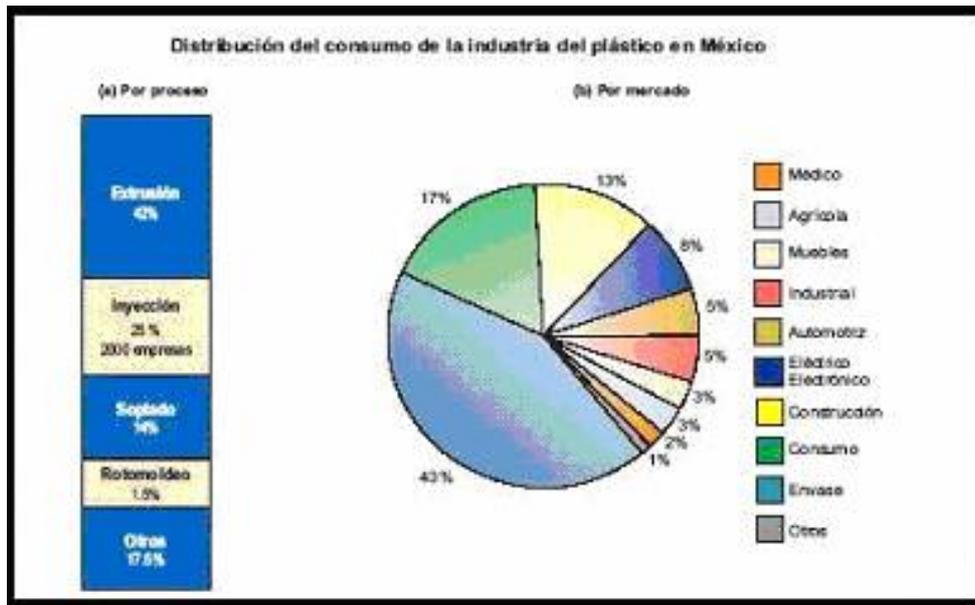


Figura 4.3. Distribución de resinas plásticas en México

Como se observa, el proceso que mayor cantidad de resina consume es el de extrusión (42%), seguido por el de inyección (25%). Los mercados más importantes para los transformadores de plásticos son el de empaques y envases (43%), el de artículos de consumo (17%) y el de construcción (13%).

El 60% de las empresas que hacen parte de la cadena de la industria plástica mexicana son de tamaño micro (tienen entre 1 y 15 empleados) y tienen ventas anuales inferiores a US\$150.000. El 24% son empresas pequeñas, con ventas entre US\$150.000 y US\$1 millón, y entre 16 y 100 empleados. Las empresas medianas representan un 12% del total, venden entre US\$1 y US\$2 millones, y tienen entre 100 y 250 empleados. Y el 4% (cerca de 160 organizaciones) son grandes empresas, con ventas superiores a los US\$2 millones y más de 250 empleados.

### 4.3 DESARROLLO DEL PROYECTO PINZA PARA HIELO

El proyecto que sustenta esta tesis es la construcción de un molde de inyección de 4 cavidades con sistema de colada caliente para un producto plástico denominado “pinza para hielo” el cual debe de cumplir con los requerimientos de calidad, productividad y eficiencia determinados por el estudio de factibilidad presentado a continuación.

Al momento del lanzamiento del artículo en el año 2002 se cuenta con un molde de inyección para el producto “pinza para hielo” de 2 cavidades con sistema de inyección colada fría y sistema de expulsión automático el cual tiene una productividad máxima de 135,000 piezas mensuales con una utilización de tiempo maquina de 576 horas y un nivel de desperdicio del 6%.

La proyección de venta del artículo tiene una tendencia de aumento del 20% anual la cual esta sustentada en un análisis de venta histórico a partir del lanzamiento del producto en el año 2002.



Figura 4.4. Histórico de venta pinza para hielo y proyección de venta próximos tres años.

Uno de los criterios que definen la aprobación de un proyecto de manufactura de un molde de inyección nuevo es su costo de inversión, productividad proyectada y tiempo de desarrollo del mismo, para lo cual se definieron los siguientes aspectos.

- Producto inyectado en Poliestireno cristal HF777 fluidez 12 y Poliestireno Medio Impacto C115 fluidez 12.
- Desarrollo de molde con sistema de inyección de colada caliente y sistema de expulsión automático.

- Cuatro cavidades de inyección.
- Utilización máxima de tiempo maquina por mes 432 horas, considerando que el tiempo laborable de la empresa es de tres turnos de 8 horas al día, seis días a la semana.
- Capacidad de producción necesaria por mes proyectada 200,000 pzas.
- Índice máximo de desperdicio 1.2%
- Maquina de inyección disponible para trabajo de molde de inyección 180 toneladas de capacidad de cierre.
- Tiempo de vida útil del molde de inyección 1.5 millones de golpes
- Costo máximo de inversión del proyecto \$18,000 USD.
- Tiempo máximo para la terminación del proyecto 120 días naturales a partir de la aprobación.

Una vez que el proyecto es aprobado por la dirección general de la empresa, procedemos a realizar la cotización de diseño y construcción de un molde de inyección en 4 cavidades con sistema de inyección colada caliente y sistema de expulsión automático con nuestros proveedores de molde.

Una vez revisadas las cotizaciones de nuestros proveedores nos damos cuenta que no obtendremos el resultado planteado en las especificaciones del proyecto en 2 puntos primordiales, El primer factor es el costo del molde que oscila entre los 23,000 USD y los 29,600 USD, El segundo factor es el tiempo de entrega del molde ya en planta que es como mínimo 150 días naturales.

#### **4.4 CRONOGRAMA DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MOLDE**

Debido a que estas cotizaciones no son satisfactorias para el proyecto se toma la decisión de construir dentro de la empresa un molde de inyección que cumpla con las especificaciones planteadas en el proyecto.

Para esto se genera un esquema de trabajo dentro del cual se manejan los aspectos relacionados con el diseño y construcción del molde, esto lo vemos representado en el siguiente cronograma:

De acuerdo al cronograma autorizado por la dirección general de la empresa de inyección de plásticos para el hogar, se da inicio al proyecto de diseño y construcción del molde PINZA PARA HIELO de cuatro cavidades con sistema de colada caliente y mecanismo autónomo de expulsión.

#### **DIBUJO PRELIMINAR**

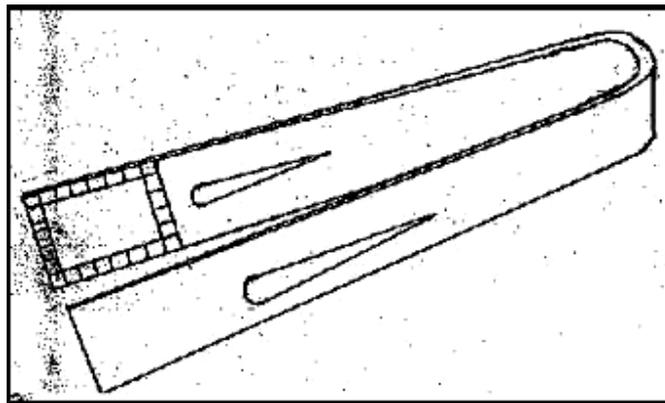


Figura 4.5. Dibujo preliminar proyecto pinza para hielo



Dibujo pinza para hielo proyecto molde de 4 cavidades con sistema de colada caliente y sistema autónomo de expulsión. Material utilizado poliestireno HF-777.

## DIBUJO FINAL

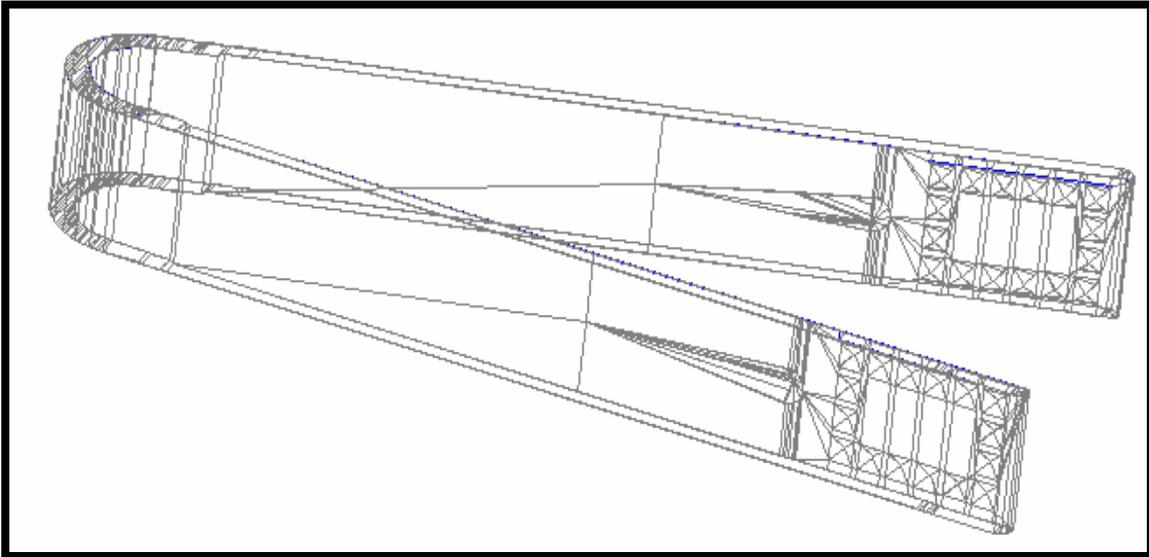


Figura 4.6. Dibujo final pinza para hielo

Dibujo final de pinza para hielo proyecto molde de 4 cavidades con sistema de colada caliente y sistema autónomo de expulsión. Material poliestireno HF- 777.

## 4.5 RECOMENDACIÓN Y COMPRA DE ACEROS

Debido a que el molde a construir será de alta producción (más de 1000000 de golpes), se deben de utilizar para la construcción del porta molde aceros cuyas propiedades permitan garantizar la vida útil, por esto es recomendable el acero W1045V siendo este el recomendado por el fabricante gracias a su contenido de carbono y para el caso de la fabricación de las cavidades y corazones del molde es recomendable la utilización del acero P20ESR debido a que es capaz de soportar los choques térmicos ocasionados por la diferencia de temperatura entre el material inyectado y el medio refrigerante.

A continuación mostramos la tabla de especificaciones de aceros dada por el fabricante de aceros.

| ACEROS FORTUNA | Color de Distinción      | ** ANALISIS BASICO MEDIO % |           |           |       |      |      |       |       | DUREZA BRINELL MAX. AL ENTREGAR | TRATAMIENTO TERMICO   |             |           |                             | CARACTERISTICAS   | EQUIVALENCIAS APROXIMADAS ENTRE LAS DIFERENTES MARCAS Y NORMAS |                   |                      |                |             |
|----------------|--------------------------|----------------------------|-----------|-----------|-------|------|------|-------|-------|---------------------------------|-----------------------|-------------|-----------|-----------------------------|---|--|-------------------|----------------------|----------------|-------------|
|                |                          | C                          | Si        | Mn        | Cr    | Ni   | Mo   | W     | V     |                                 | TEMPERATURA APROX.    |             |           | TEMPLE EN                   |   | ACEROS FORTUNA   | AISI/NOM (APROX.) | DN / W / Nr (APROX.) | CARPENTER      | ATLAS       |
|                |                          |                            |           |           |       |      |      |       |       |                                 | TEMPLE                | FORJADO     | RECOCIDO  |                             |   |  |                   |                      |                |             |
|                |                          |                            |           |           |       |      |      |       |       | iC                              |                       |             | iC        |                             |   |  |                   |                      |                |             |
| W 18           | Blanco                   | 0.70                       | 0.30      | 0.30      | 4.10  |      |      | 18.00 | 1.10  | 262                             | 1260 a 1300           | 1170 a 1000 | 870 a 900 | Acetate, aire baño de sales | El acero rápido indicado para herramientas de corte de alto rendimiento.  | W 18   | T 1               | 1.3355               | STAR ZENITH    | Spartan     |
| MO 500         | Blanco/Rosa              | 0.83                       | 0.30      | 0.30      | 4.10  |      | 5.00 | 6.10  | 1.90  | 289                             | 1190 a 1230           | 1150 a 1050 | 870 a 900 | Acetate, aire baño de sales | El acero rápido indicado para herramientas de corte con alta tenacidad.   | MO 500   | M 2               | 1.3343               | SPEED STAR     | Six 1 X     |
| CA 1220        | Rojo                     | 2.10                       | 0.35      | 0.35      | 12.00 |      |      | 0.70* | 0.80  | 262                             | 925 a 980             | 1050 a 850  | 870 a 900 | Acetate, aire ó sales       | Alta resistencia al desgaste, para troqueles muy complicados, que cortan espesores hasta 3mm.   | CA 1220  | D 3               | 1.2880               | HAMPDEN        | NN          |
| CA 1215        | Rojo/Azul                | 1.50                       | 0.40      | 0.40      | 12.00 |      |      | 0.95  | 0.80  | 262                             | 960 a 1025            | 1095 a 1010 | 870 a 900 | Acetate, aire ó sales       | Alta resistencia al desgaste y gran tenacidad. Para corte de chapa hasta 5 mm. de espesor. Recomendado para cuños (clavos).             | CA 1215  | D 2               | 1.2379               | No. 610        | FNS         |
| CA 510         | Azul/Amarillo            | 1.00                       | Máx. 0.50 | Máx. 1.00 | 5.00  |      |      | 1.10  |       | 235                             | 925 a 980             | 1095 a 1010 | 845 a 870 | Aire ó sales                | Acero para troqueles para trabajo en frío de diseño complicado.   | CA 510   | A 2               | 1.2363               | No. 484        | CHROMO LOY  |
| SW 55          | Azul                     | 0.90                       | 0.30      | 1.15      | 0.50  |      |      | 0.50  | 0.20  | 228                             | 790 a 815             | 1065 a 980  | 760 a 790 | Acetate                     | Acero para troqueles de corte complicado, y cortes hasta 3 mm. de espesor.  | SW 55  | O 1               | 1.2510               | O 1            | Keewaw      |
| WA 255         | Rojo/Blanco              | 0.50                       | 0.35      | 0.30      | 1.50  |      |      | 0.40  | 2.00  | 229                             | 900 a 955             | 1120 a 1010 | 790 a 830 | Acetate                     | Alta resistencia al golpe. Apto para trabajos en frío, troqueles, cuchillas, para chapa gruesa y en caliente (o.c. diferente revenido.) | WA 255   | S 1               | 1.2550               |                | Falco 6     |
| W 10 V         | Verde/Blanco             | 1.00                       | 0.25      | 0.25      |       |      |      |       | 0.20  | 212                             | 760 a 845             | 1065 a 980  | 760 a 790 | Agua                        | Acero al Carbono para troqueles y herramientas cabeceadoras.  | W 10 V   | W 2               | 1.2835               | No. 11 Special | Special     |
| MOG 510 V      | Amarillo / Blanco / Rojo | 0.35                       | 1.00      | 0.30      | 5.10  |      |      | 1.50  | 1.00  | 241                             | 995 a 1040            | 1150 a 1065 | 845 a 900 | Salas y aire                | Acero al Cromo-Molibdeno-Vanadio muy apto para continuos choques térmicos.  | MOG 510 V  | H 13              | 1.2344               | No. 883        | Crovan      |
| Carpenter 883  | Azul/Blanco              | 0.41                       | 1.00      | 0.35      | 5.35  |      |      | 1.40  | 0.9   | 228                             | 1010 a 1024           | 1090 a 1135 | 840 a 870 | Acetate                     | Acero al cromo para herramientas expuestas a calor y golpes en dados complicados.   | Carpenter 883  | H13               | 1.2344               | No. 883        |             |
| MOG 511        | Amarillo/Rosa            | 0.35                       | 1.00      | 0.30      | 5.10  |      |      | 1.50  | 1.35  | 241                             | 995 a 1025            | 1150 a 1065 | 845 a 900 | Salas y aire                | Acero al Cromo-Molibdeno-Tungsteno para trabajos y herramientas para prensas de extrusión.  | MOG 511  | H 12              | 1.2806               | No. 345        | Crodi       |
| NG 2 SUPRA     | Amarillo                 | 0.70                       | 0.30      | 0.70      | 0.75  | 1.50 | 0.25 |       |       | 255                             | 790 a 845             | 1095 a 980  | 760 a 790 | Acetate o aire              | Acero al Cromo-Niquel-Molibdeno para trabajos en caliente, para dados de forja de muy alta tenacidad.                                   | NG 2 SUPRA   | L 6               | 1.2714               | R.D.S.         | Ultimo 6    |
| EWX 40         | Rosa                     | Máx. 0.12                  | 0.25      | 0.40      | 4.60  |      |      | 0.70  |       | 131                             | 970 - 995 (cementado) | 1120 a 1000 | 870 a 900 | Acetate                     | Nuestro HOBBLING IRON al Cromo-Molibdeno, y bajo Carbono, para clavado profundo para moldes de plástico (pulido espejo).                | EWX 40   | P 4               | 1.2341               | SUPER SAMSON   |             |
| P 20 ESR       | Amarillo/Gris            | 0.36                       | 0.30      | 0.60      | 1.80  | 1.00 | 0.20 |       |       | 300 Aprox.                      |                       |             |           |                             | Acero tratado fabricado por el proceso de Refusión bajo escoria desarrollado para moldes para plástico.                                 | P 20 ESR   | P 20              | 1.2710               |                |             |
| SW 55 P        | Punta azul               | 0.90                       | 0.30      | 1.15      | 0.50  |      |      | 0.50  | 0.20* | 228                             | 790 a 815             | 1065 a 980  | 760 a 790 | Acetate                     | Acero SW 55 (AISI 01) rectificado plata.  | SW 55 P  | O 1               | 1.2510               | O 1            | Acero Plata |
| W 11 P         | Punta naranja            | 1.00                       | 0.25      | 0.25      |       |      |      |       | 0.20  | 212                             | 760 a 845             | 1065 a 980  | 760 a 790 | Agua                        | Acero AISI W1, rectificado plata.   | W 11 P   | W 2               | 1.1650               |                | Acero Plata |

| ACEROS FORTUNA     | Color de Distinción | ** ANALISIS BASICO MEDIO % |      |      |      |      |      |   |   | DUREZA BRINELL MAX. AL ENTREGAR | TRATAMIENTO TERMICO   |             |           |                 | CARACTERISTICAS  | EQUIVALENCIAS APROXIMADAS ENTRE LAS DIFERENTES MARCAS Y NORMAS |                   |                      |           |         |
|--------------------|---------------------|----------------------------|------|------|------|------|------|---|---|---------------------------------|-----------------------|-------------|-----------|-----------------|--|--|-------------------|----------------------|-----------|---------|
|                    |                     | C                          | Si   | Mn   | Cr   | Ni   | Mo   | W | V |                                 | TEMPERATURA APROX.    |             |           | TEMPLE EN       |  | ACEROS FORTUNA   | AISI/NOM (APROX.) | DN / W / Nr (APROX.) | CARPENTER | ATLAS   |
|                    |                     |                            |      |      |      |      |      |   |   |                                 | TEMPLE                | FORJADO     | RECOCIDO  |                 |  |  |                   |                      |           |         |
|                    |                     |                            |      |      |      |      |      |   |   | iC                              |                       |             | iC        |                 |  |  |                   |                      |           |         |
| TX 10 T            | Café/Blanco         | 0.40                       | 0.25 | 0.68 | 0.80 | 1.00 | 0.25 |   |   | 220 a 330 según diámetro        |                       |             |           |                 | Acero al Cromo-Niquel-Molibdeno con dureza controlada para construcción de maquinaria. | TX 10 T  | 9840              | 1.6511               |           |         |
| TX 10 R            | Café                | 0.40                       | 0.25 | 0.68 | 0.80 | 1.00 | 0.25 |   |   | 217                             | 830 a 860             | 1050 a 870  | 760 a 845 | Acetate         | Acero al Cromo-Niquel-Molibdeno, gran tenacidad para construcción de maquinaria.       | TX 10 R  | 9840              | 1.6511               |           | SFS 245 |
| TX 15 T            | Gris/Blanco         | 0.40                       | 0.25 | 0.68 | 0.80 | 1.80 | 0.25 |   |   | 220 a 330 Según diámetro        |                       |             |           |                 | Acero al Cromo-Niquel-Molibdeno con dureza controlada para construcción de maquinaria. | TX 15 T  | 4340              | 1.6556               |           |         |
| TX 15 R            | Gris                | 0.40                       | 0.25 | 0.68 | 0.80 | 1.80 | 0.25 |   |   | 223                             | 800 a 845             | 1230 a 1065 | 800 a 925 | Acetate         | Acero al Cromo-Niquel-Molibdeno, gran tenacidad para construcción de maquinaria.       | TX 15 R  | 4340              | 1.6556               |           |         |
| TCMO 4 T           | Amarillo/Blanco     | 0.40                       | 0.25 | 0.68 | 0.95 | 0.20 |      |   |   | 220 a 330 según diámetro        |                       |             |           |                 | Acero al Cromo-Molibdeno con dureza controlada para construcción de maquinaria.        | TCMO 4 T   | 4140              | 1.7225               |           | 4140    |
| TCMO 4 R           | Amarillo/Café       | 0.40                       | 0.25 | 0.68 | 0.95 | 0.20 |      |   |   | 207                             | 830 a 860             | 1050 a 870  | 760 a 845 | Acetate         | Acero al Cromo-Molibdeno para construcción de maquinaria.                              | TCMO 4 R   | 4140              | 1.7225               |           | 4140    |
| EX 17              | Café/Rosa           | 0.20                       | 0.25 | 0.55 | 0.50 | 1.83 | 0.25 |   |   | 207                             | 870 a 925 (cementado) | 1100 a 870  | 650 a 775 | Acetate ó sales | Acero para cementación al Cromo-Niquel-Molibdeno de alto rendimiento.                  | EX 17  | 4320              | 1.6587               |           | 4320    |
| EX 8               | Café/Gris           | 0.20                       | 0.25 | 0.80 | 0.50 | 0.55 | 0.20 |   |   | 170                             | 870 a 925 (cementado) | 1100 a 870  | 660 a 730 | Acetate ó sales | Acero para cementación al Cromo-Niquel-Molibdeno.                                      | EX 8   | 8620              | 1.6523               |           | Impacto |
| GB 1               | Café/Azul           | 0.15                       | 0.25 | 0.45 |      |      |      |   |   | 140                             | 870 a 955             | 1260 a 855  | 700 a 870 | Acetate o agua  | Acero para cementación, no aleado calidad automotriz.                                  | GB 1   | 1015              | 1.1141               |           |         |
| GB 4               | Café/Rojo           | 0.45                       | 0.25 | 0.75 |      |      |      |   |   | 206                             | 845 a 900             | 1245 a 870  | 700 a 845 | Acetate o agua  | Acero al 0.45% de Carbono para construcción de maquinaria.                             | GB 4   | 1045              | 1.1191               |           | 1045    |
| GB 4 EF            | Punta Roja          | 0.45                       | 0.25 | 0.75 |      |      |      |   |   | 206                             | 845 a 900             | 1245 a 870  | 700 a 845 | Acetate o agua  | Acero al 0.45% de Carbono para construcción de maquinaria, estrado en frío.            | GB 4 EF  | 1045              | 1.1191               |           | 1045    |
| GB 6               | Café/Verde          | 0.60                       | 0.25 | 0.75 |      |      |      |   |   | 243                             | 815 a 850             | 1205 a 815  | 700 a 830 | Acetate o agua  | Acero al 0.60% de Carbono para construcción de maquinaria.                             | GB 6   | 1060              | 1.0601               |           | 1060    |
| COLD ROLLED (1018) | Punta verde         | 0.18                       | 0.25 | 0.75 |      |      |      |   |   | SIN TRAT. TERMICO               | 870 a 955 (cementado) | 1240 a 925  | 885 a 910 | Agua o Salmuera | 1018 estrado en frío para usos generales.  | COLD ROLLED (1018)   | 1018              |                      |           | 1018    |

| ACEROS FORTUNA | Color de Distinción       | ** ANALISIS BASICO MEDIO % |      |       |           |    |    |   |                  | DUREZA BRINELL MAX. AL ENTREGAR | TRATAMIENTO TERMICO   |            |             |                | CARACTERISTICAS  | EQUIVALENCIAS APROXIMADAS ENTRE LAS DIFERENTES MARCAS Y NORMAS |                   |                      |           |         |
|----------------|---------------------------|----------------------------|------|-------|-----------|----|----|---|------------------|---------------------------------|-----------------------|------------|-------------|----------------|--|--|-------------------|----------------------|-----------|---------|
|                |                           | C                          | Si   | Mn    | Cr        | Ni | Mo | W | V                |                                 | TEMPERATURA APROX.    |            |             | TEMPLE EN      |  | ACEROS FORTUNA   | AISI/NOM (APROX.) | DN / W / Nr (APROX.) | CARPENTER | ATLAS   |
|                |                           |                            |      |       |           |    |    |   |                  |                                 | TEMPLE                | FORJADO    | RECOCIDO    |                |  |  |                   |                      |           |         |
|                |                           |                            |      |       |           |    |    |   |                  | iC                              |                       |            | iC          |                |  |  |                   |                      |           |         |
| GB 13          | Negro ó natural           | 0.18                       | 0.25 | 1.25  |           |    |    |   | 0.10*            | 185                             | 870 a 925 (cementado) | 1240 a 925 | 885 a 910   | Agua ó acetate | Tubo mecánico para usos generales.   | GB 13  | 1518              |                      |           | 1518    |
| 12 L 14        | Blanco / Amarillo / Negro | 0.15                       |      | 1.00  |           |    |    |   | +S 0.30 +Pb 0.25 | 170                             | 800 a 830 (cementado) | 1240 a 925 |             | Agua ó acetate | Acero maquinable de corte libre para tornos automáticos.   | 12 L 14  | 12 L 14           | 1.0718               |           | 12 L 14 |
| C 75 R         | No tiene                  | 0.75                       | 0.25 | 0.65  |           |    |    |   |                  | 220                             | 780 a 820             |            | 650 a 830   | Agua ó acetate | Fleje de acero al Carbono, recocido para muelles y herramientas delgadas.                            | C 75 R   | 1075              | 1.1248               |           |         |
| C 75 T         | Pavonado azul ó café      | 0.75                       | 0.25 | 0.65  |           |    |    |   |                  | 160 / 220 Kg / mm2              |                       |            |             |                | Fleje de acero templado, revenido.   | C 75 T   | 1075              | 1.1248               |           |         |
| ALAMBRE PIANO  | No tiene                  | 0.90                       | 0.25 | 0.30  |           |    |    |   |                  | 150 / 280 Kg / mm2              |                       |            |             |                | Alambre piano templado ideal para resortes y cepillos.   | ALAMBRE PIANO  | W 1               | 1.7223               |           |         |
| 12 M           | No tiene                  | 1.20                       | 0.40 | 12.00 | Máx. 1.50 |    |    |   |                  | 225 a 320                       |                       |            | 1000 a 1050 |                | Acero duro al 12% de Manganeso para piezas sometidas al impacto, con alta resistencia a la abrasión. | 12 M   | No tiene          | 1.3401               |           |         |

| ACEROS INOXIDABLE | Color de Distinción | ** ANALISIS BASICO MEDIO % |           |           |       |           |      |           |              | DUREZA BRINELL MAX. AL ENTREGAR | TRATAMIENTO TERMICO |             |             |           | CARACTERISTICAS   | EQUIVALENCIAS APROXIMADAS ENTRE LAS DIFERENTES MARCAS Y NORMAS |                   |                      |           |       |
|-------------------|---------------------|----------------------------|-----------|-----------|-------|-----------|------|-----------|--------------|---------------------------------|---------------------|-------------|-------------|-----------|---|--|-------------------|----------------------|-----------|-------|
|                   |                     | C                          | Si        | Mn        | Cr    | Ni        | Mo   | W         | V            |                                 | TEMPERATURA APROX.  |             |             | TEMPLE EN |   | ACEROS FORTUNA   | AISI/NOM (APROX.) | DN / W / Nr (APROX.) | CARPENTER | ATLAS |
|                   |                     |                            |           |           |       |           |      |           |              |                                 | TEMPLE              | FORJADO     | RECOCIDO    |           |   |  |                   |                      |           |       |
|                   |                     |                            |           |           |       |           |      |           |              | iC                              |                     |             | iC          |           |   |  |                   |                      |           |       |
| T 171 T           | Verde/Amarillo      | 0.38                       | Máx. 1.00 | Máx. 1.00 | 17.00 | Máx. 1.00 | 1.20 |           |              | 225 a 275                       |                     |             |             |           | Flechas de acero inoxidable bonificadas a 80/90 Kg/mm2, para barcos y bombas. | T 171 T  | No tiene          | 1.4122               |           |       |
| AS 18             | Verde/Rojo          | Máx. 0.08                  | Máx. 1.00 | Máx. 2.00 | 19.00 | 9.00      |      |           |              | 220                             |                     | 1230 a 1150 | 1010 a 1120 |           | Láminas y barras de acero inoxidable del tipo 18/10.                          | AS 18  | 304               | 1.4301               | 304       | 304   |
| A 18 A            | Verde/Azul          | Máx. 0.15                  | Máx. 1.00 | Máx. 2.00 | 18.00 | 9.00      |      |           | +S 0.1% Máx. | 262                             | 950 a 1010          | 1260 a 1150 | 830 a 885   | Acetate   | Barras de acero inoxidable del tipo 18/8, maquinado rápido.                   | A 18 A   | 303               | 1.4305               | 303       | 303   |
| AS 182            | Verde/Rosa          | Máx. 0.08                  | Máx. 1.00 | Máx. 2.00 | 18.00 | 11.50     | 2.30 |           |              | 220                             |                     | 1230 a 1150 | 1010 a 1120 |           | Láminas y barras de acero inoxidable del tipo 18/11/2.                        | AS 182   | 316               | 1.4401               | 316       | 316   |
| F 13 A            | Verde/Gris          | Máx. 0.15                  | Máx. 1.00 | Máx. 1.25 | 13.00 |           |      | Máx. 0.60 | +S 0.15 Máx. | 262                             | 950 a 1010          | 1260 a 1150 | 830 a 885   | Acetate   | Barras de acero inoxidable al Cromo maquinado rápido.                         | F 13 A   | 416               | 1.4005               | 416       | 416   |
| F 17              | No tiene            | Máx. 0.12                  | Máx. 1.00 | Máx. 1.00 | 17.00 |           |      |           |              | 180                             |                     | 1120 a 1040 | 760 a 815   |           | Láminas de acero inoxidable al Cromo.   | F 17   | 430               | 1.4016               | 430       |       |
| T 17              | Verde/Negro         | 0.22                       | 0.40      | 0.40      | 16.50 | 1.75      |      |           |              | 260                             | 980 a 1065          | 1230 a 1150 | 620 a 705   |           | Acero inoxidable para moldes.   | T 17   | No hay            |                      |           |       |
| 12 A              | Negro/Rojo          | Máx. 0.25                  | Máx. 1.50 | Máx. 2.00 | 25.00 | 20.00     |      |           |              | 220                             |                     | 1065 a 980  | 1040 a 1150 |           | Láminas y barras refractarias resistentes a altas temperaturas.               | 12 A   | 310               | 1.4841               | 310       | 310   |

Tabla 4.2. Tabla de especificaciones de aceros Fortuna.

## 4.6 SELECCIÓN Y DISEÑO DEL PORTAMOLDE

Tomando en cuenta que el molde a construir, albergara cuatro cavidades de inyección las cuales deben de estar distribuidas a una equidistancia del punto central del molde de inyección, determinadas previamente en el análisis de la geometría de la pieza a inyectar y una vez considerados los aspectos de diseño y construcción de moldes de inyección debemos de utilizar un porta molde que tenga como mínimo 400mm de ancho por 450mm de altura, las cuales cumplen con las especificaciones dimensionales para desempeñarse en una maquina de inyección de 180 toneladas de fuerza de cierre, cuyas especificaciones se encuentran descritas en la tabla 1.1 Especificaciones de la unidad de inyección, Tabla 1.2 Especificaciones de la unidad de cierre, Tabla 1.3 Especificaciones generales.

Esto garantizara el cumplimiento de los objetivos de funcionamiento optimo del molde y la maquina de inyección, logrando disminuir los costos de fabricación.

A continuación se muestra el ensamble de placas para la construcción del porta molde utilizado en el proyecto de molde PINZA PARA HIELO.

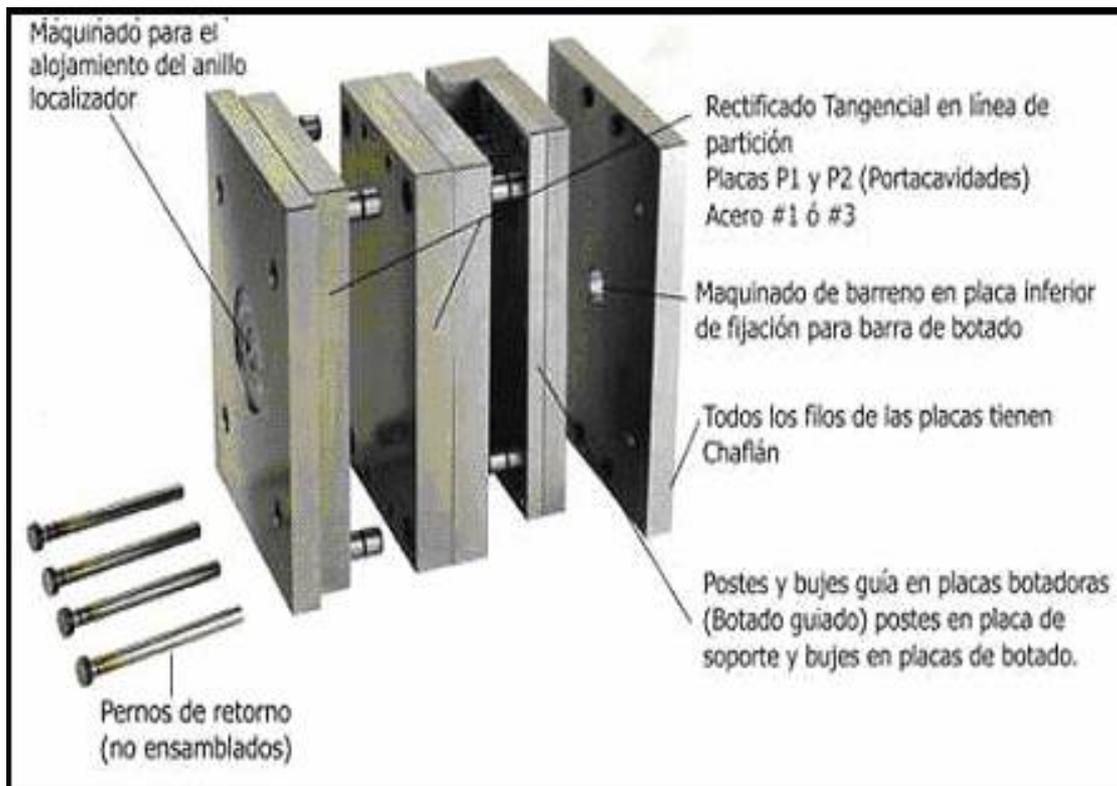


Figura 4.7. Ensamble porta molde propuesto por proveedor Polimold S.A. DE C.V.

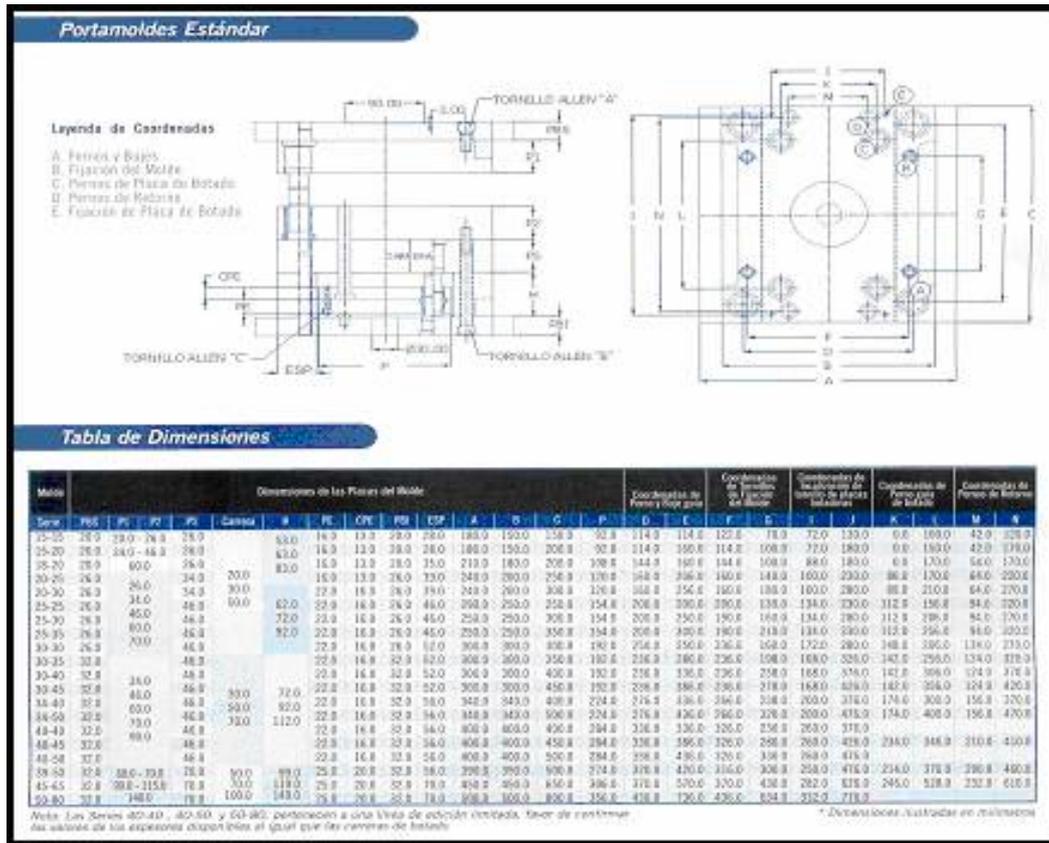
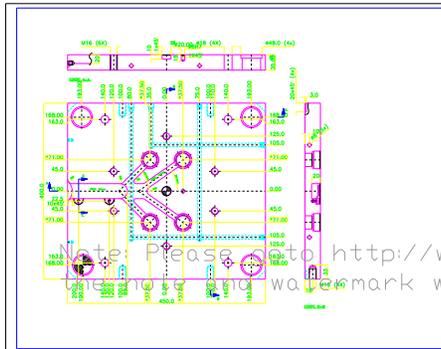
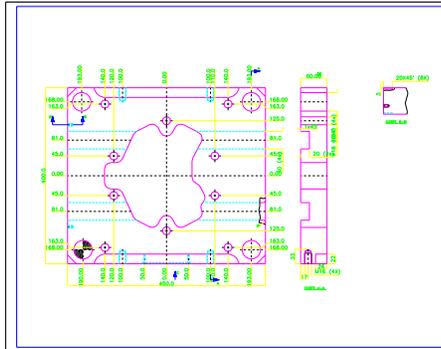
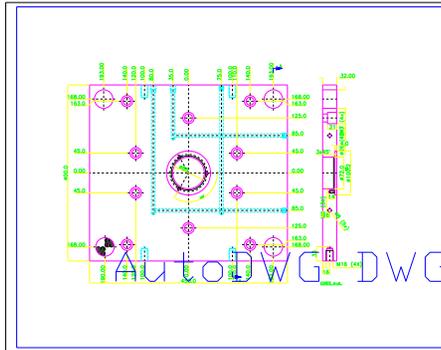
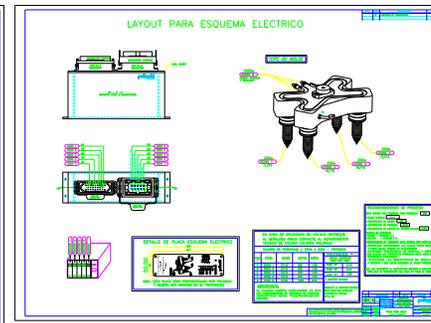
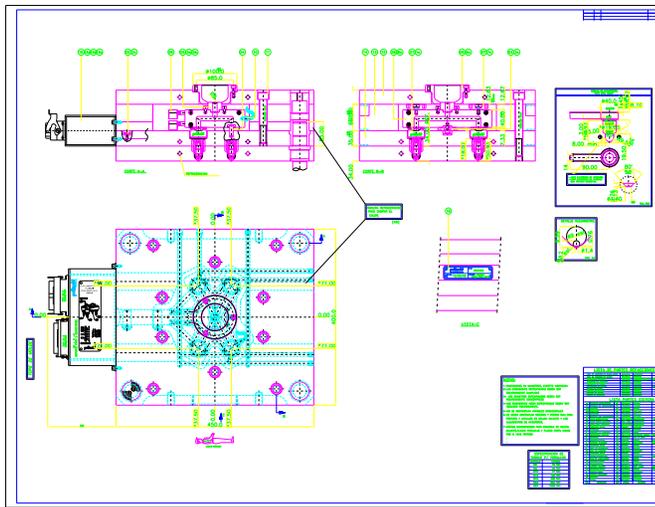


Tabla 4.3. Especificaciones de porta moldes de proveedor Polimold S.A. DE C.V.

## 4.7 SELECCION DE COLADA CALIENTE

Con el objetivo de asegurar el transporte del material plástico dentro de las cavidades, existen en el mercado manifold de inyección e inyectoros de diferentes estilos y diseños, que como ya vimos en el capítulo anterior tienen como finalidad, maximizar el uso de la resina termoplástica.

A continuación veremos el diseño de colada caliente para el proyecto PINZA PARA HIELO de colada caliente de cuatro cavidades y sistema autónomo de expulsión.



AutodWG DWG to PDF Converter Trial Version

Please go to <http://www.autodwg.com> to register the program, the trial watermark will be removed.

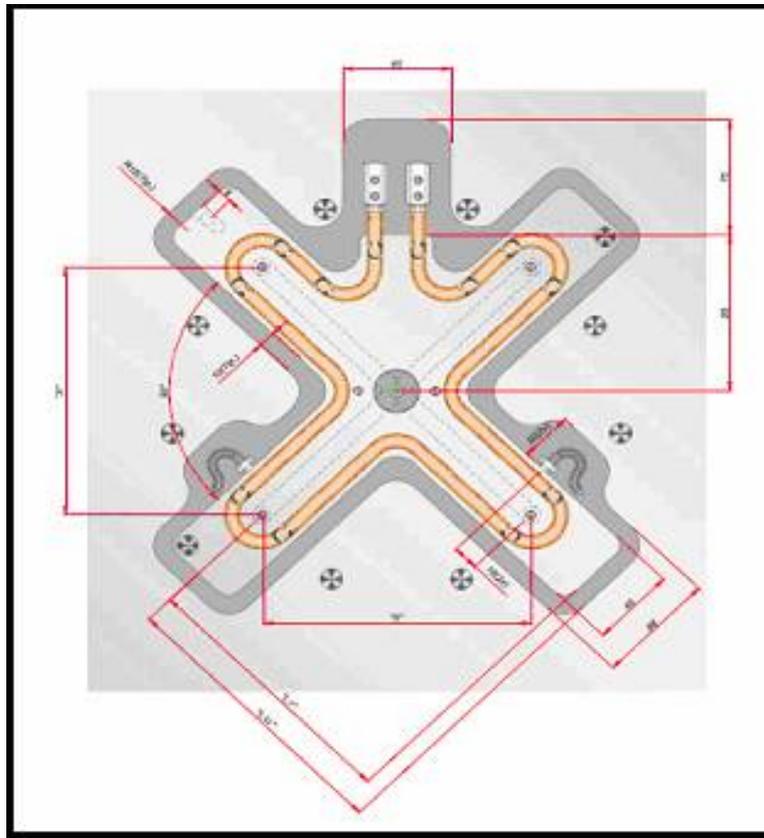


Figura 4.8. Diagrama de manífl propuesto por el proveedor.

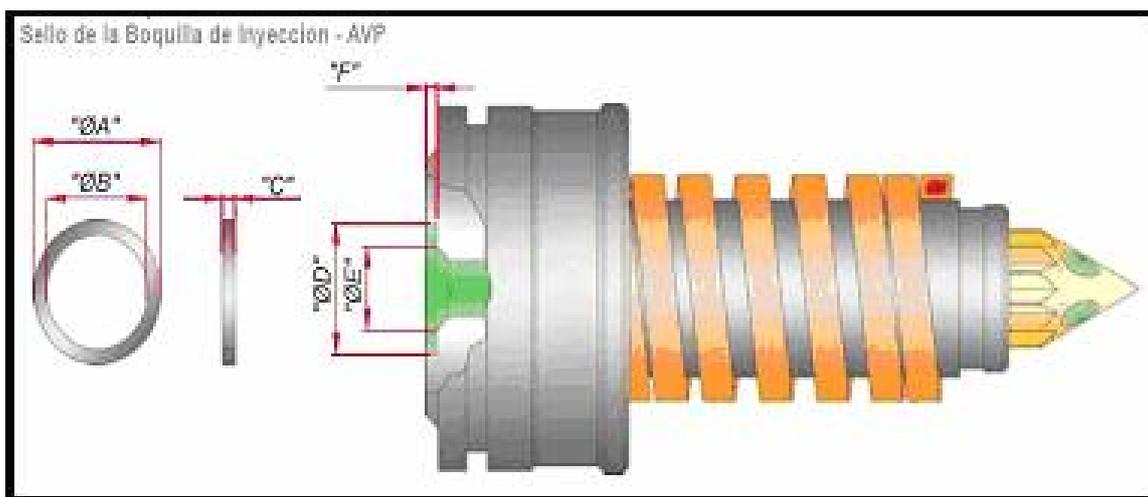


Figura 4.9. Diagrama del inyector propuesto por el proveedor.



Ciclo de producción = 25.3 seg.  
1 día = 86400 seg.  
432 horas = 1,555,200 segundos  
 $1,555,200 / 25.3 = 61470.35$  golpes de inyección  
 $61470 \times 4 = 245,880$  piezas incluido el desperdicio.

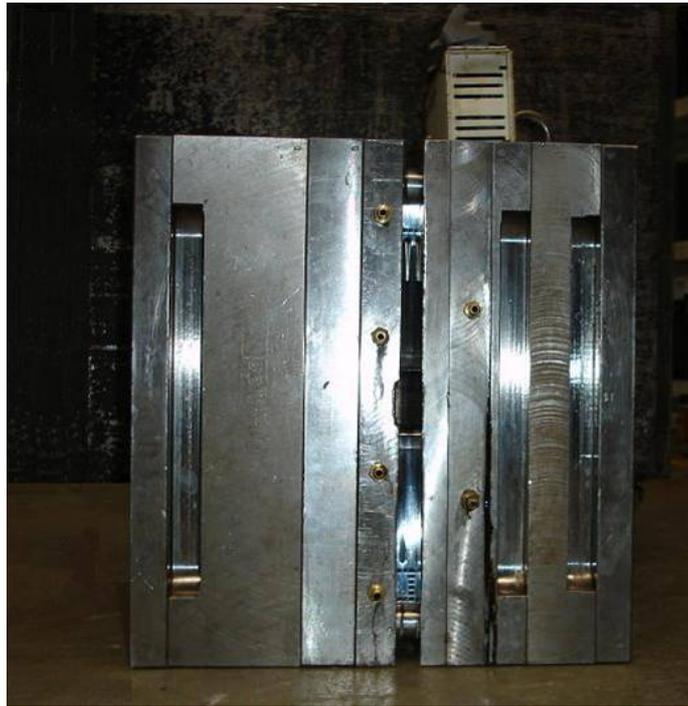


Figura 4.11. Molde de inyección 4 cavidades pinza para hielo colada caliente.



Figura 4.12. Cavidades y corazones de inyección molde pinza para hielo.



Figura 4.13. Pinza para hielo.

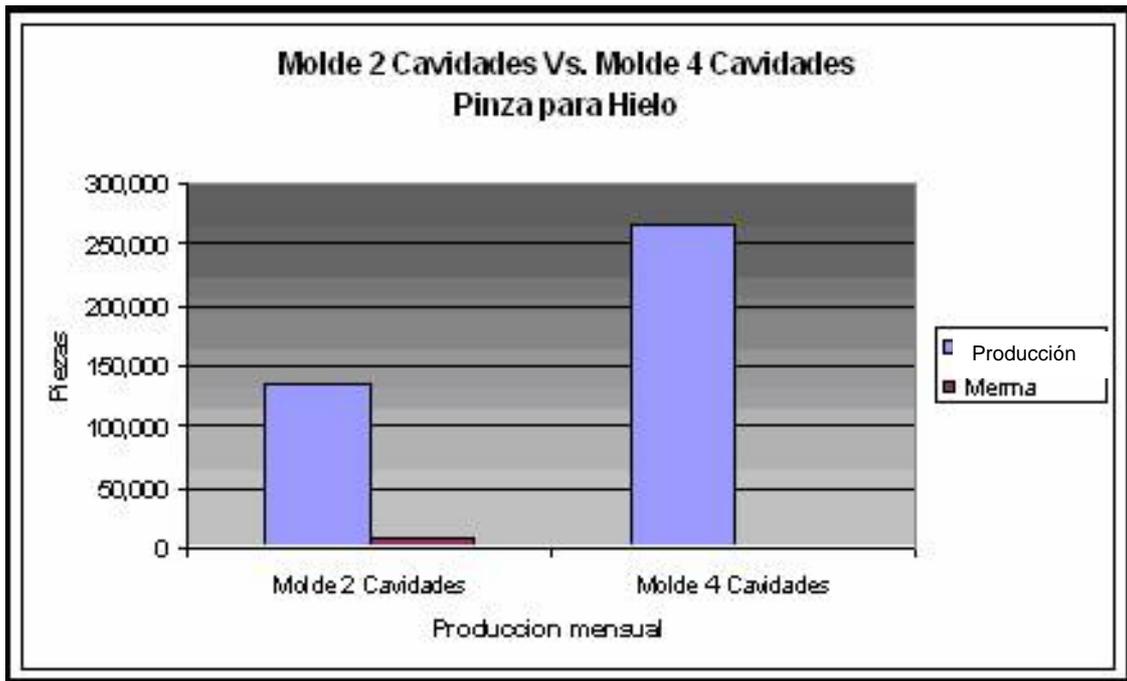


Figura 4.14. Comparativo molde 2 cavidades contra 4 cavidades.

Como podemos observar el proyecto de un molde de inyección de colada caliente con sistema de expulsión autónomo, denominado PINZA PARA HIELO cumplió con las expectativas planteadas dentro del proyecto.

## CONCLUSIONES

La industria del plástico en México es uno de los tantos sectores manufactureros del país que requiere de empresarios y trabajadores dispuestos a afrontar los retos del mundo moderno y la globalización.

Los sistemas de inyección por medio de colada caliente garantizan la reducción de tiempos de proceso y eliminación de ramas de inyección. En este proyecto demostramos como la correcta aplicación de las herramientas tecnológicas existentes en el sector de la industria plástica tales como porta moldes, inyectoras, manifiestos de inyección y sistemas de expulsión logran mantener e impulsar la competitividad de la empresa de inyección de artículos plásticos para el hogar ubicada en nuestro estado de Hidalgo, así como la innovación de los procesos productivos de la misma. Por supuesto sin dejar de lado la satisfacción del cliente al ver cumplidos sus requerimientos de producto.

Con el arranque y puesta en marcha del molde de inyección denominado pinza para hielo de 4 cavidades con sistema de colada caliente y sistema autónomo de inyección se obtienen los resultados planteados desde su concepción tales como cumplir los requerimientos de calidad, disminución de costos de producción, costos de mano de obra, y un significativo aumento en la producción diaria obtenida.

Podemos afirmar plenamente que el diseño y construcción de moldes de inyección en México es viable y contribuye al desarrollo económico del país.

Como ingenieros industriales desarrollamos e implantamos sistemas productivos que nos llevan a la mejora continua y tenemos el firme compromiso de contribuir con nuestra sociedad a ser un México más grande.

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

**ABS.** Nombre dado a una familia de termoplásticos. El acrónimo deriva de los tres monómeros utilizados para producirlo: acrilonitrilo, butadieno y estireno. Los polímeros de ABS tienen buena resistencia química, son tenaces, duros y tienen muy buena resistencia al impacto.

**Acero.** Aleación de hierro con un porcentaje de carbono.

**Amorfo.** Sólido constituido por partículas sin regularidad en su ubicación. Existen sustancias poliméricas como el vidrio y algunos plásticos que tienen estructura amorfa. Y son vitreos a temperatura ambiente tales como, el acrílico, policarbonato y poliestireno.

**Boquilla de inyección.** Parte metálica de husillo de inyección que descansa sobre el molde de inyección para que permita el llenado de las piezas a inyectar.

**Ciclo:** Secuencia de eventos que se repiten regularmente.

**Colada Caliente.** Sistema de alimentación para la producción de partes plásticas sin sobrantes que utiliza resistencias eléctricas para mantener una temperatura interna adecuada que permita el libre flujo del material plástico a inyectar. Este sistema es ideal para manejo de altas producciones.

**Colada Fría.** Sistema de alimentación para la producción de partes plásticas, este método de inyección es ideal para bajas producciones ya que los tiempos de producción se ven afectados por el retiro de sobrantes o ramas de inyección con las que fueron alimentadas las piezas inyectadas inicialmente.

**Cojinete axial.** Cuando se tiene que sujetar un eje en torno al cual puede rotar de un sólido, los elementos de sujeción se llaman cojinetes. Estos fuerzan que el eje pase por un punto fijo. Si impiden que el eje deslice sobre dicho punto, se les llama cojinetes axiales.

**Commodities.** Término con el que se conoce a las resinas plásticas que por su simplicidad molecular no necesitan procesos de secado, deshidratado o precalentamiento antes de ser procesado e inyectado en el molde.

**Cremallera.** Barra metálica con dientes en uno de sus cantos, para engranar con un piñón o engrane que se traban o se destraban según el sentido en que se desliza.

**Cristalino.** Porcentaje de estructuras cristalinas en un material. La cristalinidad del PE (polietileno) es aproximadamente 80%.

**Ductilidad.** Capacidad de un material para ser deformado plásticamente sin presentar fractura. Usualmente se expresa como el porcentaje máximo de elongación que alcanza una barra del material al ser estirado.

**Dureza.** Capacidad de un material para resistir a las rayaduras o a las muescas. La dureza de un material se mide haciendo incidir sobre su superficie una punta de diamante y es proporcional a la carga sobre el diamante e inversamente proporcional al tamaño de la huella que resulta en la superficie.

**Índice de fluidez.** Se define como la tasa de flujo másico de polímero que pasa a través de un capilar en condiciones de temperatura y presión controladas, y se determina a partir de la masa termoplástico fundido que se escurre por el capilar durante un determinado periodo de tiempo.

**Inyección de plástico.** Técnica existente para fabricar piezas o utensilios de plástico macizas, para lo cual se emplea una máquina de inyección y un molde.

**Máquina de Inyección.** Consta de un recipiente en el que se vierte el pellet del plástico, un calentador, en el que el plástico es calentado hasta el punto en que se convierte en una masa viscosa y moldeable, un sistema para movimiento del molde de inyección.

**Moldeo:** Proceso que implica llevar el polímero en estado fundido ya sea termoplástico o termoestable a una cavidad que oficia de molde. Este proceso de transformación comprende los moldes por, inyección, extrusión, calandrado prensado.

**Molde de inyección.** Consta de dos o más bloques de metal muy sólido y resistente a las altas temperaturas. En su interior se han practicado huecos que tienen la forma de la pieza a fabricar. En el caso más sencillo el molde es de dos piezas, una para cada lado.

**Porta molde.** Sistema de placas y accionamientos mecánicos que alojan el o los corazón(es) y cavidad(es) de inyección de una pieza inyectada en plástico.

**Plastificación.** Proceso de deformación de un cuerpo plástico o resina por medio de temperatura y fuerza mecánica que lo prepara o dispone para ser introducido en una cavidad y que una vez introducido toma la forma y apariencia de la misma.

**Resistencia.** Capacidad de los materiales para soportar esfuerzo. Se determina cuantificando la fuerza máxima por unidad de área de sección que resiste un material antes de romperse.

**Temperatura de transición vítrea.** A temperaturas altas, los polímeros se vuelven líquidos muy viscosos en los que las cadenas están constantemente en movimiento cambiando su forma y deslizándose unas sobre las otras. A temperaturas muy bajas, el mismo polímero se vuelve un sólido duro, rígido y frágil.

**Temple.** Endurecimiento del acero que normalmente se obtiene calentándolo al rojo vivo (alrededor de 800°C) y después enfriándolo súbitamente por inmersión en un líquido.

**Tenacidad.** Capacidad de un acero para absorber energía de golpes o deformación. Generalmente se mide cuantificando el trabajo necesario para deformarlo hasta provocar su fractura y dividiéndolo entre el volumen del material deformado

**Termoplástico:** Está referido a aquellos polímeros de alto peso molecular, de estructura lineal, que pasan al estado plástico al ser calentados, permitiendo obtener diversas formas a través de diferentes procesos. Son moldeables por calor, sin modificación química y en forma reversible. Funden sin descomponerse.

## BIBLIOGRAFIA

- BLANCO, Vargas Rafael. *Enciclopedia del plástico 2000*. México, Editorial Instituto Mexicano del Plástico Industrial. 2000. 526p.
- SAVGORODNY, V. K. *Transformación de Plásticos*. Moscu, Editorial Gustavo Gili, S.A., 1978. 468p.
- MINK, Spe Walter. *Inyección de Plásticos*. 3ª. Ed. Zurich, Ediciones Gustavo Gili, S.A., 1981. 476p.
- HELLERICH, Walter, HARSCH, Gunther, HAENLE, Siegfried. *Guía de Materiales Plásticos*. Barcelona, Hanser editorial, 1992. 426p.
- BODINI, Gianni, CACCHI, Pesan Franco. *Moldes y Maquinas de inyección para la transformación de plásticos*. 2nd. Ed. Italia, Editorial McGraw-Hill, 1987. 435p.
- DYM, Joseph B. *Injection Molds and Molding a Practical Manual*. United States of America, Editorial Van Nostrand Reinhold Company, 1979. 399p.
- BELOFSKY, Harold. *Plastics: Product Design and Process Engineering*. Munich Viena New York, Hanser Gardner Publications, Inc., Cincinnati, 1992. 285p.
- SEMINARIO, (1999, México, D. F.) *Moldes de inyección para plásticos*, México D. F., Centro empresarial del plástico S.A. de C.V. 1999. 57p.

## CIBERGRAFIA

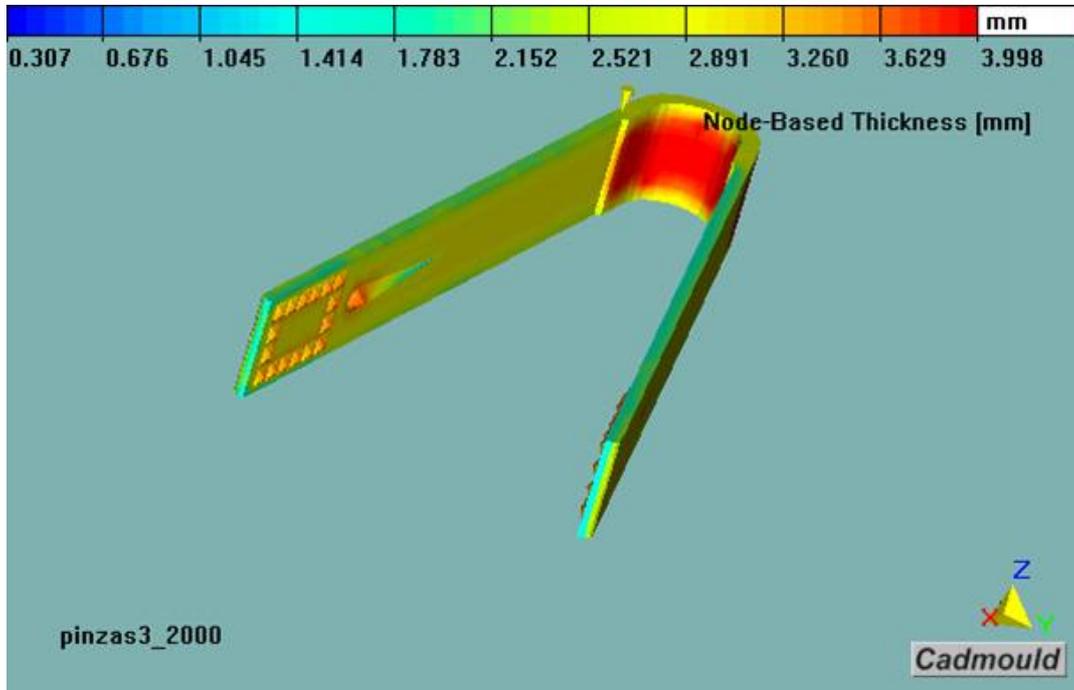
- BAUMANN, Martin. (2005). How to Maintain a Strong Relationship with Your Hot Runner Supplier: Mold making technology. [en línea], disponible en: <http://www.moldmakingtechnology.com/articles/110502.html> [2005, Octubre 15].
- CLIFFORD, Haydn, GRAHAM, Kevin. (2005). Three Influences that are critical to mold performance: Mold making technology. [en línea], disponible en: <http://www.moldmakingtechnology.com/articles/110504.html> [2005, Octubre 15].
- DICKIN, Peter. (2005). Moving Mold Design From 2-D to 3-D: Mold making technology. [en línea], disponible en: <http://www.moldmakingtechnology.com/articles/100504.html> [2005, Octubre 15].
- BLUNDY, John. (2005). Improving Shear-Induced Imbalance in Hot Runner Systems: Mold making technology. [en línea], disponible en: <http://www.moldmakingtechnology.com/articles/080504.html> [2005, Septiembre 02].

- FISH, Allan. (2004). How to Prevent Mold Inaccuracies: Mold making technology. [en línea], disponible en: <http://www.moldmakingtechnology.com/articles/040409.html> [2005, Agosto 16].
- GAULER, Kart, BLUNDY, John. (2004). Unitized Hot Runner Systems Reduce Errors and Save Time: Mold making technology. [en línea], disponible en: <http://www.moldmakingtechnology.com/articles/010403.html> [2005, Agosto 16].
- MENG, Bob. (2003). Quick Flow Analysis of Hot Runners: Mold making technology. [en línea], disponible en: <http://www.moldmakingtechnology.com/articles/050305.html> [2005, Septiembre 03].
- BOTT, James. (2003). How to Use Hot Runner Solutions to Help Your Customer: Mold making technology. [en línea], disponible en: <http://www.moldmakingtechnology.com/articles/040305.html> [2005, Septiembre 03].
- JUN, Bill. (2002). How to Design Hot Runner Plates: Mold making technology. [en línea], disponible en: <http://www.moldmakingtechnology.com/articles/100203.html> [2005, Sep 03].
- THIRLWELL, John. (2002). Seven Key Advantages of Hot Runner Systems: Mold making technology. [en línea], disponible en: <http://www.moldmakingtechnology.com/articles/040204.html> [2005, Octubre 3].
- BAUMANN, Martin. (2002). Why Choose a Valve-Gated Hot Runner?: Mold making technology. [en línea], disponible en: <http://www.moldmakingtechnology.com/articles/020201.html> [2005, Octubre 3].
- BAUMANN, Martin. (2000). How to Prevent Hot Runner Leaks: Mold making technology. [en línea], disponible en: <http://www.moldmakingtechnology.com/articles/020004.html> [2005, Agosto 15].
- WHITE, Michael. (2005). Advancing Mold Performance Using Hot Runner Technology: Mold making technology. [en línea], disponible en: <http://www.moldmakingtechnology.com/articles/040504.html> [2005, Agosto 15].

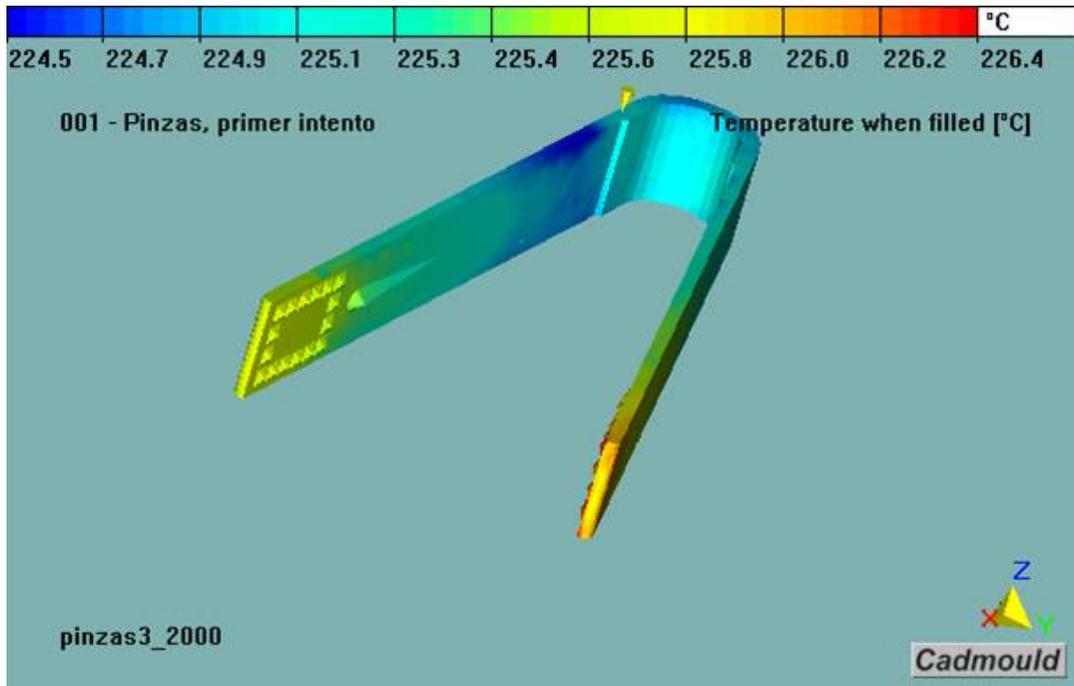
- SCHWENK, Terry. (2003). Hot Runners Help the Balancing Process: Mold making technology. [en línea], disponible en: <http://www.moldmakingtechnology.com/articles/120301.html> [2005, Agosto 15].
- PRIVARSA. (2005). Catalogo de porta moldes: Provedora industrial vargas, S.A. de C.V. [en línea], disponible en: <http://www.privarsa.com.mx/ProductosPortamoldes1.html> [ 2005, Agosto 16 ].
- SIMCON. (2005). cadmould CAE software for injection molding simcon kunststofftechnische software GmbH. [en línea], disponible en: <http://www.simcon-worldwide.com/SimconCadmould.jsp> [2005, Agosto 16].

## Anexos

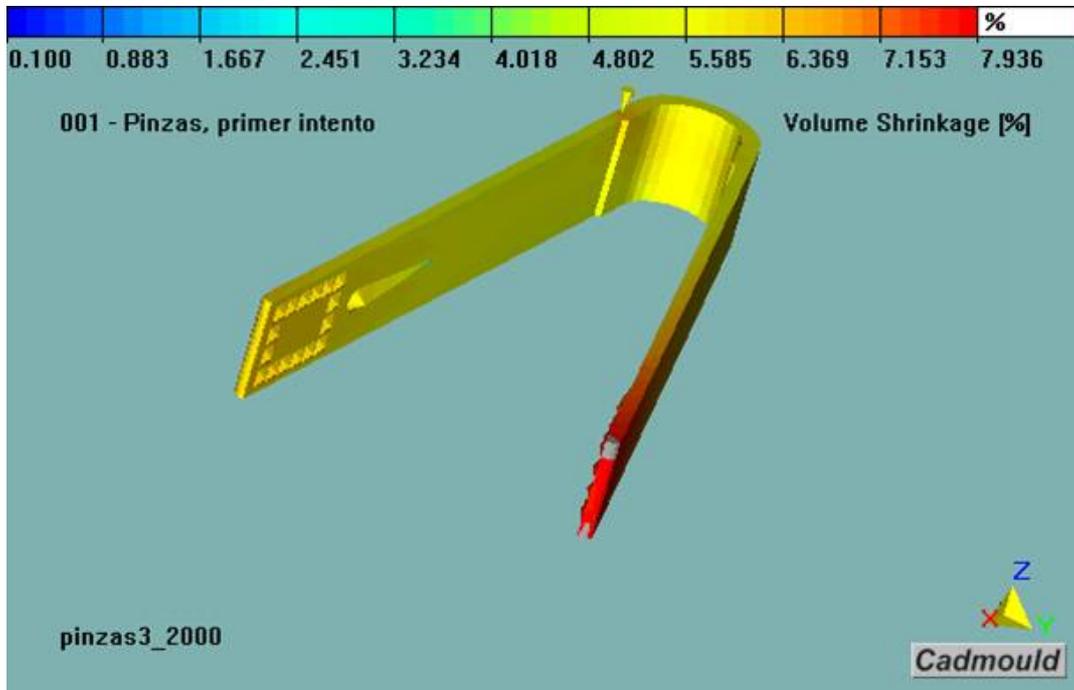
### Espesor de pared pinza cristal



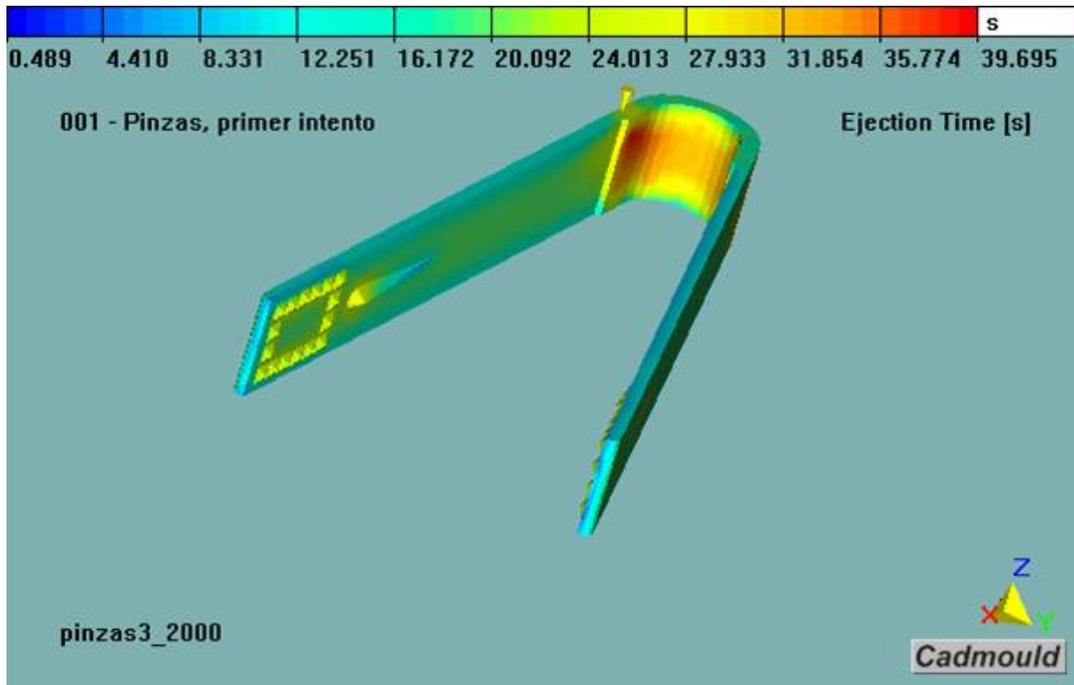
### Temperaturas durante llenado de pinza cristal



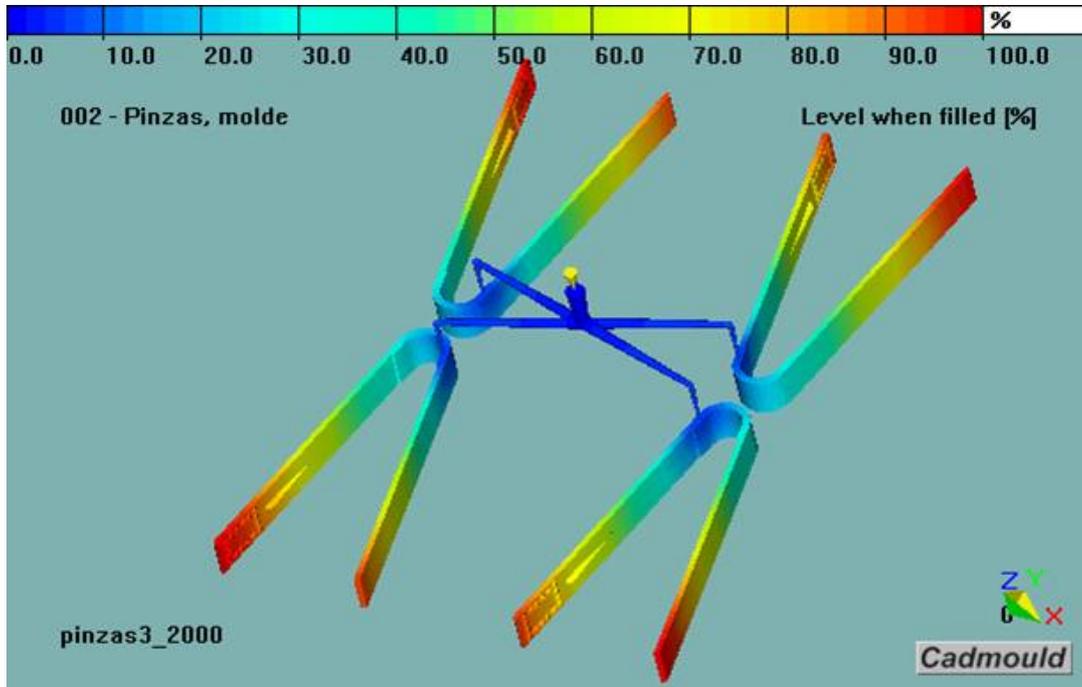
**Contracción volumétrica después de sostenimiento de inyección de pinza cristal.**



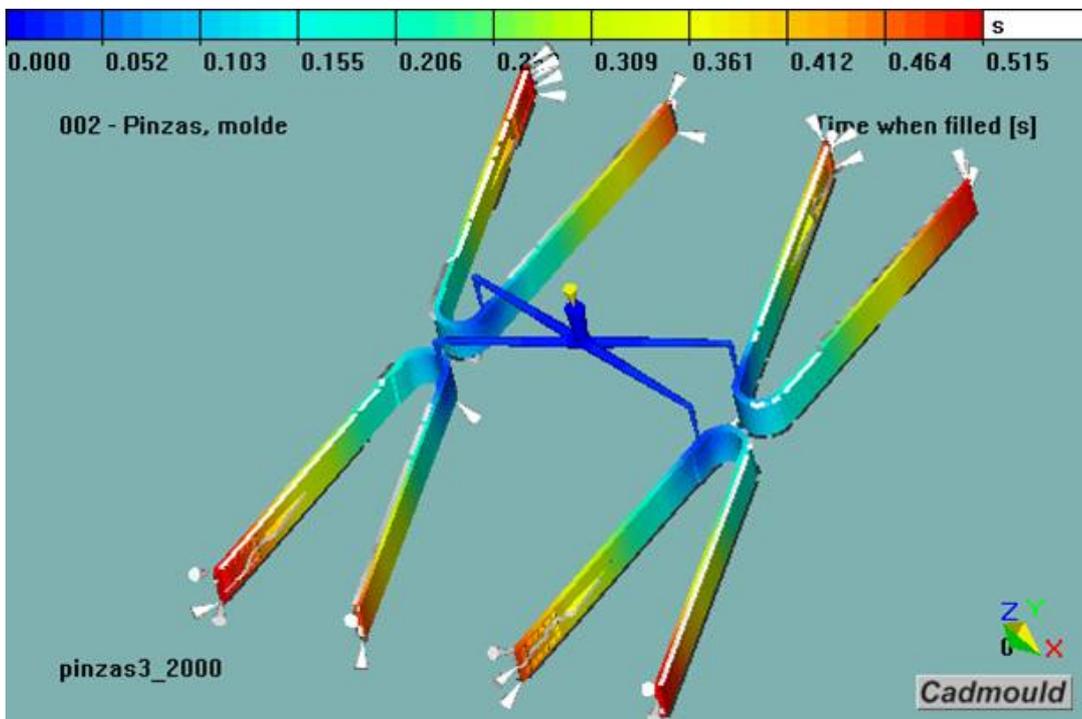
**Tiempo de expulsión necesario para evitar deformación de pinza cristal.**



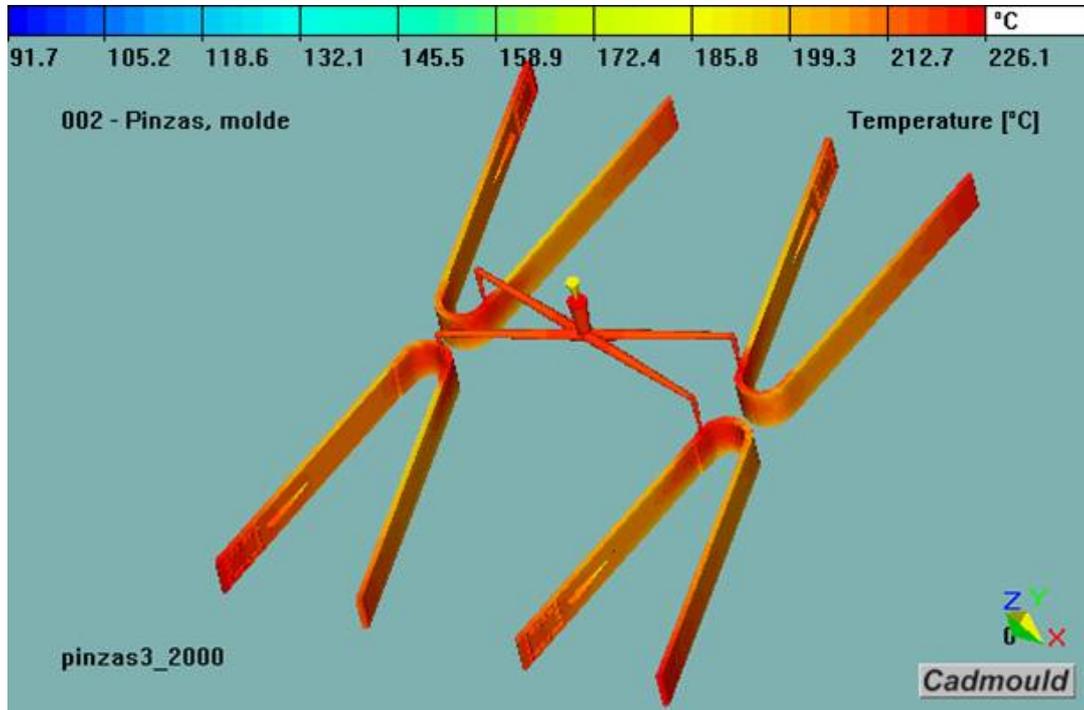
**Patrón basado en nivel de llenado de conjunto de inyección pinza cristal 4 cavidades**



**Aire atrapado y líneas de unión detectadas en conjunto de inyección pinza cristal 4 cavidades**



**Distribución de temperatura al terminar la inyección en conjunto de inyección pinza cristal 4 cavidades**



**Velocidad de llenado de conjunto de inyección pinza cristal 4 cavidades**

