

MOLDEO POR INYECCIÓN

**T E S I S**

PARA OBTENER EL GRADO DE:

**INGENIERO EN ROBÓTICA**

PRESENTA:

**ALEXIS DALAI WALDO JIMÉNEZ**

DIRECTOR DE TESIS:

**DR. CÉSAR PAÚL CARRILO DELGADO**

ASESOR:

**M.I.E. HUGO ANTONIO MÉNDEZ GUZMÁN**

Silao de la Victoria, Guanajuato, 9 de Octubre de 2019



## Sistema de Gestión Integral

Carta de autorización de impresión de  
proyecto de estadía

|         |                   |
|---------|-------------------|
| Código  | <b>R4I4PSGO01</b> |
| Versión | 01                |

Nombre del Proyecto

### REPORTE DE ESTADÍA

QUE COMO PARTE DE LOS REQUISITOS PARA ACREDITAR LA ASIGNATURA DE  
ESTADÍA

Ingeniería Robótica

Presenta:

Alexis Dalai Waldo Jiménez

AUTORIZA PUBLICACIÓN POR MEDIOS IMPRESOS Y/O ELECTRÓNICOS:

Asesor de la Empresa  
o institución:

ING. Néstor Fabián Calderón

Presidente:

M.I.E. Hugo Aantonio Méndez Guzmán

Secretario:

Por designar

Vocal:

Por designar

# Resumen

Esta tesis presenta el proceso completo para la fabricación de piezas de plástico empleando moldeo por inyección, haciendo énfasis en piezas automotrices.

Se analiza cada una de sus etapas, la fundición del material, el traslado de éste hacia el molde donde ocurre su solidificación, la compactación de la pieza y la extracción final para obtener el producto moldeado.

Se analizan todos los componentes de la máquina de inyección, entre los principales el cilindro de inyección y su husillo giratorio, las resistencias eléctricas, el sistema hidráulico que controla la máquina, y las diferentes partes que componen el molde de inyección como sus partes fija y móvil, los canales de alimentación, la cavidad y el sistema de enfriamiento.

También se estudian los parámetros de control de proceso, como la capacidad de inyección de la máquina, la masa a inyectar, presiones a la entrada y salida de la cavidad, fuerzas de cierre, tiempos de mantenimiento, temperaturas de trabajo, factores de contracción, entre otros.

Así mismo, se analizan los errores más comunes en la fabricación de una pieza producidos durante el proceso y se propone su posible solución.

Como proyecto se diseña un cortador digator.<sup>en</sup> base a los diseños CAD de un molde y pieza de un componente automotriz, dicho cortador es usado después de la etapa de extracción para eliminar los residuos finales de la pieza (coladas frías).

## **Aclaración legal.**

Algunos de los recursos de la tesis no son propios y se usan como material únicamente educativo con fin de comprender el proceso de moldeo por inyección, se agradece al Fondo europeo de desenvolvimiento rexional, al Fondo social de europa, a Privarsa, eDART, Audi y RJG Inc por el uso no lucrativo de sus recursos, además del apoyo bibliográfico digital reportado en su respectiva sección.

# Justificación

La industria del sector automotriz es de las que más evolución y automatización ha presentando en los últimos años, constantemente se proponen avances tecnológicos relacionados a éste campo, entre ellos los procesos de manufactura de piezas plásticas, éstas son fundamentales tanto en la estructura de funcionamiento del automóvil como en su estética interior y exterior.

La actualización constante del moldeo por inyección ha significado una mayor optimización del proceso, lo que traduce en mayor competencia y necesidad de continuar innovando.

En exportaciones, según cifras de Santander y del World Integrated Trade Solution, en México la recaudación monetaria obtenida de productos del sector automotriz presenta el mayor porcentaje del país, sumando 16 % seguido de unidades de procesamiento numérico (6.6 %) y aceites de crudo y petróleo con 6.6 % a datos de 2018.

Entre los principales clientes asociados se encuentra Estados Unidos con un 76.5 % de las exportaciones, seguido de Canadá con 3.1 % y china con a penas el 1.6 %. Entre los principales proveedores también lidera Estados Unidos con 46.6 % y China con 18 %. En cuanto al sector automotriz; Estados Unidos ocupa el segundo puesto mundial de producción de automóviles (a datos del año 2017) sólo por debajo de China.

A partir de lo anterior se observa la inmensa importancia que tiene la industria automotriz en México así como el papel que juega en la economía del país.

Se presenta la tesis en base a objetivos de comprensión del proceso completo para obtener aptitudes de proponer mejoras y soluciones al moldeo de piezas automotrices. Un avance en dicho tema significa mayor competitividad interna y externa del país.



# Objetivos generales

- Entender que es el moldeo por inyección y que papel juega en la industria automotriz.
- Analizar porque es importante el moldeo por inyección en para la economía de México.
- Comprender el funcionamiento general de una máquina de inyección.
- Identificar los componentes principales de la máquina de inyección.
- Comprender el funcionamiento general de un molde de inyección.
- Analizar las variantes y componentes en moldes de inyección.
- Comprender las variables del proceso de inyección, como presiones, temperaturas y velocidades.

# Objetivos específicos

- Identificar los cálculos matemáticos necesarios para controlar el proceso de moldeo por inyección.
- Analizar el sistema RJG para monitoreo de presiones en el proceso de moldeo.
- Corroborar el estudio de parámetros de inyección para corregir posibles fallas en piezas moldeadas.
- Proponer un sistema de corte de colada para reducir tiempo ciclo en una pieza moldeada en base a sus dibujos CAD.

# Índice general

|          |                                                                                                   |           |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Introducción</b>                                                                               | <b>12</b> |
| <b>2</b> | <b>Máquina de Inyección</b>                                                                       | <b>13</b> |
| 2.1      | Principio de funcionamiento de la máquina de inyección . . . . .                                  | 13        |
| 2.2      | Componentes de la máquina de inyección . . . . .                                                  | 14        |
| 2.2.1    | Tolva (5) . . . . .                                                                               | 14        |
| 2.2.2    | Dosificador y mecanismo que lo actúa (2,4) . . . . .                                              | 14        |
| 2.2.3    | Cilindro de inyección (9) . . . . .                                                               | 15        |
| 2.2.4    | Pistones hidráulicos de inyección (1,3,17) . . . . .                                              | 15        |
| 2.2.5    | Husillo (8) . . . . .                                                                             | 18        |
| 2.2.6    | Boquilla (12) . . . . .                                                                           | 22        |
| 2.2.7    | Resistencias eléctricas para el calentamiento del husillo (7) . . . . .                           | 23        |
| 2.2.8    | Platinas y molde fijo y móvil (10, 12, 14, 16) . . . . .                                          | 25        |
| 2.2.9    | Circuitos de agua para el enfriamiento del cilindro del husillo y del molde<br>(6, 15,) . . . . . | 26        |
| 2.2.10   | Sistemas de cierre (17) . . . . .                                                                 | 26        |
| <b>3</b> | <b>Molde de Inyección</b>                                                                         | <b>28</b> |
| 3.0.1    | Estructura y Sistema de guiado . . . . .                                                          | 28        |
| 3.1      | Sistema de alimentación . . . . .                                                                 | 31        |
| 3.1.1    | Anillo centrador . . . . .                                                                        | 31        |
| 3.1.2    | Bebedero . . . . .                                                                                | 32        |
| 3.1.3    | Canales de alimentación . . . . .                                                                 | 32        |
| 3.1.4    | Entradas a la cavidad (Gates) . . . . .                                                           | 38        |
| 3.1.5    | Cavidades . . . . .                                                                               | 42        |
| 3.2      | Sistema de refrigeración . . . . .                                                                | 43        |
| 3.3      | Sistema de partición, desmoldeo y expulsión . . . . .                                             | 46        |
| <b>4</b> | <b>Sistema RJG y control de procesos</b>                                                          | <b>49</b> |
| 4.1      | Sistema RJG . . . . .                                                                             | 49        |
| 4.2      | Metodología para el control del proceso . . . . .                                                 | 62        |
| 4.2.1    | Etapas de llenado . . . . .                                                                       | 62        |
| 4.2.2    | Etapas de compactación . . . . .                                                                  | 67        |
| 4.2.3    | Etapas de extracción . . . . .                                                                    | 70        |
| <b>5</b> | <b>Extras</b>                                                                                     | <b>71</b> |
| 5.1      | Control de defectos . . . . .                                                                     | 71        |
| 5.1.1    | Por contracción (Deformaciones) . . . . .                                                         | 71        |

|          |                                                           |            |
|----------|-----------------------------------------------------------|------------|
| 5.1.2    | Por marcas en la piel (Errores visuales) . . . . .        | 78         |
| 5.2      | Introducción a los plásticos . . . . .                    | 82         |
| 5.2.1    | Clasificación de los plásticos . . . . .                  | 82         |
| 5.2.2    | Plásticos más usados en el moldeo por inyección . . . . . | 84         |
| 5.2.3    | Características físico mecánicas . . . . .                | 88         |
| 5.2.4    | Capacidad de inyección . . . . .                          | 88         |
| 5.2.5    | Factor de corrección . . . . .                            | 88         |
| 5.2.6    | Factor de contracción . . . . .                           | 89         |
| 5.2.7    | Temperaturas de trabajo del husillo . . . . .             | 89         |
| <b>6</b> | <b>Proyecto</b>                                           | <b>90</b>  |
| 6.1      | Introducción . . . . .                                    | 90         |
| 6.2      | Desarrollo del proyecto . . . . .                         | 92         |
| 6.2.1    | Análisis . . . . .                                        | 93         |
| 6.2.2    | Modelado . . . . .                                        | 99         |
| <b>7</b> | <b>Conclusiones</b>                                       | <b>112</b> |
| <b>8</b> | <b>Bibliografía</b>                                       | <b>113</b> |

# Índice de figuras

|      |                                                                                     |    |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.1  | <i>Primera máquina de inyección moderna . . . . .</i>                               | 12 |
| 2.1  | <i>Representación de una máquina de inyección . . . . .</i>                         | 13 |
| 2.2  | Componentes de la maquina de inyección . . . . .                                    | 14 |
| 2.3  | <i>Tolva . . . . .</i>                                                              | 15 |
| 2.4  | <i>Dosificador . . . . .</i>                                                        | 15 |
| 2.5  | <i>Cilindro de inyección . . . . .</i>                                              | 16 |
| 2.6  | Composición de un pistón hidráulico . . . . .                                       | 16 |
| 2.7  | <i>a) Pistón simple efecto b) Pistón doble efecto . . . . .</i>                     | 17 |
| 2.8  | <i>Uso de pistones en máquinas de inyección . . . . .</i>                           | 17 |
| 2.9  | <i>Unidad de inyección tipo husillo . . . . .</i>                                   | 18 |
| 2.10 | <i>Dimensiones ideales husillo de inyección . . . . .</i>                           | 18 |
| 2.11 | <i>Variantes en las dimensiones ideales del husillo de inyección . . . . .</i>      | 19 |
| 2.12 | <i>Variantes en las dimensiones ideales del husillo de inyección . . . . .</i>      | 20 |
| 2.13 | <i>Esquema del funcionamiento del mecanismo del husillo . . . . .</i>               | 21 |
| 2.14 | <i>Esquema análisis de durezas Rockwell . . . . .</i>                               | 21 |
| 2.15 | <i>Válvula de no retorno. a) Abierta — b) Cerrada . . . . .</i>                     | 22 |
| 2.16 | <i>a) Abierta b) De interrupción mecánica simple c) Válvula de aguja . . . . .</i>  | 23 |
| 2.17 | <i>Diseño de boquillas y bebederos . . . . .</i>                                    | 23 |
| 2.18 | <i>Resistencia eléctrica . . . . .</i>                                              | 24 |
| 2.19 | <i>Manta aislante de resistencia eléctrica . . . . .</i>                            | 24 |
| 2.20 | <i>Platinas y molde fijo y móvil . . . . .</i>                                      | 25 |
| 2.21 | <i>Representación apertura de molde . . . . .</i>                                   | 26 |
| 2.22 | <i>a) Sistema mecánico — b) Sistema hidráulico . . . . .</i>                        | 26 |
| 3.1  | <i>Diagrama de despliegue molde de inyección . . . . .</i>                          | 28 |
| 3.2  | <i>a) Platina móvil — b) Platina fija . . . . .</i>                                 | 29 |
| 3.3  | <i>CAD molde cerrado . . . . .</i>                                                  | 29 |
| 3.4  | <i>CAD molde abierto . . . . .</i>                                                  | 30 |
| 3.5  | <i>Apertura sistema de guiado . . . . .</i>                                         | 30 |
| 3.6  | <i>Sistema de guiado . . . . .</i>                                                  | 31 |
| 3.7  | <i>Anillo centrador . . . . .</i>                                                   | 31 |
| 3.8  | <i>Representación esquemática de molde a 1 cavidad . . . . .</i>                    | 32 |
| 3.9  | <i>Canales de alimentación . . . . .</i>                                            | 32 |
| 3.10 | <i>Deficiente flujo del plástico en la cavidad de la pieza . . . . .</i>            | 33 |
| 3.11 | <i>Diferencia en análisis respecto al mallado . . . . .</i>                         | 33 |
| 3.12 | <i>Distribución de presión en el flujo del plástico representación 3D . . . . .</i> | 34 |
| 3.13 | <i>Distribución de presión en el flujo del plástico representación 2D . . . . .</i> | 34 |

|      |                                                                                        |    |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.14 | <i>Distribución de presión en el flujo del plástico representación 2D 2 . . . . .</i>  | 35 |
| 3.15 | <i>Distribución de canales de alimentación . . . . .</i>                               | 35 |
| 3.16 | <i>Distribución de canales de alimentación 2 . . . . .</i>                             | 35 |
| 3.17 | <i>Distribución de canales de alimentación 3 . . . . .</i>                             | 36 |
| 3.18 | <i>Distribución de canales de alimentación 4 . . . . .</i>                             | 36 |
| 3.19 | <i>Distribución de canales de alimentación 5 . . . . .</i>                             | 37 |
| 3.20 | <i>Representación de colada fría en pieza de inyección . . . . .</i>                   | 37 |
| 3.21 | <i>Entrada a la cavidad en pieza de inyección . . . . .</i>                            | 38 |
| 3.22 | <i>Gate . . . . .</i>                                                                  | 38 |
| 3.23 | <i>Bebedores a)Balanceados — b)No balanceados . . . . .</i>                            | 39 |
| 3.24 | <i>Tipos de gates . . . . .</i>                                                        | 41 |
| 3.25 | <i>Sistema de alimentación . . . . .</i>                                               | 42 |
| 3.26 | <i>Representación esquemática de molde a 1 cavidad . . . . .</i>                       | 42 |
| 3.27 | <i>Representación esquemática de molde a 4 cavidades . . . . .</i>                     | 43 |
| 3.28 | <i>Canales de enfriamiento . . . . .</i>                                               | 44 |
| 3.29 | <i>Termorregulador . . . . .</i>                                                       | 44 |
| 3.30 | <i>Correcta distribución de los canales de enfriamiento, vista superior . . . . .</i>  | 45 |
| 3.31 | <i>Correcta distribción de los canales de enfriamiento, vista inferior . . . . .</i>   | 45 |
| 3.32 | <i>Principio hidráulico de un termorregulador . . . . .</i>                            | 46 |
| 3.33 | <i>Sistema de desmoleo . . . . .</i>                                                   | 46 |
| 3.34 | <i>Representación de la pieza dentro del molde . . . . .</i>                           | 47 |
| 3.35 | <i>CAD sistema de desmoleo . . . . .</i>                                               | 47 |
| 3.36 | <i>Representación de las barras de los expulsores . . . . .</i>                        | 48 |
| 3.37 | <i>Representación del sistema de las barras de los expulsores . . . . .</i>            | 48 |
| 4.1  | <i>Ciclo de moldeado . . . . .</i>                                                     | 50 |
| 4.2  | <i>Tiempos del ciclo de moldeado . . . . .</i>                                         | 50 |
| 4.3  | <i>Tiempos del ciclo de moldeado . . . . .</i>                                         | 51 |
| 4.4  | <i>Tiempos del ciclo de moldeado . . . . .</i>                                         | 51 |
| 4.5  | <i>Distribución de presiones . . . . .</i>                                             | 52 |
| 4.6  | <i>Sistema de presiones RJG 1 . . . . .</i>                                            | 52 |
| 4.7  | <i>Sistema de presiones RJG 2 . . . . .</i>                                            | 55 |
| 4.8  | <i>Sistema de presiones RJG 3 . . . . .</i>                                            | 56 |
| 4.9  | <i>Sistema de presiones RJG 4 . . . . .</i>                                            | 58 |
| 4.10 | <i>Sistema de presiones RJG 5 . . . . .</i>                                            | 60 |
| 4.11 | <i>Ejemplo CAD de pieza inyectada . . . . .</i>                                        | 62 |
| 4.12 | <i>Recorrido de flujo . . . . .</i>                                                    | 64 |
| 4.13 | <i>Curvaturas para calculo de presion de inyeccion . . . . .</i>                       | 65 |
| 4.14 | <i>Transmisión de presión en la cavidad . . . . .</i>                                  | 66 |
| 4.15 | <i>Tiempo óptimo de inyección . . . . .</i>                                            | 66 |
| 4.16 | <i>Rebaba: Contracción en amorfos y semicristalinos según la temperatura . . . . .</i> | 67 |
| 4.17 | <i>Rebaba en pieza: Defecto de producción . . . . .</i>                                | 67 |
| 4.18 | <i>Factores de contracción . . . . .</i>                                               | 68 |
| 4.19 | <i>Comportamiento de la temperatura en la pared del molde en cada ciclo . . . . .</i>  | 69 |

|      |                                                                                                                                                                       |     |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.1  | <i>Evolución termodinámica; 0-1: Llenado volumétrico, 1-2: Compresión, 2-3: Presión de mantenimiento, 4-5: Enfriamiento de desmoldeo, 5-6: Enfriamiento ambiente.</i> | 71  |
| 5.2  | <i>Representación de las contracciones en una pieza</i>                                                                                                               | 72  |
| 5.3  | <i>Relación tiempo de mantenimiento y contracción</i>                                                                                                                 | 73  |
| 5.4  | <i>Relación presión de mantenimiento y contracción</i>                                                                                                                | 73  |
| 5.5  | <i>Relación temperatura del molde y contracción</i>                                                                                                                   | 74  |
| 5.6  | <i>Contracción a diferentes temperaturas</i>                                                                                                                          | 74  |
| 5.7  | <i>Deformación en nervio de la pieza</i>                                                                                                                              | 75  |
| 5.8  | <i>Deformación en esquinas de la pieza</i>                                                                                                                            | 75  |
| 5.9  | <i>Deformación en discos</i>                                                                                                                                          | 76  |
| 5.10 | <i>Deformación en la geometría</i>                                                                                                                                    | 76  |
| 5.11 | <i>Deformación en los bordes</i>                                                                                                                                      | 77  |
| 5.12 | <i>Rebabas</i>                                                                                                                                                        | 77  |
| 5.13 | <i>Error por pretuberancias en la pieza</i>                                                                                                                           | 78  |
| 5.14 | <i>Error por diferencias de brillo; principalmente en las esquinas</i>                                                                                                | 78  |
| 5.15 | <i>Error por diferencias de brillo; principalmente en las esquinas</i>                                                                                                | 79  |
| 5.16 | <i>Error por humedad</i>                                                                                                                                              | 80  |
| 5.17 | <i>Error por degradación</i>                                                                                                                                          | 80  |
| 5.18 | <i>Error por depresiones superficiales</i>                                                                                                                            | 81  |
| 5.19 | <i>Error por atrapamientos de aire en la pieza</i>                                                                                                                    | 81  |
| 5.20 | <i>Temperaturas de trabajo del husillo del ABS</i>                                                                                                                    | 85  |
| 5.21 | <i>Temperaturas de trabajo del husillo del PET de alta presión - para baja presión temperaturas recomendadas pueden aumentar entre 20 y 50°</i>                       | 86  |
| 5.22 | <i>Temperaturas de trabajo del husillo del PPP</i>                                                                                                                    | 87  |
| 5.23 | <i>Temperaturas de trabajo del husillo del PS</i>                                                                                                                     | 88  |
| 5.24 | <i>Características físico - mecánicas de los plásticos más usados en moldeo por inyección</i>                                                                         | 89  |
| 6.1  | <i>Colada fría en pieza de inyección</i>                                                                                                                              | 90  |
| 6.2  | <i>End of arm tool</i>                                                                                                                                                | 91  |
| 6.3  | <i>Audi Q3</i>                                                                                                                                                        | 92  |
| 6.4  | <i>CAD Panel frontal AQ3</i>                                                                                                                                          | 92  |
| 6.5  | <i>Tamaño del molde</i>                                                                                                                                               | 94  |
| 6.6  | <i>Vista en perspectiva de la cavidad</i>                                                                                                                             | 94  |
| 6.7  | <i>Vista lateral corta</i>                                                                                                                                            | 95  |
| 6.8  | <i>Vista lateral corta</i>                                                                                                                                            | 95  |
| 6.9  | <i>Apertura del molde</i>                                                                                                                                             | 96  |
| 6.10 | <i>Molde cerrado</i>                                                                                                                                                  | 96  |
| 6.11 | <i>Ubicación de coladas en la pieza</i>                                                                                                                               | 97  |
| 6.12 | <i>Ubicación de coladas en la pieza 2</i>                                                                                                                             | 97  |
| 6.13 | <i>Ubicación de los lifters o expulsores</i>                                                                                                                          | 98  |
| 6.14 | <i>Ubicación de los lifters o expulsores 2</i>                                                                                                                        | 98  |
| 6.15 | <i>Ubicación de los lifters o expulsores vista desde la pieza</i>                                                                                                     | 99  |
| 6.16 | <i>Ejemplo de sistema de corte 1</i>                                                                                                                                  | 99  |
| 6.17 | <i>Ejemplo de sistema de corte 1.1</i>                                                                                                                                | 100 |
| 6.18 | <i>Ejemplo de sistema de corte 2</i>                                                                                                                                  | 100 |

|      |                                                                     |     |
|------|---------------------------------------------------------------------|-----|
| 6.19 | <i>Ejemplo de sistema de corte 2.1</i>                              | 101 |
| 6.20 | <i>Componentes del sistema de corte</i>                             | 101 |
| 6.21 | <i>Perfil para la estructura — Conectores de perfil</i>             | 102 |
| 6.22 | <i>Plano del perfil</i>                                             | 102 |
| 6.23 | <i>Abrazadera</i>                                                   | 103 |
| 6.24 | <i>CAD Abrazadera — Abrazadera con sus tornillos</i>                | 103 |
| 6.25 | <i>CAD Sujetador del pistón</i>                                     | 104 |
| 6.26 | <i>Plano Sujetador del pistón</i>                                   | 104 |
| 6.27 | <i>Pistón — Entrada de la tubería neumática</i>                     | 105 |
| 6.28 | <i>Plano del pistón</i>                                             | 105 |
| 6.29 | <i>CAD Cortador</i>                                                 | 106 |
| 6.30 | <i>Plano del cortador</i>                                           | 106 |
| 6.31 | <i>Ensamble entre perfiles</i>                                      | 107 |
| 6.32 | <i>Ensamble entre perfiles</i>                                      | 107 |
| 6.33 | <i>Ensamble entre perfiles</i>                                      | 108 |
| 6.34 | <i>Ensamble entre perfiles</i>                                      | 108 |
| 6.35 | <i>Sistema de corte para panel de la puerta</i>                     | 109 |
| 6.36 | <i>Sistema de corte para panel de la puerta - Vista lateral</i>     | 109 |
| 6.37 | <i>Plano del largo del sistema de corte para panel de la puerta</i> | 110 |
| 6.38 | <i>Plano del ancho del sistema de corte para panel de la puerta</i> | 111 |

# Capítulo 1

## Introducción

El moldeo por inyección es un proceso que consiste en inyectar un polímero, un cerámico o un metal a presión en estado fundido en un molde cerrado. El molde contiene una cavidad con una forma previamente establecida en la que el material se solidifica para formar así una pieza determinada. El molde tiene la capacidad de separarse en dos partes para permitir la extracción de la pieza.

Las principales industrias a la que está orientado el moldeo por inyección es la automotriz y la aeroespacial, esto por la versatilidad de piezas que pueden moldearse, por su rapidez de fabricación, su diseño escalable y sus altos niveles de producción a bajo costo. El proceso también facilita el trabajo con complicadas geometrías las cuales sería imposible llevarse a cabo por otras técnicas. Cabe destacar que esta técnica se usa principalmente en piezas cosméticas, es decir piezas decorativas para el interior o exterior del vehículo, así como juguetes o contenedores pequeños.

En 1872 se registró la primera patente de una máquina de inyección, sin embargo ésta era demasiado rústica como para ser viable, tenía casi nula automatización y resultaba peligroso interactuar manualmente con el plástico fundido, por ello es que no es hasta 1872 que se atribuye la introducción de la máquina de inyección moderna a la empresa alemana Cellon-Werkw.



Figura 1.1: *Primera máquina de inyección moderna*

A la par de los alemanes, la compañía Inglesa F.A. Hughes Ltd trabajó en su propia máquina de inyección, logrando así la primera producción en masa registrada por una máquina de inyección, dicho artículo fue un estilógrafo o pluma fuente.



# Capítulo 2

## Máquina de Inyección

### 2.1. Principio de funcionamiento de la máquina de inyección

El proceso de moldeo por inyección consiste en fundir un material termoplástico dentro de un cilindro y hacerlo fluir con ayuda de un pistón o un husillo giratorio hacia un molde colocado en una prensa hidráulica.

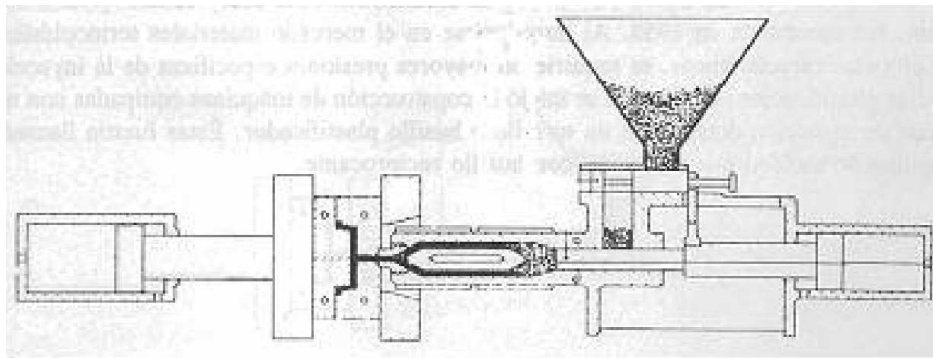


Figura 2.1: *Representación de una máquina de inyección*

El material plástico previamente secado en un silo es llevado a la tolva de la máquina con ayuda de una bomba de vacío, una vez ahí un motor hidráulico acciona el husillo giratorio, el diámetro de la sección transversal interior del husillo tendrá sentido creciente, mientras que el diámetro de las aspás permanecerá igual, esto con el fin de aumentar la presión final ejercida antes de ingresar el termoplástico al molde, así como lograr la temperatura para su fundido por el fenómeno de fricción.

El husillo está recubierto por potentes resistencias que ayudan al fundido del material.

Una vez el material sale de la unidad de inyección mediante la boquilla del husillo ingresa a la unidad de moldeo, la cual está montada en una prensa hidráulica o mecánica integrada por dos placas portamoldes, una fija y una móvil, mientras ambas estén unidas formarán una cavidad con la forma de la pieza a producir. La parte móvil del molde permite la extracción de la pieza una vez que se solidifica después del proceso de enfriamiento, al abrirse la parte móvil ingresa un robot para extraer la pieza y continuar con el proceso.

## 2.2. Componentes de la máquina de inyección

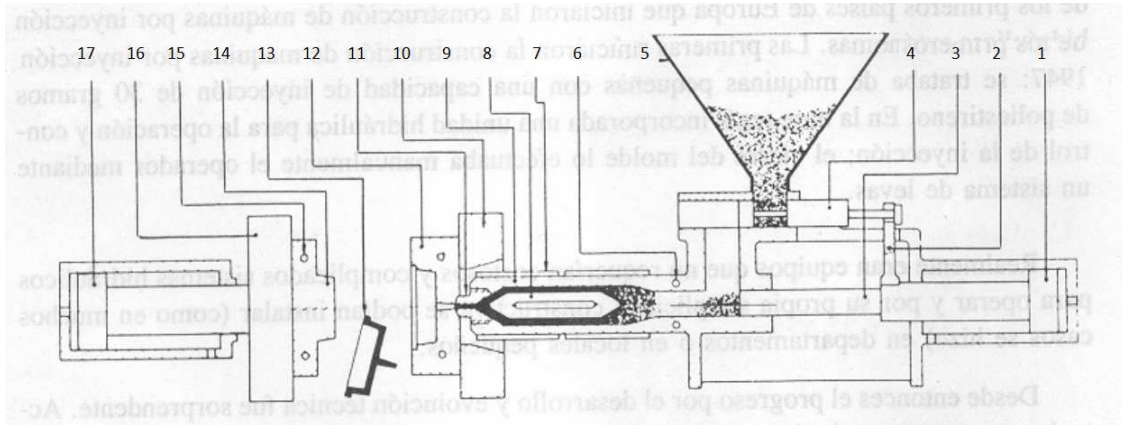


Figura 2.2: Componentes de la maquina de inyección

-1. Pistón hidráulico de inyección -2. Brazo que actúa el dosificador -3. Pistón de inyección -4. Dosificador -5. Tolva -6. Circuito de agua para el enfriamiento del cilindro -7. Resistencias eléctricas para el calentamiento del cilindro -8. Torpedo (Actualmente sustituido por un Husillo) -9. Cilindro de inyección -10. Platina fija -11. Boquilla -12. Molde fijo -13. Pieza moldeada -14. Molde móvil -15. Circuito de agua para el enfriamiento del molde -16. Platina móvil -17. Sistema de cierre de molde.

### 2.2.1. Tolva (5)

La tolva es el depósito donde se colocan los gránulos o resina de plástico que se usarán en el proceso.

Existen tolvas de secado que reducen la humedad del material que está siendo inyectado, eliminando así el uso de secadores independientes a la máquina, el uso de unos u otros depende del tamaño de producción, entre mayor sea más recomendable será el uso de un secador exterior.

Los sistemas de extrusión con mayor grado de automatización cuentan con sistemas de transporte de material desde contenedores hasta la tolva, por medios neumáticos, mecánicos o por bombas de vacío.

### 2.2.2. Dosificador y mecanismo que lo actúa (2,4)

Un dosificador es un dispositivo que tiene la finalidad de suministrar controladamente y de manera precisa un determinado material sin importar los cambios de presión y corriente, en éste caso gránulos de plástico.

Los dosificadores funcionan normalmente mediante un motor paso a paso (sin escobillas) el cual garantiza la misma fiabilidad en todo el rango de funcionamiento. Su mantenimiento es mínimo debido a su sistema de desmontado rápido que facilita su limpieza.

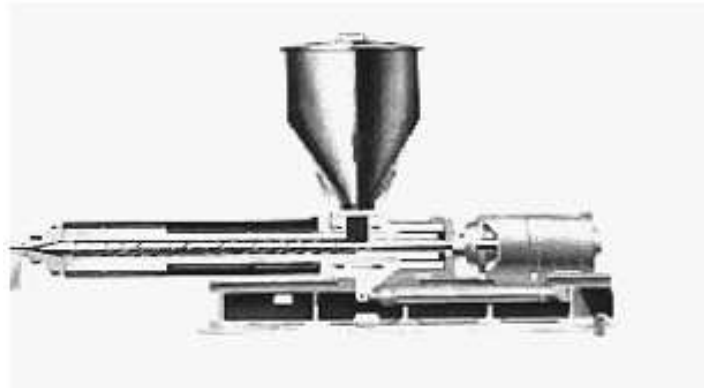


Figura 2.3: *Tolva*

Éstos funcionan en conjunto con sensores de posición que ayudan a detectar la cantidad de material que hay en la tolva.



Figura 2.4: *Dosificador*

### 2.2.3. Cilindro de inyección (9)

Aquí es donde el termoplástico se transforma de sólido a líquido. La calidad de la pieza inyectada depende de la distribución de las temperaturas dentro del cilindro, la homogeneidad del plástico fundido, la no existencia de material degradado y la ausencia de aire y humedad en el interior de la masa; Una mala distribución de éstos factores conllevará una pieza de mala calidad.

Sobre éste cilindro se encuentran montadas las bandas calefactoras que contienen las resistencias eléctricas (vea la sección 2.2.8 para mayor información).

El cilindro es capaz de soportar altas presiones y temperaturas provocadas por la fricción de los gránulos de plástico y el husillo. Los barriles de moldeo por inyección suelen tener una relación longitud / diámetro (L/D) de 20:1, o de 26:1 en máquinas de alta producción.

### 2.2.4. Pistones hidráulicos de inyección (1,3,17)

Los pistones hidráulicos o motores hidráulicos lineales son instrumentos mecánicos usados para aplicar una fuerza de presión a otros componentes de la máquina a través de un recorrido

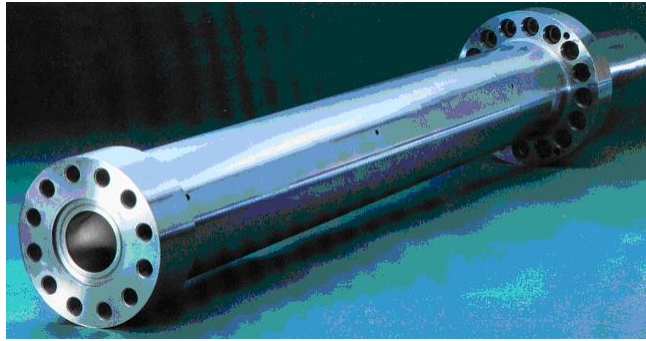


Figura 2.5: *Cilindro de inyección*

lineal.

Estos cilindros sirven para manipular diferentes componentes de la máquina de inyección como los expulsores (encargados de liberar la pieza ya solidificada del molde móvil), la platina móvil (adherida al molde móvil) y el cilindro de inyección (Encargado de todo el traslado de la resina del proceso).

La mayoría de los pistones hidráulicos se componen de un barril cilíndrico, un "pistón" y una varilla de émbolo.



Figura 2.6: Composición de un pistón hidráulico

El pistón, dentro del barril, se conecta con la varilla del émbolo; El movimiento se produce gracias a la presión generada por el aceite hidráulico que al entrar al cilindro empuja el pistón, el cual hace que la varilla salga. Cuando el aceite regresa a su depósito de reserva, la varilla regresa a su posición inicial.

#### Cilindros hidráulicos más comunes:

- **Cilindro simple efecto:** Movimiento únicamente controlable en un sentido (avance normalmente), se caracteriza por tener una sola conexión hidráulica.
- **Cilindro de doble efecto:** Movimiento controlable en ambos sentidos con dos conexiones hidráulicas, una para extraer el pistón y la otra para contraerlo.

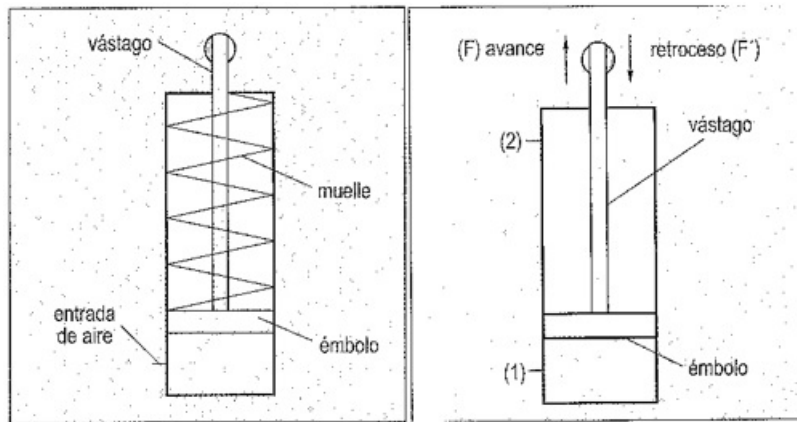


Figura 2.7: a) *Pistón simple efecto* b) *Pistón doble efecto*

En la inyección del plástico los cilindros hidráulicos son utilizados para componentes dentro y fuera del molde.

Fuera del molde los cilindros o pistones hidráulicos encontrarán su función en el desplazamiento del carro que contiene el cilindro del husillo y permitir monitorear y ajustar la fuerza de cierre y la velocidad así como proveer movimiento a la parte móvil de la platina y el molde.

Dentro del molde son los encargados de la expulsión de la pieza ya solidificada.

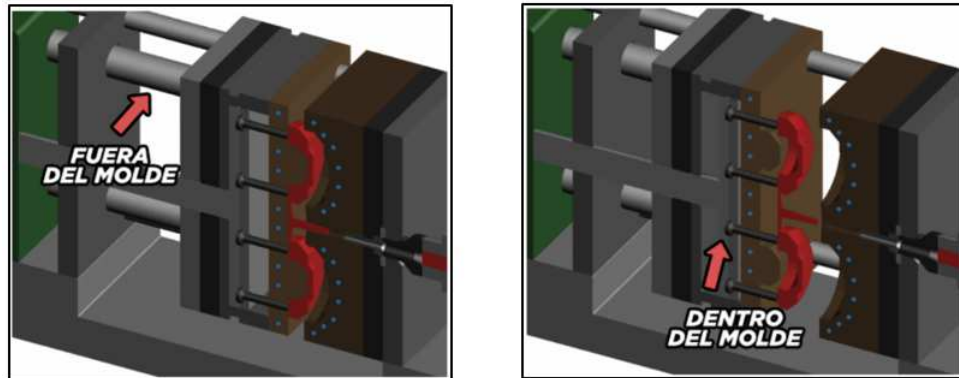


Figura 2.8: *Uso de pistones en máquinas de inyección*

Es importante considerar factores para su buen desempeño como el diámetro, presión máxima de operación, diámetro de la varilla, recorrido máximo y mínimo del pistón y el tipo de cilindro utilizado.

### 2.2.5. Husillo (8)

Existen unidades de inyección de husillo, de émbolo y de husillo - émbolo, la configuración tipo tornillo (husillo) distribuye el calor de manera más uniforme que las demás, por ello es la utilizada.

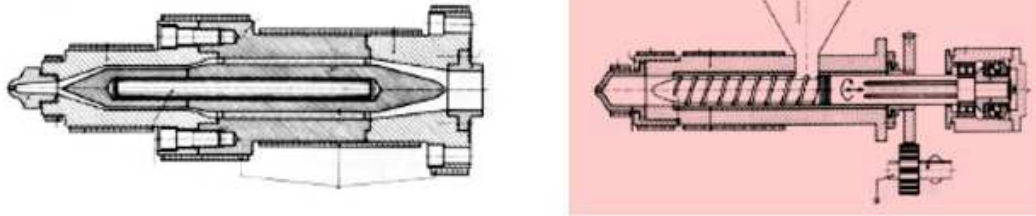


Figura 2.9: *Unidad de inyección tipo husillo*

En el diseño del husillo se consideran tres zonas con su respectiva función cada una:

- **Zona de alimentación:** Es la parte inicial del husillo, por ahí es por donde ingresa la resina contenida en la tolva.
- **Zona de compresión:** En esta zona se tiene una reducción en el diámetro interior del tornillo, esto provoca el calor por fricción necesario para el fundido del material. Producto de la compresión el aire es desplazado hacia la zona anterior.
- **Zona de dosificación:** Zona donde se produce la mezcla y homogeneización final del producto fundido.

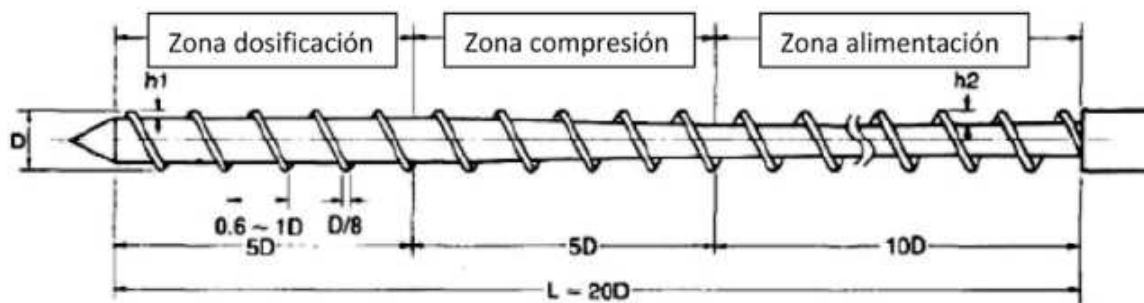


Figura 2.10: *Dimensiones ideales husillo de inyección*

Las dimensiones ideales varían dependiendo del termoplástico utilizado, cambiando sobre todo la de la zona de compresión, en materiales semicristalinos la longitud de esta zona será más corta que en materiales amorfos. Como se muestra en la figura 17:

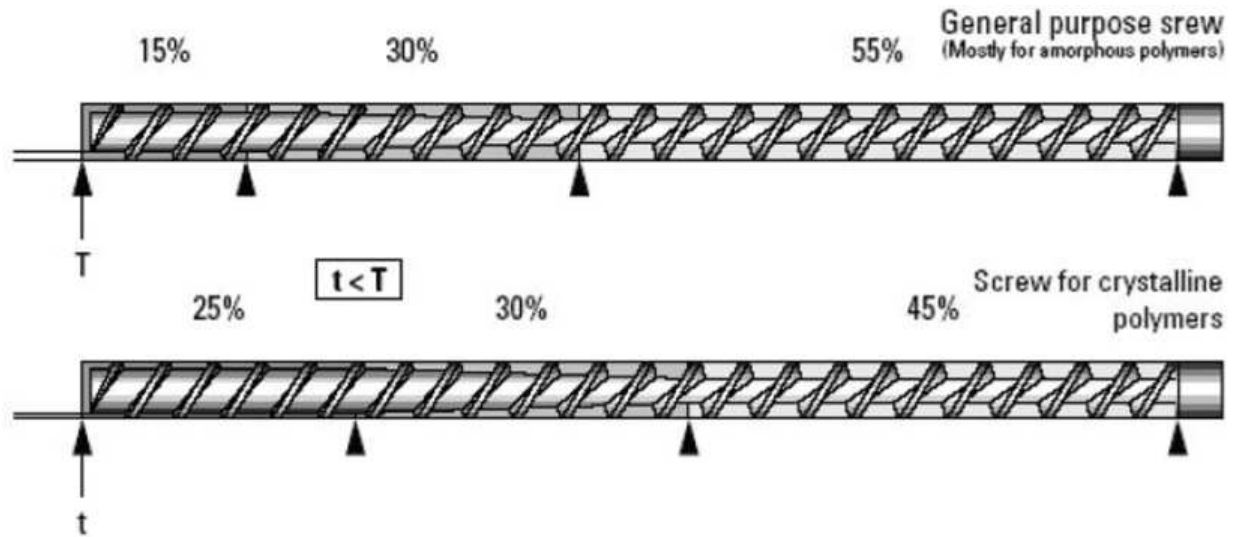


Figura 2.11: Variantes en las dimensiones ideales del husillo de inyección

En la figura 2.12 se observa una representación más detallada sobre las dimensiones ideales del husillo en base al tipo de plástico a utilizar.



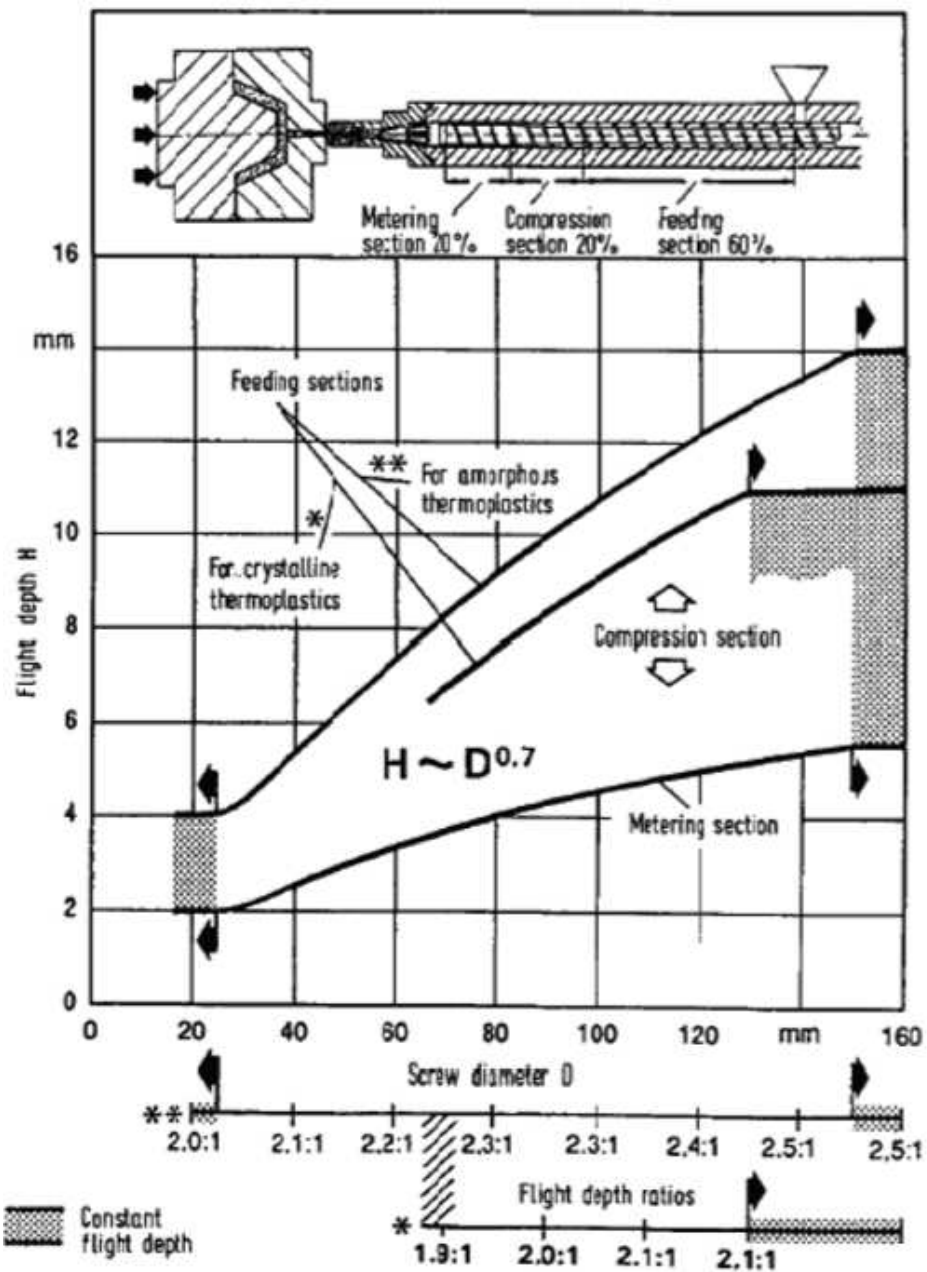


Figura 2.12: Variantes en las dimensiones ideales del husillo de inyección



Para que este proceso sea efectivo debe existir contrapresión a la carga y la reducción periódica del diámetro del husillo no debe ser agresiva.

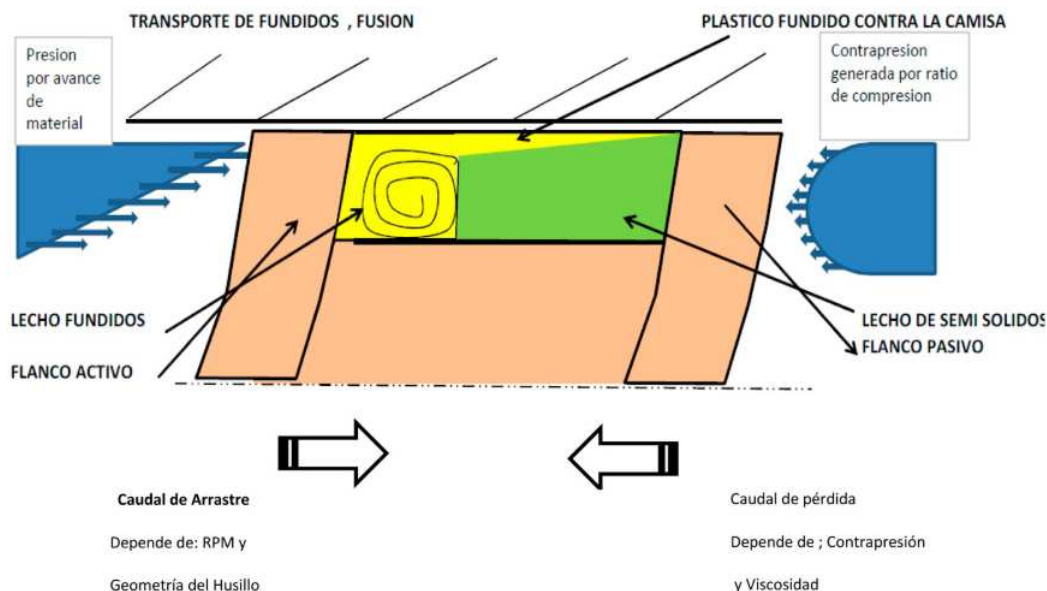


Figura 2.13: Esquema del funcionamiento del mecanismo del husillo

Para que el material avance a través del cilindro la fricción entre la resina y el husillo debe ser menor que la fricción contra la camisa del cilindro.

Existen diversos materiales para la construcción del tornillo, haciendo un análisis de Durezas de Rockwell (método para determinar la dureza de un material a ser penetrado) observamos que el material más rentable es el nitrurado, cuya capa óptima de dureza ronda después de los 0.5mm, superando así al bimetálico que requiere de más de 2mm para lograrlo, 4 veces más.

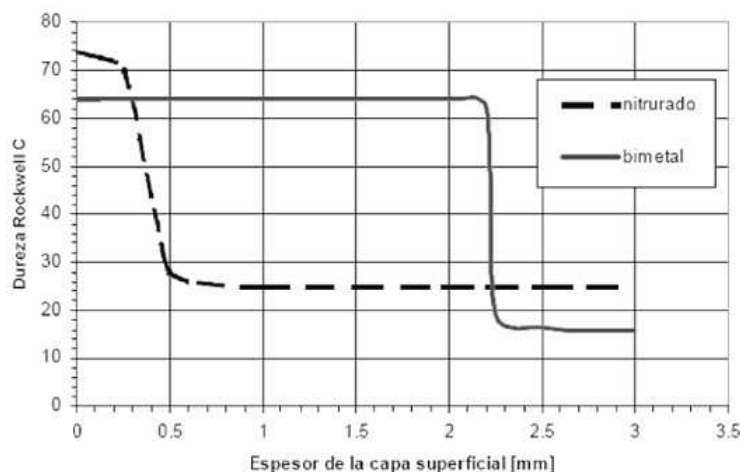


Figura 2.14: Esquema análisis de durezas Rockwell

No es necesario dar mantenimiento preventivo tan constantemente al husillo, sin embargo existen factores a considerar éste plazo en función a que tanto desgastan su cubierta, como lo son:

- Material del que está construido el conjunto husillo / diámetro
- Diseño del husillo
- Parámetros de inyección
- Tipos de materiales procesados (retardante de llama, refuerzos, etc)
- Los cilindros y husillos más utilizados son con acero nitrurado con capa dura superficial de un espesor de entre 0,4 a 0,5 mm.

#### 2.2.5.1. Válvula de no retorno

También llamadas "válvula check" sirven para impedir el retroceso del material una vez se está inyectando en el molde, están constituidas por un anillo que se desliza sobre el cilindro; mientras el husillo gira la válvula permanece abierta, lo que permite el flujo del material al extremo del tornillo, cuando el tornillo realiza su movimiento hacia adelante para inyectar el material la válvula se cierra para lograr un retroceso de material nulo.

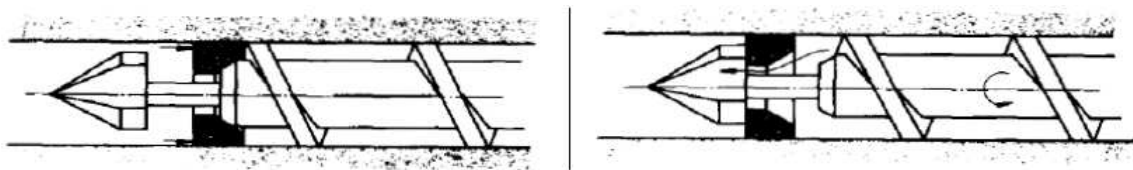


Figura 2.15: *Válvula de no retorno. a) Abierta — b) Cerrada*

Éste tipo de válvulas se desgasta frecuentemente por lo que deben ser remplazadas para impedir pérdidas en la presión de la cámara de plastificación.

Un bajo mantenimiento

#### 2.2.6. Boquilla (12)

Cómo se mencionó anteriormente su función principal es la de conducir el polímero fundido desde el cilindro hasta el interior del molde.

La boquilla está atornillada al final del cilindro y lo conecta con la parte fija del molde por medio de la platina fija.

Existen dos tipos principales de boquilla (Figura 23):

- **Boquilla abierta:** Es la más usada por no presentar zonas en donde el plástico pueda atorarse y por su fácil mecanismo (nulo). Sin embargo, los materiales fundidos de baja viscosidad como el nylon suelen presentar fugas en este tipo de boquilla.

- **Boquilla con cierre:** Hay dos tipos principales de boquillas con cierre, la primera (a) es encerrada por un sistema mecánico externo simple, la placa se desliza en la dirección que indica la flecha.

En la boquilla válvula de aguja con un muelle evita que existan fugas o escapes de material. La válvula se abre cuando la presión del plástico excede de un determinado valor o bien cuando la boquilla es presionada contra el molde.

Las boquillas de cierre tienen la desventaja de que pueden restringir el flujo de material causando estancamiento.

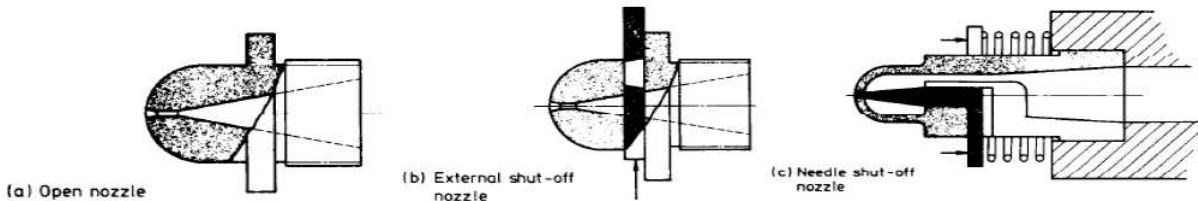


Figura 2.16: a) Abierta b) De interrupción mecánica simple c) Válvula de aguja

El diseño de la boquilla depende del tipo de polímero y molde con el que se trabaje, también debe considerarse su capacidad de mantener la temperatura del plástico para evitar retenciones del material.

El tamaño del diámetro del bebedero (parte del molde donde sobre la que se apoya la boquilla) debe sobrepasar entre 1 y 2 mm al de la boquilla para evitar retenciones del material como se muestra en la figura 24 (casos a y b), si se usa una boquilla redonda la curvatura de la punta también debe ser menor que la del asiento del molde (caso c).

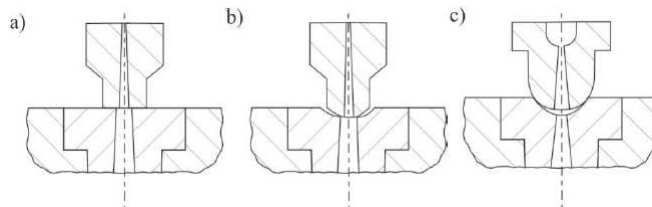


Figura 2.17: Diseño de boquillas y bebederos

### 2.2.7. Resistencias eléctricas para el calentamiento del husillo (7)

Aplicando el Efecto Joule (si en un conductor circula corriente eléctrica, parte de la energía cinética de los electrones se transforma en calor debido a los choques que sufren con los átomos del material conductor por el que circulan, elevando la temperatura del mismo) podemos ser capaces de combinar un resistor con una corriente eléctrica para generar energía calorífica, así es como funciona una resistencia eléctrica.

Existen máquinas de inyección en las que el calentado del molde se da mediante resistencias eléctricas y no por termorreguladores, sin embargo éstas son poco comunes, normalmente se

utilizan para mantener la temperatura del fundido o compensar las pérdidas de calor, la fricción del husillo proporciona del 80 % al 90 % del calor necesario para la fundición del plástico, las resistencias se encargan del faltante.

Hay una gran variedad de modelos: de abrazadera con aislamiento de mica, de abrazadera con aislamiento de cerámica, de abrazadera con tubular blindada y microtubulares helicoidales, pero finalmente todas tienen la misma función.



Figura 2.18: *Resistencia eléctrica*

Tanto con un tipo de aislamiento como con otro, las resistencias están aisladas y protegidas eléctricamente con cubiertas con chasis de acero inoxidable, a su vez éstas pueden rodearse por una manta aislante.



Figura 2.19: *Manta aislante de resistencia eléctrica*

Podemos dividir los tipos de resistencias según su temperatura de trabajo, normalmente se clasifican en 2:

- Hasta 250°C: con aislamiento de mica. La carga de superficie máxima admisible es de 4W/cm<sup>2</sup>.
- Más de 250°C: con aislamiento cerámico. La carga de superficie máxima admisible es de 9W/cm<sup>2</sup>.

Como mantenimiento preventivo podemos revisar su estado de conducción con la fórmula:

$$V \cdot V \backslash W$$

Si tenemos una resistencia cuyo data sheet indica que trabaja a 200 watts y 240 volts;

$$\frac{(240V) \times (240V)}{200W} = \frac{\text{Voltaje} \times \text{Voltaje}}{\text{Wattaje}} = \frac{57,600}{200} = 288 \text{ OHMS.}$$

Comprobamos el resultado con la medición marcada en el multímetro y no deberíamos obtener una variación mayor al 10%.

### 2.2.8. Platinas y molde fijo y móvil (10, 12, 14, 16)

Como ya se mencionó anteriormente, las platinas son las encargadas de permitir la apertura y el cierre del molde. La parte fija del molde se monta sobre su respectiva platina, de igual manera para la parte móvil (Vea la sección “Estructura y sistema de guiado” 3.0.1 para mayor información).

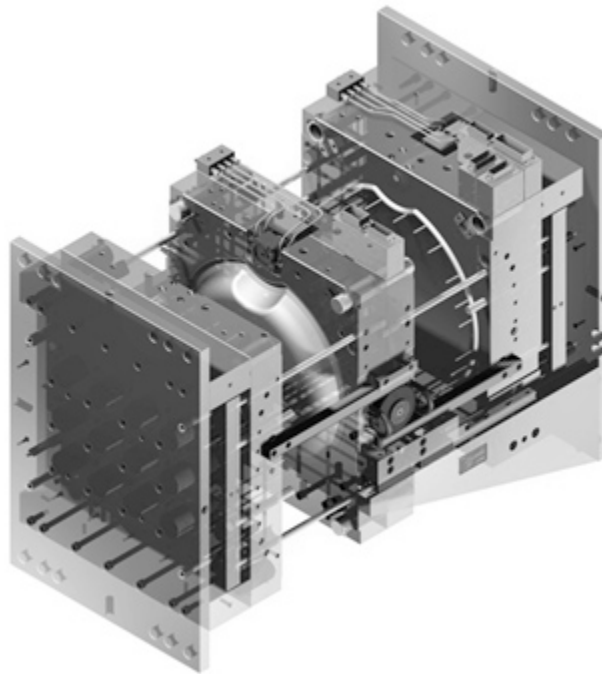


Figura 2.20: *Platinas y molde fijo y móvil*

### 2.2.9. Circuitos de agua para el enfriamiento del cilindro del husillo y del molde (6, 15,)

La resina entra al molde en estado líquido producto de su fundido en la etapa de inyección, para la solidificación de la pieza es necesaria la reducción de temperatura, la cual se logra mediante canales de refrigeración dentro del molde. (Vea la sección "Sistema de refrigeración" 3.2 para mayor información).

### 2.2.10. Sistemas de cierre (17)

Para la etapa de compactación es necesario mantener las dos partes del molde unidas. Por ello, es necesario disponer de un sistema de apriete.

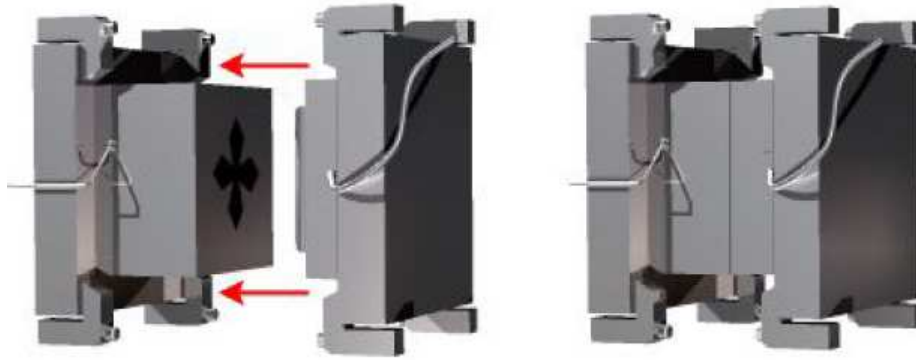


Figura 2.21: *Representación apertura de molde*

Existen dos sistemas de cierre principales, el mecánico y el hidráulico (Figura 29), las ventajas y desventajas de cada uno se muestran en la tabla 2.

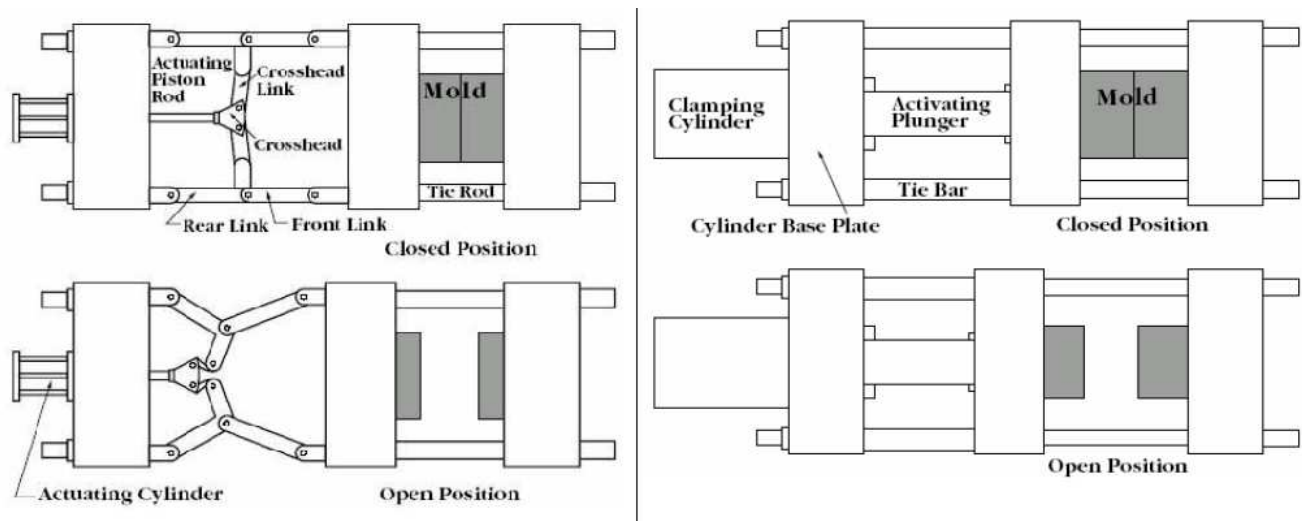


Figura 2.22: a) *Sistema mecánico* — b) *Sistema hidráulico*

| SISTEMA    | VENTAJAS                              | DESVENTAJAS                                                    |
|------------|---------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| HIDRÁULICO | CONFIGURACIÓN RÁPIDA DEL MOLDE        | REQUIERE GRAN VOLUMEN DE ACEITE HIDRÁULICO                     |
|            | FACIL LECTURA DE PRESIONES DE TRABAJO | COSTES DE OPERACIÓN MÁS ELEVADOS                               |
|            | BAJO MANTENIMIENTO                    | REQUIERE MAYOR ESPACIO FÍSICO PARA SU FUNCIONAMIENTO           |
|            | BAJA DEFLECCIÓN EN LA PLATINA         |                                                                |
| MECÁNICO   | MAS BARATO                            | REQUIERE MAYOR MANTENIMIENTO                                   |
|            | MAYOR VELOCIDAD DE CIERRE Y APERTURA  | LA FUERZA DE CIERRE NO SE CONCENTRA EN EL CENTRO DE LA PLATINA |
|            | MENOR COSTE DE OPERACIÓN              | DIFICIL DE AJUSTAR                                             |

Cuadro 2.1: Ventajas y desventajas de sistemas de cierre

Vea la fuerza de cierre en la sección .Etapa de llenado 4.2.1 para mayor información.

# Capítulo 3

## Molde de Inyección

Los moldes de inyección se dividen en 3 partes, su estructura general, el sistema de alimentación; que es el encargado de conducir el termoplástico hasta la cavidad del molde, el sistema de refrigeración necesario para la correcta solidificación de la pieza, el sistema de desmoldeo que permite la extracción de la pieza del interior del molde y el sistema de expulsión de la pieza.

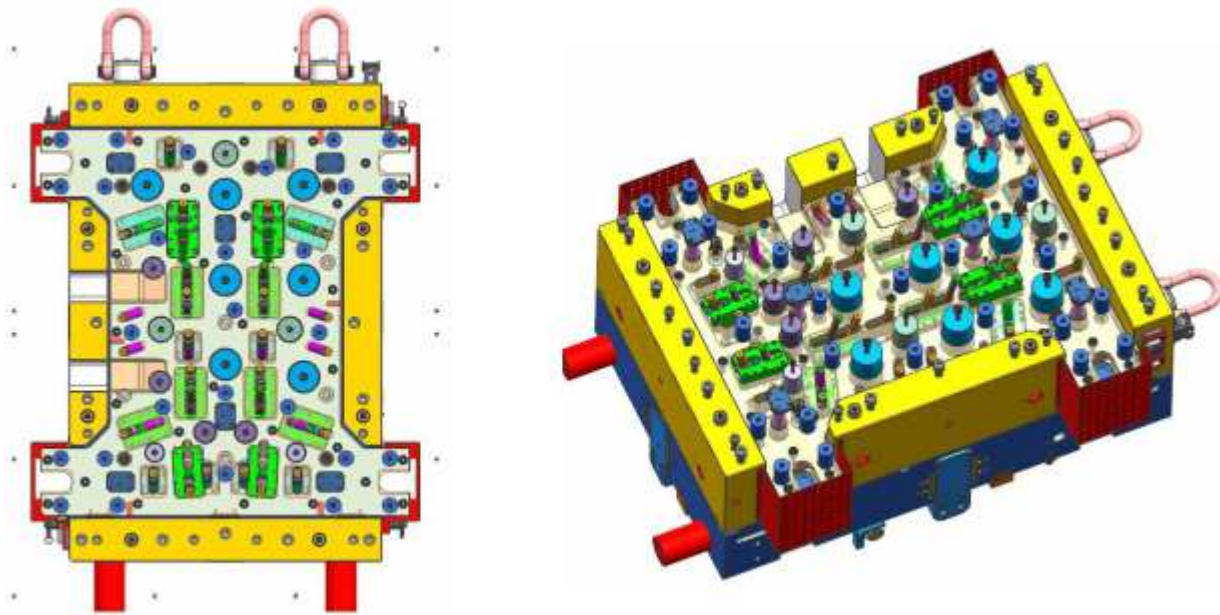


Figura 3.1: *Diagrama de despliegue molde de inyección*

### 3.0.1. Estructura y Sistema de guiado

La máquina de inyección consta de dos placas o platinas, una móvil(marcada en color verde en la figura 3.2) que es la que permite mediante un mecanismo de apertura la extracción de la pieza después de su solidificación y una fija (marcada en azul) que es la que permite introducir el termoplástico en el molde, el molde también se divide en parte móvil y fija, las cuales se montan en su respectiva platina con el uso de tornillos sujetos al perímetro exterior del molde con



ayuda de los agujeros rosacados en la platina (marcados en color rojo),

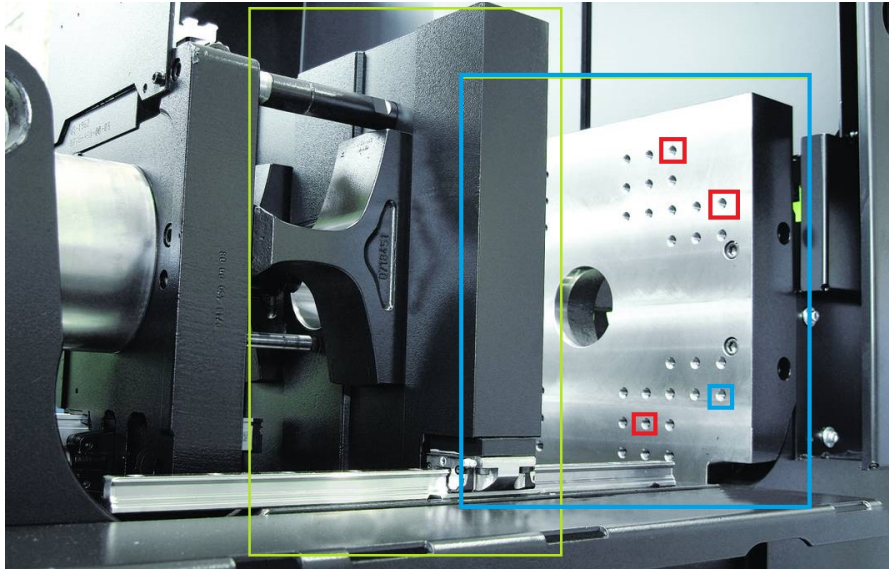


Figura 3.2: a) *Platina móvil* — b) *Platina fija*

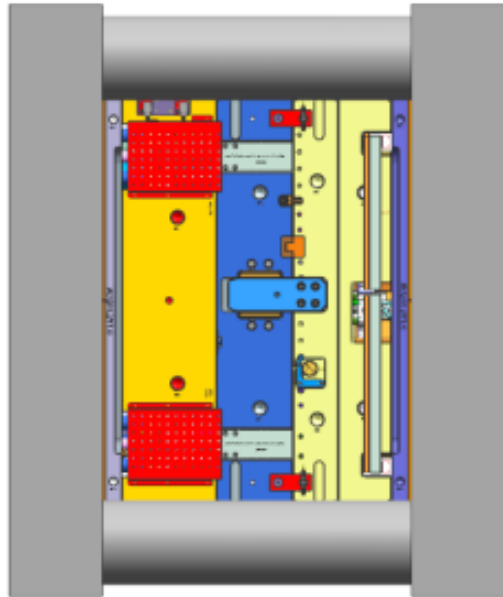


Figura 3.3: *CAD molde cerrado*

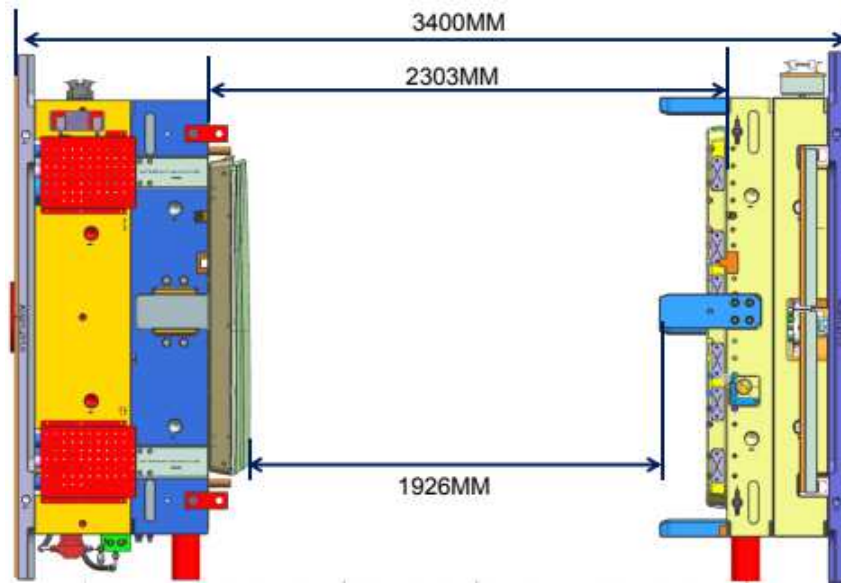


Figura 3.4: *CAD molde abierto*

Se usa un "Sistema de guiado" para asegurar la correcta unión y desplazamiento de ambas partes del molde; es compuesto por 4 postes guía ubicados en las esquinas de la parte móvil del molde, mientras que la parte fija tiene sus respectivos orificios por éstos entran al cerrar.

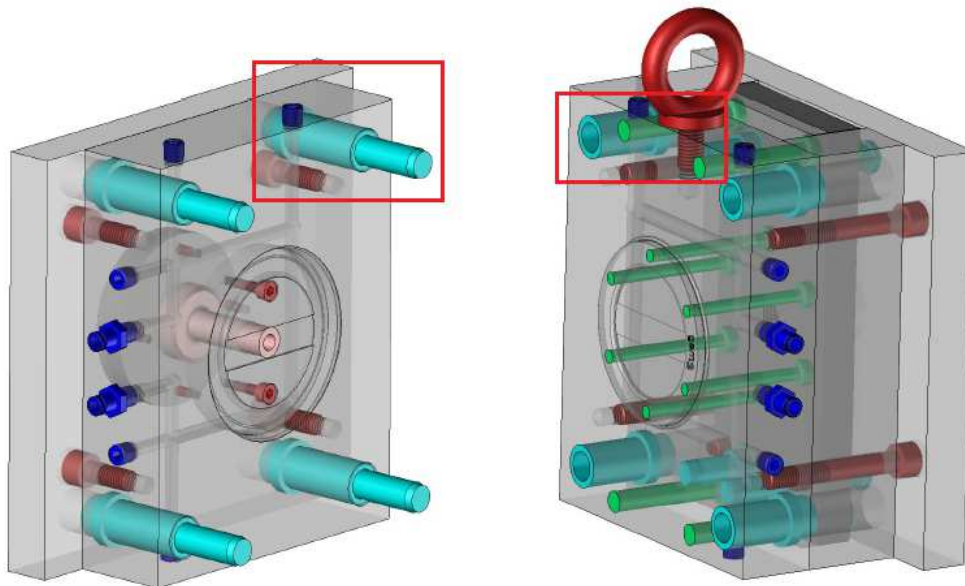


Figura 3.5: *Apertura sistema de guiado*

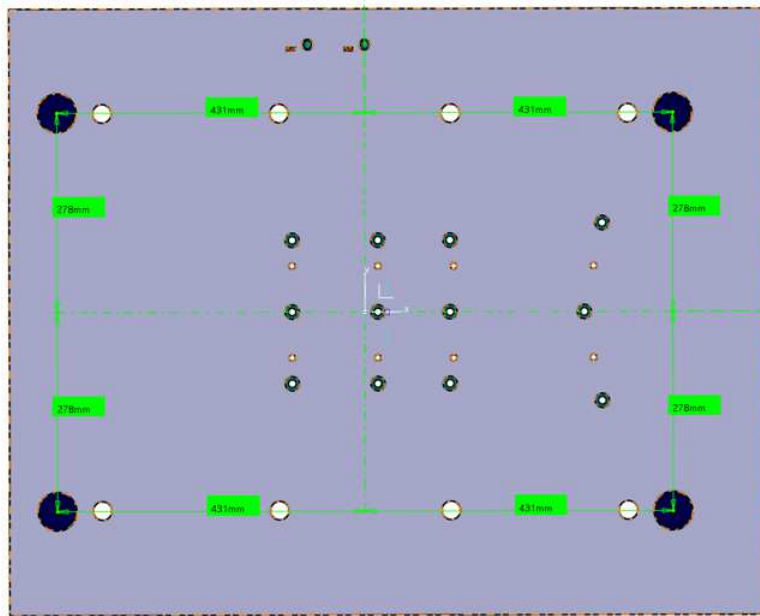


Figura 3.6: *Sistema de guiado*

## 3.1. Sistema de alimentación

### 3.1.1. Anillo centrador

Asegura la correcta alineación de la boquilla con el molde

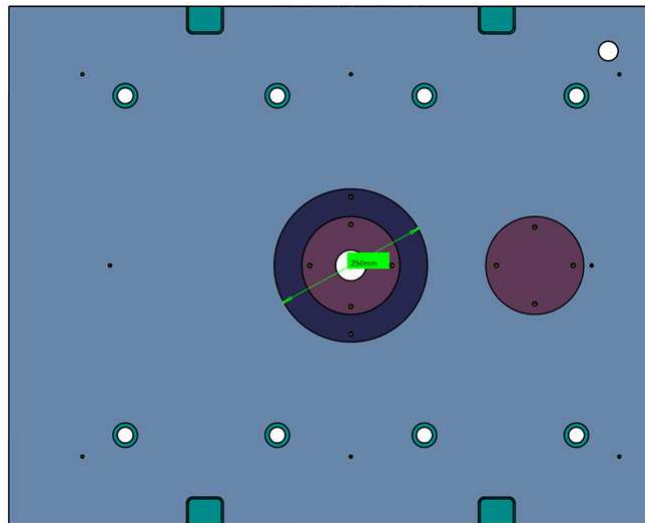


Figura 3.7: *Anillo centrador*

### 3.1.2. Bebedero

Es el canal que une la boquilla del cilindro de inyección con el molde y se encuentra en su parte fija. Cuando se purga o se desmoldea la máquina el plástico solidificado en su interior es cortado por un sistema de cuchillas para que deslice más fácilmente .

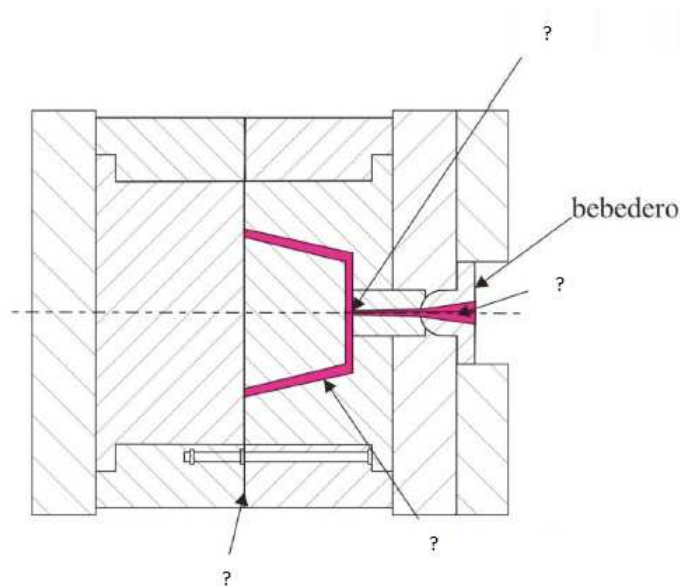


Figura 3.8: Representación esquemática de molde a 1 cavidad

### 3.1.3. Canales de alimentación

Una vez el plástico entra por el bebedero fluye por los canales de alimentación para llegar a la entrada de la cavidad.

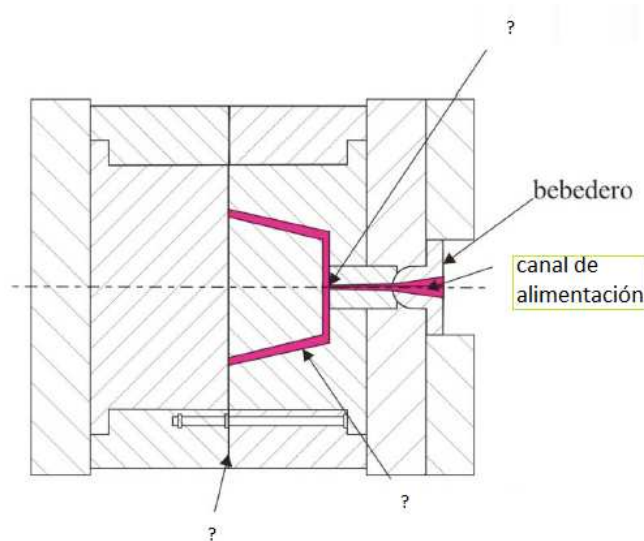


Figura 3.9: Canales de alimentación

El análisis del número de canales de alimentación también es importante, los beneficios de dicho estudio son:

### 3.1.3.1. LLenado correcto del molde

Una buena distribución en los canales de alimentación asegura el correcto llenado del molde, si dicho llenado no es potencialmente inconstante en sus partes puede dar lugar a defectos por ráfagas” (Marcas en la pieza por velocidades diferentes en el llenado de la cavidad) y desfiguros en la pieza.

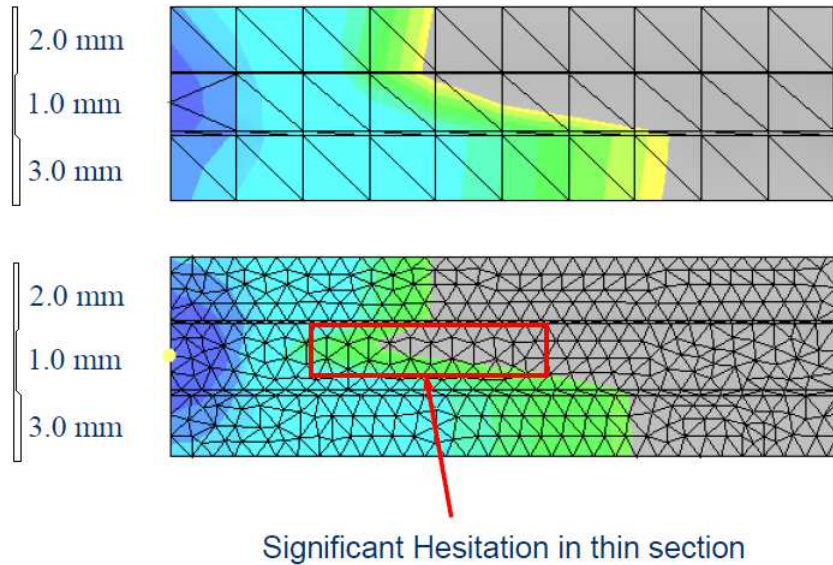


Figura 3.10: Deficiente flujo del plástico en la cavidad de la pieza

Pueden usarse programas de simulación para predecir el flujo del material, pero si no se tiene cuidado las simulaciones pueden no ser precisas, entre más fino sea el mallado mejor.

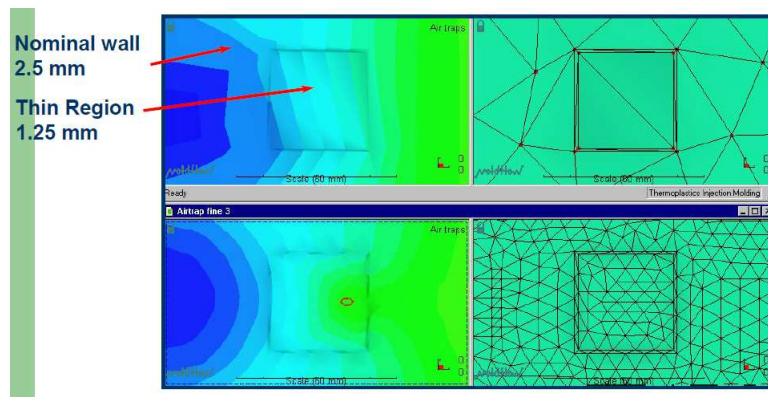


Figura 3.11: Diferencia en análisis respecto al mallado



La cavidad presenta mayor presión en las puertas del canal de alimentación, reduciéndose así a lo largo de la pieza.

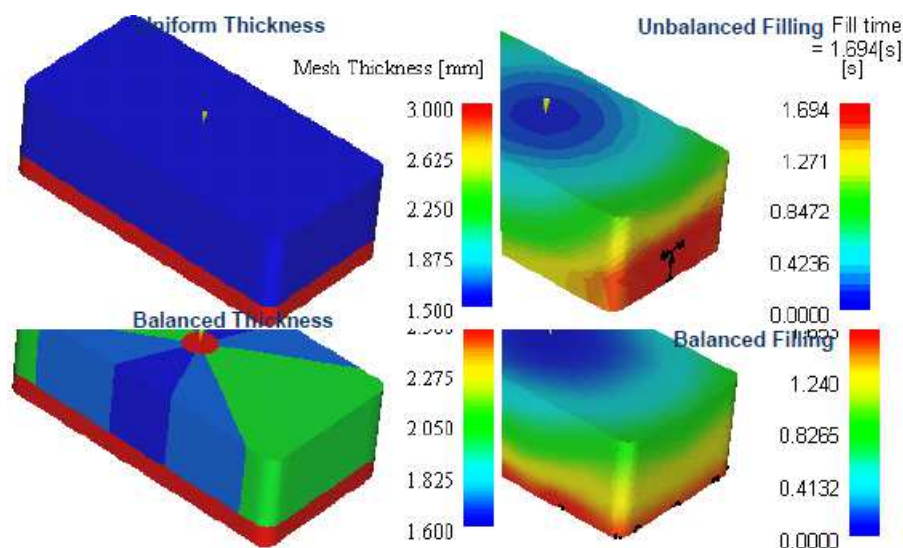


Figura 3.12: *Distribución de presión en el flujo del plástico representación 3D*

Mayor número de canales no es sinónimo de mayor calidad en la pieza ni tampoco es una forma de asegurar fallos, si se observa la tercera sección de la figura 3.13 se puede apreciar un posible defecto por "líneas de soldadura"(marcas en la pieza por colisión de plástico).

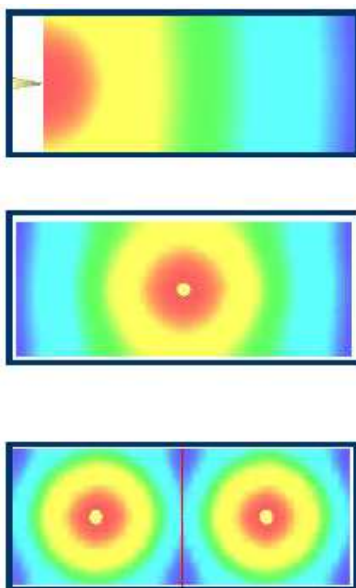


Figura 3.13: *Distribución de presión en el flujo del plástico representación 2D*

De igual forma, dependiendo de las características de la pieza, la sección 2 de la anterior figura (3.13) también puede presentar complicaciones debido al multidireccionalismo del flujo del material, lo ideal es lograr la unidireccionalidad, ésto es más fácil en piezas largas y estrechas.

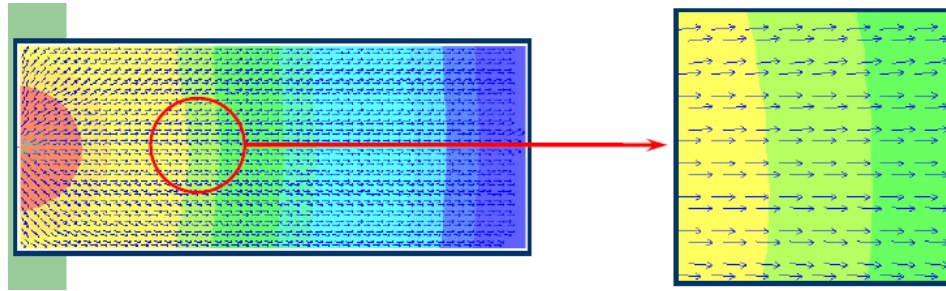


Figura 3.14: *Distribución de presión en el flujo del plástico representación 2D 2*

Al añadir las entradas hay que tener cuidado de no desequilibrar el llenado.

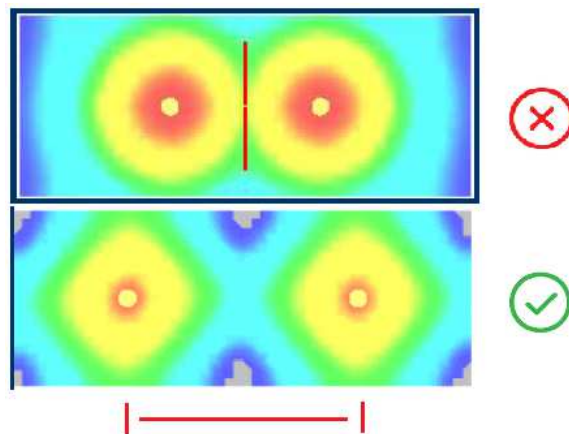


Figura 3.15: *Distribución de canales de alimentación*

Cuando hay un cambio de espesores significativo no se deben colocar las entradas próximas a estas zonas, el plástico siempre avanza primero por el camino más sencillo o de menor resistencia, lo ideal es colocarlas con suficiente distancia de separación entre sí para no provocar anomalías.

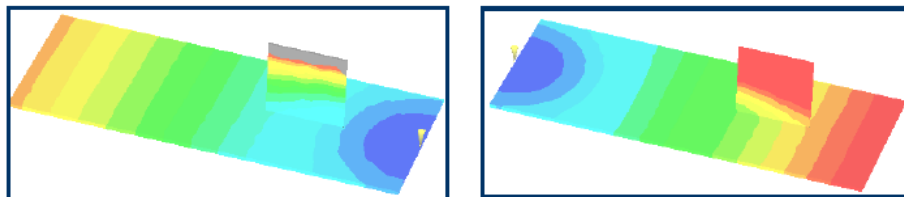


Figura 3.16: *Distribución de canales de alimentación 2*

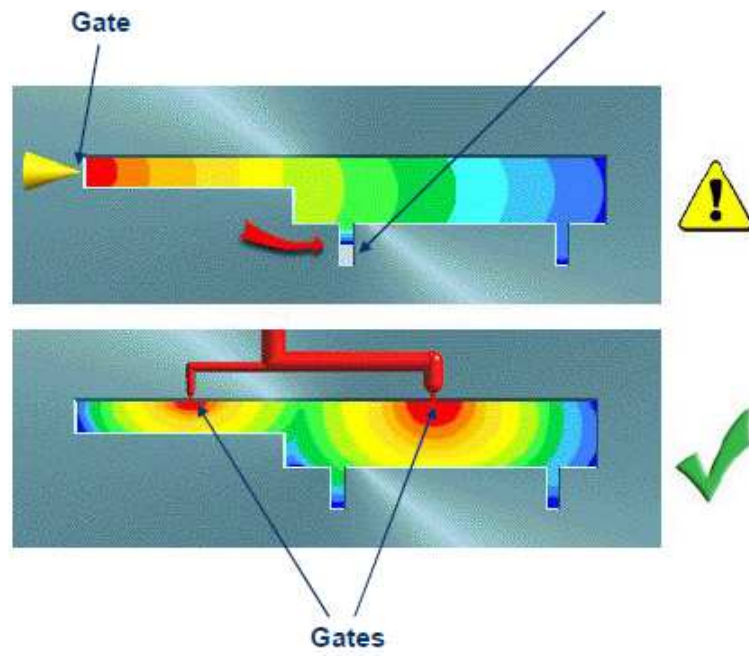


Figura 3.17: *Distribución de canales de alimentación 3*

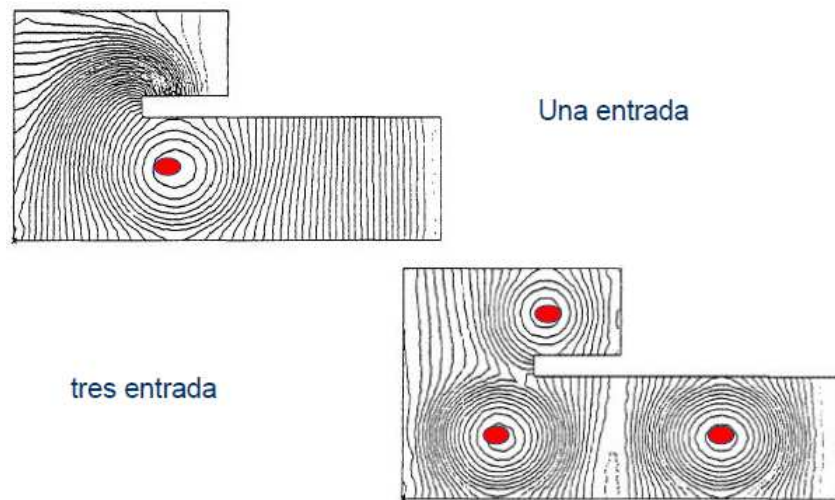


Figura 3.18: *Distribución de canales de alimentación 4*



Se consiguen también mejores compactaciones colocando las entradas en zonas gruesas:

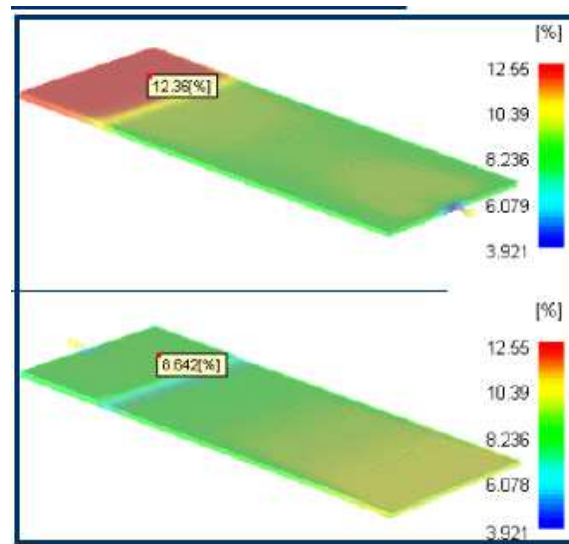


Figura 3.19: *Distribución de canales de alimentación 5*

En ésta etapa el plástico también se acumula y solidifica, formando así “coladas frías” que deberán retirarse en el proceso de corte puesto que éstas no son parte de la pieza deseada.

El tamaño de los canales depende del material que se está moldeando. Además deben de ser lo más cortos que sea posible, con el fin de reducir pérdidas de presión innecesarias.

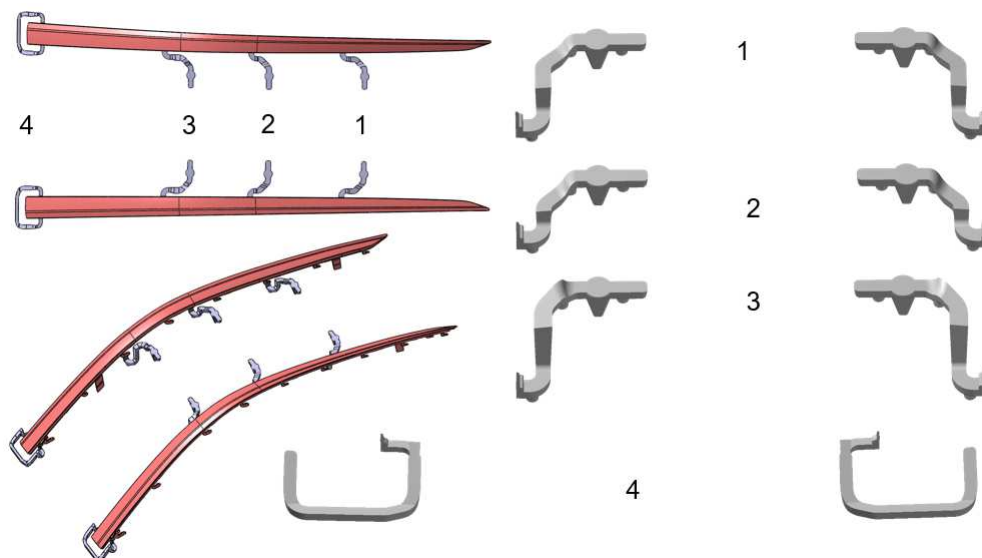


Figura 3.20: *Representación de colada fría en pieza de inyección*

### 3.1.4. Entradas a la cavidad (Gates)

Antes de ingresar a la cavidad el canal de alimentación sufre una reducción de tamaño llamada "entrada a la cavidad" o "gate".

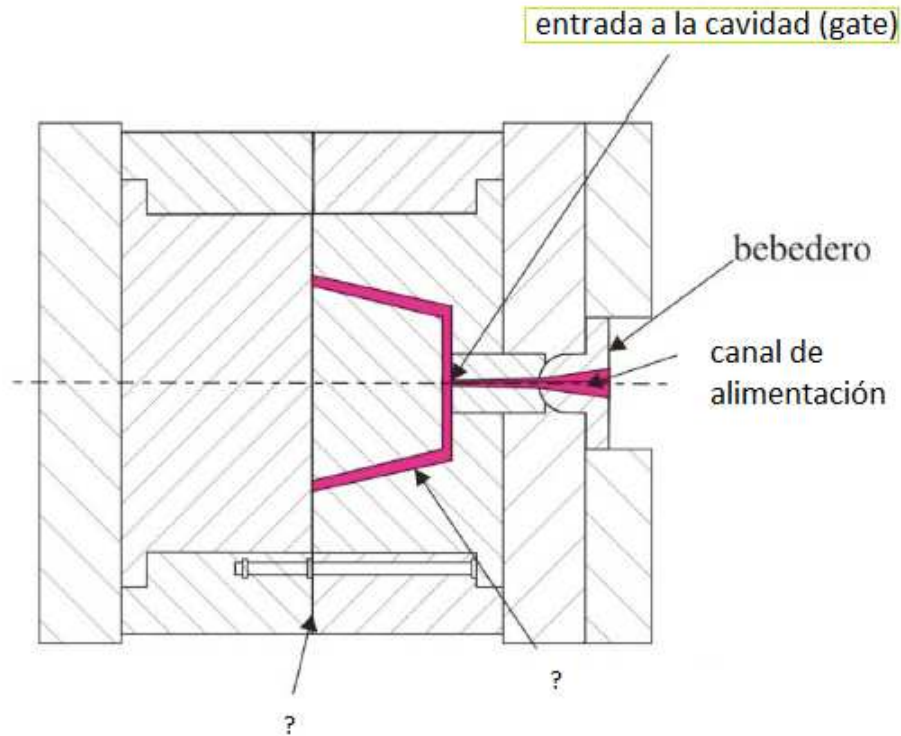


Figura 3.21: *Entrada a la cavidad en pieza de inyección*

Este estrechamiento tiene 3 funciones:

- Permite una solidificación más rápida del polímero cuando concluye la inyección.
- Facilita el corte de colada fría en el sistema de corte.
- Disminuye la viscosidad para llenar mejor y más rápido moldes con formas complejas.

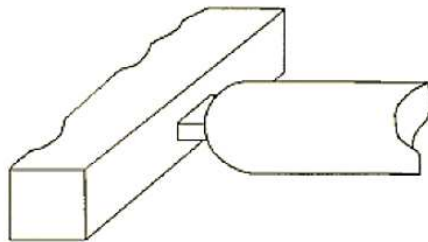


Figura 3.22: *Gate*

Se usan varios tipos de diseño de compuertas con fines diferentes. En la figura 14 se ilustran algunos de uso común. A continuación se describen algunas de las características de dichas compuertas:

#### 3.1.4.1. Compuertas de canal de alimentación

Son las más simples. La alimentación desde el canal a una sola cavidad es directa.

#### 3.1.4.2. Compuertas de aguja

Estas se llenan desde los bebederos. Por lo común se usan en moldes de tres placas. La pequeña cicatriz que dejan es fácil de borrar en el acabado. La sección estrecha da una velocidad de corte muy alta, baja viscosidad y permite que se llenen fácilmente las secciones delgadas del molde.

#### 3.1.4.3. Compuertas laterales:

Es el tipo común de compuerta que se usa para moldes de multiimpresión. Alimentan por las partes laterales del molde. Los moldes de impresión múltiple deben utilizar bebederos balanceados para tener distribución uniforme a través del sistema. Los bebederos no balanceados pueden dar lugar a piezas moldeadas de calidad desigual debido a que la presión y, en consecuencia, el flujo, no son iguales en sitios cercanos al canal de alimentación y en los que se hallan alejados (figura 15).

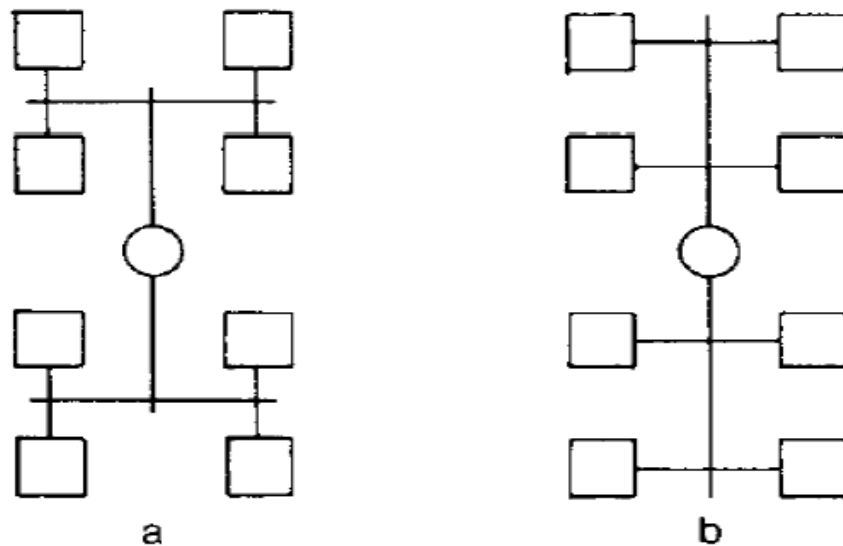


Figura 3.23: Bebederos a) Balanceados — b) No balanceados

#### 3.1.4.4. Compuertas anulares

Estas se usan en moldes de impresión múltiple para fabricar piezas moldeadas huecas porque conducen el flujo alrededor de un núcleo central

#### **3.1.4.5. Diafragma**

Es similar a la compuerta anular pero se surte directamente desde el canal de alimentación para elaborar impresiones simples.

#### **3.1.4.6. Compuertas de abanico**

Las compuertas de abanico hacen que se disperse el material fundido a manera de un abanico para cubrir bien áreas grandes.

#### **3.1.4.7. Compuertas de película**

También se conocen como compuertas de "borde.º de "flash", dan una distribución uniforme del espesor en piezas moldeadas planas delgadas. Se usan mucho más para productos transparentes como las lentes de policarbonato que se utilizan en dispositivos de medición, en donde un flujo uniforme evita la formación de ondulaciones.

#### **3.1.4.8. Compuertas de lengüeta**

La lengüeta elimina los chorros en grandes áreas planas por rompimiento del flujo y que lo vuelven turbulento conforme entra en la cavidad. La formación de chorros provoca líneas de flujo de mal aspecto, especialmente en materiales transparentes.

La compuerta debe posicionarse de tal modo que se genere un flujo de fundido uniforme en la impresión, lo que causa un llenado del molde también uniforme de forma que los frentes de fundido que avanzan alcanzan los extremos de la impresión al mismo tiempo. Un ejemplo de posición correcta e incorrecta de la compuerta se muestra en la figura 16. La compuerta correcta para este producto en forma de copa es la compuerta de espiga, con la que la sección cilíndrica se rellena de una manera balanceada sin dar lugar a la formación de una línea de soldadura. La compuerta lateral es incorrecta ya que se forma una línea de soldadura, que puede ser fuente de un mal funcionamiento desde el punto de vista mecánico y además es un defecto visual.

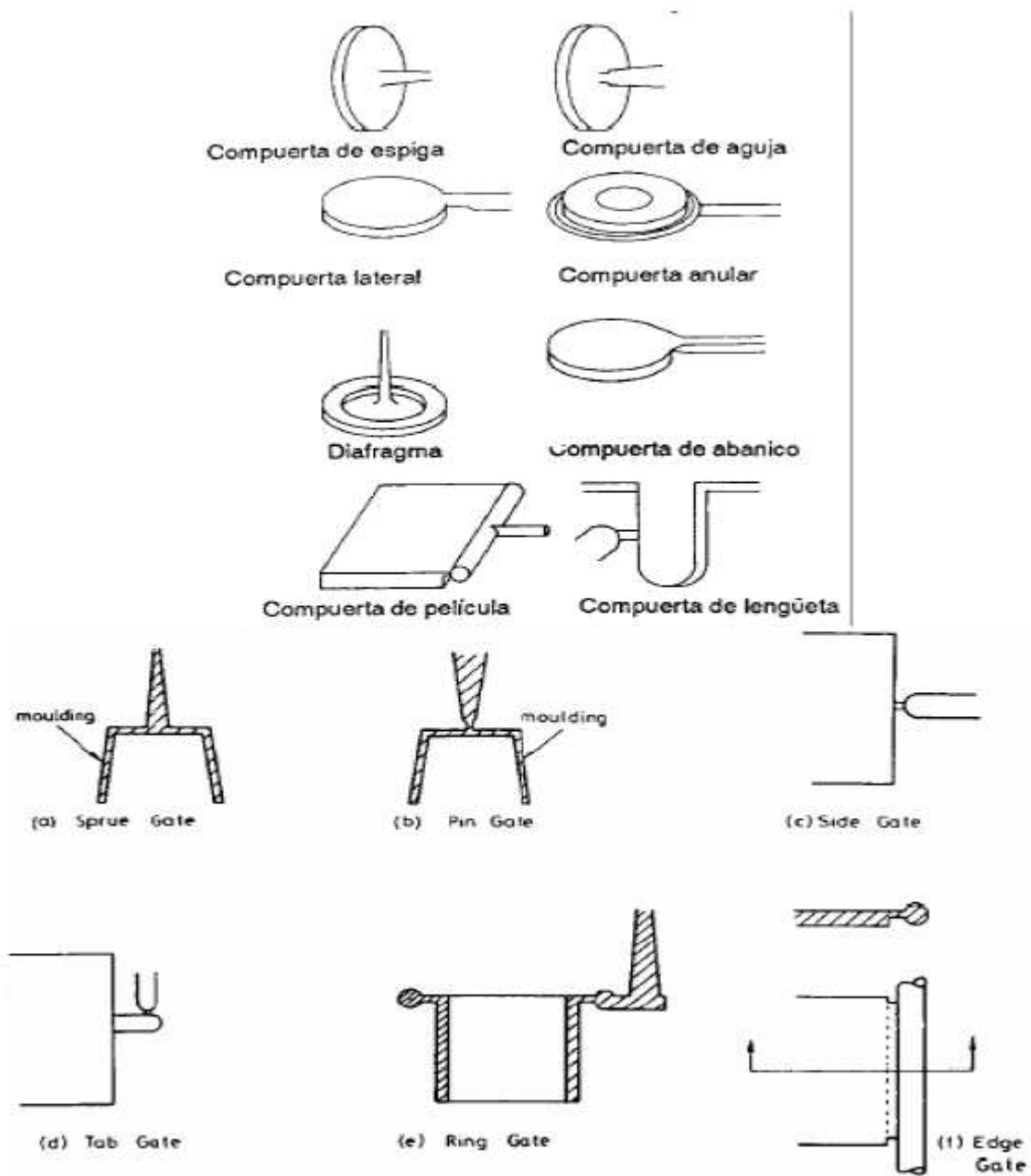


Figura 3.24: Tipos de gates

Como resumen se presenta un esquema general del sistema de alimentación.

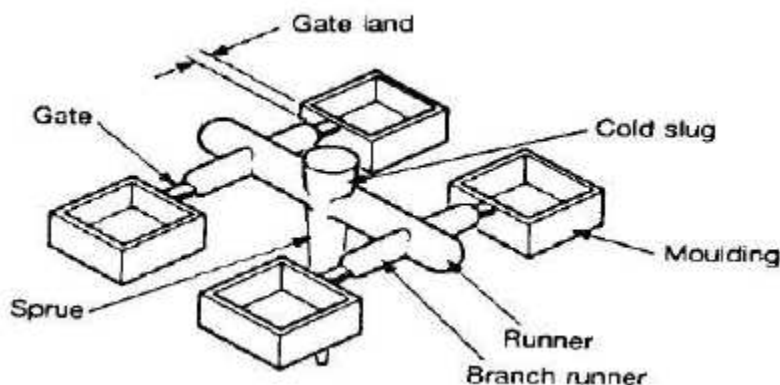


Figura 3.25: *Sistema de alimentación*

### 3.1.5. Cavidades

#### Número de cavidades

Un molde puede constar de una única o varias cavidades dentro, una pieza puede ser moldeada 2 o más veces al mismo tiempo en un molde si cada una está separada en su respectiva cavidad, a mayor número de producción se puede considerar un mayor número de cavidades con la misma forma.

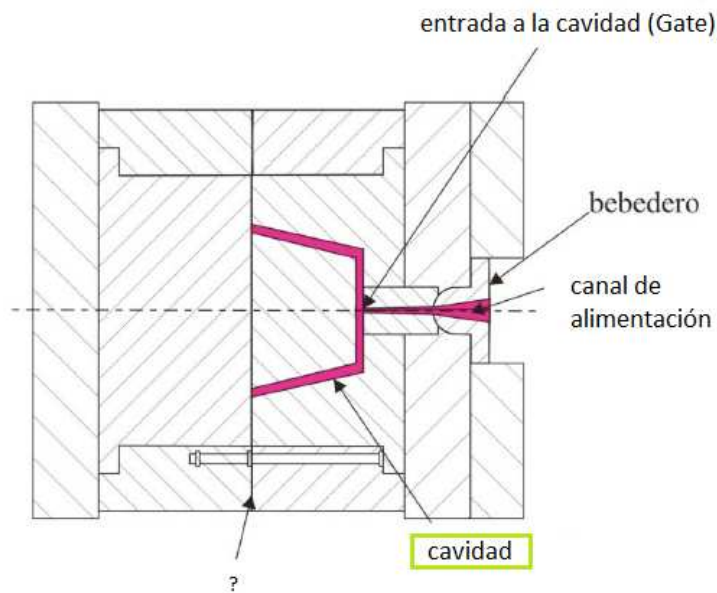


Figura 3.26: *Representación esquemática de molde a 1 cavidad*

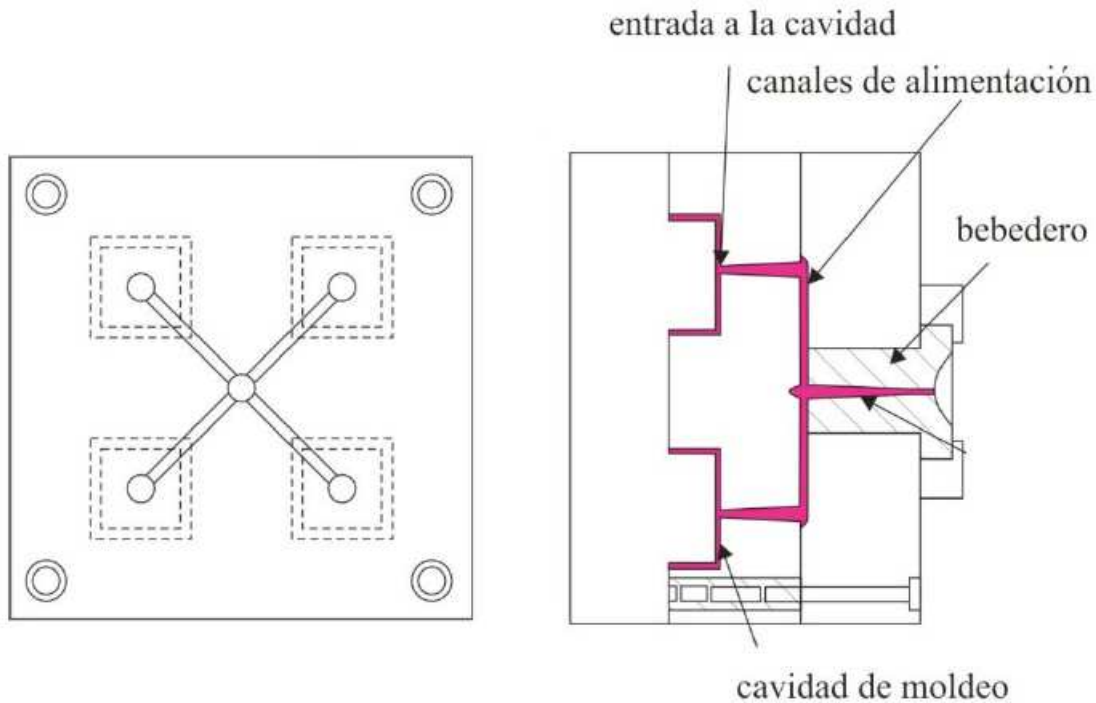


Figura 3.27: *Representación esquemática de molde a 4 cavidades*

## 3.2. Sistema de refrigeración

En los procesos de inyección de plásticos son frecuentes los defectos en piezas por un ineficiente control de temperatura del molde. Los más comunes son marcas y acabados superficiales inadecuados (rechupes, cicatrices)

Existe una tecnología llamada enfriamiento conformacional (conformal cooling) o moldeo de ciclo de calentamiento rápido (RHCM, Rapid Heat and Cooling Molding), y se comercializa con los nombres registrados de RHCM, Variotherm y Contura principalmente.

El proceso se basa en calentar el molde antes de iniciar el ciclo en conjunto con la máquina hasta alcanzar una temperatura más alta que la que alcanza el polímero en el cilindro de inyección, esto con la finalidad de que el plástico fluya sin variantes dentro del molde, si la temperatura del molde fuera inferior a la del polímero éste comenzaría su solidificación antes de distribuirse adecuadamente a lo largo de toda la cavidad.

El enfriamiento del molde empieza tan pronto se llena la cavidad y termina cuando la pieza ha alcanzado la temperatura extracción mediante canales por donde fluyen los líquidos térmicos. Puede observar una representación de dichos canales en la figura 3.28

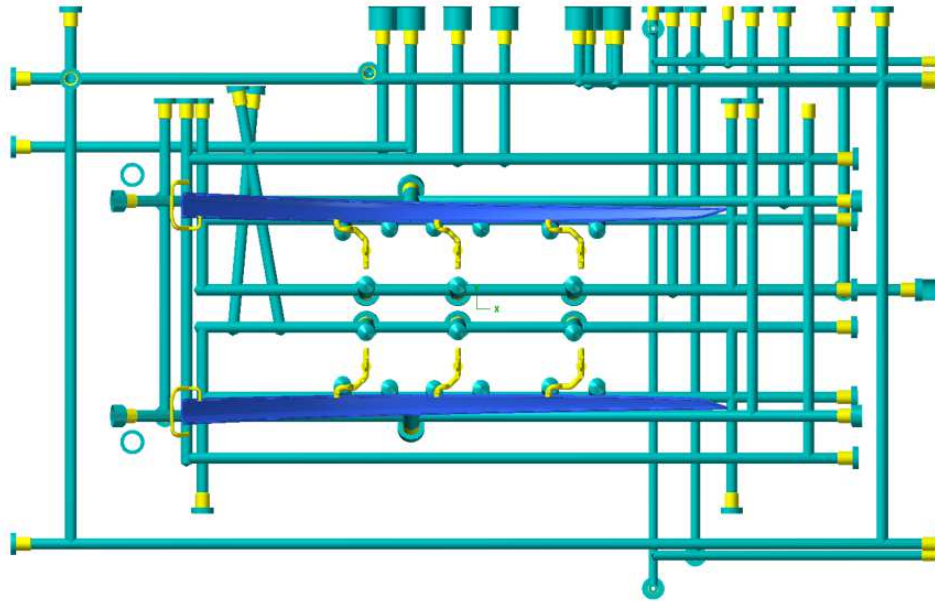


Figura 3.28: *Canales de enfriamiento*

Como medio de calefacción suele usarse vapor o fluidos térmicos como aceite, para el enfriamiento también se usan fluidos térmicos o agua.

Es necesario contar con termorreguladores sofisticados que nos permitan una adecuada interacción con la temperatura de los líquidos del molde, así como termopares o sensores que nos provean la información necesaria para su control. La siguiente figura muestra un termorregulador común:



Figura 3.29: *Termorregulador*

También es importante una buena distribución de los canales dependiendo de la forma de la cavidad del molde, de tal manera que haya un control de temperatura proporcional en toda la pieza. La siguiente figura muestra un ejemplo de una buena distribución.



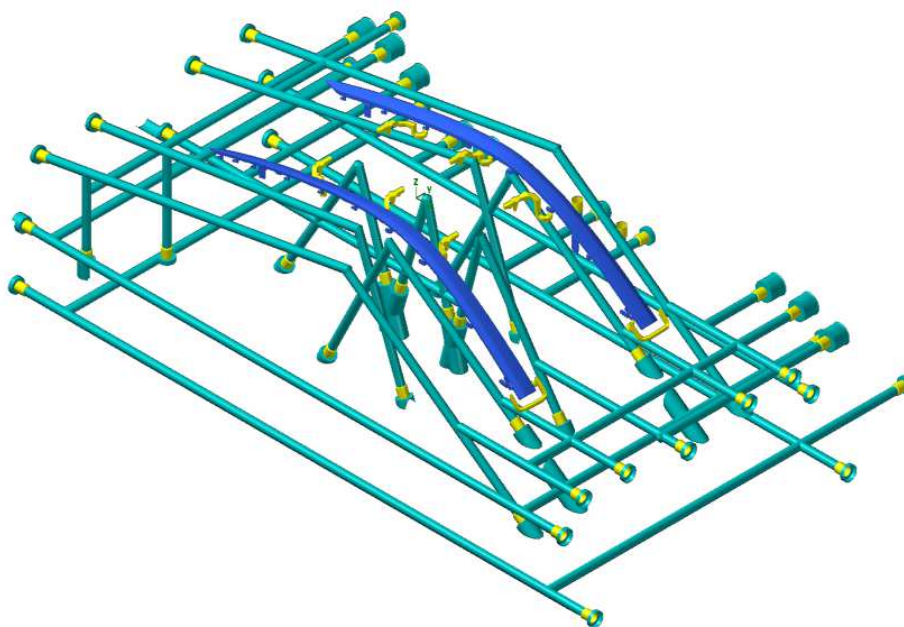


Figura 3.30: *Correcta distribución de los canales de enfriamiento, vista superior*

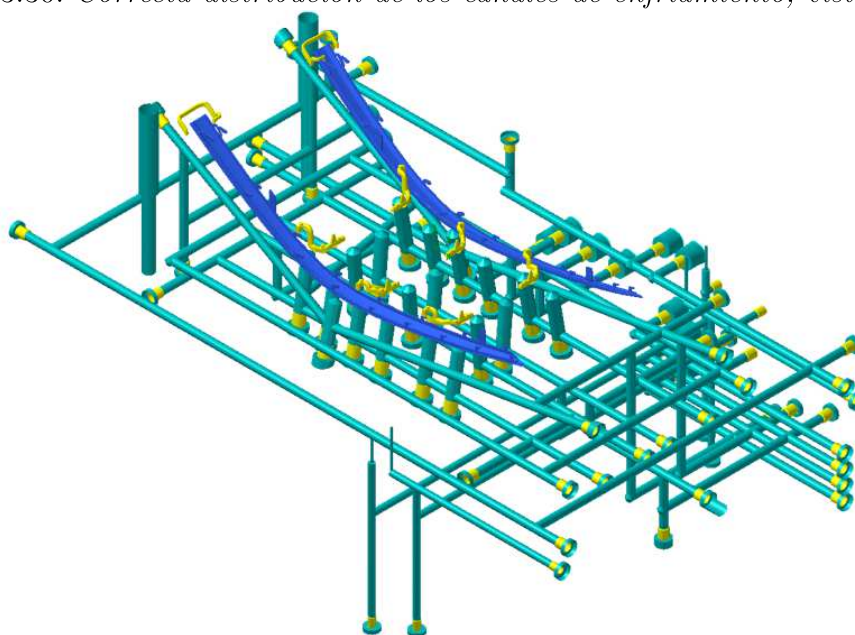


Figura 3.31: *Correcta distribución de los canales de enfriamiento, vista inferior*

### 3.2.0.1. Principio hidráulico general de un termorregulador

Existen sistemas de enfriamiento de canal simple y canal doble, en el primer tipo se utiliza un mismo ducto para el calentamiento y enfriamiento del molde, mientras que en el segundo cada función tiene su respectivo canal de control de temperatura.

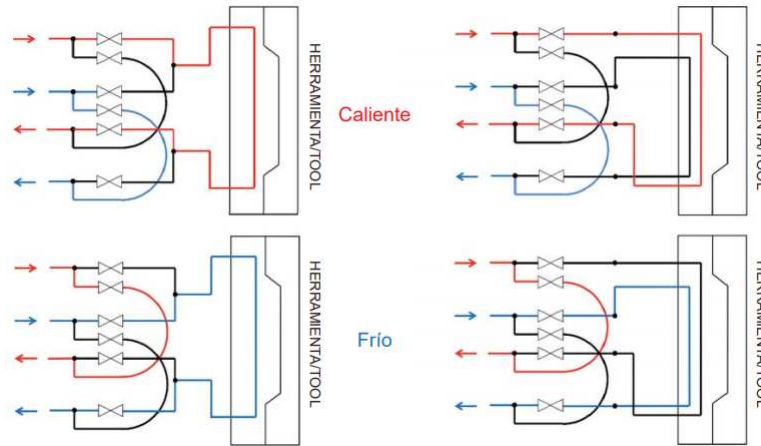


Figura 3.32: *Principio hidráulico de un termorregulador*

## 3.3. Sistema de partición, desmoldeo y expulsión

El sistema de desmoldeo no es más que la división entre la parte fija y la parte móvil del molde, es el que permite la apertura para la extracción de la pieza.

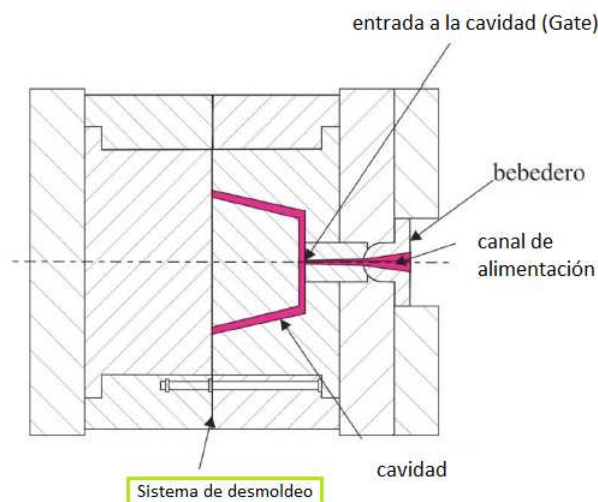


Figura 3.33: *Sistema de desmoldeo*

La pieza ya solidificada permanece dentro del molde móvil, para posteriormente ser extraída con ayuda de los expulsores.

La siguiente figura muestra una representación de la apertura del molde, se observa la parte móvil de este con la pieza en su interior.

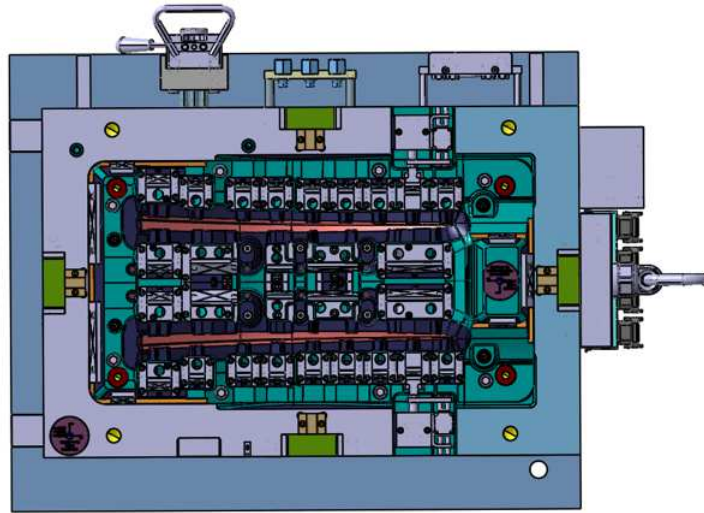


Figura 3.34: *Representación de la pieza dentro del molde*

Así mismo, su representación lateral muestra la posición de los expulsores dentro del molde y la posición de la pieza dentro de éste.

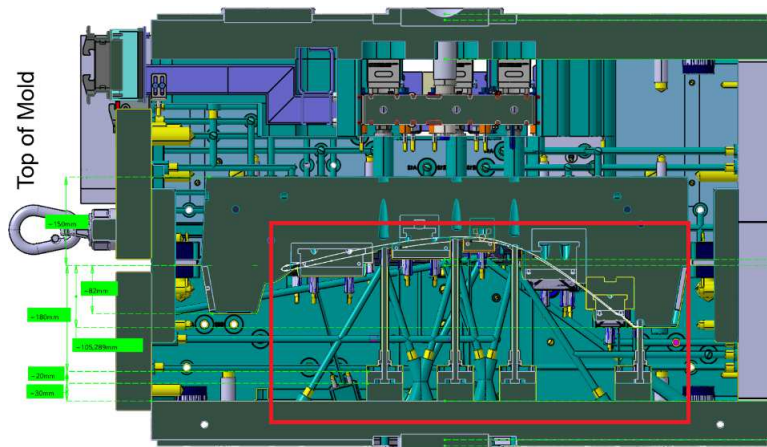


Figura 3.35: *CAD sistema de desmoleo*

Una mayor longitud en el tamaño de los expulsores le permite al robot mayor facilidad de interacción con la pieza, de forma que facilite su extracción, pero ojo; debe considerarse también el tamaño de apertura del molde.

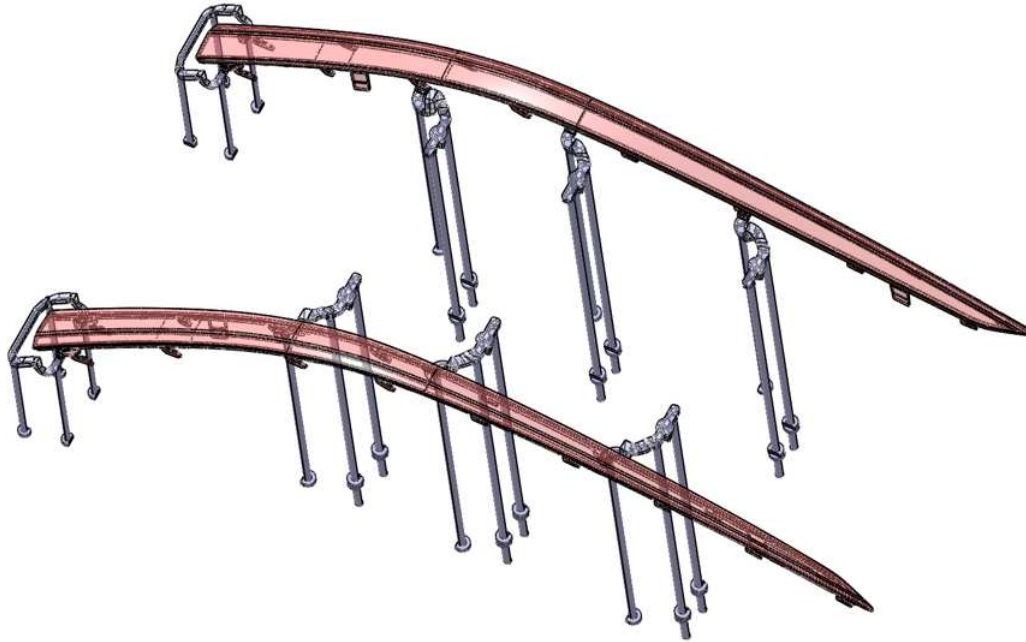


Figura 3.36: *Representación de las barras de los expulsores*

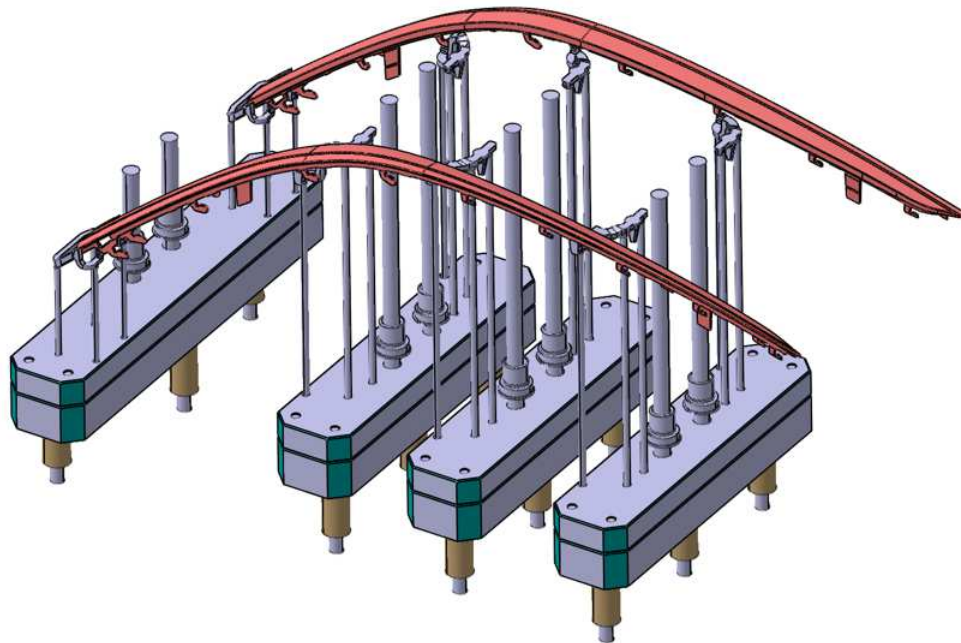


Figura 3.37: *Representación del sistema de las barras de los expulsores*

# Capítulo 4

## Sistema RJG y control de procesos

### 4.1. Sistema RJG

Un moldeado correcto se logra estimando parámetros durante todo el proceso mediante cálculos matemáticos, en cada etapa del proceso se controlan factores como velocidad, presión temperatura. Éstos parámetros también nos ayudan a monitorear e interactuar con el tiempo de ciclo, el cual lo determina cada etapa del proceso:

- 1.- El molde cierra y el sistema de inyección avanza hacia delante y la boquilla se apoya en el molde.
- 2.- Carga del material, el husillo gira y hace la función de avanzar el material desde de la zona de carga hasta la punta del husillo.
- 3.- El husillo avanza hacia delante haciendo la función de pistón (sin girar) e inyecta le material en la cavidad.
- 4.- Una vez esta la cavidad llena y la entrada de material aun no esta sólida, se mantienen el husillo presionando, esta es la fase de compactación y sirve para corregir la contracción de los plásticos al enfriarse. Una vez la entrada se solidifica no se puede comunicar más presión y se inicia la fase de enfriamiento
- 5.- Una vez la pieza esta casi totalmente sólida, se inicia el proceso de expulsión, se abre el molde y se expulsa la pieza
- 6.- El molde cierra y el sistema de inyección avanza hacia delante y la boquilla se apoya en el molde.



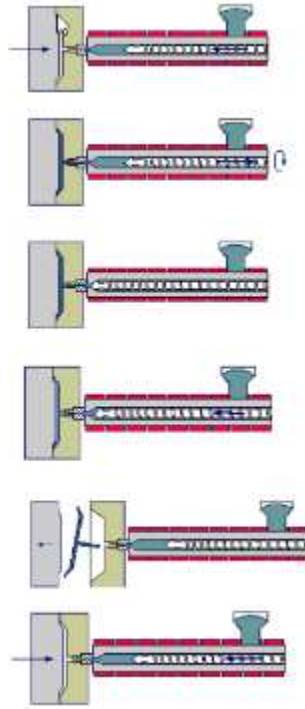


Figura 4.1: *Ciclo de moldeo*

Los porcentajes de tiempo de trabajo en relación con el tiempo de ciclo total de cada proceso suelen ser similares casi siempre, sin importar el volumen de la pieza o la resina utilizada, la siguiente figura muestra una representación aproximada de los tiempos de cada etapa del proceso.

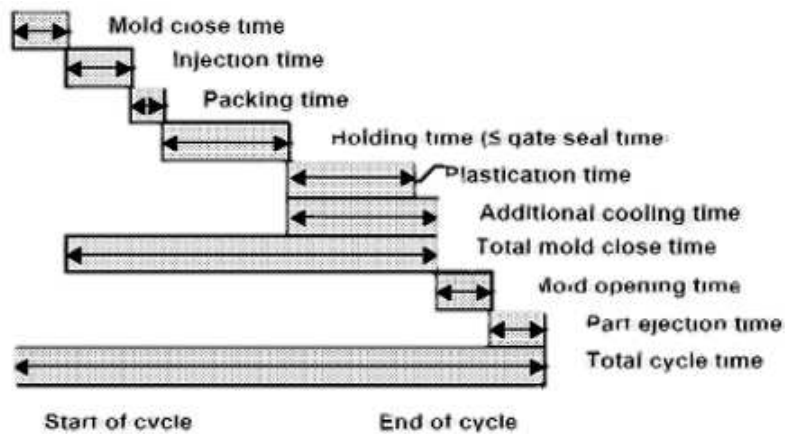


Figura 4.2: *Tiempos del ciclo de moldeo*

Éstas son algunas de las ubicaciones del sistema de enfriamiento, el sistema hidráulico y los sensores en el molde.

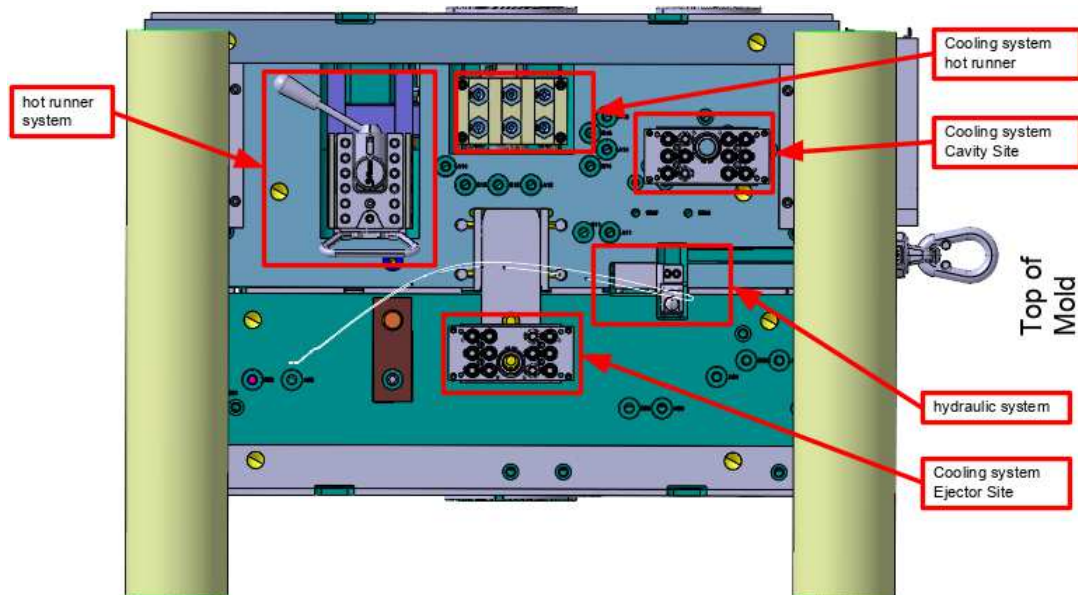


Figura 4.3: *Tiempos del ciclo de moldeado*

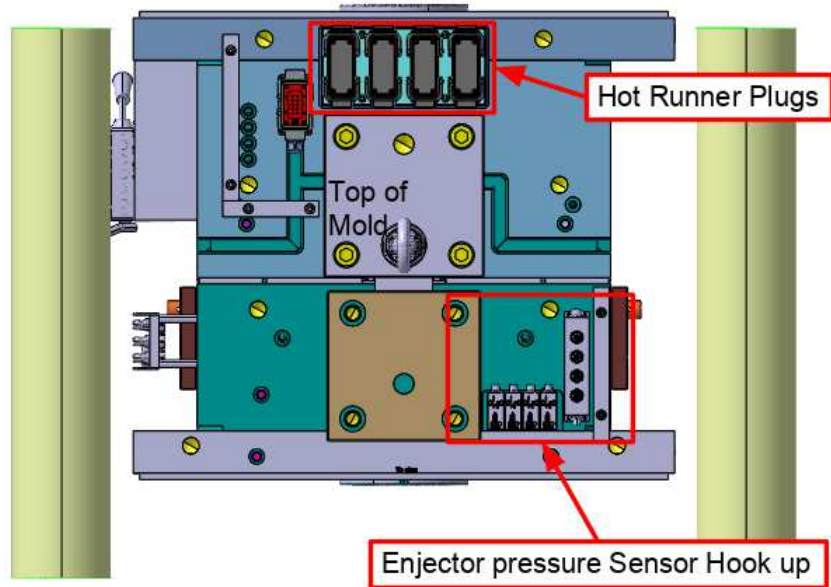


Figura 4.4: *Tiempos del ciclo de moldeado*

El sistema RJG ofrece herramientas de medición capaces de monitorear y controlar mediante gráficas en tiempo real cada una de las variantes del proceso.

La siguiente figura muestra una distribución de presiones normal en cada una de las etapas del proceso:

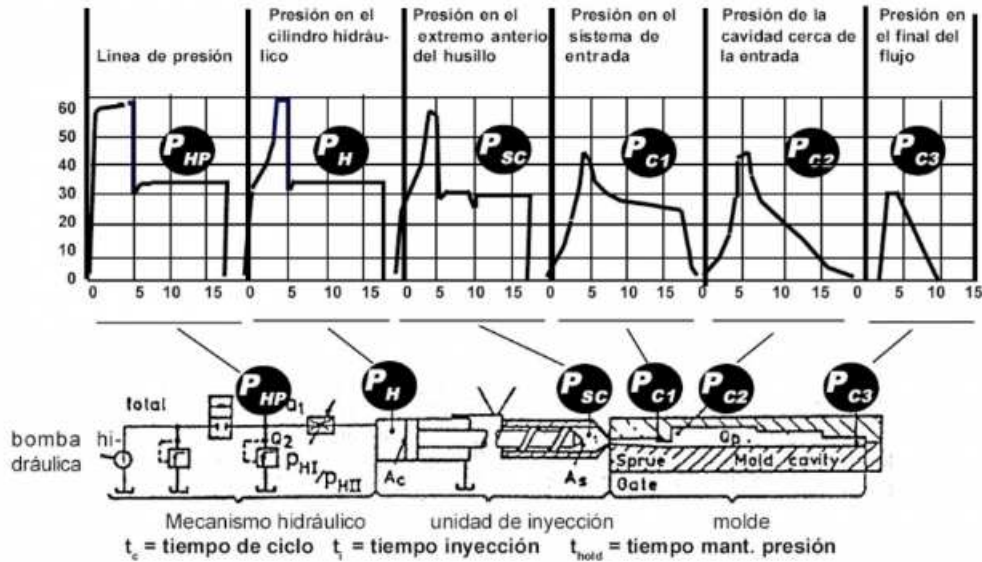


Figura 4.5: Distribución de presiones

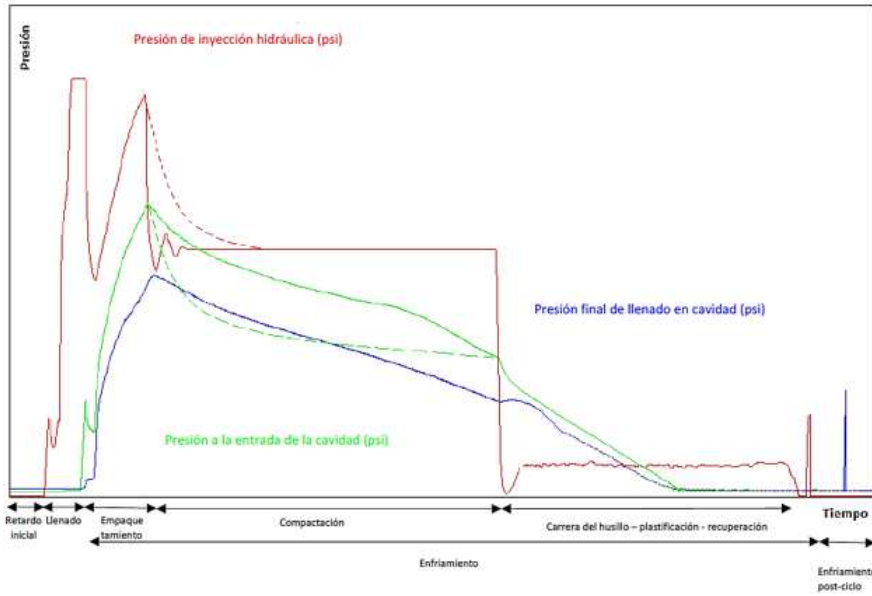


Figura 4.6: Sistema de presiones RJG 1

**Presión:** Fuerza/superficie (psi).

**Tiempo:** El eje horizontal (eje x), cada nuevo ciclo comienza en cero al lado izquierdo y durante la evolución de éste se incrementa hacia la derecha.

**Presión hidráulica:** Hace referencia a la presión tras el husillo en cada instante durante el



ciclo. Generalmente este dato se aproxima a la presión en la boquilla.

Esta presión debe incrementarse lo que sea necesario para conseguir la tasa de llenado y packing (presión ejercida tras la primera presión) que el proceso requiera. Para prevenir la descarga de material a través de la entrada durante éste mantenimiento se hace un balance de la presión de inyección con la presión en el molde.

La presión contra el husillo tras la recuperación aparece en la curva de presión, ya que porque usa el mismo sensor y circuito eléctrico.

**Presión a la entrada de la cavidad:** esta curva muestra la presión en el interior de la cavidad después de la entrada del plástico en cada instante durante el ciclo. El sensor debería estar situado en el "área de influencia" para obtener información más útil.

Esta curva muestra la presión dinámica durante el llenado con una pequeña pendiente hasta un pico corto a la vez que la máquina cambia a la fase de packing o empacamiento. La presión debe bajar suavemente así como la velocidad de husillo baja y comenzar a subir cuando el material se compacta (fase de packing) en la cavidad. Una vez la máquina termina la fase de packing con el plástico a una cierta presión, se cambia a la presión de compactación diseñada para mantener el material en el molde. Durante la compactación, la presión en cavidad decrece debido a que el material se contrae en la parte alejada del sensor.

Algunas veces con sensores indirectos también se puede ver el pico antes de la apertura del molde. Representa la fuerza que la pieza ejerce sobre los eyectores cuando empujan a la pieza fuera.

Para controlar todos los aspectos de esta curva, se necesita controlar la velocidad de llenado y el desplazamiento, la velocidad de pack y pack para el cambio a la presión de mantenimiento, presión de mantenimiento, temperatura de fusión y temperatura de molde.

**Presión al final de la cavidad:** Esta curva muestra la presión tan cerca como sea posible al último punto que se llena en la cavidad. Si es justo el final, la presión comenzará por encima de cero justo como el llenado del molde. Esta curva es similar a la curva a la entrada excepto que no muestra ninguna inclinación en la presión dinámica. Esto es porque el fundido baja la velocidad al tiempo que alcanza el final del llenado.

La presión de final de llenado es más difícil de controlar debido a la viscoelasticidad del material que actúa como un muelle durante el packing por lo que no se verá cambio de presión a la entrada inmediatamente después del final de llenado.

Si la curva muestra algún mínimo en la presión al final de llenado, la pieza no será corta.

**Retardo inicial:** se observará que la presión de inyección hidráulica comienza a aumentar ligeramente después de que comience el ciclo. Esto puede ser causado por válvulas lentas, el controlador de máquina que envía su señal de inyección pronto, o comienza la descompresión después de la carrera del husillo (para la cual hay muy poca resistencia). Teniendo un retardo de inicio diferente para cada máquina hace más difícil tener una plantilla cuando se utiliza el mismo molde en diferentes máquinas. La forma de la curva debería ser idéntica pero se desliza

en el tiempo a la derecha o la izquierda.

La mejor manera de compensarlo es configurar la máquina para que el inicio de inyección comience justo cuando la posición de inyección cruce la posición de final (tamaño de inyectada). Esta es la posición del husillo en el momento en el que el husillo para después de recuperación.

**Llenado:** el llenado es el momento que lleva a empujar el plástico en el molde hasta una posición deseada de la máquina. La mayoría de los casos debería ser antes de que el plástico llegue al final de la cavidad. La posición deseada debe producirse entre un 90 % y un 95 %.

La velocidad de llenado de ser tan rápida como la parte permita (considerando la orientación molecular?) cortando del 90 % al 95 % del llenado.

La presión de la primera etapa necesitará ser suficientemente alta para permitir cambios de viscosidad y no limitar la presión de la máquina.

**Packing:** es la suma de tiempo que necesita para compactar (packing) la pieza a una presión determinada en la cavidad del molde.

En un proceso de tres etapas (como se muestra), el packing variará. Es dependiente de los cambios de viscosidad y los setpoint de la presión de cavidad.

La velocidad de empaquetamiento se configura con una velocidad constante. Si se incrementa la presión de cavidad, el tiempo para conseguirlo se incrementará. Lo contrario también ocurre. Si la viscosidad de los materiales se incrementa, el tiempo para alcanzar este punto también se incrementará. Lo contrario también ocurre.

**Compactación:** es la suma de tiempo que la presión de compactación está activa. Comienza cuando la máquina conmuta a presión de mantenimiento hasta el tiempo de mantenimiento o el contador de inyección devuelva el tiempo final.

En un proceso de 3 etapas, el tiempo de compactación se configura como la suma de tiempo que lleva para cerrar la entrada o controlar la descarga.

En aplicaciones donde se cierra la entrada, la configuración del tiempo debe ser lo suficientemente larga para lograr el cierre de la entrada.

Encontrar dónde la entrada se sella y entonces incrementar el tiempo de 0.5 a 1seg para asegurarse que está cerrada.

**Carrera del husillo-plastificación-recuperación:** El incremento de la presión hidráulica después de la inyección es la contrapresión durante el tiempo de carrera del husillo. Da una indicación visible del tiempo de la carrera del husillo.

El tiempo de carrera de husillo depende de la velocidad de giro del husillo y el volumen de plástico usado en cada inyectada. El incremento de la velocidad de rotación acortará el tiempo de la carrera del husillo pero incrementará el tiempo de residencia porque la inyectada permanecerá

delante del husillo más tiempo en el próximo ciclo.

El incremento de la contrapresión puede incrementar el calor por cizalla, pero las bandas de calor intentarán corregirlo completando un ciclo con menor temperatura.

En un ciclo óptimo, el husillo se configura para que la carrera acabe poco antes de la apertura del molde. La contrapresión es entonces configurada para que el calor aportado por las bandas en cada ciclo sea entre un 20 % del tiempo y un 80 %.

**Enfriamiento:** el enfriamiento comienza cuando el plástico deja de moverse a lo largo de la pared de la cavidad. El movimiento en la pared de la cavidad finalizará justo después del cambio a packing. El plástico cerca de la pared comenzará a enfriar.

El enfriamiento continúa a lo largo de todo el ciclo hasta que el molde abre y la pieza es expulsada.

El tiempo el plástico es enfriado está basado en el tiempo que necesita para mantener la forma y soportar a expulsión.

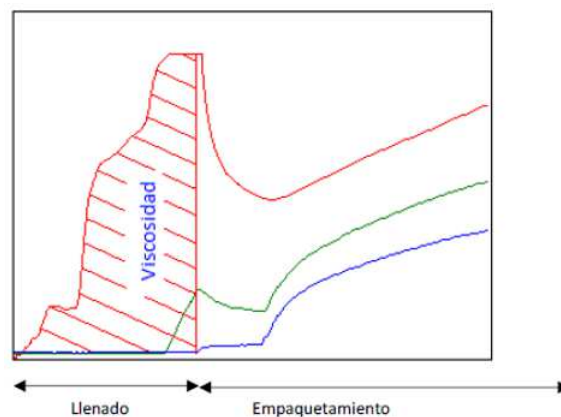


Figura 4.7: *Sistema de presiones RJG 2*

La viscosidad efectiva puede medirse usando el área efectiva bajo la curva. Se ha de centrar principalmente en la presión de inyección durante la fase de llenado porque la cizalla tiene un fuerte efecto en la viscosidad que puede afectar a la velocidad de inyección.

La viscosidad efectiva se mide como el área bajo la curva de presión de inyección durante el llenado. Si no se puede medir el área directamente entonces el pico es una buena estimación de la viscosidad efectiva.

La viscosidad es la resistencia del material a fluir. Dicha los termoplásticos en moldeo por inyección depende de tres cosas:

- 1.- Velocidad a la que el material fluye. Cuanto más rápido fluye el material, la cizalla entre las moléculas es mayor, alineándose y deslizándose más fácilmente.

2.- Propiedades del material. La química del polímero, mezcla de la longitud de las cadenas poliméricas y de los aditivos en el material.

3.- Temperatura. A menor punto de fusión, más fácilmente fluye.

La velocidad de flujo tiene el mayor efecto (al menos a más bajas cizallas) que la temperatura como se presupone. La viscosidad en termoplásticos varía en general de forma amplia, generalmente un  $\pm 10\%$  y tanto como  $\pm 50\%$ . A mayor viscosidad durante el llenado, mayor fuerza deberá ejercer la unidad de inyección para forzar al plástico a entrar al molde. Si la unidad de inyección no tiene compensación de carga (es decir, capaz de tener una velocidad constante para todas las presiones), entonces debería reducir la velocidad cuando se incrementa la viscosidad causado fallo en el llenado (corto).

Dibujando la integral de cada inyectada para cada periodo de tiempo, se observa cambios en la viscosidad del material (asumiendo tamaño de la inyectada constante). Si la integral completa es doble, entonces la viscosidad será doble. Si el fallo es la mitad del valor original, entonces la viscosidad será la mitad. El término efectivo viene del hecho de que generalmente se tiene el interés en cambios desde un valor original más que un número absoluto.

Se pueden programar alarmas límites alrededor de los rangos típicos de la integral completa como una alerta temprana para que se hagan los ajustes antes de que se produzcan partes malas.

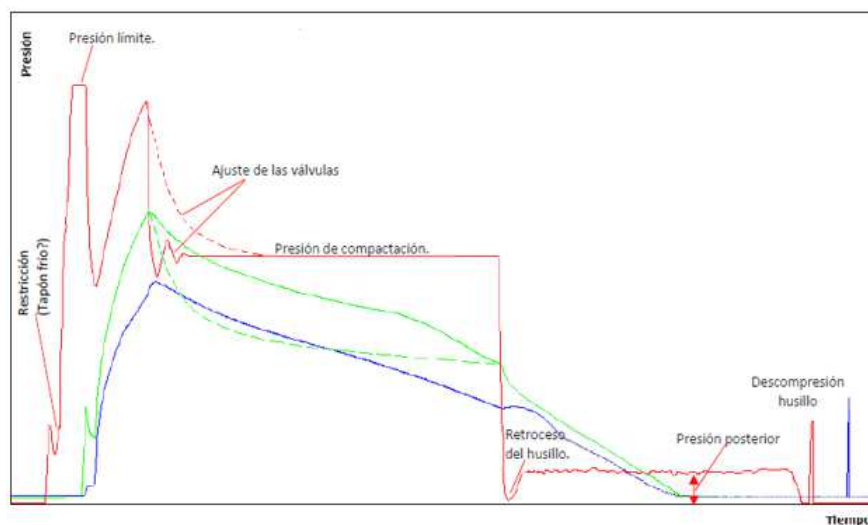


Figura 4.8: Sistema de presiones RJG 3

**Restricción:** Durante el llenado (a velocidad constante), la forma del molde determina la velocidad de cizalla y por lo tanto, la presión requerida para llenar. Algunas veces, una restricción o esquina puede necesitar más o menos presión en ese momento. También se requiere más presión para superar un tapón frío o un objeto extraño en la trayectoria del flujo.

Estas restricciones se muestran como un pico en la curva de la presión de inyección durante el llenado.

**Presión límite:** una zona plana en el pico de la presión de inyección hidráulica indicaría que el proceso se encuentra en la presión límite. Esto significa que la máquina no puede desarrollar suficiente presión para conseguir la velocidad de llenado requerida para vencer la resistencia del material. Si se puede ver una curva de velocidad de inyección, una presión límite se puede ver como un fallo en la velocidad de llenado.

Esto significa que el pistón probablemente esté desacelerado antes del llenado completo. Si la velocidad de cizalla del plástico es suficientemente baja, esto incrementaría la resistencia a la presión incluso más causando menor velocidad. El resultado completo es que un incremento en la viscosidad podría causar inyectadas cortas.

Si la presión de llenado se configura demasiado baja, se puede prever el límite de presión configurando la primera etapa de presión sobre un 10 % más alta que la máxima requerida (pico de presión hidráulica). Si la cavidad se bloquea, la presión será todavía limitada para prevenir daños.

**Ajuste de válvula:** una oscilación en la presión hidráulica mostrada en el gráfico después del punto de conmutación es causado por el control de la servo presión para una presión correcta.

Esto generalmente pasa en máquinas que usan la misma válvula para presiones y control de flujo. En este ejemplo la válvula es subamortiguada, lo que significa que no amortigua las oscilaciones.

Una sobreamortiguación no se macará, pero llevará un tiempo significativo para reducir la presión desde el pico requerido hasta la presión de compactación. Esto se muestra en la figura como una línea de puntos desde alta presión de packing hasta la de compactación. Durante este tiempo, habrá un flujo continuo de packing en la pieza hasta que el husillo pueda parar. Esto reduce la habilidad de la máquina para controlar la fase de packing del proceso.

Algunas veces se programa una rampa de presión en el controlador. Puede aparecer como una subamortiguación en la curva de presión de inyección porque se requiere un tiempo establecido en el controlador para llegar a la compactación después de cambiar desde velocidad a presión.

**Presión de compactación:** presión constante ejercida por el husillo después del packing. Se fija para alcanzar la descarga requerida para la pieza. Esta presión se mantiene hasta el final de la fase de inyección para sellar la entrada.

Esta presión se configura con una "segunda etapa" de presión (o perfil de presión) en la mayoría de las máquinas. Si se quiere que la máquina mantenga el material a la entrada, la presión de compactación debería ser tal que no haya movimiento del husillo después de la conmutación (excepto para el anillo de control de fugas). Movimiento hacia dentro (no controlado) indicaría más empaquetamiento, mientras que hacia fuera indicaría descarga.

**Retroceso del husillo:** es un corto tiempo después de la presión de compactación que se elimina antes de que el husillo comience a girar. Permite que la masa fundida se descomprima para así no empezar a girar a alta presión que causaría excesiva cizalla. También ahorra en el desgaste de los equipos.

**Contrapresión:** Presión ejercida por la unidad de inyección durante la recarga. Es el incremento mostrado en la curva hidráulica después del fin de la compactación.

La integral de la presión dinámica en la recarga del husillo representa la energía para mover la masa fundida por fricción durante el retroceso.

**Descompresión del husillo:** La descompresión algunas veces aparece como un pico en la presión hidráulica después del fin de la carga. Este retraso del husillo es para prevenir que la boquilla babee y permitir un corto comienzo de la carrera en la próxima inyección.

Cambios en la descompresión del husillo pueden causar que cambie el tiempo entre inyección e inyección.

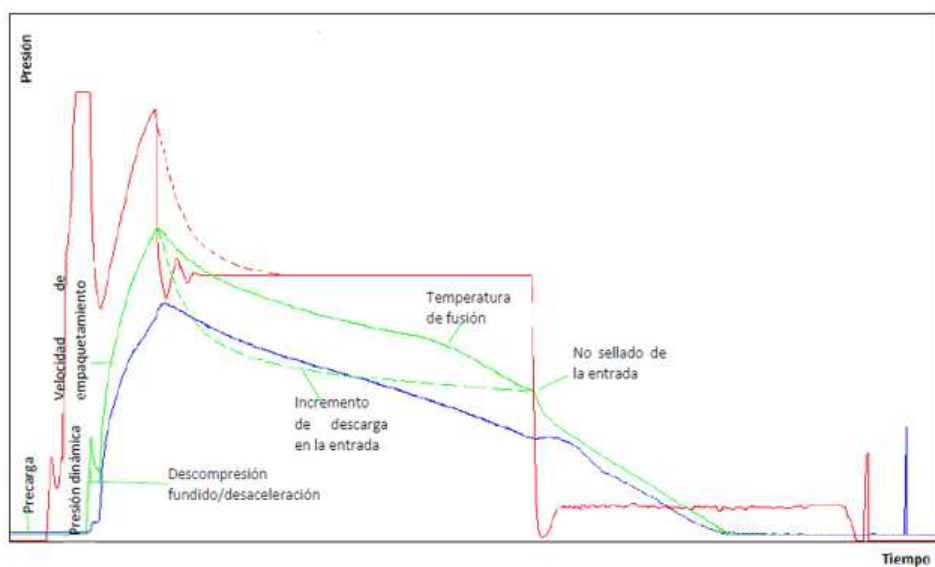


Figura 4.9: *Sistema de presiones RJG 4*

Precarga: aparece como una presión del plástico antes o justo cuando el ciclo empieza (generalmente después del cierre del molde). La presión será superior a cero si el auto-zero está desactivado y la presión de inyección en la eDART fue puesta a cero con el molde abierto.

Esta es la fuerza que tiene lugar en el sensor antes de que el plástico haga presión sobre él. Puede ser debido a stripping collars, jamming pins u otras fuerzas involucradas en el mecanismo eyector, pero no relacionadas con la presión del plástico.

Los "auto-zeros" de la eDART para todas las cavidades de presión se toman de la primera muestra del ciclo al comienzo de la inyección. Esto elimina el efecto de la pre-carga de los datos. Uno de los problemas con alta pre-cargas es que el plástico debe hacer suficiente presión para superar la fuerza de la precarga antes de tener acceso a los datos.

"Presión dinámica": es una pequeña bajada en la presión del plástico antes de que el husillo baje la velocidad al final del llenado.

Es la presión del plástico mientras el material se está moviendo a relativamente alta velocidad durante la fase de llenado. Estas presiones suelen ser mucho más bajas durante el packing, particularmente a altas velocidades de llenado. A bajas velocidades de llenado, las presiones pueden ser más altas porque la masa fundida comenzará ser más viscosa a medida que se enfría por lo que limita el llenado del resto de la cavidad.

La presión dinámica del plástico no es algo que se pueda controlar. Llegará a ser mayor a velocidades de llenado más lentas debido al enfriamiento y a la velocidad de cizalla menor.

**Velocidad de packing:** en la curva, se trata de la inclinación de la curva de presión durante la fase de empaquetamiento. Se mide en PSI/seg.

**Descompresión fundido:** el pequeño hundimiento en la curva de presión tras la entrada justo después del cambio desde el llenado al pack es el momento durante el que el husillo baja la velocidad y el fundido se descomprime. La presión de inyección hidráulica también tiene una gran depresión porque la fuerza ha de eliminarse antes que el cilindro se haya frenado hasta la velocidad de packing. Parte de esta depresión de presión es transferida al plástico y es visible como una depresión en la curva tras la entrada.

En un proceso de tres etapas pasa de un llenado rápido a un packing lento. Esta transición a una velocidad más lenta permite que las moléculas del plástico se relajen y comiencen a descomprimirse. Esto cambia la velocidad a la que la presión en la cavidad aumenta.

Hay poca necesidad para la desaceleración instantánea siempre que la masa fundida no se descuelgue en el extremo de la cavidad a alta velocidad o presión. Permitir que el husillo se detenga por la resistencia es generalmente aceptable y pasará muy rápido.

Sólo se puede cambiar la desaceleración y descompresión usando un perfil de llenado o una rampa de velocidad descendente, bajando la velocidad hasta el final del llenado. Esto es una solución para algunas piezas grandes, con paredes gruesas y nervios. Una rampa descendente permite que más material sea empaquetado antes para prevenir rechupes pero impidiendo que la presión en la cavidad sea demasiado alta como para causar destellos. A pesar de que la velocidad se bajó hasta que se controló, no depende de la presión.

Incremento de la descarga a la entrada: la forma cóncava de las curvas de presión en cavidad después del pico muestra que algunos materiales descargan desde la entrada cuando la máquina conmuta a compactación. Esto es porque la presión de mantenimiento es más baja que la requerida para mantener el material en el interior.

La línea a puntos indica que la curva parece como si la presión de compactación se hubiera reducido incluso más, causando más descarga desde la entrada. Por el contrario, incrementando la presión de compactación se mantendrá el material mejor haciendo una pendiente plana para compactar con solo el efecto del enfriamiento afectando al decremento de la presión. La curva de enfriamiento es generalmente convexa.

**Temperatura de fusión:** el pequeño repecho que se observa en la curva de presión en cavidad es generalmente causado por el enfriamiento del material a su temperatura de fusión en gran parte del material. Esto es característico de los materiales semi-cristalinos (como el nylon).

Lo que ocurre es que el material se enfría y encoge (curva de presión que cae) a una velocidad bastante constante hasta que se empiezan a formar cristales. Cuando se forman, permiten a la estructura molecular compactar incluso más rápido que la velocidad de enfriamiento constante. Además, se ve una caída repentina cuando el material pasa por la temperatura de fusión.

Siempre habrá una temperatura de fusión para materiales semi-cristalinos, aunque no siempre aparece en el gráfico. De hecho, algunas veces la cristalización ocurre al final de la inyección y se puede confundir con la deflexión del molde o con la salida del material por falta de sellado de la entrada. La deflexión del molde es un cambio de pendiente repentina hacia arriba mientras que la cristalización es un enfriamiento a velocidad estacionaria seguida de una bajada.

El único cambio que se puede hacer a esto es hacer que ocurra antes o después. Puede hacerse variando la temperatura del molde o la temperatura de fusión. Si el molde se calienta, el material se enfriará más lentamente y se alcanzará su temperatura de fusión después.

**No sellado de la entrada:** en el proceso del ejemplo no existe sellado de la entra. Esto significa que el material estaba todavía muy fundido cuando se terminó la presión de compactación lo que hace que algo de material se salga desde la entrada al mismo tiempo. Esto puede causar rechupes cerca de la entrada.

Si se incrementa el tiempo de compactación, la entrada tendrá más tiempo para enfriarse, y la presión en el interior de la cavidad no se alcanzará cuando la presión de compactación acabe. (La puerta se congela actuando como un tapón).

Sin embargo, para mantener el mismo ciclo, se necesita incrementar la velocidad de rotación del husillo para terminar la recuperación del husillo antes de la apertura del molde. Esto causa alguna degradación en el material o una pérdida de la calidad de la mezcla.

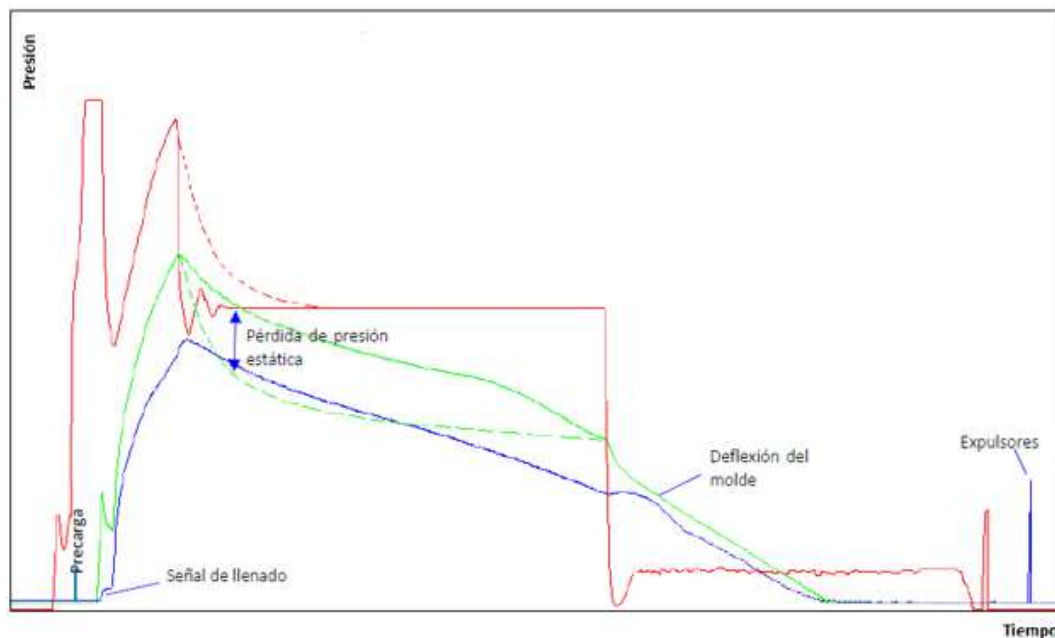


Figura 4.10: *Sistema de presiones RJG 5*



**Señal de llenado:** la presión comienza en el sensor de final de llenado como una señal de que esa parte está llena. Es donde la presión comienza a aumentar después de una suave depresión en el cambio desde llenado a packing.

**Pérdida de presión estática:** es la diferencia en la presión a lo largo de la cavidad cuando el packing está completado. La presión varía a lo largo de la cavidad.

Este gradiente de presiones puede estar causado por tensiones internas y deformaciones durante el enfriamiento.

Se puede reducir el gradiente de presiones realizando el packing lentamente. Sin embargo, si la pieza enfría lo suficientemente rápido, la presión podría no ser suficiente para terminar el packing de la pieza al final del llenado. (Generalmente 3000psi).

**Deflexión del molde:** el pequeño repecho en la presión del plástico justo en el momento en la que se termina la compactación muestra que el molde se deflacta. Cuando la unidad de inyección elimina la fuerza en el molde, el molde rebota a causa de un incremento de presión temporal.

Esto tiene poco efecto en las características de la pieza. Indica que la fuerza de inyección excede la que la máquina es capaz de absorber.

A veces la deflexión del molde puede ser confundida con el efecto de un material semi- cristalino cuando alcanza su temperatura de fusión. La diferencia es que la deflexión del molde es un cambio de pendiente repentina mientras que la temperatura fusión se muestra como un enfriamiento a temperatura constante seguido de una caída.

**Expulsores:** un pico en la curva de presión de cavidad podría mostrar si el sensor de cavidad es un sensor localizado bajo un expulsor. Esto representa la fuerza de expulsión de la fuerza en el expulsor cuando este la empuja.

Es posible que la fuerza del expulsor exceda la presión en cavidad. Habría que llevar cuidado que no se exceda la capacidad del sensor.

## 4.2. Metodología para el control del proceso

Son 4 las principales categorías que intervienen en el proceso de inyección; temperaturas, presiones, tiempos y distancias, éstas variantes no son independientes entre si, si uno de éstos factores cambia cambia se tendrán que modificar los demás para un proceso óptimo.

### 4.2.1. Etapa de llenado

#### 4.2.1.1. Geometría, volumen y dimensiones (Masa de la pieza)

El tamaño de un molde de inyección es determinado principalmente por las dimensiones generales de la pieza, a mayor tamaño de ésta, mayor tamaño del molde.

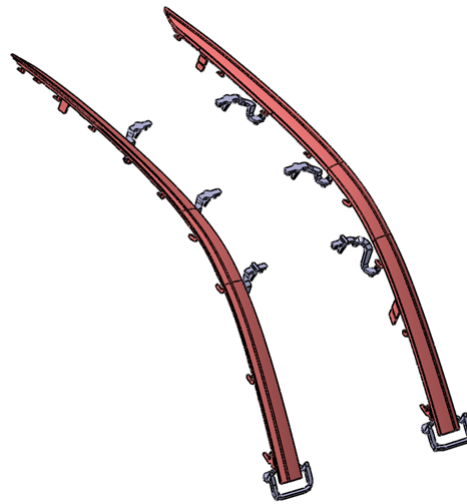


Figura 4.11: *Ejemplo CAD de pieza inyectada*

Para calcular la masa a inyectar en el molde se considera el volumen de la pieza y la densidad del material con la que se fabricará.

$$M_p = v * \rho$$

#### 4.2.1.2. Volumen de producción y capacidad de inyección de la máquina inyectora

Éste aspecto es fundamental a la hora de elegir un molde, a menor tamaño de producción se tiene la posibilidad de adquirir un molde fabricado con materiales menos costosos, por su parte, para producciones en masa ya se considera uno de mayor calidad y por lo tanto, más costoso.

La mayoría de las maquinas llevan en su catálogo su capacidad de inyección ya normalizada con algún plástico determinado, comunmente se usa el Poliestireno, este dato se puede usar si se quiere calcular la capacidad de inyección para cualquier otro plástico, por ejemplo el Polipropileno.

$$Ci_{PP} = \frac{Ci_{PS} * \rho_{PP}}{\rho_{PS}}$$

Donde:

$Ci_{PP}$ : Capacidad de inyección para el Polipropileno

$Ci_{PS}$ : Capacidad mínima de inyección para el Poliestireno

$\rho_{PP}$ : Densidad del PP

$\rho_{PS}$ : Densidad del PS

Existen ya algunos datos estandarizados que sirven como guía para los cálculos del proceso:

| RESINA        | CON UNA MÁQUINA DE 100CM3 DE PS | CON UNA MÁQUINA DE 100GR DE PS |
|---------------|---------------------------------|--------------------------------|
| PS            | 91.51                           | 1000                           |
| PET           | 108.81                          | 118.9                          |
| PP            | 72.96                           | 79.93                          |
| PVC           | 108.1 A 110.38                  | 11.3 A 120.6                   |
| PEAD          | 68.87                           | 75.26                          |
| PEBD          | 71.38                           | 78.01                          |
| POLICARBONATO | 95.91                           | 104.81                         |
| NYLON         | 90.88                           | 99.31                          |
| POLIACETAL    | 112.89                          | 123.37                         |

Cuadro 4.1: Capacidad de inyección en base al PS

#### 4.2.1.3. Temperatura de inyección

Esta temperatura es controlada en el cilindro de inyección con ayuda de las resistencias eléctricas y del husillo giratorio, debe ser lo suficientemente alta para que el polímero fluya correctamente, pero no lo suficiente para que el polímero empiece a descomponerse.

Las temperaturas ideales de trabajo vienen especificadas por el proveedor del material, observe la sección para mayor información.

#### 4.2.1.4. Presión de inyección

Es la presión consecuente del avance del husillo giratorio, entra mayor sea la presión más rápido se llenará la cavidad del molde.

Es importante no confundir el cálculo de la temperatura de llenado con el de la presión de llenado, mayor presión no significa mayor temperatura, la presión de inyección la determina el

avance del carro que conduce el cilindro en conjunto con la velocidad de giro del husillo, mientras que en la temperatura no interviene la variante del carro.

Su valor depende de la masa a inyectar así como de la geometría de la cavidad, primero se calcula el **recorrido máximo del flujo** de material, es decir, la distancia desde la boquilla de alimentación hasta el punto más alejado dentro de la cavidad.

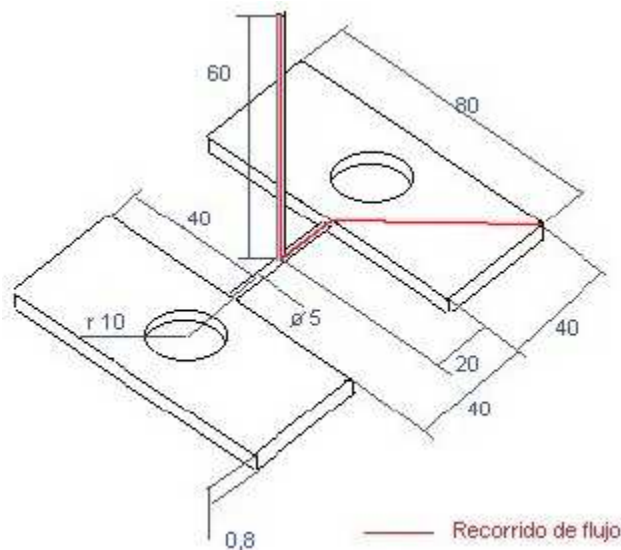


Figura 4.12: *Recorrido de flujo*

Con el recorrido de flujo  $Rf$  y el **espesor** de la pared (se considera el espesor más delgado en el recorrido de la resina) se obtiene la **relación de flujo**  $RF$ .

$$RF = \frac{Rf}{\text{espesor}}$$

Ejemplo:  $RF = 120 : 1$

Con estos datos; la presión de inyección se obtiene siguiendo la siguiente gráfica:

Recuerde que la teoría siempre puede diferir de la práctica, los cálculos anteriores se dan en condiciones ideales, en situaciones reales las presiones se comportan de la siguiente manera:

Es recomendable usar un factor de corrección que toma en cuenta la viscosidad del material.

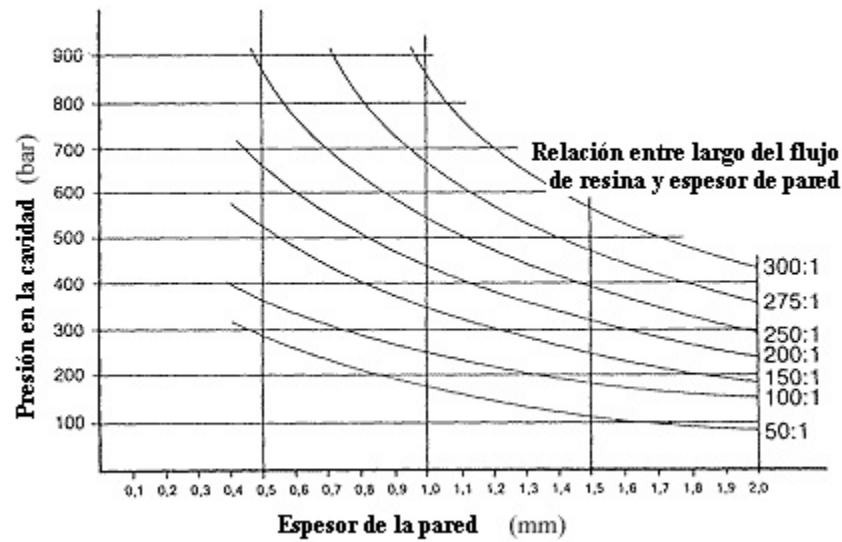


Figura 4.13: *Curvaturas para calculo de presion de inyeccion*

| RESINA          | FACTOR POR VISCOSIDAD |
|-----------------|-----------------------|
| GPPS (PS)       | 1                     |
| PP              | 1 a 1.2               |
| PE              | 1 a 1.3               |
| PA6 o PA66, POM | 1.2 a 1.4             |
| Celulósicos     | 1.3 a 1.5             |
| ABS, ASA, SAN   | 1.3 a 1.5             |
| PMMA            | 1.5 a 1.7             |
| PC, PES, PSU    | 1.7 a 2.0             |
| PVC             | 2                     |

Cuadro 4.2: Factores de corrección

#### 4.2.1.5. Fuerza de cierre

Se mantienen exactamente los mismos cálculos aplicados en la presión de inyección.

Para calcular la fuerza de cierre óptima para el molde se considera la superficie proyectada (área de la pieza) de la pieza sobre el plano paralelo a la superficie de las placas por la presión de inyección en la cavidad. Se recomendable que la fuerza de cierre configurada en la máquina sea 20 % mayor a la necesaria.

$$Fc = \text{Areaproyectada} * \text{Presiondeinyeccion}$$

#### 4.2.1.6. Tiempo de inyección

Es el tiempo necesario para llenar completamente la cavidad del molde. Este no es un dato de entrada si no un dato reflejado, es decir, no se determinan parámetros de control en base al

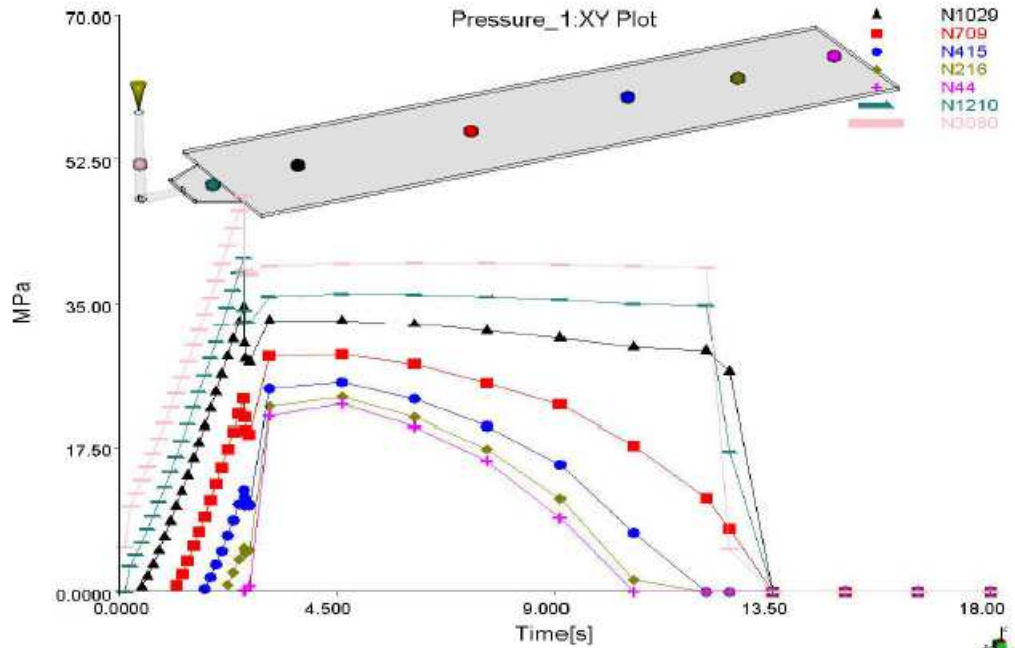


Figura 4.14: *Transmisión de presión en la cavidad*

tiempo, si no que este es la suma del tiempo de cada proceso individual anterior.

Sin embargo, si se puede hacer un estimado del tiempo de inyección ideal, la siguiente gráfica muestra el tiempo óptimo de llenado en la cavidad en función de la presión de inyección y la temperatura en la entrada de la cavidad y en su punto más lejano.

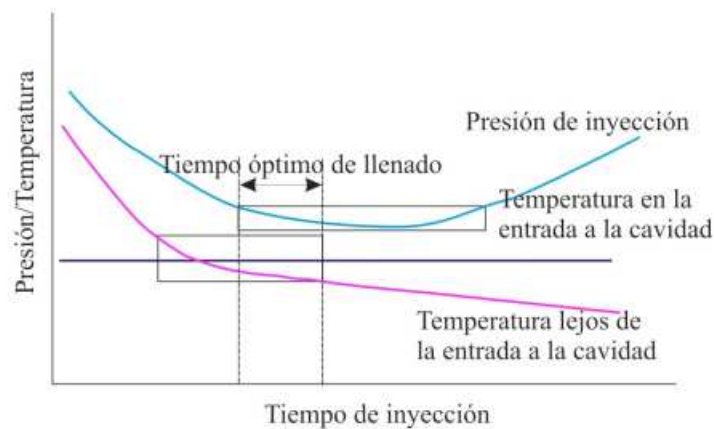


Figura 4.15: *Tiempo óptimo de inyección*

## 4.2.2. Etapa de compactación

### 4.2.2.1. Resina a utilizar

El tipo de polímero a utilizar es fundamental, sobre todo, a la hora de controlar los parámetros del proceso; una variación en la viscosidad de éste altera las presiones y velocidades necesarias para el llenado correcto en la cavidad.

Vea el Capítulo 4 (Introducción a los plásticos de inyección) para una descripción más detallada.

Es necesario considerar el factor de contracción que tienen los materiales plásticos una vez se da su solidificación (Véase la tabla 4.3), para materiales que presentan baja contracción (Amorfos) (Contracción menor al 0.6 %) es más fácil calcular las dimensiones necesarias de la cavidad para no provocar defectos en la pieza final (Figura 4.17), mientras que para cristales semicristalinos (Factor de contracción mayor a 0.6 %) es más difícil (Figura 4.16).

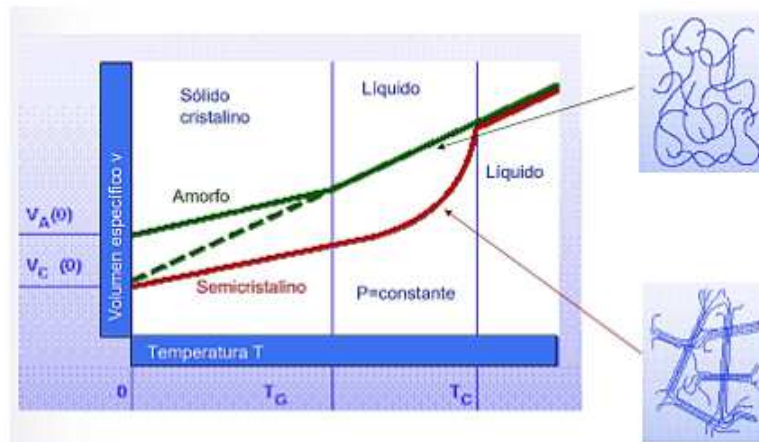


Figura 4.16: *Rebaba: Contracción en amorfos y semicristalinos según la temperatura*

Uno de los defectos en la pieza que dicho fenómeno puede provocar es la creación de rechupes o rebabas (Vea la sección 5.1.1 para más información sobre como controlar éste defecto).

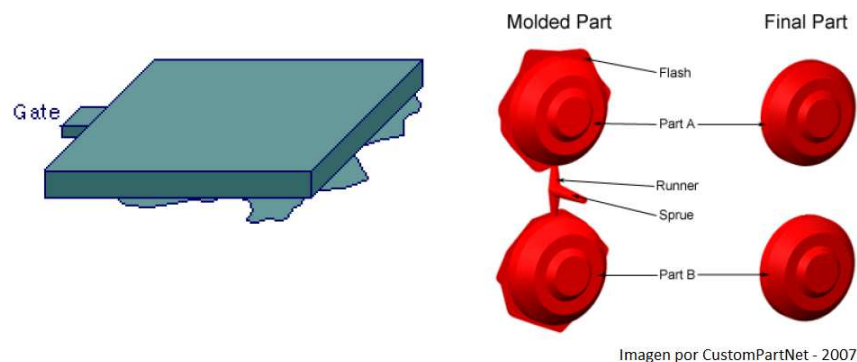


Figura 4.17: *Rebaba en pieza: Defecto de producción*

La siguiente tabla muestra valores estandarizados del factor de contracción general según el tipo de plástico, recuerde que los datos se miden en porcentaje.

| MATERIAL | FACTOR DE CONTRACCIÓN |
|----------|-----------------------|
| PS       | 0.002 a 0.006         |
| ABS      | 0.005 a 0.007         |
| PC       | 0.006 a 0.008         |
| PP       | 0.012 a 0.022         |
| PE       | 0.015 a 0.050         |

Cuadro 4.3: Factores de contracción

La contracción también se puede dividir en contracción longitudinal, transversal e isotrópica, la siguiente figura muestra dichos datos para varios polímeros.

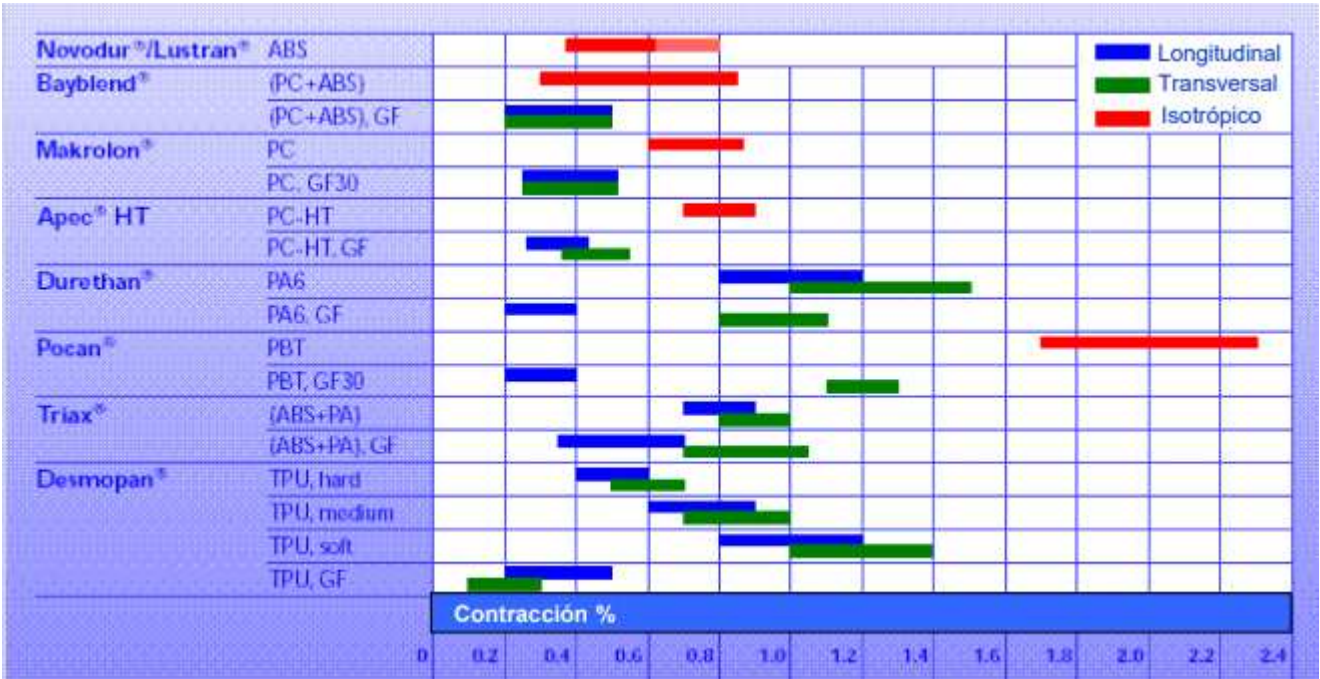


Figura 4.18: Factores de contracción

4.2.2.2. Temperatura del molde

Bajas temperaturas de molde provocan menores tiempos de enfriamiento, pero pueden influir negativamente en la calidad de la pieza.

El incremento de la temperatura de molde puede influir en:

- Aumento del brillo superficial



- Disminución de las tensiones internas
- Aumento de la resistencia al impacto
- Mejora de las líneas de soldadura
- Aumento de la contracción de moldeo
- Aumento de la formación de rebabas
- Aumento del ciclo de inyección.

En el caso de los termoplásticos semicristalinos un enfriamiento rápido da lugar a una capa exterior amorfa y a un nivel bajo de cristalinidad, mientras que un enfriamiento lento da como resultado cristales estables y mejores propiedades mecánicas.

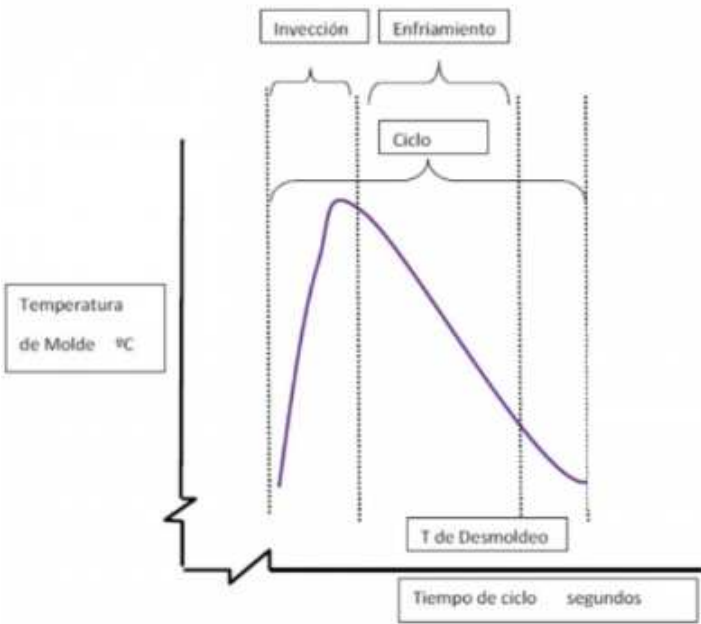


Figura 4.19: Comportamiento de la temperatura en la pared del molde en cada ciclo

| TEMPERATURA DE MOLDE ALTA      | TEMPERATURA DE MOLDE BAJA       |
|--------------------------------|---------------------------------|
| VELOCIDAD DE ENFIAMIENTO LENTA | VELOCIDAD DE ENFIAMIENTO RAPIDA |
| ALTO GRADO DE CRISTALINIDAD    | BAJO GRADO DE CRISTALINIDAD     |
| BUENAS PROPORCIONES MECÁNICAS  | MENORES PROPORCIONES MECÁNICAS  |
| ESTABILIDAD DIMENSIONAL        | BAJA ESTABILIDAD DIMENSIONAL    |
| ALTA CONTRACCIÓN DE MOLDEO     | BAJA CONTRACCIÓN DE MOLDEO      |
| POSTCONTRACCIÓN BAJA           | POSTCONTRACCIÓN ALTA            |
| MEJOR ASPECTO SUPERFICIAL      | TENCIONES INTERNAS              |

Cuadro 4.4: Consecuencias de trabajo con temperaturas altas y bajas

#### 4.2.2.3. Presión de mantenimiento

Esta presión es la aplicada al final de la inyección, cuando la cavidad del molde se encuentra casi completamente llena, a éste punto ya hay partes de la pieza que han empezado su etapa de enfriamiento. Dicha presión puede ser menor a la de inyección, pues su función es asegurar que la presión dentro de la cavidad no regresará el polímero al husillo por la boquilla del molde.

#### 4.2.2.4. Tiempo de mantenimiento (enfriamiento)

Se inicia en el momento que concluye la inyección y termina con la apertura del molde, es la etapa más larga de todo el ciclo llegando a suponer el 85 % del tiempo de ciclo. Depende de factores como la refrigeración del molde, geometría y espesor de la pieza o el material a inyectar.

Podemos calcular el tiempo aproximado que llevara a la pieza solidificarse completamente mediante la siguiente ecuación:

$$Tf = \frac{e_{max}^2}{\pi^2 * a_n} * \ln \left[ \frac{8(T_c - T_{mold})}{\pi^2 (T_{exp} - T_{mold})} \right]$$

Donde:

$Tf$  = Tiempo de enfriamiento

$e_{max}$  = espesor máximo de la pieza (mm)

$a_n$  = Difusividad térmica del material (obtenida en tablas) ( $\frac{mm^2}{s}$ )

$T_{exp}$  = Temperatura media de desmoldeo (°C)

$T_{mold}$  = Temperatura media del molde (°C)

$T_c$  = Temperatura del material (°C)

### 4.2.3. Etapa de extracción

Es la última etapa del proceso, posterior a la compactación se extrae la pieza del molde para su distribución a cliente.

Vea la sección 6 del Proyecto para más información.

# Capítulo 5

## Extras

### 5.1. Control de defectos

#### 5.1.1. Por contracción (Deformaciones)

Éste es uno de los errores más comunes.

En el capítulo 4.2 se habló sobre el factor de contracción; la velocidad de enfriamiento, temperatura del molde, tensiones internas y termodinámica del proceso intervienen en dicho fenómeno.

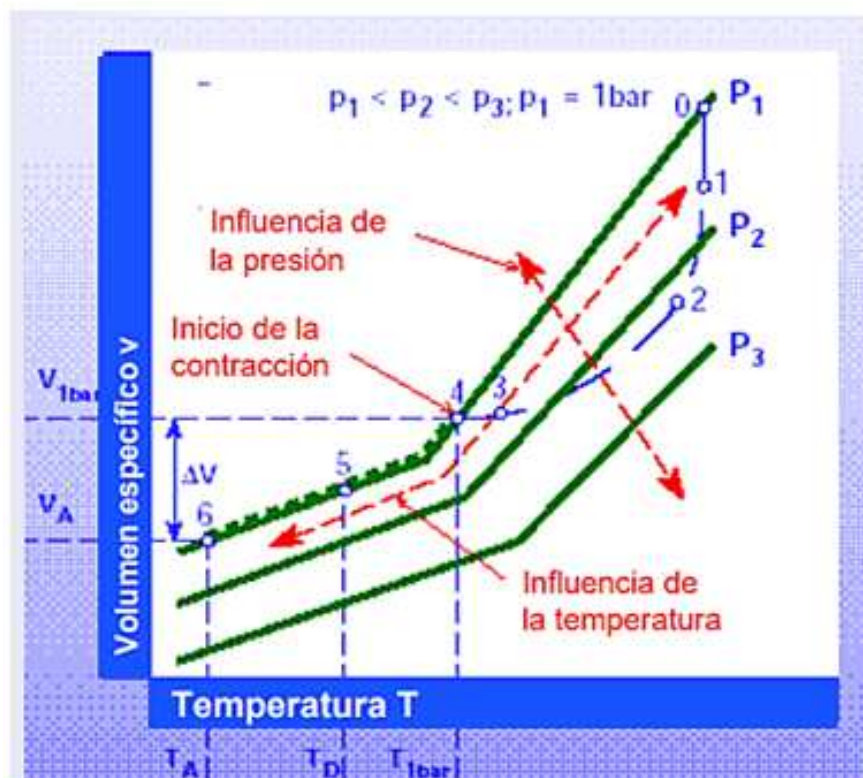


Figura 5.1: Evolución termodinámica; 0-1: Llenado volumétrico, 1-2: Compresión, 2-3: Presión de mantenimiento, 4-5: Enfriamiento de desmoldeo, 5-6: Enfriamiento ambiente.

Es posible calcular la contracción de la pieza y así prever posibles errores con mas precisión con las siguientes fórmulas:

$$S^v = \frac{v^c}{v^c - v^p}$$

Donde  $S^v$  = Contracción volumétrica     $V(c)$  = Volumen de la cavidad del molde  
 $V(p)$  = Volumen de la pieza moldeada

$$S_l = \frac{l_w - l_F}{l_w}$$

Donde  $S_l$  = Contracción lineal  
 $l_w$  = Dimensión cavidad del molde  
 $l_F$  = Dimensión pieza moldeada

$$S_v = 1 - (1 - S_L)(1 - S_W)(1 - S_S)$$

$$S_S = 0,9 - 0,95 * S_V$$

$$S_{\frac{L}{W}} = 0,1 - 0,05 * S_V$$

Donde  $S_V$ : Contracción volumétrica  
 $S_S$ : Contracción del espesor  
 $S_{\frac{L}{W}}$ : Contracción Longitudinal/Transversal

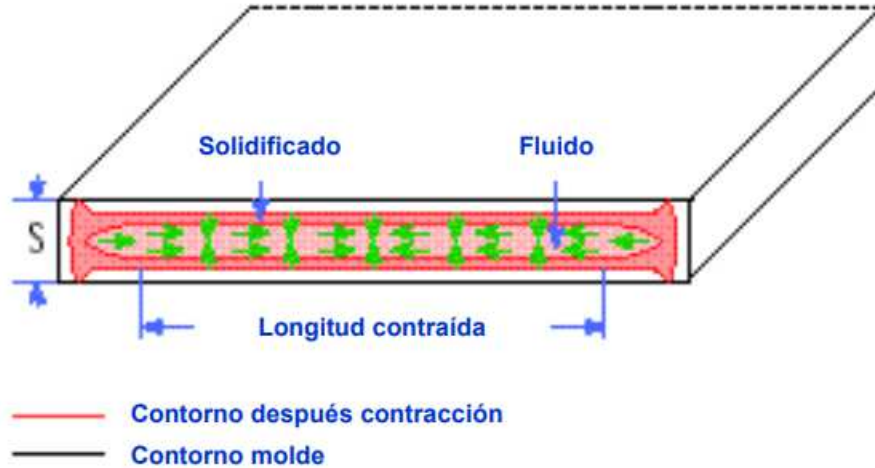


Figura 5.2: Representación de las contracciones en una pieza

Una forma de reducir la contracción en las piezas es elevar el tiempo de mantenimiento, en los materiales semicristalinos es posible reducir hasta 0.5% de la contracción, mientras que en los materiales amorfos puede llegar a 0.2%.



Figura 5.3: *Relación tiempo de mantenimiento y contraccion*

También se puede reducir dicha contracción aumentando la presión de mantenimiento



Figura 5.4: *Relación presión de mantenimiento y contraccion*

La contracción se incrementa con la temperatura del molde, ya que tiene una relación directa con la velocidad de enfriamiento, nuevamente; es mayor la influencia de la temperatura en materiales cristalinos que en amorfos.



Figura 5.5: *Relación temperatura del molde y cotracción*

Diferentes temperaturas en el molde dan lugar a contracciones diferentes a lo largo de la pieza.

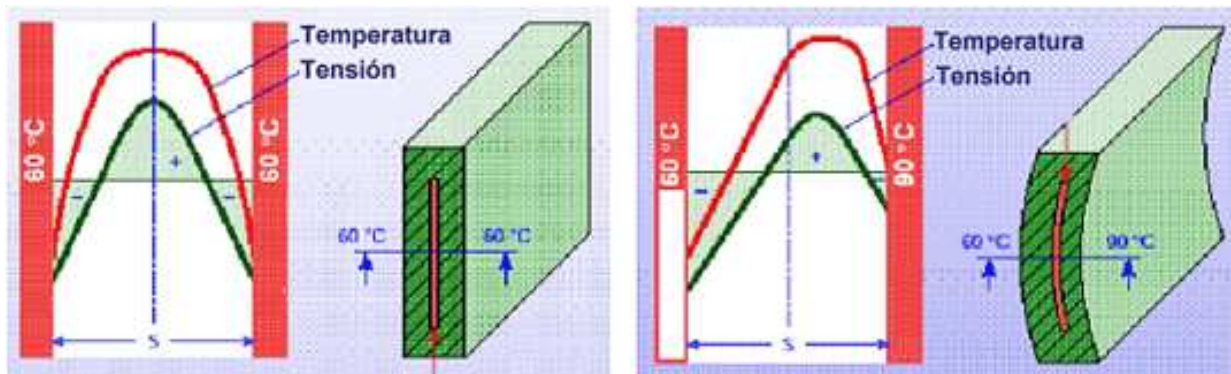


Figura 5.6: *Contracción a diferentes temperaturas*

#### 5.1.1.1. Deformación en nervios

Los nervios, al tener menor espesor que el resto de la pieza sufren menor contracción, lo que provoca deformaciones en la pieza.



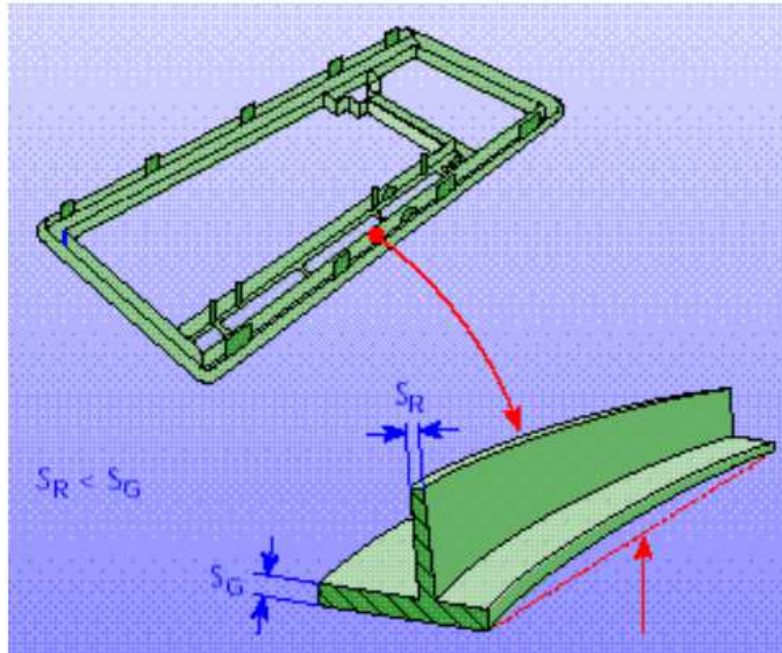


Figura 5.7: *Deformación en nervio de la pieza*

#### 5.1.1.2. Deformación en esquinas

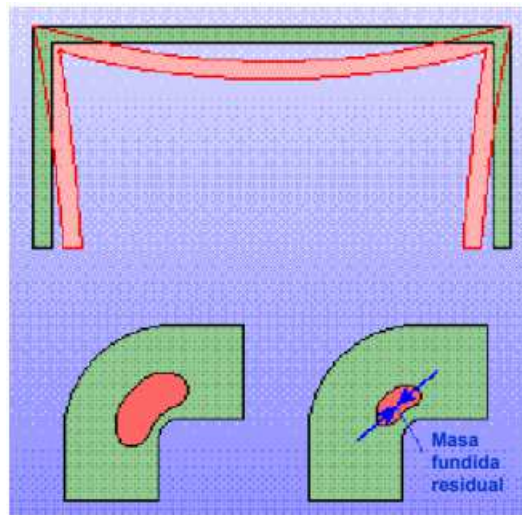


Figura 5.8: *Deformación en esquinas de la pieza*

#### 5.1.1.3. Deformación en discos

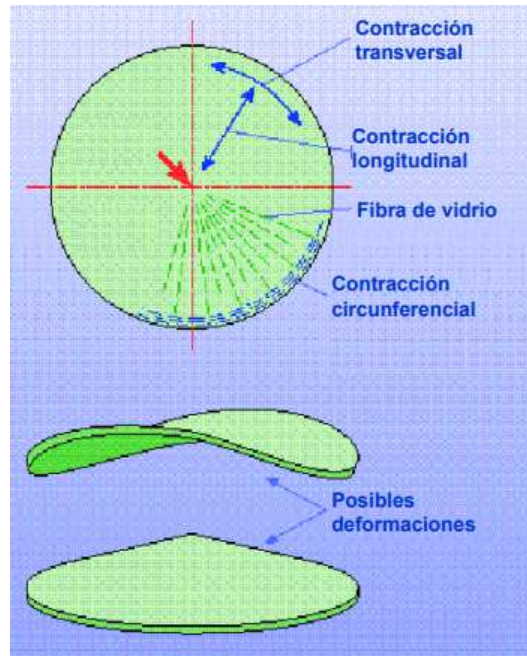


Figura 5.9: *Deformación en discos*

#### 5.1.1.4. Deformación en la geometría

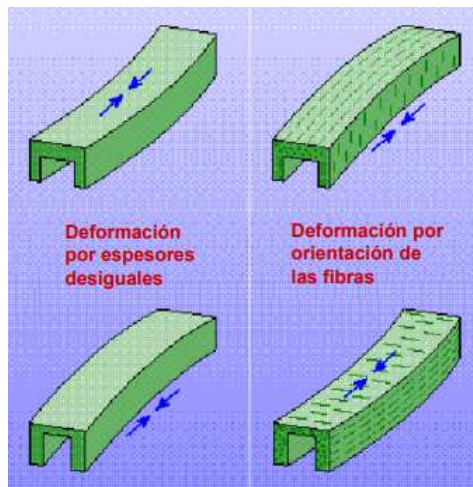


Figura 5.10: *Deformación en la geometría*



#### 5.1.1.5. Deformación en los bordes

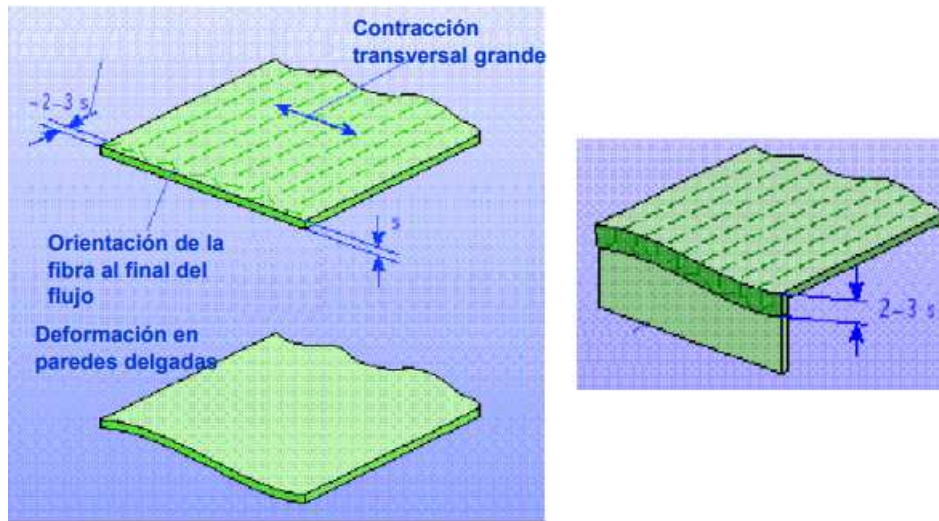


Figura 5.11: *Deformación en los bordes*

#### 5.1.1.6. Rebabas

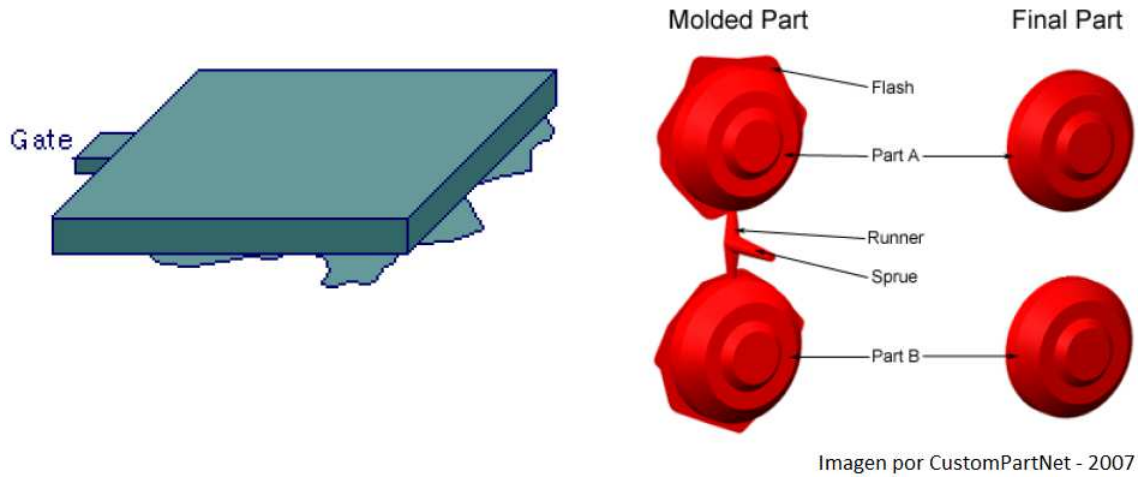


Figura 5.12: *Rebabas*

### 5.1.2. Por marcas en la piel (Errores visuales)

Además de los errores por contracción, los errores por marcas en la piel también suelen ser muy comunes en el moldeo por inyección.

#### 5.1.2.1. Burbujas

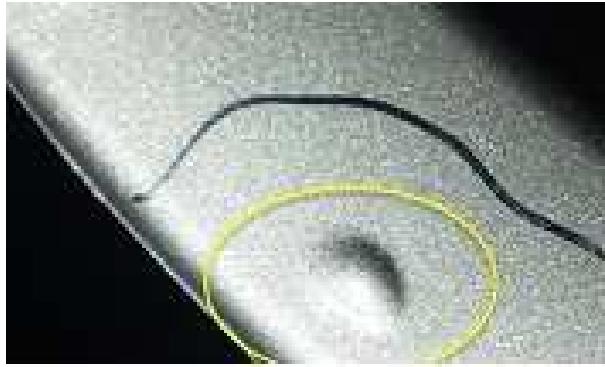


Figura 5.13: *Error por pretuberancias en la pieza*

| CAUSA         | POSIBLE REMEDIO                                           |
|---------------|-----------------------------------------------------------|
| RESINA HÚMEDA | SECAR CORRECTAMENTE LA RESINA ANTES DE INICIAR EL PROCESO |

Cuadro 5.1: Ventajas y desventajas sistemas de cierre

#### 5.1.2.2. Manchas



Figura 5.14: *Error por diferencias de brillo; principalmente en las esquinas*

| CAUSA                                                                    | POSIBLE REMEDIO                                   |
|--------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| ZONAS DE PARO O RELENTIZACIÓN DE FLUJO                                   | COMPENSAR LAS VARIANTES DE VELOCIDAD DE INYECCIÓN |
| ADHERENCIA DE PLÁSTICO QUEMADO EN LAS PAREDES DEL MOLDE                  | PURGAR EL CILINDRO                                |
| QUEMADURAS POR AIRE ATRAPADO EN EL MOLDE                                 | VENTILAR MOLDE CORRECTAMENTE                      |
| QUEMADURAS POR ROZAMIENTO DE RESINA FRÍA CONTRA LAS PAREDES DEL CILINDRO | USAR PLÁSTICOS LUBRICADOS                         |

Cuadro 5.2: Ventajas y desventajas sistemas de cierre

### 5.1.2.3. Acabado deficiente

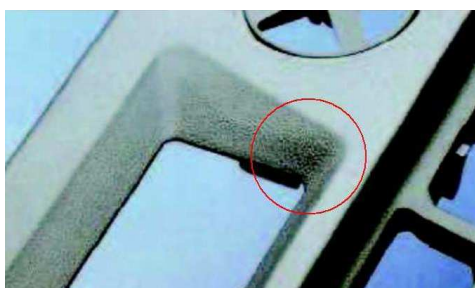


Figura 5.15: *Error por diferencias de brillo; principalmente en las esquinas*

| CAUSA                               | POSIBLE REMEDIO              |
|-------------------------------------|------------------------------|
| MOLDE DEMASIADO FRÍO                | ELEVAR TEMPERATURA DEL MOLDE |
| PRESIÓN DE INYECCIÓN DEMASIADO BAJA | ELEVAR PRESIÓN DE INYECCIÓN  |
| AGUA EN EL MOLDE                    | LIMPIAR EL MOLDE             |
| EXCESO DE LUBRICANTE EN EL MOLDE    | PULIR EL MOLDE               |

Cuadro 5.3: Ventajas y desventajas sistemas de cierre

#### 5.1.2.4. Marcas superficiales



Figura 5.16: *Error por humedad*

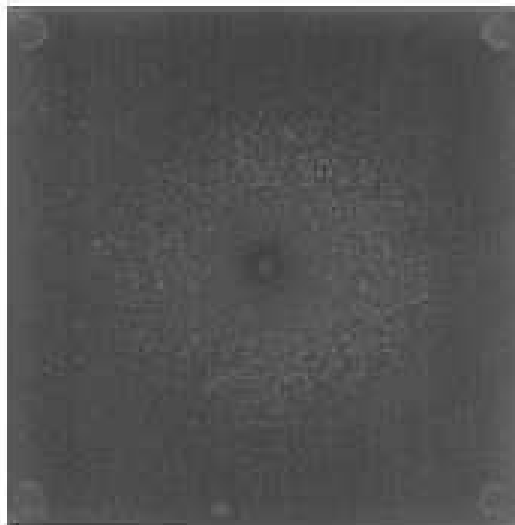


Figura 5.17: *Error por degradación*

| CAUSA                                                          | POSIBLE REMEDIO                               |
|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| MATERIAL FRÍO                                                  | ELEVAR TEMPERATURA DEL PLÁSTICO O DEL MOLDE   |
| INYECCIÓN LENTA                                                | AUMENTAR VELOCIDAD DE INYECCIÓN               |
| DESEQUILIBRIO DE FLUJO POR POR CANALES DE INYECCIÓN Y ENTRADAS | REEQUILIBRAR ORIFICIOS DE INYECCIÓN O CANALES |

Cuadro 5.4: Ventajas y desventajas sistemas de cierre

#### 5.1.2.5. Rechupes



Figura 5.18: *Error por depresiones superficiales*



Figura 5.19: *Error por atrapamientos de aire en la pieza*

| CAUSA                             | POSIBLE REMEDIO                    |
|-----------------------------------|------------------------------------|
| PLÁSTICO INSUFICIENTE EN EL MOLDE | AUMENTAR LA VELOCIDAD DE INYECCIÓN |
| PLÁSTICO DEMASIADO CALIENTE       | REDUCIR TEMPERATURA DEL CILINDRO   |
| BAJA PRESIÓN DE INYECCIÓN         | AUMENTAR PRESIÓN DE INYECCIÓN      |

Cuadro 5.5: Ventajas y desventajas sistemas de cierre

## 5.2. Introducción a los plásticos

En seguida se muestran algunas de las características de los plásticos más usados en el moldeo por inyección.

Las propiedades de los plásticos dependen de su naturaleza y composición; la dureza, elasticidad, rigidez, tenacidad y flexibilidad son propiedades generales de los plásticos y varían de unos a otros, también se pueden observar propiedades más específicas como las siguientes:

| PROPIEDADES FISICAS | CARACTERISTICAS                                |
|---------------------|------------------------------------------------|
| MECANICAS           | MALEABILIDAD, DUCTILIDAD, RESISTENCIA MECÁNICA |
| ACÚSTICAS           | AISLAMIENTO ACÚSTICO                           |
| ELÉCTRICAS          | AISLAMIENTO ELÉCTRICO                          |
| TÉRMICAS            | AISLAMIENTO TÉRMICO                            |
| OTRAS               | IMPERMEABILIDAD                                |

Cuadro 5.6: Propiedades de los plásticos

### 5.2.1. Clasificación de los plásticos

#### 5.2.1.1. Termoplásticos

La mayoría se obtienen de compuestos derivados del petróleo. Dichos materiales se vuelven maleables al calentarse, lo que les permite ser moldeados y adoptar nuevas formas que se conservan al enfriarse.

Este proceso de calentamiento y enfriamiento puede repetirse tantas veces como se quiera. En la tabla, los plásticos que son reciclables aparecen con un número en su interior que indica el tipo de plástico que es.

Los termoplásticos tambien pueden dividirse en Amorfos y Cristalinos, a continuación se muestra una tabla con sus respectivas características:

| ESTRUCTURA | FORMACIÓN                                                                                                                           | CARACTERÍSTICAS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | EJEMPLO                  |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| AMORFA     | LAS MOLÉCULAS NO PRESENTAN NINGÚN TIPO DE ORDEN, ESTÁN DISPUESTAS ALEATORIAMENTE                                                    | SON NORMALMENTE TRANSPARENTES, SU FUSIÓN SE REALIZA EN UN INTERVALO DE TEMPERATURA (NO EXISTE UN PUNTO DE FUSIÓN PRECISO), A MENUDO QUE LA TEMPERATURA AUMENTA EL MATERIAL PASA DE UN ESTADO SÓLIDO A PASTOSO PARA POSTERIORMENTE CONVERTIRSE EN LIQUIDO, SIN CARGA SUELEN TENER UNA CONTRACCIÓN DE ENTRE 0.3 Y 0.9%, CON CARGA EL VALOR ES MENOR | PVC, PS, SAN ABS PMMA PC |
| CRISTALINA | AL ENFRIARSE SUS CADENAS TIENDEN A ENLAZARSE MUY ORDENADAMENTE POR LO QUE PRODUCEN UN EMPAQUETAMIENTO MUY ORDENADO (CRISTALIZACIÓN) | SON OPACOS, POSEEN UN PUNTO ESPECÍFICO DE FUSIÓN, EL INTERVALO PUNTO DE TRANSFORMACIÓN ESTÁ LIMITADO A POCOS GRADOS (UN POCO MÁS ABAJO DE ESTE PUNTO DE FUSIÓN SU ESTADO ES TODAVÍA SÓLIDO), TIENEN CONTRACCIÓN ELEVADA                                                                                                                           | PE, PP POM PA, PET       |

Cuadro 5.7: Propiedades de los termoplásticos

#### **5.2.1.2. Termoestables**

Proceden de compuestos derivados del petróleo. Están formados por cadenas enlazadas fuertemente en distintas direcciones. Al someterlos al calor y ser moldeados adquieren una forma determinada que conservan cuando se enfrían. A diferencia de los anteriores, estos plásticos no se ablandan al ser calentados de nuevo.

#### **5.2.1.3. Elastómeros**

Este tipo de plásticos se obtiene por vulcanización, proceso inventado por el norteamericano Charles Goodyear (1800-1860). Consiste en mezclar azufre y caucho a 160 °C, lo que confiere dureza, resistencia y durabilidad, sin perder la elasticidad natural. Los elastómeros están formados por cadenas unidas lateralmente y plegadas sobre sí mismas como un ovillo, de tal modo que, cuando se aplica una fuerza, las cadenas se estiran. Los elastómeros tienen gran elasticidad, adherencia y dureza.

### **5.2.2. Plásticos más usados en el moldeo por inyección**

#### **5.2.2.1. Acrilonitrilo - Butadieno - Estireno (ABS)**

El ABS se suele definir mediante tres propiedades principales:

- Fluidez
- Resistencia al calor
- Resistencia a los impactos

El Estireno aporta al ABS una buena procesabilidad, el acrilonitrilo rigidez y resistencia química al calor, mientras que el butadieno vuelve al producto más duro y elástico incluso a bajas temperaturas.

Las aplicaciones habituales del ABS son las siguientes:

- General: juguetes, bienes de consumo, teléfonos, cascos de seguridad
- Automóviles: paneles interiores para puertas, pilares, tapicería de asientos, rejillas, tableros de mandos, carcasas para espejos
- Electrodomésticos: carcasas de electrodomésticos de cocina, carcasas de aspiradoras, paneles de control o productos de línea blanca
- Extrusión: chapados, platos de ducha, techos para tractores, cantos de mobiliario, revestimientos de neveras, equipaje

A continuación se muestra su temperatura de trabajo del husillo recomendada:



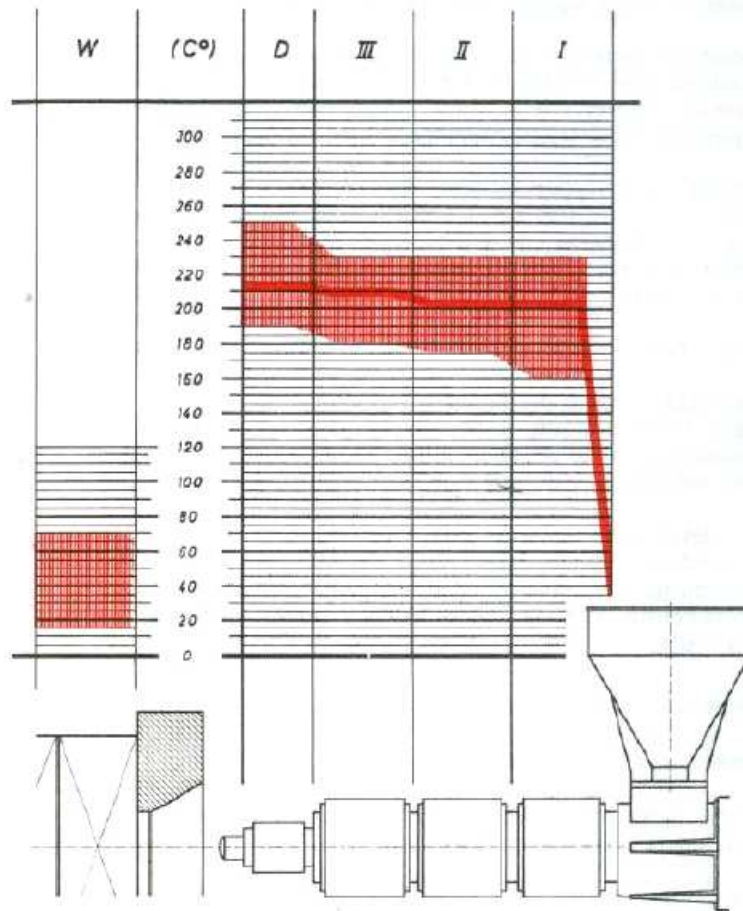


Figura 5.20: *Temperaturas de trabajo del husillo del ABS*

#### 5.2.2.2. Polietileno (PET)

Este plástico se utiliza principalmente para hacer bolsas de almacén, frascos de champú, juguetes o chalecos a prueba de balas. Por ser un material tan versátil, tiene la estructura más simple de todos polímeros comerciales.

Es ideal para contener bebidas gaseosas debido a su baja permeabilidad, por lo que uno de sus usos más habituales es la fabricación de botellas.

Además, otras de sus aplicaciones más importantes son la fabricación de envases de alimentos, fibras para prendas de vestir y alfombras.

A continuación se muestra su temperatura de trabajo del husillo recomendada:

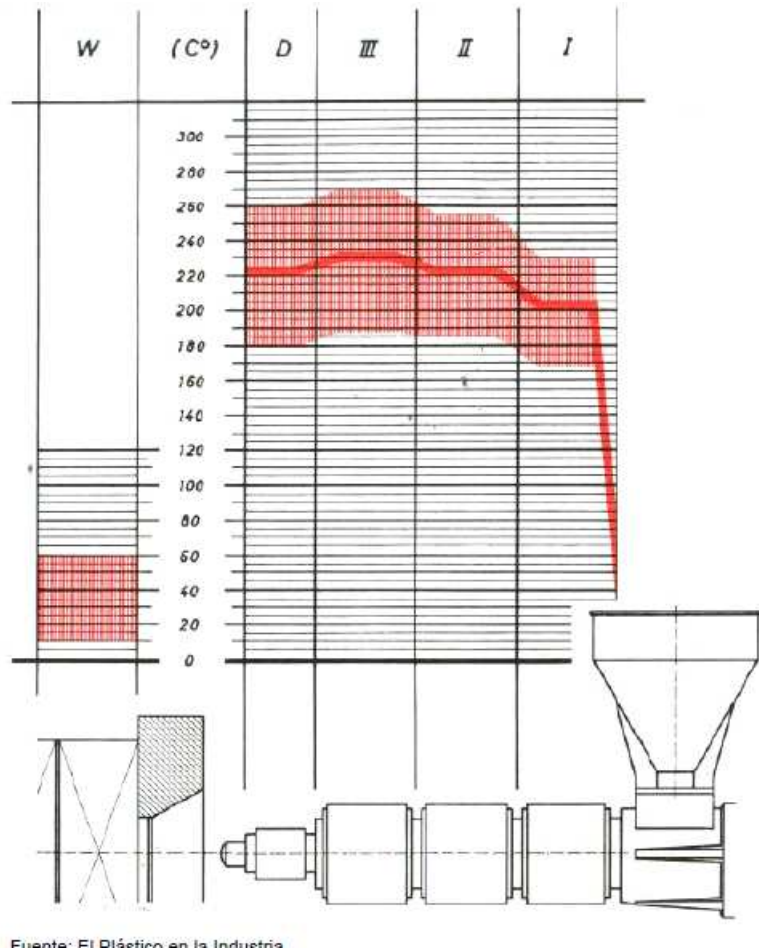


Figura 5.21: *Temperaturas de trabajo del husillo del PET de alta presión - para baja presión temperaturas recomendadas pueden aumentar entre 20 y 50°*

### 5.2.2.3. Polipropileno (PP)

Es usado como plástico y como fibra.

Como plástico se utiliza para hacer cosas como envases para alimentos capaces de ser lavados a temperaturas altas, como en un lavaplatos. Esto es factible porque no funde por debajo de 160 °C.

Como fibra se utiliza para hacer alfombras de interior y exterior debido a que es fácil picmentarlo con colores varios. también se usa en coladeras de las piscinas o canchas de mini-golf porque no absorbe agua fácilmente.

Entre sus ventajas más importantes se encuentran su bajo coeficiente de rozamiento, su buena resistencia a la fatiga, la buena resistencia frente a la humedad, alta resistencia a la abrasión y valores de temperatura de operación hasta 126 °C.

Por otro lado, las desventajas más importantes son que se descompone fácilmente frente a la exposición de radiación ultravioleta, que es inflamable, la dificultad de unión con otras piezas y

su susceptibilidad a la oxidación, entre otras.

A continuación se muestra su temperatura de trabajo del husillo recomendada:

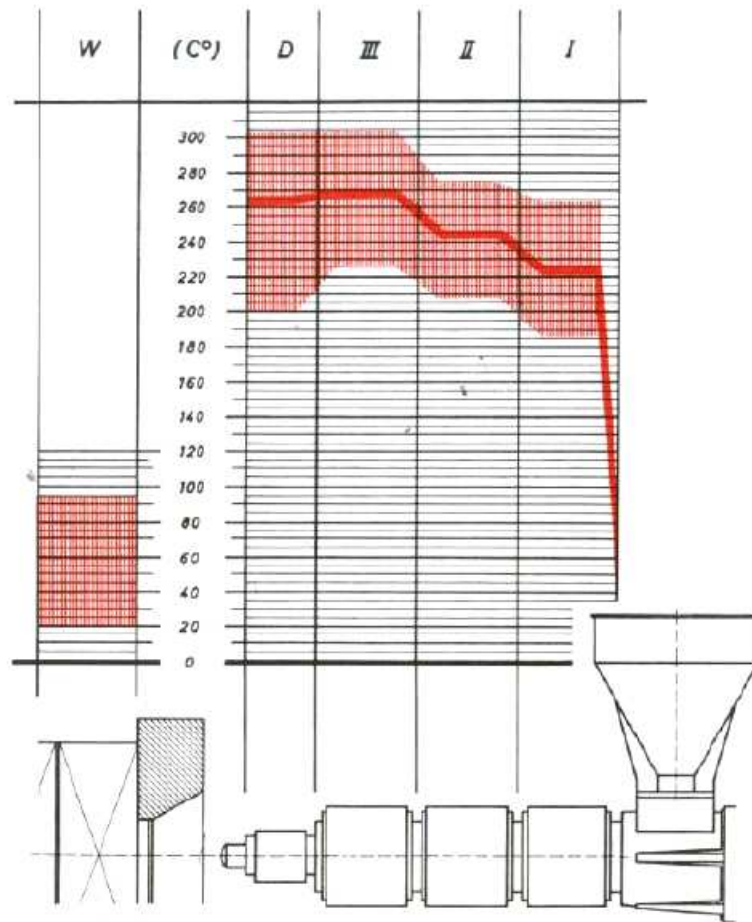


Figura 5.22: Temperaturas de trabajo del husillo del PPP

#### 5.2.2.4. Poliestireno (PS)

El poliestireno es un plástico económico y resistente, por ello es de los más utilizados, es empleado en productos como la cubierta exterior de las computadoras, maquetas de autos y aviones, envoltorios y aislantes, autopartes, botones de radios y estereos, juguetes o accesorios de comida.

Sus ventajas más importantes son sus buenas propiedades ópticas y de brillo, su bajo peso y coste, y la buena estabilidad dimensional.

Entre las desventajas más importantes están su inflamabilidad, baja resistencia a la exposición medioambiental, baja estabilidad térmica y fragilidad.

A continuación se muestra su temperatura de trabajo del husillo recomendada:



Figura 5.23: *Temperaturas de trabajo del husillo del PS*

### 5.2.3. Características físico mecánicas

A continuación se muestra un diagrama con las características físico - mecánicas de los plásticos de ingeniería más conocidos que permiten reconocer que tipo de proceso de moldeo de plástico se puede realizar, según el tipo de polímero.

### 5.2.4. Capacidad de inyección

Vea la sección "Volumen de producción y capacidad de inyección de la máquina inyectora" de la .Etapa de llenado"(4.2.1) para mayor información.

### 5.2.5. Factor de corrección

Vea la sección "Presión de inyección" de la .Etapa de llenado"(4.2.1) para mayor información.

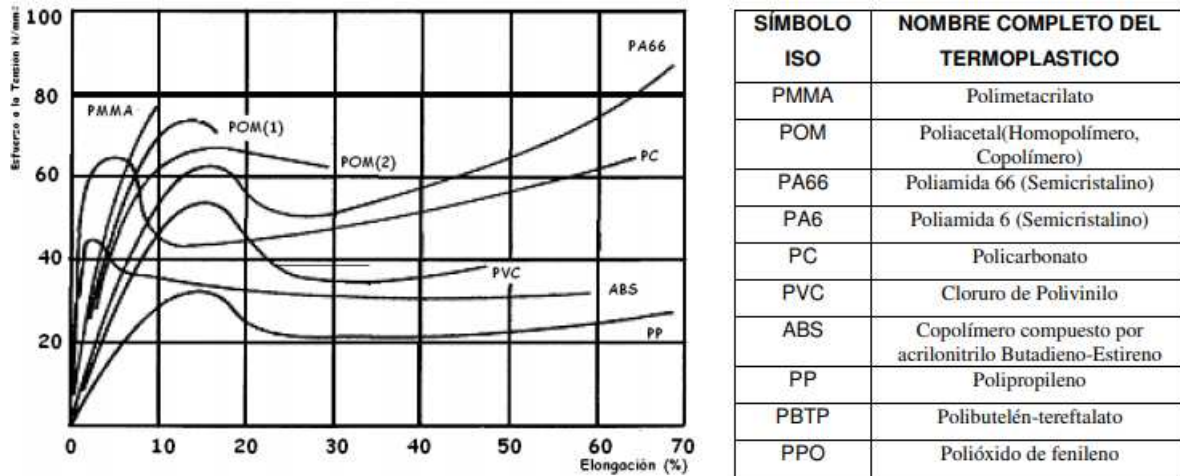


Figura 5.24: Características físico - mecánicas de los plásticos más usados en moldeo por inyección

### 5.2.6. Factor de contracción

Vea la sección de Resina a utilizar”(Etapa de compactación - 4.2.2) para más información.

### 5.2.7. Temperaturas de trabajo del husillo

Vea la sección ”Plásticos más usados en el moldeo por inyección”(5.2.2) para mayor información.

# Capítulo 6

## Proyecto

### 6.1. Introducción

Como se ha visto a lo largo de la tesis el proceso de moldeo por inyección está compuesto por 3 etapas; inyección, compactación y expulsión, después de esto la pieza se encuentra solidificada y lista para continuar su camino hacia el cliente final.

Sin embargo, como se menciona en la sección de canales de alimentación (3.1.3) la pieza moldeada presenta residuos de plástico (coladas frías) producto del paso del termoplástico por los canales hacia la cavidad, dichas coladas deben retirarse de la pieza, pues no forman parte del diseño original de esta, si no que son consecuencia del proceso mismo.

Hoy en día, por seguridad la extracción de la pieza la realiza un robot que posteriormente la deja en una banda transportadora o bien la conduce al sistema de corte de coladas, del cual tratará éste proyecto.

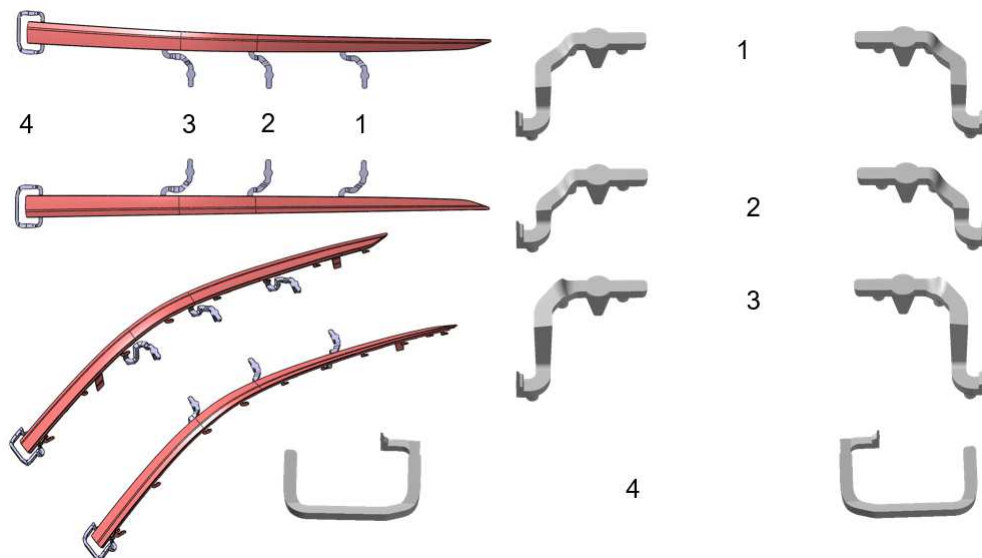


Figura 6.1: Colada fría en pieza de inyección

La siguiente figura muestra un robot industrial con su herramienta de fin de brazo (End of arm tool - EOAT), dicha herramienta está compuesta por un sistema neumático que se encarga de sujetar la pieza y retirarla del molde. El tamaño y forma del herramental depende de la geometría de la pieza



Figura 6.2: *End of arm tool*

Existen varias formas de retirar la colada de la pieza, entre las principales se encuentran el uso de sopletes, cuchillas o pinzas de corte, el uso de una u otra depende del tiempo de ciclo que se quiera lograr, un alto tiempo de ciclo permite métodos de trabajo poco automatizados, mientras que un bajo tiempo de ciclo requiere de sistemas de corte más avanzados, en el proyecto se propone un sistema de corte para la pieza plástica.



## 6.2. Desarrollo del proyecto

Se presenta el proyecto del panel frontal de un automóvil.



Figura 6.3: *Audi Q3*

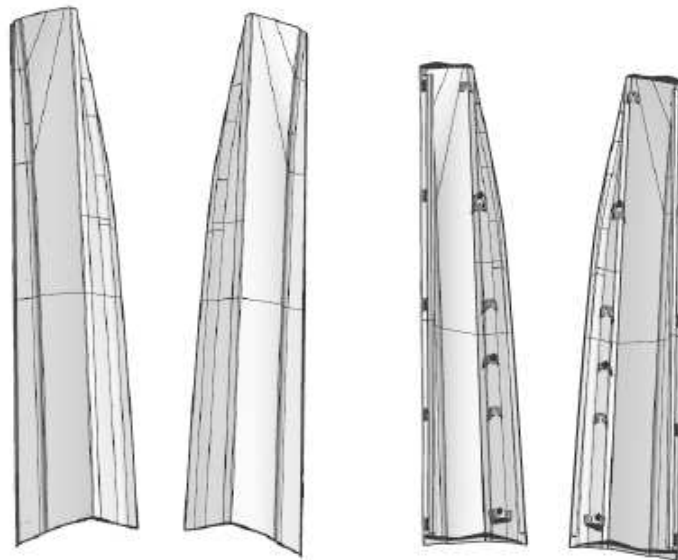


Figura 6.4: *CAD Panel frontal AQ3*



**Se expone el programa con las siguientes características del molde y pieza:**

CADS Property of Audi

Part Name = Front Door panel AU316/2 basis outer  
Part Number = TBD

Shrink = 1.0042  
Mold weight = 12200KG (26840lbs)Total  
Mold size = 1850X1450X1097mm  
Ejector stroke = 145mm  
Mold builder / job number = Lead mould / HS23715  
Texture type / gloss = Cavity: MIC texture (800) Core ? 320  
Hot spot temp: Cavity 40° Core 40°  
Tie bars: 1870X1420mm

Cavity Block Dims & Material: 1.2738HH 1000X1530X230  
Core Block Dims & Material: 1.2738 1000X1530X270

QMC / Clamp Plates?CV?: 1850X1450X60  
QMC / Clamp Plates (EJ): 1850X1450X60  
Overall Mold Dimensions: 1850X1450X1097  
Cavity / Core / Total Weight (Estimated): Cavity:5600KG (12320lbs), Core:6600KG (14520lbs),  
Total:12200KG (26840lbs)

Quoted Press Size: 1600T  
Manifold System: HRS

Number of Drops: 6 Drops SVG

### **6.2.1. Analisis**

Ahora bien, ¿que datos específicamente nos interesan para diseñar el sistema de corte?

#### **6.2.1.1. Medidas del molde**

El tamaño del molde permite dimensionar las medidas generales que tendrá el sistema de corte.

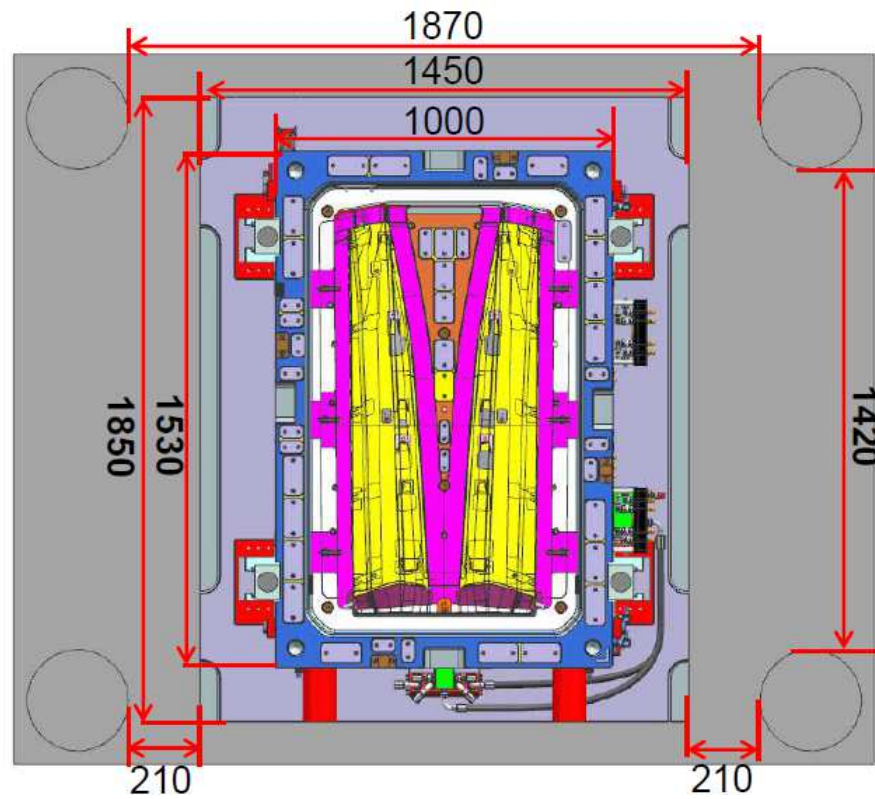


Figura 6.5: *Tamaño del molde*

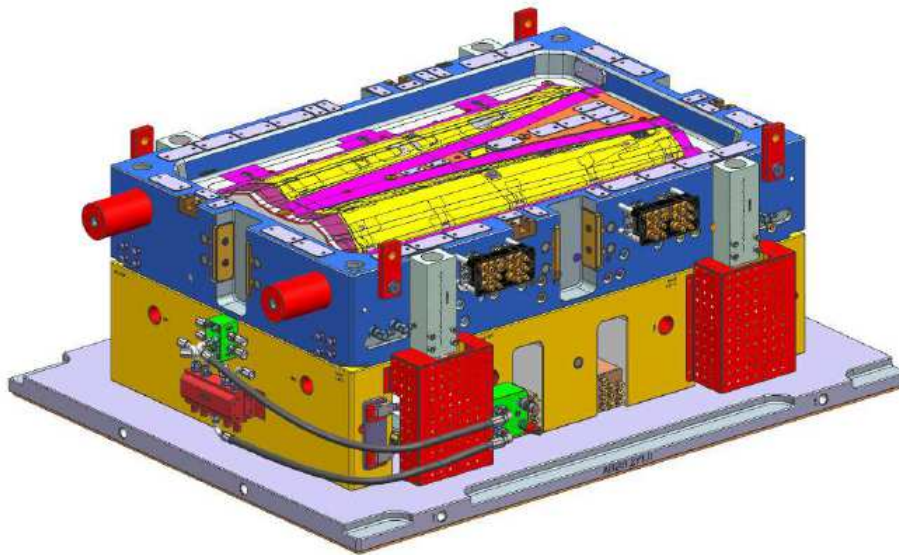
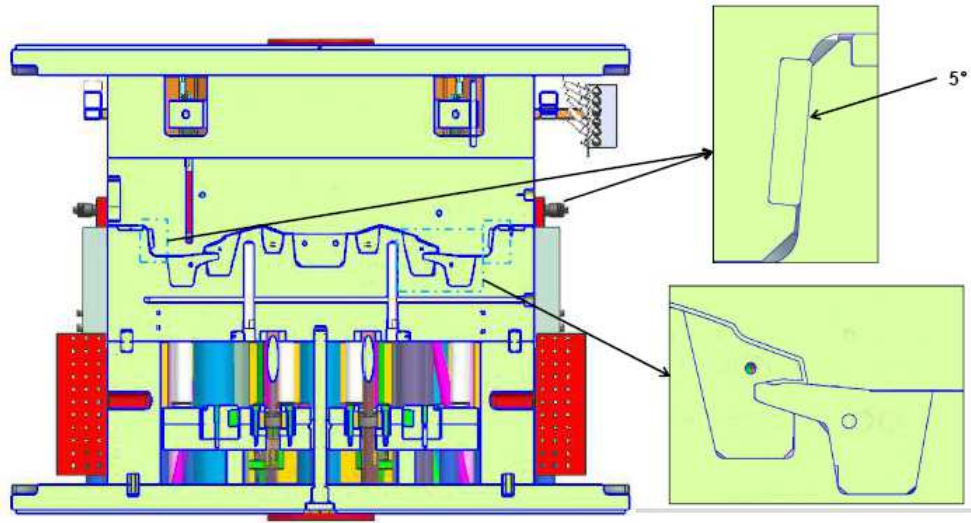
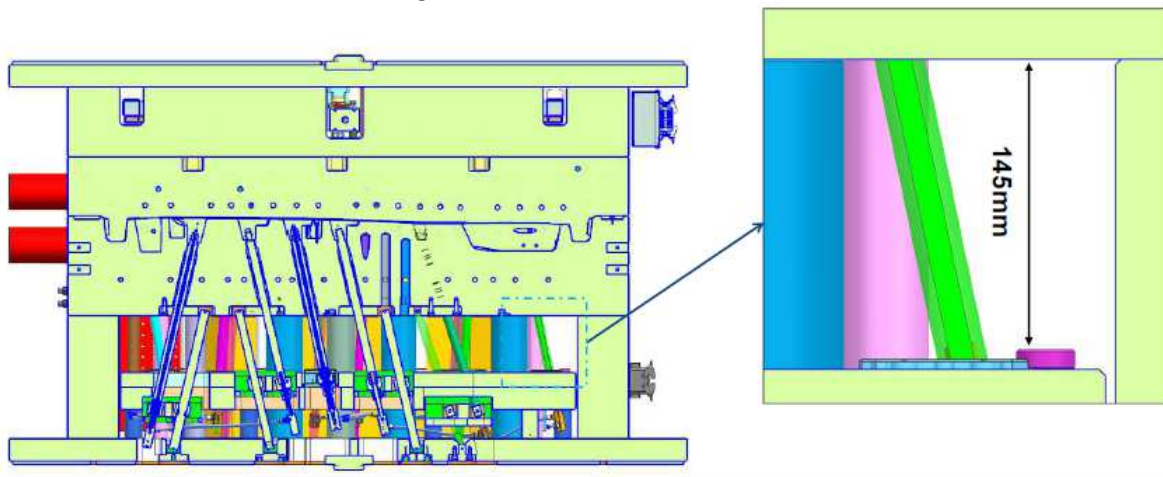


Figura 6.6: *Vista en perspectiva de la cavidad*


Figura 6.7: *Vista lateral corta*

Figura 6.8: *Vista lateral corta*

De los CADs anteriores se obtienen las medidas del molde, espesores de las placas, distribución de manifolds, carrera del eyector y tamaño de cierre total.

Así no se conociera la geometría de la pieza con éstos datos ya es posible iniciar una planeación del sistema de corte, en base a los dibujos sabemos que éste no tendrá dimensiones mayores a 1530X1000mm.

Los sistemas de corte independientes normalmente se montan sobre una celda situada por encima de una tolva que ayuda a reunir los residuos de plástico cortados, por lo que conocer la apertura máxima del molde también nos es útil para tener una medida máxima de referencia a la que no sobrepasará el robot junto con su herramienta de fin de brazo.

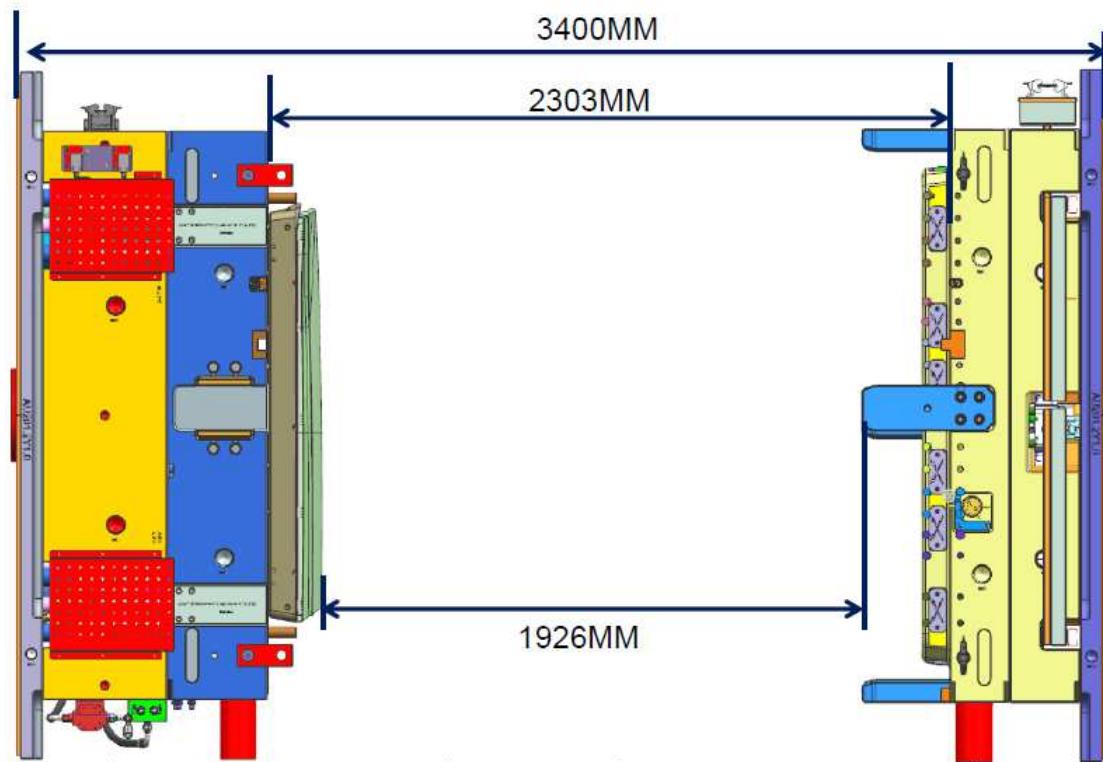


Figura 6.9: *Apertura del molde*

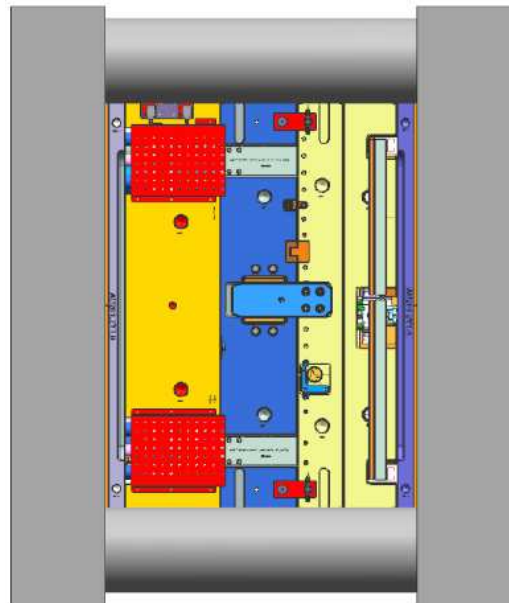


Figura 6.10: *Molde cerrado*

Si bien los datos reunidos anteriormente sirven como referencia general para el tamaño del sistema de corte, no nos proporcionan números específicos sobre la geometría de la pieza, es necesario conocer exactamente la ubicación de cada una de las coladas.

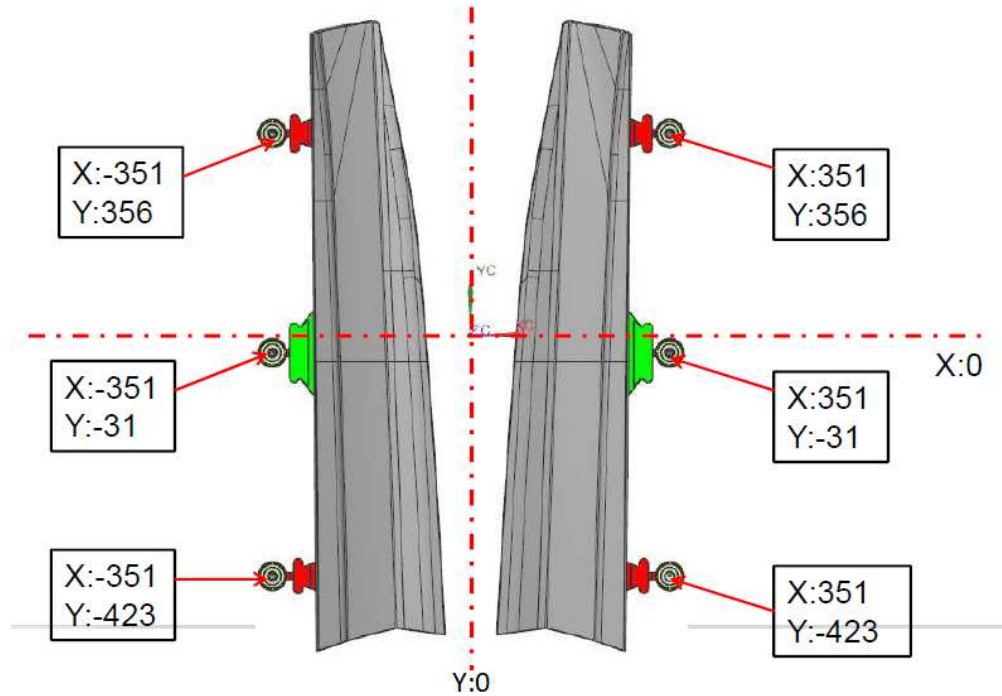


Figura 6.11: Ubicación de coladas en la pieza

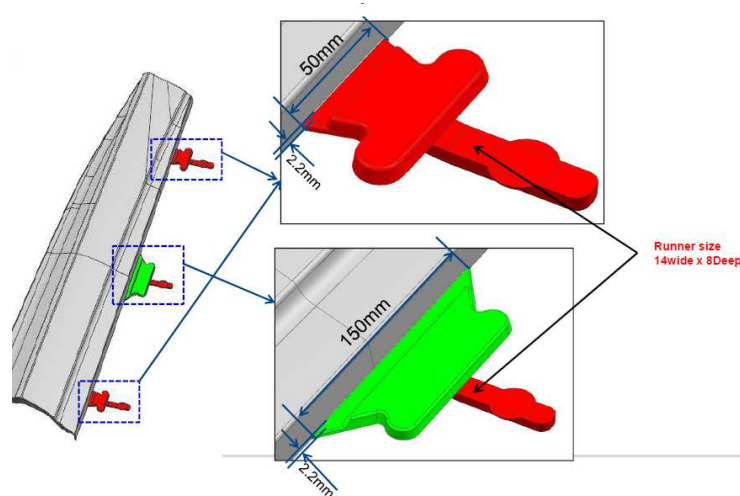


Figura 6.12: Ubicación de coladas en la pieza 2



Con las medidas anteriores se concluye que los cortadores deben ser capaces de superar en apertura los 50mm para las coladas exteriores y 150mm para la interior, así como una separación de entre 300 y 400mm entre colada y colada.

También se deben considerar las posiciones en las cuales el robot tomará la pieza, no se pueden ubicar parte de los elementos de un cortador para una colada en el mismo lugar que de donde es tomada la pieza por el herramental de fin de brazo, éstos elementos colisionarían.

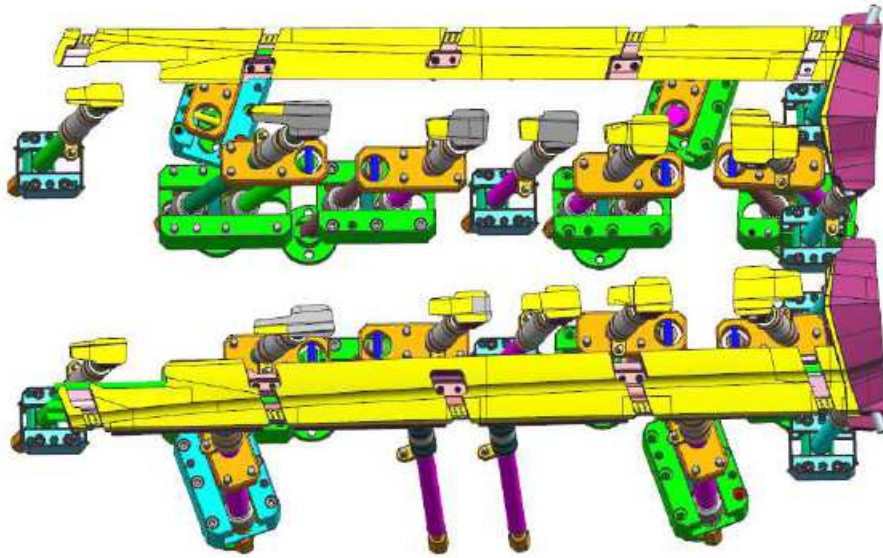


Figura 6.13: Ubicación de los lifters o expulsores

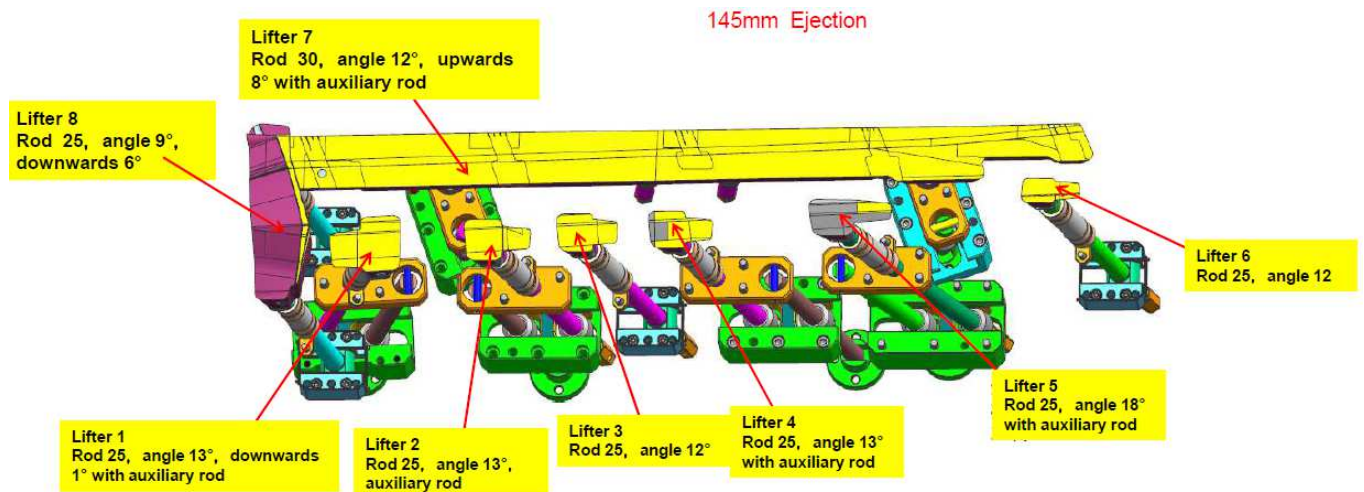


Figura 6.14: Ubicación de los lifters o expulsores 2

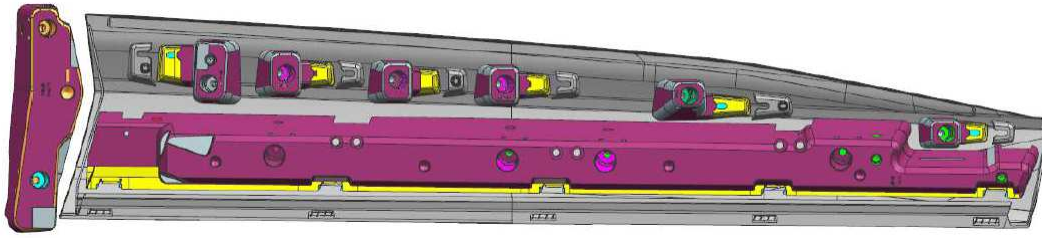


Figura 6.15: *Ubicación de los lifters o expulsores vista desde la pieza*

Se observa que los expulsores están situados en la parte interior de la pieza, eso significa que el herramental de fin de brazo tomará la pieza desde su zona exterior forzosamente, no podría tomarla por la parte delgada o interior porque chocarían las pinzas del herramental con los expulsores.  
interior de la pieza.

### 6.2.2. Modelado

Ya se conoce todo lo necesario para diseñar un sistema de corte; dimensiones de la estructura del molde, tamaño de apertura, geometría de las coladas y ubicación de éstas.

Se puede tomar como base un cortador ya existente y partir de su diseño para las modificaciones necesarias y adaptarlo a nuestra pieza.



Figura 6.16: *Ejemplo de sistema de corte 1*



Figura 6.17: *Ejemplo de sistema de corte 1.1*

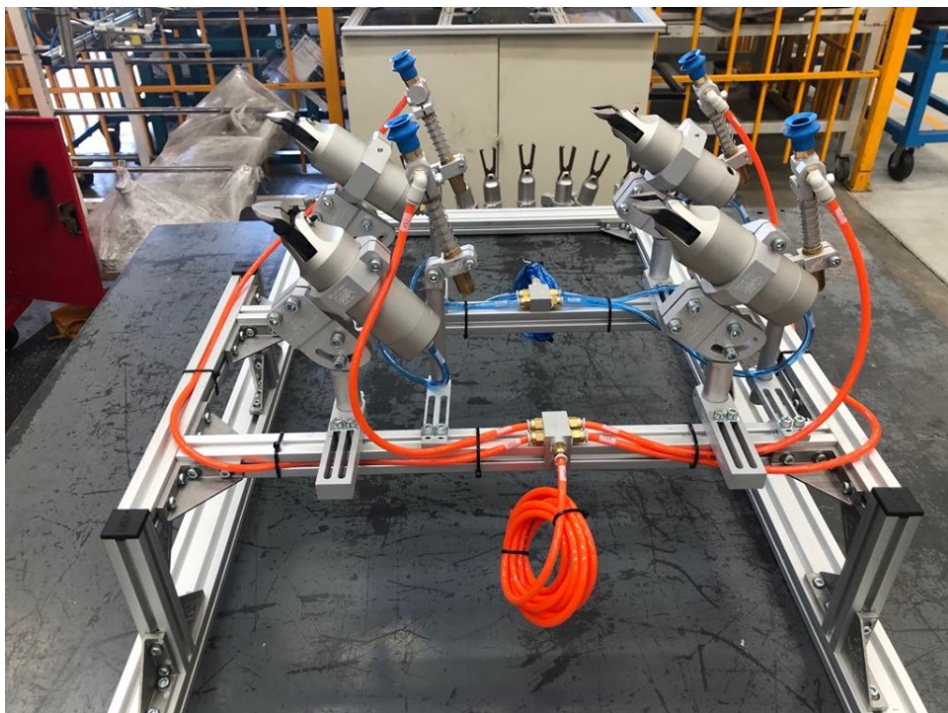


Figura 6.18: *Ejemplo de sistema de corte 2*





Figura 6.19: *Ejemplo de sistema de corte 2.1*



Figura 6.20: *Componentes del sistema de corte*

Se diseña cada uno de los componentes para formar la estructura final del sistema de corte.

**Perfil para la estructura:**

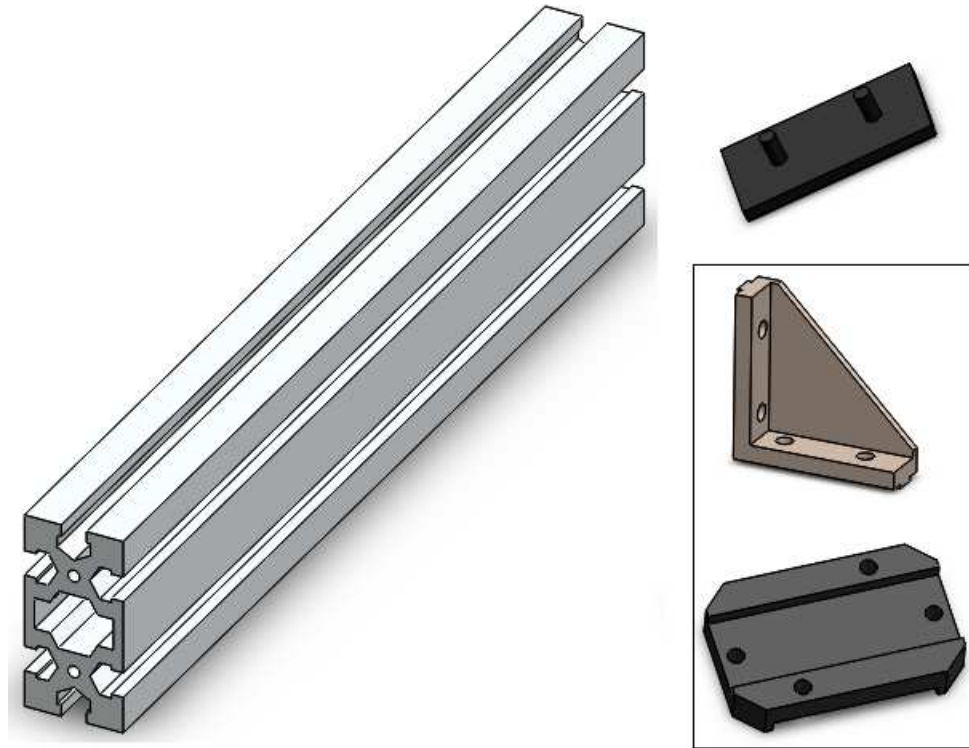


Figura 6.21: *Perfil para la estructura — Conectores de perfil*

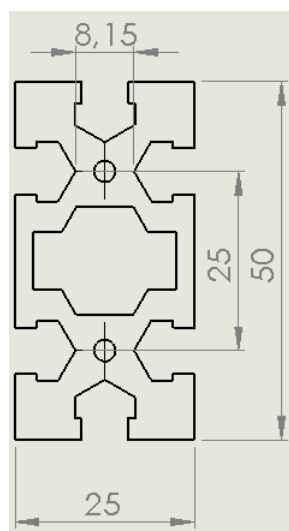


Figura 6.22: *Plano del perfil*

**Abrazadera:** Es el primer elemento que se fija al perfil de la base, funciona como ajuste de rotación y de soporte para las siguientes herramientas que se montan sobre el.

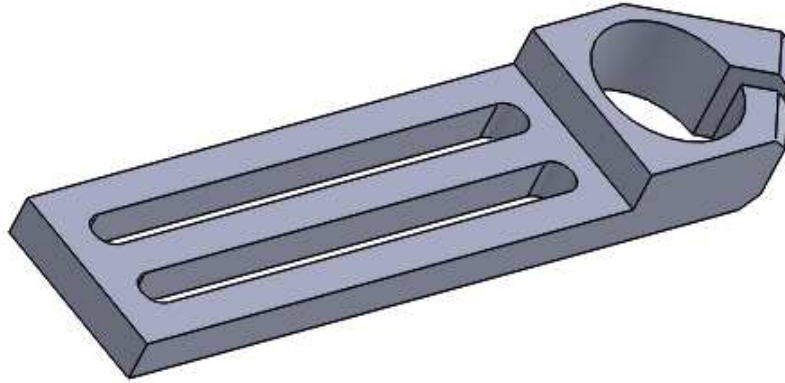


Figura 6.23: *Abrazadera*

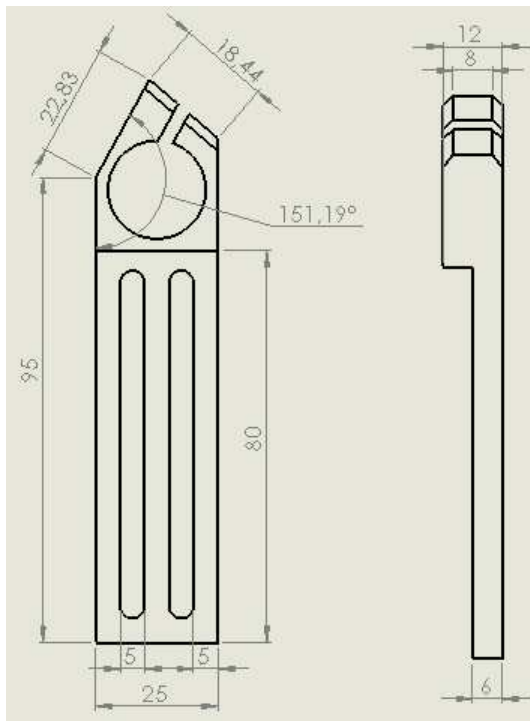


Figura 6.24: *CAD Abrazadera — Abrazadera con sus tornillos*

**Sujetador del pistón:** Se monta sobre la abrazadera y sirve como brazo del pistón (Figura 6.23) que contiene a la pinza (Figura 6.29).

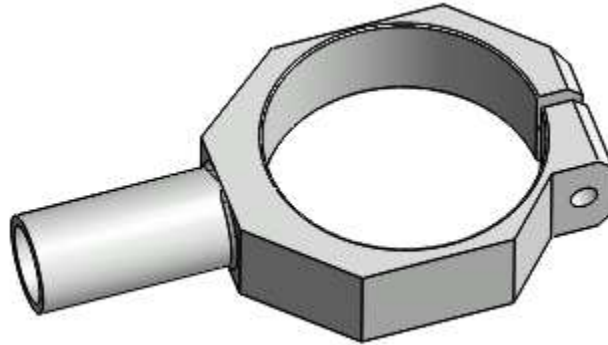


Figura 6.25: CAD *Sujetador del pistón*

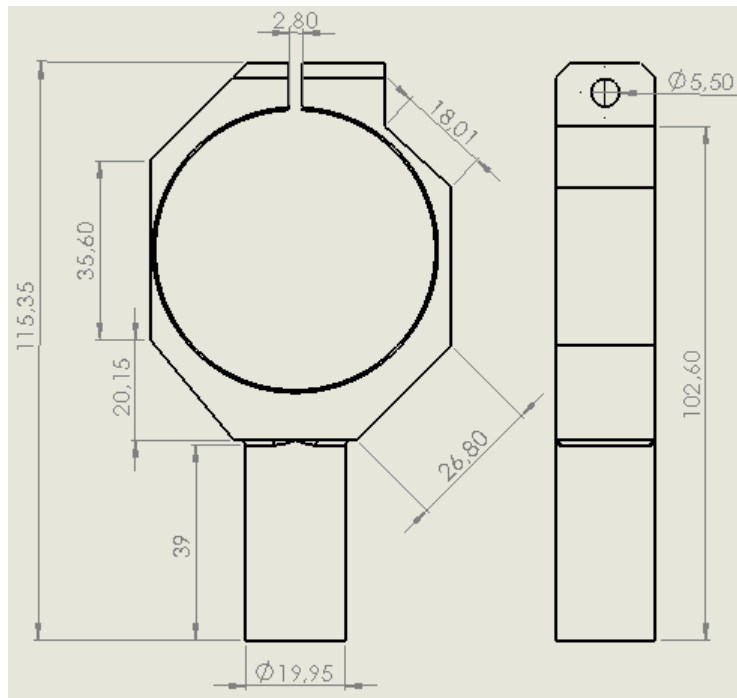


Figura 6.26: Plano *Sujetador del pistón*

**Pistón:** Acciona la cuchilla mediante un sistema neumático.

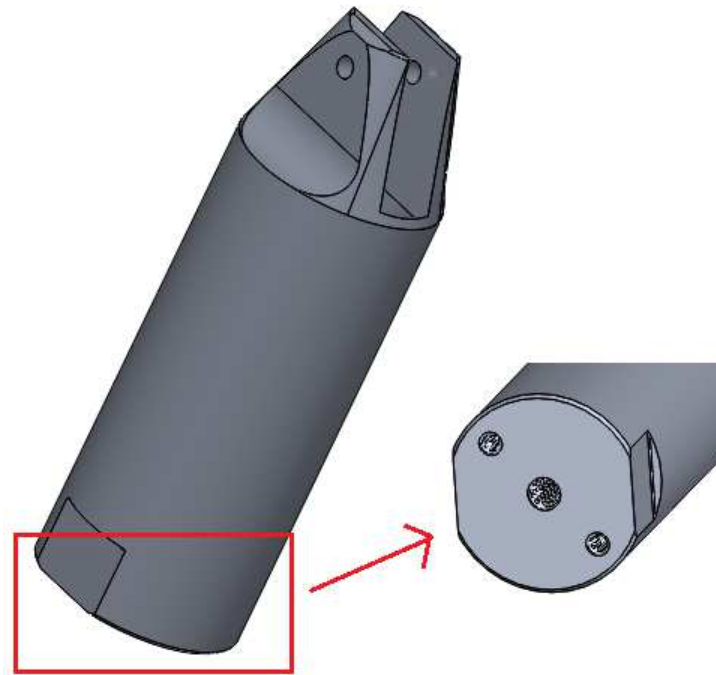


Figura 6.27: *Pistón — Entrada de la tubería neumática*

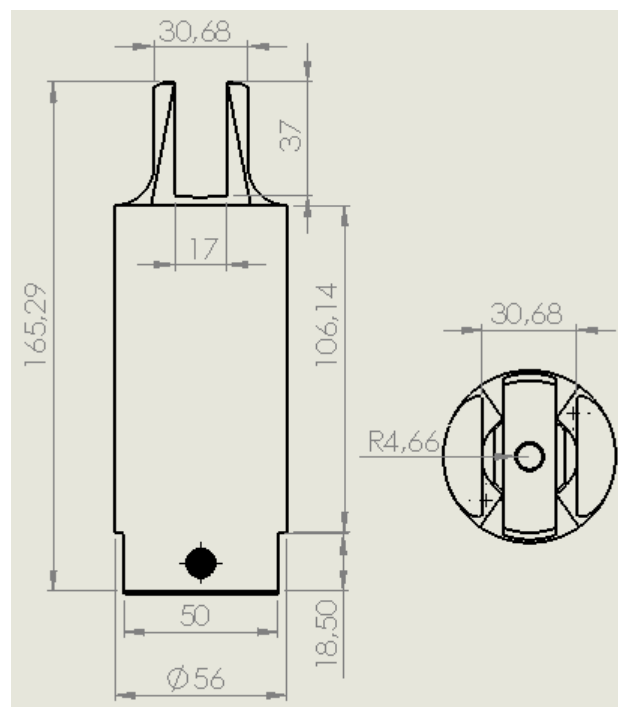


Figura 6.28: *Plano del pistón*

**Cortador:** Corta la colada de la pieza.

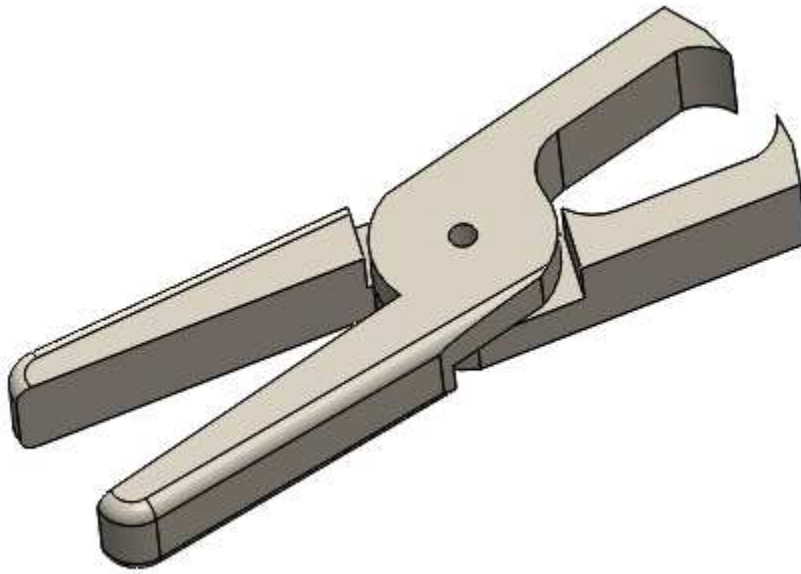


Figura 6.29: *CAD Cortador*

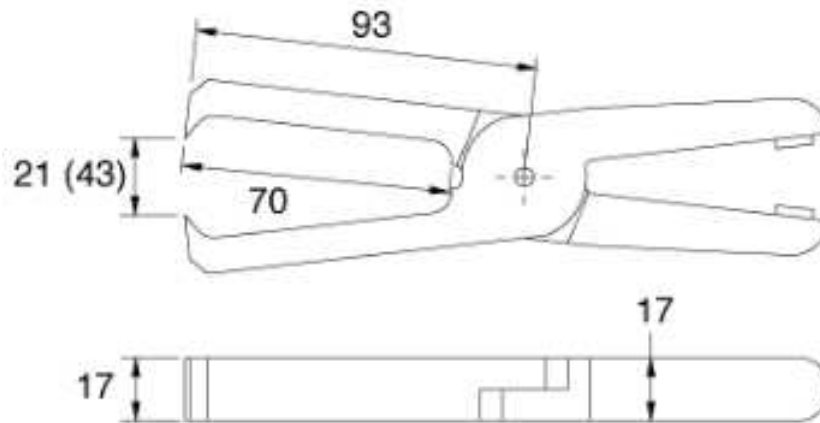


Figura 6.30: *Plano del cortador*

**Ensamble entre perfiles.**

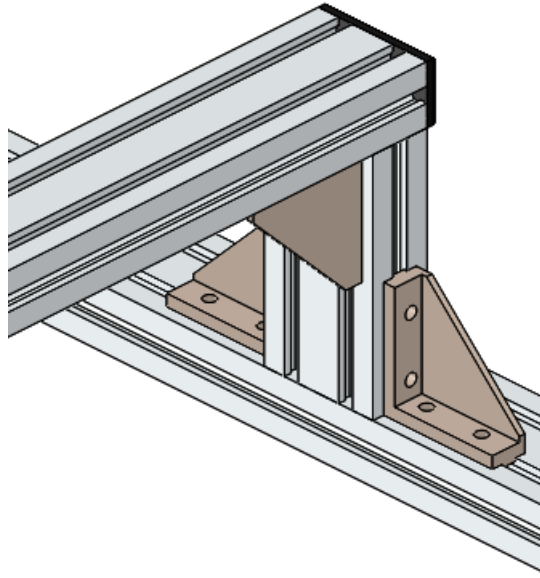


Figura 6.31: *Ensamble entre perfiles*

**Ensamble de la abrazadera con el sujetador del pistón.**

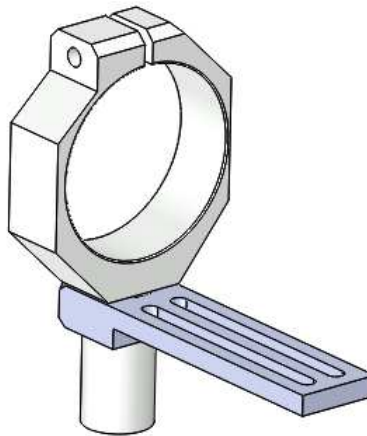


Figura 6.32: *Ensamble entre perfiles*



**Ensamble del pistón con la cuchilla.**

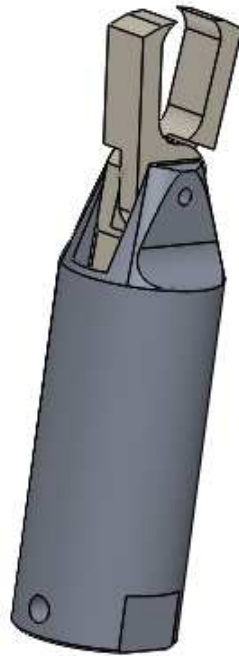


Figura 6.33: *Ensamble entre perfiles*

**Ensamble de la abrazadera, el pistón y la cuchilla.**

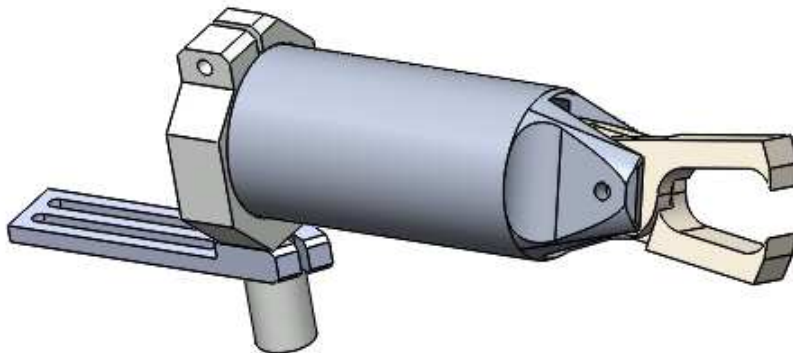


Figura 6.34: *Ensamble entre perfiles*

El diseño final del sistema de corte para el panel de la puerta es el siguiente:

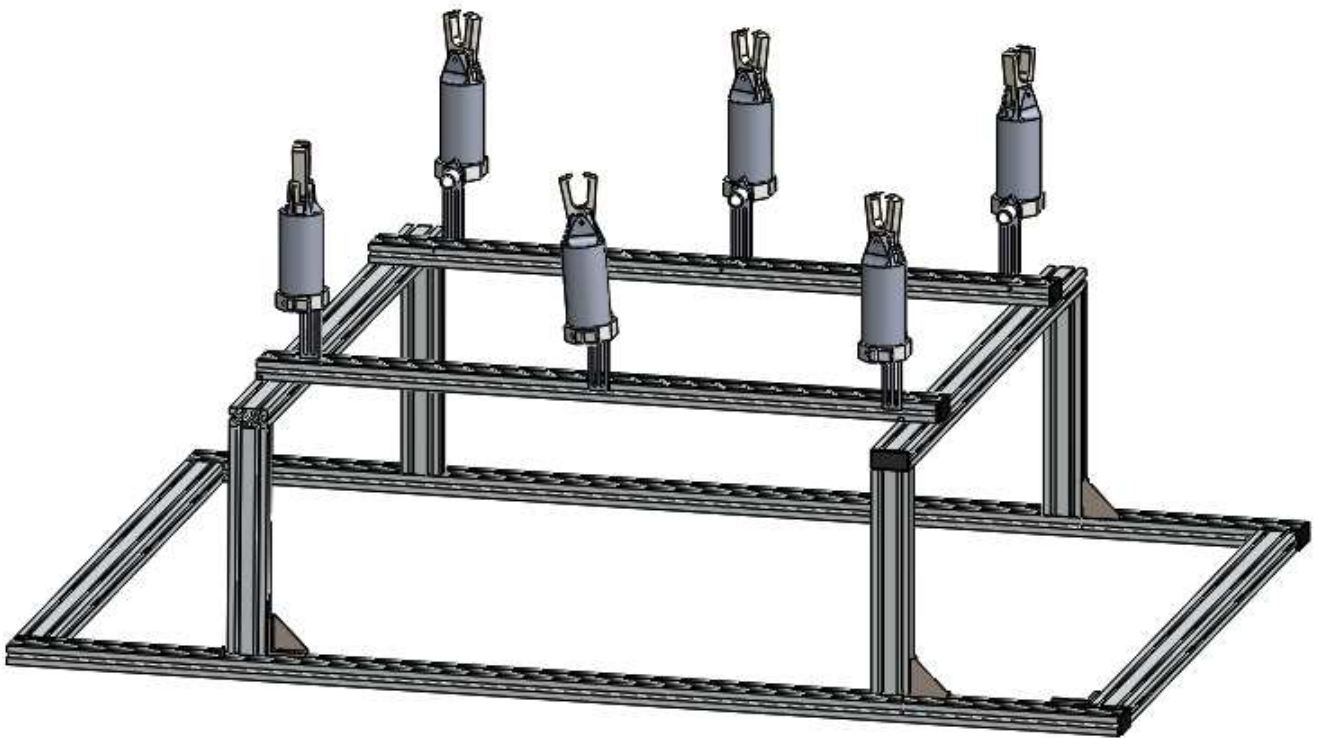


Figura 6.35: *Sistema de corte para panel de la puerta*

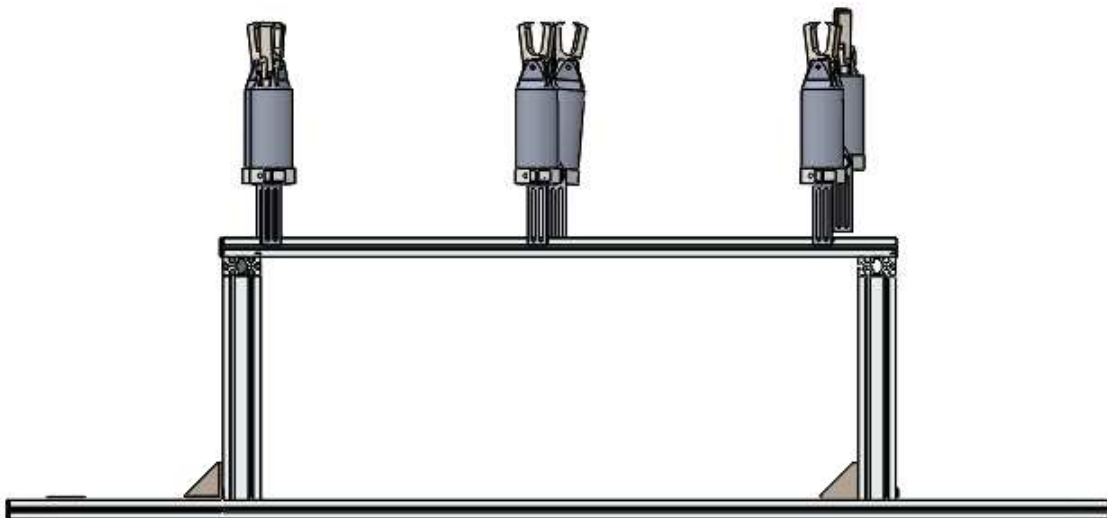


Figura 6.36: *Sistema de corte para panel de la puerta - Vista lateral*

Por las medidas de la figura 6.5 se sabe que las dimensiones de la pieza no pueden ser mayores a 1420X1000mm, por lo que se elige una base del sistema de 1470X1000mm.

La figura 6.11 muestra la geometría de la pieza, las medidas en el eje Y muestran que hay una separación de 387 y 392 mm entre las coladas, mientras que el eje X tiene una separación de 702mm. En el sistema de corte se respetan las mismas dimensiones.

La altura de la estructura es genérica en base a las necesidades del área de trabajo.

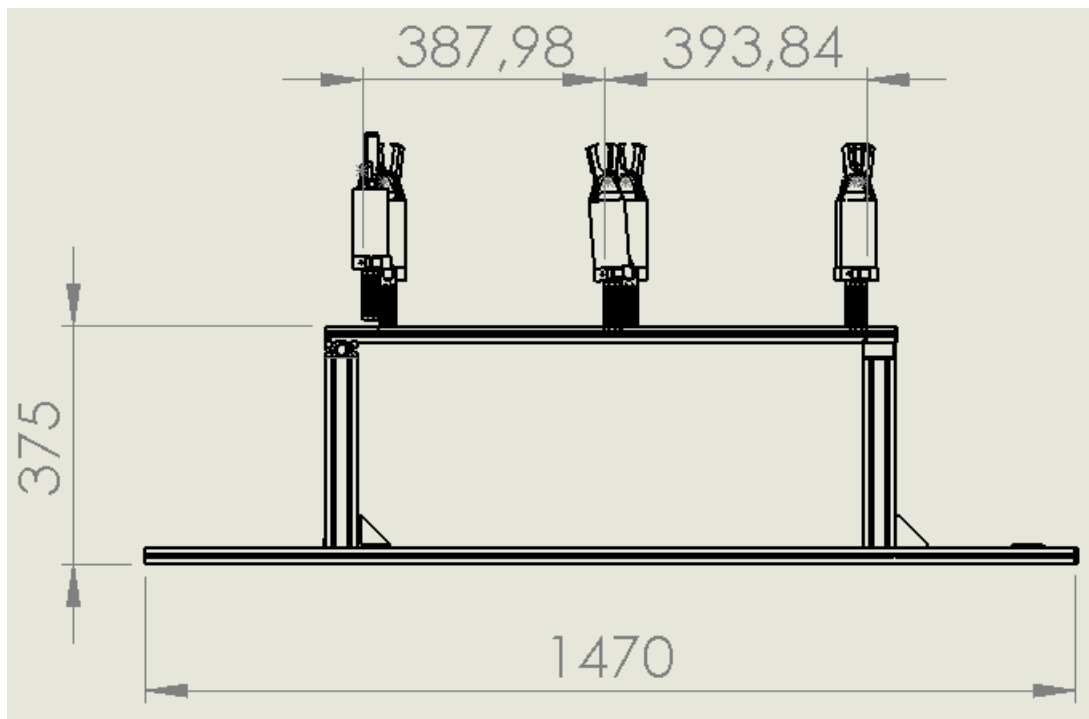


Figura 6.37: *Plano del largo del sistema de corte para panel de la puerta*

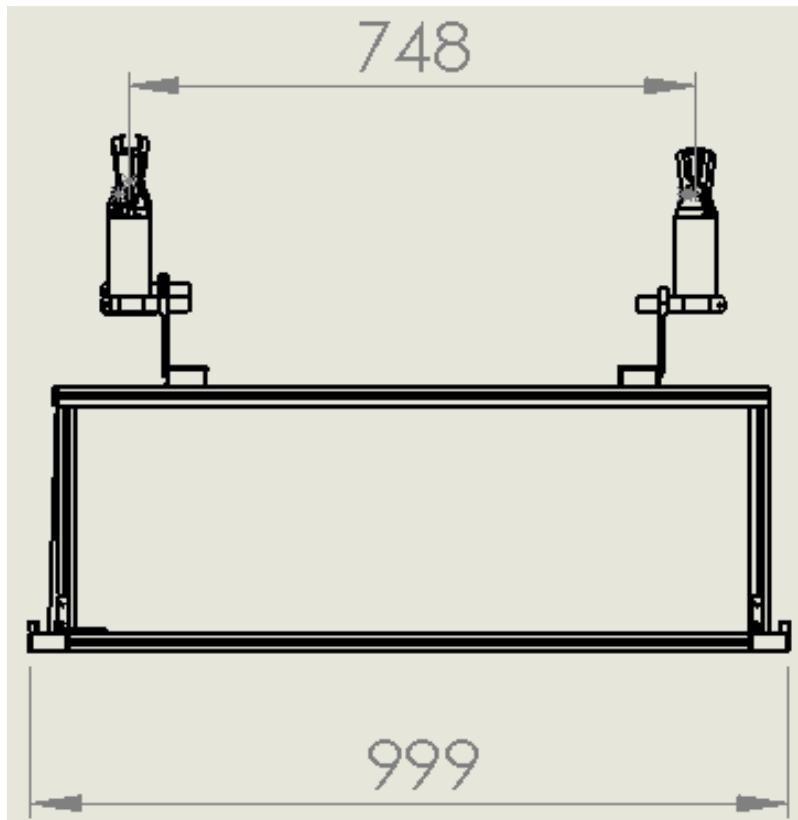


Figura 6.38: *Plano del ancho del sistema de corte para panel de la puerta*

# Capítulo 7

## Conclusiones

El sector automotriz es de los que más evolución y automatización ha presentando en los últimos años, constantemente se proponen avances tecnológicos relacionados a éste campo, entre ellos los procesos de manufactura de piezas plásticas.

La actualización constante del moldeo por inyección ha significado una mayor optimización del proceso, lo que se traduce en mayor competencia y necesidad de continuar innovando.

Debido a la alta importancia en grado de exportación que tiene México con Estados Unidos (segundo productor de automóviles del mundo) y del alto porcentaje de ingresos que la industria automotriz representa para México es indispensable actualizarse en temas de su manufactura.

Existen diversos métodos para optimizar y reducir el tiempo ciclo de una pieza moldeada por inyección, como lo son los cortadores usados en la etapa de extracción-corte. También es posible hacerlo mediante parámetros de presión, optimizando factores como el número de cavidades, canales de alimentación o velocidades y temperaturas de inyección.

Mayor conocimiento y experiencia en el proceso significan mayor productividad de venta.

# Capítulo 8

## Bibliografía

- [1] Douglas M. Bryce. "Plastics injection manufacturing process fundamentals", SME. Dearborn 1996.
- [2] Herbert Rees. "Understanding injection molding technology" Hanser publishers. New York 1994.
- [3] Ramón Antigua Delago. "Moldeo por inyección". Ed Blume. 1975
- [4] Daniel Gutierrez García. (2006). Sistema de inyección de colada caliente aplicado a la industria de plástico como herramienta de competitividad (Tesis de grado). Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería. México
- [5] César Leonardo Cadena Rueda. (2007). Diseño de una máquina inyectora de plástico (Tesis de grado). Universidad Industrial de Santander.
- [6] PRIVARSA. (2019). México. PRIVARSA. <https://www.privarsa.com.mx/>
- [7] AUDI. (2019). España. AUDI. <https://www.audi.com/en.html>
- [8] ERAT. (2019). México. ERATSA. <https://eratsa.odoo.com/>
- [9] RJG INC (2019). Estados Unidos. RJG INC. <https://es.rjginc.com/>