

GRADO EN INGENIERIA MECÁNICA
TRABAJO FIN DE GRADO

***DISEÑO DE UN PROCESO DE
INYECCIÓN PLÁSTICA PARA LA
FABRICACIÓN DE CARCASAS DE
FOCOS DELANTEROS DE MITSUBISHI
LANCER EVO***

DOCUMENTO 2- <MEMORIA>

Alumno/Alumna: <Guerricabeitia, López, Gorka>

Director/Directora (1): <Pombo, Rodilla, Iñigo>

Curso:<2017-2018>

Fecha:<Bilbao, 23, 07, 2018>

Índice memoria

2.1 Objeto del proyecto	4
2.2 Alcance del proyecto	5
2.3 Antecedentes	5
2.3.1 Moldeo por inyección	5
2.3.2 Materiales Plásticos	6
2.3.3 Tipos de materiales plásticos.....	7
2.3.3.1 Termoestables.....	7
2.3.3.2 Elastómeros.....	7
2.3.3.3 Termoplásticos	8
2.3.4 Proceso de moldeo por inyección.....	10
2.3.4.1 Dosificación	10
2.3.4.2 Llenado volumétrico o fase de inyección.....	12
2.3.4.3 Compactación o mantenimiento.....	13
2.3.4.4 Refrigeración o enfriamiento	13
2.3.5 Comportamiento termodinámica del plástico en la inyección	14
2.3.6 Máquina de inyección	17
2.3.6.1 Elementos de la máquina de inyección.....	17
2.3.6.2. Tipos de máquina de inyección.....	21
2.3.7 Características principales de las máquinas.....	24
2.3.8 Aspectos a controlar previo al diseño del molde.....	24
2.3.8.1 Conicidad.....	24
2.3.8.2 Redondeos.....	25
2.3.8.3 Tensiones internas	25
2.3.8.4 Contracción	25
2.3.8.5 Rechupes	25
2.3.8.6 Acabados superficiales	25
2.3.8.7 Espesores.....	25
2.3.8.8 Contrasalidas.....	26
2.3.8.9 Control de presión y temperatura	26
2.3.8.10 Alabeo	26
2.3.8.11 Ángulos de desmoldeo.....	27
2.4 Normas y referencias	28
2.4.1. Bibliografía.....	28
2.4.2. Programas de cálculo.....	28

2.4.3. Disposiciones legales y normas aplicadas	28
2.5 Requisitos de diseño	29
2.6 Análisis de soluciones	30
2.6.1Tipos de moldeo.....	30
2.6.2 Tipos de molde	31
2.6.2.1 Molde estándar o de dos placas	31
2.6.2.2 Molde de tres placas	31
2.6.2.3 Molde de piso o tipo sándwich	32
2.6.2.4 Molde de mordazas.....	32
2.6.2.5 Molde de extracción por segmentos	32
2.6.3 Disposición y determinación del tamaño del molde.....	32
2.6.4 Diseño del molde.....	33
2.6.4.1 Sistema de alimentación	33
2.6.4.2 Refrigeración	38
2.6.4.3 Expulsores	39
2.6.5 Estudio Moldflow	39
2.6.6 Descripción de los elementos del molde	43
2.7.3.1 Parte fija	43
2.7.3.2 Parte móvil	44
2.6.7 Proceso de diseño del molde	45
2.7 Diseño final del molde	46
2.7.1 Materiales para la construcción del molde.....	46
2.7.2 Resultados finales del estudio en Molflow	47
2.7.2.1 Análisis de llenado.....	47
2.7.2.2 Refrigeración	50
2.7.2.3 Deformación.....	51
2.7.3 Descripción de los elementos del molde	52
2.7.3.1 Parte fija	52
2.7.3.2 Parte móvil	55

2.1 Objeto del proyecto

El objetivo principal de este proyecto es el diseño de un proceso de inyección para la fabricación de una pieza en material plástico para un vehículo. Se trata de un foco delantero de un *Mitsubishi Lancer EVO*.



Figura 1. Visualización foco delantero. *Mitsubishi Lancer EVO*

Este proyecto consistirá en un principio, en la análisis del proceso de inyección del material plástico para la obtención de la pieza seguido del diseño del molde adecuado para su fabricación, centrándose en aspectos de importancia tales como el sistema de llenado, de expulsión, de cierre, canales de distribución o refrigeración.

Debido a que el moldeo por inyección es un proceso costoso en general, es importante la obtención de una geometría correcta del molde con el objetivo de optimizar el rendimiento del proceso y obtener una producción económica. En este caso se va a diseñar el molde de tal forma que cada vez que se inyecte material plástico, se obtenga una unidad de producto, en dos mitades.

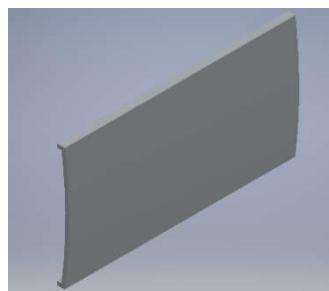


Figura 2. Visualización foco delantero realizado por Autodesk Inventor

2.2 Alcance del proyecto

El proyecto abarca el diseño de un proceso de inyección, en el que se incluye la selección de la máquina a utilizar en función de la pieza, así como una selección de los parámetros principales adecuados para la elaboración de la pieza (presión de inyección, tiempo de solidificación, etc.)

Para realizar el proceso de inyección se utilizará un modelo de máquina de moldeo por inyección Toshiba Machine. El material a inyectar será policarbonato (PC). Se realizará un diseño de un proceso de inyección incluyendo aspectos tales como:

En cuanto a las dimensiones del molde y sus elementos se refiere, cabe mencionar que las dimensiones generales del molde serán diseñadas según los criterios necesarios y según el modelo de máquina seleccionado. Las dimensiones de muchos de los elementos internos que componen el molde, en cambio, serán normalizadas y obtenidas de catálogos.

Queda fuera de la ejecución del TFG la fabricación y puesta a punto de los moldes.

2.3 Antecedentes

2.3.1 Moldeo por inyección

El moldeo por inyección es una de las tecnologías de conformado de plástico más famosas, ya que representa un modo relativamente simple de fabricar componentes con formas geométricas de alta complejidad. Para ello se necesita una máquina de inyección que incluya un molde. En este último, se fabrica una cavidad cuya forma es idéntica a la de la pieza que se desea obtener y para su tamaño se aplica un factor de contracción el cual se agrega en las dimensiones deseadas. La cavidad se llena con plástico fundido, el cual se solidifica, manteniendo la forma moldeada.

El diseño actual de la máquina de moldeo por inyección ha sido influido por la demanda de productos con diferentes características geométricas, con diferentes polímeros involucrados y colores. Además, su diseño se ha modificado de manera que las piezas moldeadas tengan un menor costo de producción, lo cual exige rapidez de inyección, bajas temperaturas, y un ciclo de moldeo corto y preciso.

Los equipos de moldeo por inyección que se emplean actualmente con más frecuencia pertenecen a los tipos básicos siguientes:

- La prensa de inyección a pistón, que lleva una cámara de calentamiento y un pistón que obliga al material a entrar en el molde.

- La máquina de pre-plastificación a pistón e inyección en una segunda etapa consta de un cilindro de calentamiento convencional y de un pistón; en este cilindro se plastifica el material por calor y se impulsa a una segunda cámara o cilindro, generalmente de mayor capacidad, desde donde se inyecta en el molde por la acción de otro pistón.
- La prensa de tornillo de dos etapas, lleva en la mayoría de los casos, un tornillo fijo para plastificar los gránulos de plástico y empujar el compuesto fundido a una cámara desde la cual se trasfiere al molde con la ayuda de un pistón.
- El torpedo rotatorio, que es una variante de la prensa de inyección a pistón descrita anteriormente, va accionado por un eje que le obliga a dar vueltas dentro del cilindro de calentamiento, independiente del pistón de inyección, ayudando con ellos a la fusión de la granza de plástico. El llenado posterior del molde se logra con el movimiento hacia adelante del pistón de inyección.

Existen prensas con movimiento horizontal o vertical. Las prensas con movimiento vertical son particularmente adecuadas en aquellos tipos de moldeo en el que se utilizan intersecciones o núcleos desmontables. La mitad móvil de la prensa contiene sistemas de expulsión o extracciones para las operaciones de moldeo utilizadas con más frecuencia.

2.3.2 Materiales Plásticos

Los plásticos son sustancias químicas sintéticas denominados polímeros, de estructura macromolecular que puede ser moldeada mediante calor o presión y cuyo componente principal es el carbono. Estos polímeros son grandes agrupaciones de monómeros unidos mediante la polimerización, el cual resulta un proceso químico. Los plásticos proporcionan el balance necesario de propiedades que no pueden obtenerse con otros materiales como el color, poco peso o la resistencia a la degradación ambiental y biológica.

Las propiedades y características generales de los plásticos son:

- fáciles de trabajar y moldear.
- poseen baja densidad.
- suelen ser impermeables.
- tiene un bajo coste de producción.
- buenos aislantes eléctricos.
- buenos aislantes acústicos.
- buenos aislantes térmicos, aunque la mayoría no resisten temperaturas elevadas.

-resistencia a la corrosión a muchos factores químicos.

2.3.3 Tipos de materiales plásticos

Según su estructura interna se pueden clasificar en:

2.3.3.1 Termoestables

Los termoestables hacen referencia al conjunto de materiales formados por polímeros unidos mediante enlaces químicos adquiriendo una estructura final altamente reticulada.

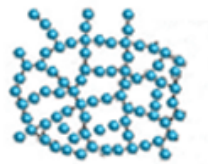


Figura 3. Estructura polimérica de un material termoestable

La estructura altamente reticulada que poseen los materiales termoestables es la responsable directa de las altas resistencias mecánicas y físicas (esfuerzos o cargas, temperatura...) que presentan dichos materiales comparados con los materiales termoplásticos y elastómeros. Por contra es dicha estructura altamente reticulada la que aporta una baja elasticidad, proporcionando a dichos materiales su característica fragilidad.

Uno de los aspectos negativos que presentan los materiales termoestables es su nula capacidad de reciclaje dado a que una vez han solidificado o curado es imposible volver a una fase líquida del material, los materiales termoestables tienen la propiedad de no fundirse o deformarse en presencia de temperatura o calor, antes pasarán a un estado gaseoso que a un estado líquido.

Ejemplos y aplicaciones de materiales termoestables: usados como materiales de pintura y recubrimientos, ruedas dentadas, materiales aislantes, fabricación de plásticos reforzados de fibra de vidrio conocidos comúnmente como poliéster, masillas, etc...

2.3.3.2 Elastómeros

Los elastómeros hacen referencia al conjunto de materiales que formados por polímeros que se encuentran unidos por medio de enlaces químicos adquiriendo una estructura final ligeramente reticulada. La principal característica de los elastómeros es su alta elongación o elasticidad y flexibilidad que disponen dichos materiales frente a cargas antes de fracturarse o romperse.

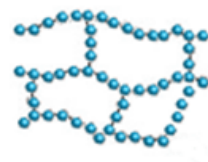


Figura 4. Estructura polimérica de un material elastómero

En función de la distribución y grado de unión de los polímeros, los materiales elastómeros pueden disponer de unas características o propiedades semejantes a los materiales termoestables o a los materiales termoplásticos, así pues podemos clasificar los materiales elastómeros en:

Elastómeros termoestables: son aquellos elastómeros que al calentarlos no se funden o se deforman

Elastómeros termoplásticos: son aquellos elastómeros que al calentarlos se funden y se deforman.

2.3.3.3 Termoplásticos

Los termoplásticos hacen referencia al conjunto de materiales que están formados por polímeros que se encuentran unidos mediante fuerzas intermoleculares o fuerzas de Van der Waals, formando estructuras lineales o ramificadas.

En función del grado de las fuerzas intermoleculares que se producen entre las cadenas poliméricas, estas pueden adoptar dos tipos diferentes de estructuras, estructuras amorfas o estructuras cristalinas, siendo posible la existencia de ambas estructuras en un mismo material termoplástico.

Estructura amorfo: Las cadenas poliméricas adquieren una estructura liada, semejante a la de un ovillo de hilos desordenados, dicha estructura amorfa es la responsable directa de las propiedades elásticas de los materiales termoplásticos.

Estructura cristalina: Las cadenas poliméricas adquieren una estructura ordenada y compacta. Dicha estructura cristalina es la responsable directa de las propiedades mecánicas de resistencia frente a esfuerzos o cargas así como la resistencia a las temperaturas de los materiales termoplásticos

Si el material termoplástico dispone de una alta concentración de polímeros con estructuras amorfas, dicho material presentará una pobre resistencia frente a cargas pero una excelente elasticidad, si por el contrario el material termoplástico dispone de una alta concentración de polímeros con una estructura cristalina, el material presentará unas altas propiedades de resistencia frente a cargas y esfuerzos superando incluso a materiales termoestables, por otro lado presentará unas pobres propiedades elásticas aportándole su característica fragilidad.



Figura 5. Estructura polimérica de un material termoplástico

Ejemplos y aplicaciones de materiales termoplásticos:

Polietileno de alta presión como material rígido aplicado para cubiertas de máquinas eléctricas, tubos, polietileno de baja presión como material elástico usado para el aislamiento de cables eléctricos, poliestireno aplicado para aislamiento eléctrico, poliamida usada para la fabricación de cuerdas, correas de transmisión, PVC o cloruro de polivinilo para la fabricación de materiales aislantes, tubos, envases, etc..

Policarbonato

El policarbonato es un polímero de alto peso molecular. Es un material amorfo y transparente que en grandes espesores toma un color amarillento. Posee un comportamiento cuasi-estático hasta la ruptura, con un módulo de tracción elevado: > 2300N/mm. Presenta buenas propiedades aislantes tanto térmica con eléctrica así como buena resistencia a choques.

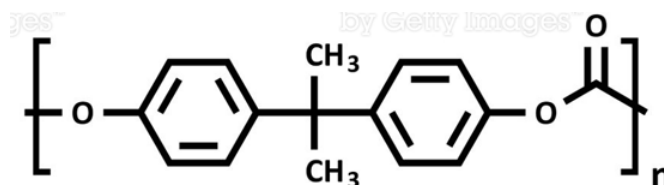


Figura 6. Estructura molecular del policarbonato.

El policarbonato presenta altas viscosidades con lo que necesita de presiones de inyección elevadas (800-1800 bares). Por esta razón, los espesores para piezas inyectadas en este material deberán ser estudiados exhaustivamente para evitar la degradación del material al pasar por dichas secciones.

La velocidad de inyección debe ser rápida y la temperatura del molde alta si se desea una buena calidad superficial.

Ventajas

-Excelente propiedades mecánicas, especialmente de choque.

- Buen aislante térmico.
- Buena estabilidad dimensional incluso en ambientes húmedos.
- Amplio rango de temperaturas de uso.

Desventajas

- Poca resistencia a las sustancias hidrocarbonadas y a las soluciones básicas.
- Producto de elevado coste.
- La puesta a punto en máquina deberá hacerse cuidadosamente.

Aplicaciones

- Electromecánica.
- Aparatos ópticos.
- Materiales de protección transparentes.
- Faros de automóviles
- Electro menaje.
- Vidrios d seguridad.

Propiedades del policarbonato.

Temperatura de transición vítrea, Tg	150°C
Coefficiente de dilatación lineal	6,6E-5 1/°C
Temperatura de flexión, HDT(185MPa)	125-140°C
Temperatura de resistencia en continuo	110-125°C
Conductividad térmica	0,20W/m.K
Contracción	0,4-0,6%
Densidad	1,24g/cc
Transmisión de la luz	88%
Modulo de Elasticidad	2,35 GPa
Modulo de flexión	2,3GPa

2.3.4 Proceso de moldeo por inyección.

2.3.4.1 Dosificación

Es la fase en la que se prepara el material para realizar la inyección, siendo su principal objetivo plastificar el material.

La granza eleva su temperatura por el trabajo mecánico del husillo en combinación con el aporte de calor de las resistencias exteriores y funde quedando en disposición de ser inyectado dentro del molde.

Durante esta fase, el husillo de la máquina comienza a girar desde su posición mas adelantado donde quedo en el final del ciclo anterior, impulsando con este movimiento el avance del material gracias al tornillo de Arquímedes que constituye el husillo. Según se acumula material en la parte delantera de la cámara de plastificación, el tornillo comienza a retroceder simultáneamente con el giro.

Se deberá programar la dosis. Es el volumen de materia a inyectar. Se fija el volumen en base a la posición inicial la final.

Dado que en la fase de dosificación el husillo gira, será primordial programar la velocidad de giro del husillo. Este parámetro se introduce habitualmente en forma de revoluciones por minuto. La velocidad del husillo viene limitada por el material.

Es necesario programar, también, la contrapresión. Esta es una presión aplicada en la parte de trasera del husillo para favorecer la plastificación del material. El hecho de que el husillo este girando y llevando material a la puntera hace que el husillo comience a retroceder en un movimiento inducido por la masa plástica en la parte delantera que va creciendo. La contrapresión se opone a este movimiento y hace que el retroceso sea más lento. Como el movimiento de giro sigue siendo el mismo, el material se mezcla y plastifica mejor al estar más tiempo soportando los efectos de cizalla. A más contrapresión mayor homogeneización.

Por otro lado, un parámetro fundamental de esta fase es la programación de temperaturas. El cilindro de plastificación esta rodeado de resistencias calefactoras que bien individualmente o por grupos, disponen de un termopar que indica la temperatura de esa zona. Se establece una programación de las temperaturas que deben alcanzar las sucesivas resistencias que hay a lo largo del cilindro. La temperatura que se asigne a cada una de las resistencias dependerá del tipo de material a inyectar y de la cantidad de material que se va a inyectar. Las sucesivas zonas del cilindro y sus temperaturas conformarán un perfil de temperaturas buscando lograr un material homogéneo para la inyección.

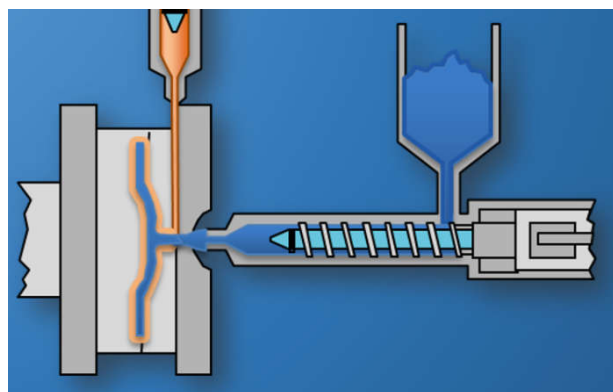


Figura 7. Proceso de inyección plástica

Por último, se citará la succión (pueden ser dos, antes de carga o después de carga). Consiste en hacer retroceder mínimamente el husillo con el fin de liberar la presión del material acumulado en la puntera. La succión antes de carga se aplica por distintas razones y no es muy frecuente. En ocasiones, sirve como protección para el husillo, ya que si comenzará girar para cargar material según ha terminado la inyección anterior, podría sufrir pares resistentes de torsión elevados en la puntera. En otros casos, para eliminar solidificaciones que se crean en la puntera en la fase de enfriamiento. La

succión después de carga sirve para evitar el fenómeno conocido como babeo, que se produce cuando el plástico preparado para inyectar es muy fluido y empieza a escapar por la puntera antes de que el carro se haya apoyado contra el molde.

2.3.4.2 Llenado volumétrico o fase de inyección

Se trasvasa desde el cilindro de plastificación el material fundido al interior del molde, dejando la cavidad casi totalmente llena. Para ello se establecerá una carrera de inyección adecuada, limitada por los puntos de dosificación y de conmutación de segunda fase. Para ello, será preciso vencer la oposición del material a desplazarse por el interior del molde que implicará presiones elevadas.

En esta fase el plástico fundido observa que el husillo le empuja y le fuerza a pasar a través de la puntera de la maquina hacia el interior del molde, donde ira ocupando los huecos de las cavidades que se vaya encontrando. En la puntera del husillo, un sistema de válvula anti-retorno proporciona este efecto "pistón" en la máquina de inyección.

En esta fase se programa dos parámetros: la velocidad de inyección y una presión umbral o límite.

La velocidad hace referencia a la velocidad de avance del husillo en mm/s. Regula el caudal del material que se trasvasa desde el cilindro de plastificación hacia el molde, debiendo de ser rápido puesto que el material, en contacto con las paredes del molde, podría solidificar antes de completar el llenado de la cavidad, especialmente en piezas muy delgadas. A mayor velocidad de inyección programada, menor duración de esta fase y mayor caudal.

El caudal condicionará, como consecuencia del carácter visco elástico del material, su viscosidad, y junto con la geometría de llenado y de paso, la presión necesaria para el proceso.

La velocidad puede ser uniforme durante esta fase (velocidad constante) o variable. Esta última posibilidad es clave para controlar el llenado y para conseguir que el avance del polímero dentro del molde mantenga una velocidad uniforme, ya que la sección de paso que ve el frente de flujo por el interior de la cavidad no se mantiene constante sino que varía en función de la geometría de la pieza.

El segundo parámetro a tener en cuenta es la presión límite o presión umbral, concepto diferente de la presión de inyección. La presión de inyección es consecuencia de las condiciones con que se inyecta el molde, la viscosidad el material, la geometría a completar (canales de alimentación, espesores, longitudes...)

La presión umbral es un límite que se fija en la máquina, de tal manera que de alcanzar ese valor, y mediante el sistema correspondiente en la unidad de inyección, dejara de inyectar por velocidad y lo hará por presión empujando con un valor fijo, a una presión que tiene como valor el límite que se ha fijado en la programación. Esto significa que el caudal del polímero que se introduzca en el molde será progresivamente menor, puesto que, cada vez, se encuentra más lejos del punto de inyección cuando avanza el molde.

2.3.4.3 Compactación o mantenimiento

El plástico que ya ha llenado la cavidad siente la presión que se realiza desde el husillo, y que le obliga a dejar hueco para que entre un pequeño porcentaje más de material. Al mismo tiempo, en contacto con el molde mucho más frío que él, comienza a perder temperatura.

Al igual que en la fase anterior, el husillo ahora tendrá movimiento de avance, solo que en este caso, el avance será lento, y mediante la aplicación de una presión concreta en la parte posterior del mismo.

En esta fase de compactación, se debe programar la presión de mantenimiento o segunda presión. Toma este nombre de mantener la cavidad llena, sin que se vuelva para atrás el material a presión que se ha inyectado y manteniendo el volumen del molde lleno. Así se irán rellenando los huecos originados por la progresiva contracción que sufre el material durante su enfriamiento.

Se programará el tiempo de compactación buscando no alargar el ciclo innecesariamente, pero obteniendo una calidad dimensional aceptable para el producto. La compactación será efectiva mientras el material no haya solidificado, y puede seguir entrando dentro del molde, siendo las zonas claves en esta fase las secciones más restrictivas al paso del plástico. En el momento en el que la entrada se encuentre fría o la pieza sólida, por mucha presión que se aplique, no seguirá entrando material a la cavidad.

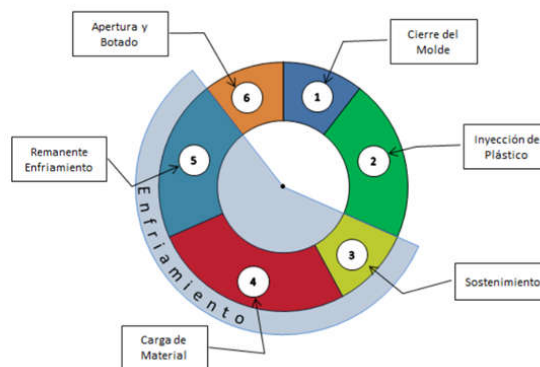


Figura 8. Optimización de un ciclo de inyección plástica

En realidad, el primer parámetro a programar en esta fase sería el punto de conmutación o cambio a segunda fase que, habitualmente, se hace por cota de husillo. Es decir, se le indica a la máquina en qué punto del avance debe empezar a empujar por presión dejando atrás el movimiento rápido de llenado por caudal o velocidad. Esta cota se fija en la puesta a punto del molde, al observar, en el llenado progresivo de la pieza, cuando esta casi lleno.

2.3.4.4 Refrigeración o enfriamiento

Durante esta fase, la pieza se mantiene en el molde hasta alcanzar una temperatura adecuada para expulsar sin causar deformaciones o marcas en su

superficie. Esta fase termina fuera del molde donde la pieza termina alcanzando la temperatura ambiente partiendo de la temperatura de expulsión. Una vez que desaparece el efecto de la presión ejercida desde el husillo, al material que ha llenado la cavidad del molde únicamente le queda irse enfriando en el interior del mismo, hasta que se formalice la expulsión y, posteriormente, seguir enfriando hasta alcanzar la temperatura ambiente. La duración de la fase de enfriamiento ronda el 50% del total del ciclo, resaltándose de esta forma la importancia de la misma, y en consecuencia, los parámetros que influyen sobre ella.

En el enfriamiento, se deberá programar, en primer lugar, el tiempo necesario para alcanzar la temperatura de expulsión de la pieza y que, además, le haya dado tiempo a la máquina de preparar la siguiente inyectada. Debería conseguirse una temperatura uniforme a lo largo de la pieza, para que el producto tenga propiedades y calidades uniformes.

Además, podrán regularse en mayor o menor medida la temperatura y el caudal de refrigeración utilizado. Así, se tratará de actuar sobre la temperatura a la que se encuentra la superficie del molde a lo largo de las sucesivas inyecciones.

2.3.5 Comportamiento termodinámica del plástico en la inyección

Como ya se ha dicho, el proceso de inyección es un proceso complejo y esto se debe en gran parte a que en el proceso de llenado se dan cambios en el flujo del material plástico que afectan a su comportamiento termodinámico. A continuación se representa las gráficas “P-T” y “v-T” donde se pueden apreciar los cambios que sufre el material a lo largo del proceso de inyección.

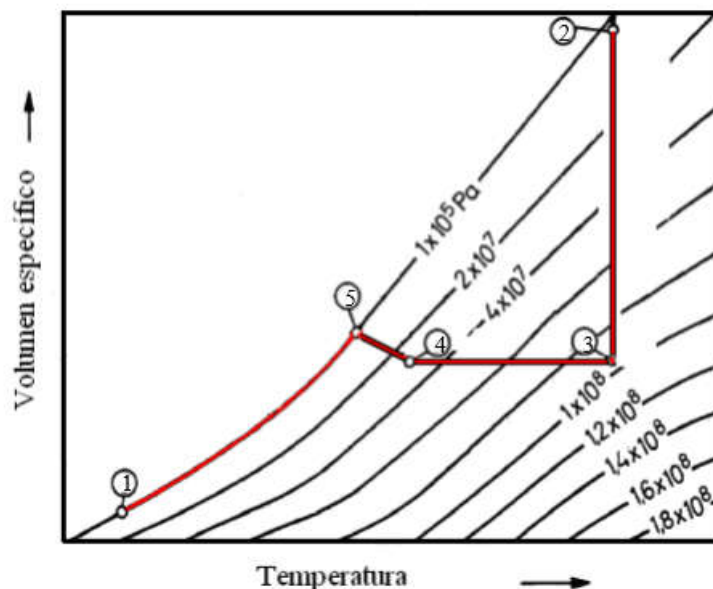


Figura 9. Diagrama “P-v-T”

Si se atiende a los distintos intervalos, se puede ver que:

El tramo 1-2 corresponde a la compresión que sufre el plástico a lo largo del husillo. Como se puede ver es una compresión isóbara (a presión constante). Esto en realidad no es así, dado que sí hay variación de la presión, pero se desestima debido a que la presión de inyección es comparativamente mucho mayor.

El material en el punto 1 se encuentra en la tolva, a presión y temperatura ambiente. A lo largo del avance del husillo, material se va calentando hasta alcanzar la temperatura de inyección (característica de cada material) en el punto 2.

Como se puede observar, a mayor temperatura, mayor volumen específico. Sin embargo, existe la posibilidad de reducir el mismo, ajustando en la máquina una contrapresión que garantiza que el husillo no retroceda. Este parámetro además, aporta la ventaja de que, como para la misma temperatura, se va a trabajar con una presión algo mayor, se reduce el volumen específico, por lo que se inyecta mayor cantidad de materia plástica.

El tramo 2-3 representa la fase de inyección. El incremento de presión representa la variación de presión que se le aporta al plástico para que llene el hueco del molde a la velocidad adecuada. Esta velocidad no puede ser demasiado alta, porque puede producir defectos tales como tensiones internas, degradación del plástico o deformaciones. Sin embargo, tampoco se debe llenar demasiado lento porque esto podría provocar que el material solidificara antes de llenar correctamente el molde. Lo interesante en este punto es que primero el material llene perfectamente el hueco del molde y a continuación empiece a solidificar.

El tramo 3-4 representa la forma de evitar este defecto. Lo que hace es mantener cierta presión por dos motivos. Para que la presión dentro del molde no haga retroceder el husillo y para compensar la contracción volumétrica que sufre el plástico al solidificar y enfriarse. Por este motivo la máquina mantiene la presión y además sigue inyectando cierta cantidad de material para compensar esta pérdida que se ha mencionado. A continuación se representa la gráfica "P-T" del ciclo de inyección donde se va a explicar cómo afecta el mantenimiento de la presión a la pieza obtenida:

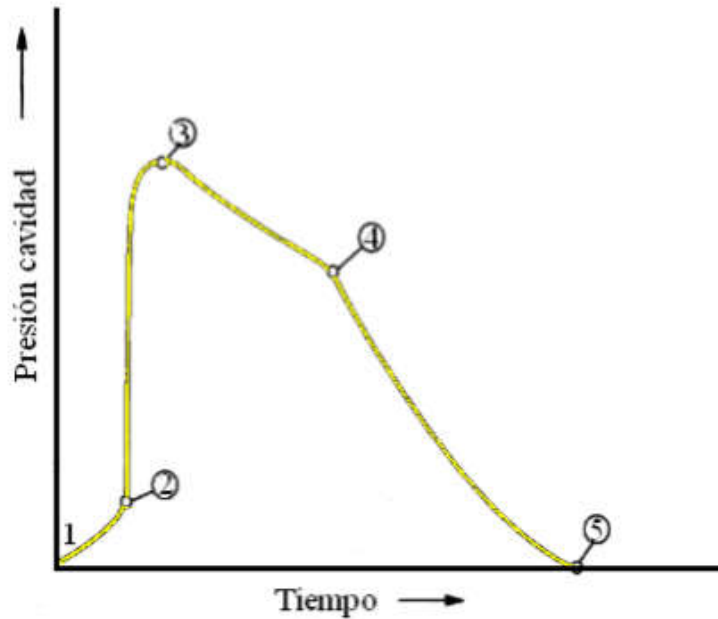


Figura 10. Diagrama "P-T"

Como se puede observar, el tramo 3-4, no es una línea de presión constante, por lo que cuando se habla de mantener la presión lo que se hace es ir disminuyendo la presión de una forma controlada a la vez que se inyecta más material plástico. Como se puede apreciar, la pendiente del tramo 3-4 es constante. Si no fuera así, se tendría que analizar bien el molde debido a que ese fallo puede deberse a un mal cierre del mismo que puede provocar rechupes en la pieza.

Además, como última conclusión de este tramo, se puede decir que como se ve en la gráfica v-T, cuanto mayor sea la presión que se consiga alcanzar en la máquina, el volumen específico del plástico antes del enfriamiento será menor, por lo que la posibilidad de contracción volumétrica también lo será.

El tramo 4-5-1 representa la fase de enfriamiento. La primera parte (4-5) corresponde al tiempo que transcurre desde que se elimina la presión de mantenimiento hasta que se inicia la apertura del molde. Esta parte corresponde a un enfriamiento a presión variable.

Este enfriamiento previo se lleva a cabo debido a que si se produce a la apertura del molde seguido de que la pieza solidifique, se pueden producir grandes tensiones internas debido al cambio brusco de la temperatura. Por ello, se deja enfriar la pieza dentro del molde (aquí actúa el circuito de refrigeración) hasta el momento en el que este se abre y se extrae la pieza (punto 1: presión y temperatura ambiente)

2.3.6 Máquina de inyección

Las máquinas de inyección son máquinas de alta precisión totalmente autónomas que siguen el siguiente ciclo:

1-Cierre del molde: El carro móvil en el que va colocado el molde se mueve hasta que coinciden macho y cavidad y genera el vacío que posteriormente se rellenará de material plástico.

2- Inyección: El husillo hace avanzar el plástico seleccionado inyectándolo por la boquilla hasta rellenar la cavidad del molde.

3-Enfriamiento: Una vez inyectado el material, se deja que solidifique para posteriormente poder extraer la pieza.

4-Apertura del molde: Tras la solidificación de la pieza el carro del macho retrocede y los expulsores actúan despegando la pieza de la cavidad.

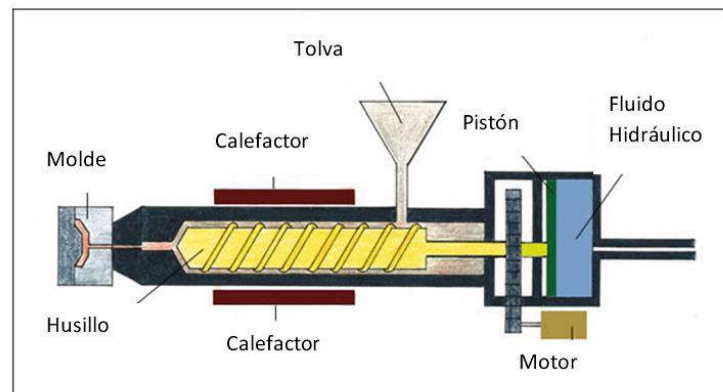


Figura 11. Componentes de una máquina de inyección.

2.3.6.1 Elementos de la máquina de inyección

Unidad de inyección

La función principal de la unidad de inyección es la de fundir, mezclar e inyectar el polímero. Para lograr esto se utilizan husillos (tornillos de hierro o madera que se usan en el movimiento de algunas máquinas) de diferentes características según el polímero que se desea fundir. El estudio del proceso de fusión de un polímero en la unidad de inyección debe considerar tres condiciones termodinámicas:

1. La temperatura de procesamiento del polímero.
2. La capacidad calorífica del polímero C_p [cal/g °C].
3. El calor latente de fusión, si el polímero es semicristalino.

La unidad de inyección es en origen una máquina de extrusión con un solo husillo, teniendo el barril calentadores y sensores para mantener una temperatura programada constante

Tolva

La tolva de la máquina es el embudo por el cual se vierte el material en granza para que vaya entrando en el cilindro de plastificación, y vaya siendo preparado para inyectar. La tolva puede ir refrigerada o calefactada dependiendo del material que se vaya a inyectar, con el objetivo de mantener el material tal y como se ha quedado después de la fase previa de preparación.

Esta consideración de refrigerar es especialmente indicada en el enganche con la cámara de plastificación. En ese cuello, si no se tiene la temperatura adecuada, el material se aglomera y forma una masa que evita la alimentación del husillo.

Husillo

El husillo es el componente que tiene como misión transportar, plastificar e inyectar el material fundido dentro del molde. El tornillo o husillo es un eje con una hélice a modo de tornillo sin fin, que cuando gira dentro del cilindro o cámara, trabaja mecánicamente y hace avanzar el material hacia la parte delantera.

El husillo tiene una forma muy particular dividida en tres zonas.

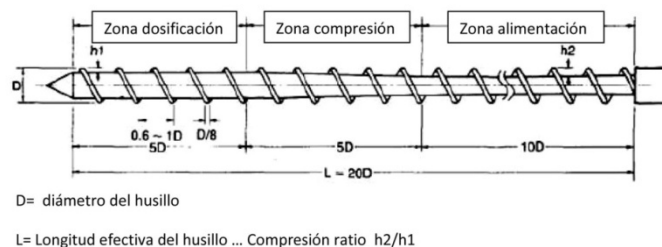


Figura 12. Zonas del husillo.

En la zona 1 es la zona denominada de alimentación. En esta zona nos interesa que el material se haya fundido ya, porque se transporta mejor el material cuando todavía está en forma de granos. La zona 2 es la zona de compresión, en la que se produce el fundido del material. Será más o menos larga dependiendo del tipo de material que se inyecta. Por último, la zona 3, o zona de dosificación, es la zona de mayor radio, en ella se transporta el material fundido hasta la puntera y se consigue con

distintas formas suplementarias al perfil del tornillo original, que la calidad del fluido sea lo más homogénea posible.

Cilindro de inyección

El cilindro de inyección, debe cumplir las siguientes funciones:

- Aplicar la fuerza necesaria para realizar la inyección de la pieza
- Permitir el movimiento de avance y retroceso del husillo.
- Succión del husillo (efecto de descompresión para evitar fugas de la boquilla una vez realizada la plastificación del material).

Unidad de cierre

Es una prensa hidráulica o mecánica, con una fuerza de cierre bastante grande que contrarresta la fuerza ejercida por el polímero fundido al ser inyectado en el molde. Cumple fundamentalmente tres funciones:

- Abre y cierra partes del molde
- Expulsa la pieza.
- Mantiene el molde cerrado con la fuerza suficiente para soportar la presión ejercida dentro del molde durante el proceso de llenado.

Las fuerzas localizadas pueden generar presiones del orden de MPa. La presión desarrollada en el molde durante el proceso de llenado y compactado y la contracción de la pieza dentro de las cavidades podrán causar la adherencia de la pieza al molde, lo que dificultaría a separación de las partes. La magnitud de la fuerza inicial de apertura depende de la presión de compactado, del material y de la geometría de la pieza.

Después de que se haya abierto el molde, la parte que tiene una tendencia a adherirse o a incrustarse en las cavidades del molde, generalmente la mitad más alejada de la unidad de inyección, tiene que ser expulsada utilizando un sistema de expulsión que forma parte de la unidad de cierre.

Si la fuerza de cierre es insuficiente, el material escapará por la unión del molde, causando así que la pieza final tenga defectos de rebabas.

Por lo que respecta a los sistemas de cierre existen fundamentalmente dos tipos:

- Cierre por ensamblado mecánico: Sistemas con velocidades rápidas de apertura y cierre y coste más bajo que los hidráulicos. El control de la fuerza ejercida es difícil. Se utilizan en equipos pequeños.
- Cierre hidráulico: Sistema de apertura y cierre más lento que el mecánico. Tienen un buen rendimiento a largo plazo y un sistema muy fiable de control de la fuerza ejercida.

Unidad de potencia

Es el sistema que suministra la potencia necesaria para el funcionamiento de la unidad de inyección y de la unidad de cierre. Los principales tipos de sistemas de potencia se pueden clasificar como.

- Sistema de motor eléctrico con unidad reductora de engranajes.
- Sistema de motor hidráulico con unidad reductora de engranajes.
- Sistema hidráulico directo.

Unidad de control

Todas las operaciones realizadas por la máquina de inyección son gestionadas por un sistema de control eléctrico. Con el podremos programar cada parámetro de la operación de inyección:

o Control de ciclo: es posible determinar una secuencia de operaciones con las que llevar a término la producción de un número determinado de piezas o lotes de producción.

o Tiempo por operación: podemos determinar la duración de cada operación, como tiempo de llenado o de enfriamiento.

o Fuerza y velocidad: a través del centro de control podemos determinar la velocidad a la que se efectúan diferentes operaciones como el cierre del molde o la velocidad de llenado. Así mismo podemos determinar la fuerza con que se cierra el molde o se expulsa la pieza.

o Seguridad: la máquina de inyección dispone de un sistema de pantallas de protección con el que se proteja al operario de posibles salpicaduras de plástico caliente e impide el acceso al molde durante la operación de llenado. Mediante el centro de control podemos impedir el inicio cualquier movimiento de la máquina hasta que el sistema verifique que se han colocado las protecciones correctamente.

o Temperaturas: el sistema de control de la máquina de inyección verifica en todo momento que las temperaturas de trabajo son las adecuadas y accionando los sistemas de calentamiento o refrigeración de la máquina.

o Cotas: otro de los parámetros que podemos determinar son las cotas de la máquina entre componentes, como por ejemplo, la apertura máxima de molde.

o Presiones de trabajo: tenemos la posibilidad de indicar a la máquina que presiones máximas queremos ejercer tanto en el cierre del molde, la inyección o la expulsión de la pieza. Todo dentro de los parámetros de funcionamiento permitidos por la máquina de inyección.

o Diagnóstico: mediante el display la máquina nos informa de cualquier incidencia que ocurra y donde se ha producido, incluso cuenta con un aviso

acústico y lumínico que nos llama la atención en caso de producirse un problema técnico.

Mediante toda esta serie de parámetros y sistemas podemos configurar el ciclo de producción, optimizando el proceso de inyección mediante la reducción de tiempos pero manteniendo la calidad de la pieza inyectada.

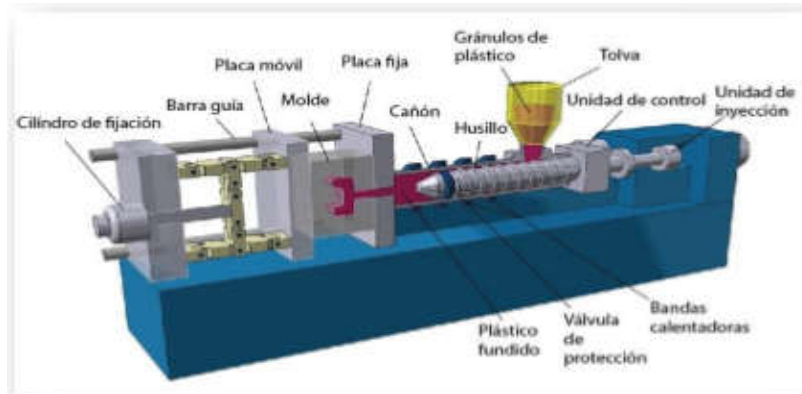


Figura 12. Molde de inyección y sus componentes

2.3.6.2. Tipos de máquina de inyección.

Máquina de inyección simple (pistón o embolo)

Teniendo en cuenta la gran capacidad plastificadora, el poco tiempo que permanece el material en el cilindro calentador y la elevada calidad de plastificación, en la actualidad se emplean principalmente máquinas de inyección de husillo que prácticamente sustituyen en la industria a las máquinas de embolo. Sin embargo, teniendo en cuenta la sencillez de su estructura y la seguridad que ofrecen en el trabajo sobre todo para moldear artículos pequeños de materiales termoestables, se siguen construyendo máquinas de embolos rápidas (Figura 13), con accionamiento mecánico, hidromecánico, hidráulico y neumático, este último con menor frecuencia.

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

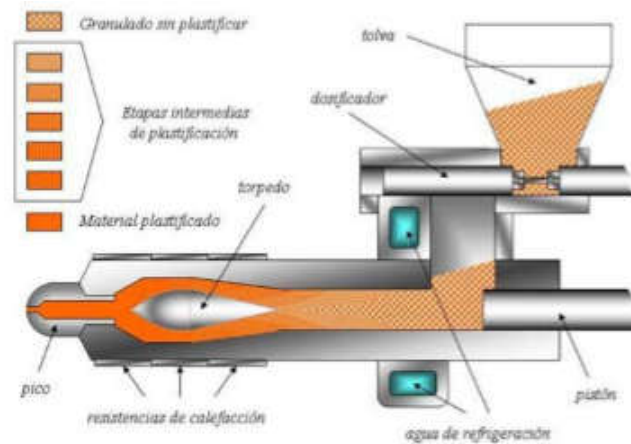


Figura 13. Máquina de inyección de tipo émbolo.

Su funcionamiento es el siguiente: Una cantidad determinada del material a moldear cae del dispositivo de almacenamiento en la camisa. A continuación, el émbolo transporta el material a lo largo de la camisa donde es calentado por conducción por medio de los calentadores externos. El material plastificado bajo presión es forzado a pasar a través de la lanza hacia la cavidad del molde. Para dividir la masa de material en la camisa y mejorar la transferencia de calor, se ajusta un torpedo en la camisa.

Máquina de inyección de tornillo recíproco

En la actualidad las máquinas de inyección más utilizadas son las de husillo (Figura 14) que son capaces de desplazarse axialmente. Acoplando al husillo una cabeza de émbolo, estas máquinas combinan la gran capacidad plastificadora de una extrusora de husillo con la elevada presión de inyección común a las de émbolo.

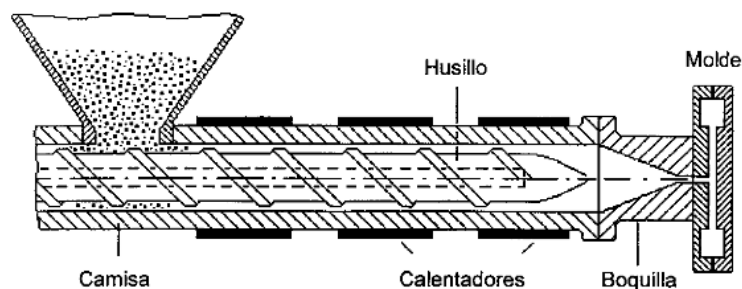


Figura 14. Máquina de inyección de tornillo recíproco.

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

La secuencia de operación o ciclo de moldeo de una máquina de este tipo sería la siguiente:

1º El molde se cierra, y el tornillo (sin girar) se mueve hacia delante a lo largo del cilindro actuando como un émbolo o pistón e inyecta el polímero fundido en el molde. La válvula se ha abierto y el tornillo fuerza el paso del material fundido por la boquilla hacia el molde. El tornillo permanece adelantado, manteniendo la presión, hasta que el polímero fundido que ha estado entrando en el molde. Esta etapa se denomina de “retención”, donde se mantiene la presión mientras el material se enfría para evitar la contracción. En un determinado momento (idealmente cuando el material del orificio para inyección se ha solidificado) puede eliminarse la presión y el tornillo comienza nuevamente a girar, con la válvula cerrada, cogiendo nuevo material de la tolva de alimentación, que se calienta a lo largo de la máquina hasta fundir cuando alcanza la parte de adelante del tornillo. Como consecuencia de este nuevo volumen de material que estamos llevando hacia adelante se originan unas fuerzas de presión (el polímero fundido no puede salir) contrarias al sentido de avance del tornillo cuando éste estaba funcionando como émbolo. El resultado de estas fuerzas de presión es el empuje del tornillo hacia atrás hasta que se alcanza un límite.

2º Cuando que se alcanza el volumen necesario de polímero fundido para llenar el molde y todas las cavidades de entrada, el tornillo deja de girar. Durante el período de retroceso del tornillo el polímero que estaba en el molde ha tenido tiempo de solidificar convenientemente, por lo que el molde se abre y el plástico solidificado expulsado.

3º El molde se cierra nuevamente y el tornillo hace de émbolo volviendo a inyectar el polímero fundido en el molde.

4º El tornillo permanece adelantado, manteniendo la presión hasta que material del orificio para inyección se ha solidificado y el tornillo comienza a girar y a retroceder, volviendo a repetirse el ciclo.

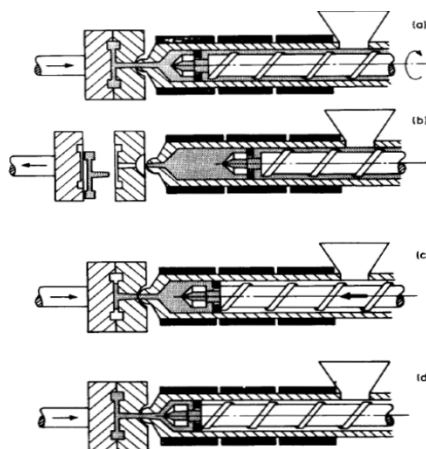


Figura 15. Ciclo típico de una máquina de tornillo recíproco.

2.3.7 Características principales de las máquinas

Las principales características utilizadas para dimensionar y comparar máquinas inyectoras son:

•**Capacidad o fuerza de cierre:** Es uno de los factores más importantes tener en cuenta en el proceso de inyección, debe compensar las fuerzas generadas en el interior del molde por la presión de inyección del material plástico. Si la fuerza de cierre fuera demasiado pequeña se abrirían aperturas por las que escaparía el material fundido, si es demasiado grande podría deformarse el molde estropeando la pieza.

La fuerza de cierre necesaria resulta del producto entre la presión interna del molde y la superficie proyectada de la pieza fabricada. Al aumentar la presión en la cavidad del molde provocada por la inyección a presión del material plástico, el volumen de la misma aumenta también. Este aumento del volumen de la cavidad depende de la rigidez de la unidad de cierre, de la elasticidad del molde, la fuerza de cierre y de la presión en interna del molde.

•**Capacidad de inyección:** es el volumen de material que es capaz de suministrar la máquina en una inyección (cm³/inyección). Es común dar este valor en gramos, tomando como referencia la densidad del poliestireno.

•**Presión de inyección:** es la presión máxima a la que puede bombear la unidad de inyección el material hacia el molde. Usualmente se trabaja aun 60% de esta presión o menos.

•**Capacidad de plastificación:** es la cantidad máxima de material que es capaz de suministrar el tornillo, por hora, cuando plastifica el material; se da en kg/h.

•**Velocidad de inyección:** es la velocidad máxima a la cual puede suministrar la unidad de inyección el material hacia el molde; se da en cm³/s.

•**Recorrido de apertura:** La carrera de apertura de la maquina ha de ser igual a dos veces la altura de la pieza inyectada más un pequeño recorrido adicional para mayor seguridad.

2.3. 8 Aspectos a controlar previo al diseño del molde

2.3.8.1 Conicidad

La conicidad es un aspecto clave a la hora de extraer la pieza del molde. Esto se debe a que en estado fluido el material plástico llena perfectamente el hueco del molde, pero al solidificar, el material se contrae dificultando la extracción.

Para el caso de la pieza en estudio el ángulo será de 0,5°.

2.3.8.2 Redondeos

Deberemos evitar las aristas vivas y los ángulos rectos ya que en estos puntos, el fluido generará turbulencias debido al cambio brusco de dirección. Esto a su vez generará tensiones que desencadenan en deformaciones y que pueden ocasionar la ruptura de la pieza. Por ello la pieza a diseñar tiene todos los cantos redondeados.

2.3.8.3 Tensiones internas

Además de las tensiones que se generan por los cambios bruscos de dirección del flujo, también podemos encontrarnos con tensiones si nuestra pieza contiene zonas de grandes espesores ya que debido a la mala conductividad térmica de los plásticos, la parte exterior en contacto con el aire, se enfría más rápido que la interior, lo que crea las tensiones.

2.3.8.4 Contracción

Esta es la diferencia de tamaño entre el molde y la pieza moldeada fría. La causa principal es el cambio en densidad que se produce cuando solidifica el polímero (contracción térmica).

Es un factor determinante a la hora de diseñar el molde ya que, como se ha dicho, al enfriar el material se contrae por lo que debemos dimensionar la pieza con unas dimensiones mayores a las originales. Estas dimensiones de diseño se obtienen multiplicando las dimensiones reales por un factor de contracción.

Se va a utilizar, como previamente se ha explicado, policarbonato (PC), cuyo factor de contracción es de 0,4%-0,6%, por lo que los valores dimensionales de nuestra pieza se verán multiplicados por 1,004-1,006.

2.3.8.5 Rechupes

La causa de que aparezca este defecto es principalmente porque la parte de la pieza en contacto con el aire enfría a una velocidad mayor que la parte interior de la pieza y por ello se generan defectos en la pieza. A menudo estos defectos no son visibles porque se generan dentro del material. Esto se puede corregir reduciendo el espesor de la pieza o la velocidad de enfriamiento.

2.3.8.6 Acabados superficiales

Para obtener un buen acabado superficial en nuestra pieza necesitamos un buen acabado superficial en el molde. Para ello habrá que llevar a cabo una fabricación cuidadosa y ajustada.

Además, deberemos tener en cuenta el material del que está hecho el molde ya que debido al calor que van a soportar ambas partes, los elementos aditivos del acero pueden trastocar la apariencia de nuestra pieza.

2.3.8.7 Espesores

El espesor de la pieza también influye en la orientación. Debido a la baja conductividad térmica de los plásticos, las paredes gruesas actuarán como aislantes de la zona central, la cual se mantendrá más tiempo caliente. Esto promoverá la relajación en esta zona, disminuyendo la orientación.

2.3.8.8 Contrasalidas

Las contrasalidas son aquellas partes que requieren de una dirección de desmoldeo que no es perpendicular a la línea de partición, y que por esta razón quedarían atrapadas una vez la pieza estuviera acabada.

Para poder moldear estas partes lo que se hace es incorporar al molde unos carros laterales que ejercen de una especie de “machos móviles” que avanzan a la vez que se lleva a cabo el cierre del molde de tal forma que quedan en la posición necesaria.

Estos elementos requieren de una gran precisión de medidas por lo que se encarece bastante el precio del molde, por lo que se han descartado utilizarlas, al no ser necesarias.

2.3.8.9 Control de presión y temperatura

Efecto de la presión: Durante el moldeo por inyección, la presión que se transmite a la cavidad influye directamente en la contracción que ocurre en la pieza moldeada. Cuando el molde se llena, la presión dentro del molde aumenta rápidamente, comprimiendo el material. Durante el enfriamiento de la pieza, su volumen disminuye y la presión de inyección empuja más material, compensando la reducción en volumen. Cuanto más gruesa sea la capa de material solidificado, menor será la contracción. A mayor presión, menor contracción. Se puede decir que la variable más importante que afecta a las dimensiones de una pieza moldeada es la presión en el molde. Cuanto más largo sea el tiempo en que actúa la presión, mientras no se cierre la entrada, más material puede ser empaquetado en la cavidad y, por lo tanto, la pieza se contraerá menos.

Efecto de la temperatura: A mayor temperatura del fundido, mayor será la contracción que ocurrirá en la pieza moldeada al enfriarse. Sin embargo, también el aumento de la temperatura da lugar a una disminución de la viscosidad, lo cual permite que la transmisión de presión a la cavidad sea mayor, permitiendo un mayor empaquetamiento de material; entonces, la presión más alta sobrepasa el efecto del aumento de temperatura, disminuyendo la contracción.

2.3.8.10 Alabeo

El alabeo o distorsión de una pieza ocurre sobre todo por una contracción no uniforme. Esto altera no sólo las dimensiones, sino también el contorno y ángulos de la pieza moldeada. Existen diversos factores que pueden ocasionar el alabeo:

-Contracción diferencial: Como ya se ha mencionado, las diferencias en contracción que ocurren, por efecto de la orientación, en una pieza moldeada, pueden provocar el alabeo o distorsión de ésta, sobre todo si la geometría de la pieza no provee suficiente rigidez. Al reducir la orientación de la pieza se reducirá la contracción diferencial y por lo tanto el alabeo.

-Diseño de la pieza: En cuanto al diseño de la pieza, se puede señalar que, si se tienen espesores no uniformes, éstos tendrán distinta rapidez de enfriamiento y, por lo tanto, diferentes densidades y orientación. Por consiguiente, pueden crearse grandes tensiones internas cuando la pieza se enfría, lo cual dará lugar al alabeo de la pieza.

-Diseño del molde: Por otra parte, uno de los mayores problemas en cuanto al diseño del molde es la localización adecuada de la entrada, ya que una entrada mal situada puede provocar una orientación indeseable. Además, el enfriamiento no uniforme da lugar a diferencias en la orientación y en la densidad de la pieza, lo cual también es causa de alabeo en la pieza.

-Condiciones de moldeo: En general, cualquier condición que tienda a reducir la orientación hará que disminuya el alabeo. Por ejemplo, un tiempo más largo de enfriamiento disminuirá el alabeo, ya que cuanto más rígida esté la pieza cuando se extrae del molde, menor posibilidad tendrá de que los esfuerzos se traduzcan en deformaciones. Mientras, temperaturas no uniformes en el molde darán lugar a diferencias en densidad en las distintas partes de la pieza, lo cual provocará una contracción no homogénea y, por lo tanto, suscitará el alabeo de la pieza moldeada.

- Materiales: Los materiales cristalinos presentan mayor contracción que los materiales amorfos. Sin embargo, una mayor cristalinidad da lugar a piezas con una mayor rigidez, lo cual permite menor alabeo. Por otra parte, una distribución estrecha de pesos moleculares producirá un menor alabeo.

Aunque no existe una solución única al problema del alabeamiento, se sabe que cualquier condición que tienda a reducir la orientación permitirá reducir también este problema.

2.3.8.11 Ángulos de desmoldeo

Cualquier pieza que se diseñe para ser transformada por un proceso de inyección, ha de ser concebida para poder ser desmoldeada con facilidad. Por ello habrá que dotar a la pieza de ángulos suficientemente generosos en las paredes, para llevar a cabo el proceso de desmoldeo sin problemas.

Habrá que poner especial atención en los casos donde la superficie de la pieza vaya texturizada. En estos casos se debería intentar que la dirección del texturizado sea la misma que la dirección de la extracción de la pieza.. No diseñar la pieza con suficientes ángulos de desmoldeo puede además de no permitir la correcta extracción de la pieza, causar en la superficie, la formación de arrapes o desgarro de material causados por la fricción entre el metal de la cavidad y el plástico durante el proceso de extracción.

2.4 Normas y referencias

2.4.1. Bibliografía

- Dubois, J. y Pribble, W. “Ingeniería de moldes para plásticos” Ed: Urno, S.A., Bilbao (1984).
- Camarero de la Torre, J y Martínez Peña, A. “Matrices, moldes y utillajes”. Dossat, (2003).
- Bodini, G y Cacchi Pessani, F. “Moldes y máquinas de inyección para la transformación de plástico”. Negri Bossi, (1992).
- Espinosa Escudero, M. “Introducción a los procesos de fabricación”. UNED, (200).
- Sánchez, J.A. y Pascual, S. “Técnicas avanzadas de conformado y moldeo: Intensificación en fabricación: 5º curso 2008-2009”. Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Bilbao (2008).
- Greener, J. y Wimberger-Friedl, R. “Precision injection molding: process, materials and applications”. Hanser, Munich (2006).
- Davis, Jim. “Creativity with NX Mold Wizard”. Siemens PLM Software. (2008).
- Shoemaker, Joe. “Moldflow Design Guide. A Resource for Plastics Engineers”. First Edition. Moldflow Corporation. Framingham, Massachusetts (USA), (2006).

2.4.2. Programas de cálculo

Para poder llevar a cabo el estudio se utilizaran dos programas computacionales:

- Autodesk Inventor profesional*, se trata de un paquete de software mediante el cual se validará la pieza y se realizará el diseño del molde.
- Autodesk Moldflow Adviser*, el cual permite simular el flujo de un polímero en un molde por medio de una técnica de moldeo por inyección y con el que se realizarán todo tipo de cálculos.

2.4.3. Disposiciones legales y normas aplicadas

UNE EN 157001-2002. Criterios generales para la elaboración de proyectos.

UNE EN – ISO 690:2013. Información y documentación. Directrices para la redacción de referencias bibliográficas y de citas de recursos de información.

UNE-EN 22768-1:1994. Tolerancias generales. Parte 1: tolerancias para cotas dimensionales lineales y angulares sin indicación individual de tolerancia.

UNE-EN 201:2010. Maquinaria de plásticos y caucho. Máquinas de moldeo por inyección. Requisitos de seguridad

2.5 Requisitos de diseño

El diseño del molde viene condicionado principalmente por la maquina en la que va a ser instalado, en este caso como se ha dicho anteriormente. Teniendo en cuenta esto se diseñara un molde con las dimensiones, presión máxima, fuerza de cierre y demás parámetros que dicha maquina exige. En segundo lugar, el molde debe ser diseñado acorde a la pieza que se desea obtener, la geometría de esta condicionara su posición en el molde, el posicionamiento de las columnas guía, sistema de alimentación, agujas expulsoras, sistema de refrigeración, etc. También hay que mantener atención al lote de fabricación y el material utilizado.

En un molde de inyección de plástico se debe diferenciar entre partes móviles y fijas. En este caso la parte fija o placa fija es aquella por la que se realiza la inyección y que está anclada a la estructura de la máquina. A la placa fija la atraviesan unas columnas guía que aseguran la correcta alineación de la placa fija y la móvil. La parte móvil se compone de la placa móvil, parte del semimolde que contiene la cavidad de la pieza a fabricar, el sistema de expulsión de la pieza compuesto por un conjunto de agujas expulsoras que empujan la pieza tras solidificarse y abrir el molde. Estas partes van fijadas a un carro que se desplaza longitudinalmente para acoplar la placa fija con la móvil y realizar el llenado del molde.

Tras el llenado y posterior solidificación del material, el molde se abre separando las dos partes, fija y móvil, dejando la pieza y la mazarota o posibles restos de material producto del llenado del molde, unidos a la parte móvil.

Se debe tener en cuenta durante el diseño de un molde de inyección, que el material polimérico sufrirá una pequeña contracción durante el proceso de solidificación, esto hará que la pieza se apriete contra la parte positiva o macho del semimolde, por tanto debemos situar esta parte en la placa móvil. También es recomendable dotar de cierta conicidad a las paredes del molde y al canal de alimentación del molde para facilitar la extracción de la pieza. La fase final de extracción de la pieza se produce cuando el conjunto expulsor del molde,

placas y agujas expulsoras, tocan una varilla fija que detiene la placa expulsora. Las columnas separadoras abren el molde y las agujas empujan a la pieza y la mazarota separándolas del molde.

Para obtener una pieza sin defectos es de suma importancia conocer y respetar los tiempos de enfriamiento y solidificación del material que vayamos a utilizar, manteniendo el molde cerrado el tiempo justo y necesario para que solidifique completamente, obteniendo una pieza estable que pueda ser extraída del molde.

Para el diseño y fabricación del molde podemos contar con una gran variedad de elementos normalizados que podemos comprar ahorrando dinero y tiempo en el diseño y construcción de elementos a medida

2.6 Análisis de soluciones

A continuación se va a exponer las diferentes alternativas que se presentan ante las distintas disyuntivas que aparecen a lo largo del diseño de un molde.

2.6.1 Tipos de moldeo

El primer paso que se debe dar a la hora de fabricar la pieza elegida es elegir qué tipo de proceso se va a utilizar. Dependiendo del método de transformación del material plástico existen tres tipos:

- Moldeo por compresión
- Moldeo por transferencia
- Moldeo por inyección

El primer método consiste en rellenar la cavidad del material plástico en forma pulverizada. A continuación se ejerce presión y calor sobre el molde para que el plástico funda y adquiera la forma del molde. Sólo es aconsejable para piezas de grandes espesores.

El segundo método consiste en introducir el material plástico ya en estado fundido mediante un accionamiento hidráulico. Es aconsejable para piezas con resaltes, postizos o agujeros.

El tercer método es igual que el anterior pero con la salvedad de que este método se dispone de una reserva de material que se va inyectando según se indique.

Se va a optar por el tercer método ya que es el más desarrollado y el más usado y, por consiguiente, más económico. Además permite obtener un gran número de piezas en poco tiempo.

2.6.2 Tipos de molde

A la hora de escoger un tipo de molde existen muchas opciones y muchas combinaciones que lo permiten ajustar nuestras necesidades a lo que disponemos actualmente en el mercado.

Según la norma DIN E 16 750 «Moldes de inyección para materiales plásticos» se pueden dividir en el siguiente esquema:

- Molde estándar (molde de dos placas).
- Molde de mordazas (molde de correderas).
- Molde de extracción por segmentos.
- Molde de tres placas.
- Molde de pisos (molde sandwich).

2.6.2.1 Molde estándar o de dos placas

El molde de dos placas es el diseño más empleado en la industria. Esta combinación ofrece muchas ventajas a la hora de diseñar, manipular el molde, utilizar elementos normalizados... y por tanto es la más económica.

Se construye en dos partes, mitad núcleo y mitad cavidad. La cavidad va situada en el plato fijo de la máquina y el núcleo va situado sobre la parte móvil junto con el sistema de expulsión. La refrigeración se aplica a ambas partes del molde para poder controlar mejor la temperatura de cada parte.

Los métodos más comunes para la construcción del núcleo y cavidad son:

- Método integral: tanto el núcleo como la cavidad van directamente en la placa.
- Método postizos: núcleo y cavidades están hechos sobre postizos que se colocarán en la placa móvil y fija respectivamente. Este método permite emplear el mismo molde con otras piezas de tamaños y características parecidas.

2.6.2.2 Molde de tres placas

Los moldes de tres placas son una modificación del sistema de dos placas en la cual se añade una placa central entre las placas móvil y estacionaria. La placa central aísla la corredera y el sistema de colada, de las piezas. El sistema de colada se forma entre la placa estacionaria y la central, y las piezas moldeadas se forman entre la placa central y la móvil.

Al abrirse el molde, las piezas permanecen en la placa móvil y se expulsan desde ahí. Sin embargo, el sistema de colada y la corredera se separan de las piezas moldeadas y permanecen entre las placas central y estacionaria. Un sistema expulsor accionado por resortes que se encuentra en la placa central expulsa la colada.

Existen varios aspectos de este sistema que lo hacen más ventajoso que el sistema de dos placas. En primer lugar, el corte de los puntos de inyección se realiza durante el proceso de expulsión de la pieza, no como una operación secundaria. En segundo lugar, existe mucha mayor libertad para seleccionar el número y ubicación de los puntos de inyección por medio de la colocación de los conos de inyección a través de la placa central. Se pueden colocar puntos de inyección en varios sitios de las piezas más grandes para facilitar el llenado.

2.6.2.3 Molde de piso o tipo sándwich

Las características que definen a un molde sándwich, son las dos superficies de separación. Un molde sándwich, no requiere mucha más presión de cierre de la maquina que un molde sencillo de una sola línea de partición, ya que la superficie proyectada de las cavidades, en ambas caras de la placa, cancelan sus fuerzas.

Sin aumentar el tamaño de la maquina, se puede producir el doble. La mayoría de los moldes sándwich, poseen igual numero de cavidades en cada una de las superficies de las líneas de partición. Algunos moldes sándwich, poseen cavidades que difieren una de otra en tamaño y forma.

El molde consta de dos partes o placas que componen la forma que se quiere moldear y se sujeta a las placas de cierre, de la manera más simple, en dos mitades. La parte de la izquierda es fija y la de la derecha es móvil. La exactitud del mecanizado es fundamental para prevenir la formación de una fina capa de plástico (flash) en las juntas que separan ambas partes del molde.

2.6.2.4 Molde de mordazas

Generalmente llamadas correderas, son todos aquellos moldes en los que para permitir el desmoldeo de la pieza son necesarios elementos desplazables (correderas), ya sean éstas de carácter mecánico/hidráulico.

2.6.2.5 Molde de extracción por segmentos

Una vez moldeada la pieza, la extracción de ésta, se realiza en varias fases por extracción por segmentos

2.6.3 Disposición y determinación del tamaño del molde

Una vez elegido el método, se va a elegir qué tipo de disposición se va a utilizar para el diseño del molde teniendo en cuenta el tamaño.

Por lo general, las características físicas del producto a obtener vienen dadas por el fabricante del producto. Estas características son el material y la geometría. Además se conoce de antemano la máquina que va a ser utilizada para la inyección, por lo que el diseño del molde tiene que tener en cuenta estos factores para poder obtener una pieza de buena calidad y con precio razonable.

El aspecto económico viene estrechamente relacionado con el número de cavidades que se quieran colocar en el molde, de tal forma que a más cavidades, se necesitará un molde mayor, por lo que también será necesaria una máquina de inyección más potente y todo ello conllevaría un aumento en el precio de la pieza.

Por ello, una vez conocidas la máquina inyectora y las características del producto, el tamaño del molde depende de:

- Volumen de inyección de la máquina
- Rendimiento de la plastificación
- Fuerza de cierre
- Relación entre sección y relación del flujo
- Dimensiones de la máquina
- Del lote de piezas a fabricar

Además, a la hora de aumentar el tamaño del molde se debe tener en cuenta un aspecto vital como es la calidad de la pieza obtenida ya que a mayor tamaño del molde, se van a requerir mayores longitudes en bebedero y canales de distribución por lo que es también un factor muy a tener en cuenta.

Si se atiende a la disposición de la pieza dentro del molde se va a optar por obtener cada mitad de la pieza en el mismo molde, ya que la pieza es muy sencilla y no tiene un tamaño excesivo como para obtener cada mitad en moldes distintos o incluir en el mismo molde varias unidades de cada mitad.

2.6.4 Diseño del molde

A continuación se presentan las distintas alternativas que se han estudiado antes de llevar a cabo el diseño final del molde.

2.6.4.1 Sistema de alimentación

Se denomina sistema de alimentación a todo el conjunto de conductos por los que circula el plástico fluido desde su salida de la máquina de inyección hasta su llegada a la huella del molde. En este conjunto están el bebedero, el canal de distribución y la entrada.

La característica principal de este sistema, es que se debe tratar de hacerlo lo más corto posible para que el plástico fluido llegue en buenas condiciones a la huella del molde. Además de la longitud, también es importante la geometría del propio sistema de alimentación, ya que se ha

de diseñar lo más uniforme posible.

Otro aspecto a tener en cuenta es que el sistema debe ser fácilmente expulsable una vez se solidifique, ya que no se debe olvidar que todo el sistema formará parte de la pieza solidificada de la cual habrá que separar (mediante alguna operación).

Por último, se tratará en la medida de lo posible conseguir la igualdad de presiones en cada cavidad del molde.

● Bebedero

El bebedero, también llamado mazarota, es la parte del sistema de distribución que con la cuál conecta la boquilla de inyección una vez el molde se cierra. Entonces la boquilla empieza a suministrar material plástico a través del bebedero.

El bebedero, debido al contacto con la boquilla, es un elemento sometido a grandes presiones y por ello un elemento que se deteriora con facilidad. Por ello, se deberá tener muy en cuenta su estado para detectar cuando es necesaria su sustitución.

Geométricamente, el bebedero dispone de una parte superior que encaja en un anillo de localización y que en este caso tiene forma cónica para una perfecta colocación. Además a lo largo de su recorrido se le dota de una conicidad interior desde la parte superior hasta la inferior de tal forma que el diámetro interior inferior es mayor que el superior para que así sea fácilmente desmoldeable.

Deben evitarse secciones de bebedero demasiado grandes porque esto requeriría un mayor tiempo de enfriamiento y por tanto un mayor tiempo de ciclo.

● Canal de distribución

El canal de distribución es el nexo de unión entre el bebedero y los ataques o entradas. El canal ha de tener una geometría que permita un avance fácil del flujo plástico y debe evitar los cambios bruscos de dirección.

La relación entre área y perímetro de sección es una buena medida de eficiencia para los canales de distribución.

Las secciones más recomendadas son la circular y la parabólica.

Las ventajas de la sección cilíndrica son que el centro de la sección es el último punto de enfriamiento y además de tener buena relación área-perímetro, también presenta bajo rozamiento comparado con otras secciones. Como desventaja cabe destacar que hay que mecanizar en ambas partes (cavidad y macho). Por último, se puede decir que tiene una buena presión de mantenimiento.

La sección parabólica presenta la ventaja de que sólo se mecaniza en una parte del molde, generalmente en la móvil, pero como contrapartida presenta pérdidas de calor importantes y una presión de mantenimiento a la de la sección circular anteriormente mencionada.

El factor más influyente a la hora de escoger el tamaño del canal de distribución es el volumen de la pieza junto con el espesor de la misma.

No hay que diseñar los conductos de colada más grandes de lo necesario ya que si así fuera, las pérdidas de calor que se generan en la parte del molde en contacto con el canal pueden ser excesivas y pueden empeorar la calidad del llenado. Además, a mayor sección mayor será el tiempo que necesitará la pieza para enfriarse.

Se debe tratar de elegir un tamaño de sección normalizado en la medida de lo posible y de elegir el adecuado en función del material que se vaya a inyectar.

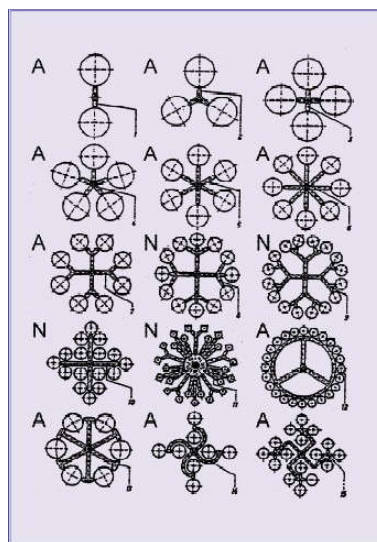


Figura 16. Diferentes disposiciones de canales de distribución.

Se puede apreciar cómo en todos los casos el flujo plástico llegaría al mismo tiempo a todas las cavidades.

De todas formas tampoco hay que abusar de canales de distribución para

conseguir este objetivo porque esto puede provocar, como ya se ha mencionado en otras ocasiones, la pérdida de calidad en la pieza.

● Entradas

Se denominan entradas o ataques a los estrechamientos de los canales de distribución en su unión con la huella del molde. Es decir, es la última parte que no va a formar parte la pieza obtenida.

En este punto debido a la reducción de la sección se generará un aumento de la velocidad del flujo.

Las entradas deben asegurar un correcto llenado del molde además de conducir los excesos de aire hacia las ranuras de aireación. También deben mantener la temperatura elevada del plástico y permitir una fácil separación de la pieza final.

Con este último aspecto se habrá que tener cuidado, ya que si se opta por una sección de inyección muy pequeña lo que ocurrirá será que la calidad de la pieza en el punto de inyección será muy mala.

A continuación se exponen algunos tipos de ataques (los más comunes):

- *Ataque directo*

Se utiliza para piezas de gran sección o para piezas de plásticos muy viscosos. Presenta la desventaja de que el posterior trabajo de mecanizado es importante y además dejará una marca visible en la cara de la pieza.

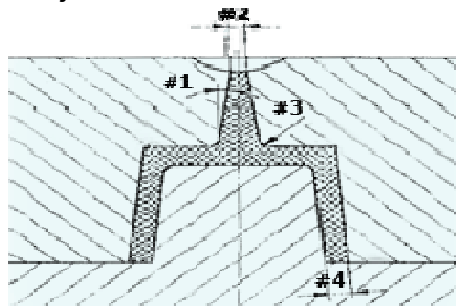


Figura 17

- *Entrada capilar*

Consiste en un único punto de pequeña sección en contacto con la pieza.

Esto facilita la posterior separación de la pieza. Se pueden utilizar boquillas neumáticas para conseguir una expulsión automática.

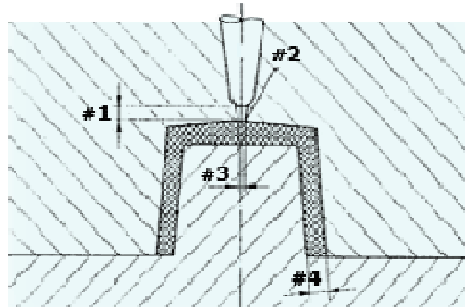


Figura 18

- *Entrada “en paraguas”*

Se utiliza para piezas de revolución. Por ejemplo, cojinetes de rotación, que no pueden tener ningún fallo en su cara cilíndrica. También ha de ser mecanizado tras la inyección.

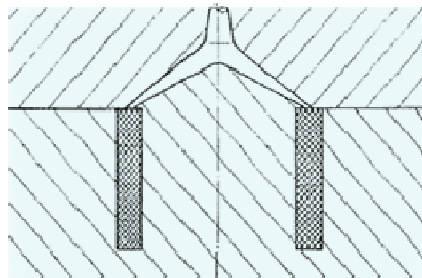


Figura 19

- *Entrada de cinta*

Es la entrada más recomendada para las piezas planas. Esto se debe a que en la entrada, de igual ancho que el espesor de la pieza, se compensan las contracciones y las tensiones porque el frente de flujo se vuelve homogéneo.

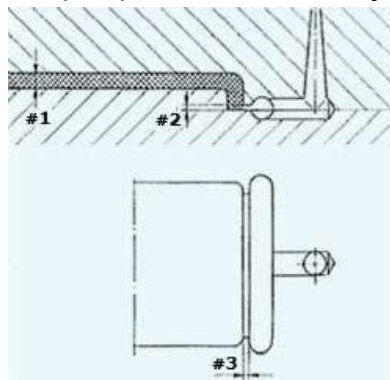


Figura 20

- *Entrada laminar*

Para piezas de grandes superficies. Se obtiene una gran calidad en las

entradas. La desventaja es que hay que mecanizar tras el enfriamiento.

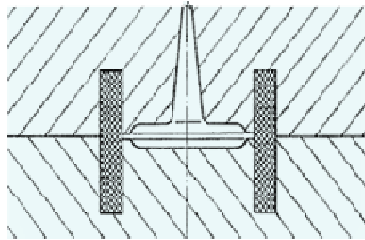


Figura 21

- *Entrada submarina*

Sólo es aconsejable para piezas pequeñas en moldes múltiples ya que se genera una pérdida de presión importante en la entrada. La mayor ventaja es que la entrada se separa automáticamente de la pieza en el momento de la apertura.

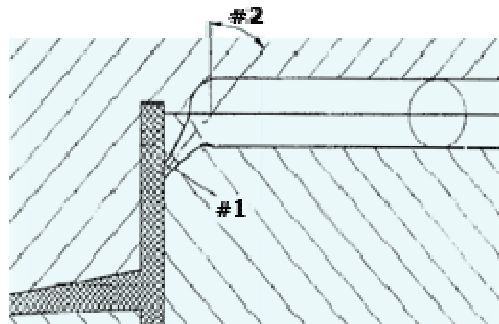


Figura 22

2.6.4.2 Refrigeración

La refrigeración es un aspecto muy importante a tener en cuenta a la hora de diseñar el molde ya que afecta a:

- Aspecto económico
- Calidad de la pieza

En lo que al aspecto económico se refiere, la refrigeración le afecta tanto en cuanto que un enfriamiento más rápido provoca una reducción del tiempo de ciclo y así una disminución de los costes de la pieza.

Sin embargo, el enfriamiento no puede ser excesivo, ya que si así fuera, se podría generar una diferencia de temperaturas muy alta entre las paredes del molde y la pieza que produciría fallos y degradación en la misma.

Es por esto que se recomienda que la diferencia de temperatura del refrigerante entre la entrada y la salida no debe superar los 5° C. Además se recomienda evitar un exceso de ángulos rectos y para ello, en piezas

grandes, es preferible realizar varios canales de refrigeración independientes. Por otra parte, para piezas planas, se recomiendan canales transversales en el sentido de la pieza.

2.6.4.3 Expulsores

La expulsión se realiza mediante varillas (generalmente de sección circular) que se alojan en el semimolde móvil y que a la hora de la apertura se mantienen firmes y provocan la expulsión de la pieza.

Su disposición debe ser tal que no genere deformaciones en la pieza. Por ello se ha de buscar un cierto equilibrio en la colocación de las varillas. Además no deben interferir con las otras partes del molde.

2.6.5 Estudio Moldflow

Se procede a realizar en MoldFlow un estudio de un prellenado. Con este estudio, que no es ni mucho menos definitivo, se puede ajustar el diseño en función de algunos parámetros de inyección.

Una vez ajustado el diseño de la pieza, se realiza un estudio mucho más exhaustivo del llenado final, refrigeración, contracción, etc para diseñar el molde. Estos resultados se estudian en más profundidad en documento nº3: Anexos.

A continuación se va a proceder a exponer los puntos más importantes que hemos tenido en cuenta en el estudio del pre-llenado para llevar a cabo el diseño de la pieza. No obstante, por exigencias de la propia geometría de la pieza, es imposible modificar el diseño de la pieza.

●Tiempo de llenado

El resultado tiempo de llenado muestra la posición del frente de flujo a intervalos regulares mientras la cavidad se llena. La pieza tan solo tarda 5.533 segundos, y teniendo en cuenta el tamaño de la misma, podemos considerar que es muy buen tiempo, y no es necesaria modificación alguna para modificar este parámetro.

●Confianza de llenado

Este resultado se deriva de los resultados de presión y temperatura. Este resultado muestra la probabilidad de llenado en buenas condiciones, regulares o deficientes de las cavidades en condiciones normales de inyección. Estudiando este resultado, tampoco se debe hacer ninguna modificación de la pieza ya que la confianza de llenado es del 100%.

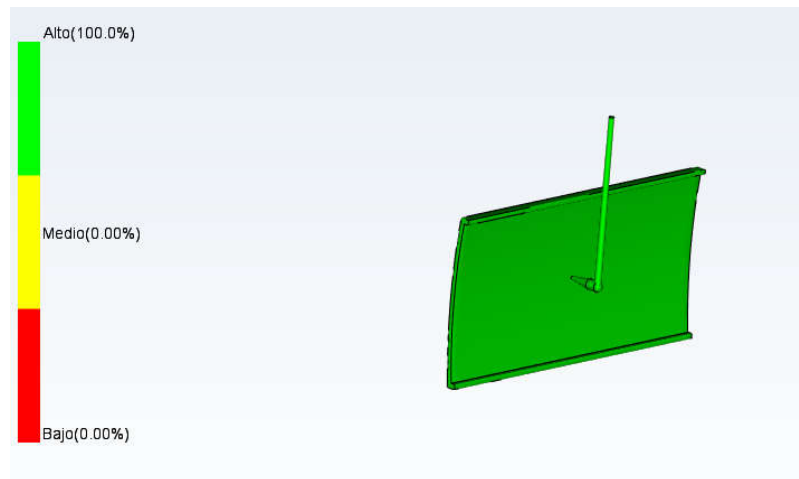


Figura 23. Confianza de llenado MoldFlow.

●Predicción de la calidad

Este resultado, como su propio nombre indica, es una predicción de la calidad de las propiedades mecanizadas de la pieza. Al igual que el resultado anterior, se tiene un resultado muy bueno, concretamente del 100%.

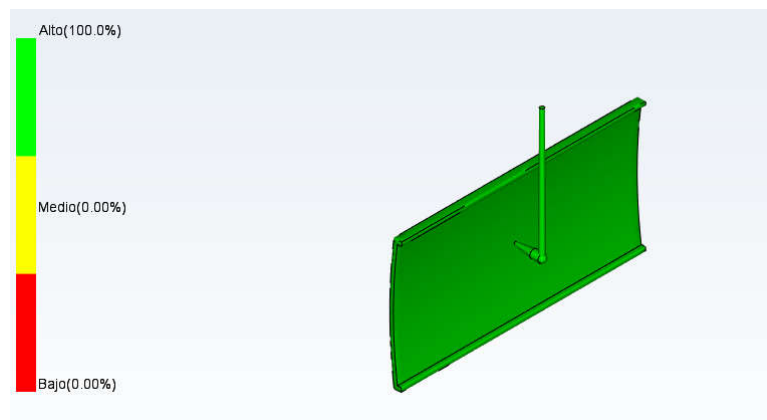


Figura 24. Predicción de la calidad MoldFlow.

●Presión de llenado

La presión de llenado muestra el valor de la máxima presión de inyección obtenida antes de que se produzca la conmutación de velocidad/presión durante la fase de llenado. Es de vital importancia que no se produzcan grandes variaciones de presión en la pieza durante el llenado. Como se puede observar en la pieza no se tienen variaciones de presión (Zona de color azul)

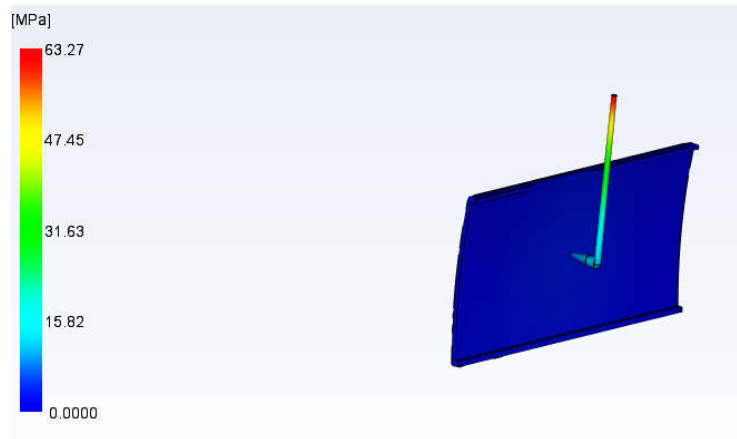


Figura 25. Presión de inyección MoldFlow.

●Fracción de capa solidificada al final de llenado

El resultado de fracción de capa solidificada al final del llenado representa la fracción del espesor de la capa solidificada al final de llenado. Se considera que un polímero está solidificado cuando la temperatura cae por debajo de la temperatura de transición. La fracción de capa solidificada tiene efectos muy significativos en la resistencia de flujo. La viscosidad aumenta exponencialmente con la disminución de la temperatura. La pieza tiene que mostrar la menor resistencia al flujo posible, de ello depende la geometría de la pieza. Se considera que más de un 25% de fracción de capa solidificada puede provocar dichas resistencias de flujo. Entonces, no se necesita llevar a cabo ninguna modificación en el diseño de la pieza porque se tiene un pico de 8,735% de fracción de capa solidificada.

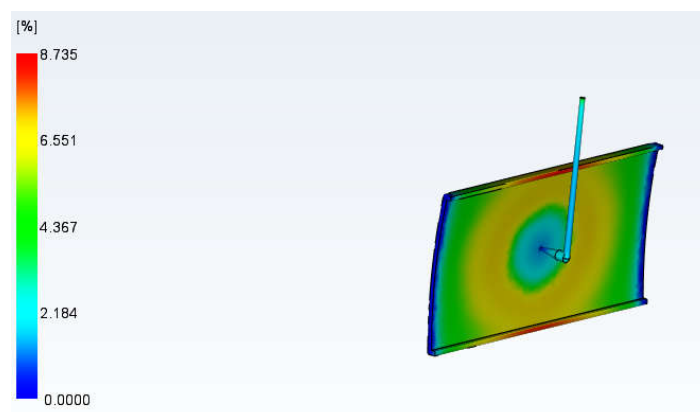


Figura 26. Fracción de capa solidificada MoldFlow.

●Atrapamientos de aire

Como se ha comentado anteriormente, un atrapamiento de aire se produce cuando la masa fundida atrapa y comprime una burbuja de aire o gas entre dos o más frentes de flujo convergentes, o entre el frente de flujo y la pared de la cavidad. Normalmente, el resultado es un agujero pequeño o un defecto en la superficie de la pieza. En casos extremos, la compresión aumenta la temperatura hasta un nivel que hace que el plástico se degrade o se queme. Una de las causas de los atrapamientos de aire es la geometría de la pieza, ya que ésta puede producir indecisiones del flujo y atrapar aire entre la pared y la cavidad.

Como se puede observar, no se producen prácticamente atrapamientos de aire en la pieza.

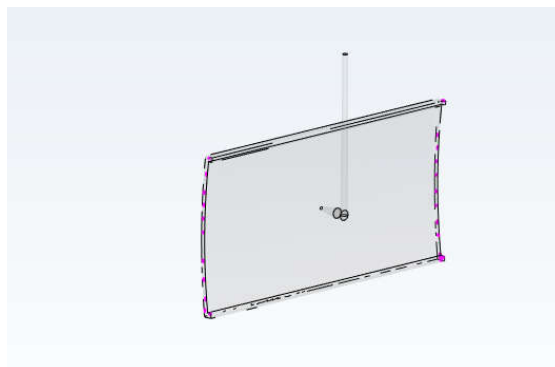


Figura 27. Atrapamientos de aire.

●Líneas de soldadura

El resultado de las líneas de soldadura muestra el ángulo de convergencia cuando se encuentran dos frentes de flujo. La presencia de líneas de soldadura puede indicar la fragilidad estructural o un defecto superficial. En la pieza sólo aparece una línea de soldadura. Cabe reseñar que es una zona muy pequeña donde sus valores quedan lejos de los 135° . (Fig. 31). Dichos colores fríos de la línea de soldadura indican que el valor de la línea o convergencia de flujos no es muy acentuado.

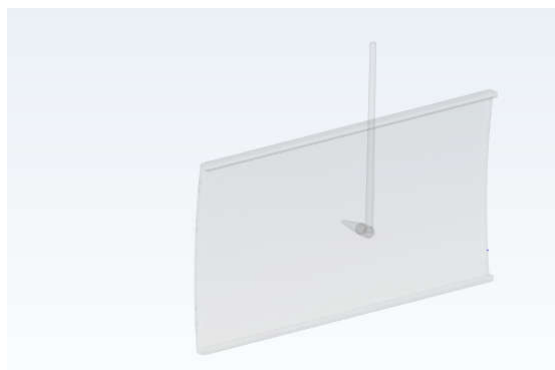


Figura 28. Líneas de soldadura

2.6.6 Descripción de los elementos del molde

Se debe distinguir entre parte fija y parte móvil.

2.7.3.1 Parte fija

Parte del molde que no se mueve cuando la máquina de inyectar realiza todos sus movimientos. Es donde apoya el cilindro de inyección de la máquina, para introducir en el molde el plástico fundido.

A su vez esta parte está formada por los elementos siguientes:

- **Placa fijación**

Placa de dimensiones (ancho y alto) adecuadas para que según el tamaño de pieza a inyectar, queden espacios libres por donde se podrá sujetar mediante bridas al plato fijo de la máquina. El grosor de esta placa será lo suficiente, para evitar deformaciones y dependerá del peso total del molde.

- **Placa portacavidad**

Es una placa en la cual se acopla la placa de una de las cavidades que da forma a la pieza. Dicha placa portacavidad va unida a la placa de fijación mediante tornillos y asegura que la placa de la cavidad este perfectamente centrada.

- **Anillo de centrado**

El anillo de centrado es la pieza que asegura una correcta unión entre la boquilla de inyección y el bebedero. Éste se dimensiona a partir de las medidas del bebedero de la boquilla seleccionadas. El anillo de centrado se une a la placa fija superior mediante tornillos.

- **Colada/bebedero, ramales de distribución y entradas**

Surcos creados en el molde que sirven para que el plástico fundido que viene del cilindro de inyección de la máquina pueda llegar a través de ellos hasta los huecos que tienen la forma de la pieza.

Todo ello deberá ir diseñado a partir de ciertos cálculos y simulaciones justificadas en el documento de los Anexos.

- **Cavidad**

La cavidad copia la parte superior de la pieza. Tiene un texturizado para que se transfiera a la pieza cuando se inyecte. Esta pieza contiene parte de los canales de distribución y las entradas por lo que es necesario fabricar esta pieza en dos partes para poder desmoldear la mazarota. Posee agujeros para alojar el sistema de refrigeración.

Esta es la parte por la cual se inyecta el plástico para moldear la pieza, con lo que va provista de los canales y la entrada.

●Circuitos de refrigeración

Ambas partes del molde, fija y móvil, tiene una serie de circuitos, tanto en el interior de la placa portacavidades y en las placas que dan forma a las cavidades de la pieza, por donde pasa el líquido refrigerante. Con este sistema, a una temperatura dada, el líquido refrigerante y trabajando la máquina de forma continua a un ciclo dado, se establecerá un equilibrio entre la cantidad de calor que suministramos al molde con el plástico fundido, y la cantidad de calor que le quitamos al molde con el líquido refrigerante. El ciclo tiene que ser el menor posible, que mantenga las piezas con la calidad requerida.

● Guías o columnas del molde

Ambas partes del molde tienen un sistema de guías en una parte y de agujeros guía en la otra, de alto nivel de ajuste, que aseguran un perfecto acoplamiento de las partes, evitando movimientos de una parte respecto a la otra cuando recibe la presión del plástico fundido que llega a las cavidades.

2.7.3.2 Parte móvil

Es la parte que está sujeta al plato móvil de la máquina y junto con esta se mueve. En este se encuentra ubicado el sistema de expulsión de la pieza cuando está terminada. A su vez esta parte está formada por los elementos siguientes:

●Placa fijación

Sirve para su sujeción mediante bridas u otros elementos de fijación al plato móvil de la máquina de inyectar. Esta placa no lleva centrador, pero lleva un orificio en su parte central que permite la entrada del vástago expulsor de la máquina, hasta la placa expulsora del molde.

● Placa portacavidad

Es una placa en la cual se acopla la placa de una de las cavidades que da forma a la pieza. Dicha placa portacavidad va unida a la placa de fijación mediante tornillos y asegura que la placa de la cavidad este perfectamente centrada.

●Cavidad

Dicha cavidad es la pieza que copia la parte inferior del foco delantero que queremos conseguir. Tiene un acabado con el texturizado que se desea conseguir en la pieza final. Esta pieza junto con la cavidad de la parte fija forma la línea de partición, por lo que muy importante definir bien la geometría de esta pieza para que se pueda desmoldear bien la pieza. La placa de la cavidad permanece inmóvil junto con placa portacavidad en el momento del desmoldeo de la pieza

La placa de la cavidad está provista de agujeros para el alojamiento de los expulsores.

●Expulsores

Pueden tener diferentes formas, según la pieza, aunque lo común es que sean de forma cilíndrica o laminar. Un extremo se sitúa en la placa expulsora y el otro formando parte de la superficie de molde en contacto con el plástico, hace de transmisor directo, en la extracción de la pieza de la cavidad del molde donde se aloja.

●Paralelas

Estas placas unen la placa de fijación inferior con la placa de calentamiento o placa intermedia fija. Además se encargan de crear un alojamiento en el molde donde van las dos placas de los expulsores. Van provistas de unos agujeros para alojar a las columnas de guiado.

●Placa porta expulsores y placa expulsores

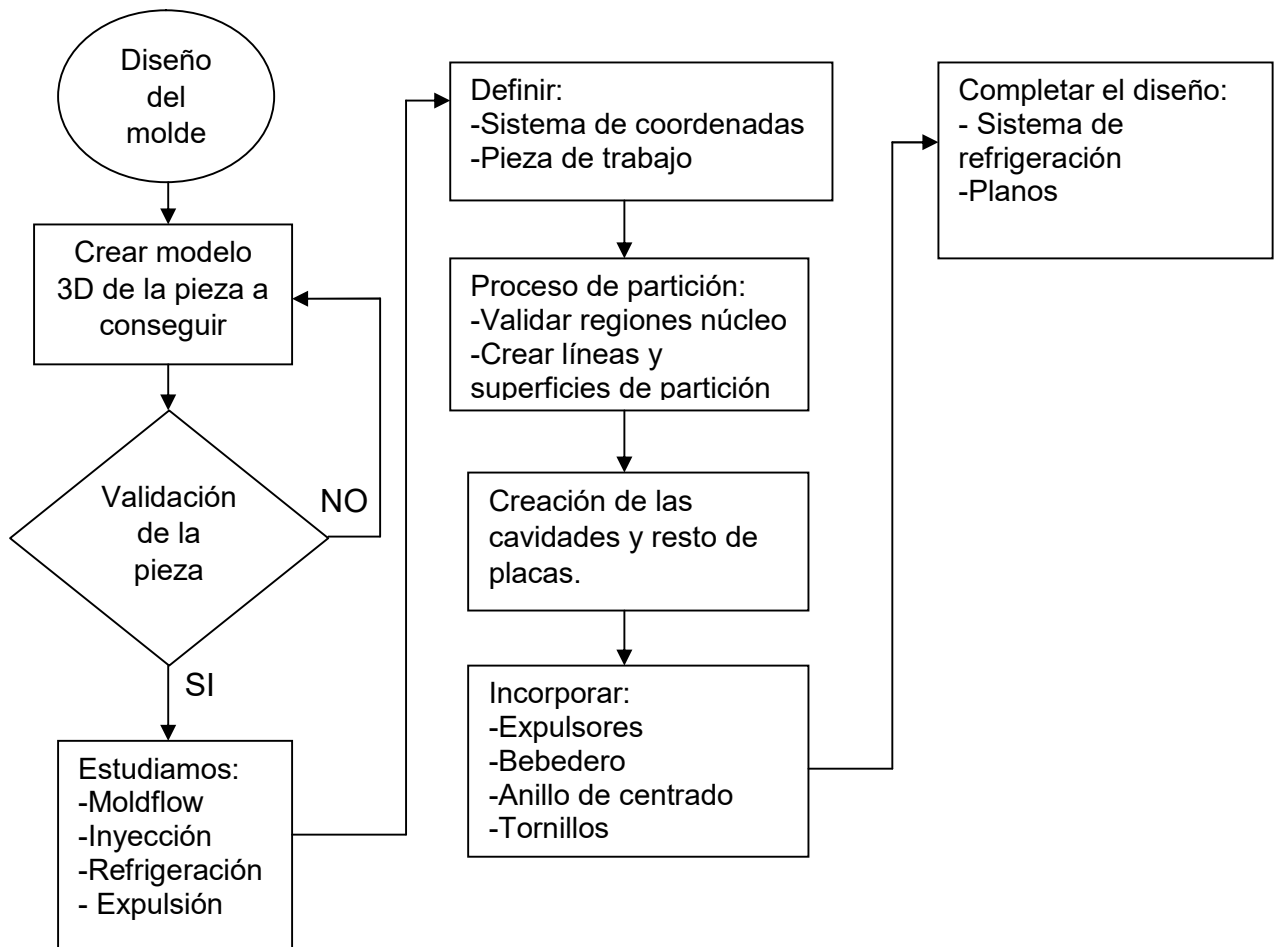
El conjunto de estas dos placas forma junto con los eyectores el sistema de expulsión de la pieza. Se denominan placa porta expulsores y placa de expulsores. Estas dos placas van unidas mediante tornillos portando en su interior los eyectores o pernos. Una vez terminado el ciclo de conformado, estas dos placas y los eyectores se deslizan en la dirección principal de desmoldeo y empujan a la pieza, obligándola a separarse del núcleo. La misión de estas placas es la de sujetar los expulsores y hacer que todos se muevan a la vez.

2.6.7 Proceso de diseño del molde

El molde que se ha diseñado dispone de dos cavidades, debido a la geometría de la pieza es la mejor opción. En este apartado se va a describir todas las opciones de diseño que se han tenido en cuenta para la realización del molde en función de la geometría la pieza, el material de dicha pieza y los sistemas de inyección, refrigeración y expulsión que se adapte mejor a nuestro diseño.

En la fase de diseño es muy importante seguir un orden de diseño de todos los componentes, ya que todos tienen una relación directa entre ellas.

A continuación se representa un diagrama de flujo de las fases de diseño que se ha seguido:



2.7 Diseño final del molde

2.7.1 Materiales para la construcción del molde

La elección del material del molde es de vital importancia porque de ello depende en gran medida la vida útil del molde y el resultado final de la pieza. Otro aspecto a tener en cuenta en la elección de materiales es el precio final que puede alcanzar el molde en función del material escogido.

De entre las numerosas características que tienen los materiales, se pondrá especial atención a las siguientes: alta resistencia al desgaste, resistencia a la corrosión, buena conductividad térmica, alta estabilidad ante grandes cambios de temperatura y mecanizables.

El material comúnmente utilizado es el acero. Se ha optado por utilizar acero inoxidable AISI 4130 para las piezas en general y aceros inoxidables AISI 420 y AISI 316L para piezas más delicadas.

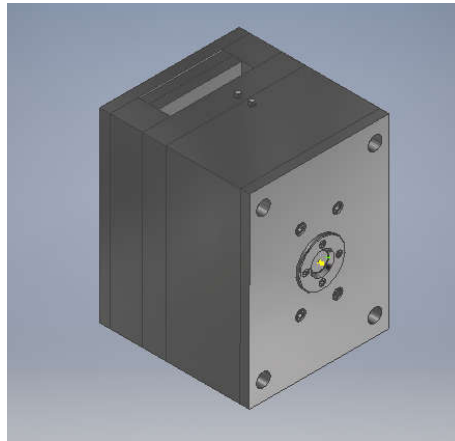


Figura 29. Molde estándar diseñado para la obtención de focos delanteros

2.7.2 Resultados finales del estudio en Molflow

A continuación se representarán los resultados del estudio final de los parámetros que intervienen en el proceso de inyección sin entrar en detalles mayores.

2.7.2.1 Análisis de llenado

●Tiempo de llenado

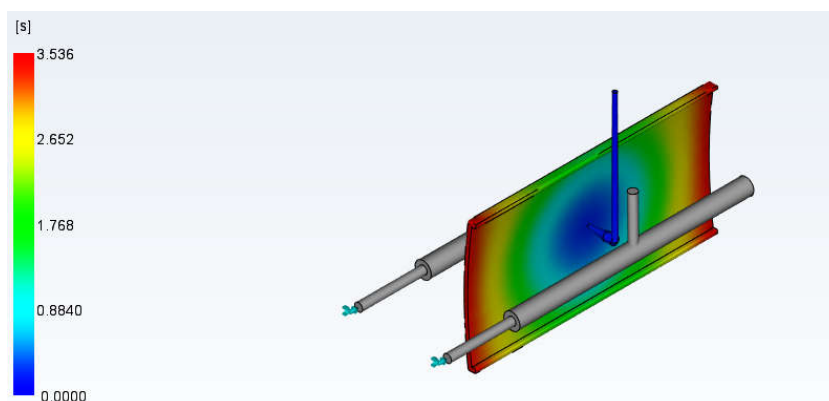


Figura 29

El tiempo de llenado es de 3,536 segundos como se puede observar en el documento Anexos apartado 3.6.5.

●Confianza de llenado

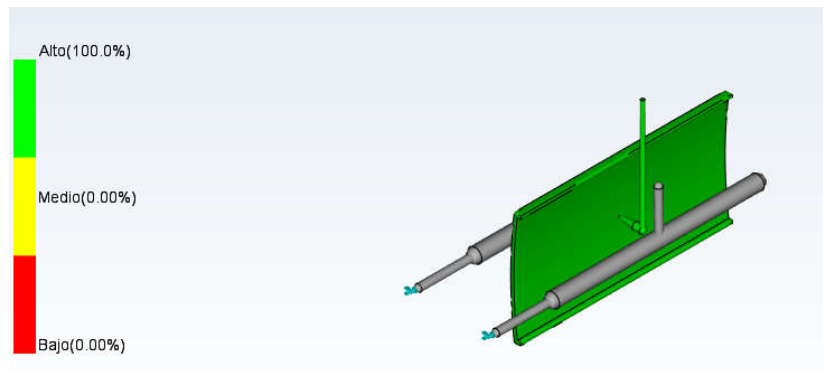


Figura 30

La confianza de llenado es del 100%, como se puede observar en el documento Anexos apartado 3.6.5.

●Predicción de la calidad

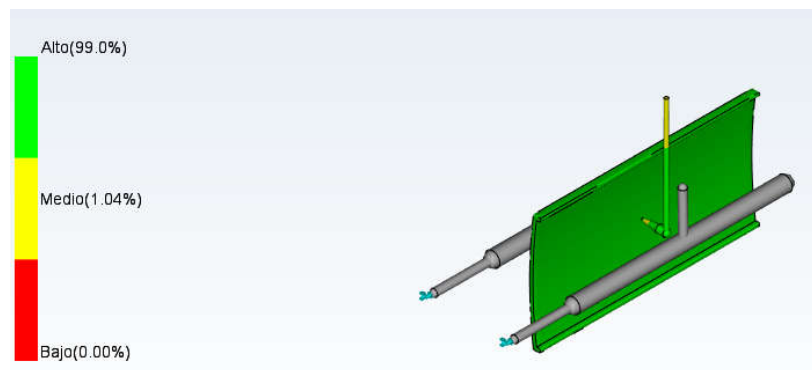


Figura 31

La predicción de la calidad es del 99%, como se puede observar en el documento Anexos apartado 3.6.5. Se puede considerar un resultado muy bueno.

●Presión de llenado

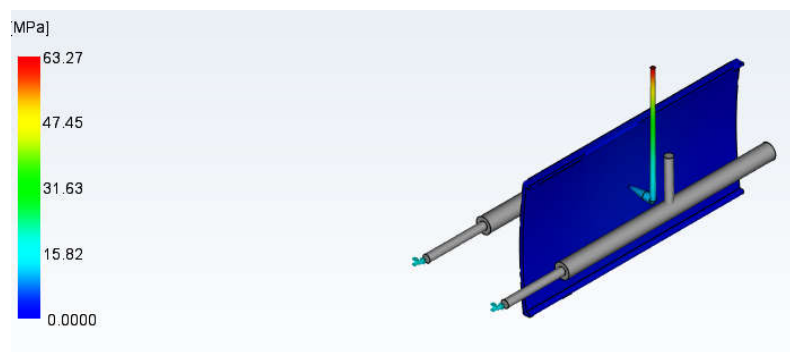


Figura 32

Es de vital importancia que no se produzcan grandes variaciones de presión en la pieza durante el llenado y como se puede ver en la figura 32, en la pieza no se tiene prácticamente variaciones de presión.

La presión de llenado es de 63,27MPa, como se puede observar en el documento Anexos apartado 3.6.5.

●Atrapamientos de aire

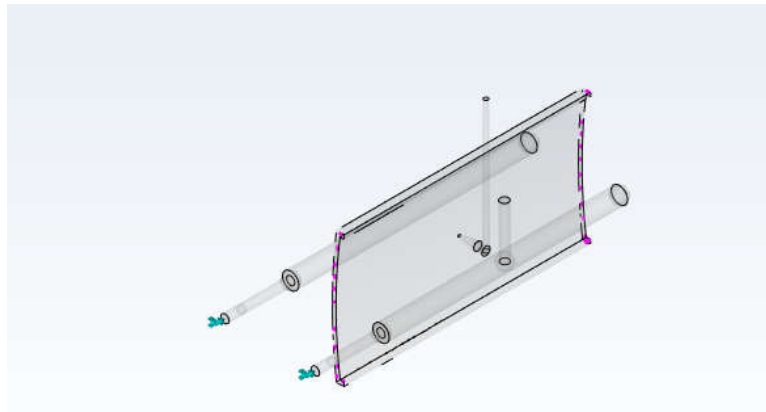


Figura 33

No se observan prácticamente atrapamientos de aire en la pieza, como se puede ver en el documento Anexos apartado 3.6.6. Este resultado coincide al 100% con el resultado del pre-llenado.

●Líneas de soldadura

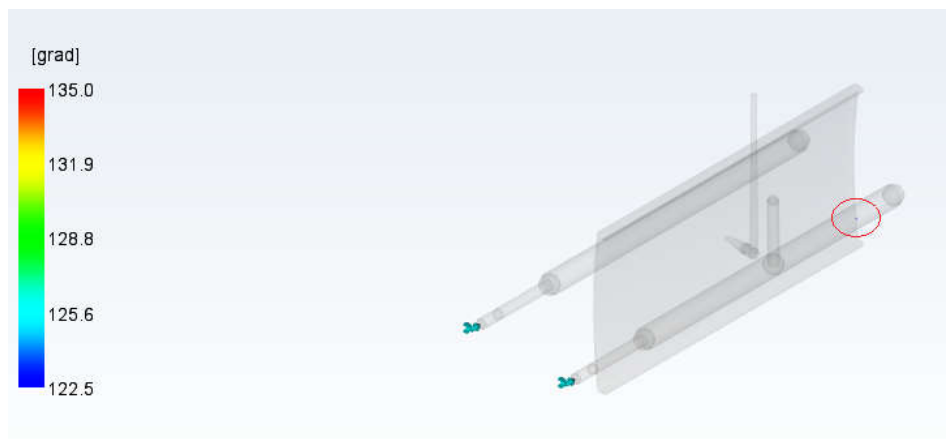


Figura 34

En la pieza sólo aparece una línea de soldadura. Dichos colores fríos de la línea de soldadura indican que el valor de la línea o convergencia de flujos no es muy acentuado. Este resultado coincide al 100% con el resultado del pre-llenado.

●Compactación

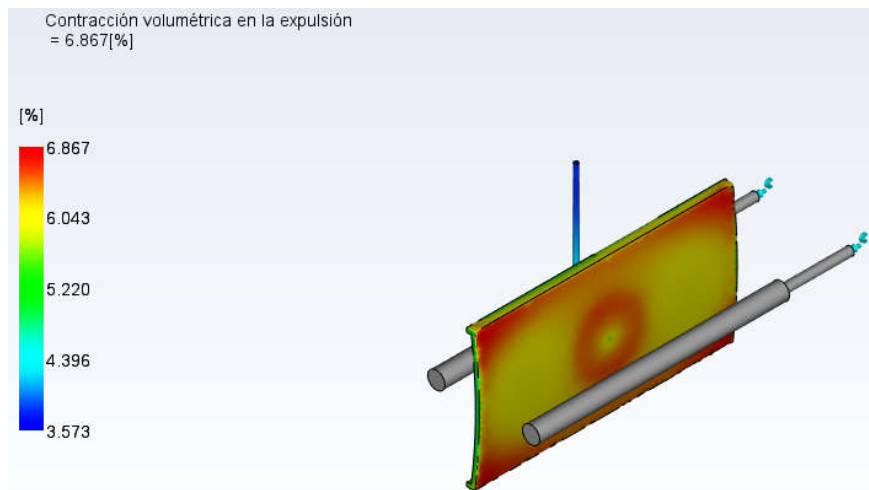


Figura 35

Se tiene un valor muy uniforme de compactación en toda la pieza entorno al 5%, como queda justificado en el documento Anexos apartado 3.6.6.

2.7.2.2 Refrigeración

●Calidad de refrigeración

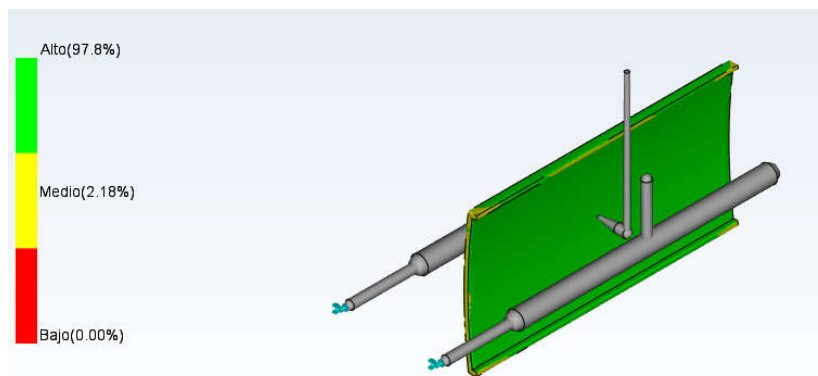


Figura 36

La calidad de refrigeración es del 97,8%, como se puede observar en el documento Anexos apartado 3.6.4, considerándose un resultado muy bueno.

•Tiempo para alcanzar la temperatura de expulsión

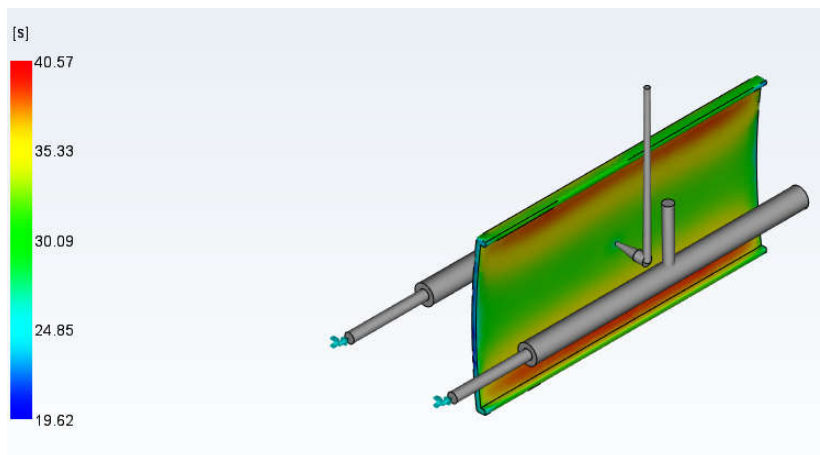


Figura 37

La pieza tarda 40,57 segundos en alcanzar la temperatura de expulsión, como se puede observar en el documento Anexos apartado 3.6.4. Es un tiempo aceptable ya que indica que el tiempo de ciclo es menos de un minuto por lo que se puede decir que es un diseño adecuado.

2.7.2.3 Deformación

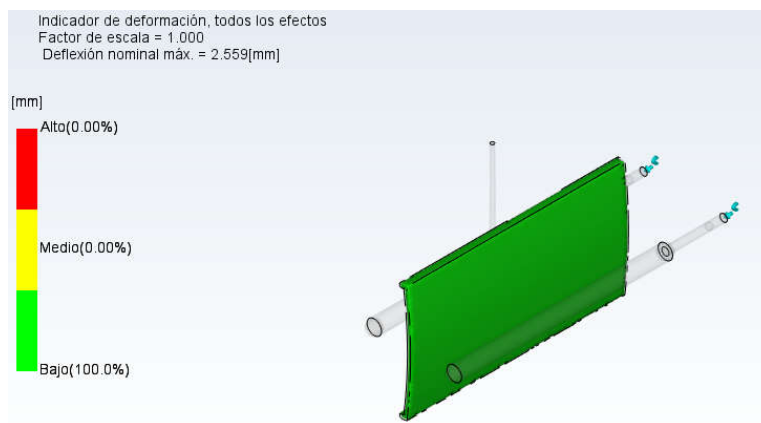


Figura 38

Como se puede observar en documento Anexos, apartado 3.6.6, se tiene un resultado sin ninguna deformación.

2.7.3 Descripción de los elementos del molde

Se ha optado por utilizar el molde estándar o de dos placas, debido a la simetría de la pieza y a que el canal de alimentación se encuentra en el plano de partición de la pieza.

A continuación se va a explicar todos los elementos de los que se compone el molde diseñado.

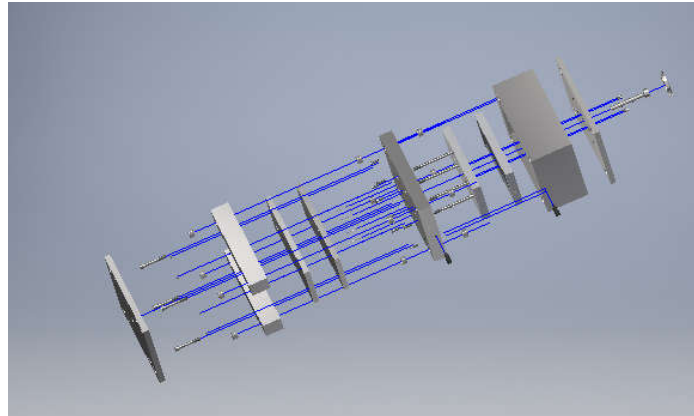


Figura 39. Molde estándar diseñado

Se ha optado por diseñar todas las piezas a medida basándonos en la pieza a obtener. Para ello se ha utilizado el programa de diseño mecánico Autodesk Inventor Profesional.

2.7.3.1 Parte fija

Esta parte está formada por los elementos siguientes:

- **Placa fijación**

Se ha optado por una placa de fijación de dimensiones 300x400x20 mm con agujeros para tornillos, anillo de centrado, bebedero y ejes guía. Se adjunta imagen 3D, el plano está definido en el documento Planos, plano nº 2

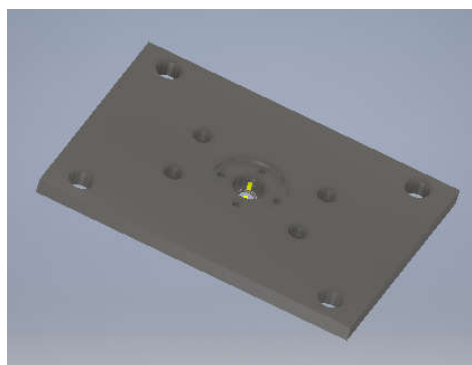


Figura 40. Placa fijación de la parte fija

● Placa portacavidad

Se ha optado por una placa portacavidades de dimensiones 300x400x160 mm, con agujeros para albergar el bebedero, ejes guía, canales de refrigeración y tornillos. Además tiene una cavidad donde ira introducida la placa con una de las cavidades definida. Se adjunta imagen 3D, el plano está definido en el documento Planos, plano nº 6.

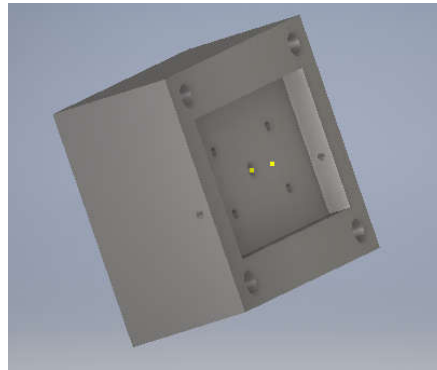


Figura 41. Placa portacavidad de la parte fija

●Anillo de centrado

Se ha optado por un anillo de centrado con cuatro agujeros para los tornillos que harán que quede unido a la placa de fijación y otro agujero mayor donde se introducirá el bebedero, con la función de que este quede totalmente centrado. Se adjunta imagen 3D, el plano está definido en el documento Planos, plano nº4.

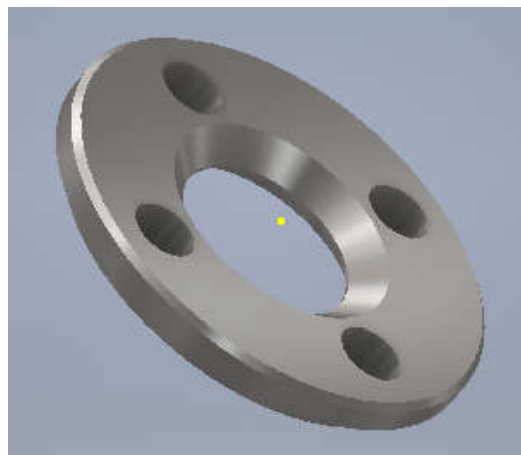


Figura 42. Anillo de centrado

● Colada/bebedero, canal de distribución y entrada

Se ha optado por un bebedero de longitud 160mm, diámetro inicial 5mm y diámetro final 6mm, todo ello justificado en el documento Anexos, apartado 3.3.1. Se adjunta imagen 3D, el plano está definido en el documento Planos, plano nº5.



Figura 43. Bebedero

● Cavidad

Se ha optado por una placa de cavidad de dimensiones 320x180x30 mm, quedando totalmente encajada en la placa portacavidades. Se adjunta imagen 3D, el plano está definido en el documento Planos, plano nº8.

La placa de la cavidad está provista de agujeros para el alojamiento de los canales de refrigeración y tornillos.

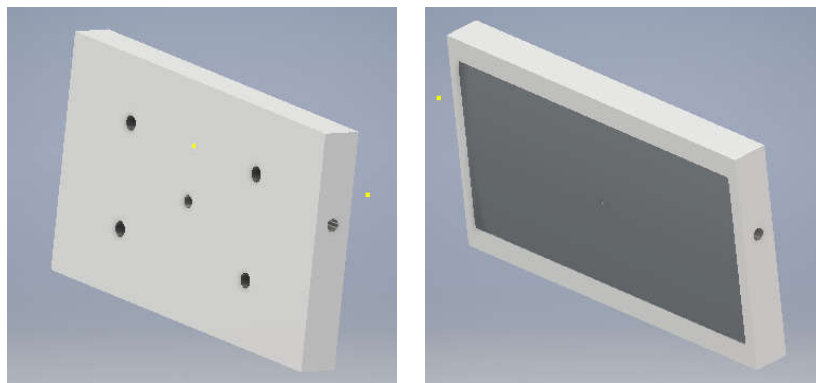


Figura 44. Cavidad parte fija

●Circuitos de refrigeración

Se ha optado por un circuito de refrigeración muy sencillo compuesto por dos canales de 10 mm de diámetro y un deflector, todo ello justificado en los cálculos realizado en el documento Anexos, apartados 3.4.3 y 3.6.4. Se adjunta imagen 3D proporcionada por el programa Moldflow.

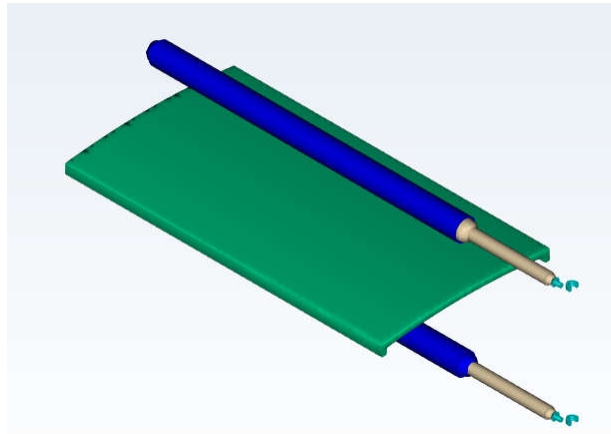


Figura 45. Circuito de refrigeración

2.7.3.2 Parte móvil

Esta parte está formada por los elementos siguientes:

●Placa fijación

Se ha optado por una placa de fijación de dimensiones 300x400x20 mm con agujeros para tornillos, ejes guía y un agujero central por donde se introducirá el aire que ahora que se muevan las palcas portaexpulsores y expulsores. Se adjunta imagen 3D, el plano está definido en el documento Planos, plano nº 3.

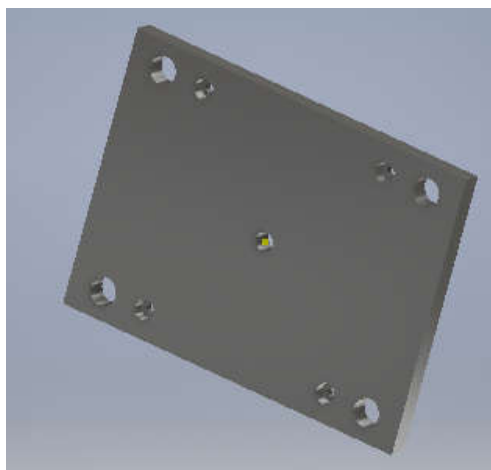


Figura 46. Placa fijación de la parte móvil

● Placa portacavidad

Se ha optado por una placa portacavidades de dimensiones 300x400x50 mm, con agujeros para albergar los expulsores, ejes guía, canales de refrigeración y tornillos. Además tiene una cavidad donde ira introducida la placa con una de las cavidades definida. Se adjunta imagen 3D, el plano está definido en el documento Planos, plano nº 7.

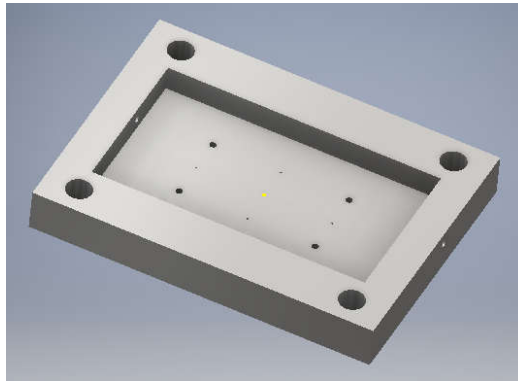


Figura 47. Placa portacavidad de la parte móvil

●Cavidad

Se ha optado por una placa de cavidad de dimensiones 320x180x30 mm, quedando totalmente encajada en la placa portacavidades. Se adjunta imagen 3D, el plano está definido en el documento Planos, plano nº9.

La placa de la cavidad está provista de agujeros para el alojamiento de los expulsores, tornillos y canales de refrigeración.

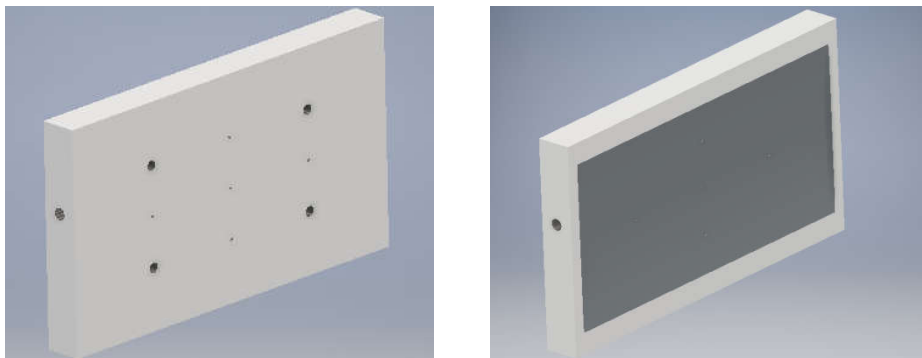


Figura 48. Cavidad parte móvil

●Expulsores

Se ha optado por cinco expulsores de diámetro 2 mm y con una longitud de 80 mm. Estos expulsores son comerciales. Estos expulsores están sometidos a pandeo cuando sufren compresión, por ello se han diseñado para que no fallen a pandeo como queda justificado en el documento Anexos apartado 3.5.1. Se adjunta imagen en 3D.



Figura 49. Expulsor

●Paralelas

Se ha optado por dos placas paralelas de dimensiones 400x60x70 con cuatro agujeros, dos para los ejes guía y los otros para los tornillos que las unirán a la placa fija y a la placa portacavidades. Se adjunta imagen 3D, el plano está definido en el documento Planos, plano nº10.

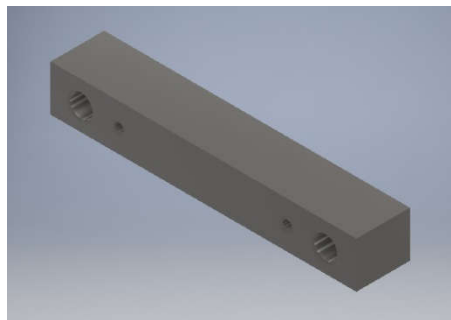


Figura 50. Placa paralela.

●Placa expulsores

Se ha optado por una placa expulsores de dimensiones 400x179x20, con agujeros para tornillos que la unirán con la placa portaexpulsores y para permitir el paso de los expulsores con el objetivo de guiarlos. Se adjunta imagen 3D, el plano está definido en el documento Planos, plano nº12.

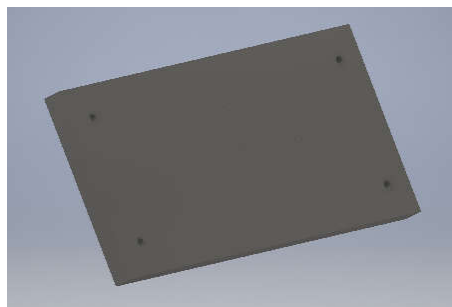


Figura 51. Placa expulsores.

●Placa portaexpulsores

Se ha optado por una placa portaexpulsores de dimensiones 400x179x20, con agujeros para tornillos que la unirán con la placa expulsores y para albergar a los expulsores. Se adjunta imagen 3D, el plano está definido en el documento Planos, plano nº11.

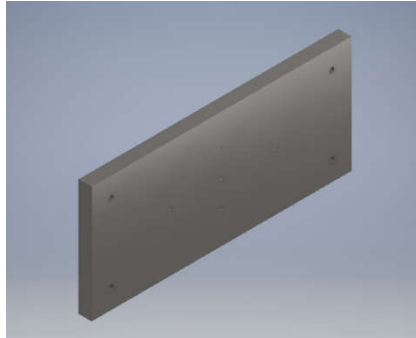


Figura 52. Placa portaexpulsores.