

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA
TRABAJO FIN DE GRADO

***DISEÑO DE UN MOLDE DE INYECCIÓN
PARA TAPACUBOS DE UNA RUEDA DE
AUTOMÓVIL***

DOCUMENTO 2 - MEMORIA

Alumno/Alumna: Enríquez, Contreras, Jon

Director/Directora: Lobato, González, Roberto

Curso: 2018-2019

Fecha: lunes, 10, junio, 2019

2. MEMORIA

2.1. OBJETO DEL PROYECTO	4
2.2. ALCANCE DEL PROYECTO	5
2.3. MOLDE DE INYECCIÓN.....	6
2.3.1. Clasificación de los moldes.....	6
2.3.2. Descripción de los elementos del molde de inyección	8
2.3.3. Descripción de los movimientos del molde	14
2.3.4. Análisis de la pieza a inyectar.....	14
2.3.5. Sistemas de inyección	15
2.3.6. Sistemas de expulsión.....	20
2.3.7. Sistemas de atemperamiento.....	22
2.3.8. Aspectos a tener en cuenta.....	24
2.4. PROCESO DE INYECCIÓN.....	26
2.4.1. Cierre del molde.....	27
2.4.2. Inyección	27
2.4.3. Plastificación y dosificación	33
2.4.4. Enfriamiento de la pieza	33
2.4.5. Apertura del molde y expulsión de la pieza	34
2.5. MÁQUINA DE INYECCIÓN	35
2.5.1. Unidad de cierre.....	35
2.6. MATERIALES PLÁSTICOSDE MOLDES	36
2.6.1. Materiales plásticos	36
2.6.2. Materiales utilizados.....	41
2.7. DIAGRAMA DE GANTT	44
2.8. NORMAS Y REFERENCIAS	44
2.8.1. Normas.....	44
2.8.2. Bibliografía.....	44

2.1. OBJETO DEL PROYECTO

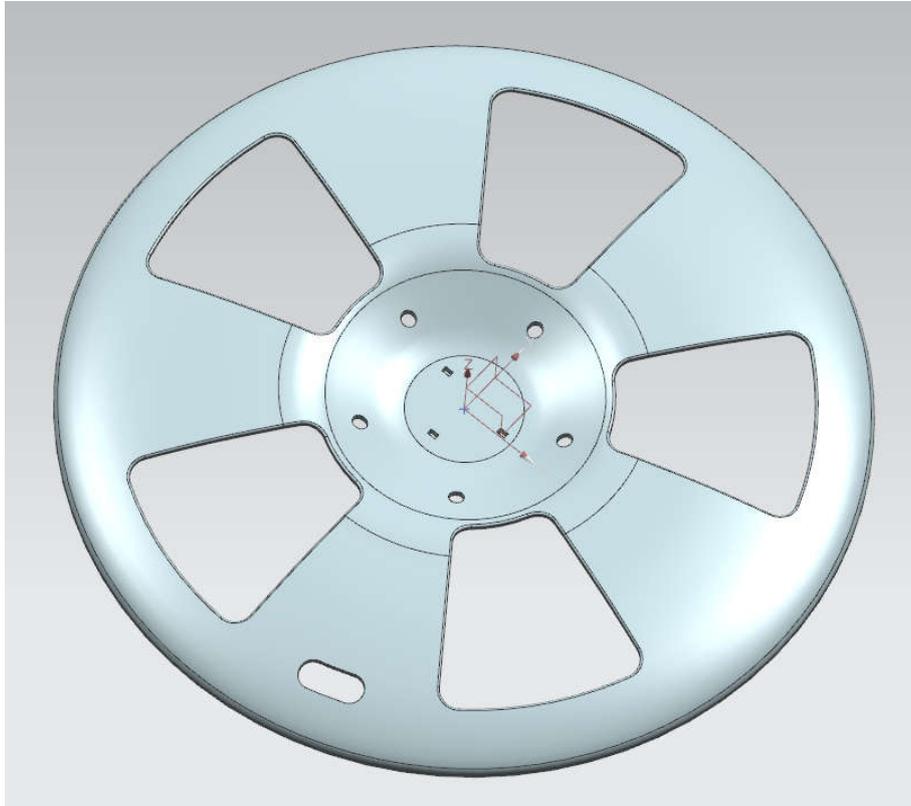


Figura 1. Tapacubos

El objeto de este proyecto es otro que el de realizar el diseño de un molde de inyección de plástico. Mediante éste proceso se obtendrá un tapacubos de una rueda de automóvil. Como se aprecia en la imagen, se ha diseñado la pieza para colocar el logo de la UPV/EHU en su interior, exactamente encajado en los tres agujeros del centro de ésta.

Para la obtención de este objetivo, se dispondrá tanto para la fase del diseño de la pieza como para la fase del análisis del molde de inyección y su diseño, diversos sistemas informáticos CAD (Computer Aided Design), CAM (Computer Aided Manufacturing) y CAE (Computer Aided Engineering).

2.2. ALCANCE DEL PROYECTO

El proyecto empezará, como no puede ser de otra manera, diseñando la pieza que saldrá del molde de inyección, de acuerdo con las especificaciones y condiciones que se deseen que tenga la pieza a la hora de su utilización.

Una vez se tenga la pieza, utilizando la herramienta para moldes de *Autodesk Moldflow*, se realiza un análisis completo de la pieza para comprobar si el diseño realizado es correcto para realizarlo mediante inyección de plástico o debe modificarse. Éste software utiliza el método de elementos finitos para realizar el análisis. Los cálculos que se obtienen son los siguientes: tiempo de llenado, confianza de llenado, presión de inyección, temperatura en el frente de flujo, ...

Con toda la información que *Moldflow* nos proporciona, se podrá realizar tanto un correcto diseño del tapacubos como un correcto diseño de los canales de entrada de plástico y de la refrigeración del molde. Además, habrá información para saber cuáles son las zonas más críticas de la pieza a tener en cuenta, junto con eso, una estimación del tiempo que tarda el plástico en estar listo para su desmoldeo.

Una vez la pieza esté adecuadamente diseñada y se haya realizado el análisis en *Moldflow*, se realizará el diseño del molde de inyección con el software de *Siemens, Unigraphics Nx 10.0*. Éste programa CAD/CAM/CAE muy extenso, pero el módulo que se utilizará principalmente será el de moldes *Moldwizard*. Mediante este programa informático, se podrán modificar, incluir y diseñar todos los elementos del molde de inyección.

Para terminar con el diseño del molde, con este último programa informático se realizarán los planos de todas las piezas del molde necesarias para la fabricación de éste.

2.3. MOLDE DE INYECCIÓN

2.3.1. Clasificación de los moldes

Existen diversas maneras de clasificar los moldes. Éstas se ven resumidas gráficamente de la siguiente manera:

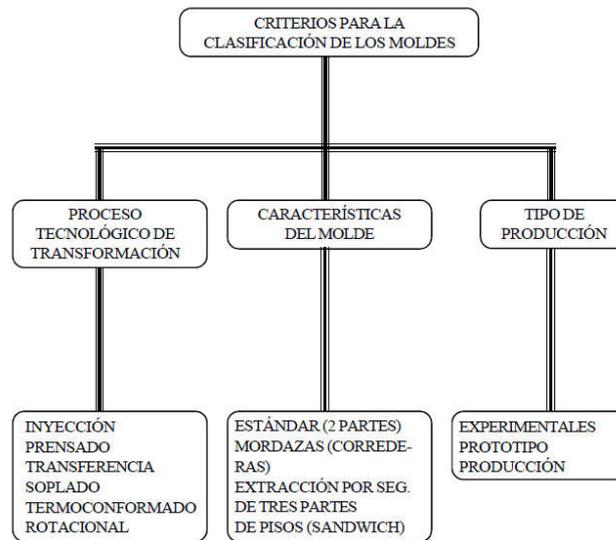


Diagrama 1. Criterios para la clasificación de moldes

1. Proceso tecnológico por el que da forma a la pieza

Inyección: proceso por el que un material plástico se eleva a la temperatura de moldeo, y es introducido a alta presión y velocidad en un molde cerrado. Éste plástico se enfría dentro del molde adquiriendo la forma de éste.

Ejemplos: juguetería, elementos de TV, elementos de automóviles, menaje...

Prensado: proceso en el que un material plástico se introduce en un molde caliente y abierto sin ningún tipo de presión inicial. En el siguiente paso el molde se cierra y se procede al prensado del material que se expande a lo largo de la cavidad. El material plástico obtiene la forma del molde debido a la temperatura y presión a la que es sometido por el cierre de éste. Una vez la materia plástica solidifique, la pieza se puede retirar del molde.

Ejemplos: armarios eléctricos, asas de menaje, aislamientos eléctricos, conectores...

Transferencia: variante del proceso anterior en la que la fase de calentamiento del material plástico se realiza en una cámara independiente, y posteriormente se transfiere al molde.

Soplado: proceso que se utiliza normalmente para la fabricación de cuerpos huecos. El proceso comienza con una preforma llamada "parison" con forma de macarrón que se deposita entre las dos mitades del molde a una temperatura adecuada. Una vez se cierra el molde, se introduce aire a presión para lograr "hinchar" la pieza hasta un espacio que ha sido dejado por el molde.

Ejemplos: botellas, envases, juguetes, frascos...

Termoconformado: es el método que da forma a láminas, mantas, planchas... de material con ayuda de presión y temperatura. La forma del molde se consigue calentando la materia prima a la temperatura necesaria para que ésta plastifique y, a continuación, con la acción de algún tipo de presión, es decir, ejerciendo técnicas de embutición, soplado o vacío. Ejemplos: piezas de automóvil, envases, cápsulas, protecciones...

Moldeo rotacional: El material a temperatura de plastificación se vierte en el molde, y éste se coloca a lo largo de toda su superficie interior gracias al movimiento de rotación alrededor de los 3 ejes cartesianos. Una vez el material se enfría, se logra la pieza deseada. Ejemplos: caras de muñecas, pelotas de tenis...

2. Según las características o complejidad del propio molde

Moldes standards: son aquellos moldes en los que la pieza se obtiene en su interior. A la hora de extracción de la pieza, el molde se abre en dos partes quedando ésta conformada entre estas dos mitades.

Moldes de mordazas: generalmente llamadas correderas son aquellos moldes en los que son necesarios elementos desplazables para el desmoldeo de la pieza, ya sean éstas de carácter hidráulico o mecánico.

Extracción por segmentos: una vez es moldeada la pieza, se lleva a cabo la extracción de ésta. En estos moldes se realiza la extracción de la pieza en varias fases por extracción por segmentos.

De tres partes: son aquellos moldes los cuales son necesario partirlos en más de dos partes como las del molde estándar.

De pisos: este tipo de moldes son una variante de los moldes de inyección en la que las diferentes cavidades se superponen unas a otras en forma de “pisos” para aprovechar mejor la capacidad de inyección de la máquina, sin el aumento de la superficie proyectada.

El molde que se va a diseñar es de dos placas y de una única cavidad, pero debido a la geometría de la pieza, se necesitan desplazables para su desmoldeo. Debido a éstas características, nuestro molde se encuentra dentro de los moldes de mordazas.

3. Según el tipo de producción

Experimentales: son moldes los cuales tienen como principal objetivo experimentar con cualquiera de sus características, refrigeración, llenado, pulido...

Prototipo: son moldes en los que las piezas que se obtienen tienen un carácter de prototipo. Esto significa que criterios como resistencia, ciclo, producción... no representan condicionantes importantes.

Producción: son moldes definitivos, ya sean series cortas, largas..., en los que factores como ciclo, producción, pulido, son determinantes, así como las tolerancias, formas...

2.3.2. Descripción de los elementos del molde de inyección

Se pueden describir los elementos de un molde de inyección dependiendo de la mitad del molde en que se encuentre situado en el momento en el que está montado en la máquina de inyección.

2.3.2.1. Parte fija o lado de inyección

Esta parte del molde recibe este nombre por ser la que no se mueve cuando la máquina de inyectar realiza sus movimientos. Está sujeta a la parte fija de la máquina, y es el lugar en el que se coloca el cilindro de inyección de la máquina para introducir en el molde de inyección el plástico fundido. Esto significa que es la parte más cercana al grupo de inyección.

La parte fija está formada por diferentes elementos que se verán a continuación.

2.3.2.1.1. PLACA SUPERIOR

La placa superior es una placa de metal que debe tener unas dimensiones que sean adecuadas para que las demás placas de la parte fija dispongan de hueco para estar sujetas por medio de bridas o tornillos. El grosor de ésta debe ser lo suficientemente grande para evitar deformaciones, y dependerá del peso del molde.

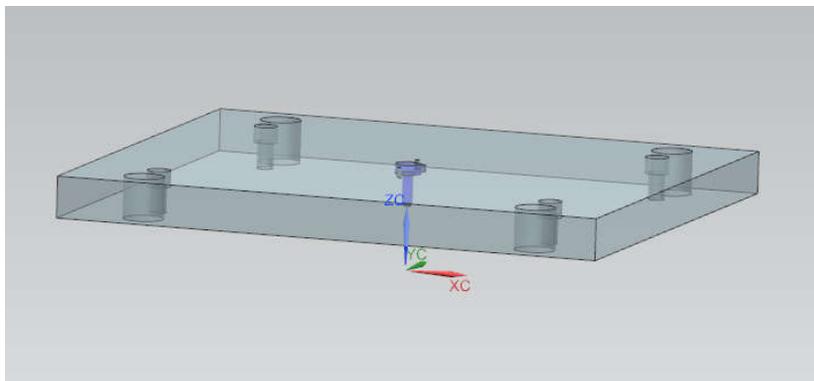


Figura 2. Placa superior

2.3.2.1.2. PLACA PORTACAVIDAD

La placa portacavidad es una placa donde se coloca la cavidad del molde, que es donde se realiza la figura de la pieza. Esta división entre placa portacavidad y cavidad se realiza debido a que la cavidad es una pieza mecanizada de gran valor, y de esta manera se protege frente a su desgaste y posibles defectos. De forma general, de las dos partes del molde que conforman la pieza, a la hembra se le llama cavidad y suele realizarse en la parte fija del molde, en cambio, el macho también llamado núcleo se realiza en la parte móvil del molde.

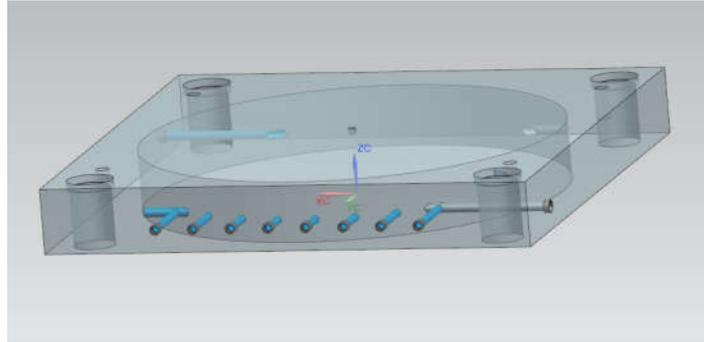


Figura 3. Placa portacavidad

2.3.2.1.3. CENTRADOR

El centrador es un elemento que sirve para centrar el molde en la máquina de inyección. Éste suele ser redondo, y debe sobresalir de la placa superior. La parte sobresaliente entra ajustadamente en el plato fijo de la máquina. De ésta manera, una vez centrado el molde en la máquina de inyección, el centrador coincide con el orificio por donde se inyecta el plástico fundido en el molde.

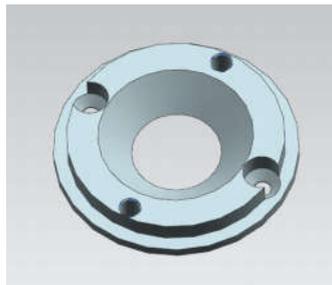


Figura 4. Centrador

2.3.2.1.4. BEBEDERO, RAMALES DE DISTRIBUCIÓN Y ENTRADAS

Estos elementos son huecos creados en el molde, que tienen la función de que el plástico fundido que viene de la máquina de inyección, vaya a través de ellos hasta llegar a los huecos que tienen la forma de la pieza.

La mazarota es el primero de los tramos. En éste tramo la boquilla de la máquina se coloca ajustándose al molde. A continuación de la mazarota se sitúan los ramales de distribución, tanto los primarios y los secundarios.

Los bebederos y entradas a la pieza son unos conductos que se llenan del material plástico y que no forman parte de la pieza. Cuando el plástico baja la temperatura, los bebederos y entradas a la pieza constituyen una merma del material, llamada colada. Ésta tiene que ser minimizada con un estudio minucioso.

Es posible mantener estos conductos a una temperatura lo suficientemente alta mediante resistencias integradas en el molde, que mantengan el plástico fundido sin afectar a su calidad. Con este procedimiento se evita la merma de las coladas. Estos se denominan moldes con cámaras calientes.



Figura 5. Bebedero

2.3.2.1.5. CIRCUITOS DE REFRIGERACIÓN

La refrigeración se realiza por medio de una serie de circuitos tanto en el interior de la placa portacavidad y portanúcleo como en los postizos que tienen las figuras de la pieza, es decir, en la cavidad y el núcleo, por donde pasa el líquido refrigerante.

Con este sistema de refrigeración, existirá un equilibrio entre la cantidad de calor que se le aplica al molde de inyección con el plástico fundido y la cantidad de calor que se le extrae con el líquido refrigerante. El ciclo debe ser el menor posible para que la pieza no pierda calidad.

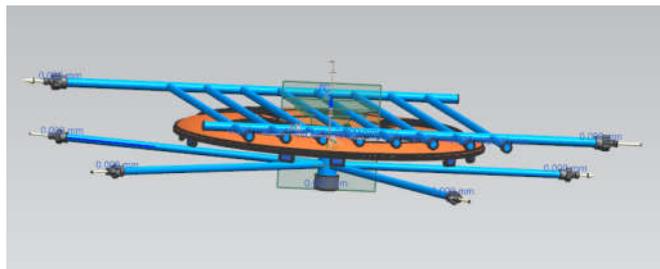


Figura 6. Circuitos de refrigeración

2.3.2.1.6. COLUMNAS GUÍA

Las dos partes del molde (la fija y la móvil) tienen un sistema de guías en una parte y de agujeros guía en la otra. Esta combinación de guías y agujeros aseguran un perfecto acoplamiento de las partes, evitando movimientos de una respecto de la otra a la hora de recibir la presión del plástico fundido. Las columnas permiten además poder realizar los ajustes finos de ambas partes del molde, en las fases de construcción o reparación del molde.

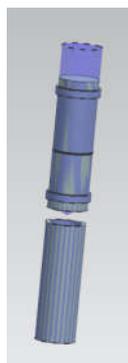


Figura 7. Columna guía con casquillo

2.3.2.2. Parte móvil o de expulsión

La parte móvil o de expulsión es la parte que está sujeta al plato móvil de la máquina de inyección y se mueve solidariamente con ésta. Además, es el lugar en el que normalmente se ubica el sistema de expulsión de la pieza cuando ésta está solidificada.

2.3.2.2.1. PLACA BASE

La placa base sirve para la sujeción mediante bridas u otros elementos de fijación, como tornillos, al plato móvil de la máquina. A diferencia de la placa superior esta placa no lleva centrador, pero normalmente lleva un orificio en su parte central para facilitar la expulsión de la pieza.

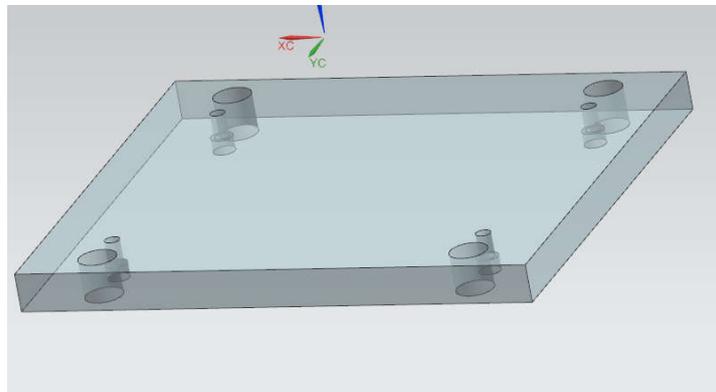


Figura 8. Placa base

2.3.2.2.2. PLACA PORTANÚCLEO

La placa portanúcleo, como se ha mencionado anteriormente, es la placa donde se coloca el núcleo del molde, que es una de las placas donde se realiza la figura de la pieza. Como en el caso de la placa portacavidad, la placa portanúcleo se divide del núcleo debido a que el segundo es una pieza mecanizada de gran valor, y de esta manera se protege frente a su desgaste y posibles defectos.

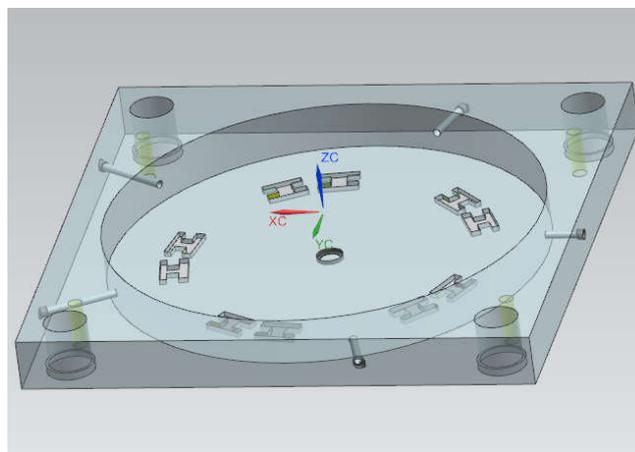


Figura 9. Portanúcleo

2.3.2.2.3. PLACA EXPULSORA

La placa expulsora es una placa doble que lleva los expulsores, recuperadores, y, en este caso, los desplazables. Ésta placa va flotante y guiada en un espacio dentro de esta parte del molde. Su misión trata en extraer la pieza con los elementos que dispone cuando el vástago de expulsión de la máquina hace presión sobre estas placas. Mediante los recuperadores se lleva la placa expulsora a la posición de inicio.

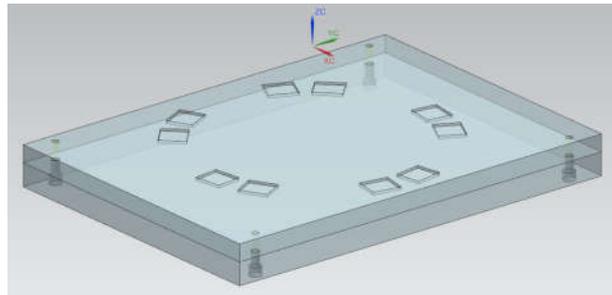


Figura 10. Placas expulsoras

2.3.2.2.4. PLACAS LATERALES

Las placas laterales son gruesos de hierro colocados en ambos lados del molde, y están sujetos a la placa base y a la placa portanúcleo mediante tornillos y por donde pasan las columnas guía. Estas placas crean un hueco central entre las dos placas mencionadas, por donde la placa expulsora se deslizará mediante guías.

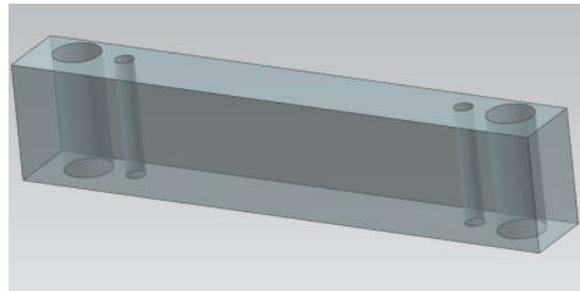


Figura 11. Placa lateral

2.3.2.2.5. EXPULSORES

Los expulsores pueden tener diferentes formas dependiendo de la pieza, aunque lo normal es que sean de forma cilíndrica o laminar. Se sitúan en un extremo la placa expulsora y en el otro formando parte de la superficie en contacto con el plástico. Los expulsores son elementos que tienen una influencia directa en la extracción de la pieza de la cavidad donde se aloja. En el caso de este molde no se han utilizado elementos únicamente para la expulsión, sino que ésta se realiza por medio de los desplazables.

En el momento de enfriamiento de la pieza, al solidificarse el plástico en el molde, se produce una contracción volumétrica de la pieza provocando la separación de las partes cóncavas del molde y la adherencia en las partes convexas.

2.3.2.2.6. LÍNEA DE PARTICIÓN

La línea de partición se trata de una zona alrededor de la figura donde ambas partes del molde crean un límite de llenado de la cavidad. El ajuste del molde debe ser perfecto para evitar que exista material sobrante en la pieza. Para comprobar el adecuado ajuste del molde, basta con pintar una de las caras y presionar ambas partes, comprobando que la fabricación del molde es correcta.

2.3.2.3. Sistemas auxiliares de desmoldeo

En muchos casos, la construcción y el desmoldeo de las piezas resulta complicado debido a su geometría: ángulos negativos o formas no reproducibles con un molde convencional. En estos casos, se deben utilizar sistemas auxiliares de desmoldeo.

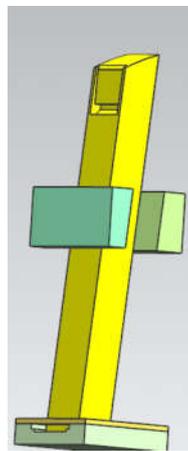


Figura 12. Sistema auxiliar de desmoldeo (desplazable)

2.3.2.3.1. CARROS LATERALES Y DESPLAZABLES

Cuando la pieza a inyectar tiene geometrías negativas o bien ángulos de salida negativos que dificultan la expulsión, es necesario utilizar carros laterales que entren y salgan mediante de pernos inclinados. En el momento de apertura del molde, estos pernos moverán los carros laterales hacia fuera liberando las geometrías negativas.

Dependiendo de la dificultad de la geometría de la pieza y de su disposición dentro del molde, para las geometrías negativas o los ángulos de salida negativos se pueden utilizar desplazables. Éstos tienen la ventaja de que son más sencillos de utilizar que los carros laterales, y son los que se han utilizado en éste proyecto.

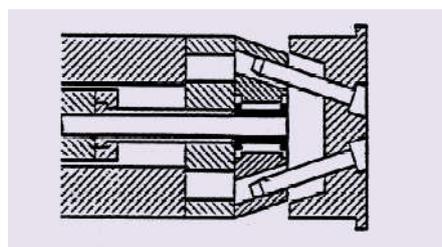


Figura 13. Carros laterales

2.3.3. Descripción de los movimientos del molde

Las máquinas de inyección producen dos tipos de movimientos:

- Abrir y cerrar el molde.
- Realizar el avance y retirada de los elementos de expulsión.

Son movimientos que se pueden regular, anular y sincronizar, pero siempre sobre el mismo eje que se denominará eje de desmoldeo.

El resto de movimientos necesarios como las dobles expulsiones o aperturas, o los accionamientos de correderas o patines, se pueden conseguir mediante la utilización de elementos mecánicos como rampas, levas, trinquetes, resortes, planos inclinados, resortes..., o bien por medio de elementos hidráulicos como lo son las válvulas, motores, cilindros...

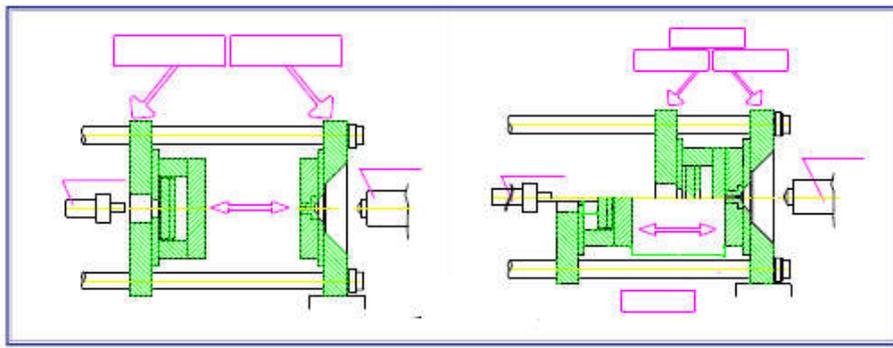


Figura 14. Movimientos de los moldes

En la gran mayoría de las ocasiones, se necesita garantizar una correcta maniobra de la máquina mediante la utilización de diversos seguros tanto mecánicos como eléctricos.

2.3.4. Análisis de la pieza a inyectar

Una de las primeras operaciones importantes es la de colocar la pieza en posición correcta de moldeo en el eje de desmoldeo, rotando o inclinando la pieza sobre sí misma. Mediante esto se consigue, de forma absoluta o de forma parcial, el desmoldeo de la pieza por medio de la apertura de la máquina.

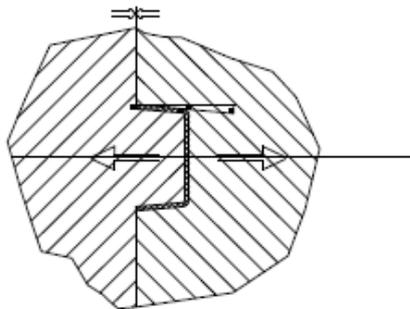


Figura 15. Sección pieza en molde

En el caso de zonas de contra salida o negativas es necesario la utilización de elementos móviles, ya sean accionados por medio de sistemas mecánicos o hidráulicos, de modo que se permita liberar los negativos en un eje distinto al de desmoldeo.

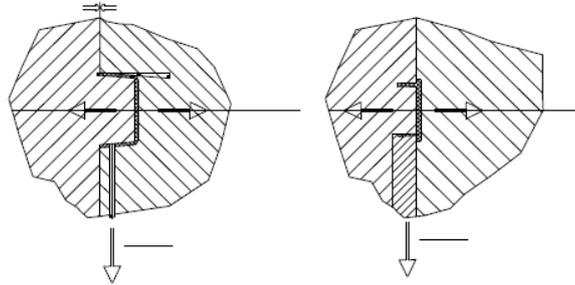


Figura 16. Sección pieza en molde con elementos móviles

La línea perimetral que limita los elementos de cierre con la cavidad de la pieza recibe el nombre de Línea de Partición.

2.3.5. Sistemas de inyección

2.3.5.1. Introducción

El sistema de inyección es el conjunto formado por la mazarota, los canales distribuidores, y entradas que habilitan el paso del material plástico desde el punto de contacto entre el molde y la máquina, boquilla máquina, hasta la cavidad de la pieza. El orificio de entrada a esta cavidad, denominado entrada, debe permitir el llenado de la pieza.

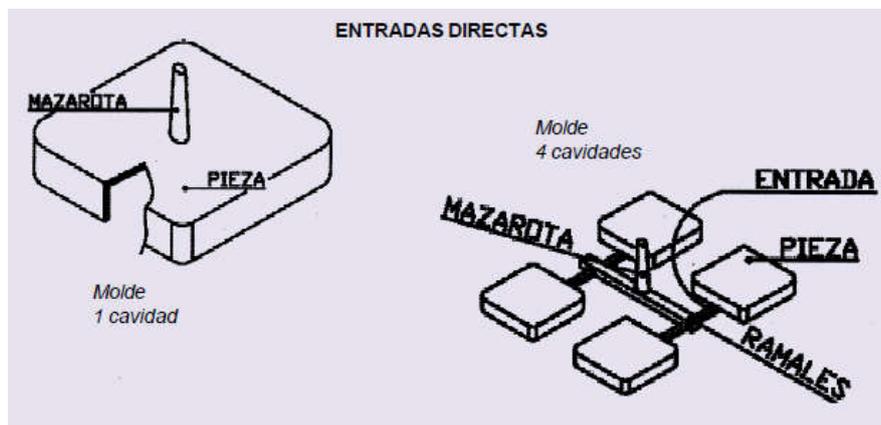


Figura 17. Entradas directas sistemas de inyección

Una manera de estudiar todo el conjunto se podría resumir en el esquema que se presentará a continuación. Hay que tener presente que éste es uno de los apartados en los que es más importante la colaboración y los acuerdos entre las partes implicadas en el proyecto de la fabricación de la pieza: diseñador o proyectista, inyector y moldista.

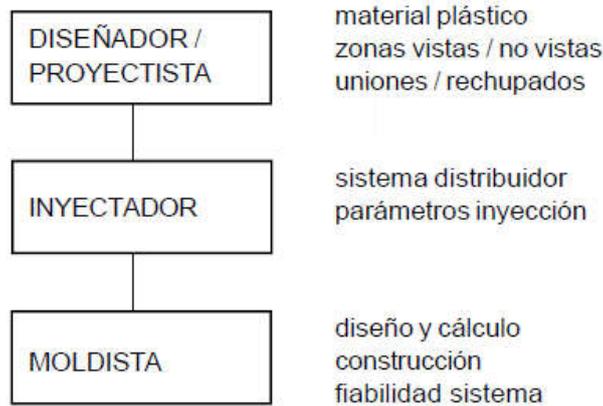


Diagrama 2. Partes implicadas en fabricación

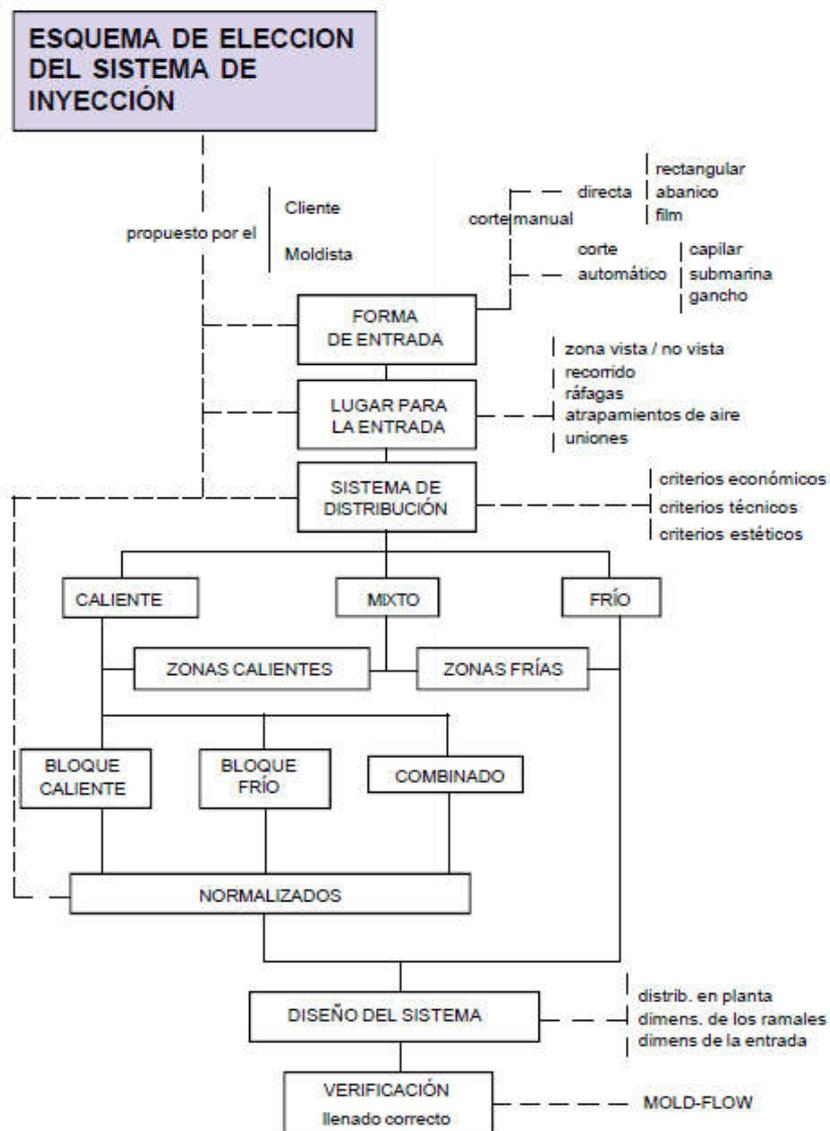


Diagrama 3. Elección sistema de inyección

2.3.5.2. Forma de entrada

Los sistemas de inyección se pueden diferenciar en un primer momento en si las entradas en la separación de la pieza del distribuidor, es decir, el corte, se produce de forma automática o si se realiza en éstas operación posterior de forma manual.

2.3.5.2.1. Corte automático

Las entradas de corte automático representan una gran ventaja cuando se efectúan en zonas vistas.Éste tipo de corte es siempre de igual calidad, en cambio, en los cortes manuales depende de la destreza del operario.

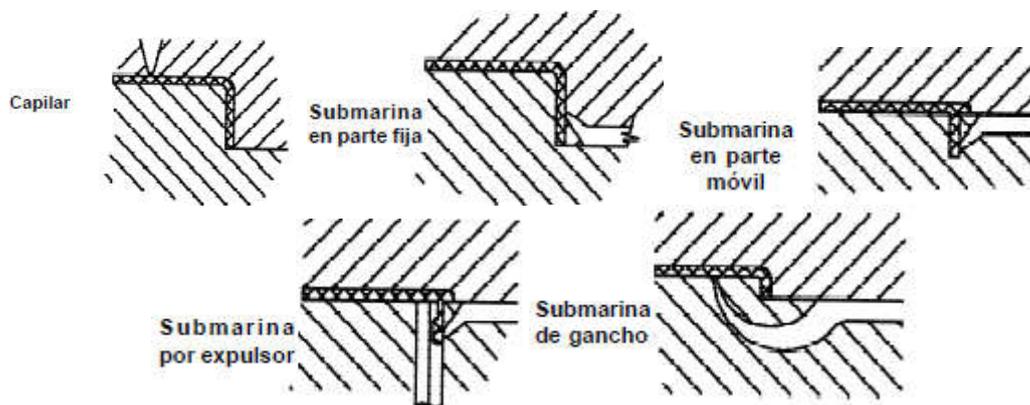


Figura 18. Entradas corte automático

2.3.5.2.2. Corte manual

Por el otro lado, normalmente los cortes manuales ofrecen ventajas en cuanto a flujo, caudal, dimensionado, o, incluso, a mantener unidas micro piezas en posteriores operaciones.

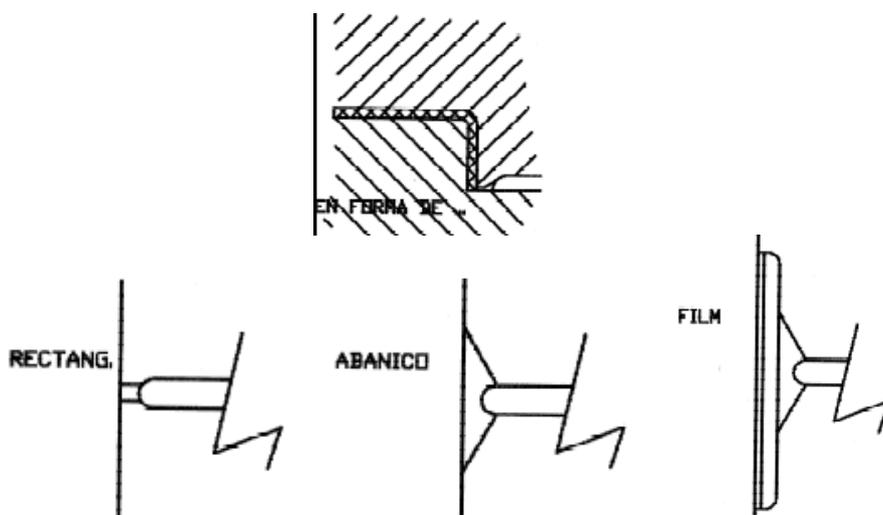


Figura 19. Entradas corte manual

2.3.5.3. Forma y sistema distribuidor

El sistema distribuidor debe ser diseñado de la forma más equilibrada posible, con motivo de alimentar las diferentes entradas en el molde, tanto para una pieza como para varias.

El material varía sus condiciones de inyección desde el punto en que se suministra por la máquina hasta la entrada, como pueden ser pérdidas de temperatura, fluidez, caudal... que hace que soluciones “en línea” produzcan diferentes tipos de llenado, con posibles problemas de dimensionamiento o estética.

En casos de piezas técnicas con tolerancias y exigencias estrictas especialmente se deben evitar las soluciones en línea del sistema distribuidor, y diseñar, por tanto, el recorrido de la forma más óptima para que el llenado se realice de igual manera en las diversas cavidades.

Un aspecto a tener en cuenta a la hora de diseñar un sistema distribuidor, es que éste debe alcanzar cierta zona de la pieza donde se pueda realizar una entrada de material que no se aprecie posteriormente en su utilización.

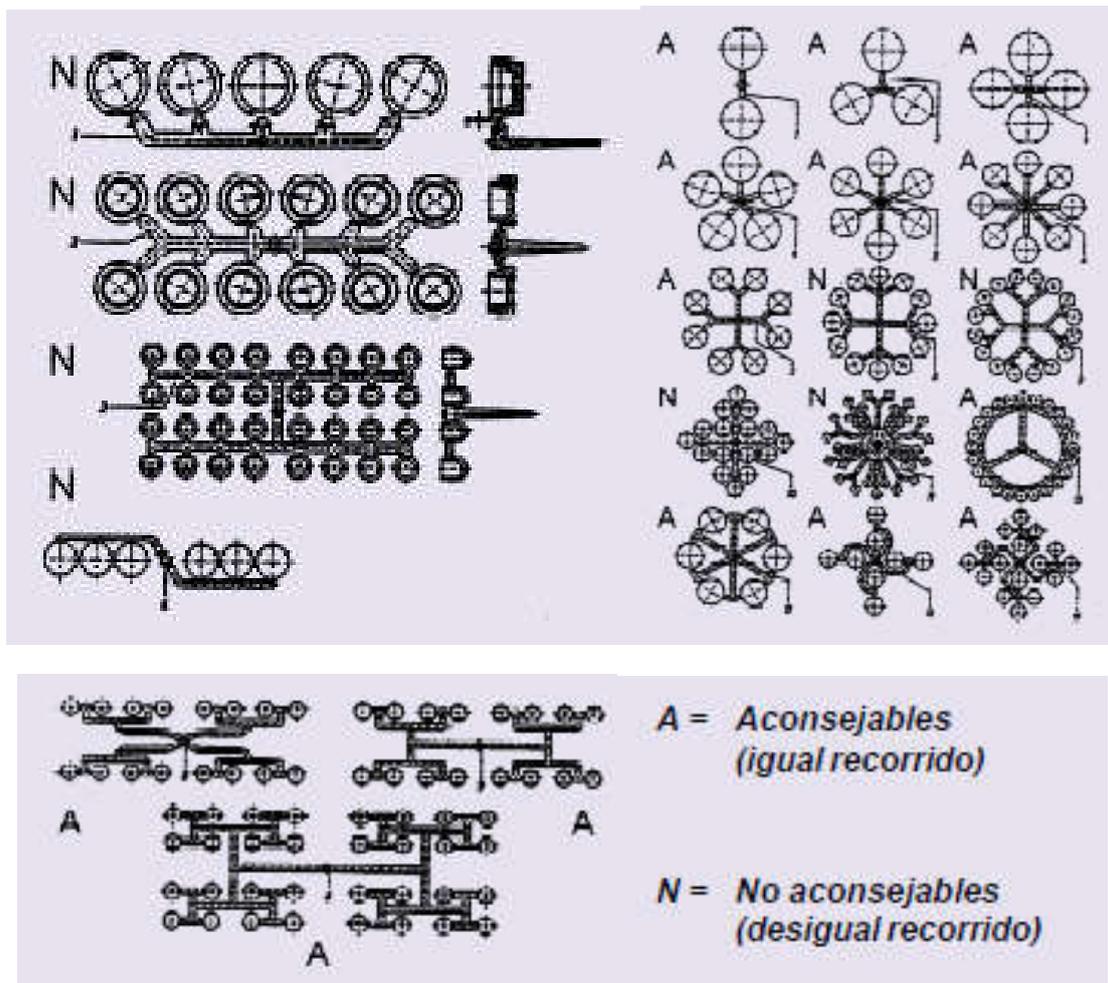


Figura 20. Sistemas distribuidores

2.3.5.4. Distribuidor

El distribuidor como se ha mencionado anteriormente, se inicia en el punto de contacto entre el molde y la máquina. Al primer tramo por donde pasa el plástico de inyección se denominaba bebedero. El diseño de éste normalmente es el de radio o cono con su diámetro inicial el mismo o ligeramente mayor al de paso de la máquina y un ángulo de salida entre 1 o 2 grados, dependiendo de la longitud de la mazarota. Esto se realiza para no provocar fricciones y turbulencias en la masa.

La longitud de la mazarota, del mismo modo que la de los ramales, debe ser la mínima posible por las condiciones de inyección del material especialmente. La mazarota se diseña en función del espesor que puedan disponer el conjunto de placas desde donde se apoya la máquina de inyección hasta la partición o la pieza en casos de directas.

Se puede disminuir esta longitud introduciendo lo máximo posible la boquilla de la máquina de inyección dentro del molde, teniendo en cuenta de que hay que dejar suficiente holgura para bridas, cables, resistencias... en los casos que penetre profundamente.

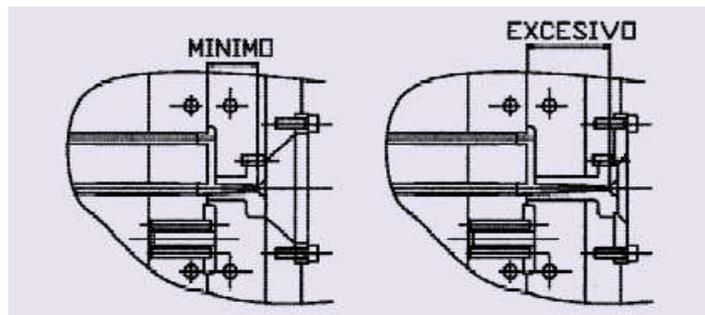


Figura 21. Diferencia longitud entrada

En el lado opuesto al cono de la mazarota suele construirse un “retén de colada” o contracono en forma de negativo al desmoldeo con motivo de asegurar la extracción de la mazarota y su retención en el lado de expulsión.

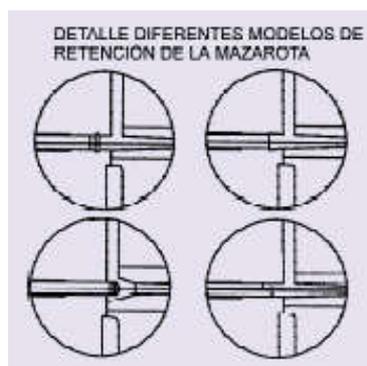


Figura 22. Diferentes modelos de retención de la mazarota

Junto con el diseño del distribuidor, el correcto dimensionamiento es un factor que influye en el óptimo llenado de las piezas. En la siguiente figura se observa que por el canal A pasa el material que se va a distribuir a las cuatro piezas, mientras que por el canal B ya sólo se distribuye el correspondiente a dos. Por último, por el canal de entrada a la pieza C, sólo pasa el volumen de una. La relación recorrido, presión y caudal debe ser lo más uniforme y corta posible con el propósito de mantener equilibradas las condiciones de inyección.

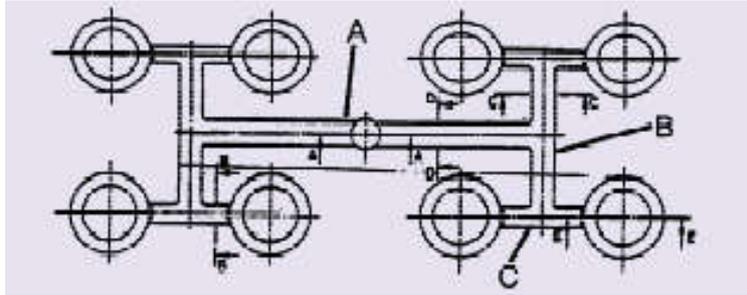


Figura 23. Denominación de los canales

La sección óptima para el flujo del material plástico es la circular, pero esta sección en la mayoría de los moldes supone un coste importante de mecanizado debido a que tienen que trabajar ambas mitades caja-punzón, sobre todo en los distribuidores largos y complejos. Una manera de minimizar este coste es la de mantener la sección lo más próxima posible a la circular, grabándola en cualquiera de las dos partes y dándole la correspondiente salida.

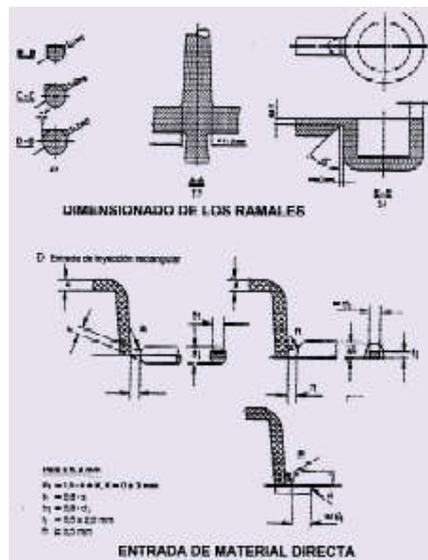


Figura 24. Secciones entrada de material

2.3.6. Sistemas de expulsión

El sistema de expulsión tiene como objetivo, una vez conformada la pieza, extraerla del molde de forma:

- Las piezas grandes, delicadas, frágiles: recogidas de forma manual por el operario o recogidas de forma automática mediante manipulador robot.
- Piezas pequeñas y medianas: caída libre.

La expulsión se realiza por medio de varillas redondas generalmente, es decir, “expulsores” que se desplazan por el interior de las placas empujando la pieza hasta su extracción. Uno de los requisitos que debe cumplir es el garantizar que, a la hora de abrir el molde, la pieza se quede en la parte en que esté prevista al realizar la expulsión.

Los expulsores normalmente tienen forma circular, tubular o laminar. Éstos se combinan con válvulas neumáticas o mecánicas, placas perimetrales, reglas exteriores... para realizar la expulsión.

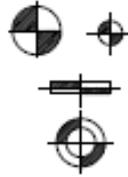


Figura 25. Secciones expulsores

La expulsión tiene que vencer el esfuerzo que supone la adherencia de la pieza contra el molde. Este esfuerzo resulta mayor o menor en relación al grado de pulido del molde. También depende del porcentaje de contracción, ya que vencerlo supone una presión sobre el material que podría producir deformaciones o marcas en la pieza, esto es, defectos normalmente inaceptables.

Por ese motivo, la compresión que debe soportar el material plástico se calcula de la siguiente manera:

$$\frac{FUERZA NECESARIA (Kg)}{SUPERFICIE TOTAL DE EXPULSIÓN (cm^2)} = Kg / cm^2$$

Es tan importante el total de expulsores como su posición y como realizan este esfuerzo respecto a la pieza. Las esquinas, nervios profundos, paredes verticales, entrecruzamientos de nervios, tubos... son lugares recomendables para situar estos expulsores.

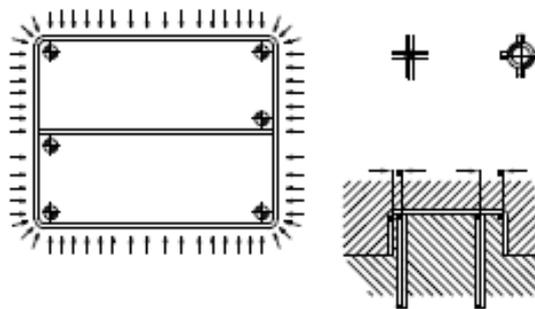


Figura 26. Posicionamiento expulsores

Los expulsores producen marcas al igual que todos los elementos móviles. Es importante prestar atención al criterio de zona vista / no vista y depositar atención en los materiales transparentes, debido a que en éstos podrían verse desde el exterior de la pieza. Es aconsejable situar los expulsores reglas... aprovechando las paredes verticales o nervios que producen una “sombra” capaz de que no se aprecien las marcas del expulsor.



Figura 27. Posicionamiento adecuado expulsores

El avance de la expulsión debe ser suficiente para extraer la pieza del molde, sobre todo en los moldes que la pieza deba caer libremente. La disposición de los expulsores debe estar hecha de tal modo que la pieza no se quede encajada en el molde.

2.3.7. Sistemas de atemperamiento

Para el correcto funcionamiento del molde de inyección, es necesario que esté a la temperatura de transformación adecuada y es importante que esta temperatura se mantenga estable. El ciclo, el llenado, factores dimensionales, estéticos... están en función de esta característica de temperatura, por lo que su estabilidad habilitará una producción correcta en el ciclo del molde.

La materia plástica es introducida en el molde a una temperatura entre 150° y 300° generalmente. En el contacto con las paredes del molde se cede parte de esta temperatura al molde de inyección, hasta reducirse a la temperatura de desmoldeo entre 40° y 120°. Debido a este proceso, se produce un aporte de calor que hará que suba progresivamente la temperatura del molde variando las condiciones establecidas.

Paralelamente, el molde de inyección disipa este calor por diversos motivos, como el contacto con los platos de la máquina, la ventilación de las demás paredes con el aire ambiente... En el supuesto que esta disipación fuese inferior al aporte obtenido, se debe compensar utilizando un sistema de refrigeración. En el caso que la disipación sea superior que el aporte de calor del material, la compensación se realizaría por medio de un sistema de calefacción.

Como resumen, el objeto del sistema de atemperamiento, ya sea calefacción o refrigeración, es el de conseguir y mantener la temperatura adecuada de moldeo.

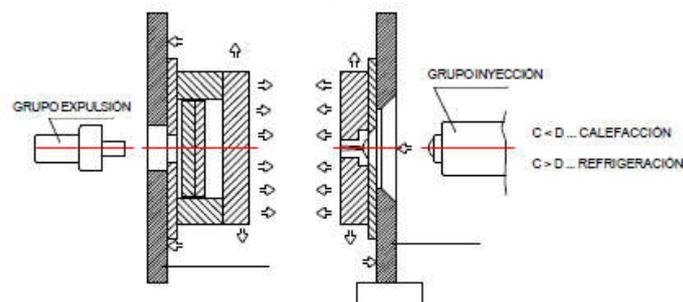


Figura 28. Puntos de atemperamiento

2.3.7.1. Tipos de refrigeración

Existen diversos tipos:

- Refrigeración normal por taladros en las placas o postizos del molde.
- Refrigeración por foso con tubo.
- Refrigeración por serpentín roscado.
- Refrigeración por foso con chapa.
- Tubo de transparencia de calor.

En los anteriores apartados se ha visto que el sistema debe ser lo más equilibrado posible, lo que hace que el aporte de temperatura sea uniforme, para equilibrar al máximo el sistema de atemperamiento.

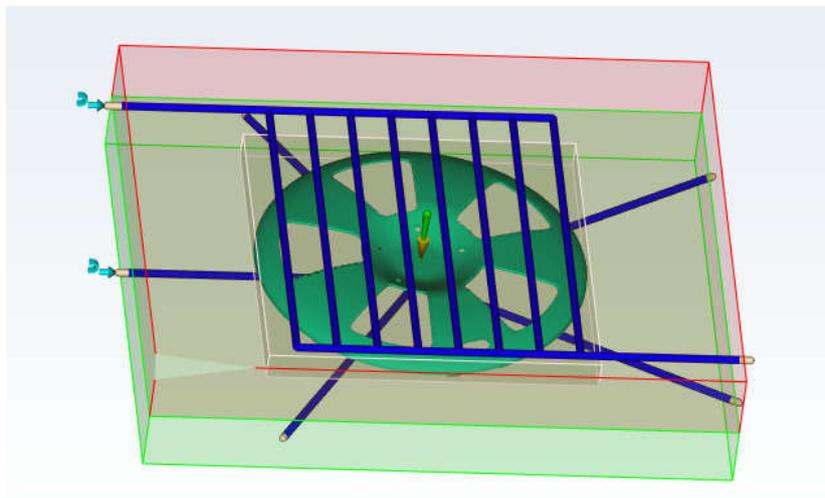


Figura 29. Disposición canales de refrigeración

Como se aprecia en la imagen, se opta por utilizar el tipo “refrigeración normal por taladros en las placas o postizos del molde”, que es el que más se adecua a las características de éste molde y es más fácil de aplicar con nuestros recursos.

2.3.7.2. Fluidos refrigerantes

Existen dos fluidos refrigerantes:

- **Agua.** Es el más utilizado. En el caso de que la sección de inyectoras es pequeña, normalmente se emplea y se vierte por el desagüe. Si el parque de máquinas es grande, normalmente se instala un circuito cerrado para el agua de refrigeración con una torre de enfriamiento, lo que supone que el consumo de agua prácticamente sea nulo debido al constante reciclaje de la misma. Existe la posibilidad de añadir aditivos antioxidantes para bajar el punto de congelación del agua.
- **Aceite.** Es el refrigerante ideal, pero su empleo está muy limitado debido a su coste. Con este medio refrigerante es necesario un circuito cerrado.

En éste caso, se utilizará agua para refrigerar el molde.

2.3.8. Aspectos a tener en cuenta

Una vez se han analizado los diferentes elementos que intervienen en el funcionamiento del molde, se van a explicar una serie de conceptos que se deben tener en cuenta en el momento de realizar el molde de inyección, y que intervienen en el correcto funcionamiento del molde.

Existen una serie de conceptos, que se deben tener en cuenta a la hora de diseñar un molde de inyección, debido a que dentro del molde se inyecta un plástico a alta presión y alta temperatura en el que suceden una serie de fenómenos termodinámicos que deben ser observados para poder realizar las modificaciones necesarias en el caso de que alguno de ellos pueda implicar la no validez de la pieza.

2.3.8.1. Contracción de la pieza

Al pasar una colada de plástico inyectado, los fenómenos termodinámicos que ocurren dentro del molde hacen que, mientras va disminuyendo la temperatura del material, su volumen específico se irá reduciendo. Esto implica que, si no se pone remedio, las dimensiones de la pieza final no serían las mismas que las del diseño original.

Es por eso que se realiza la compactación. Se debe tener en cuenta que, debido a las contracciones propias del material no pueden ser completamente remediadas, se tienen que sobredimensionar varios elementos como la cavidad, el núcleo o el macho, teniendo en cuenta el factor de contracción del material.

2.3.8.2. Redondeos de cantos y esquinas

La pieza inyectada debe tener sus esquinas lo más redondeadas posibles, con el objetivo de que, al solidificarse el material, no se produzcan concentraciones de tensiones; lo que implicaría la aparición de deformaciones en la pieza.

De este modo se logra que el flujo del plástico se interrumpa lo menos posible, facilitando la inyección de éste y mejorando la calidad de las piezas producidas.

2.3.8.3. Ángulos de salida

Para poder realizar la extracción lo más sencilla posible, las paredes deben tener una inclinación respecto a la línea de partición. No obstante, es posible que haya interferencias con la extracción del material en algunas zonas.

2.3.8.4. Líneas de soldadura

Las líneas de soldadura se producen cuando dos frentes de masa fundida se encuentran dentro de la pieza. Estas líneas generalmente son provocadas cuando la velocidad, la

presión o la temperatura de inyección son demasiado bajas. También pueden ocurrir cuando el punto de inyección no sea el adecuado. La manera de remediar esto puede ser la de colocar varios puntos de inyección, calentar el molde o variar alguno de los tres parámetros anteriores.

2.3.8.5. Rechupes

Los rechupes se dan cuando hay una alta diferencia de temperatura entre la superficie exterior del molde, que está refrigerada, y la superficie interior, que sigue a alta temperatura. De esta forma, se producen tensiones debido a que el plástico posee una baja conductividad térmica.

Debido a las tensiones dentro de la pieza se pueden llegar a originar huecos, ya que al no compensarse dichas tensiones se producen deformaciones internas en la pieza. Este fenómeno se produce normalmente en piezas de elevado espesor, ya que la diferencia de temperaturas es muy elevada entre la superficie exterior e interior.

2.3.8.6. Acabado superficial

La cavidad y el núcleo deben tener un excelente acabado superficial de forma que se facilite la extracción de las piezas. Además, deben tener un buen acabado las zonas de los sistemas de distribución, de forma que se facilite el paso del material a lo largo de los canales, bebedero y entradas de material.

2.4. PROCESO DE INYECCIÓN

El proceso de inyección resulta muy importante en la fabricación de las piezas debido a que en este se procederá a insertar el plástico fundido previamente, de modo que deben ser controlados una multitud de parámetros como las revoluciones del husillo, el tamaño del husillo, el material a inyectar, la temperatura del cilindro, la compresión, la duración del ciclo, la velocidad de inyección...

Estos valores son independientes entre sí, de forma que para realizar un correcto graduado de la máquina de inyección se debe recurrir de forma empírica empezando por valores tabulados. A continuación, se explicarán los parámetros fundamentales como las velocidades, presiones y temperaturas que aparecen a lo largo de la inyección, y el graduado necesario para conseguir una inyección correcta.

La unidad de inyección tiene como objetivo principal fundir, mezclar e inyectar el polímero. Para lograrlo, se usan husillos de diferentes características dependiendo del polímero que se desee fundir. El estudio del proceso de fusión de un polímero en la unidad de inyección tiene que atender a tres premisas termodinámicas: temperaturas de procesamiento del polímero, el calor latente de fusión y la capacidad calorífica del polímero.

El proceso de fusión necesita un aumento de la temperatura del polímero. Este aumento es resultante del calentamiento y la fricción del polímero con la cámara y el husillo. La fricción y esfuerzos cortantes son esenciales para una fusión eficiente, debido a que los polímeros no son buenos conductores del calor. Un incremento de la temperatura hace que se reduzca la viscosidad del polímero fundido. Por esto, ambos parámetros deben ser ajustados durante el proceso. Existen husillos y cámaras fabricados con diversas aleaciones de metales específicas para cada polímero, con el objetivo de evitar la degradación, el desgaste o la corrosión.

La unidad de inyección es en origen una máquina de extrusión con un solo husillo, teniendo la cámara de calentadores y sensores para mantener una temperatura constante. La profundidad del canal del husillo disminuye de manera gradual desde la zona de alimentación hasta la zona de dosificación. De esta forma, va aumentando de manera gradual la presión en la cámara.

Las características más importantes del proceso de inyección son las siguientes:

- La pieza se obtiene en una sola etapa.
- Las condiciones de fabricación son fácilmente reproducibles.
- Se necesita poco o ningún trabajo final sobre la pieza obtenida.
- Las piezas acabadas son de una gran calidad.
- El proceso es totalmente automatizable.

Para la inyección de plásticos, se han de tener en cuenta las siguientes restricciones:

- Dimensiones de la pieza: tienen que ser reproducibles y de acuerdo a unos valores determinados, lo que implica disminuir las contracciones de la misma.

- Propiedades mecánicas: la pieza debe poder resistir, durante un tiempo de vida largo, las condiciones de uso a las que esté destinada.
- Peso de la pieza: de suma importancia, debido a que está relacionada con las propiedades de ella.
- Tiempo de ciclo: para aumentar la producción es necesario disminuir, el tiempo de ciclo de cada pieza.
- Consumo energético: Una reducción del consumo implicara un coste inferior.

El proceso de moldeo por inyección sigue una serie de etapas que completan un ciclo. Éste se repetirá para completar la pieza a producir.

- Cierre del molde.
- Inyección.
- Plastificación o dosificación.
- Enfriamiento de la pieza.
- Apertura del molde y expulsión de la pieza.

2.4.1. Cierre del molde

Se inicia el ciclo de inyección con el cierre del molde, preparándolo para recibir el material fundido. En esta fase se aplica la fuerza de cierre del molde, que es la fuerza que emplea la máquina para mantener cerrado el molde durante la inyección del material.

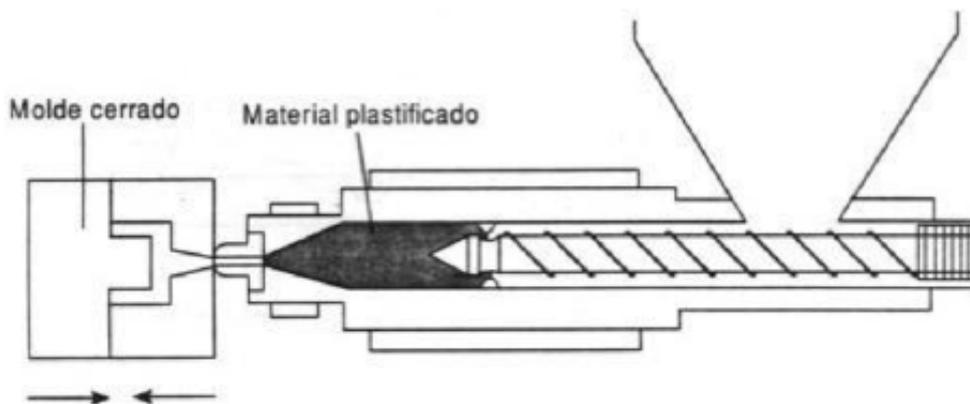


Figura 30. Máquina de inyección y molde cerrado

2.4.2. Inyección

Durante el proceso de inyección se pueden diferenciar la fase de inyección y la fase de mantenimiento. Se va a explicar en qué consiste el diagrama del proceso de inyección.

2.4.2.1. Diagrama termodinámico del proceso de inyección

Durante el proceso de inyección, el plástico va sufriendo una serie de efectos termodinámicos debido a que varía su volumen, su temperatura y su presión a lo largo del ciclo. Estas tres variaciones se reflejan en un diagrama PVT que será característico de cada material, y que se realizan en laboratorios de manera experimental.

A lo largo del proceso de inyección existen 5 puntos clave en la transformación, y por lo tanto 4 procesos de transformación.

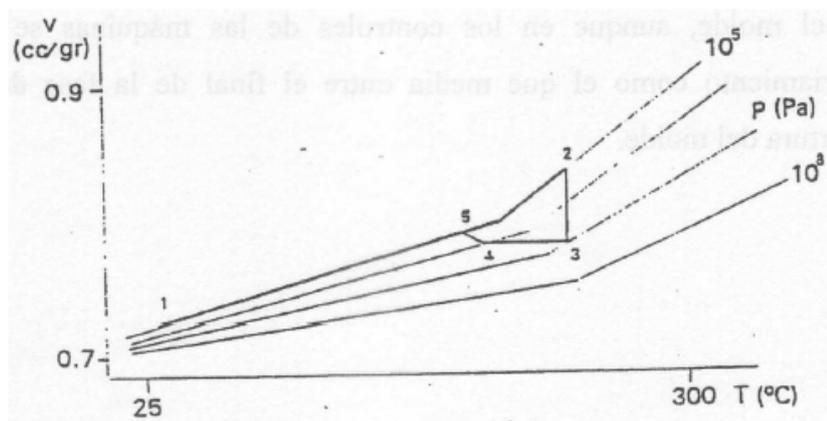


Diagrama 4. Diagrama P, V, T proceso inyección

Se estudiará la transición de cada fase en las que se desarrolla la pieza desde el punto inicial que será su llegada a la tolva. Las temperaturas, volúmenes y presiones estudiados son los presentes en el material, y no los que se graduarán en la máquina, aunque ambos valores están relacionados.

Fase 1-2

Esta fase se realiza en la máquina de inyección, desde el punto de alimentación a la zona previa a la inyección. En este punto se produce la plastificación del material, donde pasa desde la temperatura ambiente a la temperatura de inyección. Este proceso se considera como isóbaro ya que no se produce una variación de presión relevante, aunque no es nula debido a que, con el objetivo de conseguir una mezcla más homogénea, se aplica una leve presión al material.

El material a lo largo de su recorrido va aumentando su temperatura y va aumentando su volumen específico por lo que, al ser el inverso de la densidad, va disminuyendo su viscosidad hasta llegar al punto óptimo en el punto de inyección.

Fase 2-3

Se relaciona con la 1ª fase de inyección donde se produce el llenado del molde más su presurización. Ésta fase se inicia en la zona de espera de la unidad de inyección, y se

intenta suministrar el material a lo largo del flujo a una velocidad elevada con el objetivo de llegar a toda la pieza.

Éste proceso con una velocidad baja, la viscosidad aumentaría al irse enfriando a través del molde, lo que se traduce en una posible aparición de zonas frías. Para conseguir una velocidad alta de inyección se debe suministrar un caudal elevado. Esto se traduce en una mayor caída de presión en el molde de inyección desde la boquilla al último punto de llenado del molde, que tiene que ser suministrado por el sistema hidráulico de la máquina de inyección.

Éste proceso se puede considerar, por tanto, como isoterma, aunque en la realidad se produzca una pequeña variación de temperatura. Si el material se inyecta a gran velocidad se produce calentamiento por rozamiento, lo que ocasiona un incremento de la temperatura por lo que observando el diagrama PVT el punto tres se desplazaría hacia la derecha y de igual manera a la inversa. Inyectar el material a una velocidad baja causa caídas de temperatura, desplazándose el punto hacia la izquierda. La temperatura ideal es aquella que consiga que en todo momento el proceso se mantenga como isoterma, siendo ésta su condición ideal de inyección.

Fase 3-4

Ésta se considera la segunda fase de inyección, y será la fase de mantenimiento donde, a continuación de que el material ha sido inyectado y presurizado, se continúa inyectando con el objetivo de remediar dos efectos que se explicarán posteriormente.

Por una parte, el objetivo de impedir que el material al estar presurizado no retroceda hacia la cámara de inyección produciéndose el reflujo. Por otra parte, al irse bajando la temperatura del material su volumen va menguando, por lo que se tiene que tener una demasía de material para disminuir las contracciones producidas en el proceso de enfriamiento.

Esta presión se puede seguir manteniendo hasta el punto 4, esto es, mientras el material de la pieza o la zona de entrada de material no se haya solidificado. En el momento en que el material esté en forma de sólido, la aplicación de esta presión sería inútil.

La situación ideal será aquella en la que la pieza se enfríe progresivamente desde el último punto en haber sido llenado hasta la entrada. La entrada debe ser la última zona en ser solidificada para permitir que progresivamente vaya siendo compensada la contracción de la pieza con la aplicación de la presión.

Por todo esto, el perfil real del diagrama PVT es de diente de sierra, siendo compensadas progresivamente las contracciones producidas por medio de una modificación del perfil de presiones en la máquina de inyección.

Fase 4-5

Ésta es la fase de enfriamiento del material, aunque se debe tener en cuenta que en realidad la temperatura va reduciéndose desde el punto de inyección al entrar en contacto con el molde, y que el enfriamiento continúa una vez se expulsa la pieza al haber terminado el ciclo. Debido a esto, se define ésta como fase de enfriamiento donde va aplicándose un perfil de presión menguante en la máquina desde la fase de mantenimiento.

El punto cinco corresponde al momento en el que la pieza es expulsada. En este momento la presión es atmosférica al haber ido decreciendo desde la fase de mantenimiento. En este punto se define el valor de la contracción después del moldeo.

2.4.2.2. Fase de inyección

Una vez cerrado el molde de inyección y aplicada la fuerza de cierre, se inicia la fase de llenado. El husillo de la unidad inyectora el material fundido dentro del molde a una presión alta. La duración de esta etapa varía dependiendo de la cantidad de material a inyectar, desde solo unas décimas de segundo hasta varios segundos. Las variables más destacables del proceso son: la temperatura del material, la velocidad de inyección y la presión de inyección.

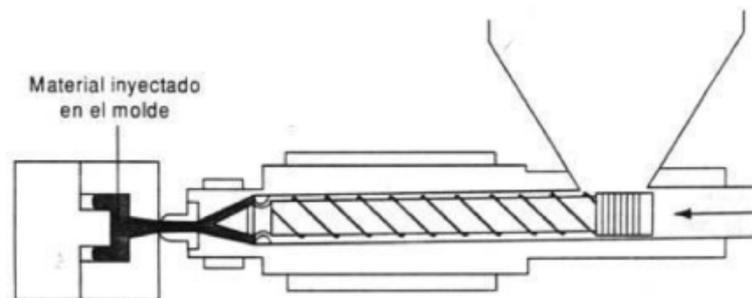


Figura 31. Esquema inyección material

La unidad de cierre de la máquina de inyección mueve las dos mitades del molde para unir las herméticamente. La unidad de plastificación se desplaza hacia el canal del molde. Posteriormente, el material es inyectado en el molde mediante el movimiento del husillo. El material fundido se solidifica dentro de la cavidad para que la pieza moldeada pueda ser expulsada. En cuanto el material que interacciona con el molde en la fase de inyección, comienza a disminuirse la temperatura y a solidificar. Por este motivo, la inyección debe ser un proceso rápido.

Cuando el material es fundido se vuelve viscoso, lo que lleva a requerir presiones altas. Sin embargo, en el interior del molde de inyección las presiones serán altísimas a causa precisamente de la inyección. Durante ésta, las dos partes del molde están completamente presionadas una contra la otra por el efecto de la fuerza de cierre. Esta fuerza de cierre contrarresta la presión de inyección ejercida desde el interior del molde por el material. Si la presión de inyección dentro del molde es más alta que la fuerza de cierre, la línea de partición se abrirá dejando así que el material escape de la cavidad.

2.4.2.3. Fase de mantenimiento (compactación)

Una vez inyectado el material empieza a disminuir la temperatura de éste, lo que provoca que el material se contraiga dentro del molde. Debido a esto, se añade material para que el volumen de la pieza sea el que se desea. Durante la fase de mantenimiento tanto la presión de la pieza como la velocidad de inyección se reducen. Se añade la cantidad necesaria de material para completar la pieza y compensar las contracciones.

Esta fase finaliza en el momento en el que la presión baja hasta la de ambiente. Esta fase condiciona ciertas características de la pieza final como son el peso total, sus tolerancias dimensionales y diversas características internas. Las variables que más afectan son: la temperatura del molde, el tiempo de mantenimiento de la segunda presión, el ajuste del tiempo de mantenimiento y el nivel de presión de mantenimiento.

La presión de mantenimiento normalmente es más pequeña que la presión de inyección en el llenado, pero si es demasiado baja o se aplica en un periodo demasiado corto, se obtienen piezas defectuosas.

En el momento en el que la fase de mantenimiento ha terminado, queda material sobrante en la cámara de inyección. Este material fundido facilita que la presión entre el tornillo y la cavidad sea transmitida. Además, este mismo se inyecta en el siguiente ciclo.

2.4.2.4. Sistemas de distribución

Los sistemas de distribución son mediante los cuales se pueden inyectar el material a la pieza. Para ello se deben utilizar una serie de elementos o zonas mecanizadas.

Cuando la mezcla caliente del polímero entra en contacto con el metal del molde de inyección, que está a menor temperatura, se forma una película solidificada. El resultado es que esta película actúa como aislante térmico y mantiene el núcleo del flujo en correctas condiciones de temperatura para conseguir el llenado del molde. Este núcleo se debe conservar sin plastificar hasta que la solidificación completa de la pieza. De esta manera, la presión adquiere plena eficacia lo que es necesario para compensar la contracción volumétrica que sucede durante el proceso de solidificación.

Los sistemas de distribución están divididos entre tres etapas: cono de colada, bebedero y entradas de material.

2.4.2.4.1. Bebedero

El bebedero es la zona hueca que divide la zona de alimentación de los canales de distribución. Es un hueco en el que, con el objetivo de facilitar su desmoldeo, se le aplica una conicidad que va entre uno y dos grados. Tiene normalmente sección circular y su diámetro está diseñado en función de los parámetros geométricos de la pieza a moldear.

2.4.2.4.2. Canales

Los canales son los mecanizados realizados a lo largo de la cavidad que habilitan al material fundido a llegar desde la boquilla de inyección a las piezas finales. Se debe intentar que estos canales, a parte de la colocación de las piezas a conseguir, sean lo más simétricos posibles con el objeto de lograr una correcta distribución de fuerzas a lo largo del núcleo y la cavidad. Una mala distribución conlleva a que la presión aplicada a una zona sea menor a otras, lo que ocasiona desgastes prematuros en unas zonas antes que en otras.

Se debe procurar que todas las piezas se llenen al mismo tiempo, con el objeto de que el enfriamiento se realice al mismo tiempo. Esto permite una reducción del ciclo al disminuir la temperatura a lo largo de la colada de manera uniforme.

La elección, disposición y realización de los canales es de gran importancia ya que interviene directamente en el éxito de las operaciones de moldeo. Se debe disponer de una sección transversal que permita al material plástico circular libremente, y una longitud lo más corta posible para disminuir la resistencia al flujo, las pérdidas de calor y las caídas de presión.

La resistencia al flujo a lo largo de los canales se puede controlar con el tamaño de estos. Los canales no deben tener marcas que puedan obstruir el material, y sus paredes deben pulirse en la dirección del flujo para dar una mayor facilidad al deslizamiento de éste. Hay que evitar las curvas bruscas y los ángulos agudos, ya que son un obstáculo para el deslizamiento del material.

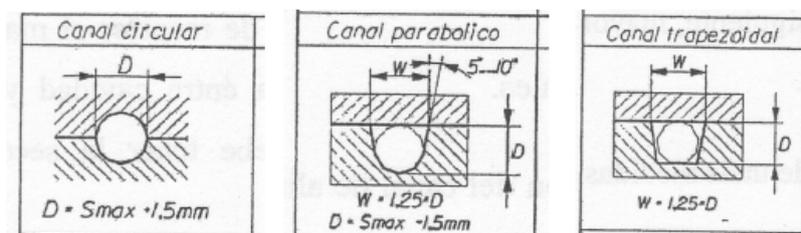


Figura 32. Geometrías más usuales de canales

2.4.2.4.3. Entradas

Las entradas de material son los elementos que unen las piezas a fabricar con los canales de distribución. Este elemento está en contacto con la pieza y debe ser en su extremo lo más fina posible con el objetivo de lograr que no queden marcas en la pieza inyectada tras ser eliminado el sistema de distribución. Además, el hecho de ser tan fina no debe provocar un estrangulamiento del material, debido a que eso implica un mal acabado superficial en la zona de inyección de la pieza.

Se debe tener en cuenta la localización del punto de inyección, debido a que una mala elección de éste puede provocar un aumento de líneas de soldadura incluso otro tipo de imperfecciones, pudiéndose producir hasta faltas de llenado de la pieza. El tipo de entrada depende normalmente de los puntos de inyección de la pieza, y pueden tener una multitud de configuraciones.

2.4.3. Plastificación y dosificación

Ésta fase de plastificación y dosificación ocurre paralelamente a la etapa de enfriamiento. Después de aplicar la presión de mantenimiento, empieza a girar el husillo. Al mismo tiempo que transporta el material hacia delante, éste sufre un retroceso debido a la aglomeración que se produce en la zona delantera. Cuando se produce este retroceso se puede proceder a inyectar la siguiente pieza.

En la etapa de plastificación intervienen los siguientes factores: la velocidad de giro del husillo, la contrapresión y la succión.

La velocidad de giro del husillo debe escogerse en función de su diámetro del mismo, y además de la viscosidad del material. La velocidad óptima es aquella para la que el tiempo de carga es igual al tiempo de refrigeración que es necesario para la pieza.

La contrapresión tiene el objeto de garantizar una correcta plastificación y homogenización del material, además de frenar el retroceso del husillo en la etapa de plastificación. Contrapresiones pequeñas pueden dar lugar a piezas inconsistentes y una homogeneización insuficiente del material. La succión se usa para reducir el goteo de material.

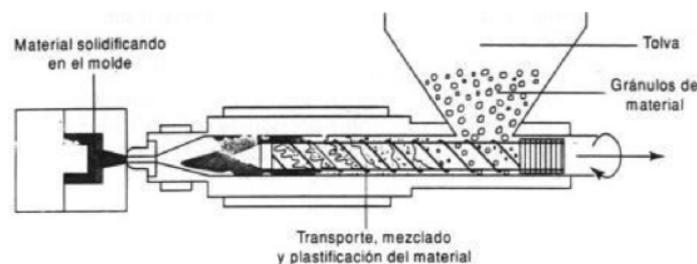


Figura 33. Esquema plastificación

2.4.4. Enfriamiento de la pieza

El enfriamiento de la pieza comienza a la vez que la inyección, ya que el material comienza a enfriarse tan pronto como toca la pared del molde. Éste finaliza cuando la pieza logra la temperatura adecuada para su extracción. La variable que más influye a esta fase es la temperatura del molde de inyección.

Durante la fase de llenado y mantenimiento el material ya ha comenzado a solidificarse al contacto contra la pared del molde, ya que está más fría que el material.

El enfriamiento es más lento hacia el centro de la pieza, debido a que los plásticos son poco conductores del calor. El calor cedido por la solidificación se disipa a través de las capas más externas de las paredes del molde de inyección. El tiempo de enfriamiento es en función del tipo de pieza que se enfría dentro del molde.

Para llevar a cabo la extracción de la pieza no es necesario esperar que toda ella se enfríe hasta la temperatura de expulsión, basta con que estén frías las regiones externas. Durante

la fase de enfriamiento se dispone el material en la unidad de plastificación, para la siguiente inyección.

El enfriamiento se realiza por medio del sistema de refrigeración. Éste consta de una serie de orificios tanto en la placa portacavidad y portanúcleo, como en el núcleo y la cavidad. Estos orificios son de un diámetro concreto que, al ser colocados cerca de la colada de inyección y al circular agua a través de ellos, permiten el enfriamiento de la pieza de la forma más rápida posible; con el objeto de conseguir una disminución del ciclo.

El diseño adecuado de un sistema de refrigeración se lleva a cabo teniendo en cuenta que el enfriamiento de la pieza inyectadas no debe realizarse ni demasiado rápido ni demasiado despacio. Esto es debido a que podría implicar que el calor evacuado por las caras de la pieza sea mayor que el necesario, lo que resultaría un enfriamiento excesivamente rápido en las superficies externas de las piezas provocando defectos superficiales.

Se debe tener en cuenta los siguientes puntos:

- La diferencia de temperatura entre la entrada y la salida no debe ser mayor a 5°C.
- Se debe intentar que el sistema no tenga ángulos rectos.
- Se debe tener en consideración la distancia entre los conductos de refrigeración y las piezas, de manera que el agua de los conductos absorba el calor necesario que será emanado por la pieza en el proceso de inyección de forma óptima.

2.4.5. Apertura del molde y expulsión de la pieza

Cuando el material de la pieza alcanza la temperatura de extracción, el molde se abre y expulsa la pieza de su interior.

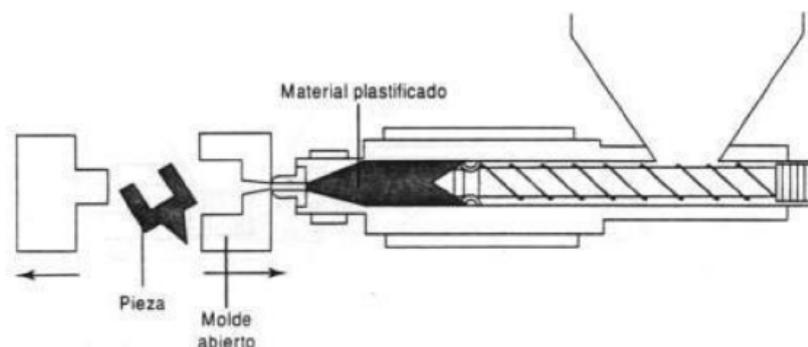


Figura 34. Esquema apertura del molde

Para la expulsión de la pieza, se comienza con la apertura del molde en el que la colada queda alojada dentro de la parte móvil. El propio sistema de cierre acciona la placa expulsora empujando la placa portaeimpulsora que a su vez expulsa la pieza tras accionar los expulsores. Estos expulsores, normalmente, como se ha explicado con anterioridad, son varillas que quedan alojadas entre las dos placas antes mencionadas. Para proceder a su diseño se debe comprobar su resistencia a pandeo, ya que, al aplicarse la presión, actúan sobre la parte superior pudiendo ser deformados.

2.5. MÁQUINA DE INYECCIÓN

Una vez esté definida la geometría de la pieza a fabricar y todos los parámetros correspondientes a su proceso de fabricación, en este apartado se van a explicar y diferenciar las distintas partes de una máquina de inyección de plástico; más en concreto las que hacen referencia directamente al molde.

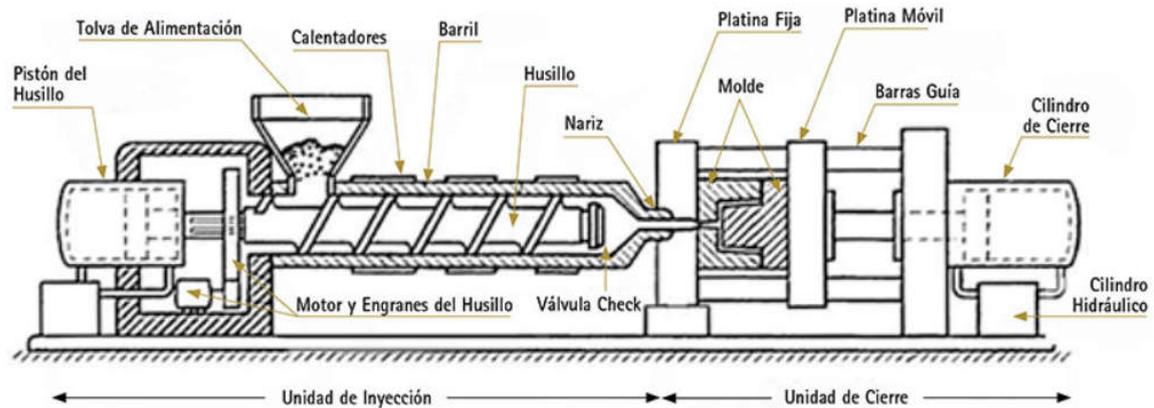


Figura 35. Esquema máquina de inyección

Las máquinas de moldeo por inyección poseen los siguientes módulos principales:

- Unidad de plastificación: plastifica e inyecta el polímero fundido por medio de la tolva, barril de inyección, husillo, válvula antirretorno, boquilla de inyección...
- Unidad de cierre: soporta el molde y es el encargado de abrirlo y cerrarlo. Además, contiene el sistema de expulsión.
- Unidad de potencia: suministra la potencia necesaria para el funcionamiento de la unidad de inyección y de la unidad de cierre.
- Unidad de control: es donde se establecen, controlan y monitorizan todos los parámetros del proceso: tiempos, temperaturas, presiones y velocidades.

2.5.1. Unidad de cierre

La unidad de cierre del molde tiene la función principal de soportar el molde, es decir, efectúa el cierre y la apertura de éste tan rápidamente como es posible, lo mantiene cerrado durante la inyección y cuando el molde se abre expulsa la pieza moldeada.

Si la fuerza de cierre es demasiado baja, el molde tenderá a abrirse y el material se escapará por la unión del molde. Es común usar el área proyectada de una pieza para determinar la fuerza de cierre necesaria, excluyendo posibles huecos o agujeros de la pieza.

$$F = P_m \times A_p$$

Donde:

F: Fuerza (N)

P_m: Presión media (Pa)

A_p: Área proyectada (m²)

2.6. MATERIALES PLÁSTICOS DE MOLDES

2.6.1. Materiales plásticos

La industria del plástico ha sido desarrollada y mejorada durante las últimas décadas mediante la aplicación de diferentes tecnologías o innovaciones.

La palabra plástico se refiere a un material capaz de ser moldeado, sin embargo, esta definición es insuficiente para describir completamente la gran variedad de materiales de éste tipo. La tecnología usada dependerá del tipo de pieza o productos que se deseen lograr, y para ello se podrá contar con una multitud de materiales plásticos que se pueden descomponer en tres grandes familias.

2.6.1.1. Elastómeros

Los elastómeros son polímeros que se pueden estirar y después recuperan su forma y tamaño originales. Los enlaces que forman las uniones entre las moléculas del material únicamente pueden romperse a temperaturas elevadas.

Los elastómeros pueden tanto ablandarse como quemarse. Sin embargo, la temperatura a la que éstos reblandecen es mayor a la temperatura de ignición.

El grupo de elastómeros comprende los hules naturales, como el caucho o la goma, o los hules sintéticos. Éstos se caracterizan por poder ser elongados entre un 100 y un 200 %.

Las óptimas propiedades de estos materiales se obtienen tras un proceso de vulcanizado en el que el caucho es endurecido mediante la presencia del azufre. Después de ser tratados, no pueden ser plastificados y son más resistentes a la acción de los agentes químicos. No suelen ser materiales adecuados para el moldeo por inyección.

2.6.1.2. Termoestables

Los polímeros termoestables, o resinas, son materiales que a temperatura ambiente son muy rígidos y duros, pero al mismo tiempo frágiles. Se caracterizan por disponer de una estructura molecular reticulada o entrelazada. Se pueden quemar, carbonizar y agrietar, pero no se reblandecen ni se funden. Por ese motivo, no se pueden refundir.

Estos materiales son fundidos inicialmente por la acción del calor, aunque posteriormente, si se continúa con su aplicación, se produce un cambio químico irreversible y se vuelven insolubles e infusibles. Por éste motivo, se han encontrado pocos métodos que permitan reciclar éste material.

Para producir este endurecimiento se necesita la aparición de agentes reticulantes. En general, los termoestables disponen de una buena estabilidad dimensional, resistencia química, estabilidad térmica y propiedades eléctricas. Debido a ello estos materiales se aplican en múltiples campos.

2.6.1.3. Termoplásticos

Este grupo de materiales plásticos, son resinas con una estructura molecular lineal que, al moldearse en caliente, no sufren modificación alguna químicamente. La acción del calor causa que estas resinas se fundan solidificándose por enfriamiento en el aire o al contacto con las paredes del molde. Dentro de ciertos límites, puede repetirse el ciclo de fusión-solidificación. Debe tenerse en consideración, que el calentamiento repetido puede degradar la resina y la reducción de las propiedades óptimas de trabajo de estos materiales.

La característica principal de este tipo de material es que se ablanda a medida que se aumenta la temperatura. Debido a esta propiedad, este tipo de plásticos pueden ser refundidos varias ocasiones. De ésta manera es posible reciclarlo o reutilizarlo simplemente volviéndolo a recalentar o remodelar.

A temperatura ambiente los termoplásticos pueden ser duros, blandos, frágiles y tenaces. Sin embargo, al ser calentados se reblandecen y adquieren características de un líquido pastoso, lo que los hace óptimos para el moldeo. Este material no puede ser utilizado a temperaturas altas.

Existen diversos tipos de termoplásticos. Debido a sus características, la pieza inyectada en nuestro molde será compuesta por el siguiente:

2.6.1.3.1. Acrilonitrilo butadieno estireno (ABS)

El ABS es un material de gran tenacidad, incluso a baja temperatura. Entre sus características se encuentran las siguientes: es duro y rígido, tiene resistencia química aceptable, baja absorción de agua, buena estabilidad dimensional, alta resistencia a la abrasión...Éste material se puede cromar por electrólisis dándole distintos baños de metal a los cuales es receptivo.

2.6.1.4. Propiedades mecánicas de los plásticos

Los materiales termoplásticos sometidos a tracción no siguen fielmente la ley de Hooke. Según ésta ley, dentro de ciertos límites, las deformaciones son proporcionales a la carga.

A temperaturas normales bajo carga constante, se producen en los termoplásticos deformación plástica. Esto implica, que una pieza moldeada por la acción de una carga constante prolongada en el tiempo continúa deformándose, no importando que la carga unitaria sea inferior a la del punto de cedencia. Al aumentar la temperatura se disminuye drásticamente la resistencia mecánica y, a su vez, disminuye la rigidez del producto con lo que facilitará su deformación.

Los polímeros termoestables son poco influenciados por las variaciones de temperatura. Son plásticos rígidos, bastante frágiles, que al someterse a tracción se rompen sin presentar signos de debilitamiento.

Las variables que influyen sobre el comportamiento mecánico y sobre la estabilidad de los materiales plásticos son:

- Tiempo de aplicación de la carga estática y fenómeno de deformación plástica.
- Variación de la temperatura de trabajo y la absorción de agua.
- Envejecimiento a causa de la intemperie.
- Defectos en la estructura de la pieza en consecuencia de regulaciones hechas sin cuidado.
- Esfuerzos dinámicos de larga duración que provocan roturas por fatiga.

2.6.1.5. Métodos de fabricación para plásticos

Dentro de las técnicas de moldeo de plásticos se pueden optar por diversas soluciones de fabricación dependiendo de la forma de la pieza a fabricar.

Por éste motivo, la industria ha desarrollado una serie de métodos de fabricación, de forma que estos se puedan adaptar a las necesidades del cliente.

2.6.1.5.1. Moldeo por extrusión

En el moldeo por extrusión se usa un transportador de tornillo helicoidal. El polímero se transporta desde la tolva, por medio de la cámara de calentamiento, hasta la boca de descarga.

El polímero emerge de la matriz de extrusión, a partir de gránulos sólidos, en estado blando. Debido a que la abertura de la boca de la matriz tiene la forma del producto a obtener, el proceso es continuo. Por estos motivos, es un proceso idóneo para piezas de gran longitud en comparación con su sección transversal, ya que éste se mantiene constante de forma que se puede cortar el material extruido a la longitud deseada.

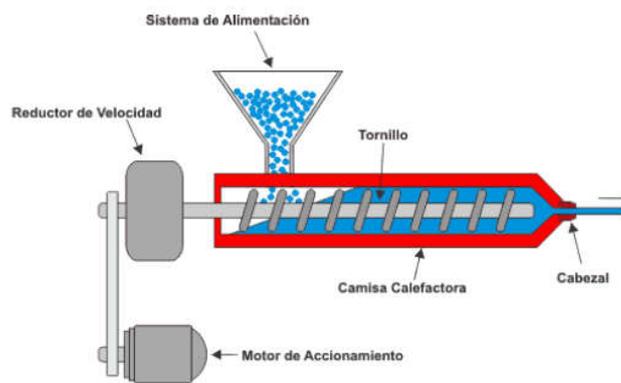


Figura 36. Extrusora

2.6.1.5.2. Moldeo por soplado

Normalmente, los procesos de moldeo por soplado consisten en lograr una preforma, fijarla dentro de un molde de soplado y, a la temperatura específica de cada material con motivo de disponer de consistencia suficiente, inyectar aire en su interior. Ésta inyección se realiza para que el material se adapte a las paredes del molde y para permitir el enfriamiento bajo presión, y a continuación se abre el molde para extraerla pieza cuando ha alcanzado suficiente consistencia.

El moldeo por soplado ofrece una serie de ventajas sobre otros procesos de inyección, en tanto que éste permite contrasalidas, posibilidad de variar el espesor de la pared y, en función de las bajas presiones usadas, disponer de bajas tensiones residuales. Dispone, al mismo tiempo, de factores de coste favorables.

El proceso permite usar plásticos con un peso molecular más elevado que la inyección de aire, lo que posibilita la obtención de paredes más delgadas y resistencias más elevadas a igualdad de peso. Se obtiene un mejor comportamiento a los agentes ambientales y productos químicos que pueden producir fisuración por tensiones.

En resumen, el proceso consiste en obtener una preforma; colocarla en un molde hueco en dos piezas que pinza uno o ambos extremos; inyectar aire a presión dentro de dicha preforma caliente, para que tome forma de las paredes del molde; permitir el enfriamiento de la pieza y abrir el molde para retirar la pieza.

Las máquinas de soplado llevan incorporados diversos elementos similares a los demás procesos como es la unidad extrusora, por medio de la cual el material avanza dentro del hueco realizado.

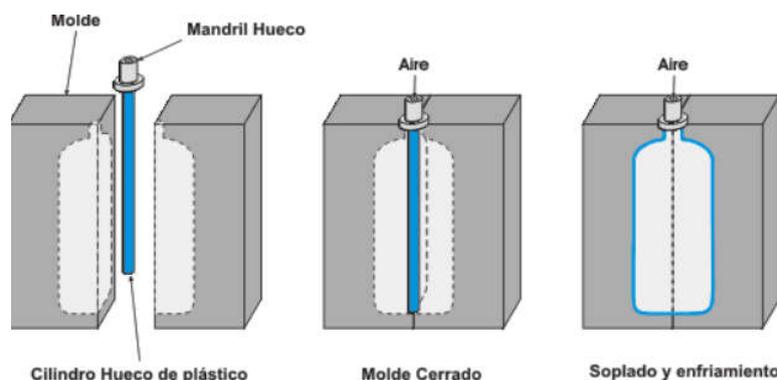


Figura 37. Moldeo por soplado

2.6.1.5.3. Moldeo por transferencia

En el proceso de moldeo por transferencia, dos materias primas diferentes se inyectan consecutivamente en cavidades diferentes del molde, por medio de boquillas separadas, para producir una parte moldeada individual. El proceso comienza inyectándose en una cavidad la primera materia prima. Posteriormente, ésta es transferida a otra cavidad, donde se inyecta una segunda materia. Cumplido este paso, se extrae el producto terminado del molde.

En estos procesos especiales es necesario lograr una coordinación estrecha entre la máquina y el molde, por medio del sistema de control. El molde y sus diferentes elementos y mecanismos determinaran el tamaño de la máquina para el proceso. Si existe un mecanismo de transferencia se debe especificar si debe realizarse una rotación en el molde mismo, o, de otra manera, si con un mecanismo robotizado o un sistema móvil se hace la función de transferencia.

Otra opción es la de utilizar una mesa rotatoria con varios moldes incorporados a ella. Si el molde debe girar en la máquina, la diagonal del molde tiene que ser más pequeña que la distancia entre las dos diagonales formadas entre las barras de unión de la máquina. Si se emplea una mesa rotacional se debe incrementar la altura del molde.

Es importante, en este proceso, prestar atención especial al diseño del sistema de inyección de las partes moldeadas. Es necesario que el inyector esté acoplado con el molde. Puntos importantes a considerar son los extractores de los centros moldeados y el programa de la secuencia de accionamiento.

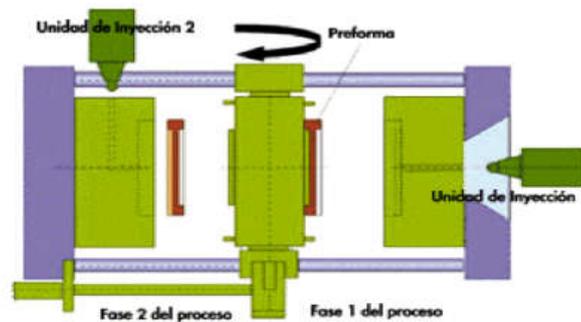


Figura 38. Moldeo por transferencia

2.6.1.5.4. Moldeo por compresión o sandwich

La inyección en sándwich es una variante del proceso de moldeo por transferencia explicado en el apartado anterior.

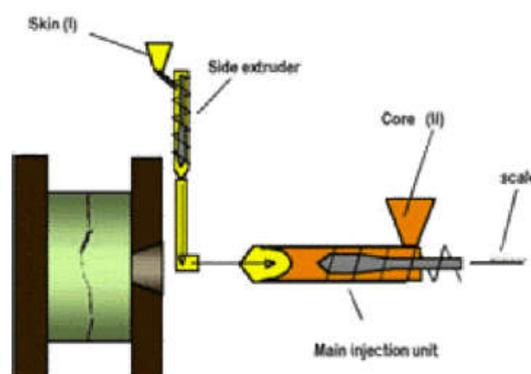


Figura 39. Moldeo por compresión

Los dos materiales fundidos se acumulan en un cilindro común y luego se inyectan en el interior de la cavidad del molde. Por medio de la acción de empuje del material central, se empuja hacia delante el material que conforma la piel del producto, y se forman de manera automática las capas de piel externa y de material central de una manera intercalada en el molde.

El material central se plastifica en el extrusor principal de la máquina inyectora, y el material que conforma la piel del producto se plastifica en un extrusor auxiliar que se agrega a la máquina. El material fundido de la piel se inserta en el barril del extrusor principal, utilizando un sistema de dosificación volumétrica o con base en el control de la presión de la resina.

La introducción de este material en el barril, generalmente, se realiza con muy poca resistencia de la presión del material central. Esta es la única modificación que se realiza con respecto al proceso tradicional de moldeo y por ello es simple de aplicar.

2.6.1.5.5. Moldeo por inyección

El moldeo por inyección trata esencialmente en calentar el material termoplástico que viene en forma de gránulos normalmente, denominados pellets, para transformarlo en una masa plástica. Esto se realiza en un cilindro, llamado cilindro de plastificación, dentro del cual la función principal la realiza un husillo y mediante éste se inyecta en la cavidad del molde donde ha sido previamente mecanizada la huella de la pieza que se desea obtener.

Debido a que el molde se mantiene a una temperatura inferior al punto de fusión del plástico, solidificará con rapidez tras su inyección.

Después de pasar por una serie de fases se pone fin al ciclo y se expulsa la pieza inyectada, reiniciándose así el proceso de inyección.

Éste es el tipo de moldeo que se va a utilizar.

2.6.2. Materiales utilizados

El coste de acero de un molde normalmente representa entre el 5% y el 10% del coste total del molde. Éste coste es incluso una parte todavía más pequeña del coste total de fabricación. Debe tenerse en cuenta el coste del mantenimiento del molde, como es el repulido, el remplazo de partes dañadas o rotas, la limpieza... Todas estas cuestiones incrementan los paros de trabajo y los costes de fabricación. En el peor de los supuestos, ocurrirían problemas de incumplimiento de plazos de entrega, pérdida de confianza del cliente...

Se debe tener en cuenta que se tiene que especificar un acero de alta calidad en las zonas que se precise, debido a que, en caso contrario, los costes podrían incrementarse enormemente. Por estos motivos, la elección del material del molde debe ajustarse a su aplicación, disponiendo de calidades medias en elementos auxiliares y optando por calidades altas en el núcleo y la cavidad del molde.

Se diferencian dentro del molde de inyección los materiales usados en la placa portacavidad y la placa portanúcleo, placa expulsora y portaexpulsores... que serán normalmente de calidad media; de los materiales destinados al núcleo y la cavidad que tendrán una calidad más elevada.

Factores a tener en cuenta a la hora de elegir el tipo de material son los siguientes:

2.6.2.1. Resistencia al desgaste

El grado de resistencia al desgaste que se requiere depende del tipo de resinas que se utilicen, la cantidad de aditivos, el agente de relleno, la serie de producción, las tolerancias... Los aceros que se emplean en moldes cubren un amplio abanico de resistencia al desgaste y a la compresión. Estos están divididos en dos categorías.

Acero para moldes pretemplado, con objetivo de cubrir requisitos moderados (con designación WNr) tienen una aplicación media, mientras que los aceros de temple son utilizados para requisitos más exigentes.

El acero pretemplado puede tratarse superficialmente para obtener una mayor resistencia al desgaste, mediante nitruración entre otros métodos. Los aceros de temple tienen una buena resistencia al desgaste y a la compresión. La resistencia al desgaste de los aceros templados normalmente se incrementa por medio de un tratamiento o recubrimiento de la superficie tipo nitruración, cromado...

Estos tipos de tratamiento de la superficie tienen que aplicarse después de que el molde haya sido debidamente acabado, puesto que un mecanizado a posteriori puede resultar dificultoso.

2.6.2.2. Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión que se requiere viene determinada tanto por el proceso de moldeo, la presión de cierre y la inyección, como por las tolerancias y el acabado superficial.

Durante el proceso de moldeo, las fuerzas de compresión se concentran en la línea de partición de la herramienta. Un temple local, como lo es, por ejemplo, el temple a la llama, añade un aumento de la resistencia a la compresión cuando se usan aceros pretemplados.

2.6.2.3. Resistencia a la corrosión

Las superficies del molde de inyección no se deben deteriorar durante la producción, ya que se deben fabricar piezas con un nivel alto y constante de fabricación, y de una calidad uniforme. La corrosión tiene el riesgo de pérdida de eficacia en la producción. Ésta puede encontrarse de distintas maneras:

- Algunos tipos de plástico emiten corrosión durante la producción. Este efecto puede verse reducido si no se sobrepasa la temperatura recomendada durante la inyección, normalmente alrededor de los 160°C.

- El medio de enfriamiento puede causar también corrosión. Ello resulta en la pérdida de eficacia de la refrigeración o en un taponamiento de los canales de refrigeración.

- La producción en una atmósfera húmeda o bien un prolongado almacenamiento produce daños en la superficie debido al agua, condensación y óxido en las cavidades. Esto genera pérdida de acabado en la superficie del producto. Para dar solución a esto, se realizan insertos y se utilizan bloques soporte con capacidad de resistencia a la corrosión.

2.6.2.4. Conductividad térmica

El grado de producción de un molde está en función de la capacidad de éste en transferir el calor del plástico al agente de enfriamiento. Esto es debido a que a partir de estudios que se han realizado, se ha obtenido que el plástico de la pieza es el que domina el flujo de calor en el molde, gracias a su conductividad térmica. En un acero de alta aleación éste coeficiente se ve minimizado en cierto grado en comparación con un acero de baja aleación.

Una adecuada resistencia a la corrosión tiene mayor importancia cuando se desea una producción elevada y uniforme. Esto posee un efecto beneficioso en las propiedades de transferencia de calor de los canales de refrigeración.

2.6.2.5. Tenacidad

La aparición de grietas es uno de los peores problemas que le ocurren a un molde. Éstas pueden ocurrir debido a diversas causas: radios pequeños, figuras complicadas, paredes finas, esquinas agudas y cambios severos de sección.

La tenacidad es una propiedad remarcable a la hora de elegir un acero para moldes. La resistencia a la fractura es una medida de la capacidad de soportar la extensión de grietas que suceden debido a tensiones, al estar expuesto el molde a diversos tipos de fatiga.

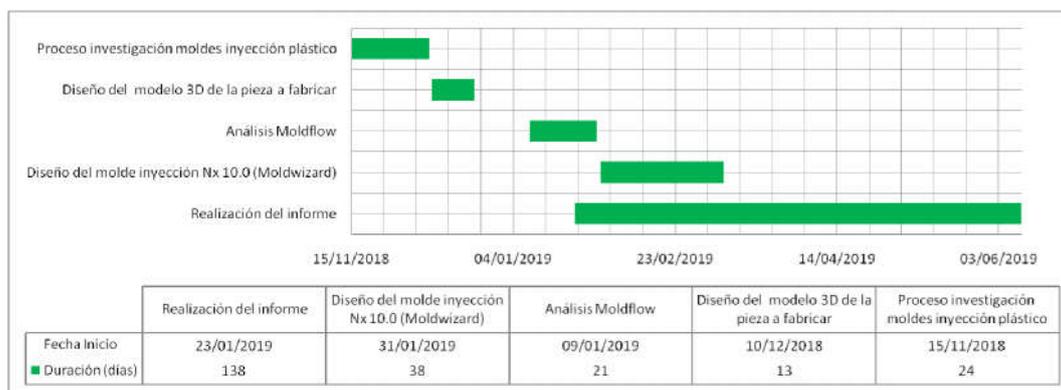
En la práctica, estas tensiones suceden debido a efectos en la superficie. Éstas provienen de operaciones de mecanizado, inclusiones, grietas debidas a la fatiga o por una estructura defectuosa debido a un inadecuado tratamiento térmico.

2.6.2.6. Intercambiabilidad del acero

Se minimiza el tiempo y el coste de poner un molde en funcionamiento mediante la selección de medidas estándar y de disponer componentes en stock. Junto a esto, el uso de material idéntico y piezas con tolerancias estrechas asegura que el rendimiento del molde no sufrirá variaciones. Por medio de la utilización de piezas y componentes estándar, siempre que sea posible, se consigue un fácil y rápido mantenimiento y reparación.

2.7. DIAGRAMA DE GANTT

Para la realización de este proyecto se ha realizado un diagrama donde se visualiza una aproximación del tiempo empleado en su realización.



2.8. NORMAS Y REFERENCIAS

2.8.1. Normas

- DIN 16750. Moldes de inyección para materiales plásticos.
- Código WNr. Designación comercial de aceros para moldes de inyección.
- Norma UNE.

2.8.2. Bibliografía

- Ascam Centre Technologic (2010) “Introducción a la tecnología de moldes” Fundación ASCAM centre technologic.
- Blog dedicado a los materiales plásticos. En: *Inyección de materiales plásticos I* [en línea]. Disponible en: tecnologiadelosplasticos.blogspot.com
- Gastrow, H. (1992). “Moldes de inyección para plásticos”. Hanser-Gardner Publication.
- Dubois, J y Pribble, W. (1972). “Ingeniería de moldes para plásticos”. Urno.
- Bodini, G y Cacchi Pessani, F. (1992). “Moldes y máquinas de inyección para la transformación de plástico”. Negri Bossi.
- Camarero de la Torre, J y Martínez Peña, A. (2003). “Matrices, molde y utillajes”. Dossat.
- Espinosa Escudero, M. (2000). “Introducción a los procesos de fabricación”. UNED
- El mundo plástico. En: *Técnicas de conformación* [en línea]. Disponible en: mimundoplastico.wordpress.com