

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA
TRABAJO FIN DE GRADO

***DISEÑO DE UN MOLDE DE INYECCIÓN
DE PLÁSTICO PARA LA FABRICACIÓN
DEL TAPACUBOS DE UN AUTOMÓVIL***

DOCUMENTO 2- MEMORIA

Alumno/Alumna: Maicas Seco, Miguel

Director/Directora: Lobato González, Roberto

Curso: 2019-2020

Fecha: 08/11/2019



RESUMEN

Este proyecto consiste en el diseño de un molde de inyección de plástico con el que fabricar el tapacubos de un automóvil.

El punto de partida es la geometría del tapacubos. Mediante el uso de distintos softwares se diseñará y analizará el sistema de sujeción. Después se realizará una simulación del proceso de inyección con la que se obtendrá la información necesaria de la pieza, material y parámetros del proceso de llenado. Con todos estos datos se procederá al diseño del molde.

Una vez completado todo lo explicado en el párrafo anterior se obtiene un molde de una cavidad con entrada directa que incluye el uso de desplazables.



ABSTRACT

This Project consists in designing a plastic injection mold for manufacturing an automobile hubcap.

The starting point is the geometry of the hubcap. Through the use of several software, the clamping system will be designed and analysed. Then an injection process simulation will be run to obtain the necessary information about the piece, material and filling process parameters. With all this data, the mold designing phase can begin.

Once all things explained in the previous paragraph are completed, a one-cavity mold with a direct injection point that includes the use of lifters is obtained.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Bebedero: elemento del molde cuya función es conducir la masa fundida desde la boquilla de la unidad de inyección al interior del molde o los canales de distribución.

Boquilla de inyección: elemento de la unidad de inyección que se acopla con el bebedero.

Canales: surcos mecanizados en el molde que conducen la masa fundida desde el bebedero hasta las entradas de las cavidades.

Cavidad: zona vacía del molde con la forma del negativo de la pieza en la que se introduce el material fundido. También se denomina así a la mitad que forma la parte superior del molde que se ubica en el lado de inyección (parte fija).

Contracción: reducción de las dimensiones que experimenta el polímero al solidificar y enfriarse.

Contrasalida: parte de la geometría de la pieza que no puede extraerse en la dirección de desmoldeo y que requiere el uso de elementos que se desplacen lateralmente.

Desmoldeo: acción de extraer la pieza del molde.

Desplazable: elemento del molde que se mueve perpendicularmente a la dirección de desmoldeo permitiendo la extracción de piezas con contrasalidas.

Entrada de inyección: geometría de tránsito entre los canales y la cavidad del molde.

Expulsor: barra o espiga que empuja la pieza fuera de la cavidad cuando se abre el molde.

Molde: conjunto completo de todos los elementos y piezas que sirven para el moldeo de piezas.

Núcleo: mitad de la cavidad que da forma a la parte inferior o interna de la pieza y se sitúa en el lado de expulsión o parte móvil del molde.

Plano de partición: plano que delimita las regiones de la cavidad y el núcleo.



ÍNDICE

2.1. INTRODUCCIÓN.....	1
2.1.1. OBJETIVO.....	2
2.1.2. ALCANCE DEL PROYECTO.....	3
2.2. CONTEXTO.....	4
2.2.1. HISTORIA.....	4
2.2.2. MATERIALES.....	5
2.2.2.1. Termoplásticos.....	5
2.2.2.2. Termoestables.....	5
2.2.2.1. Elastómeros.....	5
2.2.3. ELEMENTOS A TENER EN CUENTA.....	6
2.2.3.1. Conicidad.....	6
2.2.3.2. Contrasalidas.....	6
2.2.3.3. Redondeos.....	7
2.2.3.4. Contracción.....	7
2.2.3.5. Atrapamientos de aire.....	7
2.2.3.6. Líneas de soldadura y líneas de flujo.....	8
2.2.3.7. Rebabas.....	9
2.2.3.8. Rechupes y vacíos.....	9
2.2.3.9. Tensiones internas.....	10
2.2.3.10. Acabado superficial.....	10
2.2.4. PROCESO DE MOLDEO POR INYECCION.....	11
2.2.4.1. Fusión del material.....	11
2.2.4.2. Inyección.....	11
2.2.4.3. Compresión y mantenimiento de la presión.....	12
2.2.4.4. Refrigeración.....	12
2.2.4.5. Apertura del molde.....	12

2.2.5. SISTEMA DE ALIMENTACIÓN.....	13
2.2.5.1. Bebedero.....	13
2.2.5.2. Entrada de inyección.....	13
2.2.6. SISTEMA DE EXPULSIÓN.....	15
2.2.6.1. Expulsores.....	15
2.2.6.2. Número de expulsos y posicionamiento.....	16
2.2.7. CONTRASALIDAS.....	16
2.2.8. REFRIGERACIÓN.....	16
2.2.9. MÁQUINA DE INYECCIÓN.....	17
2.2.9.1. Unidad de cierre.....	17
2.2.9.1. Unidad de plastificación.....	18
2.2.9.1. Unidad de expulsión.....	18
2.3. DESCRIPCIÓN DE LA PIEZA.....	19
2.3.1. MATERIAL.....	20
2.4. ANÁLISIS DE SOLUCIONES.....	23
2.5.1. SISTEMA DE SUJECCIÓN.....	23
2.5.2. DISEÑO DEL MOLDE.....	24
2.5. SOLUCIÓN PROPUESTA.....	25
2.6.1. DISEÑO FINAL.....	28
2.6. BIBLIOGRAFÍA.....	30
2.6.1. PÁGINAS WEB.....	30
2.6.2. SOFTWARE.....	31

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Tapacubos.....	2
Figura 2. Ángulo de desmoldeo.....	6
Figura 3. Redondeos.....	7
Figura 4. Líneas de soldadura y de flujo.....	8
Figura 5. Rebaba.....	9
Figura 6. Rechupes y vacíos.....	9
Figura 7. Fases del moldeo por inyección.....	11
Figura 8. Uniones boquilla-bebedero.....	13
Figura 9. Entradas de inyección.....	14
Figura 10. Expulsores tubulares.....	15
Figura 11. Expulsor macizo.....	15
Figura 12. Máquina inyectora.....	17
Figura 13. Sistemas de cierre del molde.....	17
Figura 14. Tapacubos.....	19
Figura 15. Formulación del ABS.....	20
Figura 16. Tapacubos con unión atornillada.....	23
Figura 17. Funcionamiento de un clip de unión.....	23
Figura 18. Funcionamiento de un desplazable.....	24
Figura 19. Vista posterior del tapacubos.....	25
Figura 20. Refrigeración.....	25
Figura 21. Molde de 2 placas.....	26
Figura 22. Desplazable.....	26
Figura 23. Movimiento del desplazable.....	27
Figura 24. Vista isométrica del molde.....	28
Figura 25. Vista frontal del molde.....	28
Figura 26. Explosionado.....	29



LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Presión dentro del molde.....12

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades cualitativas del ABS.....22



2.1. INTRODUCCIÓN

El plástico se ha convertido en uno de los materiales indispensables en la vida moderna del hombre, gracias a su capacidad de ser manipulado para adoptar prácticamente cualquier forma, convirtiéndose así en uno de los inventos más revolucionarios de la historia.

En la actualidad existen diversos métodos de fabricación de piezas de plástico. El uso de uno u otro depende de la geometría de la pieza, las propiedades que se le exijan, el tipo de plástico a utilizar, etc.

En este proyecto se va a detallar el proceso de diseño de un molde de inyección de plástico con el que fabricar un tapacubos.

2.1.1. OBJETIVO

El objetivo principal del presente proyecto es el diseño de un molde de inyección para la fabricación de un tapacubos. El punto de partida es un archivo CAD con la geometría del tapacubos, que se muestra en la figura 1.

Para lograr el objetivo principal, deben cumplirse los siguientes sub-objetivos:

Diseño del sistema de sujeción del tapacubos a la llanta y análisis estructural de los elementos que lo formen

Análisis y validación de la pieza para el proceso de moldeo. Adecuación de la geometría para el moldeo y ajuste del proceso (presión de inyección, temperatura o refrigeración entre otros).

Diseño del molde. Incluye elementos específicos para la pieza a fabricar y piezas normalizadas o de catálogos.

En la figura siguiente se puede ver la geometría inicial del tapacubos; a la izquierda la cara frontal (visible) y a la derecha la cara posterior (parte que se sujeta a la llanta).

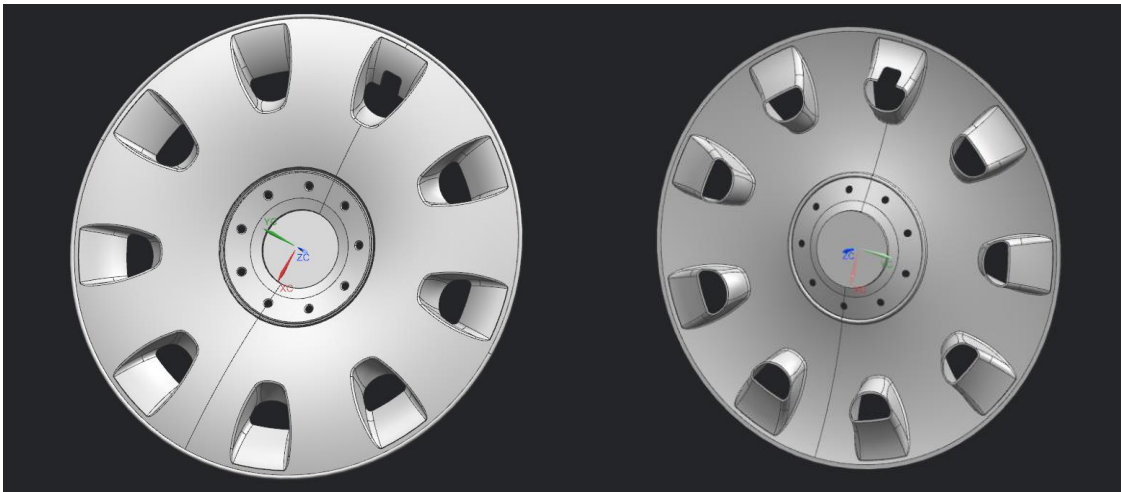


Figura 1. Tapacubos

Como resultado se obtendrán todos los elementos necesarios (planos, piezas normalizadas y archivos CAD) para la fabricación del molde.

2.1.2. ALCANCE DEL PROYECTO

Como se explica en el apartado anterior, el objetivo principal es el diseño un molde de inyección para la fabricación de un tapacubos. Dentro del proyecto se incluyen y explican todos los pasos necesarios para la realización de dicho objetivo.

El diseño de la pieza no forma parte del proyecto, aunque los insertos para la sujeción del tapacubos no estaban incluidos en la geometría original. Por tanto, su diseño y análisis estructural sí que están recogidos en el proyecto.

Después, se analizan todos los elementos a tener en cuenta para el diseño de piezas a fabricar por moldeo. Así se realizan las modificaciones necesarias en la pieza original.

Con la geometría de la pieza completada, se realiza la simulación de llenado con el consiguiente análisis y modificaciones del proceso necesarias.

Una vez validado el proceso, se procede al diseño del molde y sus componentes, obteniendo los planos de las piezas exclusivas de este diseño, así como una lista de piezas de catálogos y normalizadas.

Para ello se utilizará el siguiente software:

 Ansys Workbench para el análisis mediante elementos finitos de las pestañas de unión.

 Autodesk Moldflow, un simulador del proceso de llenado del molde con el que es posible estudiar el proceso de inyección y los defectos que se puedan producir en la pieza.

 NX 10 de Siemens para el modelado de la pieza a fabricar y de todos los componentes del molde, tanto específicos como normalizados.

2.2. CONTEXTO

2.2.1. HISTORIA

El primer ejemplo de máquina de moldeo por inyección data del 1872, con un proceso muy simple en comparación con las máquinas actuales.

Es necesario avanzar hasta 1946 para encontrar la primera máquina de inyección de plástico con husillo, creada por James Watson Hendry. Este nuevo funcionamiento permitía tener un mayor control de la velocidad de llenado y la calidad del producto. El proceso ideado por Hendry sigue siendo la base de los equipos en la actualidad.

A día de hoy, el moldeo por inyección es uno de los procesos de fabricación de piezas de plástico más utilizado debido a que es un método económico, rápido y confiable:

- Permite automatizar la mayoría del proceso.

- Requiere poco trabajo de acabado.

- Alta producción de piezas/hora con un solo molde.

- Se pueden moldear artículos con formas complejas

- El producto es consistente a lo largo de toda la producción debido a la alta calidad de los moldes.

- Los moldes tienen una vida útil muy larga (millones de piezas).

2.2.2. MATERIALES

A pesar de ser la denominación habitual, la palabra “plástico” se refiere al estado del material, no al material en sí. Este material es conocido como polímero. Un polímero es un compuesto químico en el que las moléculas están formadas por cadenas largas en las que se repite una unidad básica (monómero). Las características generales de los polímeros son las siguientes.

- Bajo punto de fusión, que permite procesarlo fácilmente para darle forma.
- Baja densidad, lo cual los hace útiles en industrias como la automovilística por ser productos ligeros.
- Pobre conductividad eléctrica y térmica, permite usarlos como aislantes.
- Poca reactividad química, permite tenerlos en contacto con alimentos sin riesgos.

Existen tres tipos de polímeros; termoplásticos, termoestables y elastómeros.

2.2.2.1 TERMOPLÁSTICOS

Son plásticos que se reblandecen a altas temperaturas y se vuelven rígidos por enfriamiento. Pueden fundirse fácilmente una vez formados, y pueden ser remoldeados varias veces, debido a que las fuerzas de cohesión entre las cadenas moleculares son débiles. Por eso, se pueden separar con mucha facilidad por acción del calor. Son solubles en solventes orgánicos. Por ejemplo: el polietileno, el poliestireno, policloruro de vinilo o PVC, el polimetacrilato de metilo o plexiglás, etc.

Generalmente, estos polímeros son aquellos que se pueden reciclar, dado que sometido a altas temperaturas se funden, pudiendo cambiar su forma sin modificar su estructura.

2.2.2.2. TERMOESTABLES

Son aquellos plásticos que se moldean solo durante su formación. Al enfriarse, se entrelazan sus cadenas. Esta disposición no permite nuevos cambios de forma mediante calor o presión. Son materiales insolubles, rígidos y duros. Los más importantes son la baquelita y el poliuretano.

Por lo general, este tipo de plástico no pueden ser reciclados, dado que al someterlos a altas temperaturas la estructura del polímero se modifica totalmente.

2.2.2.3. ELASTÓMEROS

Los elastómeros son aquellos polímeros que muestran un comportamiento elástico. Éstos son polímeros amorfos que se encuentran sobre su temperatura de transición vítrea, de ahí esa considerable capacidad de deformación. A temperatura ambiente son relativamente blandos y deformables.

Se usan principalmente para cierres herméticos, adhesivos y partes flexibles. Comenzaron a utilizarse a finales del siglo XIX, dando lugar a aplicaciones hasta entonces imposibles (como los neumáticos de automóvil).

2.2.3. ELEMENTOS A TENER EN CUENTA

Al igual que en el resto de procesos de moldeo, hay ciertos aspectos que se deben controlar para, en primer lugar, comprobar que es posible fabricar la pieza mediante un molde, y segundo, asegurar la calidad requerida (estructural y de acabados).

2.2.3.1. CONICIDAD

Es un aspecto clave en el proceso de desmoldeo. Al solidificarse el material se contrae, lo que dificulta la extracción de la pieza. Para prevenir esto, se aplica un determinado ángulo (en este caso 1°) a las caras verticales. La dirección del ángulo de desmoldeo debe favorecer la extracción de la pieza por lo que será diferente en función de si la cara es parte de la cavidad o del núcleo.

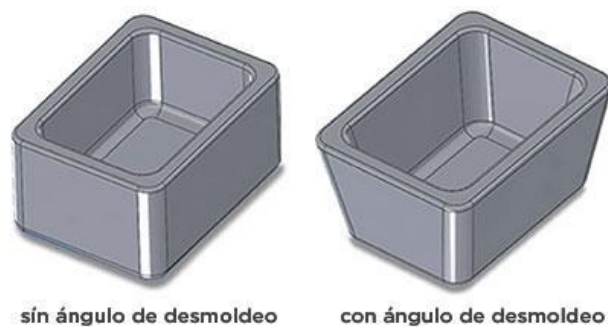


Figura 2. Ángulo de desmoldeo

2.2.3.2. 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.

La pieza de este proyecto ha sido diseñada para que no se de esta situación, de modo que no será necesario el uso de machos móviles o elementos similares.

2.2.3.3. REDONDEOS

Las aristas vivas son fuentes de posibles concentraciones de tensiones y por tanto roturas por lo que es conveniente darles cierto radio

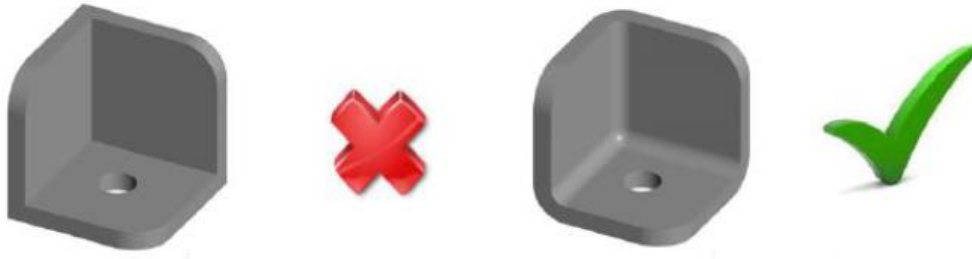


Figura 3. Redondeos.

2.2.3.4. CONTRACCIÓN

Como consecuencia del cambio de temperatura y de fase del material, las dimensiones de la pieza no son las mismas en el momento de llenado del molde que tras la refrigeración y expulsión. Al enfriarse el material se contrae, lo que hace necesario un redimensionamiento del molde para que las dimensiones finales de la pieza sean las especificadas.

El material a utilizar es un polímero ABS HH3105 de la marca Elix polymers. Su factor de contracción es del 0,6%. El tamaño del molde se verá aumentado en proporción para que la pieza final tenga las dimensiones correctas. Esta operación la realiza automáticamente el asistente MoldWizard a partir de los datos del material introducidos al inicializar el proyecto.

2.2.3.5. ATRAPAMIENTOS DE AIRE

Los atrapamientos de aire se producen cuando frentes de flujo convergentes rodean y atrapan una burbuja de aire.

El aire atrapado puede causar un llenado y una compactación incompletos, y generalmente creará un defecto superficial en la pieza acabada. El aire atrapado en cavidades puede comprimirse, calentarse y provocar marcas de quemadura.

La principal causa de los atrapamientos de aire son las rutas de flujo no equilibradas, ya sea por longitud o diferentes espesores. También se pueden producir por una evacuación de aire inapropiada debido a la ausencia o el tamaño reducido de salidas de aire en las últimas áreas del molde que se llenan.

Por tanto para evitar este fenómeno es importante equilibrar las líneas de flujo del material y ventilar el molde de forma apropiada.

2.2.3.6. LÍNEAS DE SOLDADURA Y LÍNEAS DE FLUJO

Es un defecto que puede darse durante el proceso de llenado. Ocurre cuando dos frentes del material fundido se encuentran. Suelen aparecer cuando hay más de un punto de inyección o alrededor de un agujero. La diferencia entre las líneas de soldadura y las de flujo es el ángulo con el que convergen los distintos flujos.

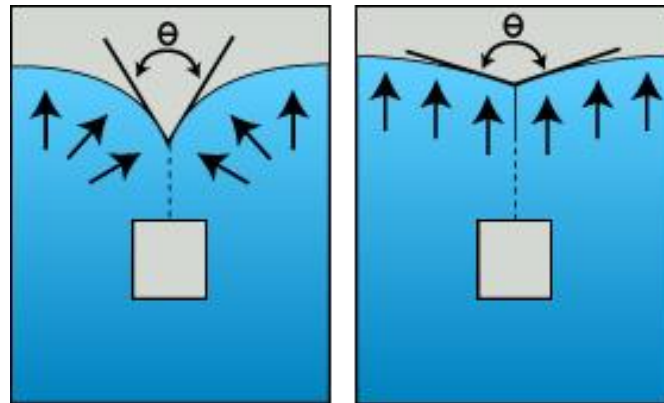


Figura 4. Línea de soldadura (izquierda) y línea de flujo (derecha)

Cuando el ángulo es mayor de 135° formara una línea de flujo, y si es menor una línea de soldadura. Es necesario evitar ambas ya que son puntos débiles de la pieza donde es más probable que aparezca roturas. En las líneas de soldadura la diferencia de orientación de las moléculas de plástico es mayor por lo que su resistencia y aspecto es notablemente peor.

Existen diversas formas de evitar este fenómeno. Una opción es tratar de mover la línea de soldadura a un punto donde la exigencia (mecánica y visual) sea menor modificando los puntos de entrada o el espesor de alguna sección de la pieza para así alterar el flujo del plástico. Otra opción es aumentar la temperatura del molde y de la masa fundida para que los frentes de flujo se mezclen mejor. Una buena soldadura se produce cuando la temperatura de masa fundida está como máximo 20°C por debajo de la temperatura de inyección.

2.2.3.7 REBABAS

Las rebabas se producen cuando se fuerza la salida de una capa fina de material de la cavidad en la línea de partición o en la posición de los expulsores.

Este material excedente permanece unido a la pieza moldeada y normalmente debe quitarse manualmente.



Figura 5. Rebaba

La principal causa de este defecto es un cierre inapropiado del molde, que puede estar producido por una fuerza de cierre insuficiente (debe ser mayor que la presión en la cavidad) o defectos en las placas del núcleo y la cavidad (defectos de montaje, desgaste u obstrucciones por suciedad).

2.2.3.8. RECHUPES Y VACÍOS

Los rechupes aparecen como depresiones en la superficie de una pieza moldeada. Estas depresiones suelen ser muy pequeñas; sin embargo, a veces son muy visibles, ya que reflejan en distintas direcciones la luz que llega a la pieza. La visibilidad de los rechupes es una función del color de la pieza y de la textura de su superficie; por tanto, la profundidad es sólo uno de los criterios. Aunque los rechupes no afectan a la resistencia ni a la funcionalidad de la pieza, se consideran defectos de calidad inaceptables.

Los vacíos son agujeros que se forman dentro de una pieza. Puede ser agujeros individuales o grupos de agujeros más pequeños. Los vacíos tienen un impacto importante en el rendimiento estructural de la pieza.

Los rechupes se deben principalmente a la contracción térmica durante la refrigeración. Una vez que el material del exterior se ha enfriado y solidificado, el material del interior empieza a enfriarse. Su contracción empuja la superficie de la pared principal hacia adelante, creando un rechupe. Si la superficie es suficientemente rígida, en lugar de una deformación superficial se crea un vacío en el interior.

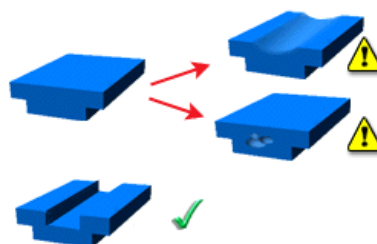


Figura 6. Rechupes y vacíos

Causas:

- Características geométricas localizadas. Los rechupes suelen aparecer en piezas moldeadas con secciones más gruesas o en ubicaciones con nervios opuestos, refuerzos o redondeos internos.
- Contracción volumétrica elevada.
- Compensación insuficiente del material. Una pronta solidificación en la entrada o una baja presión de compactación pueden hacer que la cavidad no se compacte correctamente.
- Tiempo de compactación o refrigeración corto.
- Temperaturas de molde o de masa fundida altas

Soluciones:

- Optimizar la presión de compactación. Como los rechupes se producen durante la compactación, la manera más eficaz de reducirlos o eliminarlos es controlar la presión de compactación correctamente.
- Cambiar la geometría de la pieza. Modificar el diseño de la pieza para minimizar las secciones gruesas y reducir el espesor de las características que se crucen con la superficie principal.
- Reducir la contracción volumétrica.
- Cambiar el material.
- Cambiar la ubicación de las entradas en las áreas problemáticas. Esto permite compactar estas secciones antes de que se solidifiquen las secciones más finas entre la entrada y las áreas problemáticas.

2.2.3.9. TENSIONES INTERNAS

Las zonas de la pieza con tensiones internas pueden resultar fatales a la hora de ponerse en funcionamiento. Por lo tanto, será necesario evitar zonas con cambios bruscos en la dirección del flujo en el proceso de llenado y también los espesores grandes ya que suponen un enfriamiento y plastificación desigual en la sección.

2.2.3.10. ACABADO SUPERFICIAL

El acabado superficial de la pieza está directamente relacionado con el acabado del molde. De modo que también es importante tanto el proceso de fabricación del molde como su material ya que deberá soportar temperaturas altas en contacto con el plástico.

2.2.4. PROCESO DE MOLDEO POR INYECCIÓN

Al igual que todos los procesos de moldeo, el proceso consiste en fundir el material para después introducirlo en un molde con la forma del negativo de la pieza de manera que al solidificar adopte la forma deseada.

La particularidad de este proceso es que el material previamente plastificado y elevado a la temperatura de moldeo es introducido de forma brusca (alta presión y velocidad) en el molde cerrado donde se enfría adquiriendo la forma de éste.

El proceso consta de las siguientes etapas:

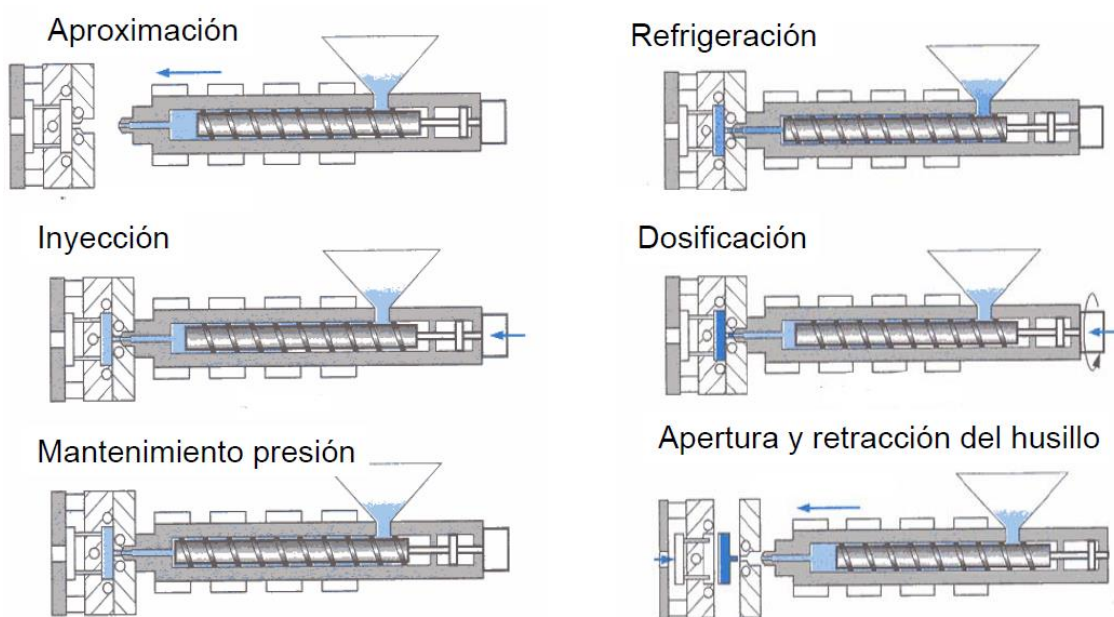


Figura 7. Fases del moldeo por inyección

2.2.4.1. FUSIÓN DEL MATERIAL

Elevar la temperatura del plástico a un punto donde pueda fluir bajo la aplicación de presión. Normalmente esto se hace calentando y masticando los gránulos sólidos del material hasta formar una masa fundida con una viscosidad y temperatura uniforme. Actualmente, esto se hace dentro del barril de la máquina mediante un tornillo, el cuál aporta el trabajo mecánico (fricción) que en conjunto con el calor del barril funden el plástico. Es decir, el tornillo transporta, mezcla y plastifica el material.

2.2.4.2. INYECCIÓN

En esta etapa el material fundido ya plastificado en el barril de la máquina, se transfiere (se inyecta) a través de una boquilla, que conecta con el canal o canales del molde hasta llegar a las cavidades donde toma la forma del producto final.

2.2.4.3. COMPRESIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA PRESIÓN

Cuando el material ha llenado completamente la cavidad, se debe aplicar y mantener una determinada presión hasta que el plástico comienza a solidificarse. Esta etapa tiene gran repercusión en el acabado y propiedades finales de la pieza.

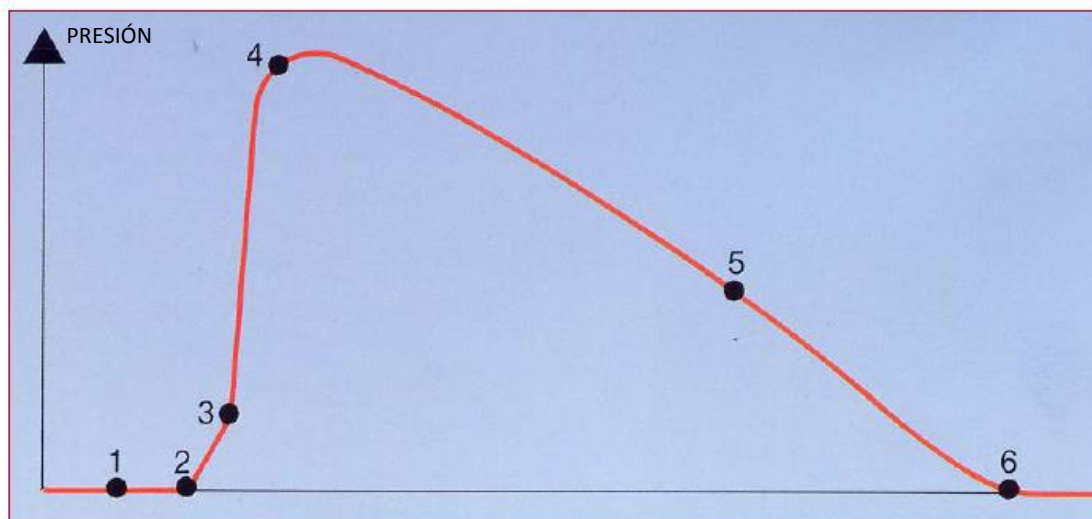
2.2.4.4. REFRIGERACIÓN

Para que el material plastifique es necesario evacuar todo el calor que se le ha aportado en el proceso de fusión. Para ello el molde está equipado con circuitos de refrigeración.

2.2.4.5. APERTURA DEL MOLDE

Fase final. Se abre el molde y con la ayuda de unos expulsores se retira la pieza ya acabada.

En el siguiente diagrama se muestra la presión en el interior del molde a lo largo del tiempo en las distintas fases del proceso.



Gráfica 1. Presión dentro del molde

1-3: Fase de inyección.

3-4: Compresión.

4-5: Mantenimiento de la presión.

5-6: Enfriamiento

2.2.5. SISTEMA DE ALIMENTACIÓN

El sistema de alimentación es la parte del molde encargada de trasladar el plástico fundido desde la unidad de inyección hasta la cavidad del molde. Se compone de tres partes: bebedero, canales de alimentación y entrada de inyección.

El diseño del sistema de alimentación dependerá de varios factores relacionados con la geometría de la pieza, el material, el número de piezas del molde, el tipo de proceso (grado de automatización), etc.

A grandes rasgos lo que se busca es un llenado correcto de la cavidad, minimizar los desechos, y reducir lo más posible el impacto visual superficial.

2.2.5.1. BEBEDERO

El bebedero es la parte del sistema de alimentación que está en contacto con la unidad de inyección. Conduce la masa fundida desde la boquilla hasta los canales de alimentación. En su interior se crea una mazarota, por lo que debe tener cierto ángulo para que pueda ser extraída. Este ángulo puede variar entre 1° y 6° .

En la figura siguiente, de izquierda a derecha, uniones boquilla-bebedero plana, cónica y esféricas.

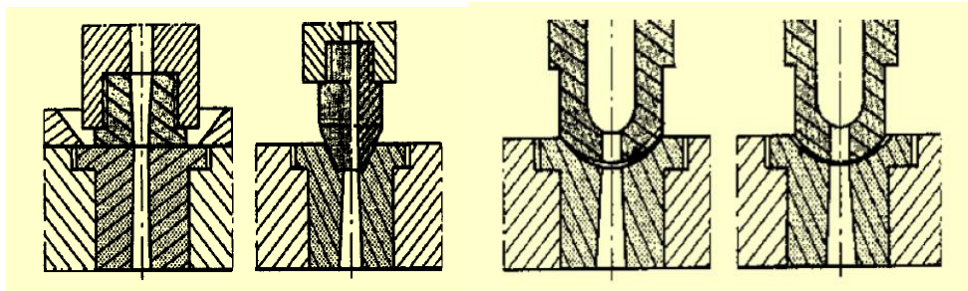


Figura 8. Uniones boquilla-bebedero

2.2.5.3. ENTRADA DE INYECCIÓN

La entrada de inyección es el orificio por el que entra la masa fundida al interior de la cavidad del molde. El principal objetivo de diseño de este elemento es proporcionar un frente de flujo uniforme y continuo que asegure el llenado del molde con la mayor calidad final de la pieza posible.

Para escoger el punto de inyección se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Permitir un flujo fácil
- Originar un frente de flujo continuo
- Situarlo en las paredes más gruesas
- Reducir las líneas de soldadura
- Longitudes de flujo semejantes
- Evitar marcas visibles indeseadas

Existen diversos tipos de entradas que se adecúan a la geometría de la pieza u otros requisitos de fabricación. El siguiente esquema muestra, a grandes trazos, los distintos tipos de entrada según los requerimientos. No se recogen en el esquema las entradas para piezas anulares o semejantes.

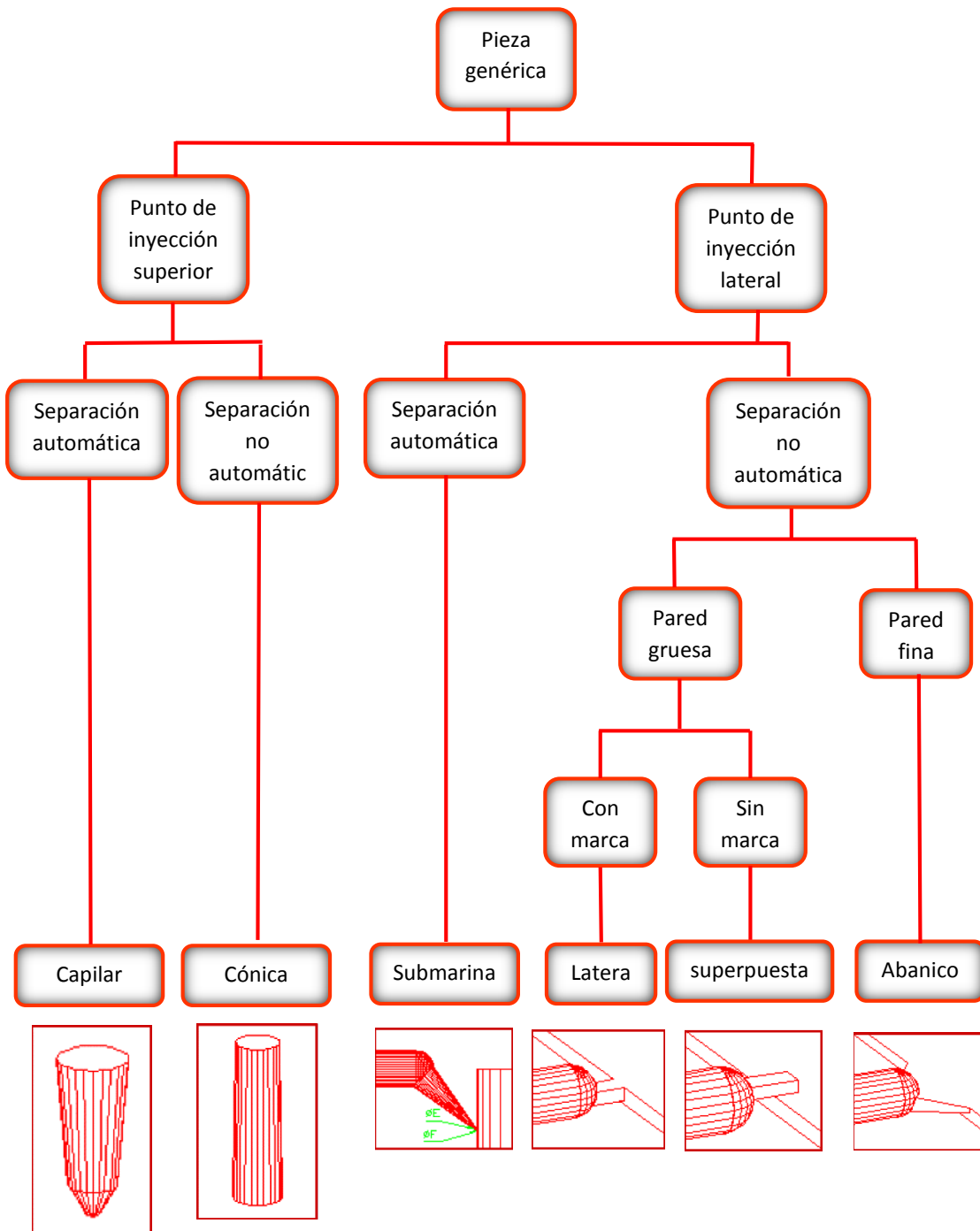


Figura 9. Entradas de inyección

2.2.6. SISTEMA DE EXPULSIÓN

Una vez que la pieza ha alcanzado la temperatura de expulsión, el molde se abre, quedando la pieza adherida a la parte móvil. El sistema de expulsión es el encargado de separar la pieza de la parte móvil aprovechando la carrera de apertura del molde. Una vez queda extraída, la pieza se deja caer (por ejemplo, a una cinta transportadora) o se retira manualmente o mediante un robot (habitualmente si se trata de piezas grandes o delicadas).

2.2.6.1. EXPULSORES

Son los elementos que contactan con la pieza y la empujan fuera del molde. El tipo de expulsor más adecuado dependerá de la geometría de la pieza. Pueden ser:

- Tubulares



Figura 10. Expulsores tubulares

- Macizos o laminares



Figura 11. Expulsor macizo

- Placas expulsoras

2.2.6.2. NÚMERO DE EXPULSORES Y POSICIONAMIENTO

La fuerza de expulsión debe vencer la fuerza de adherencia de la pieza al molde. Esta fuerza es difícil de calcular ya que depende de diversos factores como la geometría, el grado de contracción del material o el pulido del molde. Si la superficie de expulsión no es lo suficientemente grande, la fuerza ejercida por los expulsores podría superar la resistencia del material, causando daños en la pieza.

No sólo es importante el total de expulsores, sino también su posición. Las paredes verticales, esquinas, tubos, nervios profundos o entrecruzamientos de nervios, son lugares aconsejados para situar estos expulsores.

2.2.7. CONTRASALIDAS

Cuando se diseña un molde, la pieza se sitúa de forma que pueda ser extraída en la dirección de apertura del molde. Sin embargo, puede ocurrir que, debido a la geometría de la pieza, no sea posible extraer alguna de sus partes en la dirección de desmoldeo. Esto se conoce como contrasalidas.

Hay varias opciones para solventar este problema. Se basan en añadir un elemento que pueda moverse en una dirección distinta a la de desmoldeo, liberando las zonas problemáticas.

2.2.8. REFRIGERACIÓN

El sistema de refrigeración es exclusivo de cada molde ya que depende directamente de la geometría de la pieza. Este se diseña de forma que todas las partes de la pieza se enfríen a la misma velocidad, lo suficientemente rápido para no alargar innecesariamente el tiempo de ciclo, pero no tanto como para que el material se solidifique antes de llenar todo el molde.

2.2.9. MÁQUINA DE INYECCIÓN

Máquina donde va integrado el molde. Sus funciones principales son fundir e introducir el polímero en el molde aplicando la presión necesaria y realizar los movimientos de apertura y expulsión.

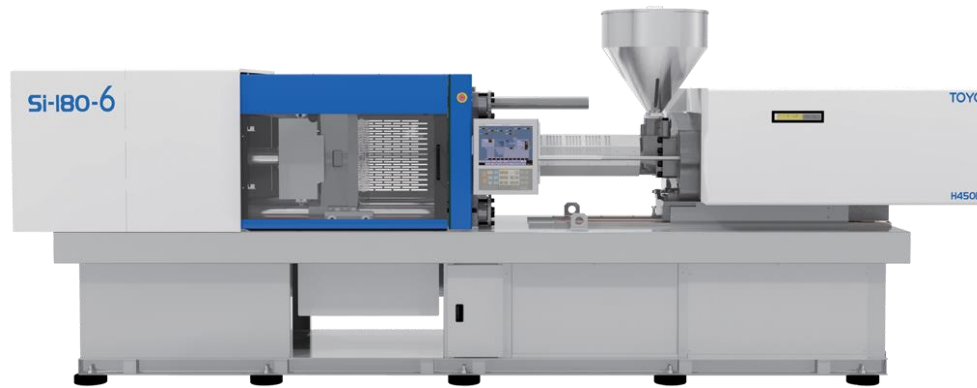


Figura 12. Máquina inyectora

2.2.9.1. UNIDAD DE CIERRE

Su función es ejercer la fuerza necesaria para contrarrestar la presión del plástico en el interior de la cavidad y realizar los movimientos de apertura y cierre del molde. También contiene el sistema de expulsión.

La fuerza de cierre que debe realizar el sistema debe ser superior a la presión interior del molde por el área de la pieza proyectada en la dirección de desmoldeo.

$$F_{\text{cierre}} > P_{\text{interior}} \cdot A_{\text{proyectada}}$$

Los sistemas más habituales son el cierre por pistón (izquierda) y el cierre por rodillera (derecha).

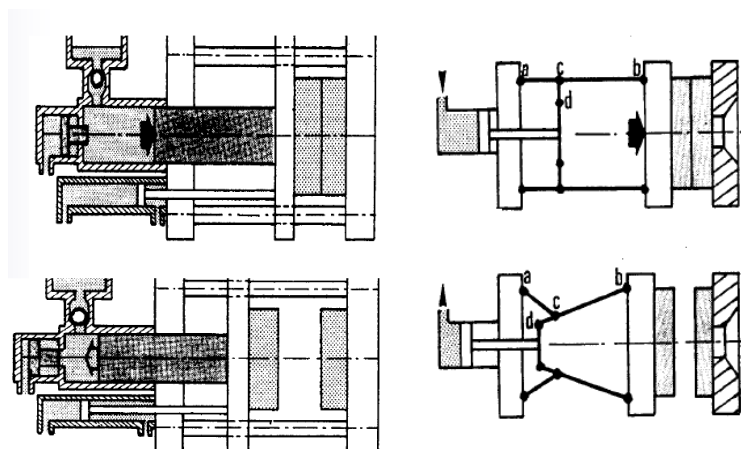


Figura 13. Sistemas de cierre del molde

2.2.9.1. UNIDAD DE PLASTIFICACIÓN

Se encarga de plastificar e inyectar el material.

ALIMENTACIÓN

Generalmente se utiliza una tolva en la que se introduce el polímero granulado que cae por gravedad hasta donde se encuentra el husillo.

BARRIL DE INYECCIÓN

Cilindro hueco en cuyo interior se aloja el husillo. Debe soportar altas presiones y temperaturas. En su parte exterior se encuentran unas bandas calefactoras que aportan parte del calor necesario para plastificar el material.

HUSILLO

Tornillo alojado en el interior del barril de inyección. Al girar produce dos efectos, calienta el polímero debido a la fricción y lo conduce desde la zona de alimentación hacia la boquilla. Además, mezcla y homogeniza el material para una óptima inyección.

VÁLVULA ANTIRRETORNO

Se sitúa en el extremo del husillo. Su función es permitir el paso del material hacia la boquilla impidiéndolo en sentido contrario. Esta válvula evita fugas de material hacia el husillo en la fase de compresión y es esencial para mantener las condiciones del proceso adecuadas.

BOQUILLA

Es el elemento que conecta la unidad de plastificación con el bebedero y por tanto el molde. Proporciona una unión sin derrames y con una pérdida de presión mínima.

2.2.9.1. UNIDAD DE EXPULSIÓN

Se encarga de accionar el sistema de expulsión del molde.

En moldes para máquinas de menos de 200 toneladas se puede realizar la expulsión mediante bulones. Estos están integrados en el sistema de cierre y aprovecha el movimiento de apertura del molde para empujar la placa expulsora.

De no ser posible usar este sistema, debería utilizarse un sistema hidráulico independiente para realizar el movimiento de expulsión.

2.3. DESCRIPCIÓN DE LA PIEZA

La pieza a fabricar es un tapacubos (pieza de plástico que se sitúa en la parte exterior de la llanta con fines estéticos) para una rueda de 17 pulgadas de un automóvil.

La función de esta pieza es principalmente estética por lo que un buen acabado es uno de los requerimientos exigidos. Dado que la pieza no debe soportar grandes tensiones, el requerimiento mecánico más importante es la resistencia al impacto y la abrasión ya que se encuentra en una posición bastante expuesta en el exterior del automóvil.

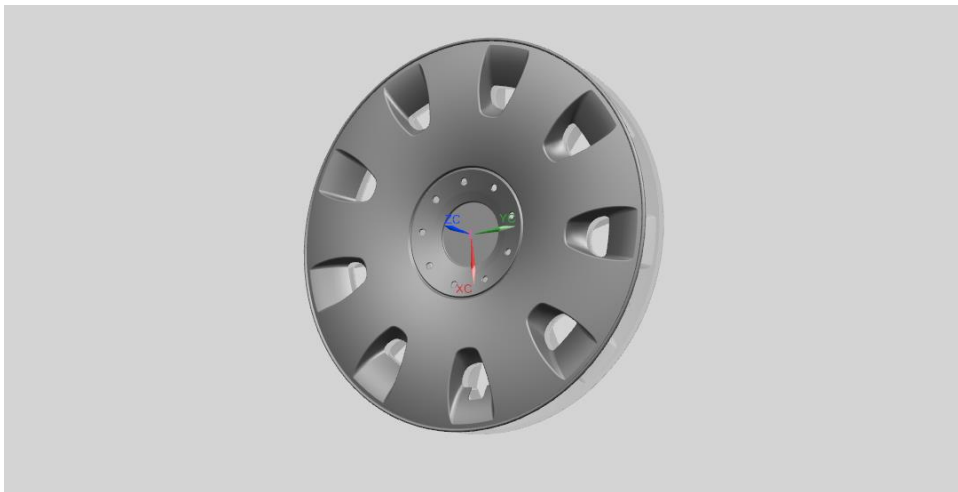


Figura 14. Tapacubos

Es una pieza en forma de disco de pequeño espesor que contiene 14 orificios, la mitad de ellos circulares de pequeño diámetro y la otra mitad algo más grandes y con una forma más compleja.

El diseño del tapacubos no incluye ningún sistema de fijación. Habitualmente esta unión se hace de dos maneras distintas; o bien atornillada a la llanta en la parte central o mediante unos clips en la parte posterior que encajan con la llanta.

2.3.1. MATERIAL

El ABS es el nombre dado a una familia de termoplásticos. Se le llama plástico de ingeniería, debido a que es un plástico cuya elaboración y procesamiento es más complejo que los plásticos comunes, como son las polioleofinas (polietileno, polipropileno). El acrónimo deriva de los tres monómeros utilizados para producirlo: acrilonitrilo, butadieno y estireno.

Los bloques de acrilonitrilo proporcionan rigidez, resistencia a ataques químicos y estabilidad a alta temperatura, así como dureza.

Los bloques de butadieno, que es un elastómero, proporcionan tenacidad a cualquier temperatura. Esto es especialmente interesante para ambientes fríos, en los cuales otros plásticos se vuelven quebradizos.

El bloque de estireno aporta resistencia mecánica y rigidez.

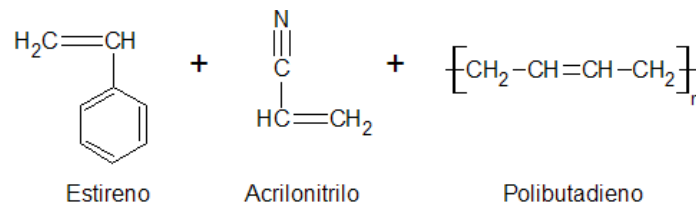


Figura 15. Formulación del ABS

Las características del plástico ABS que lo hacen idóneo para esta pieza son su densidad (bastante reducida, lo que en el sector del automóvil es un punto importante), su alta resistencia al impacto y la abrasión y la posibilidad de ser pintado.

PROPIEDADES

Los materiales de ABS tienen importantes propiedades en ingeniería, como buena resistencia mecánica y al impacto combinado con facilidad para el procesado.

La resistencia al impacto de los plásticos ABS se ve incrementada al aumentar el porcentaje de contenido en butadieno pero disminuyen entonces las propiedades de resistencia a la tensión y disminuye la temperatura de deformación por calor.

El amplio rango de propiedades que exhibe el ABS es debido a las propiedades que presentan cada uno de sus componentes.

El acrilonitrilo proporciona:

- Resistencia térmica
- Resistencia química
- Resistencia a la fatiga
- Dureza y rigidez

El butadieno proporciona:

- Ductilidad a baja temperatura
- Resistencia al impacto
- Resistencia a la fusión

El estireno proporciona:

- Facilidad de procesado (fluidez)
- Brillo
- Dureza y rigidez

Excepto en películas delgadas, es opaco y puede ser de color oscuro o marfil y se puede pigmentar en la mayoría de los colores, obteniéndose partes lustrosas de acabado fino.

La mayoría de los plásticos ABS son no tóxicos e incoloros.

Pueden ser extruidos, moldeados por inyección, soplado y prensado. Generalmente los grados de bajo impacto son los que más fácil se procesan. Los de alto impacto son más difíciles porque al tener un mayor contenido en caucho los hace más viscosos.

A pesar de que no son altamente inflamables, mantienen la combustión. Hay algunos tipos autoextinguibles para cuando se requiere algún producto incombustible, otra solución consiste en aplicar algún retardante de llama.

Dentro de una variedad de termoplásticos el ABS es importante por sus balanceadas propiedades. El ABS se destaca por combinar dos propiedades muy importantes como son la resistencia a la tensión y la resistencia al impacto, además de ser un material liviano.

PROPIEDADES CUALITATIVAS

Resistencia a la abrasión	Alta
Permeabilidad	Todos los grados son considerados impermeables al agua, pero ligeramente permeables al vapor.
Propiedades relativas a la fricción	No los degradan los aceites son recomendables para cojinetes sometidos a cargas y velocidades moderadas
Estabilidad dimensional	Es una de las características más sobresalientes, lo que permite emplearla en partes de tolerancia dimensional cerrada. La baja capacidad de absorción de la resina y su resistencia a los fluidos fríos, contribuyen a su estabilidad dimensional
Pigmentación	La mayoría de estas resinas, están disponibles en colores estándar sobre pedido, se pueden pigmentar aunque requieren equipo especial.
Facilidad de unión	Se unen fácilmente entre sí y con materiales plásticos de otros grupos mediante cementos y adhesivos
Cap. de absorción	Baja
Propiedades ambientales	La exposición prolongada al sol produce una capa delgada quebradiza, causando un cambio de color y reduciendo el brillo de la superficie y la resistencia a la flexión. La pigmentación en negro provee mayor resistencia a la intemperie
Resistencia química	Generalmente buena, aunque depende del grado de la resina, de la concentración química, temperatura y esfuerzos sobre las partes. En general no son afectadas por el agua, sales inorgánicas, álcalis y por muchos ácidos. Son solubles en ésteres, acetona, aldehídos y en algunos hidrocarburos clorados

Tabla 1. Propiedades cualitativas del ABS

2.4. ANÁLISIS DE SOLUCIONES

2.4.1. SISTEMA DE SUJECIÓN

Al realizar el acoplamiento mediante tornillos, estos quedan visibles en la parte exterior (figura x). Utilizando unos clips de sujeción, estos quedan ocultos detrás del tapacubos y no alteran su apariencia, lo que los hace más adecuados.



Figura 16. Tapacubos con unión atornillada

Estos clips o pestañas deben permitir la unión y separación aplicando fuerza únicamente en la dirección de ensamblaje (figura x) para que el tapacubos pueda montarse y también desmontarse.

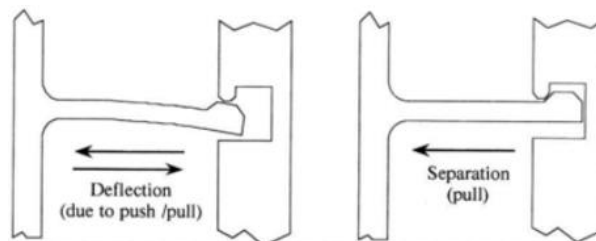


Figura 17. Funcionamiento del clip de unión

Esta opción resulta más adecuada ya que no modifica el aspecto exterior del tapacubos y cumple igualmente la función de sujeción.

2.4.2. DISEÑO DEL MOLDE

La pieza a fabricar cuenta con las siguientes características de las que dependerá el diseño del proceso y del propio molde:

- Gran área y pequeño espesor.
- Forma y agujeros que siguen un patrón circular.
- Paredes verticales y aristas vivas.
- Contrasalidas debido a las pestañas de sujeción.

Debido al tamaño de la pieza (440 mm de diámetro) lo adecuado es diseñar un molde de una sola cavidad.

Debido a la forma circular y además teniendo en cuenta que el molde es de una cavidad, la entrada directa con una mazarota en el centro de la pieza resulta la opción más indicada.

Existen varias alternativas que permiten moldear piezas con contrasalidas. El uso de desplazables es idóneo para el proceso por su sencillez dado que únicamente debe solventar el problema de las pestañas de sujeción cuya geometría es bastante simple.

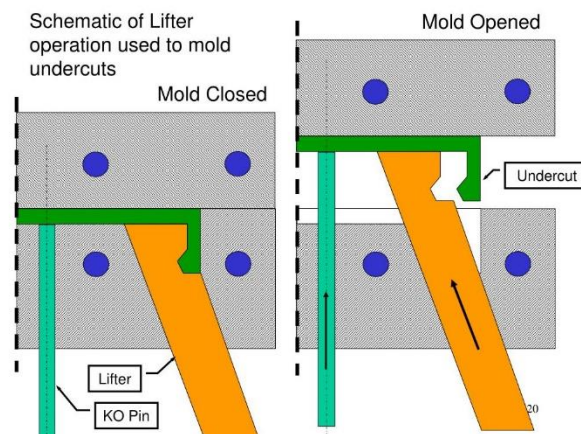


Figura 18. Funcionamiento de un desplazable

En cuanto a la refrigeración, el análisis de llenado en Moldflow da como resultado una buena calidad de refrigeración con un sistema de 6 pasos rectos por cada mitad del molde. Este sistema es fácil de fabricar y ofrece unos buenos resultados.

2.5. SOLUCIÓN PROPUESTA

El diseño del tapacubos queda de la siguiente manera al añadir el sistema de sujeción compuesto por 9 clips situados en la parte posterior.

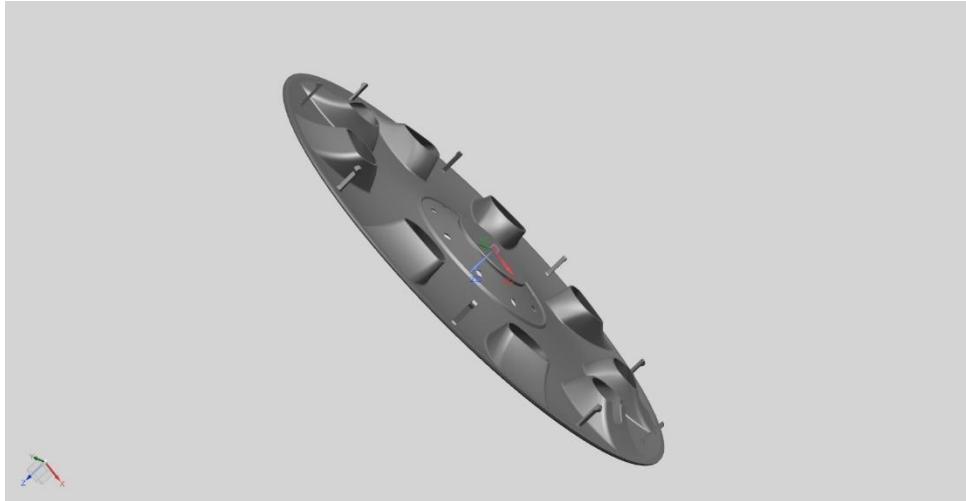


Figura 19. Vista posterior del tapacubos

Tras verificar que la pieza es apta para ser moldeada mediante el análisis de llenado en *Autodesk Moldflow*, se ha optado por el diseño del molde con las siguientes características:

- Molde de una sola cavidad.
- Entrada de inyección directa: la más adecuada para la geometría de la pieza. Además, evita el coste añadido de mecanizar canales en el molde.
- Un sistema de refrigeración compuesto por canales rectos con 6 pasos por cada mitad del molde conectados en serie.

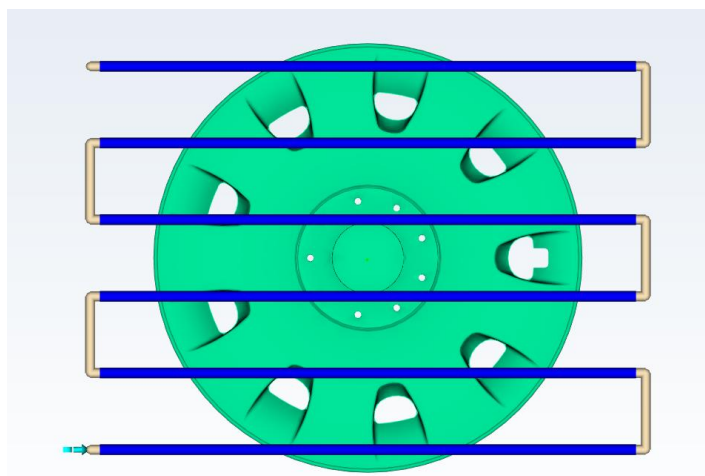


Figura 20. refrigeración

- Molde de dos placas: es el tipo de molde más sencillo ya que únicamente consta de dos placas, una en el lado de inyección donde se alojará la cavidad y otra en el lado de expulsión que alojará el núcleo.

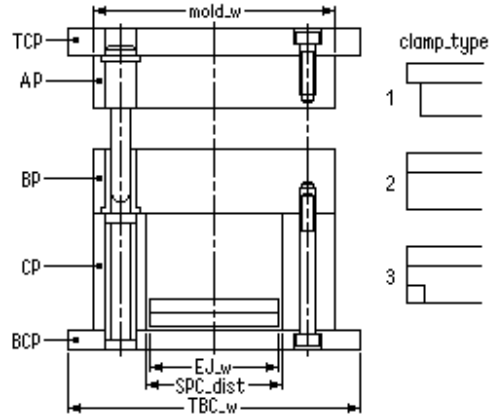


Figura 21. Molde de 2 placas

- Uso de desplazables en los clips de sujeción. Está formado por 5 elementos distintos:

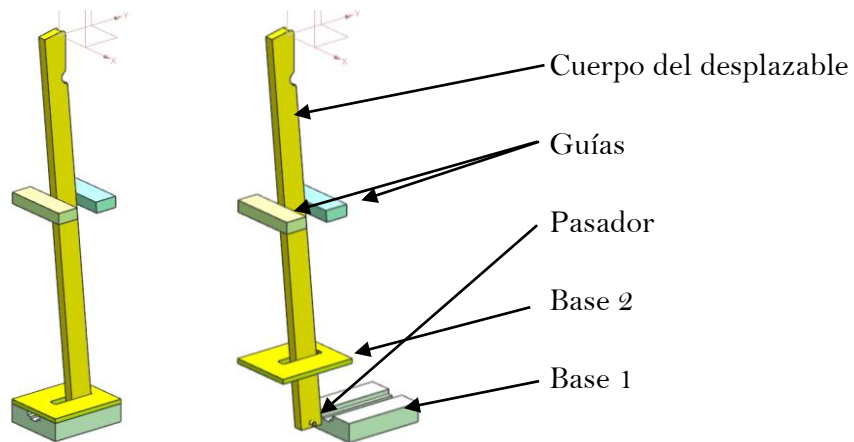


Figura 22. Desplazable

Los desplazables se sitúan en la placa de expulsión junto con los expulsores de manera que la base del desplazable (1 y 2) queda fijada a dicha placa. Las guías se sitúan en la placa que contiene el núcleo, quedando también fijadas. Los únicos elementos móviles son el cuerpo del desplazable y el pasador que lo fija a la base. Cuando se inicia el movimiento de expulsión, el desplazable avanza en esa dirección y a su vez realiza un movimiento perpendicular empujado por las guías.

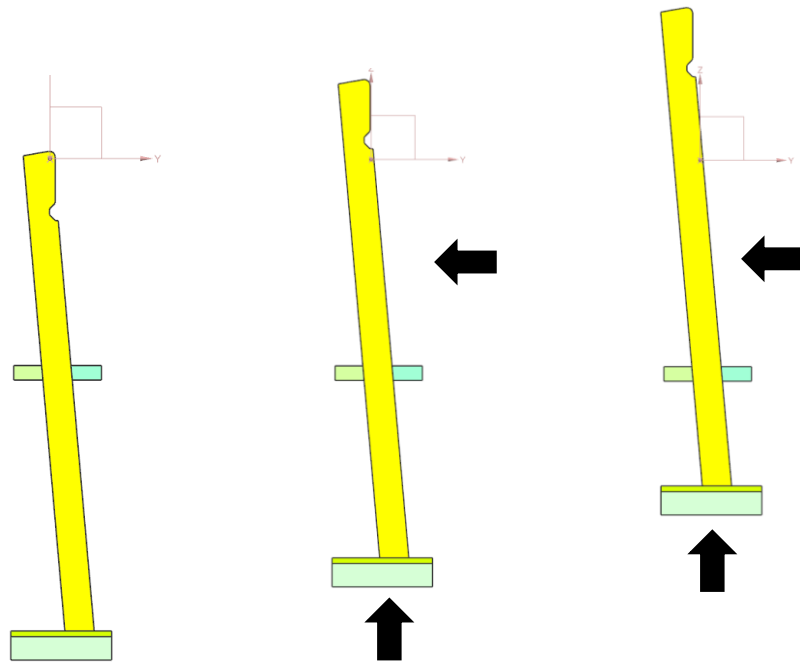


Figura 23. Movimiento del desplazable

2.5.1. DISEÑO FINAL

El diseño final del molde es el siguiente:

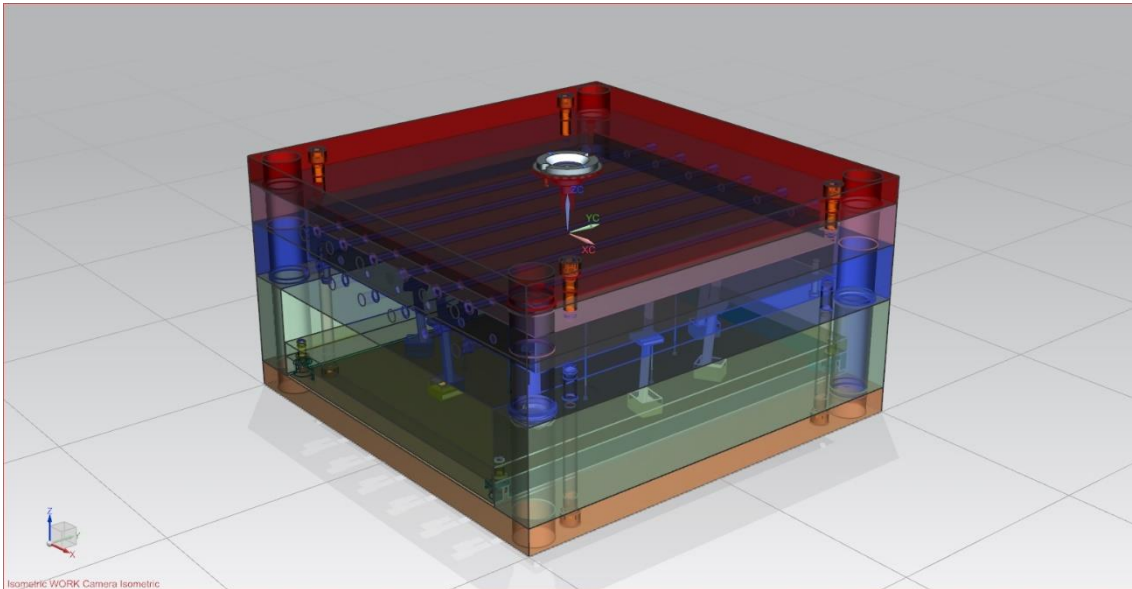


Figura 24. Vista isométrica del molde

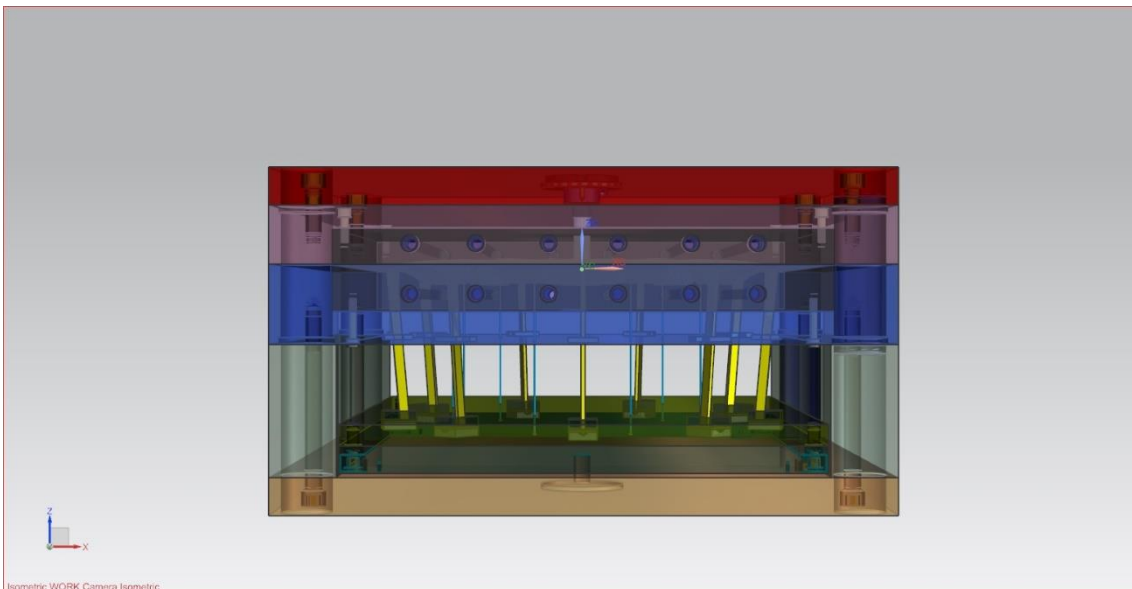


Figura 25. Vista frontal del molde

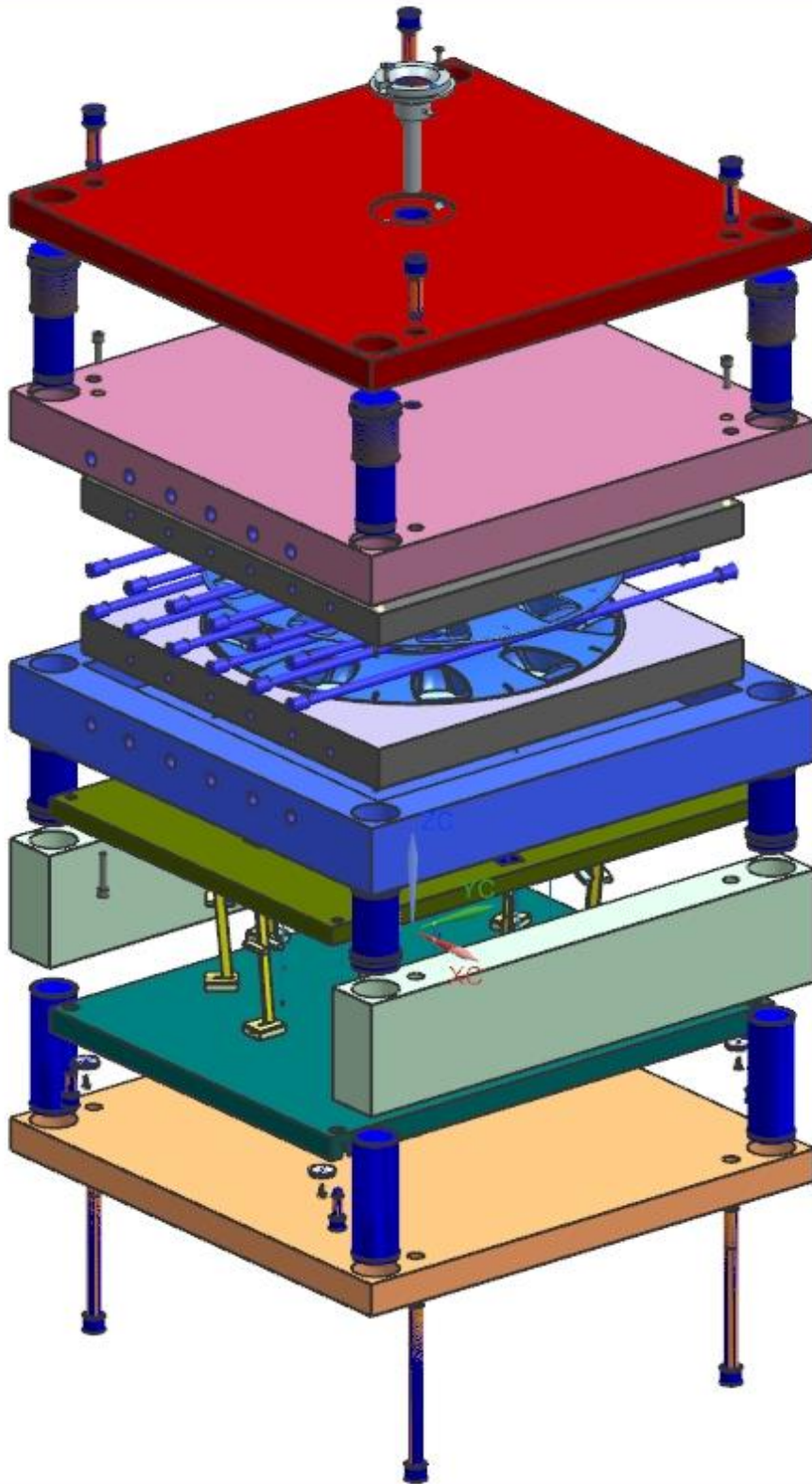


Figura 26. Explosionado

2.6. BIBLIOGRAFÍA

2.6.1. PÁGINAS WEB

DISEÑO

<https://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/Actualidad/>

<http://www.plastico.com/>

<https://cep-plasticos.com/es>

<http://procesosdetrasnformaciondeplasticos.blogspot.com/>

MATERIALES

<https://www.elix-polymers.com/>

<http://www.aceros-premium.es/>

CATÁLOGOS PIEZAS

<http://www.dmeeu.com/es/productos/d/index/moldes-componentes>

<https://sija.es/catalogos/tornilleria/SIJA-tarifa-tornilleria-2016.pdf>

<https://www.eldrachersl.es/productos/>

<http://www.echebarriasuministros.com>

TUTORIALES

<https://knowledge.autodesk.com/support/moldflow-adviser>

https://docs.plm.automation.siemens.com/tdoc/nx/10/nx_help/#uid:index_moldwizard

<https://www.youtube.com/>



2.6.2. SOFTWARE

Siemens NX 10 + Moldwizard

Ansys Workbench 2019

Autodesk Moldflow Adviser 2018

Solid Edge 2019

Microsoft Office Word 2016