

---

GRADO INGENIERÍA MECÁNICA

# **TRABAJO FIN DE GRADO**

***DISEÑO DE UN MOLDE DE  
INYECCIÓN PARA RUEDA DE  
JUGUETE***

***DOCUMENTO 2- MEMORIA***

**Alumno/Alumna:** Learra, Sagasti, Aitor

**Director/Directora:** Macareno, Ramos, Luis María

**Curso:** 2020-2021

**Fecha:** Bilbao, 15, 7, 2021



## Índice de la memoria

2.1 Objeto.....	5
2.2 Alcance.....	5
2.3 Antecedentes.....	5
2.3.1 Moldeo por inyección.....	5
2.3.2 Procesos de inyección.....	6
2.3.3 Métodos de fabricación de plásticos.....	7
2.3.3.1 Moldeo por extrusión.....	7
2.3.3.2 Moldeo por soplado.....	7
2.3.3.3 Moldeo por transferencia.....	8
2.3.3.4 Moldeo por compresión.....	9
2.3.3.5 Moldeo por inyección.....	10
2.3.3.6 Moldeo rotacional.....	11
2.3.4 Maquinaria moldeo por inyección.....	12
2.3.4.1 Unidad de cierre.....	13
2.3.4.2 Unidad plastificación.....	13
2.3.4.3 Unidad de potencia.....	15
2.3.4.4 Unidad de control.....	15
2.3.4.5 Sistema de expulsión.....	15
2.3.5 Ciclo/Proceso de inyección.....	16
2.3.5.1 Cierre del molde.....	16
2.3.5.2 Inyección.....	16
2.3.5.3 Plastificación y dosificación.....	20
2.3.5.4 Apertura del molde y expulsión.....	21
2.3.5.5 Enfriamiento.....	21
2.3.6 Materiales plásticos.....	22
2.3.6.1 Termoplásticos.....	22
2.3.6.2 Termoestables.....	25
2.3.6.3 Elastómeros.....	26
2.3.7 Defectos más comunes.....	26
2.3.7.1 Rechupes.....	26
2.3.7.2 Rebaba.....	27
2.3.7.3 Marcas hundidas y huecos.....	28
2.3.7.4 Líneas de soldadura.....	28

2.3.7.5 Zona mate cerca del punto de colada.....	29
2.3.7.6 Estrías (estrías quemadas, estrías de oxidación, vetas en el material).....	29
2.3.7.7 Ráfagas.....	29
2.3.7.9 Líneas de flujo.....	30
2.3.7.10 Efecto “jetting”.....	30
2.3.7.11 Efecto “Diesel”.....	31
2.3.7.12 Delaminación de las capas.....	31
2.3.7.13 Efecto stick-slip.....	32
2.3.7.14 Grietas o microgrietas.....	32
2.3.7.15 Grietas de tensiones.....	33
2.3.7.16 Falta de llenado completo del molde.....	33
2.3.7.17 Marcas del expulsor o de la expulsión.....	34
2.3.7.18 Deformación de la expulsión.....	35
2.3.7.19 Deformación o alabeo.....	35
2.3.7.20 Material frío.....	36
2.3.7.22 Aire atrapado, burbujas y huecos.....	36
2.3.7.23 Manchas negras.....	37
2.3.7.24 Gránulos de materia no fundida.....	38
2.3.7.25 Compactación excesiva.....	38
2.3.8 Variables a tener en cuenta.....	39
2.3.8.1 Temperatura de inyección.....	39
2.3.8.2 Temperatura del molde.....	39
2.3.8.3 Distancia de carga.....	39
2.3.8.4 Tiempo de inyección.....	39
2.3.8.5 Tiempo de mantenimiento/compactación.....	40
2.3.8.6 Tiempo de enfriamiento.....	40
2.3.8.7 Tiempo de plastificación.....	40
2.3.8.8 Tiempos de ciclo.....	40
2.3.8.9 Presión de inyección.....	41
2.3.8.10 Presión de mantenimiento.....	41
2.3.8.11 Compresión/Contrapresión.....	41
2.4 Bibliografía.....	42
2.4.1 Página web.....	42
2.4.2 Referencias.....	42
2.4.3 Normas.....	42

## 2.1 Objeto

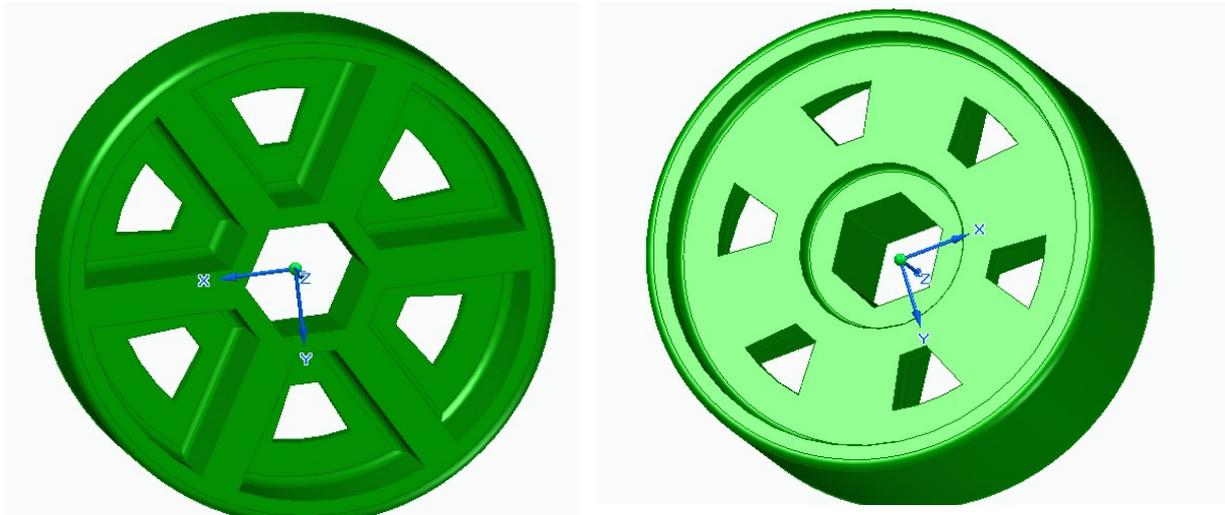


Figura 1: Rueda de juguete

La pieza a fabricar se trata de una rueda para un coche de juguete con el termoplástico polipropileno (PP), ya que es una de las más utilizadas en este producto.

Al ser una pieza hecha de plástico, se ha optado por realizar un moldeo por inyección.

## 2.2 Alcance

Se definen 3 fases para la realización del proyecto:

- 1) Diseño de la pieza según los requisitos del cliente.
- 2) Realización de los análisis mediante el programa *Moldflow*.

Este programa permite obtener datos como la tiempo de inyección, calidad, tiempo de llenado etc. Mediante estos resultados se podrá diseñar el tipo y la disposición de la refrigeración e inyección. Además, se calcularán tanto el tiempo de llenado como el tiempo de refrigeración, que permitirá el cálculo estimado del tiempo de ciclo.

- 3) Finalmente, se realiza el propio diseño del molde y con ello todos los planos necesarios para la fabricación de las partes no comerciales así como su obtención mediante los programas *NX Unigraphics* y *CATIA*.

## 2.3 Antecedentes

### 2.3.1 Moldeo por inyección

Este proceso consiste en inyectar un polímero fundido en un molde cerrado a presión, teniendo en cuenta una serie de variables. Una vez enfriado y solidificado el material, la pieza será expulsada del molde. Es un proceso físico (la composición química no varía) y reversible (el termoplástico tiene las mismas características tanto al principio como al final del proceso).

Las máquinas de moldeo de la actualidad han sufrido cambios debido a la demanda de los productos con diferentes características geométricas, polímeros y colores. Como consecuencia, ha permitido obtener piezas de nuevos materiales y la posibilidad de realizar nuevos productos con un costo menor y menores tiempos de inyección, bajas temperaturas y ciclo de

moldeo corto. Al aparecer nuevos materiales, aparecían nuevas máquinas que producirían todo tipo de piezas con mayor calidad, reduciendo el trabajos postmoldeo, abaratando los precios y reduciendo tiempos.

### 2.3.2 Procesos de inyección

Se deben considerar 3 condiciones termodinámicas: temperatura del procesamiento, capacidad calorífica y calor latente de fusión del polímero.

El proceso de fusión, gracias al calentamiento y fricción (este último, junto a los esfuerzos cortantes, son básicos para una fusión eficiente, ya que los polímeros no son buenos conductores del calor) del polímero en la cámara y el husillo permite aumentar la temperatura de este. Tanto la temperatura como la velocidad corte deben ser ajustados durante el proceso.

La mayoría de plásticos, con algunas excepciones, pueden emplearse en las mismas máquinas. La unidad de inyección es una máquina de extrusión con un solo husillo, teniendo la cámara calentadores y sensores para mantener la temperatura constante.

Una diferencia fundamental comparada con el proceso de extrusión es que durante la dosificación el husillo retrocede transportando el material hacia la parte cámara donde se acumula el polímero fundido para ser inyectado. Se debe tener en cuenta las relaciones de PvT (Presión, volumen, temperatura), que ayudan a entender cómo se comporta un polímero al fundirse.

Las características fundamentales del proceso son:

- A) Producción de la pieza en una sola etapa
- B) Poco o nada de trabajo sobre la pieza final, obteniéndose gran calidad de pieza.
- C) Proceso automatizable
- D) Condiciones de fabricación fáciles de reproducir

Para nuestro caso, se han de tener en cuenta las siguientes restricciones:

- A) Dimensiones reproducibles y de acuerdo a unos valores determinados, lo que implicará minimizar las contracciones.
- B) La pieza deberá resistir las condiciones de uso a las que esté destinada durante su tiempo de vida.
- C) Rechupes y peso de la pieza.
- D) Minimizar tiempo de ciclo para aumentar la producción.
- E) Disminuir el coste energético y como consecuencia reducir el coste de producción.

### 2.3.3 Métodos de fabricación de plásticos

En este apartado, se recogerán muchos de los procesos que se pueden realizar en mediante el moldeo.

#### 2.3.3.1 Moldeo por extrusión

Proceso, también empleado en metales, en el cual el material es transportado desde la tolva hasta la boca de descarga, atravesando la cámara de calentamiento, de forma continua. El requisito más importante es la viscosidad del material.

El producto obtendrá diferentes formas dependiendo de la forma de la matriz, y a medida que fluye el producto extruido se va cortando para obtener longitudes deseadas. Es un proceso muy empleado en termoplásticos y elastómeros.

El primer paso consiste en fundir el material mediante temperatura y fricción, dándole la forma deseada. La función de la extrusora es transformar la masa fundida y hacerla pasar por la matriz.

En uno de los extremos se tiene una tolva de forma cónica para la entrada de materia. Además, consta de un motor y un sistema de regulación de velocidad que permite hacer funcionar el husillo. En la punta del tornillo se tiene la salida del material y la matriz que da forma a la materia.

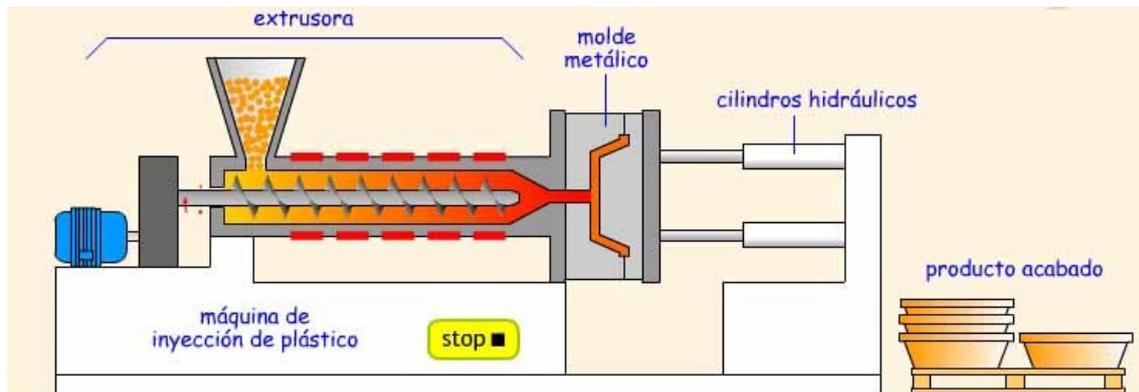


Figura 2: Diagrama de una máquina extrusora

- **Tolva:** el material se suministra en forma de granulo e introducido mediante la fuerza de gravedad y un mecanismo vibratorio.
- **Husillo/Tornillo:** entre sus funciones, se encuentra la carga de material, transporte, fusión y homogenización.
- **Cilindro/Barril:** es el elemento que contiene al husillo extrusor.
- **Sistemas de calentamiento y refrigeración:** están repartidos en diferentes zonas. Normalmente, se emplean bandas calefactoras eléctricas, aunque se pueden usar otros sistemas de refrigeración como por ejemplo husillos refrigerados.

#### 2.3.3.2 Moldeo por soplado

Este proceso consiste en inyectar aire en el interior de un molde para que el material adopte la forma del mismo. Una vez enfriada la pieza, se abre el molde y se obtiene la pieza una vez que adquiere suficiente consistencia.

Este metodo tiene varias ventajas comparado con otros metodos: permite contrasalidas, posibilidad de variar el espesor de las paredes y bajas tensiones residuales. Además, permite obtener producciones de gran volumen a buen precio. Por otra parte, al emplear plásticos de

alto peso molecular (comparando con la inyección), se obtienen paredes más delgadas y resistentes, y mejor comportamiento frente a productos químicos.

El proceso consiste en 4 pasos:

1. Fabricación preforma
2. Cierre del molde
3. Soplado
4. Apertura del molde y extracción de la pieza

Los materiales más empleados son el polietileno (sobre todo los de alta densidad y peso molecular). No obstante, también se emplean PP, PVC y PET. En cuanto a las aplicaciones de este proceso, se encuentran la fabricación de botellas de plástico, envases...

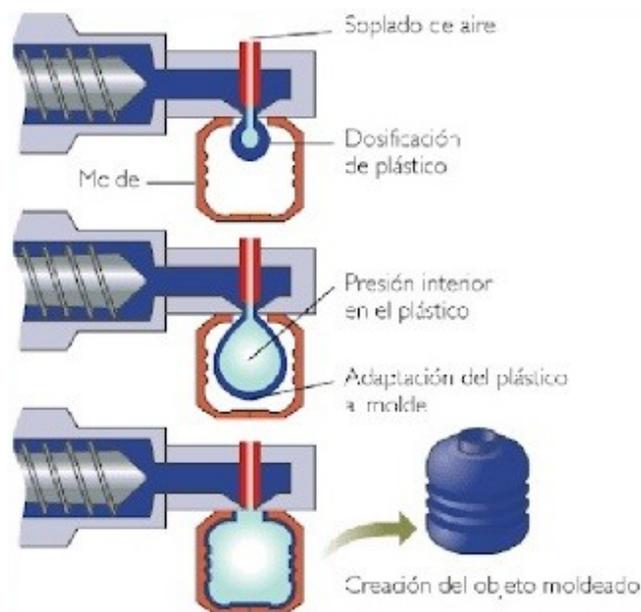


Figura 3: Diagrama moldeo por soplado

### 2.3.3.3 Moldeo por transferencia

Proceso a partir del moldeo por compresión en el cual el material se introduce dentro de la cavidad de un molde mediante presión. De esta manera al cerrar dicho molde, el compuesto se transfiere hasta las otras cavidades a través de diferentes canales. Como se observa en la imagen, es un proceso intermedio entre inyección y compresión.

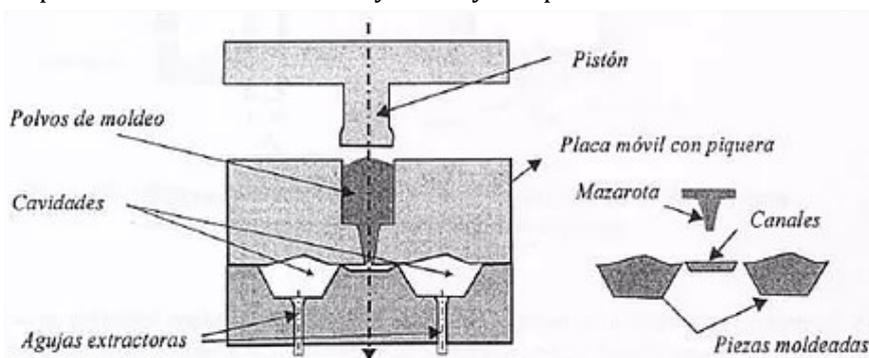


Figura 4: Diagrama moldeo por transferencia

Comparado con el moldeo por compresión, el flujo del material a través del molde es más complejo, los moldes sufren más abrasión (mantenimiento más costoso), equipos más complejos y caros y por último el material residente en los canales no se puede volver a reutilizar.

**Ventajas y desventajas del proceso respecto a la compresión y la inyección**

Ventajas	Desventajas
Producto con mejor consistencia que el moldeo por compresión, lo que permite una más estricta tolerancia y piezas más intrincadas	Mayor material de residuo que el moldeo por compresión
Producción superior a la velocidad de moldeo por compresión	La velocidad de producción es más baja que el moldeo por inyección
Tiempo de preparación rápida y costos de instalación menores que el moldeo por inyección	La complejidad de las piezas obtenidas es inferior que el moldeo por inyección
Menores costos de mantenimiento que el moldeo por inyección	Costos mayores en maquinaria y tecnología que el moldeo por compresión
Ideal para piezas de plástico con inserciones de metal	Se moldean tanto termoestables como termoplásticos a diferencia del moldeo por inyección

*Figura 5: Ventajas y desventajas del moldeo por transferencia*

**Pasos del proceso**

Teniendo una cantidad de material precalentado, esta se carga en una cámara cerca de una cavidad del molde en la cual se calienta. Posteriormente se aplica presión mediante un pistón hidráulico, permitiendo al polímero fluir a través de un canal llamado bebedero, dentro del molde caliente.

Teniendo en cuenta el material y el tamaño de la pieza, se empuja el material a través de los canales de alimentación con una determinada fuerza y tiempo. El molde se mantiene caliente y cerrado hasta que la pieza final se enfría. Finalmente, el molde se abre y mediante unos pernos se expulsa la pieza.

**Materiales empleados**

Aunque también se emplean termoplásticos, la mayoría de materiales utilizados son termoestables, entre los más comunes: resinas epoxi, resinas poliéster insaturadas, resinas viniléster, resinas fenolformaldehído.

**2.3.3.4 Moldeo por compresión**

Es un proceso en el cual se coloca cierta cantidad de material precalentado en un molde abierto. A continuación se aplica calor y presión mediante una prensa hidráulica, forzando al material a entrar en el molde, manteniendo dicha presión y calor hasta que el material se haya solidificado. Finalmente, la prensa retrocede y mediante unos eyectores en el fondo del molde se expulsa la pieza fuera del mismo.

**Materiales empleados**

Se emplean resinas termoestables (en forma de granulos, masilla o preformas). Los compuestos termoplásticos (en menor medida) también pueden ser moldeados por compresión con refuerzos de cintas unidireccionales, tejidos etc.. Los materiales que se usan normalmente son: resinas SMC/BMC, PAI, PA, PPS, entre otros.

### Ventajas del método

- Adecuado para piezas complejas, grandes, de alta resistencia con refuerzos de fibra de vidrio.
- Bajo costo comparado con el moldeo en inyección y transferencia.
- Poco material desperdiciado.

### Desventajas del método

- Puede dar lugar a piezas de baja consistencia
- Dificultad en el acabado

### Aplicaciones

- Reemplazo de metales
- Piezas grandes planas o de forma levemente curvas.
- Piezas de automóviles: cubiertas, cucharones, spoilers, así como pequeñas piezas más complejas.

### Factores a tener en cuenta

- Cantidad de material.
- Cantidad mínima de energía para calentar el material.
- Tiempo mínimo para calentar el material.
- Fuerza necesaria para asegurar que el material alcance la forma adecuada.
- Diseño de molde para un enfriamiento rápido después de que el material ha sido comprimido en el molde.

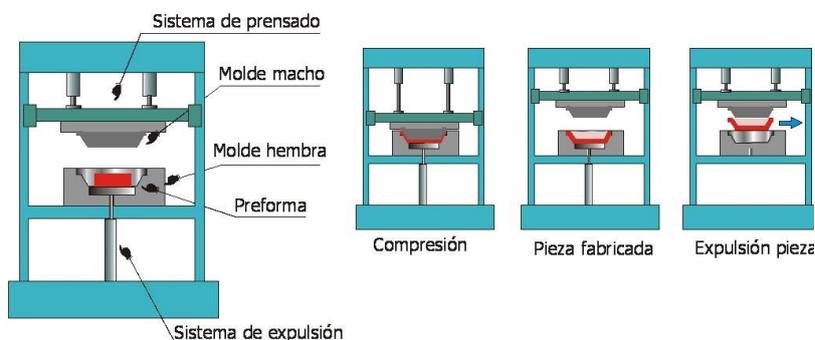


Figura 6: Diagrama del moldeo por compresión

### 2.3.3.5 Moldeo por inyección

Este proceso consiste en calentar un material plástico que viene en forma de gránulo o polvo, para transformarlo en una masa fundida en un cilindro llamado cilindro de plastificación, dentro del cual la función principal la realiza el husillo. De esta manera, se inyecta en la cavidad del molde.

Una vez finalizado el ciclo del proceso, se expulsa la pieza final y se vuelve a reiniciar el ciclo de nuevo. Más adelante en el proyecto se indicarán tanto el ciclo como la maquinaria que se emplea en este proceso de moldeo.

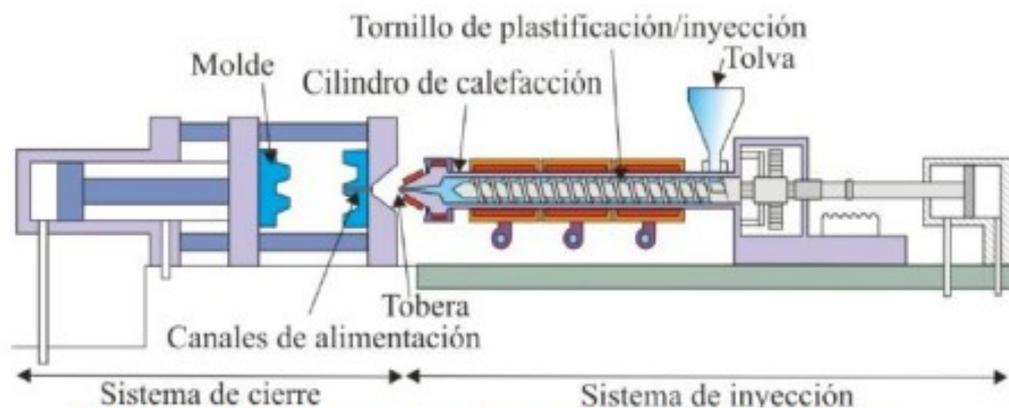


Figura 7: Diagrama del moldeo por inyección

### 2.3.3.6 Moldeo rotacional

Es un proceso en el cual se emplea un molde rotatorio para fabricar piezas de gran tamaño, generalmente huecas. Se emplean materiales termoplásticos aunque se pueden utilizar termoestables y elastómeros.

En cuanto al proceso, se introduce el material en forma de polvo dentro del molde. Después, se calienta y se gira el molde al mismo tiempo, produciendo una fuerza centrífuga que hace que el material se adhiera a las paredes del molde. El resultado son piezas de espesor uniforme. Entre sus aplicaciones se encuentran: contenedores de basura, cascos de barco, cajas de transporte o tanques de almacenamiento.

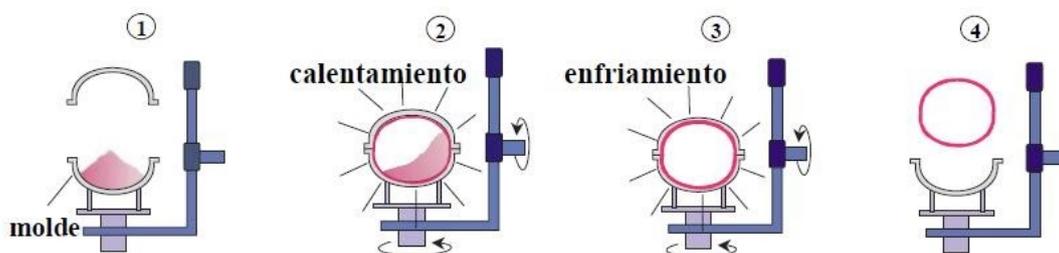


Figura 8: Diagrama del moldeo rotacional

### 2.3.3.7 Calandrado

Proceso donde un material (en forma de gránulos o lámina/masa gruesa) se presiona mediante dos o más rodillos contrarrotantes pulidos a espejo calentados. Se utiliza en la fabricación continua de lámina y requiere un control en las temperaturas de los rodillos, presión y velocidad de rotación.

Para producir la lámina delgada, se emplean rodillos con reducción gradual en la separación de los mismos a medida que el material avanza en la unidad.

#### Etapas del calandrado

- 1) Mezclado de materias primas
- 2) Plastificación y alimentación de calandra
- 3) Calandrado y post-tratamiento
- 4) Rodillos de templado y enfriamiento
- 5) Enrollado automático de doble o triple torreta (incluyendo cambios y corte)

Entre los productos más habituales que se fabrican mediante este tipo de proceso están las cortinas de los baños, recubrimientos elastómericos para ropa o juguetes.

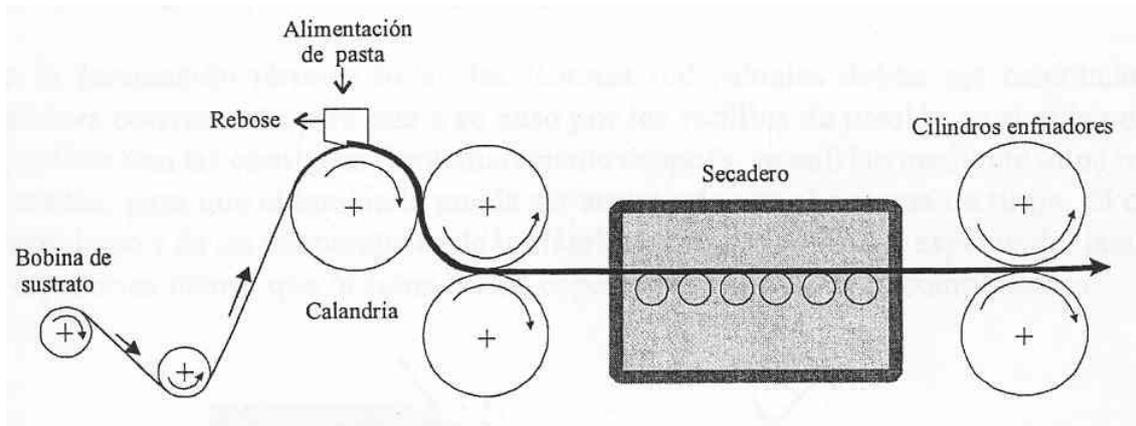


Figura 9: Diagrama del calandrado

### 2.3.3.7 Moldeo por fundición

Consiste en una serie de operaciones mediante las cuales se obtiene un hueco o molde con arena, metal o material refractario, que reproduce la forma de la pieza que se desea fabricar, donde se vierte el metal fundido dejándole enfriar hasta solidificar completamente.

#### Materiales empleados y aplicaciones

Es un proceso que puede conformar materiales termoplásticos como termoestables. Entre los materiales más empleados están: acrílicos, poliamidas, poliestireno, resinas epoxi etc.

Este método se aplica en engranajes, cojinetes, ruedas (es decir, en piezas que tengan desgaste abrasivo).

### 2.3.4 Maquinaria moldeo por inyección

Una vez definidos los parámetros y geometría de la pieza, en este apartado se van a observar las diferentes partes de la máquina, así como las etapas del moldeo y principales aplicaciones.

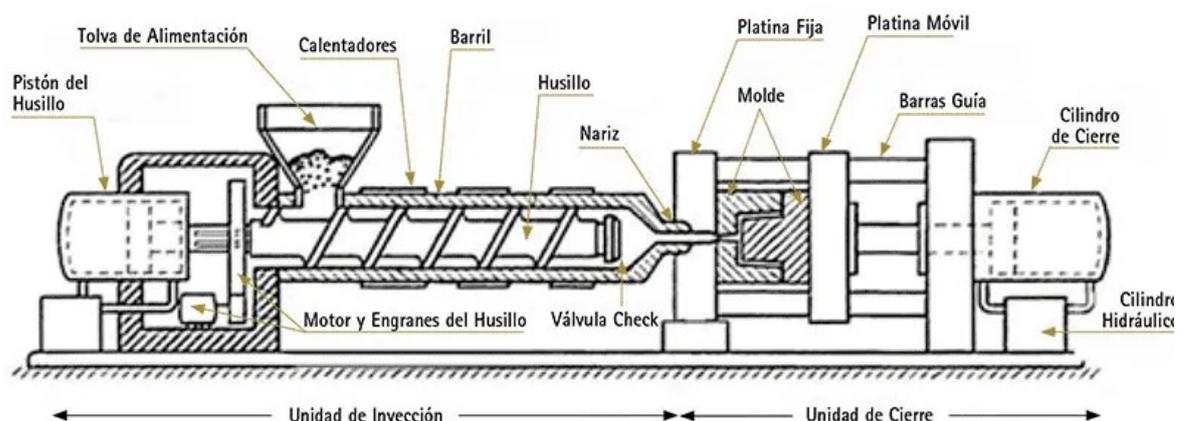


Figura 10: Máquina de inyección

Lás máquinas de inyección por moldeo contienen los siguientes módulos:

- Unidad de plastificación: plastifica e inyecta el material fundido
- Unidad de cierre: soporta, abre y cierra el molde, además de contar con el sistema de expulsión.
- Unidad de control: establece, monitoriza y controla todos los parámetros del proceso como tiempos, temperaturas, presiones y velocidades.
- Unidad de potencia: suministra la potencia necesaria para el funcionamiento de la unidad de inyección y de la unidad de cierre.

#### 2.3.4.1 Unidad de cierre

La unidad de cierre del molde es el componente de la máquina cuya función principal es soportar el molde: cierra y abre el molde, lo mantiene cerrado durante la inyección y cuando el molde se abre, expulsa la pieza moldeada.

Si la fuerza de cierre es insuficiente el molde tenderá a abrirse y el material escapará por la unión del molde. Es común utilizar el área proyectada de una pieza (área que representa perpendicularmente a la unidad de cierre el total de la cavidad) para determinar la fuerza de cierre, excluyendo posibles huecos o agujeros de la pieza. Para un cálculo preliminar se puede emplear el área del disco como el área proyectada o bien el propio área proyectada.

$$F=Pm \times Ap$$

F: Fuerza (N)

Pm: Presión media (Pa)

Ap: Área proyectada (m<sup>2</sup>)

#### 2.3.4.2 Unidad plastificación

La unidad de inyección realiza las funciones de cargar y plastificar el material sólido mediante el giro del tornillo, mover el tornillo para inyectar el material plastificado hacia las cavidades del molde y mantenerlo bajo presión hasta que sea expulsado. El tornillo además de girar para fundir el plástico, se mueve de manera axial para actuar como pistón durante el proceso de inyección.

La unidad de inyección consiste en un barril de acero capaz de soportar altas presiones. Este cilindro va cubierto por bandas calefactores para calentar y ayudar a fundir el material mientras avanza por el tornillo. Consta además de una unidad hidráulica que es la que transmite el movimiento lineal al husillo.

##### 2.3.4.2.1 Tolva de alimentación

Se trata de un contenedor de forma cónica, en el cual se vierten la resina en forma de gránulos, que a su vez lo alimenta al husillo dentro del barril. Generalmente, el material se alimenta por gravedad dentro de la zona de alimentación del barril.

Este elemento está conectado a un equipo auxiliar que proporciona las condiciones especificadas por el fabricante de la resina para obtener los óptimos resultados de procesamiento. Dependiendo del material a inyectar será necesario secarlo antes de introducirlo al cañón o barril de inyección a través de una tolva secadora especial.

El material posee carga electrostática debido a procesos como secados, mezclados etc. Esta situación puede causar la aparición de suciedades dentro de la fábrica, como pueden ser ceniza o polvo en suspensión, afectando a la calidad de la pieza. Como consecuencia, la tolva se encontrará cerrada y solo será destapará para ser rellenada de material.

#### 2.3.4.2.2 Barril/Cilindro de inyección

Se trata de un cilindro hueco de acero aleado dentro del cual se encuentran tanto el husillo como las bandas calefactoras por la parte exterior. Consistirán en la base de la unidad inyectora y soportará las cargas generadas debido a la presión de inyección en el husillo

Sobre el barril van montadas las bandas calefactoras, cuya función principal es mantener la temperatura del fundido y poder compensar las pérdidas de calor.

#### 2.3.4.2.3 Husillo

Se trata de un tornillo ubicado dentro del barril que facilita el movimiento del material. Su función es recibir el plástico, fundirlo, mezclarlo y alimentarlo a la zona delantera para que posteriormente se realice la inyección. Este tornillo suele fabricarse con materiales duros, pulidos y cromados.

Debido a su mala conductividad térmica, este elemento transmite la energía mecánica de rotación al friccionar con el plástico en energía calorífica. Como consecuencia, permitirá la plastificación.

#### 2.3.4.2.4 Válvula antirretorno

Su función es dejar pasar el material libremente desde el husillo a la cámara de fundido durante el proceso de dosificación y evitar que el material fundido regrese hacia los filetes del husillo durante el proceso de inyección.

El correcto funcionamiento de esta válvula es esencial para tener un proceso estable, ya que si se tienen fugas de material de la cámara de dosificación hacia los filetes del husillo, se tendrá una variación considerable en el volumen inyectado al molde, produciendo burbujas en la pieza o llenado incompleto

#### 2.3.4.2.5 Boquilla de inyección

Es la punta de la unidad de plastificación y proporciona la conexión entre el barril y el molde con una mínima pérdida de presión o dicho de otra forma, conecta la zona de plastificación con el bebedero donde comenzará la colada. La punta alinea la boquilla y el anillo de retención.

#### 2.3.4.2.6 Sistemas de calefacción

Formado por varias bandas calefactoras o resistencias independientes unas de otras, que permite ir regulando la temperatura del material permitiendo llegar en condiciones óptimas al final del cilindro.

### 2.3.4.3 Unidad de potencia

Es el sistema que suministra la potencia necesaria para el funcionamiento de la unidad de inyección y de la unidad de cierre. Los principales tipos de sistemas de potencia son:

**Sistema de potencia eléctrico:** se utiliza generalmente en máquinas relativamente pequeñas. Se emplea tanto para el giro del tornillo como para la apertura y cierre del molde. La máquina emplea dos sistemas mecánicos de engranajes y palancas acodadas, uno para el cierre del molde y otro para el tornillo (ejecutado por un cilindro hidráulico), cada uno accionado por un motor eléctrico independiente. En este tipo de sistemas la velocidad puede ajustarse sólo en un determinado número de valores, lo cual puede ocasionar problemas en la reproducción de parámetros de operación y dificultar la obtención de piezas con una calidad constante.

**Sistema de potencia hidráulico:** transforma la potencia hidráulica del fluido en potencia mecánica. Emplean tuberías de conducción que llevan el fluido a presión a los pistones de inyección y de cierre del molde. El fluido más utilizado es el aceite debido a sus propiedades lubricantes.

Las ventajas del motor hidráulico con respecto al eléctrico son:

- Fácil variación de velocidades.
- La relación entre el torque y la velocidad es aproximadamente lineal.
- Permite arranques y paradas rápidas debido al pequeño momento de inercia.
- Permite relaciones bajas de peso potencia, lo que posibilita alcanzar altas velocidades de inyección del material.

### 2.3.4.4 Unidad de control

Este sistema básicamente contiene un controlador lógico programable (PLC) y controladores proporcional integral derivativo (PID) para las resistencias eléctricas del barril y de la boquilla.

El PLC permite programar la secuencia del ciclo de inyección y recibe señales de alarma, por sobrepresión o finales de carrera, para detener el ciclo.

Los controladores PID son los más adecuados para el control de temperatura debido a su elevada velocidad de respuesta para mantener la temperatura a los niveles requeridos.

### 2.3.4.5 Sistema de expulsión

Una vez finalizado el ciclo, se abrirá el molde para extraer la pieza. No obstante, la pieza suele quedar pegada al núcleo del molde, por lo que es necesario instalar este sistema. Este sistema está formado por diferentes elementos que constituirán el cuerpo del molde de inyección

### 2.3.5 Ciclo/Proceso de inyección

El proceso de inyección es un proceso en el cual se deberán controlar varios parámetros como: revoluciones del husillo, material, tamaño husillo, temperatura del cilindro etc.

El proceso de inyección sigue las siguientes etapas de forma cíclica:

1. Cierre del molde
2. Inyección (Fase de llenado + Fase de mantenimiento)
3. Plastificación/dosificación
4. Apertura del molde y expulsión de la pieza
5. Enfriamiento de la pieza

#### 2.3.5.1 Cierre del molde

Se cierra el molde vacío mientras se tiene lista la cantidad de material fundido para inyectar dentro del barril. El molde se cierra en tres pasos: primero con alta velocidad y baja presión, luego se disminuye la velocidad y se mantiene la baja presión hasta que las dos partes del molde hacen contacto, finalmente se aplica la presión necesaria para alcanzar la fuerza de cierre requerida.

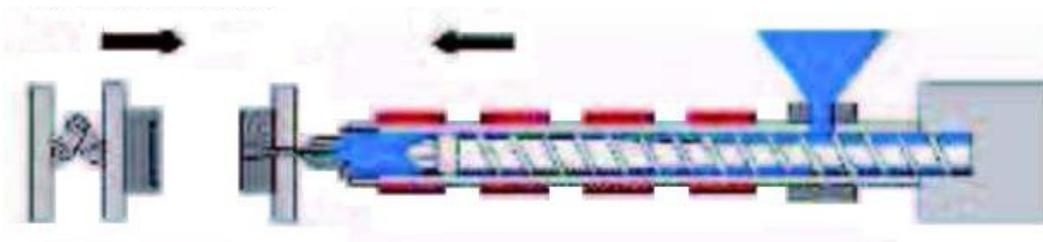


Figura 11: Cierre del molde

#### 2.3.5.2 Inyección

Se dan dos casos: fase de inyección y fase de compactación

##### 2.3.5.2.1 Fase de Inyección

Una vez cerrado el molde y aplicada la fuerza de cierre con el material ya fundido y homogeneizado ubicada en la cámara de inyección, se inicia la fase de llenado del molde. El husillo inyecta el material fundido dentro del molde a una presión elevada. La duración varía en función de la cantidad de material a inyectar y de las características del proceso. Variables a tener en cuenta:

- Velocidad de inyección
- Presión de inyección
- Temperatura del material

La unidad de cierre une las dos mitades del molde mediante una fuerza la cual permite que este se cierre de forma hermética. Los sistemas hidráulicos, además de ejercer grandes fuerzas en esta fase, deben mantener la fuerza de cierre e inyectar el material dentro del molde a una presión elevada y precisa, superando así la resistencia de la boquilla y la del propio molde. No

obstante, si la presión de inyección dentro del molde es mayor que la fuerza de cierre, el molde tenderá a abrirse.

Una vez inyectado el material dentro del molde, el material se solidifica, se enfría y se expulsa.



Figura 12: Llenado y mantenimiento

#### 2.3.5.2.2 Fase de Compactación

Debido a la contracción que sufre el material dentro del molde mientras se enfría, es necesario añadir más material del que se requiere para la pieza normal. En esta fase, la presión interior de la pieza irá disminuyendo mientras el material se va enfriando. De esta forma, la velocidad de inyección del tornillo será baja, permitiendo que las contracciones del material se compensen.

Una vez finalizada la presión, se puede dar por finalizado el proceso. Esta fase será fundamental para características como el peso total, tolerancias dimensionales e internas. Las variables claves en este proceso son:

- Temperatura del molde
- Nivel de presión de mantenimiento
- Tiempo de mantenimiento

Esta última variable dependerá del material y el grosor de la pieza final. Cuando el tiempo de mantenimiento es correcto, se obtienen piezas de compactación adecuada, estabilidad dimensional, ausencia de deformaciones y buenas propiedades mecánicas.

#### 2.3.5.2.3 Sistemas de inyección

Sistema mediante el cual se podrá inyectar el material fundido dentro de la cavidad del molde. Cuando el material fundido entra en contacto con el molde, este al estar a menos temperatura forma una película solidificada. Como resultado, esta película actuará como aislante térmico y mantiene el núcleo a temperaturas óptimas para el llenado. Dicho núcleo debe conservarse sin plastificar hasta que la pieza solidifique. De esta forma se consigue una perfecta presión que permitirá compensar la contracción volumétrica que ocurre en la solidificación.

Se pueden diferenciar tres partes: bebedero, cono de colada y entradas del material.

##### 2.3.5.2.3.1 Bebedero

Elemento que permite la conexión entre el molde y la boquilla de inyección de la máquina. Conduce el material fundido desde la boquilla hasta el interior del molde donde se encuentran los canales.

Por general, este hueco además de contener un ángulo de conicidad de entrada, tiene una forma circular y su diámetro depende de los parámetros geométricos de la pieza a moldear.

### 2.3.5.2.3.2 Cono de colada/Canal de alimentación

Consisten en los huecos en la cavidad que permiten que el material se transfiera desde la boquilla hasta la pieza final. Se tratará de conseguir que estos canales sean lo más simétricos posibles, para que la distribución de fuerzas sea lo más correcta posible en la cavidad y en el núcleo.

Por otra parte, se deberá lograr que las piezas se llenen al mismo tiempo, de modo que se enfríen la mismo tiempo y acortar el ciclo al disminuir la temperatura a lo largo de la coldada.

Además, otros factores fundamentales son la elección, disposición y realización de los propios canales para las correctas operaciones del moldeo. Se suele tener una sección transversal que permita fluir correctamente el material y una longitud lo más pequeña posible para reducir caídas de presión, resistencia al flujo y pérdidas de calor.

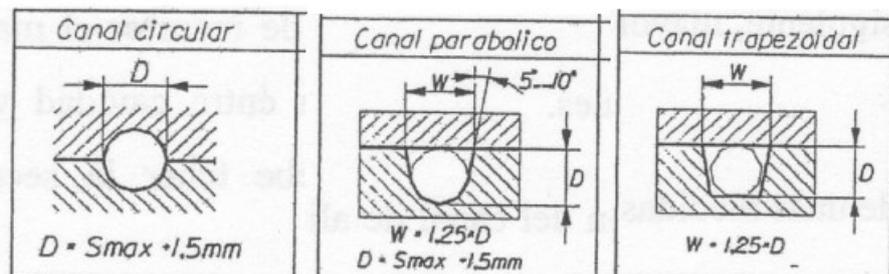


Figura 13 : Geometrías transversales

### 2.3.5.2.3.3 Entradas del material

Elementos que unen las piezas a fabricar con los canales de distribución antes mencionados. En su extremo tiene que ser lo más finas posible para que no queden marcas en la pieza y no provoque un estrangulamiento del material, ya que eso produciría un mal acabado superficial en la zona de inyección de la pieza.

Por otro lado, una mala elección de la localización del punto de inyección provocaría un aumento de las imperfecciones, incluso llegando a ocurrir faltas de llenado de las piezas. La entrada puede tener diferentes configuraciones, y su forma y tamaño depende de los siguientes factores:

PIEZA A MOLDEAR	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Geometría</li> <li>- Espesor de las paredes</li> <li>- Dirección de los esfuerzos</li> <li>- Calidad exigida respecto a dimensiones, mecánica, visual</li> <li>- Relación long. flujo/espesor de las paredes</li> </ul>
MATERIAL A MOLDEAR	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Viscosidad</li> <li>- Temperatura</li> <li>- Características del flujo</li> <li>- Contracción</li> <li>- Cargas</li> </ul>
GENERALIDADES	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alabeo</li> <li>- Línea de soldadura</li> <li>- Facilidad de desmoldeo</li> <li>- Separación de la pieza inyectada</li> <li>- Costes de fabricación</li> </ul>

Figura 14: Llenado y mantenimiento

### 2.3.5.2.4 Diagrama Termodinámico

Este diagrama depende de cada material y se realizan mediante ensayos experimentales en los laboratorios. Las variables a tener en cuenta son:

- Presión que actúa sobre el material polímero (P).
- Volumen específico del material ( $v=1/\rho$ ).
- Temperatura a lo largo del ciclo (T)

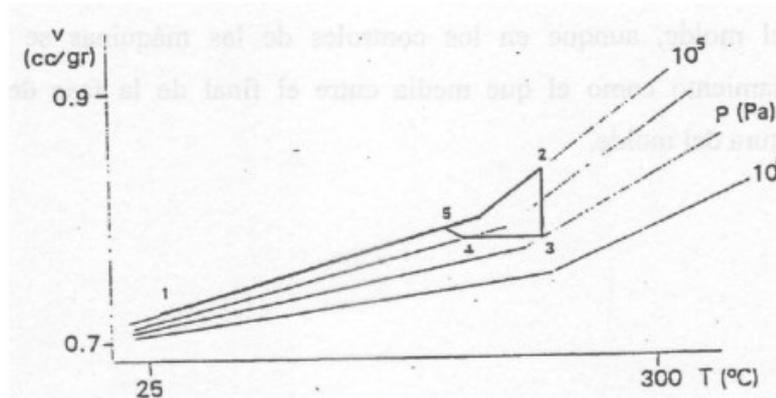


Figura 15: Diagrama Termodinámico P,v,T

Se estudiará el cambio entre fases desde el punto inicial hasta la llegada a la tolva.

#### **Fase 1-2**

En esta primera fase se produce desde el punto de alimentación de la máquina hasta la zona previa a la inyección. Se produce la plastificación del material mediante un cambio de  $T^a$  ambiente a  $T^a$  de inyección. Se puede considerar como un proceso isobárico, aunque se da una ligera aplicación de presión sobre el material.

La temperatura y el volumen específico del material irá aumentando según avanza en su recorrido, además de que su viscosidad alcanzará el punto óptimo en el punto de inyección.

#### **Fase 2-3**

Coincide con la primera etapa del proceso de inyección (llenado del molde y presurización). Inicia en la zona de espera de la unidad de inyección y se suministra el material a una velocidad alta con el objetivo de llegar a los extremos de la cavidad.

Por lo tanto, se tratará de inyectar el material a velocidades altas, pero como consecuencia aparecerá una caída de presión en el molde desde la boquilla hasta el último punto de llenado del molde.

Aunque se produce una pequeña variación de temperatura, se puede considerar este proceso como isoterma. Si se tiene una inyección demasiado rápida, la colocación del punto 3 se situará hacia la derecha debido a que se produce calor por rozamiento y en cambio si es demasiado lenta, el punto 3 se situará a la izquierda.

### **Fase 3-4**

Coincide con la segunda etapa de la inyección (mantenimiento de la inyección). Esto permite solucionar dos problemas:

- Evitar el contrareflujo del material hacia la cámara de inyección.
- Es necesario inyectar material fundido de más debido al fenómeno de la contracción al enfriarse la pieza y por tanto su disminución de volumen.

Esta presión se mantendrá hasta el punto 4 (mientras el material no haya solidificado).

El proceso ideal sería aquella donde la pieza se enfriase de forma progresiva desde el último punto en ser llenado hasta la entrada, siendo esta zona la última en solidifica.

### **Fase 4-5**

Coincide con la última fase de inyección (enfriamiento del material). La temperatura disminuye desde el punto de inyección y continua una vez expulsada la pieza. En este caso se aplica una presión decreciente en la máquina de inyección en esta fase de enfriamiento.

El punto 5 coincide con el momento de expulsión de la pieza, donde la presión es la atmosférica y será donde se defina el valor de contracción postmoldeo.

#### **2.3.5.3 Plastificación y dosificación**

Sucede de forma paralela a la etapa de enfriamiento. Después de aplicar la presión de mantenimiento, el husillo gira de tal forma que el material va avanzando desde la tolva hasta la cámara de inyección, homogeneizándose tanto la temperatura como su grado de mezcla. Debido a la acumulación del material en la zona delantera, el husillo sufre un retroceso a medida que transporta material y finaliza cuando llega a una posición concreta. A partir de este momento, se puede realizar la inyección de la siguiente pieza. Factores importantes a tener en cuenta:

- Velocidad de giro del husillo
- Contrapresión
- Succión

La velocidad de giro del husillo dependerá del diámetro y viscosidad del material. Un tiempo de carga demasiado largo provoca una masa fundida homogénea, y una velocidad demasiado alta genera infundidos y una homogenización insuficiente del material dentro del cilindro.

La contrapresión garantiza una adecuada plastificación y homogenización del material, así como frenar el retroceso del husillo en la etapa de plastificación. A mayor contrapresión, mayor tiempo de plastificación y compresión, y por lo tanto la cantidad de material acumulado y la temperatura de la masa fundida. Por otra parte, a menor contrapresión produce piezas inconsistentes e insuficiente homogeneización.

Por último, la succión permite reducir el goteo del material. Normalmente, se emplea descompresiones pequeñas o nulas.

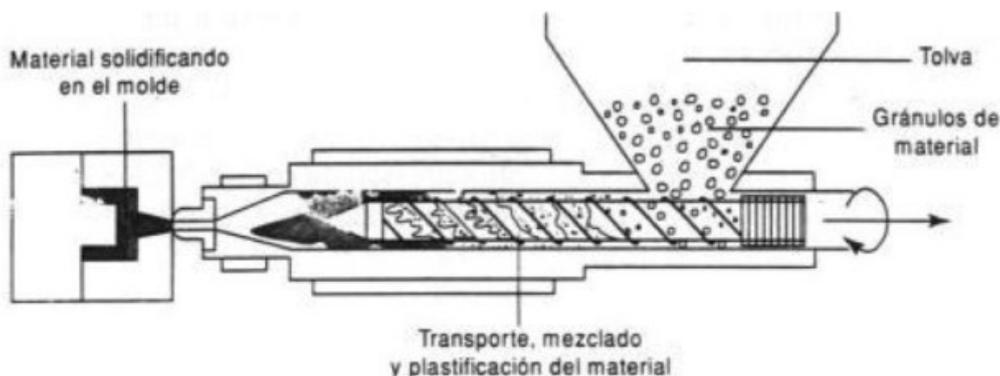


Figura 16 : Fase de plastificación y dosificación

#### 2.3.5.4 Apertura del molde y expulsión

Cuando el material de la pieza ha alcanzado la temperatura de extracción, el molde se abre y se expulsa la pieza de su interior para reiniciar el ciclo de inyección.

Para la apertura del molde, la colada queda alojada dentro de la parte móvil y el propio sistema de cierre acciona la placa expulsora, empujando la placa porta-expulsores que a su vez expulsa las piezas inyectadas. Estos expulsores son varillas comerciales que se alojan entre las dos placas antes mencionadas y para su diseño se deben realizar ensayos de resistencia a pandeo.

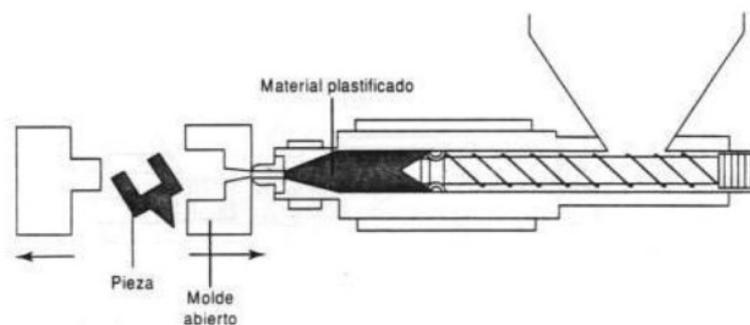


Figura 17 : Expulsión de la pieza

#### 2.3.5.5 Enfriamiento

El proceso empieza simultáneamente a la vez que la inyección y finaliza cuando la pieza alcanza la temperatura adecuada para su extracción. La variable más importante en este proceso es la temperatura del molde.

Los sistemas de refrigeración permiten realizar el enfriamiento y estos consisten en una serie de agujeros realizados en la placa de la cavidad del molde y de un diámetro concreto, que al ser colocados cerca de la colada y al circular agua a temperatura ambiente, permiten enfriar las piezas de manera más rápida posible con el objetivo de conseguir acortar el ciclo de inyección

Durante la fase de llenado y mantenimiento, el material dentro de la cavidad ya ha comenzado a solidificarse contra la pared del molde que está más fría. En cambio, el enfriamiento es más lento hacia el centro de la pieza ya 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.

El tiempo de enfriamiento depende del tipo de pieza que se enfría dentro del molde. No es necesario esperar que toda la pieza se enfríe hasta la temperatura de expulsión, es suficiente que estén frías las regiones externas de la pieza. Durante la fase de enfriamiento se prepara el material en la unidad de plastificación para la próxima inyección.

En términos generales se debe tener en cuenta los siguientes puntos:

- La diferencia de temperatura entre la entrada y la salida del circuito de refrigeración no debe ser superior a 5°C
- El sistema no debe tener excesivos ángulos rectos.
- Se debe tener en cuenta la distancia entre los conductos de refrigeración y la distancia a las piezas de manera que el agua de los conductos absorba el calor necesario.

## 2.3.6 Materiales plásticos

Existen tres grandes grupos de materiales plásticos. Los termoplásticos, termoestables y elastómeros, los cuales se describirán a continuación. Además, se explicarán algunos de los componentes más importantes de cada grupo

### 2.3.6.1 Termoplásticos

Cadenas ramificadas de polímeros que se encuentran unidos mediante fuerzas intermoleculares y al moldearse en caliente no sufren ninguna variación química. Mediante la acción del calor, estas resinas se funden y solidifican rápidamente por enfriamiento del aire o al contacto con el molde. No obstante, el calentamiento repetido puede producir degradación de la resina y la reducción de las propiedades.

A temperatura ambiente pueden ser blandos, duros y frágiles, incluso duros y tenaces. Sin embargo, al ser calentados se reblandecen, adquiriendo características de un líquido pastoso, lo que los hace óptimos para el moldeo. Sin embargo, no pueden ser utilizados a altas temperaturas. Entre sus propiedades se encuentran:

- Derretimiento antes de pasar a un estado gaseoso.
- Deformación plástica cuando son calentados.
- Solubles en ciertos solventes.
- Se hinchan ante la presencia de ciertos solventes.
- Buena resistencia a la fluencia.

#### 2.3.6.1.1 Acrílicos

##### Características y aplicaciones

Alta claridad óptica, excelente resistencia a la intemperie, duro, excelentes propiedades eléctricas, resistencia química aceptable y disponible en colores brillantes transparentes.

Entre sus aplicaciones se encuentra: lentes, claraboyas, acristalamiento de ventanas y mobiliario de baños.

##### Ventajas y desventajas

- Lenta ignición, buena resistencia a la intemperie y radiación UV y los altos valores de rigidez y resistencia al impacto.
- Bajo valor de resistencia frente a los disolventes: la posibilidad de aparición de grietas bajo tensión y que la temperatura en servicio está limitada a alrededor de 93 °C.

### 2.3.6.1.2 Acrilonitrilo butadieno estireno (ABS)

#### Características y aplicaciones

Gran tenacidad, incluso a baja temperatura. Además es duro y rígido, de resistencia química aceptable, baja absorción de agua y alta resistencia a la abrasión.

Entre sus aplicaciones: fabricación de componentes de automóvil, componentes de electrodomésticos, mangos, cubiertas y carcasas de aparatos debido a su buen acabado superficial.

#### Ventajas y desventajas

- Alto valor de resistencia al impacto con buena tenacidad y rigidez, buena adherencia, elevada resistencia a la corrosión y bajo nivel de absorción de humedad.
- Bajo nivel de resistencia frente a disolventes, sensibilidad al ataque de compuestos orgánicos de bajo peso molecular, bajos valores de elongación y bajo valor de temperatura de servicio continuo.

### 2.3.6.1.3 Nylon (Poliamida)

#### Características y aplicaciones

Tenacidad y resistencia excelentes al desgaste, junto un coeficiente de fricción y propiedades eléctricas y resistencia química excelentes. Las aplicaciones más importantes son engranajes, cojinetes, rodillos, cremalleras y cierres, etc .

#### Ventajas y desventajas

- Alta resistencia mecánica y resistencia al impacto, bajo valor del coeficiente de rozamiento, altos valores de resistencia a la abrasión incluso a alta temperatura y buena resistencia a la corrosión.
- Elevada absorción de la humedad y altos valores de contracción al ser conformados por moldeo.

### 2.3.6.1.4 Policarbonato

#### Características y aplicaciones

Alta resistencia al impacto de los materiales transparentes rígidos, estabilidad en exteriores y resistencia a la deformación plástica bajo carga excelentes, resistencia a los productos químicos aceptable y algunos solventes aromáticos pueden causar agrietamiento al esfuerzo.

Las aplicaciones más importantes son cristales de seguridad, componentes eléctricos sometidos a esfuerzos mecánicos o térmicos, cascos de seguridad y bandejas de comida congelada entre otros.

#### Ventajas y desventajas

- Alto valor de resistencia al impacto, su buena resistencia a la fluencia, temperatura de servicio por encima de 120 °C y su buena estabilidad dimensional.
- Altas temperaturas de procesamiento, baja resistencia a la corrosión frente a medios básicos y alta sensibilidad al agrietamiento en contacto con los disolventes.

### 2.3.6.1.5 Polietileno

#### Características y aplicaciones

- Baja densidad: flexibles y tenaces
- Media y alta densidad: fuertes, duros y rígidos

Peso ligero, fáciles de procesar y de bajo costo, poca estabilidad dimensional y mala resistencia al calor, resistencia química y propiedades eléctricas excelentes.

Las aplicaciones más importantes son la fabricación de tetra briks, recubrimiento de cables, juguetes y fabricación de distintos tipos de contenedores, entre muchas otras.

#### Ventajas y desventajas

- Bajo coste, buena resistencia a la humedad, amplia variedad de propiedades finales y posibilidad de convertirlo en un material termoestable.
- Elevado valor de dilatación térmica, baja resistencia a la exposición medioambiental, facilidad de agrietamiento e inflamable.

### 2.3.6.1.6 Poliéster

#### Características y aplicaciones

Excelente estabilidad dimensional, con propiedades mecánicas y eléctricas superiores.

Las aplicaciones más importantes son su utilización en forma de fibras en tapicería, su utilización en forma de películas, como engranajes, rotores de bomba, etc.

#### Ventajas y desventajas

- Altos valores de tenacidad y rigidez, y su sencillo procesamiento.
- Baja resistencia frente a la temperatura, baja resistencia a la corrosión frente a disolventes y facilidad para ser atacados por la acción de tanto ácidos como bases.

### 2.3.6.1.7 Polipropileno

#### Características y aplicaciones

Resistencia sobresaliente a la flexión y al agrietamiento por esfuerzo, resistencia química y propiedades eléctricas excelentes, buena resistencia al impacto y estabilidad térmica, peso ligero, bajo costo.

Las aplicaciones más importantes son su uso para juguetes, recipientes o envases para alimentos y comida, componentes de electrodomésticos, componentes para el sector del automóvil tales como paneles de instrumentos y aislamiento eléctrico de cables.

#### Ventajas y desventajas

- Bajo coeficiente de rozamiento, buena resistencia a la fatiga, buena resistencia frente a la humedad, alta resistencia a la abrasión y valores de temperatura de operación hasta 126 °C.
- Se descompone fácilmente frente a la exposición de radiación ultravioleta, inflamable, dificultad de unión con otras piezas y su susceptibilidad a la oxidación, entre otras.

### 2.3.6.1.8 Poliestireno

#### Características y aplicaciones

Bajo costo, fácil de procesar, material rígido y claro, quebradizo como el cristal, baja absorción de humedad, baja resistencia al calor, mala estabilidad en exteriores.

Las aplicaciones más importantes son su uso como embalajes de burbuja, recipientes de todo tipo, fabricación de artículos deportivos, juguetes y aplicaciones de aislamiento térmico.

#### Ventajas y desventajas

- Buenas propiedades ópticas y de brillo, su bajo peso y coste, y buena estabilidad dimensional.
- Inflamabilidad, baja resistencia a la exposición medioambiental, baja estabilidad térmica y fragilidad.

### 2.3.6.2 Termoestables

Son materiales que a temperatura ambiente son muy duros y rígidos, pero al mismo tiempo frágiles. Se caracterizan por tener una estructura molecular reticulada o entrelazada.

También se pueden quemar, agrietar y carbonizar, pero no se reblandecen ni se funden, es por ello que no se pueden refundir. Serán fundidas inicialmente por la acción del calor aunque si se continua aplicando dicho calor, se produce un cambio químico irreversible y se vuelven infusibles e insolubles, por lo que se han encontrado pocos métodos que permitan su reciclado.

Para producir este endurecimiento se necesitara la aparición de agentes reticulantes. En general, los termoestables poseen una buena estabilidad dimensional, estabilidad térmica, resistencia química y propiedades eléctricas.

#### 2.3.6.2.1 Urea-formaldehido

Resinas incoloras de gran dureza y resistencia a la tracción. Se trabajan a compresión, inyección y transferencia. Su principal aplicación es la fabricación de adhesivos y lacas, además de usarse como aglomerantes de masas prensables y planchas de construcción.

#### 2.3.6.2.2 Melanina-formaldehido

Tienen gran estabilidad térmica, buenas cualidades eléctricas y una excelente resistencia a la humedad. Se utilizan en la fabricación de lacas, adhesivos, como aglomerantes en planchas de construcción y en masas prensables y productos laminados.

#### 2.3.6.2.3 Epoxi

Permiten el curado a un gran rango de temperaturas, facilitando el conformado y además no desprenden sustancias volátiles durante el curado. Excelentes propiedades de adherencia superficial y compatibilidad, y muy bajo valor de contracción.

Entre sus desventajas habría que destacar que son sensibles frente a la humedad, tienen una resistencia a la temperatura limitada entre 178 y 232 °C y tienen un elevado coste.

Entre las aplicaciones: fabricación de barcos, pavimentos, muebles de madera, así como su uso como adhesivo sobre todo en la industria aeroespacial y de automoción.

#### 2.3.6.2.4 Silicona

Contiene átomos de silicio y se fabrican en forma de líquidos, materiales compuestos, lubricantes, resinas y elastómeros.

Las ventajas más significativas son que tienen un amplio intervalo de resistencia a la temperatura, desde -73 a 315 °C. Buenas propiedades de impermeabilidad, gran flexibilidad, bajo valor de absorción de agua y buena resistencia química.

Las desventajas son su bajo valor de resistencia mecánica, un elevado coste y que puede verse atacado por disolventes halogenados.

Entre sus aplicaciones más utilizadas están el sellado de juntas, los implantes quirúrgicos en cirugía estética y plástica así como lubricantes a alta temperatura.

#### 2.3.6.3 Elastómeros

Polímeros que se pueden estirar elásticamente y que después recuperan su forma y tamaño originales. Los enlaces entre las moléculas solo pueden romperse a temperaturas elevadas. Pueden tanto quemarse como ablandarse, pero la temperatura a la que reblandecen es superior a la temperatura de ignición.

Generalmente, son unos materiales muy tenaces, resistentes a aceites y grasas y tienen una buena flexibilidad a bajas temperaturas. Aún así, tienen como desventaja que necesitan una alta cantidad de energía para procesarlos y no son reciclables.

##### 2.3.6.3.1 Caucho

El caucho natural tiene como ventaja buena resistencia al desgaste y a la fatiga, pero el principal problema es que se degrada fácilmente al exponerlo al calor, radiación ultravioleta, oxígeno, etc. Entre sus aplicaciones más habituales están la fabricación de neumáticos, juntas, tacones, suelas de zapatos, absorbedores de vibraciones, etc.

### 2.3.7 Defectos más comunes

Algunos defectos comunes en las partes moldeadas por inyección son los que se van a presentar a continuación. Para analizar mejor cada uno de ellos, los defectos se pueden clasificar como:

- Defectos de superficie.
- Defectos de contorno exterior (forma).
- Propiedades mecánicas diferentes.

#### 2.3.7.1 Rechupes

Defecto visual en forma de pequeño agujero en la superficie de la pieza moldeada. Suele producirse cuando el material se contrae dentro del molde en el proceso de solidificación y las capas no están suficientemente fuertes debido a falta de refrigeración.

Para solucionar la contracción, se suele inyectar una cantidad de material mayor a la requerida en la primera fase de enfriamiento.

Puede incluso formarse después de la extracción: si se ha inyectado el material demasiado rápido, el núcleo se encuentra en estado líquido y el calor que se encuentra en esa zona debe ser extraído, produciendo las contracciones en la parte externa de la pieza.

Para prevenir este defecto, se consideran los siguientes puntos:

- Evitar diferencias de espesor de las paredes y acumulaciones de material
- Tener en cuenta relación grosor-diseño de los nervios (por ejemplo, radios)
- Adecuada refrigeración
- Conducto de colada colocado en la pared más gruesa y suficientemente grande.

Si el molde ya está construido y surge este problema, se deben considerar los siguientes puntos:

- Reducir temperatura de fusión o/y la  $T^a$  de la pared de la cavidad
- Aumentar velocidad de avance del tornillo
- Aumentar presión y/o tiempo de presión de compactación
- Aumentar volumen de inyección
- Evitar uso de desmoldeantes en el molde si es posible

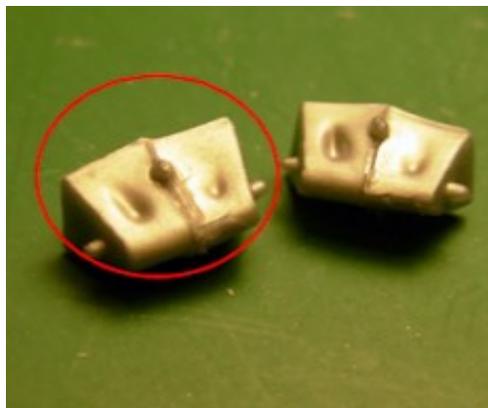


Figura 18 : Rechupe

### 2.3.7.2 Rebaba

Consisten en residuos solidificados del propio polímero que no forman parte de la pieza final. Se presentan en bordes de la pieza o en los pernos de inyección. Entre las causas más comunes, se encuentran: alta fluidez del material, defectos en el sistema del molde o baja fuerza de sujeción.

Las soluciones para este problema son:

- Reducir el tamaño de la inyección
- Bajar la presión de inyección
- Aumentar la contrapresión
- Aumentar la temperatura en el molde o si es posible aumentar la fuerza de cierre.



Figura 19 : Rebaba

### 2.3.7.3 Marcas hundidas y huecos.

Son causados por el encogimiento localizado de los materiales en las partes gruesas. La contracción del material dentro del molde lleva a la superficie de la pared hacia adentro, causando las marcas hundidas.

Estos defectos pueden tener su origen en un incremento de la presión de compactación que sigue a la inyección.

### 2.3.7.4 Líneas de soldadura

Defecto visible que ocurre cuando dos o más flujos de plástico convergen durante el proceso de llenado. Este puede darse debido al flujo en agujeros o insertos en la pieza, a que haya varias entradas de inyección o a un espesor de pared variable.

Las temperaturas altas de fusión, las presiones altas de inyección y una mejor ventilación son formas de evitar este defecto.



Figura 20 : Línea de soldadura

### 2.3.7.5 Zona mate cerca del punto de colada

El flujo laminar del plástico fundido sólo puede ser mantenido si la fricción entre la superficie del fluido y la pared de la cavidad permanece constantemente mayor que la fuerza de cizalla ejercida entre las capas del fluido.

En este caso la solución es intentar conseguir una capa suficientemente fuerte que resista la fuerza de cizalla del flujo, mediante la reducción de la velocidad inicial de inyección.

### 2.3.7.6 Estrías (estrías quemadas, estrías de oxidación, vetas en el material)

Son productos gaseosos de descomposición, visibles en la superficie por su color parduzco o plateado, originados por temperaturas y/o tiempos de residencia elevados, dañando térmicamente el material fundido.

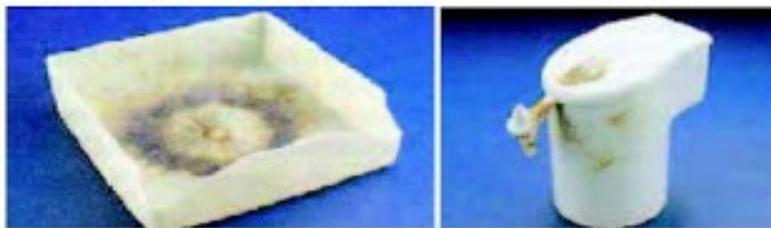


Figura 21 : Estrías

### 2.3.7.7 Ráfagas

Las ráfagas tienen un aspecto muy similar a las estrías, sin embargo estas tienen diversas causas:

- Se ubica detrás de secciones estrechas (puntos de cizalla) o cantos vivos del molde.
- La temperatura de la masa está cerca del límite superior del proceso.
- Disminuyendo la velocidad de avance del husillo se obtiene una reducción del defecto.
- La reducción de la temperatura de masa actúa positivamente contra el defecto.
- Tiempo de permanencia alto en la unidad de plastificación o en la parte delantera del husillo.
- Alto contenido de material recuperado o el material ha sido fundido varias veces anteriormente.
- El molde está equipado con colada caliente y boquilla de válvula

### 2.3.7.8 Pulido no uniforme

Teniendo en cuenta la calidad de brillo, se tiene 2 tipos de defectos:

1. La pieza sea demasiado brillante o demasiado poco brillante.
2. Diferencias de brillo en la superficie de la pieza (aparece por la variación del espesor de las paredes)

El brillo de una pieza moldeada es la apariencia de su superficie cuando es expuesta a la luz. Si un rayo de luz incide en la superficie, su dirección cambiará debido a la refracción. Mientras que una parte de la luz será reflejada por la superficie, la otra parte reflejará dentro de la pieza o la penetrará con distintas intensidades. La impresión de brillo será tanto mejor cuanto

menor sea la rugosidad de la superficie. Es por esto que las paredes del molde deben estar lo mejor pulidas posible.



Figura 22 : Líneas de soldadura

### 2.3.7.9 Líneas de flujo

Se define como la convergencia de dos frentes de flujo después de que el flujo de plástico se haya dividido. Se puede observar en la pieza como una muesca y/o cambio de color, produciendo un debilitamiento mecánico.

Si la temperatura y la presión no son lo suficiente altas, las esquinas de los frentes de flujo no se desarrollarán del todo, apareciendo una muesca. Además, los fluidos ya no se mezclarán homogéneamente, produciéndose posiblemente una zona más débil mecánicamente.

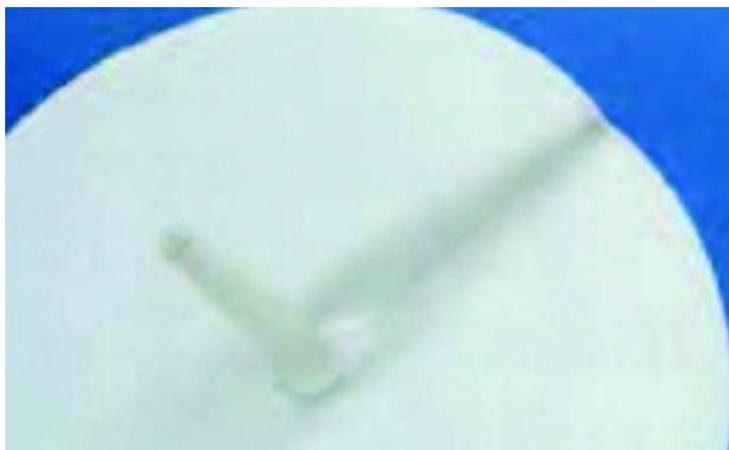


Figura 23 : Líneas de flujo

### 2.3.7.10 Efecto “jetting”

Formación de un cordón plástico fundido que se introduce dentro de la cavidad del molde desde la colada de forma incontrolada. Dicho cordón contacta mínimamente con la pared de la cavidad, extendiéndose en capas durante la fase de llenado, que posteriormente son rodeados por este plástico fundido. Este fenómeno produce falta de homogeneidad, deformaciones, tensiones locales internas etc.

La causa de esta deformación es el insuficiente flujo del polímero fundido desarrollado dentro de la cavidad. Las dificultades de mantener un flujo correcto se agravan con los cambios bruscos del canal de fusión y con la velocidad del plástico inyectado.

Cuando un material fundido de alta viscosidad entra en el espacio vacío de la cavidad, la fuerza

de cohesión de materia crea una gran resistencia al extenderse. Esta fuerza cohesiva interna puede ser reducida con un incremento de la temperatura.

Las posibles medidas para evitar/reducir este fenómeno son:

- Aumentar temperatura del fundido y/o del molde
- Diseñar la dirección de inyección de forma que la resistencia del flujo es generada directamente detrás del conducto de colada
- Reducir velocidad de inyección.



Figura 24 : Efecto "Jetting"

#### 2.3.7.11 Efecto "Diesel"

Son manchas, marcas o quemaduras negras en la pieza moldeada generadas por lo general cuando la pieza que se desea moldear no está totalmente llena en diferentes zonas.

El efecto existe debido a una mala ventilación, de manera que el aire no puede escapar y hace que la temperatura aumente a niveles excesivamente altos. La solución a este problema consiste en colocar ventilación en las zonas donde por lo general aparecen quemaduras y además también será necesario limitar la velocidad de inyección.

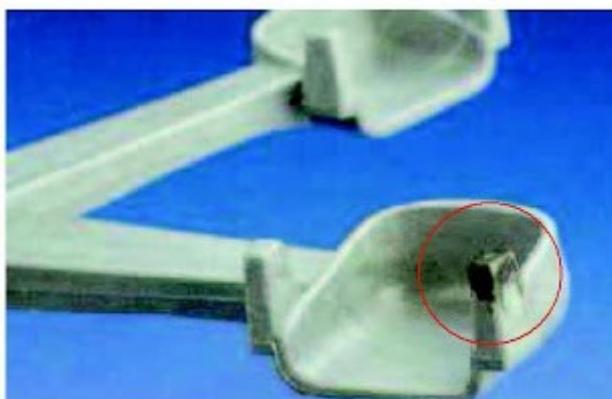


Figura 25 : Efecto diesel

#### 2.3.7.12 Delaminación de las capas

Sucede cuando el polímero fundido está sujeto a un esfuerzo de cizalladura excesivo durante la fase de llenado. Ocurre principalmente en zonas delgadas y largas de la pieza.

La delaminación puede ser eliminada con la reducción de la diferencia de temperatura entre molde y material.

Este fenómeno suele ocurrir después de un cierto tiempo de utilización de la pieza. Por esta razón, una vez realizada la pieza debe analizarse microscópicamente su estructura interna.



Figura 26 : Delaminación

#### 2.3.7.13 Efecto stick-slip

Se trata de un movimiento de vibraciones elásticas que ocurre cuando dos cuerpos se deslizan uno contra el otro. Este fenómeno tiene lugar cuando la fricción estática de un cuerpo es mayor que la fricción deslizando.

Esto se debe en parte a una velocidad demasiado lenta en conjunción con las paredes de la cavidad, relativamente frías. También pueden ser producidas por una falta de presión de inyección. Una baja temperatura del plástico fundido y/o la temperatura del molde en combinación con las dos causas mencionadas anteriormente son causantes de este defecto.

La eliminación de este defecto se consigue mediante la corrección de estos parámetros del molde y de la máquina de inyección.

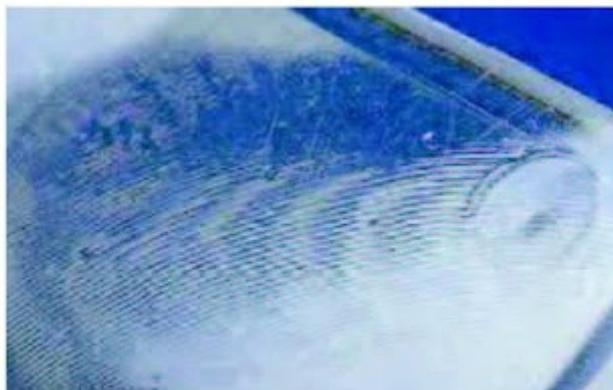


Figura 27 : Stick-slip

#### 2.3.7.14 Grietas o microgrietas

Si se utilizan sustancias agresivas (por ejemplo grasa, soluciones alcalinas, etc.) el blanqueo y las roturas por tensión, aparecerán a menudo, sobre todo después de largo tiempo de servicio de la pieza.

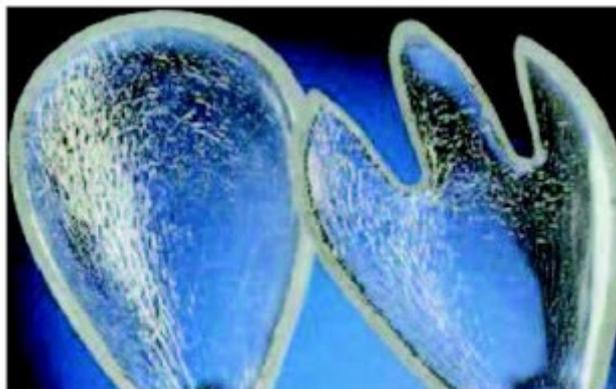


Figura 28 : Grietas/microgrietas

### 2.3.7.15 Grietas de tensiones

Las áreas expuestas a la tensión se vuelven de color blanco y las roturas por tensión suelen tener la dirección del desmolde. Muchas veces, las roturas por tensión aparecen varios días o semanas después de la inyección.



Figura 29 : Tensiones en bisagras

El color blanco y las roturas tienen lugar cuando se sobrepasa la deformación máxima tolerada (por ejemplo, por tensión exterior o por deformación). La deformación máxima depende de varios factores: material, estructura molecular, proceso y clima que rodea a la pieza.

### 2.3.7.16 Falta de llenado completo del molde

Fenómeno que sucede cuando la pieza se ha solidificado antes de llenar la cavidad del molde. Puede darse el caso de que la propia máquina no tenga la capacidad de llenado suficiente, necesitando otra máquina.

- Si el llenado se hace demasiado lento, produce una disminución de la presión ocasionando que no se llene la cavidad.
- Si se hace demasiado rápido se puede dañar el molde.

A continuación se citarán con más detalle las posibles consecuencias de este defecto.

- Falta de carga de material.
- Ocurre también si la  $T^a$  de fusión es demasiado baja. Si a eso le sumamos una  $T^a$  baja del molde y una velocidad de inyección lenta, facilita el enfriamiento más rápido, provocando la falta de llenado en la cavidad.

- Presión de inyección es demasiado baja o si la potencia de la máquina no es suficiente, como ya se ha dicho anteriormente.
- Se requiere de unas adecuadas salidas de aire en el molde, ya que sino permiten la formación de burbujas de aire.
- El conducto de colada y su recorrido deben ser lo suficientemente grandes para permitir que el material no se enfríe antes de entrar a la cavidad.
- Otro factor importante es la  $T^a$  de la boquilla. Esta debe ser lo suficientemente elevada para no provocar un enfriamiento prematuro.
- Si con estas soluciones no puede ser corregido el defecto, se tendrá que revisar la válvula antiretorno.

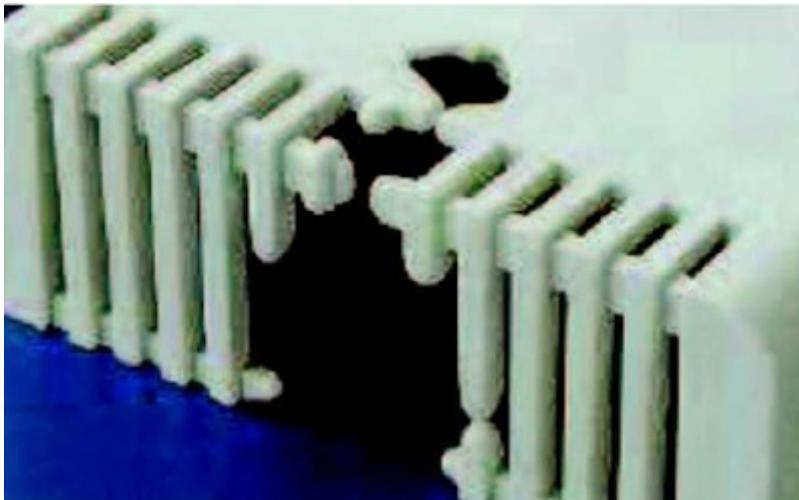


Figura 30 : Falta de llenado del molde

#### 2.3.7.17 Marcas del expulsor o de la expulsión

Depresiones o elevaciones producidas en la zona de los expulsores visibles en la superficie de las piezas.

Las posibles causas son:

- Desmolde prematuro.
- Fuerzas grandes de desmolde debidas a un mal ajuste de la máquina.
- Colocación incorrecta inadecuado del expulsor.
- Mal diseño y dimensionado del molde, de la pieza o del sistema de desmolde.
- Grandes diferencias de temperatura entre el expulsor y la pared del molde.

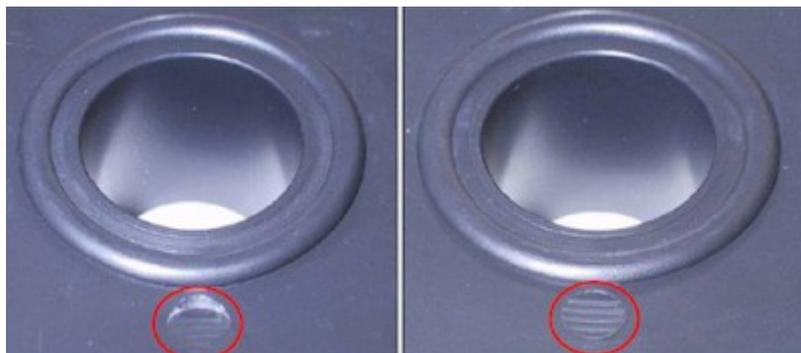


Figura 31 : Marcas de expulsión o expulsores

### 2.3.7.18 Deformación de la expulsión

Según el grado en que haya sido perjudicada la pieza, hay una clasificación de las marcas de expulsión, roturas, zonas de excesiva tensión y expulsores profundamente hundidos. Son críticas las piezas con contrasalidas, que hayan de ser desmoldadas sin piezas móviles (por ejemplo, correderas).



Figura 32 : Deformación de la expulsión

### 2.3.7.19 Deformación o alabeo

Pueden darse por 2 motivos:

- Las fuerzas del desmoldeo dañan la pieza
- El desmoldeo es obstaculizado en algún punto.

La fuerza total del desmoldeo es algo crucial y debe mantenerse baja. Además de otros factores, la contracción de la pieza ejerce un impacto directo sobre las fuerzas de desmolde.

Las fuerzas de desmoldeo y contracción pueden verse afectados debido a los cambios de los parámetros del proceso. Sin embargo, debe tenerse en consideración que la geometría de la pieza moldeada es un factor muy importante en este defecto.

En general, es conveniente que se produzca una baja contracción en las piezas de tipo cilíndrico o en forma de caja, ya que dichas piezas tienden a contraerse contra su núcleo (aumentar la presión de mantenimiento o aumentar el tiempo de enfriamiento).

En la proximidad a los nervios la contracción actúa de modo que aumenta la fuerza de desmolde por causa de que los nervios han de ser separados de las paredes del molde (disminuir la presión de mantenimiento o aumentar el tiempo de enfriamiento).

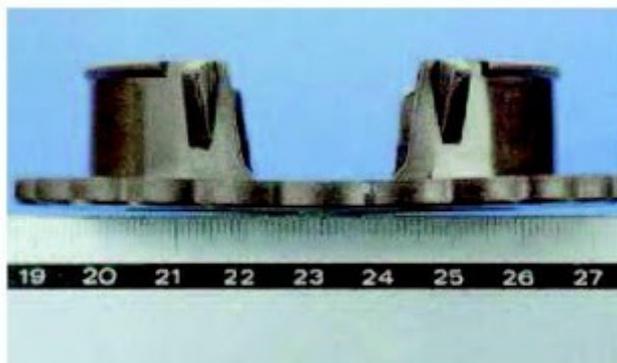


Figura 33 : Alabeo

### 2.3.7.20 Material frío

Cuando el fluido frío sale de la boquilla hacia la cavidad del molde, puede originar marcas no deseadas por toda la pieza e incluso cerca de la entrada. Esto también puede producir líneas de soldadura cuando se fuerza a la masa fundida a lo largo del recorrido, haciendo que la masa se separe. Para solucionar este problema se suele controlar la temperatura del molde.



Figura 34: Deformación en frío

#### Líneas de flujo frías

Representa un defecto óptico y un debilitamiento mecánico. Puede aparecer una muesca y/o cambio de color: las muescas son particularmente visibles en piezas negras o transparentes, de superficies lisas o muy pulidas. Los cambios de color son visibles principalmente en piezas con pigmentos de efecto metálico.

La soluciones a este problema son las siguientes:

- Aumentar la velocidad y/o presión de inyección y el mantenimiento
- Reducir  $T^a$  del molde o de la masa fundida bajando la contrapresión

### 2.3.7.22 Aire atrapado, burbujas y huecos

No se puede evitar la formación de huecos, con sólo modificar ciertos parámetros de proceso de inyección. Es más efectivo tener en cuenta ciertas propiedades específicas referentes al material plástico al empezar el diseño tanto de la pieza como del molde. Algunas soluciones son:

- Aumentar la temperatura de fusión.

- Aumentar la temperatura de la pared de la cavidad.
- Aumentar la velocidad de avance del tomillo.
- Aumentar la presión de mantenimiento.
- Aumentar el tiempo de sostenimiento.
- Revisar la válvula antiretorno si es necesario.

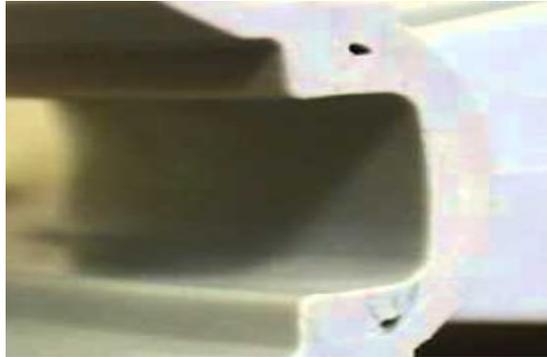


Figura 35 : Burbujas de aire

### 2.3.7.23 Manchas negras

Diversos factores producen este defecto: degradación térmica del material, suciedad o desgaste del mismo. Algunas pueden deberse al proceso, otras a la máquina y otras debido al material.

#### Causas relacionadas con el proceso

- Temperatura de fusión demasiado alta
- Tiempo de residencia en la unidad de plastificado demasiado alto.
- Perfil de temperatura equivocado.
- Fallos en la colada caliente

#### Causas relacionadas con la máquina

- La unidad de plastificado está sucia.
- Husillo y el cilindro desgastados

#### Causas debidas al polímero o a los pigmentos

- Impurezas en el granulo.
- Demasiado material reciclado.
- Tintes no adecuados.

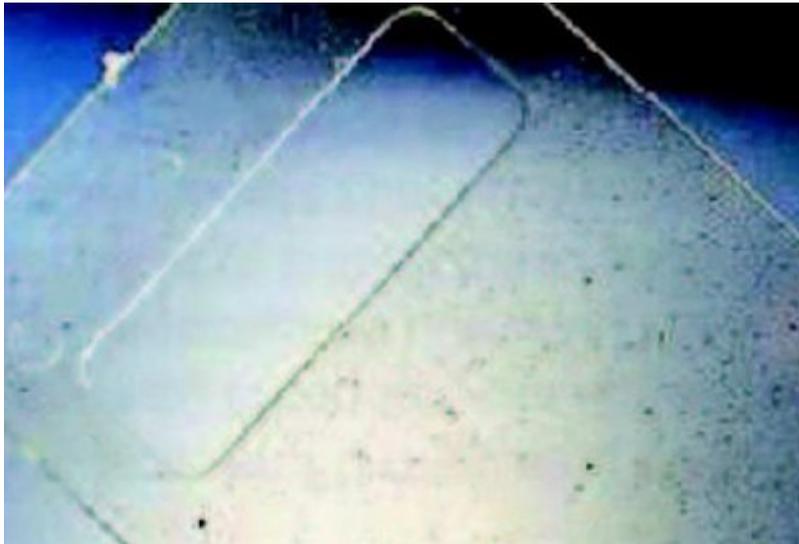


Figura 36 : Manchas negras

#### 2.3.7.24 Gránulos de materia no fundida

Aparecen en zonas débiles de la estructura de la pieza acabada, y son el origen de las grietas. Este defecto se produce por una falta de temperatura en el cilindro durante el proceso de plastificación. Por tanto, el defecto proviene de unos parámetros incorrectos de la máquina de inyectar y los más típicos son:

- Insuficiente presión de retorno.
- Insuficiente velocidad del tornillo.
- Insuficiente temperatura del cilindro.

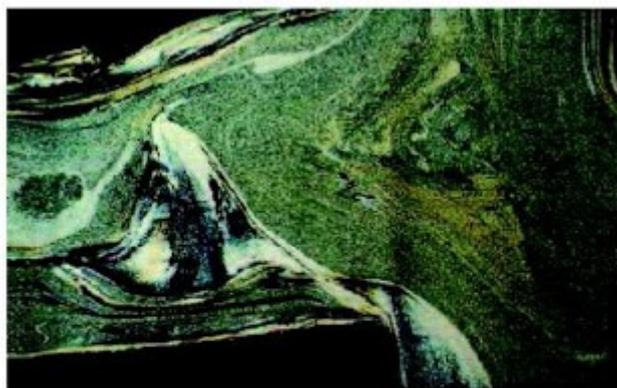


Figura 37: Gránulos no fundidos

#### 2.3.7.25 Compactación excesiva

Trás la fase de llenado del molde, estando la masa todavía fundida, se emplea la presión de mantenimiento. La función de esta es aportar material por la parte más interna de la pieza para contrarrestar la contracción por el enfriamiento.

Esta presión que la entrada colapsa por el enfriamiento, momento a partir del cual no se debe introducir más material. El enfriamiento de la entrada de la cavidad depende de:

- $T^a$  del material
- $T^a$  del molde

- Tiempo de duración de la presión de mantenimiento

Si se retira la presión antes de tiempo, la pieza no quedará compactada, tendrá menos peso del que cabría esperar. Si se retira la presión de mantenimiento en el momento adecuado, la pieza tendrá el peso correcto.

Si se logra mantener la entrada del material caliente y la presión durante más tiempo, el material una vez enfriado ejercerá tanta presión perpendicular a las paredes del molde, que dependiendo de su geometría, si esta presión se efectúa en sentido perpendicular al eje principal de la máquina, podrá llegar a impedir incluso la apertura del molde, y además, dependiendo de la salida que tenga el molde y el texturizado de la pared de la figura podrá producir ralladuras inaceptables.

## 2.3.8 Variables a tener en cuenta

A partir de lo que se ha dicho anteriormente, se van a identificar las variables más importantes que afectan el proceso de inyección. Se podrá observar que las distintas variables son dependientes unas de otras.

### 2.3.8.1 Temperatura de inyección

Temperatura a la cual se inyecta el material dentro de la cavidad del molde. Este factor es importante ya que el polímero fundido debe tener una viscosidad y fluidez correctas para la inyección. Esta temperatura depende del tipo de material, y debe ser lo suficientemente alta para que el material fluya correctamente, pero lo suficientemente baja como para no degradarlo.

La temperatura afectará a la calidad de la pieza porque influirá a la contracción de la misma: a mayor  $T^a$  de inyección mayor cambio de volumen entre plástico fundido y sólido. No obstante, a mayor  $T^a$  menor viscosidad, permitiendo una mejor compactación y menor contracción.

### 2.3.8.2 Temperatura del molde

Temperatura a la cual se encuentra la superficie de la cavidad del molde. El objetivo consiste en disminuir la temperatura del interior de la cavidad para permitir que el material fundido solidifique produciéndose un enfriamiento homogéneo.

Esta temperatura depende de factores como  $T^a$  del fluido refrigerante,  $T^a$  del material, características térmicas del molde etc.. Para lograr el enfriamiento se introducen por conductos de refrigeración en el molde (agua o aceite).

La temperatura afecta al tiempo de ciclo, calidad de la pieza, contracción, alabeo, acabado y cristalinidad. Por otra parte, la velocidad a la que se enfría afecta a las propiedades físicas, mecánicas, ópticas etc.

### 2.3.8.3 Distancia de carga

Como ya se ha mencionado, la inyección dentro del molde se realiza en 2 pasos: inyección y llenado de cavidad, y la aplicación de la presión de mantenimiento. La distancia de carga en el cilindro debe ser suficiente como para llenar el 90-99% del molde durante la fase de inyección.

### 2.3.8.4 Tiempo de inyección

El tiempo de inyección y la velocidad de inyección dependen entre sí: a mayor velocidad menor tiempo de inyección. Por otra parte, la velocidad también está relacionada con la presión: a mayor velocidad mayor crecimiento de la presión de inyección debido a la resistencia al flujo en la boquilla y en la entrada de la cavidad. A velocidades menores el plástico se va solidificando a medida que se inyecta el material, aumentando su viscosidad y disminuyendo la sección de paso.

En las máquinas hidráulicas la velocidad de inyección y/o el tiempo de inyección se controlan mediante el caudal de aceite, permitiendo al husillo forzar al material plastificado hacia dentro de la cavidad. Normalmente, las velocidades del inicio y del final de la etapa de inyección son menores, para tratar más suavemente los elementos de la máquina de inyección y del molde.

Además de esto, otro factor a tener en cuenta es la diferencia de temperaturas al principio y final de la pieza inyectada. Cuando el tiempo de inyección es muy corto, la temperatura al final del recorrido del plástico inyectado puede ser mayor que la de inyección (debido al calentamiento por fricción). Con tiempos más elevados, las temperaturas suelen ser menores, existiendo un tiempo de inyección intermedio, donde se igualan la temperatura de inyección y la última zona llenada del molde.

#### 2.3.8.5 Tiempo de mantenimiento/compactación

Consiste en el tiempo que se mantiene la presión del material dentro del molde después de realizar la inyección del material. Se mantendrá esta presión hasta que la entrada de la cavidad solidifica. A partir de ese momento la cavidad del molde queda aislada mientras se enfría, por lo que mantener el husillo demasiado avanzado no tendría sentido.

Si el tiempo es demasiado corto, el plástico puede salir hacia los sistemas de alimentación e inyección, afectando a la tenacidad de la pieza, fluctuaciones de peso etc y gran variedad de defectos más.

#### 2.3.8.6 Tiempo de enfriamiento

Tiempo necesario para que la pieza se enfríe hasta solidificar y extraerse del molde sin deformarse. Se debe prolongar más allá de la fase de mantenimiento y las paredes más externas de la pieza deben estar lo suficientemente frías como para extraer la pieza del molde sin que se deforme. Lógicamente, a mayor espesor de pieza mayor tiempo de enfriamiento será necesario (para un enfriamiento homogéneo lo mejor es tener piezas de espesores uniformes).

De esta manera se consigue acortar el tiempo de ciclo y mejorar la productividad. Una cuestión importante para la economía es el n.º de piezas a producir por unidad de tiempo, que depende en gran medida del tiempo de enfriamiento.

#### 2.3.8.7 Tiempo de plastificación

Tiempo que tarda en cargar la máquina el material a inyectar, y depende de los siguientes factores: temperatura, velocidad de giro del husillo, contrapresión y tipo de material.

#### 2.3.8.8 Tiempos de ciclo

Tiempo que depende de las siguientes fases: cierre del molde, inyección, enfriamiento de la pieza, apertura y expulsión de la misma.

Teniendo en cuenta todo lo citado anteriormente, la variable más importante es la velocidad de enfriamiento, debido a que influye en gran medida en el tiempo de ciclo y solapa la acción de las siguientes fases:

- Inyección: fase de llenado y mantenimiento
- Plastificación/Dosificación

No es necesario que toda la pieza se enfríe hasta la temperatura del molde, sino que estén lo suficientemente frías las partes externas de la pieza para poderla extraer en condiciones óptimas. Así, el tiempo de enfriamiento y por tanto el tiempo de ciclo dependerá de:

- $T^a$  material fundido
- $T^a$  pared del molde
- $T^a$  de expulsión

- Conductividad térmica del material
- Calor específico del material
- Espesor: la parte con más espesor enfriará más tarde

#### 2.3.8.9 Presión de inyección

Debe ser lo suficientemente alta como para conseguir la velocidad deseada. De esta forma la presión de inyección depende de los mismos factores que la velocidad de inyección.

#### 2.3.8.10 Presión de mantenimiento

Es aplicada tras la fase de inyección del material en la cavidad del molde. Su objetivo es llenar completamente el molde y compactar el material dentro de la cavidad, reduciendo así la contracción.

Para determinar este valor se debe tener en cuenta si es muy alta o baja y si la duración es demasiado baja pueden aparecer rechupes en la pieza, haciendo que la pieza no tenga las dimensiones especificadas.

Si la presión es demasiado elevada, la pieza puede sobrecompactarse, aumentando las tensiones residuales y afectando a las propiedades mecánicas y apareciendo deformaciones en la pieza.

#### 2.3.8.11 Compresión/Contrapresión

Este factor frena el retroceso del husillo en la fase carga en la plastificación. Si se aumenta este valor, el tiempo de plastificación aumenta y como consecuencia el tiempo de permanencia en la cámara también lo hará. La compresión sobre el material aumenta, aumentando también la  $T^a$  del fundido.

A menor valor de contrapresión las piezas se vuelven inconsistentes y poca homogenización. En cambio, a mayor valor ocasionan un aumento en la contribución de la fricción a la temperatura del fundido, pudiendo degradarse.

## 2.4 Bibliografía

### 2.4.1 Página web

- Hidrostack.Antirretorno.Navarra:Hidrostack.Recuperado de:  
<https://www.hidrostack.com/hidrostack/es/antirretornos/#:~:text=V%C3%A1lvula%20Pico%20Pato,crecidas%20de%20r%C3%ADos%20y%20mareas.>
- Mariano.Moldeo por transferencia. Buenos Aires (Argentina): Tecnología de los plásticos.Recuperadode:<https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/10/moldeo-por-transferencia.html>

### 2.4.2 Referencias

- Gastrow, H. (1992). “Moldes de inyección para plásticos”. Hanser-Gardner Publication.
- Espinosa Escudero, M. (2000). “Introducción a los procesos de fabricación”. UNED.
- Mink, W. (1977). “Inyección de plásticos”. Gustavo Gili.  
Bodini, G y Cacchi Pessani, F. (1992). “Moldes y máquinas de inyección para la transformación de plástico”. Negri Bossi.

### 2.4.3 Normas

- DIN 16750. Moldes de inyección para materiales plásticos.
- DIN 1530-4. Eyectores de molde plano.
- Código WNr. Designación comercial de aceros para moldes de inyección.
- Norma UNE.