



Escuela de
Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza

PROYECTO FINAL DE CARRERA

TÉCNICAS DE PRODUCCIÓN EN MOLDES DE METALES Y PLÁSTICOS

AUTOR Jesús Antón Antón

DIRECTOR

José Manuel Franco

ESPECIALIDAD

Mecánica

CONVOCATORIA

Febrero 2013

Departamento de Ingeniería de Diseño y Fabricación

ÍNDICE:

| | |
|---|-----------|
| MEMORIA: | 5 |
| 1. INTRODUCCIÓN: | 5 |
| 1.1.- OBJETO: | 5 |
| 1.2.- ÁMBITO: | 5 |
| 1.3.- ALCANCE: | 6 |
| 2. PLANIFICACIÓN | 6 |
| 3. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO REALIZADO: | 7 |
| 3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 8 |
| 3.3. TRABAJO ESPECÍFICO REALIZADO | 8 |
| 4. DIFICULTADES Y DESVIACIONES RESPECTO A LA PLANIFICACIÓN | 9 |
| 5. DEDICACIÓN | 9 |
| 6. CONOCIMIENTOS Y HABILIDADES ADQUIRIDAS | 10 |
| 7. CONCLUSIONES DEL TRABAJO REALIZADO | 10 |
| 7.1. CONCLUSIONES DEL TRABAJO REALIZADO..... | 11 |
| 7.2. CONCLUSIONES PERSONALES..... | 11 |
| 7.3. LÍNEAS FUTURAS | 12 |
| 8. AGRADECIMIENTOS | 12 |
| ANEXO -I | 14 |
| INTRODUCCIÓN: | 14 |
| 1.-MOLDEO DE METALES: | 16 |
| 1.1.-MOLDEO A LA CERA PERDIDA: | 16 |
| 1.1.1.-ATECEDENTES HISTÓRICOS: | 16 |
| 1.1.2.- MOLDE: | 17 |
| 1.1.3.-PROCESO: | 18 |
| 1.1.4.-VENTAJAS Y DESVENTAJAS: | 19 |
| 1.1.5.-APLICACIONES: | 20 |
| 1.2.-FUNDICIÓN EN MOLDE DE ARENA: | 20 |
| 1.2.1.- MOLDE: | 21 |
| 1.2.2.-PROCESO | 29 |

| | |
|---|-----------|
| 1.2.3.-VENTAJAS Y DESVENTAJAS:..... | 30 |
| 1.2.4.-APLICACIONES:..... | 31 |
| 1.3.-MOLDEO EN CÁSCARA O CONCHA: | 31 |
| 1.3.1.- ANTECEDENTES HISTÓRICOS:..... | 31 |
| 1.3.2.- MOLDE Y PROCESO: | 32 |
| 1.3.3.-APLICACIONES:..... | 35 |
| 1.4.-FUNDICIÓN EN MOLDE CONSUMIBLE (Poliestireno Expandido): | 36 |
| 1.4.1.- CARACTERÍSTICAS:..... | 36 |
| 1.4.2.-APLICACIONES..... | 37 |
| 1.5.-FUNDICIÓN EN MOLDE DE YESO: | 41 |
| 1.5.1.- MOLDE Y PROCESO: | 41 |
| 1.5.2.-VENTAJAS Y DESVENTAJAS:..... | 42 |
| 1.5.3.-APLICACIONES:..... | 43 |
| 1.6.-MOLDEO EN VACIO: | 43 |
| 1.6.1.- ANTECEDENTES HISTÓRICOS:..... | 43 |
| 1.6.2.-MOLDE: | 44 |
| 1.6.3.- PROCESO: | 45 |
| 1.6.4.-APLICACIONES:..... | 46 |
| 1.6.5.-VENTAJAS Y DESVENTAJAS:..... | 47 |
| 1.7- MOLDEO EN COQUILLA..... | 48 |
| 1.7.1.- MOLDE Y PROCESO | 48 |
| 1.7.2.- VENTAJAS: | 51 |
| 1.7.3.- APLICACIONES: | 51 |
| 1.8.- FUNDICIÓN A PRESIÓN: | 52 |
| 1.8.1.- FUNDICIÓN POR FUERZA EXTERNA: | 52 |
| 1.8.2.- MATRICES (MOLDES):..... | 53 |
| 1.8.3.- PROCESO: | 54 |
| 1.8.4.-VENTAJAS Y DESVENTAJAS:..... | 56 |
| 1.9.-FUNDICIÓN CENTRÍFUGA:..... | 57 |
| 1.9.1.-ANTECEDENTES HISTÓRICOS:..... | 57 |
| 1.9.2.-PROCESO: | 58 |
| 1.9.3.-VENTAJAS Y DESVENTAJAS:..... | 59 |

| | |
|---|------------|
| 2.-MOLDEO DE PLÁSTICOS. | 61 |
| 2.1.-MOLDEO DE PLÁSTICOS POR INYECCIÓN:..... | 61 |
| 2.1.1.-ANTECEDENTES HISTÓRICOS:..... | 62 |
| 2.1.2.- MOLDE: | 63 |
| 2.1.3.-MAQUINARIA: | 64 |
| 2.1.4.-PROCESO: | 69 |
| 2.1.5.-VENTAJAS Y DESVENTAJAS:..... | 82 |
| 2.2.-MOLDEO DE PLÁSTICO POR EXTRUSIÓN DE POLÍMERO: | 85 |
| 2.2.1.-MOLDE: | 85 |
| 2.2.2.-PROCESO: | 86 |
| 2.2.3.-MAQUINARIA: | 91 |
| 2.2.4.-VENTAJAS Y DESVENTAJAS:..... | 101 |
| 2.3.-MOLDEO DE PLÁSTICOS POR SOPLADO: | 103 |
| 2.3.1.-ANTECEDENTES HISTÓRICOS:..... | 104 |
| 2.3.2.- PROCESO: | 104 |
| 2.3.3.-DIFERENTES LÍNEAS DE TRABAJO: | 106 |
| 2.3.4.-MATERIALES A LOS QUE SE APLICA: | 106 |
| 2.3.5.-GEOMETRÍAS OBTENIDAS EN LAS PIEZAS:..... | 107 |
| 2.3.6.-EQUIPOS Y UTILLAJE:..... | 108 |
| 2.3.7.-ASPECTOS ECÓNOMICOS Y PRODUCTIVOS: | 109 |
| 2.3.8.-APLICACIONES ABITUALES: | 109 |
| 2.4.-MOLDEO DE PLÁSTICOS POR COMPRESIÓN:..... | 110 |
| 2.4.1.-DEFINICIÓN DEL PROCESO: | 111 |
| 2.4.2.-CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO: | 111 |
| 2.4.3.-ESQUEMA DEL PROCESO:..... | 112 |
| 2.4.4.-PRENSA: | 113 |
| 2.4.5.-MOLDES: | 114 |
| 2.4.6.-MATERIAS PRIMAS: | 114 |
| 2.4.7.-PIEZAS PRODUCIDAS POR COMPRESIÓN:..... | 114 |
| 2.4.8.-PRINCIPALES APLICACIONES:..... | 115 |
| 2.4.9.-VENTAJAS:..... | 115 |
| 2.4.10.-DESVENTAJAS:..... | 115 |

| | |
|---|------------|
| 2.5.-MOLDEO DE PLÁSTICO POR TRANSFERENCIA: | 116 |
| 2.5.1.-DESCRIPCION DEL PROCESO:..... | 117 |
| 2.5.2.-CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO: | 119 |
| 2.5.3.-COMPARATIVA DE VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE ESTE TIPO DE MOLDEO CON EL MOLDEO POR INYECCIÓN Y EL MOLDEO POR COMPRESIÓN. | 119 |
| 2.5.4.-MATERIALES PROCESADOS POR MOLDEO POR TRANSFERENCIA: | 120 |
| 2.5.5.-PIEZAS OBTENIDAS:..... | 120 |
| 2.6.-MOLDEO DE PLÁSTICOS POR TERMOCONFORMADO: | 121 |
| 2.6.1.- DESCRIPCION:..... | 121 |
| 2.6.2.- VARIANTES DEL PROCESO: | 123 |
| 2.6.3.- MATERIALES A LOS QUE SE PUEDE APLICAR: | 127 |
| 2.6.4.- GEOMETRÍAS OBTENIBLES EN LAS PIEZAS:..... | 127 |
| 2.6.5.- EQUIPOS Y UTILLAJE:..... | 128 |
| 2.6.6.- ASPECTOS ECONÓMICOS-PRODUCTIVOS:..... | 129 |
| 2.6.7.- APLICACIONES HABITUALES: | 129 |
| 3.- BIBLIOGRAFIA..... | 131 |

MEMORIA

INTRODUCCIÓN:

El proyecto que se desarrolla a continuación ha sido realizado por Jesús Antón Antón en colaboración con el Departamento de Ingeniería de Diseño y Fabricación, Área de los Procesos de Fabricación, situado en la Escuela de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de Zaragoza, edificio Torres Quevedo. Este proyecto ha sido dirigido por José Manuel Franco, profesor de dicho departamento.

1.1.- OBJETO:

El objeto de este proyecto ha sido la preparación de un equipamiento didáctico técnico con la posibilidad de ser aprovechado por dicho departamento durante la impartición de algunas de sus asignaturas.

La misión de este proyecto es que los estudiantes de Ingeniería de la Universidad de Zaragoza adquieran los conocimientos necesarios para la comprensión y posterior aplicación de los mismos tras superar dicha asignatura, en su vida como ingenieros.

1.2.- ÁMBITO:

El ámbito de este proyecto es didáctico, ya que está orientado a la formación de alumnos en el campo de la fabricación, y la adquisición de conocimiento en cuanto a tipos de producción en moldes, tanto para metales como para plásticos se refiere. Aunque también podía tener un ámbito comercial la venta de estos equipamientos didácticos a distintas entidades como colegios, institutos y universidades como herramienta didáctica

En el ámbito didáctico, la forma técnica, mencionada anteriormente, viene para su alumnado. determinada por una recopilación de los diferentes tipos de fabricación en moldes, en el que se hace constar una introducción de los procesos de fabricación, así como una explicación de todos y cada uno de los diferentes procesos de producción que existen.

1.3.- ALCANCE:

Un alcance meramente didáctico para que los estudiantes de Ingeniería de la Universidad de Zaragoza o de cualquier entidad que tenga en poder un equipamiento didáctico técnico formado por nosotros.

El alcance que se quiere tener es que los estudiantes puedan aprender las cosas básicas que hay que saber sobre los diferentes tipos de producción en moldes tanto para metales como para plásticos, por si el día de mañana tuvieran que aplicar dichos conocimientos para su trabajo. Es decir, con esta herramienta de trabajo, uno no se va a hacer profesional de los procesos productivos de fundición, pero si va a tener las ideas básicas para iniciarse en ellos y poder comprender de una forma simple dichos procesos.

2. PLANIFICACIÓN

La planificación de dicho proyecto fue breve:

comienza el día que fui al despacho de don José Manuel, ha informarme de los posibles proyectos ha realizar, ya que vi anunciados en un tablón de la universidad varios que podrían interesarme, pero al llegar a su despacho me dijo que todos ellos estaban asignados, asique buscamos algo que pudiese interesarnos a ambos, y fuese útil en un futuro.

Después de esta primera reunión a primeros del mes de Octubre de 2011 volvimos a tener otra para el mes de Marzo de 2012, ya que por temas laborales no había podido dedicarle tiempo al proyecto. En esta reunión fijamos los contenidos del proyecto, y enfocamos más concretamente los puntos a desarrollar.

Como el tema del proyecto no necesitaba de un seguimiento semanal ni mensual, lo fui desarrollando poco a poco, en jornadas a tiempo parcial principalmente, ya que por motivos laborales, no he podido a penas dedicarle días enteros, salvo algún que otro fin de semana. Y enviando en varias ocasiones, vía e-mail información a mi tutor.

3. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO REALIZADO:

El trabajo que he realizado para este proyecto, básicamente, ha consistido en la búsqueda de información de varias fuentes, contrastarla y completar unas con otras, para conseguir un equipamiento didáctico técnico lo más completo posible.

Todo el proyecto se ha basado en buscar información sobre las diferentes técnicas de producción en moldes que existen. Claramente no están especificadas todas las técnicas que existen, y probablemente sea necesario volver a completarlo en unos años, ya que se siguen descubriendo nuevas técnicas que mejoran las presentes, pero en este documento, se recogen la mayoría de las técnicas y las mas utilizadas, aunque algunas de ellas se están quedando obsoletas, ya que no son del todo rentables.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

En este apartado se va a definir el objetivo específico del proyecto.

Como ya se ha dicho anteriormente el principal ámbito de este proyecto es didáctico. La misión del mismo es que todos los alumnos puedan comprender como se trabaja dentro de las empresas, y profundizar un poco más dentro de la producción en moldes.

-Objetivos:

Conocer los pasos a seguir para cualquier producto realizado con molde.

Saber que tipo de modelos o patrón es el más recomendable para fabricar cualquier tipo de producto.

Saber distinguir según las propiedades del producto final que deseamos obtener, los medios de los que disponemos, así como el número de piezas a fabricar, que tipo de molde es el más adecuado para cada ocasión.

3.3. TRABAJO ESPECÍFICO REALIZADO

Ha sido un trabajo de investigación y recopilación de datos de varias fuentes, principalmente internet, aunque también varios libros en los que tratan estos temas.

4. DIFICULTADES Y DESVIACIONES RESPECTO A LA PLANIFICACIÓN

Durante la realización del proyecto aparecieron algunas dificultades, aunque todas se fueron solventando en mayor o menor medida.

La principal dificultad fue la falta de información que en un principio, para algunos de los tipos de moldes no existía demasiada, o estaba bastante incompleta lo que encontré, pero con un poco de aquí otro poco de allí se fue completando.

En cuando a las dificultades en cuanto a la planificación del proyecto, se retraso un poco, debido a la falta de tiempo por mi parte para dedicarle al proyecto, ya que desde que decidí empezar con el mismo hasta que me puse a ello pasaron varios meses, porque me surgieron dos trabajos a la vez, y no encontraba tiempo por ningún lado. Después de esto y aunque he seguido compaginando el proyecto con mi trabajo, he podido dedicarle mas tiempo, tanto en días laborables a tiempo parcial como fines de semana a tiempo completo.

Finalmente y como se ha podido ver, el proyecto ha estado orientado a la preparación de un equipamiento didáctico técnico para la formación de alumnos de la universidad.

5. DEDICACIÓN

La dedicación a este proyecto ha sido aproximadamente de 350 horas alternando jornadas a tiempo parcial con jornadas a tiempo completo, ya que el comienzo del mismo dio

lugar a principios de marzo del dos mil doce, cuando se produjo la segunda reunión con el tutor del mismo y se marcaron las primeras pautas del proyecto y el comienzo de las tareas asignadas, y finalizó con la redacción de la memoria el día 27 de Agosto del dos mil doce.

6. CONOCIMIENTOS Y HABILIDADES ADQUIRIDAS

Las habilidades adquiridas durante la realización del proyecto han sido muchas a nivel formativo. Aunque ya conocía muchos de los diferentes tipos de moldes de los que se habla en el proyecto, no los conocía tan a fondo, y desconocía la existencia de otros muchos.

El haber realizado el proyecto durante este año, me ha ayudado a comprender más en profundidad el funcionamiento de alguna de las partes de las empresas en las que he estado trabajando, principalmente en la que me encuentro actualmente, ya que una gran parte de la misma se dedica a la fabricación de piezas en moldes. Piezas de Zamak (es una aleación de Zinc, Aluminio, Magnesio y Cobre) y plástico principalmente. Tiene un gran taller donde se dedican a ajustar moldes y donde he podido ver todas las partes de las que estos se componen y así poder comprender mejor partes de mi proyecto.

7. CONCLUSIONES DEL TRABAJO REALIZADO

En este apartado se describen los logros obtenidos de la realización del proyecto, además de las posibles ampliaciones que se podrían aplicar sobre los trabajos ya realizados, y una serie de conclusiones personales a las que se ha llegado tras la finalización del proyecto.

7.1. CONCLUSIONES DEL TRABAJO REALIZADO

En primer lugar empezare por comentar las conclusiones a las que he llegado respecto al trabajo realizado. La conclusión más importante a la que se puede llegar del resultado del desarrollo del proyecto, está relacionada con haber cumplido los objetivos que se propusieron sobre el proyecto, que como ya se ha comentado en otros apartados, es el de la realización de un equipamiento didáctico técnico para los estudiantes de Ingeniería de la Universidad de Zaragoza.

Gracias al cual los estudiantes de ingeniería, dispondrán de un temario completo sobre la construcción en moldes.

7.2. CONCLUSIONES PERSONALES

Con respecto a las conclusiones personales decir que colaborar con este departamento y con el director en particular de este proyecto me ha resultado una experiencia muy grata, ya que siempre ha estado a mi disposición para cualquier cosa que haya necesitado, tanto del proyecto en general como cualquier otra cosa en particular.

Quiero decir que el proyecto ha sido una experiencia muy positiva para mí, ya que adquirido muchos conocimientos que antes no tenía, los cuales puedo aplicar a mi actual trabajo y posiblemente en otros futuros, ya que me gusta lo que hago y me gustaría continuar por esta rama.

Por último, decir que para mí ha sido una de las experiencias con las que más realizado me he sentido desde el comienzo de la carrera, ya que podré comprobar que realmente mi esfuerzo ha merecido la pena y no es algo que resulta en vano, puesto que también contribuiré a la formación de alumnos en un futuro próximo.

7.3. LÍNEAS FUTURAS

Como ya he mencionado anteriormente, será necesario ampliar en un futuro próximo nuevos tipos de producción en moldes, ya que la industria esta en continua evolución, sobre todo la del plástico, que ha aumentado enormemente en los últimos años.

Otra de las vías por donde se podría continuar, es en la preparación de clases prácticas en las que se les enseñara a los alumnos como se fabrican cada uno de los tipos de moldes, algunos de estos podrían ser en la propia universidad, y otros podrían ampliarse con una visita a alguna fabrica de la zona, donde estuviesen dispuestos a mostrar sus instalaciones, ya que no siempre es posible.

8. AGRADECIMIENTOS

En primer lugar me gustaría agradecer al Departamento de Ingeniería de Diseño y Fabricación, en especial a mi tutor José Manuel Franco, por la confianza que ha depositado en mí, y por todo el apoyo recibido durante la realización del proyecto.

En segundo lugar me gustaría hacer una mención especial a mis padres la ayuda, confianza y el esfuerzo que me han prestado siempre para completar mis estudios, así como a toda mi familia que siempre han estado ahí apoyándome y animándome desde mis abuelos hasta mis primos.

También me gustaría agradecer a todos los compañeros que he conocido durante estos años de carrera. Pero en especial a Jessica, Dani, David, Rubén, Álvaro, María e Iris que me han ayudado, apoyado y soportado durante toda mi vida universitaria. Que me han dado

muchos, grandes y buenos momentos juntos y sobre todo que sin ellos habría sido imposible llegar hasta aquí.

Por último me gustaría agradecer a todos mis amigos, que pese a que no les he podido ver mucho durante las clases y sobre todo durante la época de exámenes, no han dejado de apoyarme y darme ánimos.

Por todo esto, muchas gracias a todos.

ANEXO-I

INTRODUCCIÓN:

El tema que vamos a tratar en este proyecto es la fabricación en moldes tanto para plásticos como para metales. Para quien no sepa en qué consiste la fabricación bajo esta técnica, se va a explicar en esta introducción dicho sistema. Empezando por definir en qué consiste el moldeo: El moldeo (también conocido como fundición o colada) es un procedimiento que permite dar forma a muchos materiales y obtener piezas acabadas, para ello lo primero que se debe construir es el molde con la forma de la pieza, un molde es una pieza, o un conjunto de piezas acopladas, interiormente huecas pero con los detalles e improntas exteriores del futuro sólido que se desea obtener.



Figura 1. Molde (las dos mitades exteriores) y modelo (manzana hecha de madera).

El moldeo es una técnica que consiste en calentar el material hasta su punto de fusión y, en ese momento, verterlo en un molde con la forma de la pieza que se pretende obtener.

Una vez que se ha realizado el diseño de la pieza que se desea fabricar, es necesario construir un modelo. Generalmente se elaboran en madera (como la figura 1) o yeso, de forma totalmente artesanal, aunque hoy en día, existen nuevas técnicas como es la impresión en 3D

en materiales plásticos, a partir de un modelo generado por ordenador. A partir del modelo se construye el molde, que puede ser de arena, yeso, u otros materiales, como el acero (los moldes de acero no se fabrican a partir del modelo sino por diferentes técnicas de erosión y arranque de viruta).

Si la pieza es hueca es preciso fabricar también los machos o noyos, que son unas piezas que recubren los huecos interiores.

En todos estos pasos se debe tener en cuenta el material elegido para la fabricación de la pieza.

El proceso de llenado del molde se conoce como colada, es un paso muy importante a tener en cuenta, ya que todo el material que se vierte debe rellenar todas las cavidades del mismo. Una vez que el molde ha sido llenado con el material elegido, se produce lo que llamamos el desmoldeo que consiste en extraer la pieza del molde una vez solidificada. En muchos casos, y fundamentalmente cuando se requiere precisión, deben realizarse tratamientos de acabado sobre las piezas obtenidas.

Los materiales con los que se construyen las piezas suelen ser metales y aleaciones o plásticos, y deben poseer las siguientes características:

- Punto bajo de fusión, principalmente en los metales que funden a una mayor temperatura (Para ahorrar energía).
- Baja tensión superficial (Para reproducir fielmente el molde).
- Bajo coeficiente de dilatación en estado líquido (Para que la contracción del metal sea pequeña).
- Bajo coeficiente de dilatación en estado sólido (Para disminuir el riesgo de formación de grietas durante el enfriamiento).
- Aptitud para el llenado del molde.

A la hora de elegir el tipo de moldeo con el que fabricar nuestra pieza, es necesario tener en cuenta las siguientes características:

- Cantidad de piezas a fabricar: muchas (molde permanente), pocas (molde no permanente).
- Acabado superficial de la pieza: dependiendo del molde utilizado se producen mejores o peores acabados, siendo necesario en algunos casos un posterior re trabajo de la pieza.
- Tamaño y forma de la pieza.
- Material.

1.-MOLDEO DE METALES:

1.1.-MOLDEO A LA CERA PERDIDA:

1.1.1.-ATECEDENTES HISTÓRICOS:

El moldeo a la cera perdida o fundición a la cera perdida es un procedimiento escultórico de tradición muy antigua (por ejemplo, era habitual en la Grecia de los siglos VI y V a. C.), que sirve para obtener figuras de metal (generalmente bronce) por medio de un molde que se elabora a partir de un prototipo tradicionalmente modelado en cera de abeja.

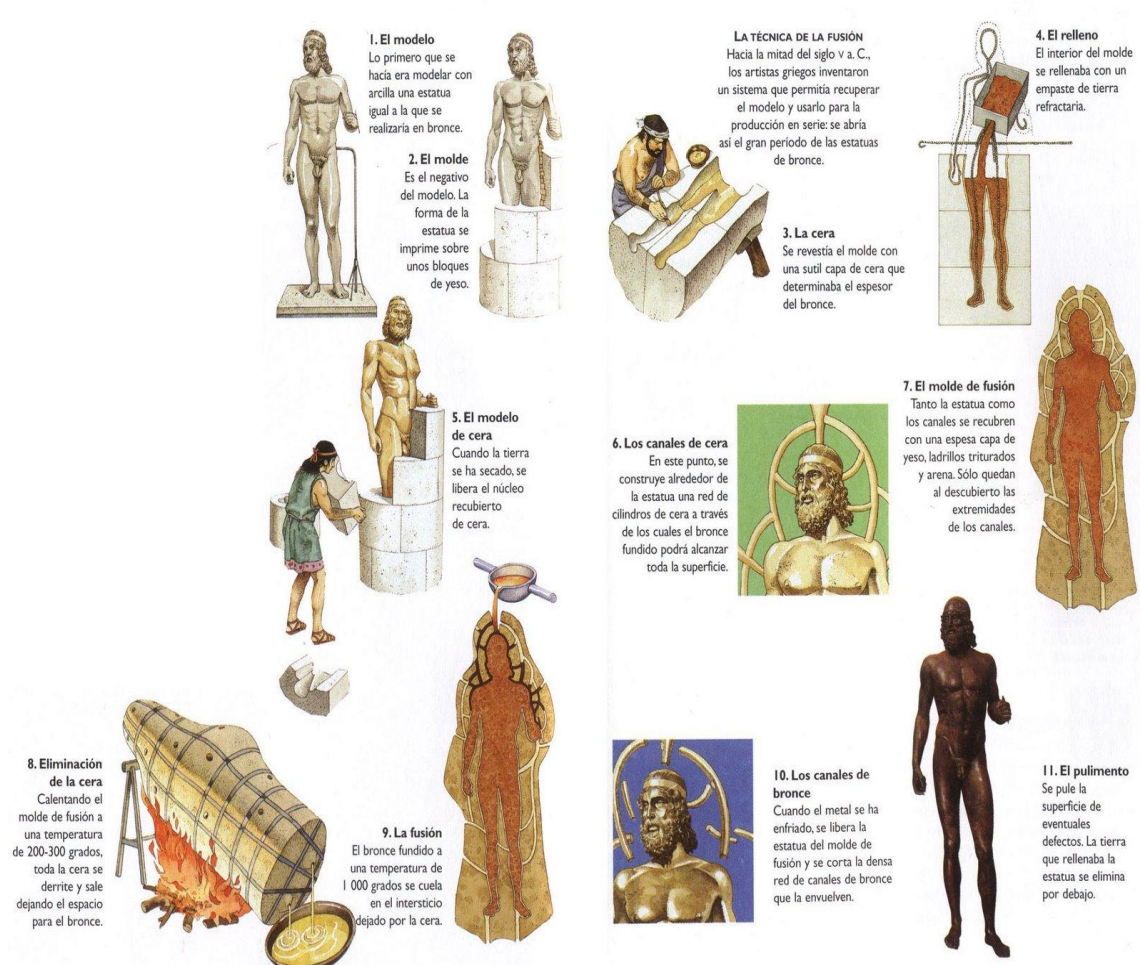


Figura 2: Explicación de los primeros modelos realizados a la cera perdida.

Este modelo previo es rodeado de una gruesa capa de material blando que se solidifica. Una vez endurecido, se mete en un horno, que derrite la cera de la figura de cera, saliendo ésta por

unos orificios creados al efecto (de ahí su denominación) y, en su lugar, se inyecta el metal fundido, que adopta la forma exacta del modelo. Para extraer la pieza final es necesario destruir el molde. La principal ventaja de este procedimiento es la estrecha tolerancia dimensional que podemos conseguir, la cual no puede conseguirse mediante otros procesos. Podemos conseguir dimensiones ajustadas de 0,002mm. Es un proceso en el que obtenemos un acabado superficial excelente. Es un proceso caro, por lo que se utiliza para la fabricación de pre-series y prototipos, pudiendo ser utilizado en volúmenes de producción bajos.

Esta forma de trabajar el metal (bronce), simplificada en los párrafos anteriores, en realidad, requiere un largo, costoso y complicado proceso junto con una perfecta y adecuada combinación de diversos oficios: para el proyecto general y la coordinación, los escultores; para los primeros pasos, los moldeadores; para la labor de horneado, los fundidores y para el acabado, los cinceladores y patinadores.

<http://www.youtube.com/watch?v=95wX-cxcpmc>

1.1.2.- MOLDE:

Sea cual sea el proceso, una vez liberado el modelo final, va siendo rodeado o forrado de algún material maleable pero que se endurezca poco a poco (ladrillo molido, o escayola) y que sea refractario (que resista la acción del fuego sin alterarse). Se van aplicando tantas capas como sea necesario, para crear un molde hermético, de una sola pieza.

Únicamente hay que colocar unos soportes de acero, a modo de puntas, que se claven en el modelo blando del interior y que quedan fuertemente sujetos al molde exterior.

Igualmente se abre un número variable de pequeños orificios, llamados bebederos, que se consiguen colocando canutos de papel encerado, que comunican el interior con el exterior. Además, está el orificio principal, en forma de embudo.

Actualmente, la primera capa se hace de material cerámico refractario, de gran precisión, compuesto de polvo de sílice, el resto puede ser de ladrillo refractario más vasto.

Cuando se ha endurecido el molde definitivo, con sus bebederos y clavos, hay dos posibilidades. Si la escultura va a ser pequeña, se puede verter directamente el metal fundido.

Pero si la figura es monumental, la cantidad de metal puede ser excesiva, tanto por el coste económico, como por el peso resultante. Por eso es conveniente conseguir que la forma sea hueca. ¿Cómo se consigue eso?

En primer lugar se vierte por el orificio principal una pequeña cantidad de cera que quede adherida a las paredes del molde cubriendo por completo su superficie interna; se pueden verter varias capas de cera, para obtener un mayor grosor de la futura capa de metal. El interior sigue quedando vacío y se rellena con una sustancia que va a actuar de “macho”: una solución de ladrillo poroso molido y escayola, por lo que al endurecer queda un alma ligera pero maciza y resistente, sujeta por los clavos que tiene el molde, de modo que no se mueve y no deforma la cera.

Ahora ya se puede llevar el molde, convertido en un bloque sólido y resistente, al horno de fundición o “mufla”.



Figura 3: Ejemplo del molde a la cera perdida.

1.1.3.-PROCESO:

Al introducir el molde en la mufla, en posición invertida, la cera se derrite y sale por los bebederos o por el orificio principal, pero el macho queda fijado por los clavos manteniendo la misma separación y disposición y dejando un hueco homogéneo entre el alma y el molde. Ese hueco es el que será relleno por el metal licuado al ser vertido por el orificio principal. Hay que tener presente que los metales disminuyen su volumen al solidificarse. Por lo que, para evitar que se produzcan cavidades al contraerse el metal que conforma la pieza final, la solidificación ha de comenzar en las partes de menor tamaño y más alejadas de los bebederos, continuando de manera gradual en dirección de las mazarotas o respiraderos, los cuales

facilitarán la salida de aire, asegurando que no queden burbujas ni restos de cera o escayola. En los respiraderos tendremos el metal a mayor temperatura y con cierta presión hidrostática, con la finalidad de llenar los huecos que se vayan formando debido a la contracción del metal. El proceso puede llegar a durar desde decenas de horas a varios días, dependiendo tanto del tamaño de la figura como del espesor de la misma (recordemos que las piezas pequeñas pueden fundirse y desmoldarse sin necesidad de «macho» o «alma»).

Una vez enfriados el metal y el bloque macizo, se procede al desmoldado, que sólo puede hacerse destruyendo el bloque (puesto que éste es de una sola pieza y no es posible abrirlo sin romperlo. Es un caso de molde no permanente). La figura aislada resultante es de textura áspera, porosa y seguramente tenga imperfecciones, junto con los restos de los bebederos. Es necesario que el artista corte los bebederos, lime, pulimente y abrillante la superficie (y, si hay huecos hechos por burbujas, se rellenarían con metal fundido y se limarían), hasta lustrar el metal. En la actualidad es común usar arena muy fina proyectada a gran velocidad para el acabado.

Los remates posteriores son tan laboriosos como los de una obra de orfebrería, algunos de ellos son: añadir pátinas y diferentes colores, bien por medio de productos químicos o con aplicación de calor (generalmente, con un soplete, que oxida el metal dándole un tono distinto). También se añaden complementos de todo tipo, por ejemplo, ya desde la Antigüedad clásica, los bronceístas griegos forraban los labios de sus estatuas con cobre, para que fuesen más rojizos, incrustaban pasta vítrea blanca para dientes y ojos, pasta negra para el iris, se añadían las pestañas. Por supuesto, se hacen cincelados y grabados para los detalles del pelo o imitación de dibujos del ropaje etc. A veces, se incluyen diversos aditamentos, como armamento, símbolos, coronas....

http://www.youtube.com/watch?v=XzebdP1Sv_4

1.1.4.-VENTAJAS Y DESVENTAJAS:

La fundición a la cera perdida, en comparación con otros procesos de fundición, presenta las ventajas de ofrecer buena precisión, geometrías complicadas y acabados superficiales muy buenos, no obstante la velocidad de solidificación lenta característica de este proceso ha dificultado su empleo en materiales compuestos de matriz metálica.

1.1.5.-APLICACIONES:

Se utiliza el molde a la cera perdida para un gran número de aplicaciones, principalmente para la creación de piezas únicas, que requieren una buena tolerancia dimensional, como pueden ser: dispositivos médicos, piezas de máquinas, prótesis, accesorios para tubos, instrumentos científicos, piezas de formas complejas,...

1.2.-FUNDICIÓN EN MOLDE DE ARENA:

Existen dos métodos diferentes por los cuales la fundición a la arena se puede producir. Se clasifica en función del tipo de modelo usado, ellos son: *modelo removible* y *modelo desechable*.

Modelo removible, el modelo se extrae más tarde de la arena. La cavidad producida se alimenta con metal fundido para crear la fundición. Modelos desechables son hechos de poliestireno y en vez de extraer el modelo de la arena, se vaporiza cuando el metal fundido es vaciado en el molde. Para entender el proceso de fundición, es necesario conocer como se hace un molde y que factores son importantes para producir una buena fundición, todo esto viene explicado a continuación.



REMOVIBLE



DESECHABLE (Poliestireno)

Figura 4: Ejemplo de modelos removible y desechable.

1.2.1.- MOLDE:

En la elaboración de moldes se parte de la mezcla de arena de sílice y bentonita (un derivado de la arcilla) a un 30 - 35 % con una cantidad moderada de agua.

Esta primera elaboración de la mezcla se denomina arena de contacto, tras su primera utilización esta mezcla es reutilizable como arena de relleno, la cual al añadirle agua vuelve a recuperar las condiciones para el moldeo de piezas. De esta manera, se puede crear un circuito cerrado de arenería.

Existe otro tipo de preparado de la arena, es un tipo de preparado ya comercial, consiste en una mezcla de arena de sílice con aceites vegetales y otros aditivos. Este tipo de preparado no es reutilizable, ya que tras su utilización dichos aceites se queman perdiendo así las propiedades para el moldeo. Por este motivo no es aconsejable su utilización en grandes cantidades y de forma continua en circuitos de arenería cerrados ya que provocaría el progresivo deterioro de mezcla del preparado del circuito y por lo tanto su capacidad para el moldeo. Este preparado facilita la realización del moldeo manual, ya que alarga el proceso de manipulación para realizar el modelaje.

Existen dos tipos de moldeo en verde: el moldeo manual y el moldeo en máquina.

- *Moldeo manual:* Consiste en el moldeo realizado de forma manual, y por lo tanto de una manera artesanal. Este tipo de modelaje se está perdiendo en la actualidad debido a la especialización, a la desaparición progresiva de los operarios de fundición y a la utilización de las máquinas de moldeo.



Figura5: Moldeo manual.

- *Moldeo en máquina:* Consiste en el moldeo realizado por medio de una máquina de moldeo. Existen en la actualidad distintos tipos de maquinas para este fin: las máquinas multifunción, máquinas multipistones y máquinas automáticas. La utilización de este tipo de máquinas ha facilitado la automatización de este proceso, aumentando notablemente las cantidades productivas.



Figura 6: Moldeo en máquina.

Proporciones para el molde de arena verde:

- Para la fabricación de moldes para el moldeo en arena verde se suele utilizar una proporción típica de:
 - 90% de Sílice (SiO_2)
 - 7% de arcilla
 - 3% de agua
- También se utilizan diversos métodos de compactación, como son:
 - Manual
 - Presión neumática
 - Sacudimiento
 - Lanzamiento de arena a presión

1.2.1.1.-Modelos:

Los modelos se usan para moldear la mezcla de arena a la forma de la fundición.

- *Removibles:* La arena es comprimida alrededor del modelo el cual se extrae más tarde de la arena y deja una cavidad que se alimenta con metal fundido para crear la fundición.

- *Desechables:* Son hechos de poliestireno y en vez de extraer el modelo de la arena, se vaporiza cuando el metal fundido es vaciado en el molde.

Si los modelos se destruyen al elaborar la pieza, se dice que estos son desechables; y si los modelos sirven para varias funciones se dice que son removibles.

1.2.1.2.-Materiales empleados en los modelos:

Se suelen utilizar resinas plásticas (por ser resistentes a la abrasión, ligeras y sufrir pequeñas contracciones), maderas, latones, fundiciones,...

1.2.1.3.-Características de las arenas de moldeo:

Las arenas silico-aluminosas procedentes de la descomposición de rocas ígneas son las más utilizadas y se llaman tierras de moldeo.

Sus granos están entre 0'1 y 0'3 mm. y, fundamentalmente, están formadas por cuarzo y arcilla, de los cuales se exigen unos porcentajes, aunque puede que tengan otros elementos secundarios.

El cuarzo (SiO_2) es el principal componente y, por tanto, su proporción la mayor (80-90%).

La arcilla es un silicato de alúmina hidratado y su porcentaje suele estar en torno al 10%. Se encuentra rodeando a los granos de cuarzo, es decir, actúa de aglutinante.

El porcentaje de humedad de las arenas está en torno al 10%. Esa agua se encuentra, por un lado, formando parte de la propia constitución de la arcilla y, por otro, como agua libre formando parte de una humedad que puede tener o que podemos provocar.

Las arenas de molde naturales tienen entre un 5 y un 7% de humedad.

1.2.1.4.- Ensayos de las características de las arenas de moldeo:

- **Determinación de la humedad:** se determina por la pérdida de peso de una probeta de arena húmeda después de haberla calentado durante un tiempo determinado. También puede hacerse de una forma más rápida utilizando unos aparatos basados en la capacidad dieléctrica de la arena.

- Determinación de los porcentajes de sílice y arcilla: se hace mediante un proceso sobre una probeta capaz de diferenciar un elemento y otro.
- Determinación de la forma de los granos: para ello, los observamos a través de un microscopio.
- Determinación del tamaño de grano: se realiza haciendo pasar la arena lavada con sosa seca, sin contenido en arcilla, por una serie de once tamices de malla decrecientes. Cada tamiz va a retener una cantidad de arena que nos servirá para concretar el tamaño observando la proporción de arena predominante.

1.2.1.5.- Propiedades de las arenas de moldeo:

Las propiedades son algo así como la actitud que tiene la arena para el fin, al que va destinada. Las propiedades fundamentales son:

- Plasticidad: capacidad para reproducir los detalles de los modelos. Depende de:
 - Deformabilidad: actitud para cambiar de forma. Depende de los porcentajes de arcilla, de la humedad e, incluso, de la forma del grano.
 - Fluencia: capacidad de transmitir la presión a través de ella.
- Permeabilidad: es la facilidad para dejarse atravesar por el aire y los gases que se desprenden al realizar la colada. Depende del tamaño y forma de los granos, del contenido en arcilla, de la presión y del porcentaje de humedad.
- Refractabilidad: es la capacidad para soportar temperaturas elevadas. Depende del tipo de arcilla.
- Cohesión: capacidad de permanecer los granos unidos entre sí. Depende del porcentaje de arcilla.

1.2.1.6.- Ensayos de las propiedades de las arenas de moldeo:

- Deformabilidad: se mide por la disminución de longitud de una probeta de arena después de haberla sometido a un ensayo de compresión hasta su rotura.

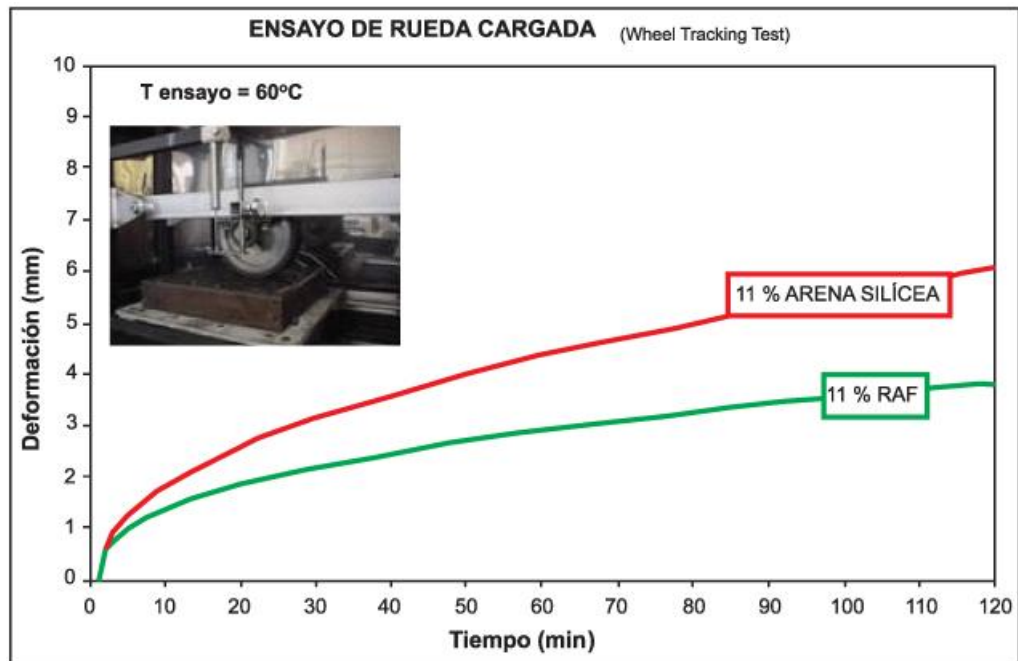


Figura 7: Gráfica del análisis de deformación-tiempo de las arenas de moldeo.

- Fluencia: se mide apisonando el extremo de una probeta sobre la que se deja caer tres veces un pisón. Después de cada impacto se mide con un durómetro.
- Permeabilidad: se determina con un permeámetro midiendo el volumen de aire, a una presión de 1 gr/cm^2 , que atraviesa una probeta apisonada en un minuto. También se puede determinar midiendo el tiempo que tarda en atravesar la probeta un determinado volumen de aire.
- Refractabilidad: se hace mediante aparatos que estiman los valores específicos, como son los
- Cohesión: se lleva a cabo por ensayos de compresión, tracción, flexión,...
- Dureza: no es una propiedad característica, pero se suele medir también con un durómetro.

1.2.1.7.- Clasificación de las arenas de moldeo:

Se pueden tener distintas clasificaciones:

- Por su origen:
 - Naturales o tierras de moldeo

- Sintéticas
- Por la humedad que tengan:
 - Verdes o magras: se emplean para obtener piezas pequeñas. El contenido en arcilla es bajo y la humedad de estas permanece constante.
 - Secas o grasas: se han obtenido a base de un secado controlado para mejorar la permeabilidad.
- Por su aplicación en el moldeo:
 - De revestimiento o contacto: en contacto con la pieza.
 - De relleno
- según su utilización:
 - Para molde
 - Para macho

Existen otras clases de arenas que suelen tener aplicaciones muy específicas como pueden ser:

- Arenas incrustadas: han estado en contacto con el metal y están deterioradas
- Adobadas: tienen elementos adicionales para cohesionar
- De carbonato o negras: se les adiciona un pequeño porcentaje (2-3%) de carbón.
- Al cemento: se les aporta cemento en un porcentaje variable y agua. Se utilizan para obtener piezas muy grandes y exigentes, como pueden ser las hélices de los barcos.
- Barros: son aquellas con un porcentaje de arcilla muy elevado (hasta un 20%) y otros elementos como cal y óxidos de hierro. Se utilizan para moldear aceros.

1.2.1.8.- Aditivos de las arenas de moldeo:

Los aditivos normalmente se dividen en dos grupos:

- Aglutinantes: son sustancias que se mezclan con las arenas destinadas al moldeo de machos y aportan una serie de cualidades o mejoran las ya existentes. Tienen la capacidad de volatilizarse produciendo muy pocos gases, hacen que la arena se desmorone con más facilidad. Los más utilizados son:

- Aceites: el más usado es el de linaza
 - Dextrinas: se obtienen a partir de la harina de trigo
 - Resinas sintéticas: son derivados plásticos termoestables.
- Revestimiento: Se emplean dos tipos: para cajas y para machos. Los primeros facilitan la extracción de la pieza y los segundos garantizan el llenado completo de las zonas más complejas. Otras misiones de los revestimientos es evitar adherencias, proteger al ser muy refractarios y, en cierto modo, formar una película protectora al estar situados entre el metal y la arena. Los más usados son los polvos de carbón y los negros líquidos.

1.2.1.10.-Tolerancias:

En el diseño de los modelos que se utilizan para construir un molde es necesario tener en consideración varias tolerancias.

- *Tolerancia para la contracción:* Se debe tener en consideración que un material al enfriarse se contrae dependiendo del tipo de metal que se esté utilizando, por lo que los modelos deberán ser más grandes que las medidas finales que se esperan obtener.
- *Tolerancia para la extracción:* Cuando se tiene un modelo que se va a remover es necesario agrandar las superficies por las que se deslizará, al fabricar estas superficies se deben considerar en sus dimensiones la holgura por extracción.
- *Tolerancia por acabado:* Cuando una pieza es fabricada es necesario realizar algún trabajo de acabado o terminado de las superficies generadas, esto se logra puliendo o quitando algún material de las piezas producidas por lo que se debe considerar en el modelo esta rebaja de material, es decir, la pieza que sale del molde tiene un exceso de material que será eliminado en el proceso de acabado.
- *Tolerancia de distorsión:* Cuando una pieza es de superficie irregular, su enfriamiento también es irregular y por ello su contracción es irregular generando la distorsión de la pieza, estos efectos deberán ser tomados en consideración en el diseño de los modelos.
- *Golpeteo:* En algunas ocasiones se golpean los modelos para ser extraídos de los moldes, acción que genera la modificación de las dimensiones finales de las piezas

obtenidas, estas pequeñas modificaciones deben ser tomadas en consideración en la fabricación de los modelos.

1.2.2.-PROCESO

1.2.2.1.-Proceso de fundición de moldeado en arena verde:

El Término "arena verde" es conocido principalmente por el contenido de humedad dentro de la arena. La arena se somete a un "moldeado / mezclado", proceso en el que varios tipos de arcilla y aditivos químicos que actúan como aglutinantes se mezclan con la arena, el resultado es un compuesto que es conveniente para el proceso de moldeo en arena.

Esta mezcla de preparado de arena se comprime alrededor del patrón (patrón de la pieza deseada) a presiones y temperaturas específicas, para garantizar que mantenga su forma durante el resto del proceso de fundición. La arena mezclada se compacta alrededor del patrón, tomando la forma del molde deseado.

A veces el diseño de la fundición implica conductos internos en la pieza. Esto se hace mediante el uso de machos de arena que están constituidos por una mezcla de arenas similares. Los núcleos están ubicados estratégicamente para formar los conductos necesarios en la fundición. Las dos mitades del molde posteriormente se cierran y el metal se vierte en la cavidad y se deja solidificar.

Después de que la solidificación haya tenido lugar, la arena se hace vibrar hasta que se libera de la fundición. El proceso de acabado puede ser completado por rectificado, mecanizado, la galvanoplastia y la pintura.

En la siguiente figura podéis observar el proceso paso a paso:

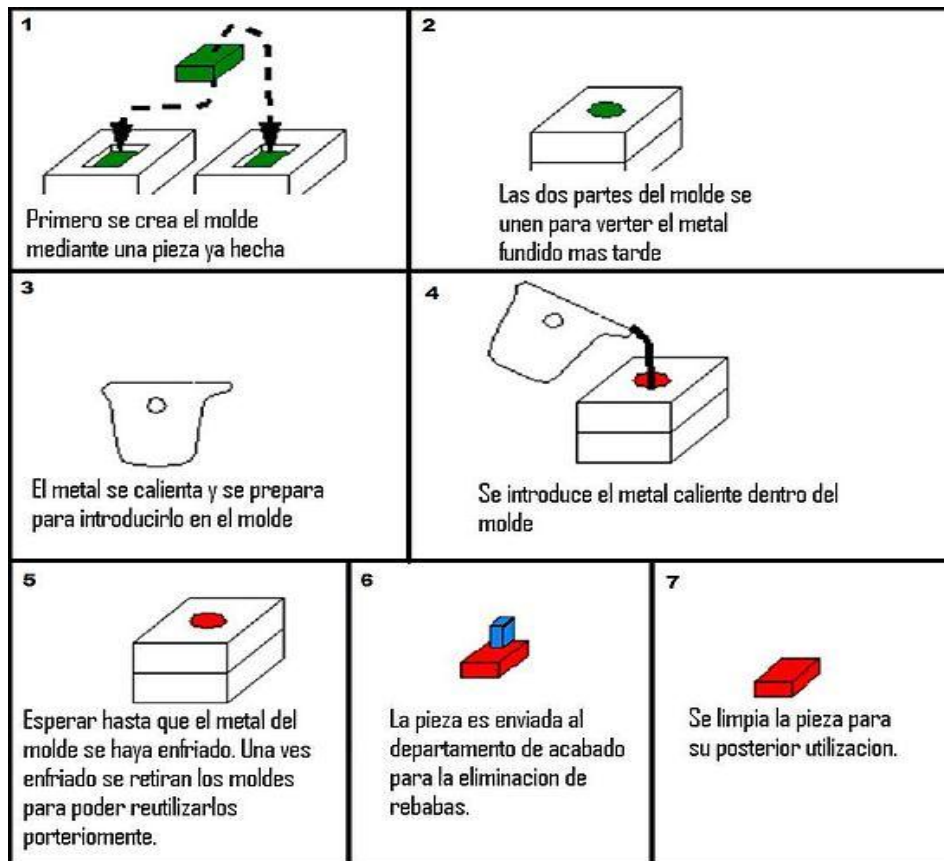


Figura 8. Proceso de moldeado en arena.

<http://www.youtube.com/watch?v=5NpG5afdTG0>

1.2.3.-VENTAJAS Y DESVENTAJAS:

1.2.3.1.-Ventajas:

- Económico: es un proceso más barato que el resto.
- Resistencia a altas temperaturas.
- Posibilidad de obtención de piezas de hasta menos de 3 mm de grosor de acero.
- Posibilidad de utilización en gran cantidad de metales y aleaciones.
- Acabado uniforme y liso.
- No requiere de tolerancias especiales.
- Aproximadamente un 90% del material del molde es reciclable.
- Se trata de un proceso flexible con costos de materiales bajos.
- Piezas sin tensiones residuales.

1.2.3.2.-Desventajas:

- No se trata de un proceso recomendado para piezas de gran tamaño.
- Las tolerancias que se obtienen suelen ser bastante grandes.
- No es el proceso más adecuado para la realización de piezas de geometría compleja.
- Los acabados superficiales que se obtienen no son los mejores.
- Piezas con resistencia mecánica reducida.
-

1.2.4.-APLICACIONES:

Las aplicaciones para este tipo de moldeo son muy extensas, aunque se utilizan para piezas que no se fabrican en serie. El tamaño de las piezas que se fabrican mediante este método es muy variado, ya que puede ir desde unos pocos milímetros hasta grandes piezas utilizadas en ferrocarriles. Suele tratarse de piezas sencillas sin muchas cavidades.

1.3.-MOLDEO EN CÁSCARA O CONCHA:

1.3.1.- ANTECEDENTES HISTÓRICOS:

La fundición a través de conformación de moldes tipo cáscara o concha, conocido como Shell Molding, fue desarrollada por primera vez y patentada por Croning, en Alemania, en la década del 40, durante la segunda guerra mundial, por ello es conocido también como 'Croning process'.

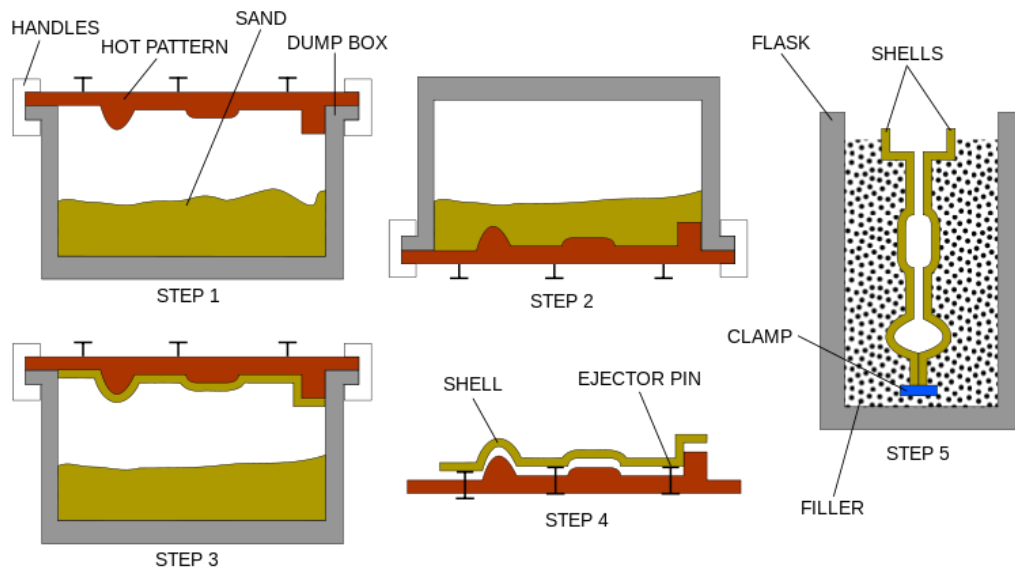


Figura 9: Proceso de moldeo en cascara o concha en 5 pasos.

A través de esta técnica pueden obtenerse piezas de formas simples y complejas con muy buen acabado, nivel de detalle y tolerancias pequeñas, para un amplio rango de aleaciones. El nivel de precisión de las piezas producidas a través de moldeo en cáscara es menor que aquel alcanzado con la técnica de fundición a la cera perdida, sin embargo es mayor que el alcanzado a través de las técnicas convencionales de molde de arena y tiene un bajo costo comparativo.



Figura 10: Pequeño ejemplo de molde.

1.3.2.- MOLDE Y PROCESO:

A grandes rasgos, el moldeo en cáscara funciona de la siguiente forma:

- Se construye un modelo metálico con la forma de la pieza que se desee fabricar.

- El modelo metálico se calienta hasta temperaturas de entre 150°C y 350°C, dependiendo del metal. Luego se rocía con algún agente lubricante, que evite que la arena que posteriormente se depositará sobre él se adhiera por completo.
- El modelo se incorpora a una placa que deja descubierta sólo una de sus mitades. La mitad caliente del modelo es dispuesta sobre una caja con arena que previamente ha sido mezclada con una resina termoendurecible.
- La caja es volteada de manera que la mezcla arena-resina pueda depositarse sobre el modelo metálico. El modelo es mantenido caliente, generalmente en forma eléctrica.
- Debido a la temperatura del modelo, la mezcla circundante se endurece, gracias a la propiedad de la resina endurecible, formándose entonces una reproducción en negativo de la forma del modelo, de pequeño espesor. Esta reproducción constituye la cáscara o concha.
- La caja vuelve a voltearse hasta su posición original, de forma que el exceso de mezcla (la mezcla que no endureció), caiga, separándose del modelo y dejando en él solamente la cáscara.
- El modelo metálico con la cáscara se retira de la caja con la cáscara adherida y el conjunto se introduce en un horno.
- La cáscara se separa del molde, se deja enfriar y se une mediante una prensa con la otra mitad, para conformar el molde.
- Una vez conformado el molde la fundición se realiza de manera convencional, es decir, se vierte el metal líquido dentro del molde y se espera que solidifique para finalmente retirar la mezcla arena-resina de su superficie.

Este es el método tradicionalmente utilizado. Un esquema básico de la conformación del molde 'cáscara' se muestra en la figura 2.

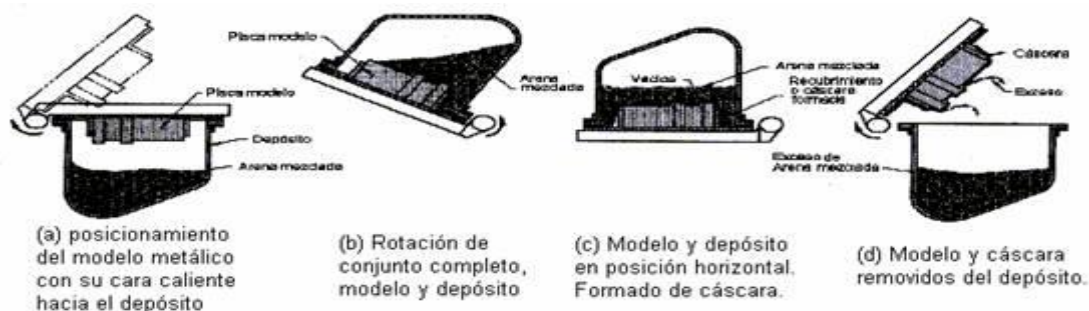


Figura 11. Etapa primaria de la conformación de la cáscara.

En la figura 4 se muestra una variante del proceso ya descrito, en que la mezcla arena-resina es inicialmente contenida en un depósito, luego dispuesta sobre el modelo que descansa en posición horizontal, y liberada mediante la apertura de la compuerta o persiana que la contiene. La mezcla entonces endurece formando la concha, el conjunto es invertido de manera de separar la arena sobrante, la compuerta es nuevamente cerrada y el depósito es retirado de la placa que contiene el modelo.

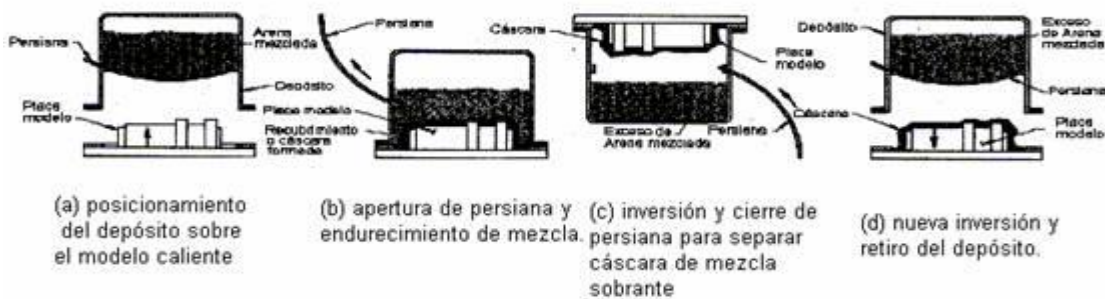


Figura 12. Proceso alternativo de conformación de la cáscara.

La figura 5 ilustra el procedimiento completo, desde que el modelo metálico caliente es puesto sobre el depósito de arena (1) hasta que las cáscaras correspondientes a cada mitad son dispuestas en forma de molde con ayuda de una prensa (6), de modo de verter el metal líquido y obtener la pieza deseada (7). El recalentamiento del conjunto modelo-cáscara en un horno se lleva a cabo para que la resina se cure y de este modo la cáscara adquiera rigidez. Una vez recalentada, la concha es retirada del modelo mediante eyectores (bujes de eyección) y enfriada antes de ser unida al hemisferio restante para conformar el molde. En la conformación del molde, además de prensar las mitades, se aplica en sus bordes un sellante que evita las fugas de metal líquido.

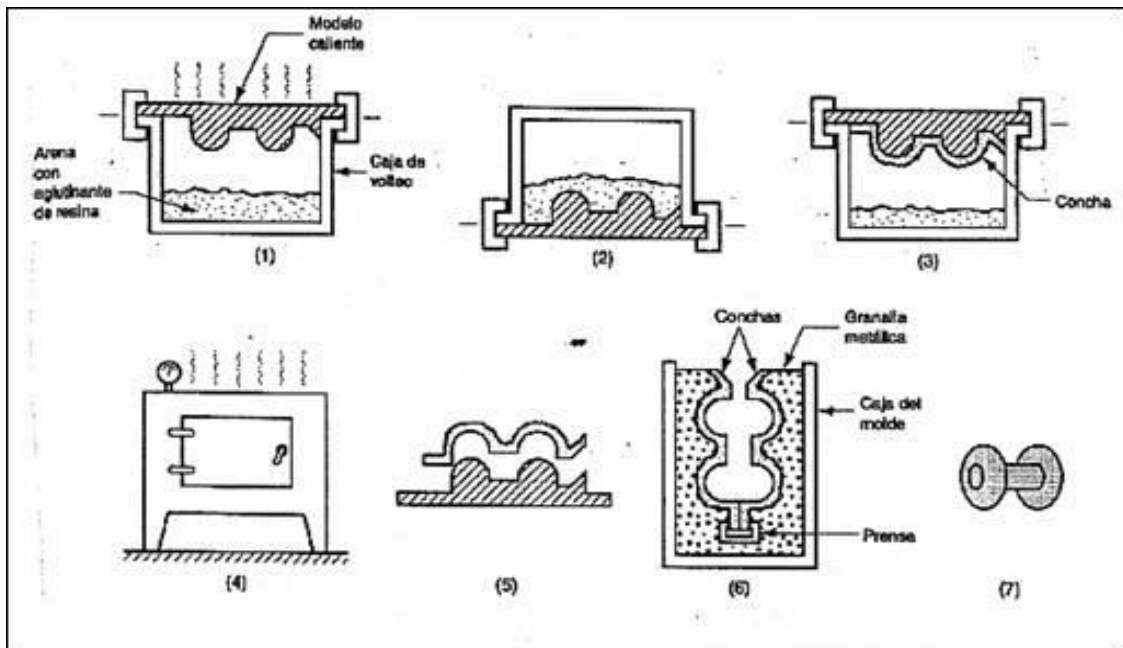


Figura 13. Procedimiento completo.

1.3.3.-APLICACIONES:

Las aplicaciones de este método incluyen pequeñas piezas mecánicas que requieren alta precisión, como alojamientos para engranajes, cabezas de cilindros y bielas; este proceso es también altamente utilizado para la creación de modelos de moldeo en alta precisión.



Figura 14: Ejemplos de piezas fabricadas por el método de moldeo en cascara o concha.

1.4.-FUNDICIÓN EN MOLDE CONSUMIBLE (Poliestireno Expandido):

Es un tipo de moldeo removible, como vimos en el moldeo en arena.

El Poliestireno Expandido o EPS es un material plástico muy ligero utilizado en el campo del Envase y Embalaje para innumerables sectores de actividad y en el sector de la construcción, principalmente como aislante térmico y acústico. También presenta una serie de aplicaciones de lo más variadas, aparte de los referidos sectores de aplicación.

Familiarmente el EPS también es conocido como “corcho blanco”.



Figura 15: Poliestireno expandido.

1.4.1.- CARACTERÍSTICAS:

Ligereza, capacidad de aislamiento térmico, amortiguación de impactos, carácter higiénico, versatilidad, es un material 100% reciclable. Su fabricación y uso no conlleva ningún tipo de efecto sobre la degradación de la Capa de Ozono y los productos de EPS cumplen con las exigencias sanitarias, con lo que pueden utilizarse con seguridad en la fabricación de artículos de embalaje de alimentos. El EPS no tiene influencia medioambiental perjudicial, no es peligroso para las aguas. Se pueden adjuntar a los residuos domésticos o bien ser incinerados. En caso de combustión no genera ningún tipo de gases nocivos.

1.4.2.-APLICACIONES

El EPS presenta un campo muy amplio de aplicaciones, a parte de servir como molde, gracias a sus excelentes cualidades y propiedades, a lo que se une su facilidad de conformado y posibilidades de fabricación.

Estas numerosas aplicaciones pueden agruparse en tres grandes campos:

1.4.2.1.- Aplicaciones como material de envase:

Conocidos coloquialmente por la mención de “corcho blanco”, los envases y embalajes de Poliestireno Expandido son utilizados para la protección de todo tipo de productos durante su distribución y transporte.



Figura16: Ejemplo de envase en poliestireno expandido.

- Alimentación:

El EPS cumple con todos los requisitos de la legislación sobre el contacto alimenticio. Además el hecho de que los envases de EPS mantengan la temperatura durante largos periodos de tiempo, ha convertido al Poliestireno Expandido en un material de envasado idóneo para el sector de la alimentación. Sus inigualables prestaciones en términos de amortiguación, aislamiento y protección han convertido al EPS en un material de uso común. Entre sus numerosos campos de aplicación encontramos los siguientes sectores:

- *-Pescados y mariscos:* Las máximas garantías de higiene y el mantenimiento de los niveles óptimos de protección térmica son, junto con la posibilidad de apilamiento sin riesgos para la mercancía, las mayores ventajas que los envases y embalajes de EPS ofrecen a los pescados, mariscos y salazones.
- *-Productos cárnicos:* La versatilidad en el diseño del EPS permite desarrollar envases y embalajes adecuados para pequeñas y grandes porciones de productos cárnicos elaborados o frescos. Por otro lado, el EPS asegura la garantía e higiene y la adecuada protección térmica que los productos cárnicos necesitan.
- *-Frutas y verduras:* Las frutas y verduras viajan en las mejores condiciones de higiene, gracias a los envases y embalajes de EPS, sin el menor riesgo de generar sustancias que alteren las características de los alimentos ni su estado de conservación.
- *-Productos lácteos:* Gracias a sus cualidades técnicas, el EPS garantiza la transpiración de los quesos tiernos para que alcancen y mantengan el punto de maduración adecuados, aislando la humedad y los líquidos que puedan generar. De esta manera, los productos lácteos llegan al consumidor en perfectas condiciones higiénicas.
- *-Bebidas:* El EPS mantiene las condiciones de temperatura necesarias para la conservación del vino en todo el proceso de distribución, además de evitar roturas debido a su elevada capacidad para amortiguar impactos. Por otro lado, es posible desarrollar en EPS estuches de presentación que realzan la imagen del vino embotellado.
- *-Helados y pastelería:* Los helados y los productos de pastelería contienen ingredientes tan delicados y sensibles a los cambios de temperatura como los huevos o los derivados lácteos, que necesitan un material como el EPS que garantice una protección total, en cuanto a las exigencias higiénicas y de temperatura, para que lleguen al consumidor final con todo su aroma, sabor y textura.

-Electrónica y consumo:

A la adaptabilidad de los envases y embalajes de EPS, hay que unir el excelente comportamiento en la amortiguación de impactos. Por todo ello, el EPS resulta el mejor envase y embalaje para electrodomésticos, puesto que además permite la posibilidad de apilar la mercancía sin problemas, tanto en el almacén como en el punto de venta.

-Audio, video e informática:

La fragilidad de ordenadores, accesorios, componentes electrónicos, aparatos de audio y vídeo, exigen una sólida protección que ofrece sin ninguna duda el EPS. Gracias a su estudio

diseño, los envases de EPS son especialmente aptos para ser utilizados en cadenas de embalaje, transporte y almacenamiento.

- Juguetes:

En esta aplicación es importante el efecto “display” de los envases y embalajes del EPS, capaces de convertirse en buenos expositores de los productos de juguetería. Los envases y embalajes de EPS permiten la manipulación y el transporte sin riesgo para los juguetes.

- Farmacia, perfumería y cosmética:

Los envases y embalajes de EPS garantizan la seguridad de los productos durante el transporte y a su vez se transforman en atractivos “presentadores” de los mismos cuando son colocados en el escaparate o mostrador del punto de venta. Así mismo, el EPS ofrece las garantías de total higiene y aislamiento térmico para productos farmacéuticos.

- Horticultura y jardinería:

Desde las bandejas para el transporte de plantas, pasando por los semilleros, hasta placas especiales para las instalaciones de calefacción en invernaderos, el EPS ofrece una gama de soluciones que abarcan todas las etapas de desarrollo y crecimiento de las plantas, protegiéndolas durante el transporte hasta su destino final, así como piezas de soporte para el cultivo hidropónico.

- Bricolaje y construcción:

En el sector de la construcción y bricolaje a menudo encontramos productos que cuentan con diversos accesorios, kits compuestos por varias piezas, conjuntos de herramientas que han de ir alojadas en el mismo embalaje, etc. La versatilidad de formas que permiten los envases y embalajes de EPS hace que se puedan diseñar soluciones adecuadas para cada necesidad.

1.4.2.2.- Aplicaciones como material de construcción:

La construcción actual y futura se caracteriza por las exigencias de ahorro energético, la protección contra el ruido y el medio ambiente. El proceso de transformación del EPS posibilita la amplia variación en la densidad de los materiales y por consiguiente en sus propiedades.

El Poliestireno Expandido incorpora múltiples soluciones en los sistemas constructivos, tales como el aislamiento térmico de fachadas, cubiertas, suelos calefactados, etc.

Dichas soluciones aportan ventajas en la relación coste/efectividad y reducen el riesgo de error en la ejecución.

Las principales cualidades del EPS como material de construcción son:

- *Baja conductividad térmica:* esta característica se traduce en una alta capacidad de aislamiento térmico.
- *Ligereza:* Permite construcciones ligeras pero seguras. Su bajo peso permite facilidad de transporte de los materiales en la obra y grandes economías en la instalación.
- *Resistencia Mecánica:* aunque ligeros, los productos de EPS tienen una alta capacidad de resistencia mecánica.
- *Baja absorción de agua:* lo que permite mantener las propiedades térmicas y mecánicas sin que se vean afectadas por la acción de la humedad.
- *Facilidad de manipulación e instalación:* es un material que permite trabajar con las herramientas habituales en obra y así garantizar perfectos acabados y ajustes.
- *Resistencia química:* los materiales de poliestireno expandido son perfectamente compatibles con los materiales comúnmente empleados en la construcción como los cementos, yesos, cales, agua dulce o salina, etc.
- *Versatilidad:* se puede presentar en multitud de formas y tamaños que se ajusten a las necesidades específicas de la construcción.
- *Resistencia al envejecimiento:* Todas las propiedades mencionadas se mantienen durante la vida útil del material, que será tan larga como la de la propia construcción donde va asociado.



Figura 17: Aplicación del poliestireno expandido como material de construcción.

Entre sus múltiples aplicaciones como material de construcción se encuentran las de Obra Civil. En este campo las aplicaciones más desarrolladas son:

- En Carreteras: cimentación, ampliación de carreteras, protección frente a heladas, etc.
- En Estructuras: encofrado y relleno ligero, placas de drenaje, etc.
- Otras aplicaciones: reducción de vibraciones en líneas férreas, revestimiento de vertederos, aplicaciones náuticas.

Versatilidad, eficacia, seguridad, economía y respeto por el Medio Ambiente son las características esenciales del EPS que consiguen que sea utilizado en las más variadas situaciones, siendo el material óptimo para cualquier solución.

1.5.-FUNDICIÓN EN MOLDE DE YESO:

1.5.1.- MOLDE Y PROCESO:

La fundición con moldes de yeso es similar a la fundición en arena, excepto que el molde esta hecho de yeso ($2\text{CaSO}_4\text{-H}_2\text{O}$) en lugar de arena. Se mezclan aditivos como el talco y la arena de sílice con el yeso para controlar la contracción y el tiempo de fraguado, reducir los agrietamientos e incrementar la resistencia.

Para fabricar el molde, se hace una mezcla de yeso y agua, se vacía en modelo de plástico o metal en una caja de moldeo y se deja fraguar. En este método, los modelos de madera son generalmente insatisfactorios, debido al extenso contacto con el agua del yeso. La consistencia permite a la mezcla de yeso fluir fácilmente alrededor de patrón, capturando los detalles y el acabado de la superficie. Ésta es la causa de que las fundiciones hechas en moldes de yeso sean notables por su fidelidad al patrón.



Figura 18: Molde de yeso.

<http://www.youtube.com/watch?v=lPh72Z7iZrs>

1.5.2.-VENTAJAS Y DESVENTAJAS:

El curado del molde de yeso es una de las desventajas de este proceso, al menos para altos volúmenes de producción. El molde debe dejarse fraguar cerca de 20 minutos antes de sacar el molde y, posteriormente, debe cocerse por varias horas para remover la humedad. Aun cocido, el yeso no se desprende de todo el contenido de humedad. El problema que enfrentan los fundidores es que la resistencia del molde se pierde cuando el yeso se deshidrata y, en el caso contrario, la humedad remanente puede causar defectos en el producto de fundición, por tanto es necesario encontrar un equilibrio entre estas alternativas indeseables. Otra desventaja del molde de yeso es que no es permeable limitando el escape de los gases de la cavidad del molde. Este problema puede resolverse de varias maneras: 1) evacuar el aire de la cavidad del molde antes de vaciar; 2) batir la pasta de yeso antes de hacer el molde, de manera que el yeso fraguado contenga pequeños poros dispersados; y 3) usar composiciones especiales del molde y un tratamiento conocido como proceso Antioch. Este proceso consiste en utilizar cerca de un 50% de arena mezclada con el yeso, calentar el molde en una autoclave (estufa que usa vapor sobrecalentado a presión), y después secar. El molde resultante tiene una permeabilidad considerablemente más grande que el molde de yeso convencional.

1.5.3.-APLICACIONES:

Los moldes de yeso no pueden soportar temperaturas tan elevadas como los moldes de arena. Por tanto, están limitados a fundiciones de bajo punto de fusión como aluminio, magnesio y algunas aleaciones de cobre. Su campo de aplicación incluye moldes de metal para plásticos y hule, impulsores para bombas y turbinas, y otras partes cuyas formas son relativamente intrincadas. Los tamaños de las fundiciones varían desde menos de una onza hasta varios cientos de libras; las partes que pesan menos de 20 lb son las más comunes. Las ventajas de los moldes de yeso para estas aplicaciones son su buen acabado superficial, su precisión dimensional y su capacidad para hacer fundiciones de sección transversal delgada.



Figura 19: Molde de yeso, forma compleja.

1.6.-MOLDEO EN VACIO:

1.6.1.- ANTECEDENTES HISTÓRICOS:

El Moldeo en vacío es una técnica de moldeo en arena en la que no se emplea ningún aglutinante, ya que la pieza queda suficientemente consistente gracias al vacío creado durante su realización en la caja de moldear. Se trata de una técnica relativamente moderna en comparación con las anteriormente descritas, ya que surgió en Japón a finales de la década de 1970.

Los diferentes tipos de moldeo en arena son los métodos más empleados en lo que a técnicas de moldeo se refiere, y se caracterizan por el empleo de arena común como material de molde. El procedimiento en estos métodos consiste en la formación de un molde (compuesto por dos piezas) apisonando la arena en torno a un patrón cuya forma será la de la pieza proyectada. A estos moldes, además, se les incorporará un sistema de orificios de colada y de aireación, para así permitir el flujo de metal fundido y minimizar posibles defectos internos en la pieza.

1.6.2.-MOLDE:

- Caja de moldeo con un sistema de orificios para posibilitar la creación de vacío en su interior. Además, deberá contar con un sistema de acoplamiento de placa en su parte inferior.
- Arena común como aglutinante.
- Películas de termoplástico de un espesor entre 0,076 a 0,20mm.
- Bomba de vacío acoplada a la placa de la parte inferior y a los orificios de los laterales de la caja de moldeo.
- Metal fundido.

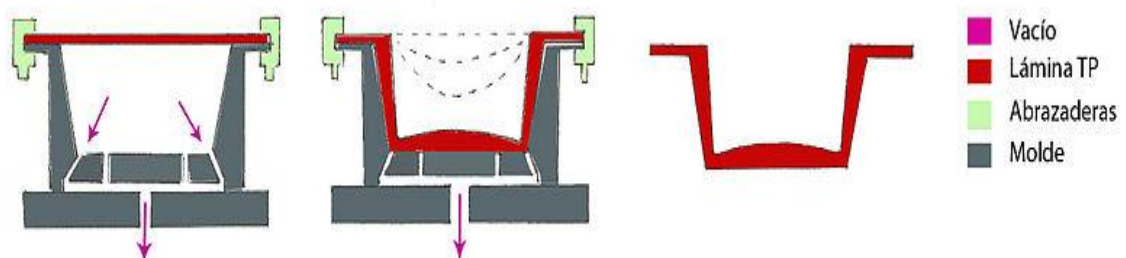


Figura 20: Proceso de moldeo en vacío.

1.6.3.- PROCESO:

En esta técnica de moldeo, uno de los pasos más importantes es la preparación del molde en el que se va a realizar la colada, pues es de vital importancia que éste cumpla con las condiciones necesarias para obtener la pieza con las características deseadas, tanto a nivel dimensional como en calidad.

- En primer lugar, debe tenerse la pieza inicial que se quiere reproducir seccionada en dos mitades. En la mitad superior, se le adherirá una pieza de material con el fin de posteriormente obtener el bebedero.
- Posteriormente, se creará el vacío entre una de las mitades de la pieza y una fina película de plástico mediante el empleo de un sistema de acoplamiento de placa o doble placa.
- Tras esto, se le colocará una caja de moldeo y se llenará de arena, dejando libre de ésta el volumen necesario para que el bebedero sea practicable. Hay que tener en cuenta que la caja de moldeo debe contar con orificios mediante los cuales se pueda succionar y crear el vacío.
- Se colocará encima otra película de plástico, y se procederá a crear el vacío en la arena mediante los equipos necesarios (la presión oscilará entre 200 a 400 mm Hg (27 a 53kPa). Mediante esta práctica, se consigue la alta compactación del molde sin necesidad de ningún aglutinante.
- Una vez compactado, se retirará el vacío ejercido sobre la pieza y la película de plástico, y se retirará el molde obtenido. Tras ello, se pasará a realizar el mismo proceso con la mitad inferior de la pieza, pero en este caso sin necesidad de dejar bebedero alguno en el molde.
- Cuando están ya listas las dos partes, se ensamblan y se deja de aplicar el vacío en ambas partes.
- Se realiza la colada, sin necesidad de retirar las películas de plástico, ya que estas se quemarán cuando entran en contacto con el metal fundido.
- Finalmente, se dejará reposar la colada el tiempo suficiente hasta que esté completamente solidificada la pieza.

<http://www.youtube.com/watch?v=d8uvIH6Q8Bo>

1.6.4.-APLICACIONES:

Este tipo de moldeo se emplea mucho en la fabricación de prototipos o piezas de las que no se requiere fabricar un gran número, ya que permite modificar el molde con facilidad. Además, al tratarse de un proceso muy lento no sería rentable implantarlo en sistemas de conformado en los que se requiere un gran volumen de producción de la misma pieza.

También se conoce como moldeo en vacío o vacuum forming al conformado de piezas con polímeros, con una técnica de creación de vacío entre la pieza patrón y el termoplástico, sin el empleo de ningún tipo de molde. Esta técnica está muy empleada para la fabricación de envoltorios para alimentos, utensilios de cocina, juguetes, etc.

Proceso de producción de piezas metálicas a través del vertido de metal fundido sobre un molde hueco, por lo general hecho de arena. El principio de fundición es simple: se funde el metal, se vacía en un molde y se deja enfriar, existen todavía muchos factores y variables que se deben considerar para lograr una operación exitosa de fundición. La fundición es un antiguo arte que todavía se emplea en la actualidad, aunque ha sido sustituido en cierta medida por otros métodos como el fundido a presión (método para producir piezas fundidas de metal no ferroso, en el que el metal fundido se inyecta a presión en un molde o troquel de acero), la forja (proceso de deformación en el cual se comprime el material de trabajo entre dos dados usando impacto o presión para formar la parte), la extrusión (es un proceso de formado por compresión en el cual el metal de trabajo es forzado a fluir a través de la abertura de un dado para darle forma a su sección transversal), el mecanizado y el laminado (es un proceso de deformación en el cual el espesor del material de trabajo se reduce mediante fuerzas de compresión ejercidas por dos rodillos opuestos).

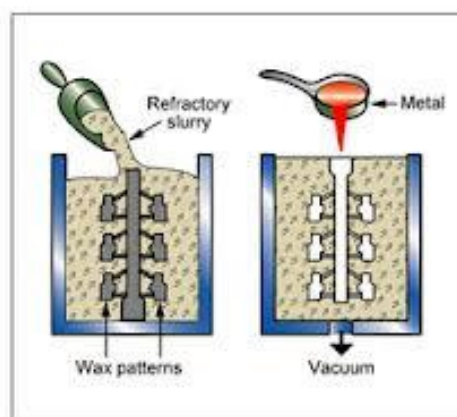


Figura 21: Moldeo en vacío.

1.6.5.-VENTAJAS Y DESVENTAJAS:

1.6.5.1.-Ventajas:

- Es posible la reutilización de la arena, ya que no se emplea ningún aglutinante y además ésta no entra en contacto en ningún momento con la fundición.
- Ausencia de defectos debidos a la humedad y a burbujas de aire.
- Pueden obtenerse altas precisiones dimensionales.
- Casi todos los tamaños y formas de piezas son practicables, así como piezas de pequeñas secciones (hasta aproximadamente unos 2,3 mm) o reproducción de pequeños detalles.
- Alta fluidez del metal durante la colada debido a la baja conductividad térmica de la arena.
- Bajo coste de operación.
- La vida de la pieza patrón es muy larga, ya que la arena nunca entra en contacto directamente con ella.

1.6.5.1.-Desventajas:

- Lentitud del proceso.
- Difícil automatización.



Figura 22: Máquina automática de moldeo en vacío.

1.7- MOLDEO EN COQUILLA

1.7.1.- MOLDE Y PROCESO

Coquilla es un molde metálico que se utiliza para obtener un gran número de piezas idénticas (producciones en serie). Tiene dos partes: el cuerpo del molde que reproduce la pieza y los machos o núcleos, que nos permiten obtener las cavidades o entrantes de las piezas. El cuerpo siempre es metálico y los machos pueden serlo o no.

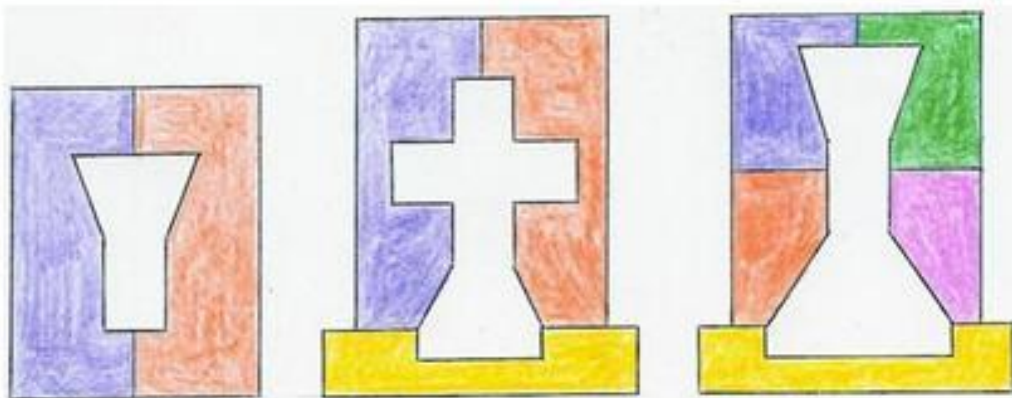


Figura23: Modelo de moldeo en coquilla.

El cuerpo metálico más sencillo estaría formado por dos partes denominadas placas. Puede que necesitemos otra placa horizontal denominada pedestal o plantilla, que sirve de soporte y cierra una parte del molde además de impedir los movimientos de las otras placas. Las placas y el pedestal se van a unir mediante clavijas. Si la pieza es compleja puede que se necesiten más placas superpuestas en pisos.

Determinar la composición, la fuerza y el número de placas es técnica e ingenio.

El espesor de las paredes del molde depende del tamaño de la pieza, pero si las hacemos demasiado grandes nos vamos a encontrar con una gran inercia térmica, que retrasará el enfriamiento y el calentamiento. El tamaño lógico es que queda comprendido entre 3 y 4 veces el grueso de la pieza, con unos límites por abajo y por arriba (40 mm y 60 mm respectivamente).

1.7.1.1.- Núcleos de las coquillas:

Son los elementos que van a reproducir las cavidades. Pueden ser metálicos o de arena. En un molde puede haber varios núcleos y, a su vez, pueden ser metálicos o de arena.

Los núcleos metálicos tienen que tener una forma ligeramente cónica para facilitar su extracción. También tienen que tener un cierto juego con relación al asiento del molde porque el núcleo se ha de calentar previamente. Las cabezas de los núcleos suelen tener un saliente que hace de tope, incluso un segundo saliente que hace de ajuste.

Como consecuencia de esto, la forma de los núcleos es muy variada. En las coquillas de gran tamaño, muy complicadas,..., la operación de extraer los núcleos de ellas suele hacerse mecánicamente.

Estos núcleos son de acero semiduro (0'5% C). Cuando los núcleos son de gran tamaño se pueden hacer de fundición e, incluso, pueden ser huecos.

En cualquier caso se les debe de dar una estabilización someténdolos a un tratamiento de homogeneización (como un recocido).

Cuando tenemos un núcleo que presenta gran dificultad para hacerlo en metal, cuando el metal con el que se va a construir sea muy frágil al calor (grietas), entonces se usan de arena, vigilando la formación y salida de los gases y el desprendimiento de granos.

Los órganos de maniobra son aquellos que, no siendo partes fundamentales, sirven para apretar, abrir, facilitar el des-moldeo,... Suelen ser pinzas, tornillos, ganchos,...

1.7.1.2.- Colada de metal en coquilla:

Podemos hacerla de tres formas distintas:

- *Directa:* se emplea cuando la altura de la pieza es pequeña. El metal debe dejarse caer suavemente y sobre la pared del molde. Se debe tener la coquilla inclinada para que el metal se deslice.
- *En fuente:* se emplea cuando la pieza tiene una sección decreciente o cuando los llenados hay que hacerlos con rapidez.
- *Por el costado:* es muy empleada. Es una colada tranquila y se facilita cuando se hace un bebedero inclinado. También se puede hacer un bebedero en sifón o con varios bebederos, llamándose ramificado.

A veces esa operación de colada es más compleja y, a medida que se va llenando el molde, este va cambiando de movimiento.

También se puede poner una bomba en el fondo que succione el metal, haciéndolo llegar con garantías a zonas de difícil acceso.



Figura 24: Colada de metal en coquilla.

1.7.1.3.- Lubricación de las coquillas:

Para proteger los moldes de la abrasión del metal fundido y facilitar su paso, se emplean lubricantes, que pueden ser de diversos tipos, empleándose unos u otros dependiendo del tipo de metal o aleación que se utilice.

1.7.1.4.- Calentamiento:

Es una solución con la que tratamos de evitar la aparición de grietas en la coquilla calentándola previamente.

1.7.1.5.- Enfriamiento de los núcleos:

A veces es aconsejable enfriar los núcleos, para ello se sumergen en agua destilada. La cantidad de agua estará en relación con el tamaño de los núcleos, intentando que esta no hierva.

1.7.1.6.- Condiciones de uso de las coquillas:

En el proyecto, antes de fabricarse la coquilla, ha de concretarse la manera en la que ha de utilizarse la coquilla a modo de instrucciones de uso.

En ese sentido, hay que dar los siguientes datos:

- Qué lubricante se debe emplear.
- A qué temperatura se hace la colada.
- A qué temperatura se debe mantener la coquilla.
- A qué velocidad ha de hacerse la colada.
- En que orden se desmolda.
- Cómo han de enfriarse, en su caso, los núcleos.

1.7.2.- VENTAJAS:

- Se consigue una precisión de cotas muy buena, mejores que en el moldeo en arena.
- Las contracciones son inferiores.
- La inserción de núcleos es mucho más fácil.
- Necesita poco espacio y menos materiales.
- Es más económica para fabricar piezas en cantidades superiores a 500 o 1000 piezas.

1.7.3.- APLICACIONES:



Figura 25: Ejemplo de pieza fabricada por este proceso.

1.8.- FUNDICIÓN A PRESIÓN:

La diferencia fundamental respecto a otras fundiciones es que la colada no se hace por gravedad, sino que el metal es inyectado en el molde con una presión que puede imprimirse por un movimiento centrífugo o por una fuerza exterior.

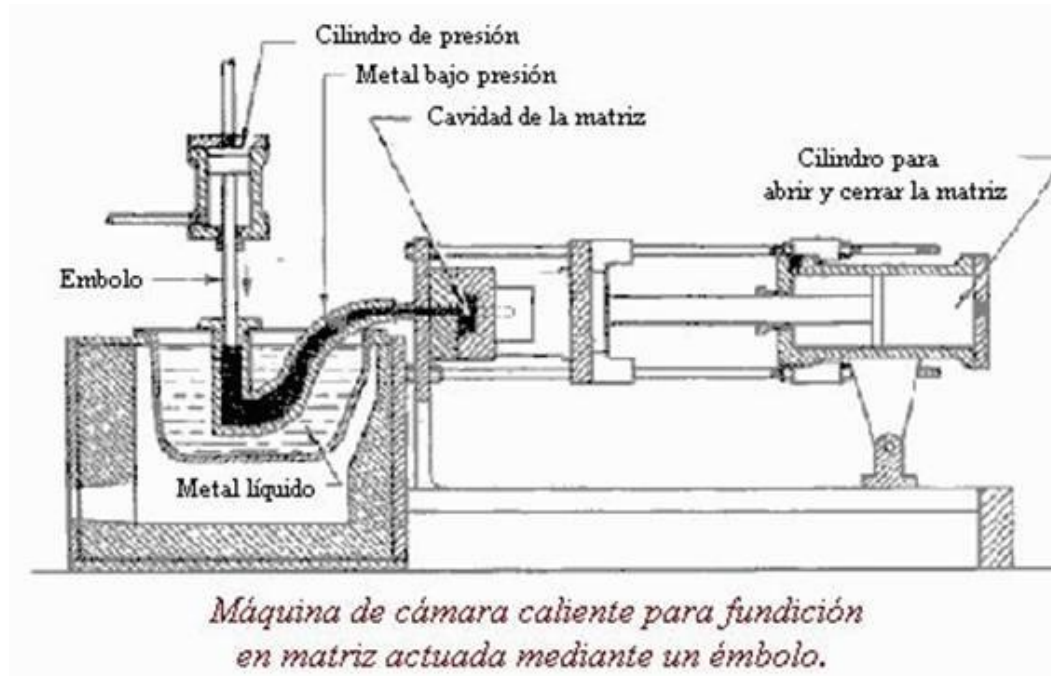


Figura 26: Máquina de cámara caliente para fundición a presión.

1.8.1.- FUNDICIÓN POR FUERZA EXTERNA:

Es la que se consigue inyectando el metal con una presión dentro del molde. Mediante esta fundición se van a conseguir piezas prácticamente sin límites en sus formas, con aristas vivas, con entrantes y salientes,... y, además, no sólo la geometría de la pieza es compleja, sino que la pieza es conseguida sin defectos, sin sobre espesores, limpias,... y esto hace que las propiedades mecánicas sean un 30 o 40% mejores que en otro tipo de fundición.

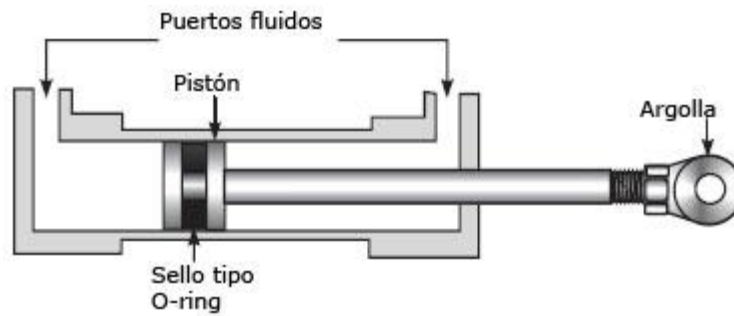


Figura 27: Embolo para la fundición a presión.

1.8.2.- MATRICES (MOLDES):

Son los moldes que se utilizan en estas fundiciones. Son siempre metálicos, similares a los utilizados en el moldeo en coquilla, diferenciándose en su mayor robustez.

Las matrices constan de los elementos siguientes:

- *Matriz fija de cubierta:* Es un bloque de acero normalmente rectangular que se fija a la mesa de la prensa y el bebedero que lleva incorporado debe coincidir con la bocana por donde entra el metal a presión. Esta matriz puede llevar una o varias caras exteriores de la pieza, pero nunca los machos, que se pondrán siempre en la matriz móvil. Otros elementos son los taladros de acoplamiento y los conductos de refrigeración.
- *Matriz móvil de eyección:* Va sujeta, normalmente, al carro que tiene la máquina y es extraída por las barras de eyección. También tiene unos orificios de refrigeración y una serie de canales por donde entra el metal a la zona del molde.
- *Placa de eyección:* Es una placa en la que se contienen los dispositivos de extracción por tope.
- *Machos:* En este tipo de fundición el macho tiene que liberarse de forma automática de la matriz móvil por las barras de eyección.

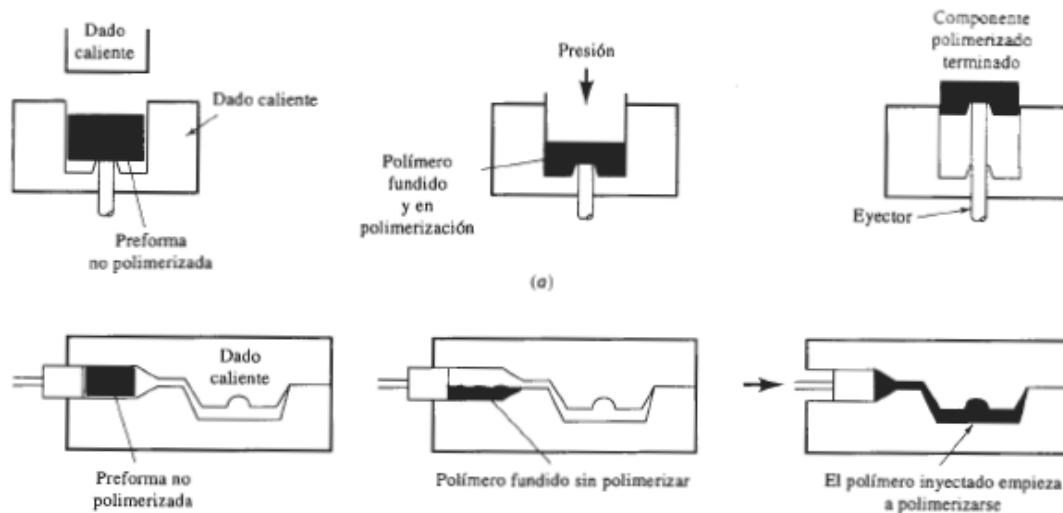


Figura 30: Matriz fundición a presión.

Para los bebederos y los conductos puede haber varios sistemas. Puede haber una colada por inyección directa o mediante el empleo de un núcleo deflector, que es lo que se llama colada indirecta. Existe la necesidad de tener un canal por donde evacuar el aire y que, para evitar obstrucciones, tiene unos pozos de desborde donde se depositan las impurezas. Entre la barra de eyección y su alojamiento, existe un hueco por donde también se escapa el aire. La refrigeración necesaria se lleva a cabo por medio de la circulación de agua, teniendo cada matriz los conductos necesarios para tal fin. El agua llegará a la matriz a través de unos conductos flexibles.

Las matrices se elaboran en acero, ya que nos garantiza la resistencia de las presiones que se utilizan y, además, aguantan los esfuerzos de contracción, dilatación y fricción de los metales fundidos. Cuando se utiliza para aleaciones de estaño o plomo, las matrices son de aceros al manganeso.

1.8.3.- PROCESO:

1.8.3.1.- Máquinas para la fundición a presión:

Estas máquinas tienen que hacer de forma automática una serie de operaciones, como son abrir y cerrar las matrices, inyectar el metal con la presión necesaria, extraer los machos, desmoldar.

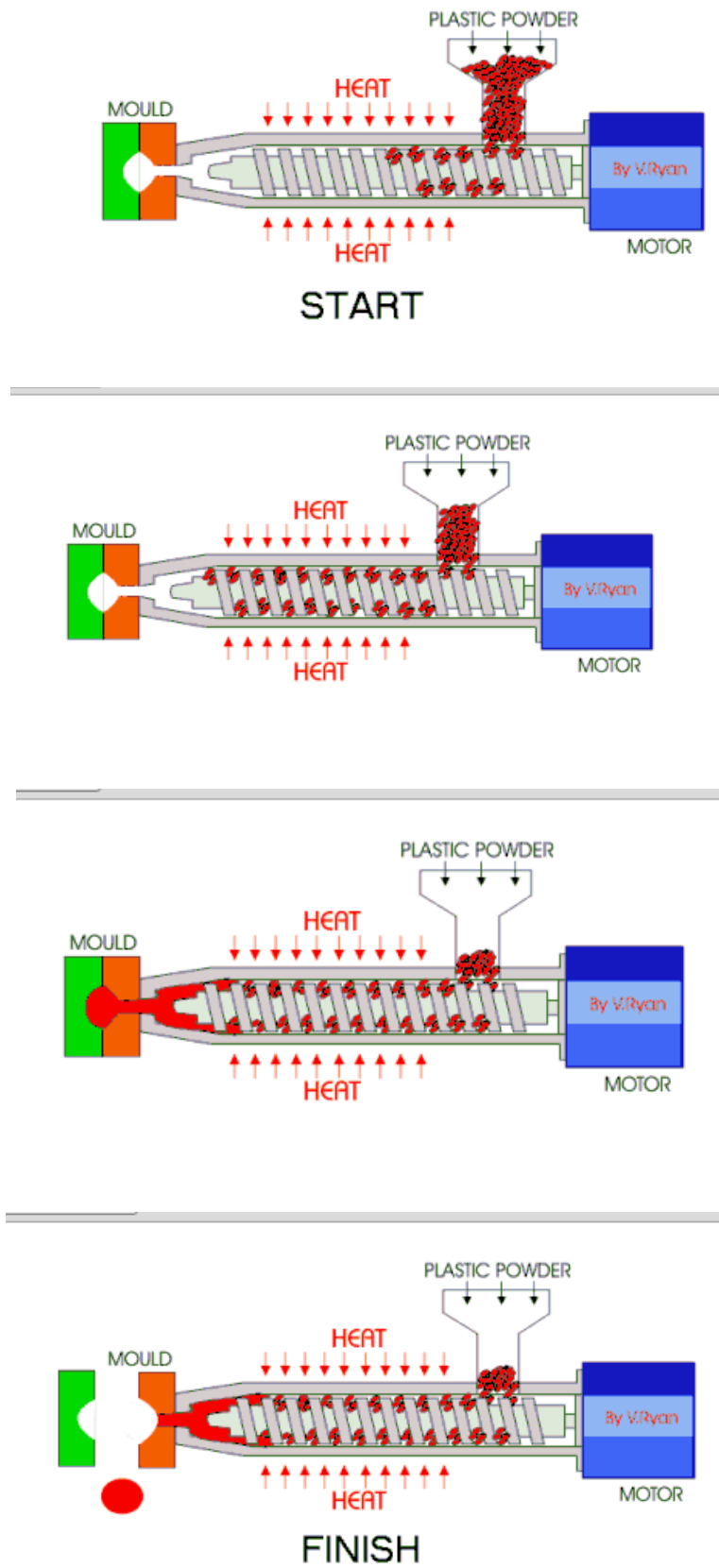


Figura 31: Proceso.

Existen dos tipos de máquinas

- *De cámara caliente:* se llaman así porque están situadas en el horno. Por medio de un sistema que se ajusta a la embocadura del bebedero se lleva el metal fundido hasta la matriz para inyectarlo. La inyección puede hacerse por la acción de un émbolo o bien mediante la acción de aire comprimido.
- *De cámara fría:* se llama así por estar separada del horno. El metal es conducido hasta la zona de inyección por un transporte específico. La presión se transmite por la acción de un émbolo. Las diversas operaciones están diferenciadas y componen un ciclo de automatismo.

<http://www.youtube.com/watch?v=Gm6HgSGT6DM>

1.8.4.-VENTAJAS Y DESVENTAJAS:

1.8.4.1.-Ventajas:

- Al aplicar la fuerza centrífuga es como si la fluidez del metal aumentase.
- Se obtienen piezas muy perfectas, sin defectos ni sopladuras.
- Los granos del metal pueden ser mayores.

1.8.4.2.-Desventajas:

- Si la presión es muy elevada, el molde es muy costoso
- No podemos moldear todas las aleaciones

1.9.-FUNDICIÓN CENTRÍFUGA:

1.9.1.-ANTECEDENTES HISTÓRICOS:

Ya al principio del siglo XIX nació la idea de emplear la fuerza centrífuga para fundir los objetos de metal; perteneció a Antonio Eckhardt (patente en el año 1809), pero la insuficiencia técnica de las máquinas frenaba su aplicación práctica por la imposibilidad de conseguir el número necesario de revoluciones que dieran la fuerza centrífuga necesaria. En el año 1848 fue otorgada la primera patente en los Estados Unidos a T.G. Lovegrove, de Baltimore. Poco después de progresar la técnica Fernando Arens, en colaboración con Sensaud de De Lavaud, en Brasil, lograron por fin, en 1914, aplicar la fuerza centrífuga en la fundición de metales a escala industrial. Desde el año 1915 se fabrican en Argentina, en los talleres Tamet, tubos centrifugados con una máquina de tipo Arens y De Lavaud. En 1867 Joseph Monier puso en circulación los tubos de hormigón armado. En 1913 los italianos Diego Matteo y Adolfo Mazza ofrecieron otra variedad de tubos de cemento. Últimamente, la técnica de la construcción se enriqueció con muestras de vidrio termoaislante como material básico en la fabricación. Bloques de vidrio huecos, placas de revestimiento y paneles decorativos hicieron su aparición. En 1941 N. P. Waganoff fabricó tubos de vidrio por el método de centrifugación, que, por la sencillez de la fabricación y por el bajo coste de la misma, supuso una revolución en los métodos de fundición. En la actualidad este tipo de fundición está muy desarrollada y extendida, pudiéndose encontrar una gran variedad de productos realizados con este método.



Figura 32: Fabricación de tubos por fundición centrífuga.

1.9.2.-PROCESO:

El proceso de fundición centrífuga o centrífuga, consiste en depositar una capa de fundición líquida en un molde de revolución girando a gran velocidad y solidificar rápidamente el metal mediante un enfriamiento continuo del molde o coquilla. Las aplicaciones de este tipo de fundición son muy variadas, va desde la fabricación de telescopios o partes de joyería hasta las tuberías, este procedimiento frecuentemente utilizado para la fabricación de tubos sin costura, camisas y demás objetos simétricos.

http://www.youtube.com/watch?v=Cy8_gwAqp-Y&playnext=1&list=PLD448A83AD0D1D813&feature=results_main

1.9.2.1.-Tecnología:

El metal se vierte caliente y fluido en una espiral que se transforma inmediatamente en una capa regular y continua del metal líquido, mantenida en forma cilíndrica por las fuerzas de inercia centrífugas creadas por la rotación de la coquilla. Esta fuerza centrífuga que se desarrolla lanza el metal líquido contra las paredes del molde y aumenta su presión, facilitando el llenado de los huecos y la solidificación en este estado. Simultáneamente se refrigera la coquilla por su exterior para absorber el calor y bajar la temperatura de la fundición hasta la temperatura de solidificación. En el curso de su enfriamiento, el metal líquido sufre una contracción térmica progresiva. El enfriamiento que sigue tiene como efecto una contracción térmica suplementaria del elemento sólido, que se despegue de la coquilla y puede entonces extraerse. Tiene una mayor fiabilidad que piezas de fundición estática. Son relativamente libres de la porosidad del gas y la contracción. Muchas veces, los tratamientos de superficie, como carburación, temple y nitruración tienen que ser utilizados cuando un desgaste superficie resistente debe combinarse con una superficie dura y resistente exterior. Una de estas aplicaciones es la tubería bimetálica compuesta por dos concéntricos separados, capas de diferentes aleaciones y metales unidos entre sí. Estos tubos pueden ser económicamente utilizados en muchas aplicaciones y pueden ser producidos por el proceso de fundición centrífuga. Las características de la fundición dependen de varios parámetros que deben controlarse para tener una producción uniforme. Estos factores son, principalmente:

- la temperatura de colada

- la composición del material a utilizar

Las instalaciones suelen ser muy costosas y sólo se amortizan fabricando grandes series. Este método de conformación por moldeo tiene su génesis en el desarrollo de las tuberías para saneamiento.

La colada centrífuga es adecuada para la fabricación de cuerpos de revolución huecos, por ejemplo tubos, cilindros, y también casquillos de cojinete. El proceso es adecuado para la producción de estructuras de gran diámetro - tubos de petróleo, instalaciones de la industria química y suministro de agua, etc.



Figura 33: Equipo completo para la fundición centrífuga.

1.9.3.-VENTAJAS Y DESVENTAJAS:

1.9.3.1.-Ventajas:

- Uniformidad con las propiedades del metal a utilizar.
- Se utiliza menos material que con otros procesos.
- No hay necesidad de montante.
- Se logran las dimensiones requeridas en el exterior de la fundición.
- Se producen menos desechos.

1.9.4.2.-Desventajas:

- Es necesaria la utilización de un equipo extra para lograr la rotación del molde.
- El interior de las piezas suele contener impurezas.

2.-MOLDEO DE PLÁSTICOS.

2.1.-MOLDEO DE PLÁSTICOS POR INYECCIÓN:

En ingeniería, el moldeo por inyección es un proceso semicontinuo que consiste en inyectar un polímero, cerámico o un metal en estado fundido en un molde cerrado a presión y frío, a través de un orificio pequeño llamado compuerta. En ese molde el material se solidifica, comenzando a cristalizar en polímeros semicristalinos. La pieza o parte final se obtiene al abrir el molde y sacar de la cavidad la pieza moldeada.

El moldeo por inyección es una técnica muy popular para la fabricación de artículos muy diferentes. Sólo en los Estados Unidos, la industria del plástico ha crecido a una tasa de 12% anual durante los últimos 25 años, y el principal proceso de transformación de plástico es el moldeo por inyección, seguido del de extrusión. Un ejemplo de productos fabricados por esta técnica son los famosos bloques interconectables LEGO y juguetes Playmobil, así como una gran cantidad de componentes de automóviles, componentes para aviones y naves espaciales.

Los polímeros han logrado sustituir otros materiales como son madera, metales, fibras naturales, cerámicas y hasta piedras preciosas; el moldeo por inyección es un proceso ambientalmente más favorable comparado con la fabricación de papel, la tala de árboles o cromados. Ya que no contamina el ambiente de forma directa, no emite gases ni desechos acuosos, con bajos niveles de ruido. Sin embargo, no todos los plásticos pueden ser reciclados y algunos susceptibles de ser reciclados son depositados en el ambiente, causando daños al medio ambiente.

La popularidad de este método se explica con la versatilidad de piezas que pueden fabricarse, la rapidez de fabricación, el diseño escalable desde procesos de prototipos rápidos, altos niveles de producción y bajos costos, alta o baja automatización según el costo de la pieza, geometrías muy complicadas que serían imposibles por otras técnicas, las piezas moldeadas requieren muy poco o nulo acabado pues son terminadas con la rugosidad de superficie deseada, color y transparencia u opacidad, buena tolerancia dimensional de piezas moldeadas con o sin insertos y con diferentes colores.

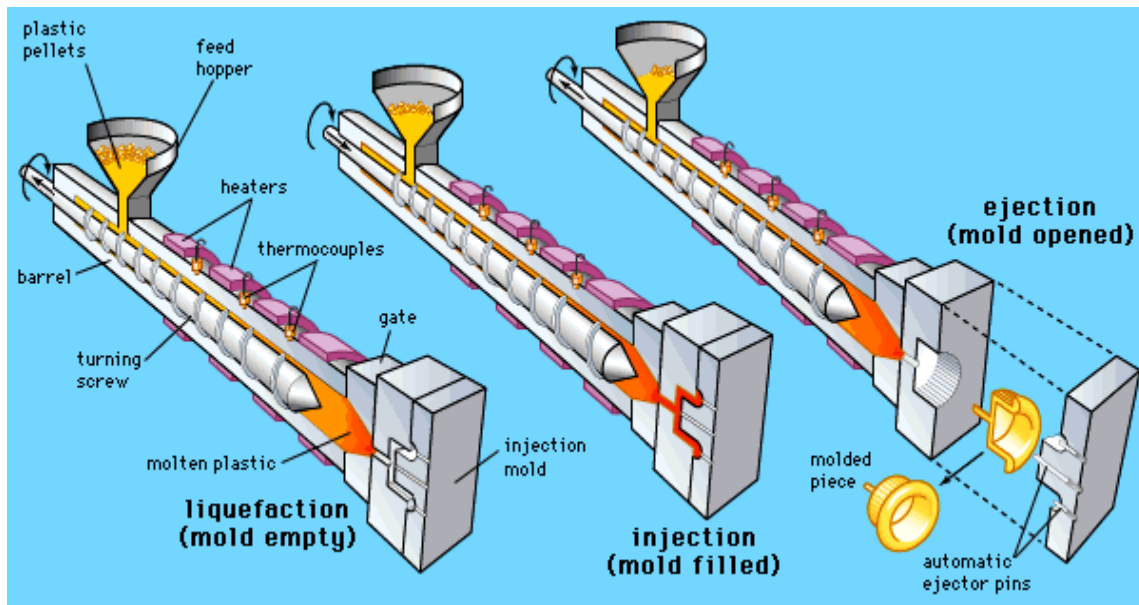


Figura 34: Esquema proceso moldeo de plásticos por inyección.

2.1.1.-ANTECEDENTES HISTÓRICOS:

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

John Hyatt registró en 1872 la primera patente de una máquina de inyección, la cual consistía en un pistón que contenía en la cámara derivados celulósicos fundidos. Sin embargo, se atribuye a la compañía alemana Cellon-Werkw el haber sido pionera de la máquina de inyección moderna. Esta firma presentó, en 1928, una patente incluyendo la descripción de nitrocelulosa (celuloide). Debido al carácter inflamable de la nitrocelulosa, se utilizaron posteriormente otros derivados celulósicos como el etanoato de celulosa. Los británicos John Beard y Peter Delafield, debido a ciertas diferencias en la traducción de la patente alemana, desarrollaron paralelamente la misma técnica en Inglaterra, con los derechos de patente inglesa para la compañía F.A. Hughes Ltd.

El primer artículo de producción masiva en Inglaterra fue la pluma fuente, producida durante los años treinta por la compañía Mentmore Manufacturing. La misma utilizaba máquinas de moldeo por inyección de Eckert & Ziegler (Alemania). Estas máquinas funcionaban originalmente con aire comprimido (aproximadamente 31 kg/cm^2); el sistema de apertura de molde y la extracción de la pieza eran realizados manualmente, y los controles incluían válvulas manuales, sin control automático ni pantallas digitales; además, carecían de sistemas de seguridad.

2.1.2.- MOLDE:

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

Los polímeros conservan su forma tridimensional cuando son enfriados por debajo de su T_g (Temperatura de transición vítrea) y, por tanto, también de su temperatura de fusión para polímeros semicristalinos. Los polímeros amorfos, cuya temperatura útil es inferior a su T_g , se encuentran en un estado termodinámico de pseudoequilibrio. En ese estado, no existen movimientos de rotación y de relajación (desenredo de las cadenas) del polímero. Es por esta causa que, en ausencia de esfuerzos, se mantiene la forma tridimensional. Los polímeros semicristalinos poseen, además, la característica de formar cristales. Estos cristales proporcionan estabilidad dimensional a la molécula, la cual también es (en la región cristalina) termodinámicamente estable. La entropía de las moléculas del plástico disminuye drásticamente debido al orden de las moléculas en los cristales.

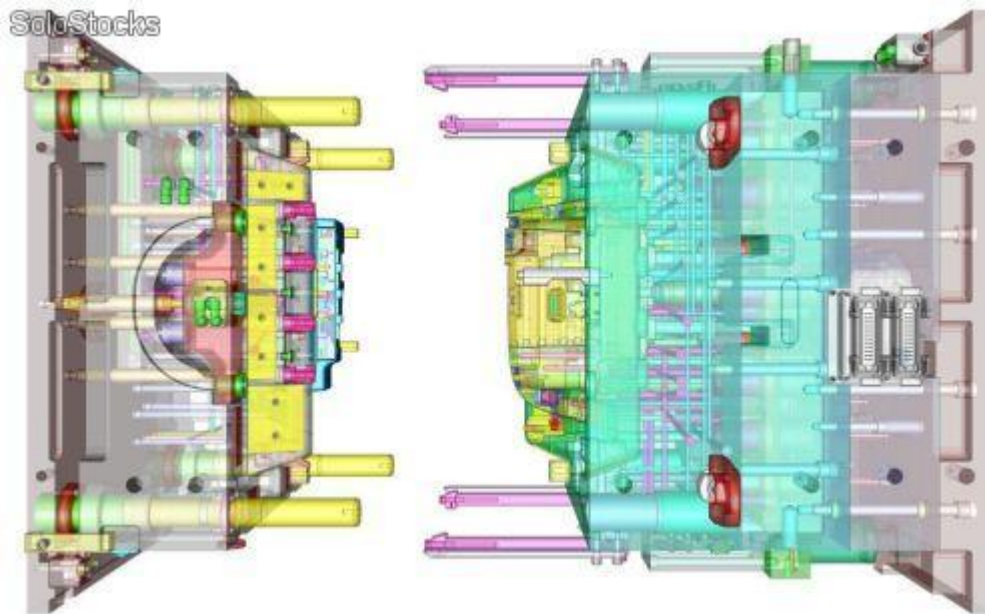


Figura 35: Molde 3D para el moldeo de plásticos por inyección.

2.1.3.-MAQUINARIA:

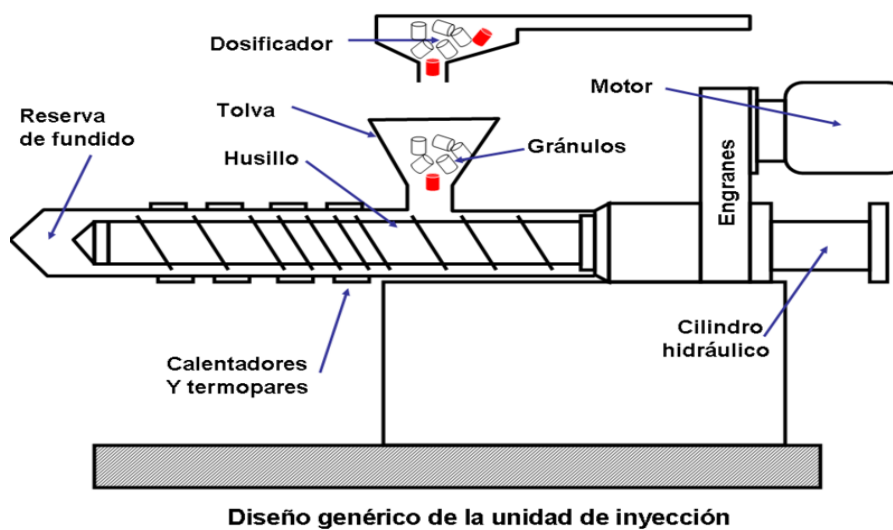


Figura 36: Diseño genérico de la unidad de inyección.

2.1.3.1.-Unidad de inyección:

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

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

El proceso de fusión necesita de un aumento de la temperatura del polímero, que resulta del calentamiento y la fricción de este con la cámara y el husillo. La fricción y esfuerzos cortantes son básicos para una fusión eficiente, dado que los polímeros no son buenos conductores de calor. Un incremento en temperatura disminuye la viscosidad del polímero fundido; lo mismo sucede al incrementar la velocidad de corte. Por ello ambos parámetros deben ser ajustados durante el proceso. Existen, además, cámaras y husillos fabricados con diferentes aleaciones de metales, para cada polímero, con el fin de evitar el desgaste, la corrosión o la degradación. Con algunas excepciones —como el PVC—, la mayoría de los plásticos pueden utilizarse en las mismas máquinas.

La unidad de inyección es en origen una máquina de extrusión con un solo husillo, teniendo la cámara calentadores y sensores para mantener una temperatura programada constante. La profundidad del canal del husillo disminuye de forma gradual (o drástica, en aplicaciones especiales) desde la zona de alimentación hasta la zona de dosificación. De esta manera, la presión en la cámara aumenta gradualmente. El esfuerzo mecánico, de corte y la compresión añaden calor al sistema y funden el polímero más eficientemente que si hubiera únicamente calentamiento, siendo ésta la razón fundamental por la cual se utiliza un husillo y no una autoclave para obtener el fundido.

Una diferencia sustancial con respecto al proceso de extrusión es que durante la dosificación el husillo retrocede transportando el material hacia la parte anterior de la cámara. Es allí donde se acumula el polímero fundido para ser inyectado. Esta cámara actúa como la de un pistón; el husillo entonces, se comporta como el émbolo que empuja el material. Tanto en inyección

como en extrusión se deben tomar en cuenta las relaciones de PvT (Presión, volumen, temperatura), que ayudan a entender cómo se comporta un polímero al fundir.

2.1.3.2.-Unidad de cierre:

Es una prensa hidráulica o mecánica, con una fuerza de cierre suficiente para contrarrestar la fuerza ejercida por el polímero fundido al ser inyectado en el molde. Las fuerzas localizadas pueden generar presiones del orden de cientos de MPa, que sólo se encuentran en el planeta de forma natural únicamente en los puntos más profundos del océano.

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 requerida, excluyendo posibles huecos o agujeros de la pieza.

$$F = P_m \times A_p$$

Donde:

F = Fuerza (N)

P_m = Presión media (Pa)

A_p = Área proyectada (m²)

El parámetro fundamental para dimensionar una unidad de cierre es su fuerza para mantener el molde cerrado. Usualmente se da este valor en toneladas (t). Otros parámetros importantes en una unidad de cierre son: la distancia mínima entre placas, la distancia máxima de apertura, las dimensiones de las placas y la distancia entre columnas, la carrera del sistema de expulsión. Estos datos se utilizan para dimensionar los moldes.

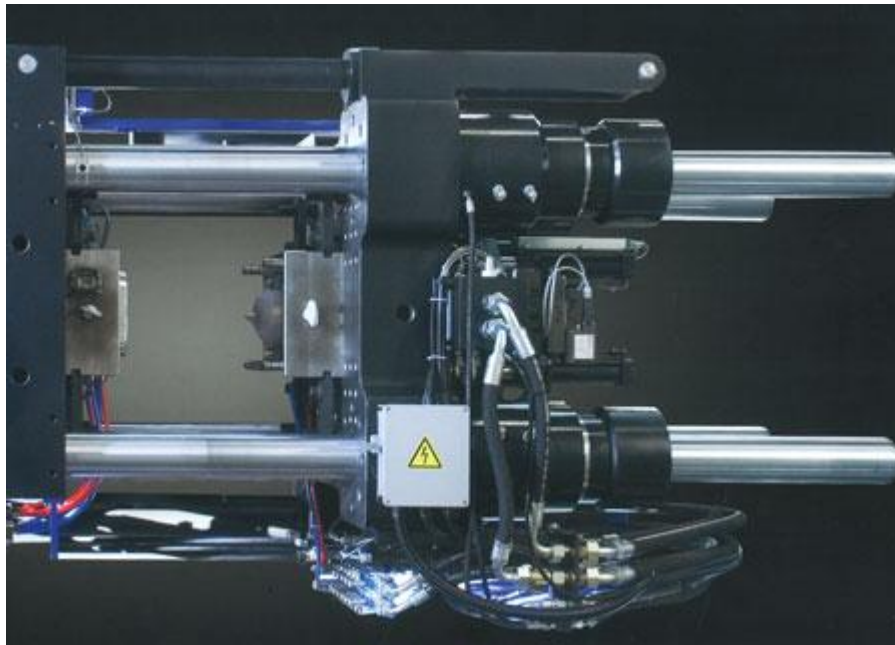


Figura 37: Unidad de cierre del molde.

2.1.3.3.-Molde:

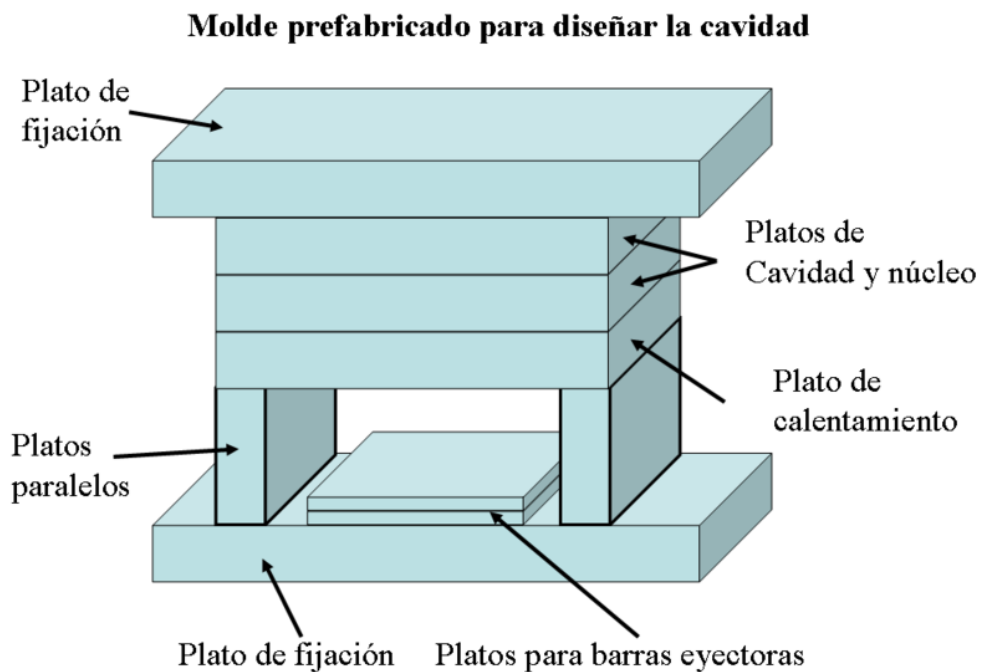


Figura 38: Molde.

El molde (también llamado herramienta) es el espacio donde se genera la pieza; para producir un producto diferente, simplemente se cambia el molde, al ser una pieza intercambiable que

se atornilla en la unidad de cierre. Existen varios tipos de molde, para inyectar plásticos, metal, etc.

Las partes del molde son:

- **Cavidad:** es el volumen en el cual la pieza será moldeada.
- **Canales o ductos:** son conductos a través de los cuales el polímero fundido fluye debido a la presión de inyección. El canal de alimentación se llena a través de la *boquilla*, los siguientes canales son los denominados *bebederos* y finalmente se encuentra la *compuerta*.
- **Canales de enfriamiento:** Son canales por los cuales circula refrigerante (el más común agua) para regular la temperatura del molde. Su diseño es complejo y específico para cada pieza y molde, esto en vista de que la refrigeración debe ser lo más homogénea posible en toda la cavidad y en la parte fija como en la parte móvil, esto con el fin de evitar los efectos de contracción diferencial. Cabe destacar que al momento de realizar el diseño de un molde, el sistema de refrigeración es lo último que se debe diseñar.
- **Barras expulsoras:** al abrir el molde, estas barras expulsan la pieza moldeada fuera de la cavidad, pudiendo a veces contar con la ayuda de un robot para realizar esta operación.

Comúnmente se utiliza el acero bonificado (templado y revenido) que algunos lo conocen como acero P20, debido a la norma americana AISI. Este acero es un material que se puede pulir fácilmente, ya que se puede trabajar en el estado de suministro (torneado, fresado, etc.), tiene una dureza similar a la de los aceros 705 y 709. Este material es ideal como molde ya que es efectivo con cualquier tipo de plástico corrosivo.



Figura 39: Molde.

2.1.4.-PROCESO:

2.1.4.1.-Ciclo de moldeo:

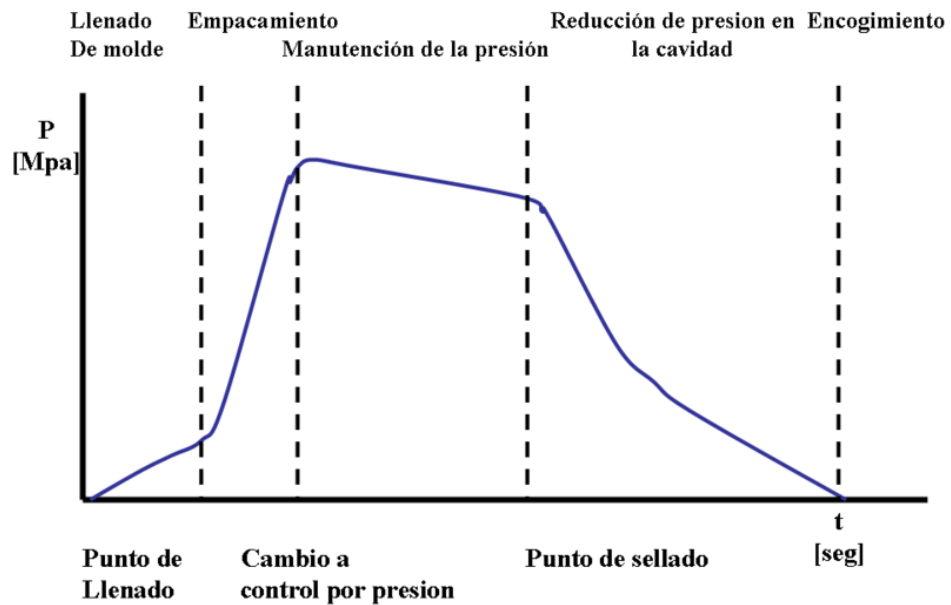


Figura 40: Gráfica Presión-Tiempo en un ciclo de moldeo.

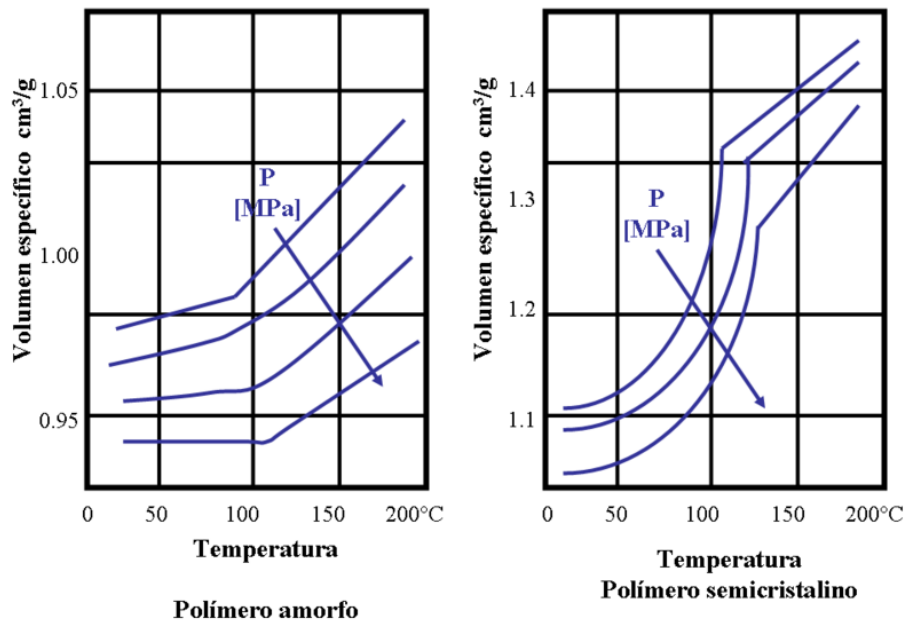


Figura 41: Gráficas Volumen específico-Temperatura.

En el ciclo de moldeo se distinguen 6 pasos principales:

- **1.** Molde cerrado y vacío. La unidad de inyección carga material y se llena de polímero fundido.
- **2.** Se inyecta el polímero abriéndose la válvula y, con el husillo que actúa como un pistón, se hace pasar el material a través de la boquilla hacia las cavidades del molde.
- **3.** La presión se mantiene constante para lograr que la pieza tenga las dimensiones adecuadas, pues al enfriarse tiende a contraerse.
- **4.** La presión se elimina. La válvula se cierra y el husillo gira para cargar material; al girar también retrocede.
- **5.** La pieza en el molde termina de enfriarse (este tiempo es el más caro pues es largo e interrumpe el proceso continuo), la prensa libera la presión y el molde se abre; las barras expulsan la parte moldeada fuera de la cavidad.
- **6.** La unidad de cierre vuelve a cerrar el molde y el ciclo puede reiniciarse.

2.1.4.2.-PvT (relaciones de presión-volumen-temperatura)

En cualquier polímero, las relaciones entre presión, volumen y temperatura son muy importantes para obtener un proceso de inyección eficiente, ya que el volumen de un

polímero aumenta al ascender la temperatura del mismo. El comportamiento de los polímeros amorfos y semicristalinos en el paso de enfriamiento es muy diferente, lo que debe ser tenido en cuenta si se quiere obtener una pieza de alta calidad.

Para diseño de equipo de proceso es necesario conocer las relaciones de PvT de los polímeros que se utilizarán, en su forma final, es decir aditivados. A continuación se mencionan los parámetros más comunes para el inicio de las relaciones de PvT, basados en la ecuación de Flory:

α = Coeficiente de expansión térmica

β = Compresibilidad isotérmica

$$\alpha = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P$$

$$\beta = -\frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial P} \right)_T$$

Y una ecuación empírica es:

$$\beta(P, T) = \left\{ (P + B) \left[\frac{1}{0.0894} - \ln \left(1 + \frac{P}{B} \right) \right] \right\}^{-1}$$

Cuando $P = 0, \beta(0, T) = 0.0895/B(T)$

Las relaciones de PvT se utilizan en ingeniería de polímeros para lograr un sistema técnico que, basado en la teoría molecular, proporcione datos aplicados a los polímeros en estado fundido en un amplio rango de presión y temperatura. Esto se logra con datos empíricos concretos y limitados. Para determinar estas relaciones existen otras ecuaciones como la de Simha-Somcynsky, el modelo para fluidos de Sánchez y Lacombe y por supuesto, la ecuación de mayor éxito, la ecuación de Flory (Flory-Orwoll-Vrij).

2.1.4.3.-Cristalización y deformación de la pieza al enfriarse (contracción)

Debe tenerse en cuenta que la razón de este fenómeno se debe al cambio de densidad del material, que sigue un propio comportamiento fisicoquímico, particular para cada polímero, y que puede ser isótropo o anisótropo.

De acuerdo con las relaciones de PVT anteriores, se infiere que la parte moldeada sufrirá una contracción, presentando cada polímero diferentes tipos de contracción; sin embargo, puede decirse que, en general, siguen las mismas ecuaciones para contracción isótropa:

$$C_v = \frac{V_c - V_{mp}}{V_c} = 1 - \frac{V_{mp}}{V_c}$$

$$C_L = \frac{L_c - L_{mp}}{L_c} = 1 - \frac{L_{mp}}{L_c}$$

$$C_v \approx 3 \times C_L$$

Donde:

L_c = longitud de la cavidad

L_{mp} = longitud de la parte moldeada

C_v = contracción volumétrica

C_L = contracción lineal

V_c = Volumen de la cavidad

V_{mp} = Volumen de la parte moldeada

Los polímeros semicristalinos modificarán más su tamaño dependiendo de la temperatura en la cual se les permita cristalizar. Las cadenas que forman esferulitas y lamelas ocupan menos espacio (mayor densidad) que las cadenas en estado amorfo. Por ello, el grado de cristalinidad afecta directamente a la densidad final de la pieza. La temperatura del molde y el enfriamiento deben ser los adecuados para obtener piezas de calidad.

A continuación se enumeran algunos valores comunes de contracción en polímeros para inyección (para diseño de moldes es conveniente solicitar una hoja de parámetros técnicos del proveedor de polímeros para obtener un rango específico).

| Termoplástico | Contracción (%) |
|----------------------------------|-----------------|
| Acrilonitrilo butadieno estireno | 0,4 – 0,8 |
| Poliacetal | 0,1 – 2,3 |
| Polimetilmetacrilato (PMMA) | 0,2 – 0,7 |
| Acetato de celulosa | 0,5 |
| Nylon 6,6 | 1,4 – 1,6 |
| Polycarbonato | 0,6 |
| Polietileno de baja densidad | 4,0 – 4,5 |
| Polipropileno | 1,3 – 1,6 |
| Poliestireno | 0,4 – 0,7 |
| PVC rígido | 0,6 – 1,2 |
| PVC plastificado | 1,0 – 4,5 |

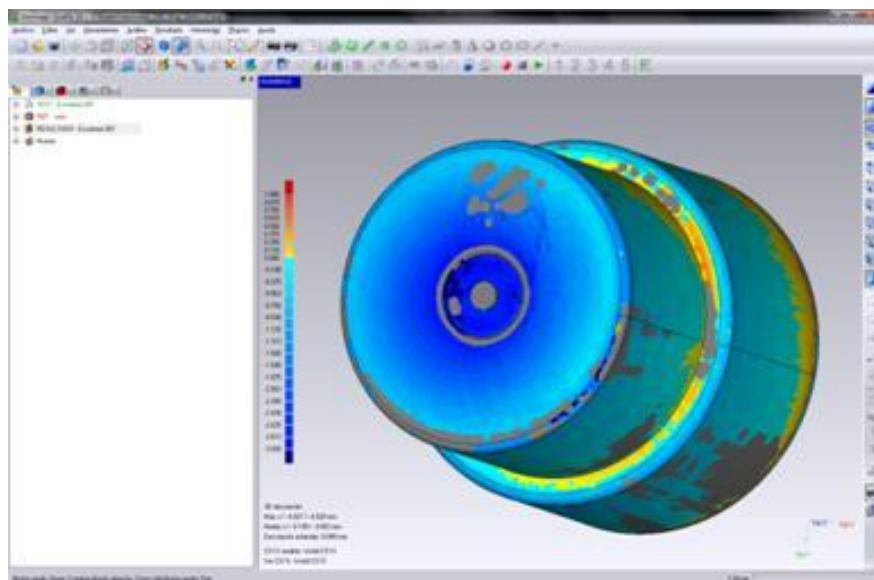


Figura 42: Caracterización de deformaciones y alabeos en piezas inyectadas.

2.1.4.4.-Colada fría, colada caliente:

Existen dos tipos de colada. La colada fría es el remanente de polímero solidificado que queda en los canales, y que es necesario cortar de la pieza final. La colada caliente mantiene al polímero en estado fundido para continuar con la inyección. Con esta técnica se ahorra una considerable cantidad de plástico, aunque presenta algunos inconvenientes: los pigmentos deben tener mayor resistencia a la temperatura, el polímero aumenta su historia térmica, el molde debe ser diseñado especialmente para esto, etc.

2.1.4.5.-Coloración de la pieza:

La coloración de las piezas a moldear es un paso crítico, puesto que la belleza de la pieza, la identificación y las funciones ópticas dependen de este proceso. Básicamente existen tres formas de colorear una pieza en los procesos de inyección:

- 1. Utilizar plástico del color que se necesita (pre coloreados).
- 2. Utilizar un plástico de color natural y mezclarlo con pigmento en polvo o colorante líquido.
- 3. Utilizar un plástico de color natural y mezclarlo con concentrado de color.

La elección cómoda y limpia es el uso del concentrado de color (en inglés *Masterbatch*), el cual se diseña con características de índice de fluidez y viscosidad acordes al polímero que se desea procesar. Con los concentrados de color se puede cambiar de un color a otro de manera rápida, sencilla y limpia. Los pigmentos en polvo presentan mayores problemas de coloración que los concentrados de color y estos más que los pre-coloreados; sin embargo, los pre-coloreados son los más caros y presentan una historia térmica mayor. Los problemas de procesamiento más comunes con relación al color de una pieza son: líneas de color más o menos intenso, puntos negros, ráfagas, y piel de naranja.

Los colores pueden ser opacos y, si el polímero es transparente, colores translúcidos. Es importante que el proveedor de los concentrados de color sea consciente de la aplicación final de la pieza, para utilizar pigmentos o colorantes que no migren a la superficie. En poliolefinas no debe utilizarse colorantes porque migran, un error muy común en la industria ya que son

baratos, si bien este ahorro merma la calidad de la pieza y puede resultar en una reclamación por parte del cliente.

Los colores finales en la pieza pueden ser translúcidos, sólidos, pasteles, metálicos, perlados, fosforescentes, fluorescentes, etc. Algunos polímeros como el ABS son más difíciles de colorear que otros como el polietileno, por su alta temperatura de proceso y su color amarillento.

Un experto en diseño de un color ha de poseer una habilidad visual impresionante, puesto que sus ojos están entrenados para reconocer colores con diferencias mínimas, lo cual requiere una habilidad natural y amplia experiencia. Debe tomarse en cuenta también la teoría del color, ya que los pigmentos son substractivos y la luz es aditiva; además, si como color objetivo se tiene una pieza de metal, vidrio, líquido, papel o polímero diferente al polímero final, es posible que bajo diferente luz sea igual o distinto el color final del objetivo. Por ello debe decidirse cuál será la luz bajo la cual los colores deben ser observados. Para personas que no son expertas en identificación de color, son muy útiles los colorímetros, aunque su grado de confianza no llega al 100%. Una persona no entrenada puede ver dos colores diferentes como iguales y dos iguales como diferentes, debido a errores en el ángulo con respecto a la incidencia de la luz, distancia entre uno y otro objetivo, luz ambiental, etc.

2.1.4.6.-Dimensiones de la máquina:

La efectividad de una máquina de inyección se basa en la cantidad de presión que esta pueda generar, por dos razones principales:

- Incrementando la presión se puede inyectar más material
- Incrementando la presión se puede disminuir la temperatura, que se traduce en menor costo de operación.

Las máquinas se venden dependiendo de su fuerza de cierre expresada en toneladas, y van desde 10 Ton las más pequeñas, hasta 3.000 Ton las de mayor capacidad.

Es aconsejable utilizar el cañón más largo posible si se necesita mezclar compuestos, y también hacer énfasis en el husillo adecuado. A continuación se muestra un husillo típico de laboratorio para polioleofinas:

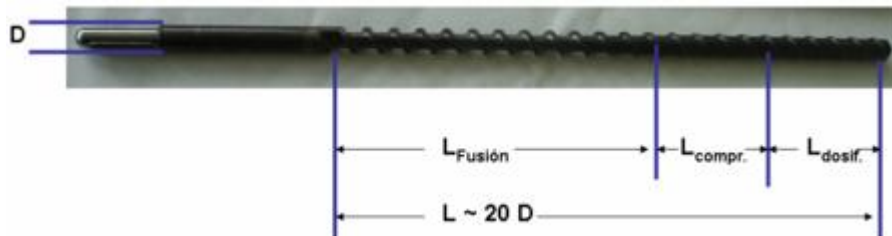


Figura 43: Husillo de laboratorio para polioleofinas:

Aunque las dimensiones de la máquina dependen principalmente de la cantidad de polímero que se necesita para llenar la pieza deseada, es común que los proveedores de máquinas vendan equipos más o menos estándares. Las principales características para determinar las dimensiones de una máquina son: la capacidad de cierre, dimensiones del molde, carrera o recorrido del molde, presión de inyección, capacidad volumétrica de inyección, características de plastificado y velocidad de inyección.

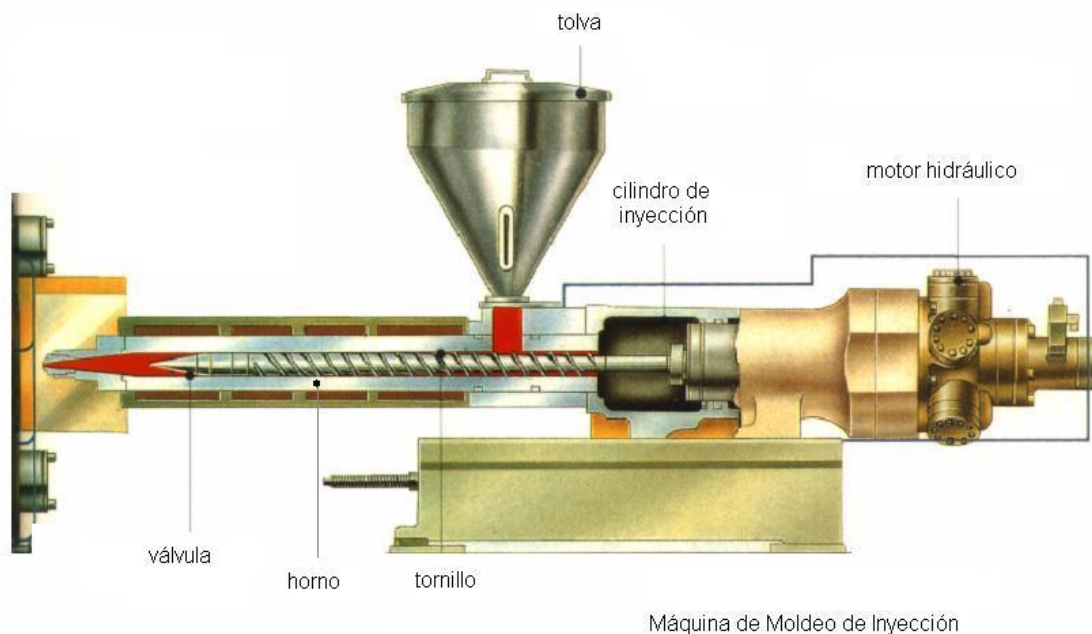


Figura 44: Máquina de moldeo de inyección.

2.1.4.7.-Flujo:

Flujo de polímero en la cavidad. La viscosidad del polímero aumenta al enfriarse en contacto con las paredes del molde.

Los polímeros son materiales cuyas viscosidades son muy altas, por lo que su flujo es lento y complicado. La razón de esto es que son cadenas muy largas de unidades más simples, a causa de lo cual los polímeros presentan una orientación con respecto al esfuerzo cortante al que han sido sometidos. En general, es conveniente eliminar lo más posible la orientación de las moléculas, propiedad que se contrapone a la rapidez de moldeo (y por tanto al costo). Sin embargo, si el estrés debido a una orientación extremadamente alta no se libera, la pieza se deformará al enfriarse o al calentar el material en su aplicación.

El polímero entra en el molde y se va acumulando desde el punto de entrada, arrastrándose por las paredes y empujando el polímero en el centro. Cuando este toca las paredes del molde, comienza a enfriarse y solidificarse. Esto ocurre con cierta baja orientación, pero cuando se va llenando la cavidad en capas posteriores lejanas a la pared del molde, la orientación se incrementa y un inadecuado enfriamiento congela los estreses generados, siguiendo un perfil de velocidades semejante al del flujo parabólico en un tubo.

El flujo de un polímero a través de una cavidad rectangular se puede estudiar utilizando condiciones isotérmicas, o con el molde a temperaturas menores que la Tg del polímero a estudiar. Para los experimentos en condiciones isotérmicas, se observa que el tipo de polímero no modifica el flujo, que mantiene un perfil de velocidades constante, con un flujo radial después de la compuerta hasta llenar las esquinas. Después, el flujo se aproxima a un flujo tapón, perdiendo movilidad en las zonas de contacto con la pared fría. El flujo de cada polímero es estudiado por la reología.

Una aproximación al estudio del flujo de polímeros en el llenado de un molde es la ecuación de Hagen y Poiseuille, la cual considera parámetros en el régimen laminar. Esta ecuación, despejada para la viscosidad del material es:

$$\eta = \frac{r^4 \pi \Delta P}{8LQ} = \frac{r \Delta P / 2L}{4Q / \pi r^3} = \frac{\tau}{\dot{\gamma}}$$

Donde: η = Viscosidad

r = Radio del tubo o canal

ΔP = Caída de presión

L = Longitud del tubo

Q = Flujo volumétrico

τ = Esfuerzo cortante

$\dot{\gamma}$ = Velocidad de corte

Para el diseño de los canales en el molde, se observa de la ecuación anterior que la velocidad de corte y la viscosidad se ven afectadas por el diseño del radio del canal. Si el flujo volumétrico y la caída de presión se mantienen constantes, en condiciones isotérmicas entre los ciclos de moldeo, la viscosidad permanece constante y por lo tanto se espera que la calidad de la pieza moldeada sea constante.

En la práctica, los ingenieros toman en cuenta que los polímeros son fluidos no newtonianos (particularmente son materiales viscoelásticos). Por lo tanto, se deberán hacer correcciones a la fórmula anterior dependiendo de para qué plástico se realizará el molde. También se utilizan "curvas de viscosidad", que grafican η frente a $\dot{\gamma}$.

Un parámetro importante en el flujo incluye la temperatura; otra buena aproximación a polímeros obedece a la ecuación de Arrhenius:

$$\eta = K e^{\frac{-E}{RT}}$$

Donde:

K = Constante del polímero en cuestión

R = Constante universal de los gases ideales, Por lo general expresada en Joules, Kelvins y moles

$$8.314 J \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$$

T = Temperatura

E = Energía de activación para el flujo viscoso

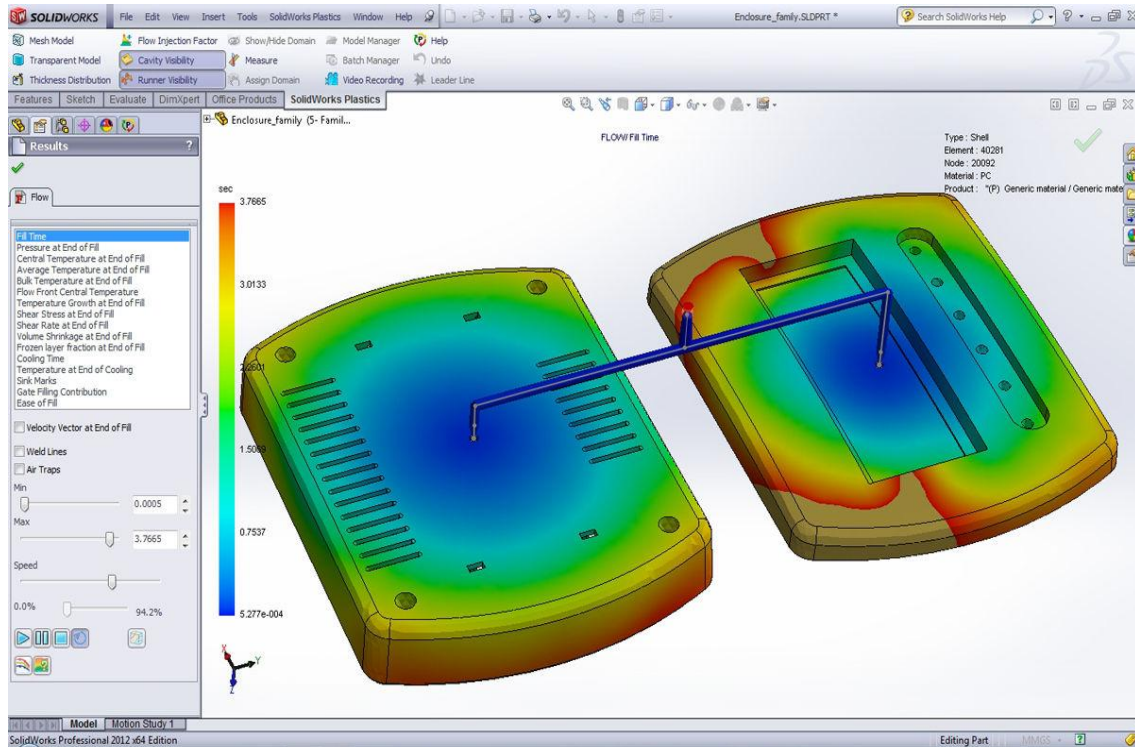


Figura 45: Software simulación de inyección de plástico (temperaturas).

2.1.4.8.- Ventilación y presión:

Conforme el polímero avanza desde la entrada o tolva, va reduciendo el tamaño de sus gránulos por medios tanto mecánicos (fricción, compresión y arrastres) como térmicos (aumento en su temperatura interna), llegando al estado gomoso o fusión, dependiendo de si el material es amorfo o semicristalino. Conforme este material avanza, el aire presente experimenta un aumento de presión y generalmente escapa en dirección opuesta al avance del polímero. Si esto no ocurre, entonces es necesario abrir una compuerta de ventilación, igualándose de esta manera la presión generada a la presión atmosférica. Debido a las propiedades de viscosidad y de arrastre del polímero, sólo escapa mediante la ventilación una parte mínima de plástico.

El error más común con la ventilación es el añadir aditivos espumantes desde la tolva. Los espumantes generan gas, aire o agua que queda atrapado en células abiertas o cerradas del

polímero. No obstante, si la presión disminuye a presión atmosférica, este gas generado escapa, resultando así un polímero sin espumar. Para una eficiente alimentación del espumante, éste debe ser añadido después de la ventilación o eliminar el mismo.

2.1.4.9.-Técnicas modernas:

Algunas de las técnicas modernas incluyen la inyección de multicomponentes, es decir, una pieza que contiene dos polímeros unidos entre sí o un polímero con diferentes colores y aditivos separados en capas. En esta técnica es posible inyectar dos polímeros en la misma pieza. Existen dos métodos para lograr esto: uno es con dos unidades de inyección, y otro con una unidad de inyección compuesta. Un polímero queda inmerso en el otro, o un color queda inmerso en el otro, ahorrando así costos: esta técnica es llamada inyección por emparedado o sándwich. Otra posibilidad es inyectar con agentes formadores de celdas o espumantes que reducen la densidad de la pieza moldeada.

La inyección puede contener injertos metálicos, cerámicos o plásticos. Estos son colocados manual o automáticamente en el molde, sobre el cual es inyectado el polímero que, por medios geométricos, evita su separación al enfriarse.

En el moldeo con reacción química no se usa el extrusor, sino más bien componentes líquidos que se van administrando. Estas resinas pueden estar activadas o activarse al unir los diferentes fluidos. Un ejemplo típico de polímero inyectado por este proceso es el poliuretano y la poliurea. Generalmente, las temperaturas en este proceso son mucho más bajas que las temperaturas de la inyección con husillo.

La inyección de hule y de termoestables consiste en un proceso que incluye la inyección con todos los ingredientes necesarios para el curado o vulcanizado, pero a temperaturas bajas en el cañón. Éste debe provocar poca fricción en el material para evitar el sobrecalentamiento y reacción prematura, cambiando así la cinética de reacción deseada. La reacción termina precisamente en el molde, el cual no es necesario enfriar.

La inyección con equipo moderno de polímeros semiconductores y de polímeros conductores requiere mucho menos cuidado que en el proceso de semiconductores tradicionales de silicio




y germanio. El cuarto limpio no es necesario y el proceso se puede llevar a cabo con un cuidado semejante al de inyección de equipo médico.






La inyección de materiales compuestos como madera-plástico o fibras naturales con polímero, fibra de carbón y nanopartículas tienen una problemática particular, debido a que el husillo tiende a romper, cortar o aglomerar las partículas, por lo que presentan un doble reto: por una parte deben ser dispersadas y distribuidas (como cualquier pigmento), a la vez que deben permanecer lo más estables posible. Las nanopartículas generalmente forman aglomerados, que reflejan una pérdida de propiedades mecánicas y no un aumento, ya que el estrés es función directa del área de la unión partícula-polímero.

2.1.4.10.-Entradas:

Las funciones concretas de una entrada son simples: sirven para ayudar a que el polímero solidifique pronto cuando la inyección concluye, y para separar fácilmente los remanentes de inyección de la pieza final. Muchas veces elimina la necesidad de cortar o desbastar este sobrante y acelerar el flujo de material fundido, que se refleja en una menor viscosidad y mayor rapidez de inyección.

Para garantizar el buen funcionamiento de un polímero inyectado, es imprescindible tener en cuenta los fenómenos de transporte y particularmente el flujo del polímero. Recuérdese que no se habla de moléculas o iones como los metales fundidos, sino de largas cadenas de macromoléculas en estado gomoso. Las entradas son así diseñadas para mejorar el flujo y para permitir un orden distributivo del mismo. Las entradas más comunes son:

| Tipo de entrada | Esquema | Característica |
|--------------------|---|---|
| Entrada de canal | (sin esquema) | Alimentan de manera directa desde la cavidad. |
| Entrada cónica |  | Alimentan el polímero permitiendo una ligera relajación de esfuerzos. |
| Entrada puntiforme |  | Se llenan desde los bebederos; comúnmente usadas en moldes de tres placas, permiten altas velocidades y se llenan con facilidad; pueden eliminarse sin dificultad de la pieza moldeada. |
| Entrada lateral |  | Alimentan desde un lado del molde; comúnmente utilizadas para impresión múltiple. |

| | | |
|----------------------------|---|---|
| Entrada anular |  | Se usan para moldear partes huecas ya que su flujo es previamente modificado a la forma final. |
| Entrada de diafragma |  | Similares a las compuertas anular, pero distribuyen el material fundido desde el canal de alimentación. |
| Entrada de abanico |  | Sirven para cubrir áreas grandes o largas de manera homogénea y distributivamente correcta. |
| Entrada de lengüeta |  | Estas compuertas minimizan el efecto de jet y ayudan a lograr un flujo de régimen laminar cuyo número de Reynolds es adecuado para la inyección. |
| Entrada de cinta o laminar |  | Sirven para moldear homogéneamente áreas planas y delgadas, sobre todo en productos translúcidos y transparentes como objetivos de policarbonato, láminas de PMMA y dispositivos ópticos de medición, ya que minimiza las aberraciones cromáticas y ópticas debidas a ondas formadas por flujo en régimen turbulento. |

Estas entradas se utilizan en el diseño de molde preferentemente bajo la experiencia y el diseño por computadora, con programas como Moldflow que simulan el flujo de polímeros en el molde.

2.1.5.-VENTAJAS Y DESVENTAJAS:

2.1.5.1.-Defectos, causas posibles y soluciones en partes moldeadas:

Los defectos en partes moldeadas requieren experiencia tanto para ser identificados como para ser resueltos. Los operarios con años de experiencia en inyección son los mejores maestros de identificación y solución de problemas, ya que su experiencia les da las ideas y recursos necesarios para solucionar problemas rápidamente. Aquí se sugieren algunas de las soluciones a los problemas más comunes:

| Defecto | Causas posibles | Probables soluciones |
|---------------------|--|--|
| Enchucamiento | Enfriamiento demasiado intenso. Diseño inadecuado de la pieza. Tiempo de enfriamiento muy corto. Sistema de extracción inapropiado. Esfuerzos en el material. | Incrementar el tiempo de enfriamiento dentro del molde. Utilizar un polímero reforzado. |
| Flash | Presión de cierre demasiado baja. | Incrementar la presión de la unidad de cierre. |
| Líneas de flujo | Mala dispersión del concentrado de color o del pigmento. Temperatura demasiado baja. | Cargar el material más lentamente. Incrementar la temperatura del barril. Modificar el perfil de temperaturas. |
| Puntos negros | Hay carbonizaciones. | Purgar el husillo. Reducir la temperatura de proceso. Limpiar el husillo manualmente |
| OPiel de naranja | Incompatibilidad del material. | Disminuir la temperatura de proceso. Incrementar la temperatura del molde. Cambiar el concentrado de color. |
| Parte incompleta | Insuficiente material en la cavidad. Falta de material en la tolva. Cañón demasiado pequeño. Temperatura demasiado baja. Obstrucción de la tolva o de la boquilla. Válvula tapada. Tiempo de sostenimiento demasiado corto. Velocidad de inyección demasiado baja. Canales demasiado pequeños. Respiración insuficiente. | Inyectar más material. Cambiar el molde a una máquina de mayor capacidad. Incrementar la temperatura del barril. Incrementar la velocidad de inyección. Modificar el tamaño de los canales del molde. |
| Parte con rebabas | Dosificación excesiva. Temperatura de inyección muy alta. Presión de inyección muy alta. Tiempo de inyección muy largo. Temperatura de molde muy alta. | Dosificar menos material. Disminuir la temperatura de inyección. Disminuir la presión. Disminuir el tiempo de inyección. Disminuir la temperatura del molde. |
| Rechupados y huecos | Presión de inyección demasiado baja. Tiempo de sostenimiento de presión muy corto. Velocidad de inyección baja. Material sobrecalentado. Humedad. Enfriamiento del molde no uniforme. Canales o compuerta muy pequeños. Mal diseño de la pieza. | Incrementar la presión. Incrementar el tiempo de sostenimiento de presión. Disminuir la temperatura del barril. Incrementar la velocidad de inyección. Abrir el venteo o presequer el material. Modificar los canales de enfriamiento del molde o el flujo del agua. Modificar el molde. |

| | | |
|--------------------------------------|---|---|
| Líneas de unión | Temperatura general muy baja en el molde. Temperatura del fundido no uniforme. Presión de inyección muy baja. Velocidad de inyección muy baja. Insuficiente respiración en la zona de unión de los flujos encontrados. Velocidad de llenado no uniforme. Flujo no adecuado del material por los canales o la cavidad. | Incrementar la temperatura. Incrementar la presión. Incrementar la velocidad de inyección. Modificar la respiración del material en el molde. Modificar la compuerta para uniformar el flujo. |
| Degradación por aire atrapado | Humedad. Degradación de aditivos. Temperatura demasiado alta. Respiración del molde insuficiente. | Secar el material. Disminuir la temperatura. Modificar la respiración del molde. |
| Delaminación de capas | Temperatura demasiado baja. Velocidad de inyección demasiado baja. Baja contrapresión de la máquina. Temperatura del molde muy baja. | Incrementar la temperatura. Incrementar la velocidad de inyección. Incrementar la contrapresión de la máquina. |
| Fracturas o grietas en la superficie | Temperatura del molde demasiado baja. Sistema de eyección demasiado agresivo o inadecuado. Empacado excesivo. | Incrementar la temperatura. Modificar las barras eyectoras. Utilice un robot para extraer la pieza. Disminuir la presión de sostenimiento. |
| Marcas de las barras eyectoras | Tiempo de enfriamiento muy corto. Temperatura del molde alta. Temperatura del polímero demasiado alta. Rapidez de eyección demasiado alta. Localización inadecuada de las barras eyectoras. | Incrementar el tiempo de enfriamiento. Disminuir la temperatura del fundido. Disminuir la rapidez de eyección. Modificar la ubicación de las barra eyectoras. |
| Quemado de la pieza | Quemado por efecto de jet. | Disminuya la velocidad de inyección. |
| El concentrado de color no se mezcla | Perfil incorrecto de temperaturas. | Probar un perfil inverso de temperaturas. Bajar la temperatura de las primeras dos zonas de la unidad de inyección. Usar un perfil de temperaturas más agresivo. |
| El color es más oscuro | La temperatura es demasiado alta. La compuerta es demasiado pequeña y se quema el polímero por presión. | Disminuir la temperatura. Modificar la compuerta del molde. |

2.2.-MOLDEO DE PLÁSTICO POR EXTRUSIÓN DE POLÍMERO:

La extrusión de polímeros es un proceso industrial mecánico, en donde se realiza una acción de prensado, moldeado del plástico, que por flujo continuo con presión y empuje, se lo hace pasar por un molde encargado de darle la forma deseada. El polímero fundido (o en estado ahulado) es forzado a pasar a través de un dado también llamado boquilla, por medio del empuje generado por la acción giratoria de un husillo (tornillo de Arquímedes) que gira concéntricamente en una cámara a temperaturas controladas llamada cañón, con una separación milimétrica entre ambos elementos. El material polimérico es alimentado por medio de una tolva en un extremo de la máquina y debido a la acción de empuje se funde, fluye y mezcla en el cañón y se obtiene por el otro lado con un perfil geométrico pre-establecido.

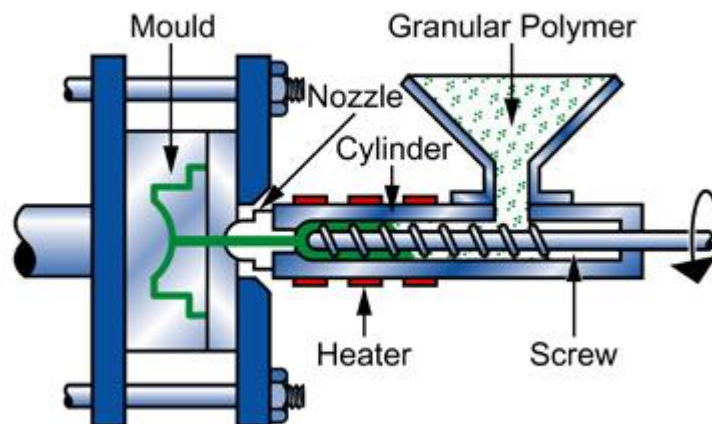


Figura 46: Ejemplo de máquina.

2.2.1.-MOLDE:

El molde es similar al explicado anteriormente en el moldeo por inyección, por lo que no vamos a perder tiempo en volverlo a explicar.

http://www.youtube.com/watch?v=obmc_xtqBJE

<http://www.youtube.com/watch?v=OGhFclqRyVo>

2.2.2.-PROCESO:

2.2.2.1.-Flujo a través de un canal simple y de canal rectangular:

Canal simple: Para modelar el flujo de polímero que fluye a través de un canal es necesario comenzar con ciertas consideraciones que podrían resumirse en 6:

- En las paredes del canal el flujo es igual a cero
- El fluido fluye constante independientemente del tiempo
- En todo lo largo del canal, el perfil de flujo permanece constante
- El fluido es incompresible
- El flujo es isotérmico
- La fuerza de gravedad es despreciable

Primero tratamos el flujo, que a través de un canal de sección transversal circular fluye con un flujo parabólico:

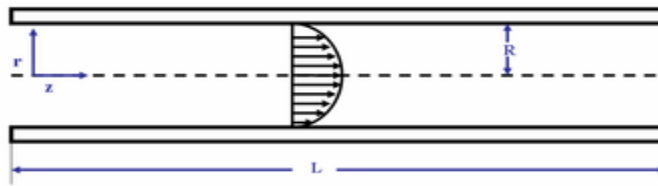


Figura 47: Muestra como fluye el fluido a través de un canal circular.

Después de un balance de momentum se obtiene que:

$$V_z \neq 0, V_r = V_\theta = 0$$

Después de un análisis matemático se obtiene que el esfuerzo cortante σ_{rz} :

$$\sigma_{rz} = \frac{r \Delta P}{2L}$$

Finalmente, tomando en cuenta la ley de Newton de la viscosidad, el flujo volumétrico y la velocidad promedio, se obtienen las siguientes ecuaciones: para esfuerzo cortante σ y velocidad de corte $\dot{\gamma}$:

$$\sigma = \frac{H \Delta P}{2L}$$

$$\dot{\gamma} = \frac{6Q}{\omega H^2}$$

Canal rectangular: Para fluidos newtonianos a través de un canal rectangular tenemos:

$$\sigma = \frac{\Delta P}{L} x$$

Substituyendo la ley de la potencia, integrando y substituyendo el flujo volumétrico Q se obtiene:

$$\frac{H \Delta P}{2L} = K' \left(\frac{6Q}{\omega H^2} \right)^n$$

Ó también:

$$\sigma = K' \dot{\gamma}^n$$

2.2.2.2.-Reometría y reología:

La Reología en proceso de extrusión aporta datos muy importantes para la comprensión y el diseño de esta tecnología. El estudio de un flujo de polímero por medio de Reología comienza con la reometría capilar, estudiando el flujo de polímero a través de un dado capilar utilizando las mismas consideraciones que se utilizaron para el flujo a través de un canal simple.

En este modelo de reometría se considera que el esfuerzo cortante tiene relación directa con la caída de presión ΔP que se presenta a lo largo del tubo capilar cuya longitud L y radio R se relacionan con el flujo volumétrico Q y el esfuerzo cortante σ a la salida del dado del reometro capilar por medio de las siguientes ecuaciones:

$$\sigma = \frac{R \Delta P}{2L}$$

$$\dot{\gamma} = \frac{4Q}{\pi R^3}$$

Usualmente se aplica una fuerza F y una velocidad conocidas para empujar el pistón que empuja al polímero fundido, teniendo en cuenta que

$$\Delta P = \frac{F}{A}$$

Para ajustar estas relaciones con los esfuerzos cortantes se utiliza la corrección de Bagley, por medio de la cual se corrigen los efectos de la caída de presión del pistón y a través del total de la longitud del tubo capilar, se toman en cuenta la viscosidad y la caída de presión a la entrada del capilar.

Resultando en:

$$\sigma = \frac{\Delta P_{Piston}}{2(L/R + e)}$$

Donde

e = Valor obtenido de graficar ΔP_{Piston} contra (L/R) en la intersección de la recta obtenida con el eje de las abscisas.

η = Viscosidad, obtenida de la pendiente (derivada) de la gráfica de ΔP_{Piston} contra (L/R).

Otras correcciones incluyen la corrección de Rabinowitsch para utilizar fluidos no newtonianos, con la cual se obtiene

Para la velocidad de corte:

$$\dot{\gamma} = \frac{3n + 1}{4n} \left(\frac{4Q}{\pi R^3} \right)$$

Y:

$$n = \frac{d\log(R\Delta P_{Piston}/2L)}{d\log(4Q/\pi R^3)}$$

El paso de la reometría capilar es un paso inicial muy importante para conocer las características reológicas del material a utilizar, además se obtienen algunos otros datos importantes como hinchamiento, distorsiones del extruido, pérdida de viscosidad con el tiempo.

El siguiente paso para el estudio preliminar de termoplásticos implica el uso de una norma por medio del medidor de índice de fluidez, con ayuda de la ecuación de continuidad.

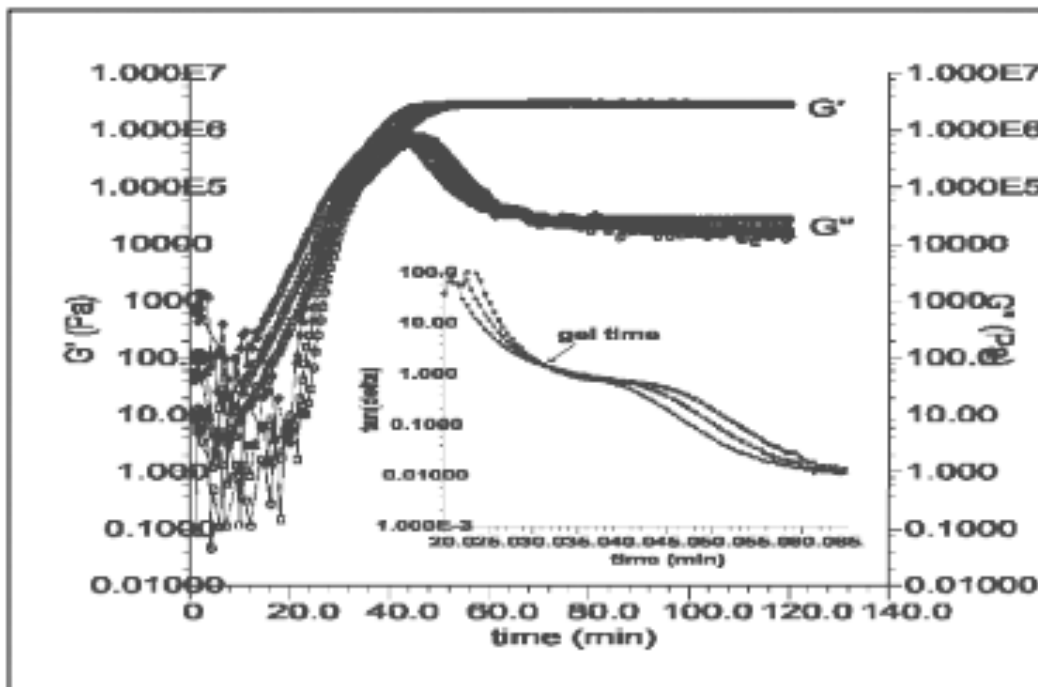


Figura 48: Análisis reológico isoterma

2.2.2.3.-Fusión del polímero:

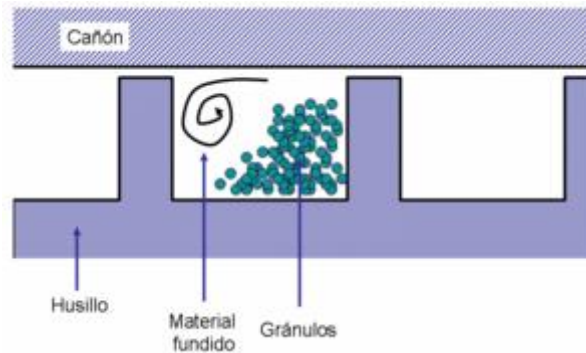


Figura 49: Inicio del proceso de fusión del polímero en el extrusor.

El polímero funde por acción mecánica en combinación con la elevación de su temperatura por medio de calentamiento del cañón. La acción mecánica incluye los esfuerzos de corte y el arrastre, que empuja el polímero hacia la boquilla e implica un incremento en la presión.

La primera fusión que se presenta en el sistema ocurre en la pared interna del cañón, en forma de una delgada película, resultado del incremento en la temperatura del material y posteriormente también debida a la fricción. Cuando esta película crece, es desprendida de la pared del cañón por el giro del husillo, en un movimiento de ida y vuelta y luego un barrido, formando un patrón semejante a un remolino, o rotatorio sin perder el arrastre final. Esto continúa hasta que se funde todo el polímero.

Fusión y arrastre: Si el material se adhiere al husillo y resbala sobre la pared del cañón, entonces el arrastre es cero, y el material gira con el husillo. Si, en cambio, el material no resbala con la pared del cañón y resbala con el husillo, entonces el arrastre es máximo y el transporte de material ocurre.

En la realidad el polímero experimenta fricción tanto en la pared del cañón como en el husillo, las fuerzas de fricción determinan el arrastre que sufrirá el polímero

Advertencia: Algunos polímeros funden exactamente en el sentido opuesto debido a sus características moleculares, esto ha dado origen al diseño de algunos husillos específicos.

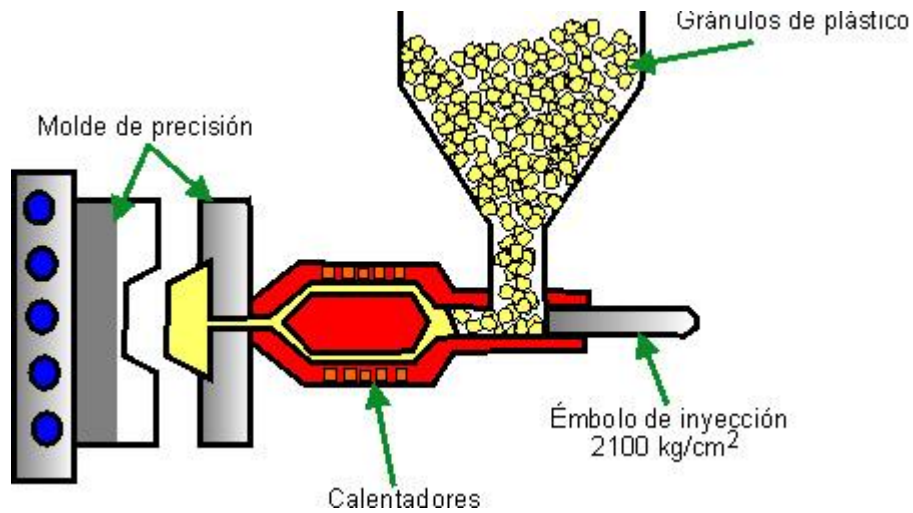


Figura 50: Fusión del polímero.

2.2.3.-MAQUINARIA:

2.2.3.1.-Técnicas de extrusión:

La clasificación general de los distintos tipos de técnicas para extrusión de polímero son las siguientes:

Extrusión:

- Extrusión con un sólo husillo
 - Extrusores convencionales o típicos



Figura 51: Extrusor convencional.

- Extrusores con ventilación (o venteo) o desgasificación
- Extrusores co-mezcladores (del inglés cenador)
- Extrusores sin husillo
 - Bombas

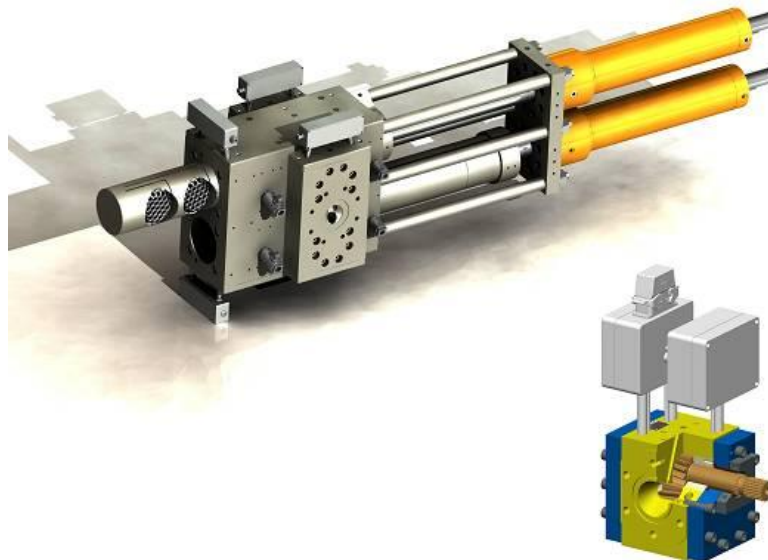


Figura 52: Bomba.

- Extrusores de discos

- Extrusores de husillo múltiple
 - Extrusores de doble husillo

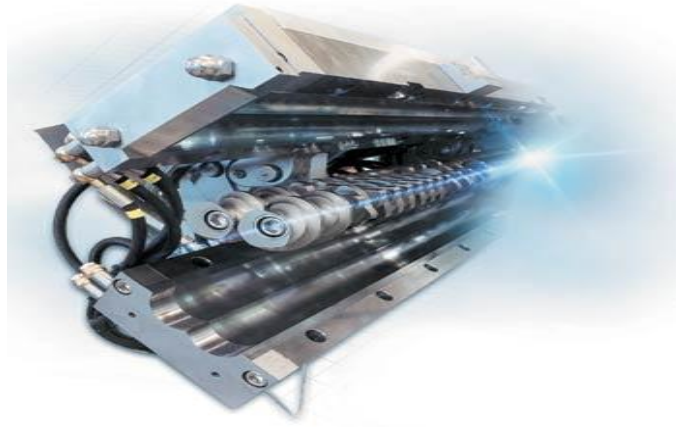


Figura 53: Extrusor de doble usillo.

- Husillos que no engranan
- Husillos que engranan
- Rotación en el mismo sentido
- Rotación en sentido inverso
- Extrusores con más de dos husillos
- Rodillos planetarios
- De 4 husillos (construcción particular para cada máquina)

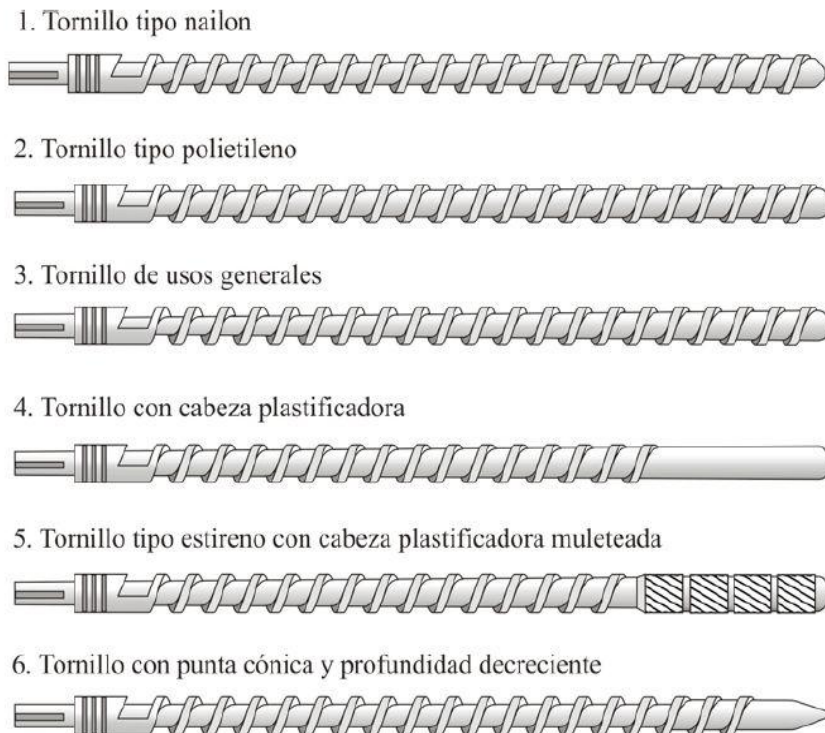


Figura 54: Tipos de husillos.

-Extrusores de un sólo husillo:

Los extrusores más comunes utilizan un sólo husillo en el cañón. Este husillo tiene comúnmente una cuerda, pero puede tener también 2 y este forma canales en los huecos entre los hilos y el centro del husillo, manteniendo el mismo diámetro desde la parte externa del hilo en toda la longitud del husillo en el cañón.

La división más común para extrusores de un sólo husillo consiste en 4 zonas, desde la alimentación hasta la salida por el dado del material,

1. *Zona de alimentación:* En esta parte ocurre el transporte de gránulos sólidos y comienza la elevación de temperatura del material
2. *Zona de compresión:* En esta zona, los gránulos de polímero son comprimidos y están sujetos a fricción y esfuerzos cortantes, se logra una fusión efectiva
3. *Zona de distribución:* Aquí se homogeniza el material fundido y ocurren las mezclas.

4. *Zona de mezcla*: En esta parte que es opcional ocurre un mezclado intensivo de material, en muchos casos no se aconseja porque puede causar degradación del material.

Los husillos pueden tener también dentro de algunas de sus zonas principales elementos dispersivos y elementos distributivos.

Distribución: Logra que todos los materiales se encuentren igual proporción en la muestra

Dispersión: Logra que los componentes no se aglomeren sino que formen partículas del menor tamaño posible.

-Flujo de arrastre

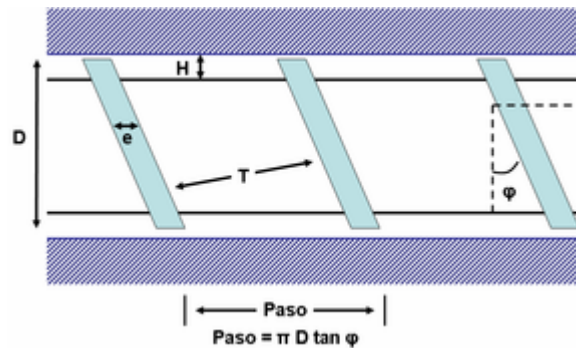


Figura 55: Flujo de arrastre en un extrusor de un husillo.

Nuevamente considerando la ley de Newton de la viscosidad, haciendo un balance de momentum para el husillo separado del barril por una distancia H, con velocidades V_z (dirección del arrastre) es diferente de cero y $V_x = V_y = 0$, en estado estacionario a presión constante y sin gravedad, se tienen las siguientes relaciones para el flujo de arrastre debido a la acción del husillo:

$$\sigma_{xz} = \text{Constante}$$

$$\eta \frac{dV_z}{dx} = \sigma$$

Y siendo U_z la velocidad máxima en la dirección z, en el husillo:

$$V_z = 1/2 U_z$$

Para el área transversal de flujo ωH :

$$Q = 1/2 U_z \omega H$$

$$\sigma = \eta \frac{U_z}{H}$$

$$\dot{\gamma} = \frac{U_z}{H}$$

Tomando en cuenta la velocidad promedio en V_z :

$$\text{Viscosidad} = \eta = \text{Constante} \left(\frac{U_z}{H} \right)^{n-1}$$

El flujo total del polímero resulta de la suma del flujo de arrastre y el flujo de presión

$$Q = 1/2 \pi^2 D^2 N H \text{sen} \phi \cos \phi - \left(\frac{\pi D H^3 \text{sen}^2 \phi P}{12 \eta l} \right)$$

Para:

- N = Rapidez del tornillo...(1)
- P = Presión frontal
- η = viscosidad del plástico fundido
- H = Espacio entre el husillo y el cañón
- ϕ = Ángulo del hilo (o ángulo de hélice)
- l = Longitud

El flujo de arrastre en el extrusor se deriva del cálculo del flujo de arrastre entre dos placas paralelas en estado estacionario, tomando en cuenta que el flujo primario es debido a una espiral.

Sin embargo, en la realidad es necesario hacer correcciones a los datos teóricos obtenidos por estas ecuaciones, debido a que si existen velocidades en las direcciones x e y, a que la viscosidad se ve afectada por un gradiente de temperatura que no es constante, a los efectos de gravedad y en caso de compuestos, al tamaño de partícula, en general se pueden controlar los siguientes parámetros:

-Extrusores de doble husillo:

Los extrusores de doble husillo proporcionan un empuje mucho mayor y esfuerzo de cizalla mejor que el de un sólo husillo, aceleraciones de material mucho mayores, esfuerzos cortantes relativamente altos y mezclado intensivo. Para algunos materiales este proceso es demasiado agresivo, por lo cual resulta inadecuado, existe la creencia de que los concentrados de color se realizan en su mayoría en este tipo de extrusores, sin embargo, la mayoría de los pigmentos sufren degradación debida a las condiciones tan agresivas del proceso, por ello, la mayoría de los fabricantes de concentrados utilizan un cañón largo de un solo husillo.

Existen 2 tipos de doble husillo: los que engranan y los que no engranan, de los que engranan existen dos posibilidades, los corotativos y los contra-rotativos, según las direcciones en las que estos giran.

El flujo generado en un doble husillo que engrana y es contra rotativo genera un flujo en forma de C el cual tiene las características de un bombeo positivo, disminuyendo drásticamente la influencia de la viscosidad del material para su transporte y generando un bombeo muy eficiente. Las desventajas de este proceso es que los husillos son empujados por el material hacia las paredes del cañón, lo que evita el uso de altas velocidades; también existe el problema del mezclado ineficiente, mientras más rápido se transporta el material, menos eficiente es el mezclado.

En los husillos que si engranan y son corotativos, el flujo tiene mayor dependencia en la viscosidad del material, aunque mucho menor que en los extrusores de un solo husillo. En este tipo de arreglo los husillos no son empujados hacia la pared del cañón, por ello se permiten altas velocidades, además el material pasa de un husillo a otro logrando un flujo alternante que ayuda a una mezcla más homogénea

2.2.3.2.-El dado:



Figura 56: Dado de extrusión para polímeros.

El dado (traducción literal del inglés, cabezal y boquilla en español) en el proceso de extrusión es análogo al molde en el proceso de moldeo por inyección, a través del dado fluye el polímero fuera del cañón de extrusión y gracias a éste toma el perfil deseado. El dado se considera como un consumidor de presión, ya que al terminar el husillo la presión es máxima, mientras que a la salida del dado la presión es igual a la presión atmosférica.

La presión alta que experimenta el polímero antes del dado, ayuda a que el proceso sea estable y continuo, sin embargo, el complejo diseño de los dados es responsable de esta estabilidad en su mayor parte.

El perfil del dado suele ser diferente del perfil deseado en el producto final, esto debido a la memoria que presentan los polímeros, esfuerzos residuales y orientación del flujo resultado del arrastre por el husillo.

Existen dados para tubos, para láminas y perfiles de complicadas geometrías, cada uno tiene características de diseño especiales que le permite al polímero adquirir su forma final evitando los esfuerzos residuales en la medida de lo posible.

Los dados para extrudir polímeros consideran la principal diferencia entre materiales compuestos por macromoléculas y los de moléculas pequeñas, como metales. Los metales permiten ser procesados con esquinas y ángulos estrechos, en cambio los polímeros tienden a formar filos menos agudos debido a sus características moleculares, por ello es más eficiente el diseño de una geometría final con ángulos suaves o formas parabólicas e hiperbólicas.

2.2.3.3.-Orientación y cristalización:

Láminas o perfiles formados a la salida del dado comienzan a disminuir su temperatura inmediatamente, en ese momento puede ser que el extruido sea jalado, con esto se logra una mayor orientación longitudinal de las moléculas, que se ordenan en la dirección que es aplicada la fuerza de extensión.

A la salida del dado también comienza la cristalización, la cual puede ser controlada de acuerdo con la extensión y la tasa de enfriamiento.

La cristalización puede aumentar por extensión gracias a rodillos que tiran del material, esta fuerza causa que las moléculas se orienten en la dirección en que el material es forzado y esta orientación incrementa el grado de cristalización y por lo tanto el grado de resistencia del material. Esta técnica es utilizada típicamente en extrusión de láminas, películas y fleje.

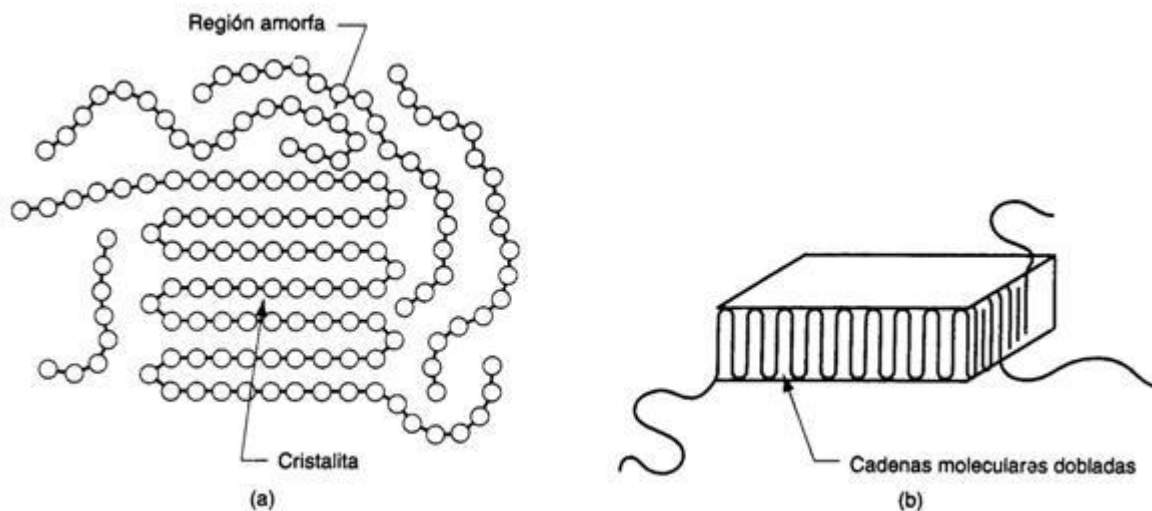


Figura 57: Cadenas moleculares.



Figura 58: Máquina de rodillos.

2.2.3.4.-Coextrusión de láminas y películas:

La coextrusión de láminas y películas es una de las aplicaciones más importantes de la extrusión de polímero, por medio de esta tecnología es posible extrudir una película con un color de fondo y otro de cara o como un sándwich en el cual un material se encuentra en la capa intermedia y otro u otros en las exteriores. Láminas multicapa han sido comercialmente utilizadas de entre 2 y 5 capas, aunque es posible utilizar más capas, las aplicaciones no han exigido este desarrollo con mayor amplitud.

La coextrusión de lámina puede llevarse a cabo por 2 técnicas,

- Dado para extrusión multicapa. Que permite 2 o hasta 3 capas de polímero, pero presenta baja eficiencia y poca estabilidad.
- flujos que se encuentran en el dado por medio de canales dosificadores. Por esta técnica es posible obtener diferentes capas con buena distribución y homogeneidad.

2.2.4.-VENTAJAS Y DESVENTAJAS:

2.2.4.1.-Principales problemas en la coextrusión de láminas:

- Efecto encapsulamiento:

Cuando se extruyen dos polímeros en forma de lámina o película de un grosor muy pequeño en comparación con el ancho de la misma, ocurre frecuentemente un problema de encapsulamiento debido a la diferencia en viscosidades de los materiales implicados, el material de mayor viscosidad tiende a fluir con menor rapidez que el de menor viscosidad y por ello este segundo material "encapsula al primero", en un caso práctico no es completamente encapsulado, sino que se obtiene una diferencia importante de calibres de los materiales en el centro con respecto a las orillas.

- Diferencias de calibre debido a problemas de ajuste del dado:

Los dados modernos tienen sistemas piezoeléctricos u otros sistemas mecánicos unidos a una computadora que analiza las diferencias de calibre en línea. Una lámina extruida es ajustada en el dado a un mismo calibre, sin embargo, el polímero tiende a presionar este dado y a permitir un mayor flujo de material en el centro con respecto a las orillas, esto debido al carácter visco elástico de las macromoléculas.

2.2.4.2.-Coloración en la extrusión:

La coloración de los perfiles en extrusión, láminas y películas tienen una problemática particular aunque similar a la coloración en moldeo por inyección, la belleza de la parte, la identificación y las funciones ópticas dependen de este proceso, básicamente existen tres formas de colorear un polímero en extrusión:

1. Utilizar plástico del color que se necesita (pre coloreados).
2. Utilizar un plástico de color natural y mezclarlo con pigmento en polvo o colorante líquido.
3. Utilizar un plástico de color natural y mezclarlo con concentrado de color.

La elección más barata y eficiente es el uso del concentrado de color (en inglés Masterbatch), el cual se diseña con características de Índice de fluidez y viscosidad acordes al polímero que se desea procesar, con los concentrados de color se pueden cambiar de un color a otro de manera rápida, sencilla y limpia. Los pigmentos en polvo presentan mayores problemas de coloración que los concentrados de color y estos más que los precoloreados, sin embargo los precoloreados son los más caros y presentan una historia térmica mayor. Los problemas de procesamiento más comunes con relación al color de una pieza son: líneas de color más o menos intenso, pigmento que se acumula en el dado, distribución no homogénea de pigmento, burbujas, puntos de aguja, disminución o aumento excesivo de la viscosidad, puntos negros, y piel de naranja.

Los colores pueden ser cualquier opaco y si el polímero es transparente, se permiten colores translúcidos. Es importante que el proveedor de los concentrados de color sea consciente de la aplicación final de la parte para utilizar pigmentos o colorantes que no migren a la superficie. En Polioleofinas no debe utilizarse colorantes porque migran, este error es muy común en la industria ya que son baratos, pero este ahorro merma la calidad de la parte y puede resultar en una reclamación por parte del cliente.

En coextrusión se pueden utilizar capas de pigmentos opacos en el medio y de translúcidos en los extremos, o también puede ser todo opaco o completamente translúcido. Es común utilizar en láminas una capa interna de material reciclado y en los extremos del material se controla el color final, esto ayuda a reducir costos manteniendo una apariencia adecuada. En aplicaciones de contacto con alimentos, algunos países permiten que los pigmentos de capas internas no sean aprobados para alimentos (mientras no sean metales pesados), siempre y cuando todos los materiales que tienen contacto con alimentos sean aprobados, una guía para decidir que pigmentos están aprobados o no es la de la FDA de los Estados Unidos.

Los colores pueden ser translúcidos, sólidos, pasteles, metálicos, perlados, fosforescentes, fluorescentes, etc. Sin embargo, polímeros como el ABS son más difíciles de colorear que el polietileno, por su alta temperatura de proceso y color amarillento

El experto en diseño de un color es una persona con una habilidad visual impresionante, sus ojos están entrenados para reconocer colores con diferencias mínimas, esto requiere una habilidad natural y experiencia, debe tomarse en cuenta también la teoría del color, los

pigmentos son substractivos y la luz es aditiva, además si como color objetivo se tiene una pieza de metal, vidrio, líquido, papel o polímero diferente al polímero final, es posible que bajo diferente luz sea igual o distinto el color final del objetivo, por ello debe decidirse cuál será la luz bajo la cual los colores deben ser observados. Para personas que no son expertas en identificación de color son muy útiles los colorímetros, aunque su grado de confianza no llegue al 100%.

2.3.-MOLDEO DE PLÁSTICOS POR SOPLADO:

El moldeo por soplado es un proceso utilizado para fabricar piezas de plástico huecas gracias a la expansión del material. Esto se consigue por medio de la presión que ejerce el aire en las paredes de la preforma, si se trata de inyección-soplado, o del párison, si hablamos de extrusión-soplado.

Este proceso se compone de varias fases, la primera es la obtención del material a soplar, después viene la fase de soplado que se realiza en el molde que tiene la geometría final, puede haber una fase intermedia entre las dos anteriores para calentar el material si fuera necesario, seguidamente se enfría la pieza y por último se expulsa. Para facilitar el enfriamiento de la pieza los moldes están provistos de un sistema de refrigeración así se incrementa el nivel productivo.

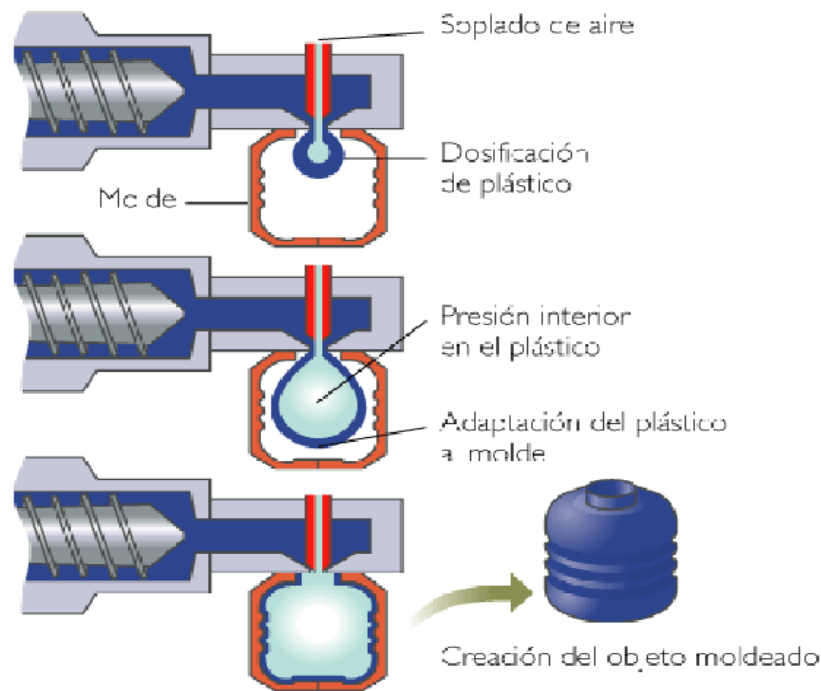


Figura 59: Esquema de la creación de un objeto a través del moldeo por soplado.

2.3.1.-ANTECEDENTES HISTÓRICOS:

Esta técnica se usó para crear un bote para las propinas en EE.UU en 1802. El proceso de moldeo por soplado nace de la combinación de técnicas de ingeniería de polímeros como el moldeo por inyección con el de técnicas de procesamiento de vidrio, particularmente el de la producción de botellas. La producción de botellas de vidrio requiere técnicas actualmente muy diferentes del moldeo por soplado, aunque en sus orígenes es similar.

2.3.2.- PROCESO:

2.3.2.1.-Moldeo por inyección-soplado:

El moldeo por inyección-soplado consiste en la obtención de una preforma del polímero a procesar, similar a un tubo de ensayo, la cual posteriormente se calienta y se introduce en el molde que alberga la geometría deseada, en ocasiones se hace un estiramiento de la preforma inyectada, después se inyecta aire, con lo que se consigue la expansión del material y la forma final de la pieza y por último se procede a su extracción. En muchas ocasiones es necesario

modificar el espesor de la preforma, ya sea para conseguir una pieza con diferentes espesores o para lograr un espesor uniforme en toda la pieza, pues en la fase de soplado no se deforman por igual todas las zonas del material. La ventaja de usar preformas consiste en que estas se pueden inyectar y almacenar, producir diferentes colores y tamaños, los cuales pueden hacerse en lugares distintos a donde se realizará el soplado. Las preformas son estables y pueden ser sopladas a velocidad alta según la demanda requerida.

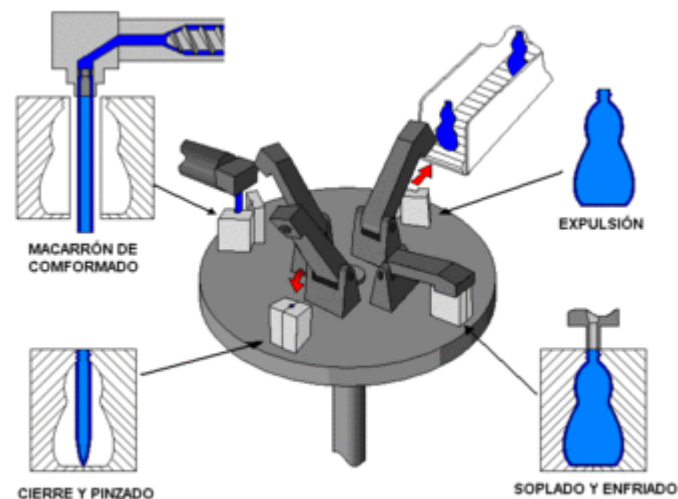


Figura 60: Esquema de la creación de un objeto a través del moldeo por soplado.

2.3.2.2.- Moldeo por extrusión-soplado:

El moldeo por extrusión-soplado es un proceso de soplado en el que la preforma es una manga tubular, conformada por extrusión, llamada párison, el cual se cierra por la parte inferior de forma hermética debido al pinzamiento que ejercen las partes del molde al cerrarse, posteriormente se sopla, se deja enfriar y se expulsa la pieza. Con este proceso se pueden obtener contenedores de hasta 10.000 litros de capacidad sin embargo no se consiguen tolerancias demasiado estrechas. Se puede controlar el espesor del tubo extruido si se requiere con un equipo auxiliar de boquilla variable. También se puede realizar la extrusión de forma discontinua para determinadas formas de trabajo, para ello se utiliza un equipo auxiliar denominado acumulador que dosifica la carga de polímero en una cámara (véase EQUIPOS Y UTILLAJE).

<http://www.youtube.com/watch?v=H7I-br5M2mw>

2.3.2.3.- Moldeo por coextrusión-soplado:

Mediante esta técnica de soplado se consigue productos multicapa. Esto puede interesar por diversas cuestiones como son; incluir diferentes características de permeabilidad, disminuir el costo de los materiales, al poder utilizarse materiales reciclados o de menor calidad, combinar características ópticas de los polímeros o crear efectos de colores iridiscentes. El párison extruido incluye todas las capas necesarias que en forma de tubo ingresan al molde, en la misma forma que el párison de monocapa. Además el control de espesor del párison se puede llevar a cabo al igual que en el proceso de extrusión-soplado.

2.3.3.-DIFERENTES LÍNEAS DE TRABAJO:

Los procesos de soplado suelen realizarse de forma continua utilizándose el sistema de carrusel vertical u horizontal, tanto en extrusión como en inyección-soplado. Pero gracias a la sencillez del proceso de extrusión-soplado, se han diversificado en gran medida las formas de trabajo y se pueden clasificar en; procesos de macarrón ribeteado, en los que la extrusión no es continua, procesos de macarrón continuo y el proceso de aire atrapado, el cual tiene como peculiaridad la fabricación de piezas huecas y cerradas al estrangularse la boquilla de la pieza tras el soplado.

2.3.4.-MATERIALES A LOS QUE SE APLICA:

Los materiales empleados para el proceso de soplado pertenecen a la familia de los termoplásticos. Esto se debe a que se necesita que el material tenga un comportamiento viscoso y se pueda deformar cuando tenga una temperatura determinada, pues de otra forma la presión ejercida por el aire inyectado no podría expandir el material por la cavidad del molde. Los principales termoplásticos utilizados dependen de la técnica empleada, para

extrusión-soplado son; PEBD, PEAD, PVC-U, PS, PP, PA y ABS. Los utilizados en la técnica de inyección soplado son; todos los empleados en extrusión-soplado y además el PE cristal y PET.



Figura 61: Ejemplos de materiales empleados en la fabricación por soplado.

2.3.5.-GEOMETRÍAS OBTENIDAS EN LAS PIEZAS:

Las piezas obtenidas por este proceso son piezas huecas que no tienen un espesor constante debido a que la deformación del material no es igual en todas las zonas de la pieza. Además suelen ser piezas abiertas puesto que es necesaria una entrada para el aire (excepto en la técnica de “aire atrapado”). Por lo general las tolerancias obtenidas no suelen ser muy estrechas aunque son algo mejores si se utiliza la técnica de inyección-soplado aunque esto no suele ser un problema en la gran mayoría de las piezas. Además pueden fabricarse piezas de gran complejidad, debido a la ausencia de machos, que serían muy costosas de obtener por otro método.



Figura 62: Ejemplos de productos fabricados por moldeo por soplado.

2.3.6.-EQUIPOS Y UTILLAJE:

Los equipos que se utilizan en el proceso dependen de la técnica empleada. Si se trata de inyección-soplado se necesitará como mínimo; una inyectora, encargada de realizar la preforma inicial, un equipo calefactor para incrementar la temperatura de la preforma y llevar el material así a un estado plástico para poder deformarlo y por ultimo un equipo de soplado que se utilizará para inyectar el aire a presión. Si se trata de extrusión-soplado entonces se necesitará una extrusora, para la obtención del macarrón y un equipo de soplado para la inyección del aire, si el proceso lo requiere se añadirá un equipo calefactor. Además esta técnica requiere en algunas ocasiones un equipo auxiliar, el cual puede estar formado por un acumulador y/o una boquilla de orificio variable. El equipo acumulador está compuesto por una cavidad, encargada de almacenar la dosis requerida y un pistón cuyo objetivo es empujar el plástico fundido hacia el cabezal de la boquilla. Por otra parte la boquilla de orificio variable se utiliza para programar una extrusión con diferentes espesores.



Figura 63: Máquina de moldeo por soplado.

2.3.7.-ASPECTOS ECÓNÓMICOS Y PRODUCTIVOS:

El proceso de moldeo por soplado tiene una productividad muy alta es de los procesos para plásticos más productivos que existen y en la actualidad está muy extendido. Esto se debe a que los tiempos de fabricación son realmente bajos, pues generalmente de todo el ciclo del proceso sólo el enfriamiento supone 2/3 de este y además, el enfriamiento no suele ser muy elevado, pues los espesores generalmente son muy delgados y la pieza enfría rápidamente. Si nos fijamos en lo que supone económicamente el proceso de soplado es un proceso rápidamente amortizable debido a que generalmente se dirige a la fabricación de grandes lotes. Teniendo en cuenta que aproximadamente un 40% del total del plástico se emplea para envase y embalaje y que dentro de ello solamente en botellas se emplea el 30% aproximadamente, podemos concluir con que el proceso de soplado constituye más del 12% del plástico total, lo que se traduce en el consumo de más de 300.000 toneladas anuales sólo en España.

2.3.8.-APLICACIONES ABITUALES:

Este proceso se utiliza habitualmente para envases y contenedores, como botellas, garrafas sin asa, garrafas con asa hueca, bidones, etc. También pueden fabricarse piezas relativamente grandes, como toboganes o tanques de grandes dimensiones, sin embargo si el número de piezas no es muy elevado empieza a ser recomendable el moldeo rotacional, pues la inversión a realizar es bastante menor.

2.4.-MOLDEO DE PLÁSTICOS POR COMPRESIÓN:

El moldeo por compresión es uno de los procesos de transformación de plásticos más antiguo que existe aparece descrito en bibliografía de principio del siglo XIX, aunque no comenzó a desarrollarse a escala industrial hasta 1908, cuando Leo Baeckeland desarrollo las resinas fenol-formaldehido, que siguen empleándose aún hoy en día.

El moldeo por compresión es un método de moldeo en el que el material de moldeo, en general precalentado, es colocado en la cavidad del molde abierto. El molde se cierra, se aplica calor y presión para forzar al material a entrar en contacto con todas las áreas del molde, mientras que el calor y la presión se mantiene hasta que el material de moldeo se ha curado. El proceso se emplea en resinas termoestables en un estado parcialmente curado, ya sea en forma de pellets, masilla, o preformas. El moldeo por compresión es un método de alta presión, adecuado para el moldeo de piezas complejas, de alta resistencia con refuerzos de fibra de vidrio. Los compuestos termoplásticos, aunque en menor medida, también pueden ser moldeados por compresión con refuerzos de cintas unidireccionales, tejidos, fibras orientadas al azar o de hilos cortados. La ventaja de moldeo por compresión es su capacidad para moldear piezas grandes, bastante intrincadas o complejas. Además, es uno de los métodos de más bajo costo en comparación con el moldeo por otros métodos tales como moldeo por transferencia y moldeo por inyección, por otra parte se desperdicia poco material, dándole una ventaja cuando se trabaja con compuestos caros. Sin embargo, el moldeo por compresión a menudo proporciona productos de pobre consistencia y dificultad en el acabado, y no es adecuado para algunos tipos de piezas. En este proceso se produce una menor degradación de la longitud de la fibra en comparación con el moldeo por inyección. Materiales que normalmente se fabrican mediante moldeo por compresión incluyen: sistemas de resina poliéster con fibra de vidrio, (SMC / BMC), Torlon (Poliamida-imida: PAI), Vespel (Poliamida: PA), Polifenileno sulfuro (PPS), y muchos grados de PEEK.

Moldeo por compresión tiene un alto desarrollo en la fabricación de piezas de materiales compuestos para aplicaciones de reemplazo de metales, se utiliza normalmente para hacer piezas más grandes planas o de forma levemente curvas. Este método de moldeo es muy utilizado en la fabricación de piezas de automóviles, tales como cubiertas, defensas, cucharones, spoilers, así como pequeñas piezas más complejas. El material a ser moldeado se

coloca en la cavidad del molde y los platos calientes son cerrados por un pistón hidráulico. El moldeo de compuestos a granel (BMC) y el moldeo de lámina compuesta (SMC) utilizan este método de moldeo, estos compuestos son conformados a la forma del molde por la presión aplicada y se calienta hasta que se produce la reacción de curado. El material para el SMC por lo general se corta para ajustarse a la superficie del molde. El molde se enfría y se retira la pieza. Los materiales pueden ser cargados en el molde, ya sea en forma de pellets o lámina, o el molde se puede cargar desde una extrusora de plastificación. Los materiales se calientan por encima de su punto de fusión, se forman y se enfrían. El material de alimentación se distribuye en forma uniforme en la superficie del molde, la orientación del flujo se produce durante la fase de compresión.

En el moldeo por compresión que hay seis factores importantes que se debe tener en cuenta

- Determinar la cantidad adecuada de material.
- Determinar la cantidad mínima de energía necesaria para calentar el material.
- Determinar el tiempo mínimo necesario para calentar el material.
- Determinar la técnica de calefacción adecuada.
- Predecir la 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.

Matrices termoplásticas son comunes en las industrias de producción masiva, por ejemplo las aplicaciones en automoción, donde las principales tecnologías son termoplásticos reforzados con fibra larga (LFT) y termoplásticos reforzados con fibra "Glass Mat" (GMT).

2.4.1.-DEFINICIÓN DEL PROCESO:

El moldeo por compresión es un proceso de conformación en que se coloca un material plástico directamente en un molde de metal se calienta y luego se ablanda por el calor, y obligado a conformarse con la forma del molde en el molde cerrado.

2.4.2.-CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO:

El uso de compuestos de plástico termoestable caracteriza a este proceso de moldeo de muchos otros procesos de moldeo. Estos termoestables pueden ser ya sea en forma de pellets

o de preformas. A diferencia de algunos de los otros procesos nos encontramos con que los materiales suelen ser precalentado y se cuantifican antes del moldeo. Esto ayuda a reducir el exceso de rebabas. Insertos, generalmente metálico, también puede ser moldeados con el plástico. Se evitan retenciones en la forma del molde, que generan que la eyección sea especialmente difícil. Se ha vuelto una práctica común precalentar la carga antes de colocarla en el molde; esto suaviza el polímero y acorta la duración del ciclo de producción. Los métodos de precalentamiento incluyen calentadores infrarrojos, calentamiento por convección en estufa y el uso de tornillos giratorios dentro de un cilindro calentado. Esta última técnica (tomada del moldeo por inyección) se usa también para medir la cantidad de la carga.

2.4.3.-ESQUEMA DEL PROCESO:

El moldeo por compresión se inicia, con una cantidad determinada de colocada o introducida en un molde. Luego el material se calienta a un estado maleable y moldeado. Poco después, la prensa hidráulica comprime el plástico flexible contra el molde, dando como resultado una pieza perfectamente moldeada que mantiene la forma de la superficie interior del molde. Después la prensa hidráulica retrocede, un pin eyector en el fondo del molde rápidamente expulsa la pieza final fuera del molde y entonces, el proceso concluye.

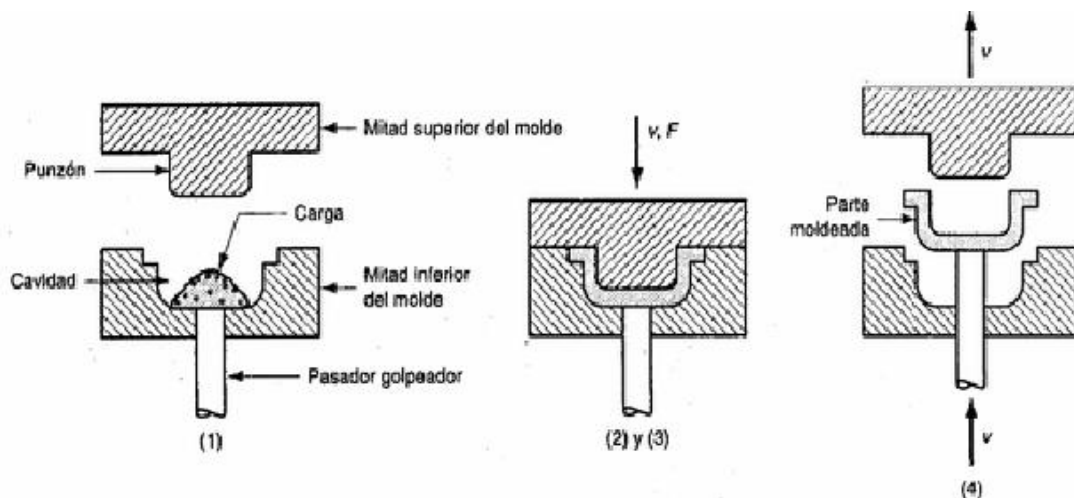


Figura 64: Esquema de proceso, moldeo por compresión.

2.4.4.-PRENSA:

Las prensas de moldeo por compresión están orientadas verticalmente y contienen dos placas a las cuales se sujetan las mitades del molde. El proceso involucra dos tipos de actuación: 1) carrera ascendente de la placa del fondo o 2) carrera descendente de la placa superior, pero esta última es la configuración más común. Un cilindro hidráulico acciona generalmente las placas, el cual puede diseñarse para suministrar fuerzas de sujeción de hasta varios cientos de toneladas. Las prensas de compresión del molde se fabrican en una amplia variedad de tamaños. La mayoría de las prensas utilizan un cilindro hidráulico con el fin de producir la suficiente fuerza durante la operación de moldeo. Las prensas pueden generar presiones que van desde 300 a 4.000 toneladas. La resina es aditivada con la preforma, (en el caso de SMC y BMC ya contienen todos los componentes, incluida la fibra, resina, cargas, catalizador etc.). El calor y la presión se aplican, con rangos de temperatura de 225°F a 325°F (107°C a 163°C) y 150 a 1.000 psi de presión, necesarios para curar las piezas. Los ciclos pueden variar desde menos de uno minuto a cinco minutos. Las maquinaria constan de un molde “émbolo” macho y un molde hembra y espigas guías que aseguran el encastre perfecto entre ambos.



Figura 65: Prensa hidráulica.

2.4.5.-MOLDES:

Los moldes para este proceso son generalmente más simples que los de su contraparte, el moldeo por inyección. No hay vertederos o sistemas de alimentación en un molde por compresión y se procesan partes de formas más simples debido a que los materiales termofijos poseen una capacidad de flujo más baja. Sin embargo, se necesitan accesorios para calentar el molde que puede hacerse mediante resistencia eléctrica, vapor o circulación de aceite caliente. Los moldes de compresión pueden clasificarse en *moldes manuales* usados para corridas de ensayo; *semiautomáticos*, en los cuales a la etapa de prensado le sigue un ciclo programado, pero el operador carga y descarga manualmente la prensa; y automático el cual opera bajo ciclos de prensado completamente automático (incluyendo la carga y la descarga automática).

2.4.6.-MATERIAS PRIMAS:

Las resinas termoestables típicas utilizadas en las piezas moldeadas por compresión son poliésteres, poliuretanos, resinas urea-formaldehído, ésteres de vinilo, resinas epoxi y resinas fenólicas. Los elastómeros (ejemplo: cauchos y siliconas) también suelen ser moldeados por compresión. Como se ha hecho mención anteriormente algunos termoplásticos también pueden ser moldeados por compresión, pero por cuestiones de tiempo de ciclo, por lo general se utiliza el moldeo por inyección en estos últimos, salvo el caso de termoplásticos de difícil procesamiento o bajas cantidades o piezas técnicas.

Las materias primas utilizadas pueden estar en forma de pellets, polvo, líquido, preformas sólidas o en estado semisólido.

2.4.7.-PIEZAS PRODUCIDAS POR COMPRESIÓN:

Este proceso se utiliza comúnmente para la fabricación de componentes eléctricos, vajilla, y engranajes. Este proceso también se usa para producir botones, hebillas, perillas o manijas, carcasas de aparatos eléctricos y grandes contenedores. Los discos fonográficos de PVC se producían por este método.

2.4.8.-PRINCIPALES APLICACIONES:

- Materiales termoplásticos y elastómeros, para piezas de pequeñas dimensiones.
- Compuestos reforzados con fibras de vidrio (a partir de resinas epoxi, de poliéster, etc.):
 - BMC (bulk molding compounds): reforzados con fibras de 3-12mm. Ejemplo: cuerpo de taladro eléctrico.
 - SMC (sheet molding compounds): se sitúan en el molde alternativamente capas de fibras de aproximadamente 25mm y capas de mezcla de resina y otros componentes. Preferentemente utilizado para piezas de gran superficie y pequeño espesor. Ejemplo: paneles para vehículos.
 - TMC (thick molding compounds): combinación en capas de BMC y SMC, para placas de gran espesor.
- (Modificación de la técnica) Estampado de chapas y preformas de termoplásticos (thermoplastics sheet stamping), reforzados con fibras textiles o de vidrio.
- Ya no utilizada para termoplásticos o utilizado en menor medida (ejemplo: era el método para la producción de discos LP).

2.4.9.-VENTAJAS:

- Fluido en pequeñas distancias: menores tensiones internas.
- Bajo costo de mantenimiento y de fabricación de moldes.
- Diseño sencillo de moldes, al no haber entrada y canales.
- Permite moldeo de piezas complejas
- Buen acabado superficial (en general)
- Desechos de materiales relativamente bajo

2.4.10.-DESVENTAJAS:

- El molde debe mantenerse a temperatura no excesiva, para que las paredes no curen mucho más rápido que el interior. Por tanto, tiempos largos de curado.

- No es aconsejable para este método en caso de empleo de moldes de formas complejas.

2.5.-MOLDEO DE PLÁSTICO POR TRANSFERENCIA:

El moldeo por transferencia es un desarrollo a partir del moldeo por compresión en el que el compuesto de moldeo se introduce en una cavidad dentro del molde, de modo que al cerrar el molde el compuesto se transfiere hasta las diferentes cavidades de moldeo a través de una serie de canales. En la figura siguiente se muestra un esquema de este proceso.

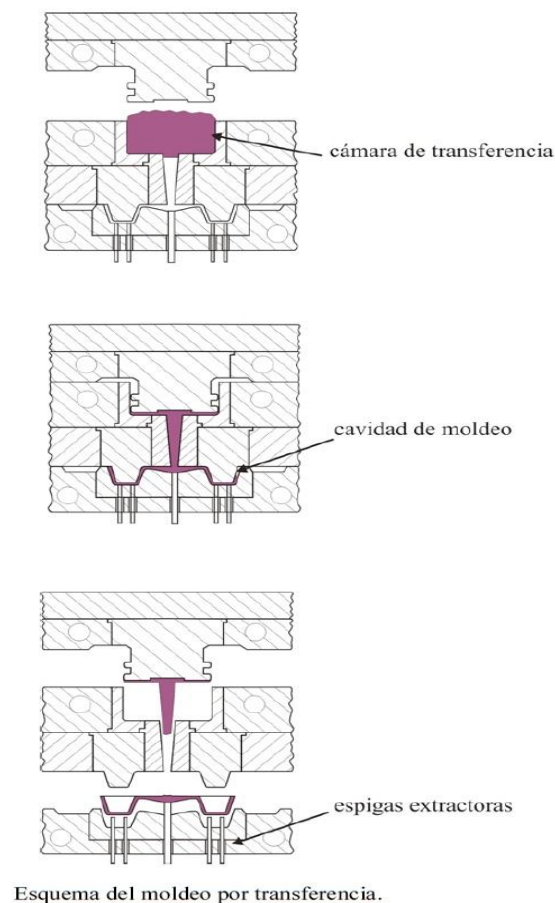


Figura 66: Esquema del moldeo por transferencia.

El proceso de transferencia es, por lo tanto, un proceso intermedio entre la inyección y la compresión y presenta una serie de ventajas y desventajas respecto a estos. El moldeo por transferencia está indicado en el caso de que se deseen moldear muchas cavidades o cuando el llenado del molde con el material de moldeo resulte problemático (moldes muy planos, con inserciones metálicas, cuando se emplea polvo de moldeo de densidad aparente muy baja, etc.). El ciclo en moldeo por transferencia suele ser algo más corto debido a la mejor transferencia de calor cuando el material circula por los canales. En contrapartida el moldeo por transferencia presenta una serie de desventajas frente al moldeo por compresión: el flujo del material a través del molde es más complejo, por lo que puede darse cierto grado de orientación; los moldes sufren más abrasión de modo que el mantenimiento es más costoso; los equipos son más complejos y más caros; y por último el material que queda en los canales tras el proceso es material de desecho, que no se puede reutilizar (nota: en la industria por lo general este material puede ser utilizado en bajas proporciones, reducido a polvo, como relleno en este u otros procesos de termoestables para reducir costos, pero reduciendo las propiedades técnicas de las piezas obtenidas).

2.5.1.-DESCRIPCION DEL PROCESO:

Una cantidad cuantificada de un termofijo (preformado), por lo general precalentado, se carga en una cámara inmediata a la cavidad del molde (cámara de transferencia), donde se calienta; se aplica entonces presión mediante un pistón hidráulico para forzar al polímero a fluir, a través de un canal llamado bebedero, dentro del molde caliente. Si bien dependerá de la resina utilizada y el tamaño de la pieza, el cilindro de transferencia empuja el plástico termoestable a través de los canales de alimentación hacia las piezas con una fuerza de 5.5 – 6.9 MPa y un tiempo de entre 3 - 8 segundos. El molde se mantiene cerrado y calefaccionado hasta que el material del interior se cura. Una vez curado el material, el molde se abre y los pines o pernos eyectores expulsan la pieza terminada.

Las dos variantes de este proceso se ilustran a continuación:

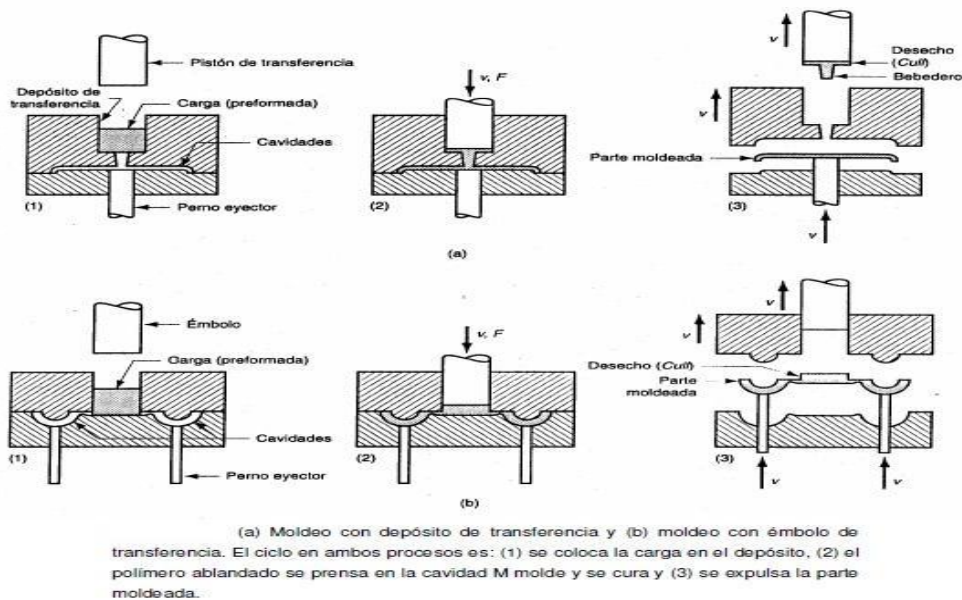


Figura 67: Ejemplo de moldeo por transferencia.

Moldeo con recipiente o cámara de transferencia, en el cual la carga se inyecta de un recipiente a través de un canal vertical en la cavidad; y (b) moldeo con émbolo de transferencia, en el cual se inyecta la carga en la cavidad del molde por medio de un émbolo desde un depósito que se calienta a través de los canales laterales. En ambos casos se produce material de desperdicio en cada ciclo por la pieza desechada que se queda en la base del depósito y en los canales laterales. Además, el vertedero del recipiente de transferencia es también material de desecho. Este desecho no puede recuperarse debido a que los polímeros son termofijos.

El moldeo por transferencia está relacionado estrechamente con el moldeo por compresión, debido a que utiliza el mismo tipo de polímeros (termofijos y elastómeros). Existen similitudes con el moldeo por inyección, ya que la carga se precalienta en una cámara separada, y luego se inyecta en el molde. En el moldeo por transferencia se pueden moldear formas de partes más intrincadas que en el moldeo por compresión pero no tan intrincadas como las del moldeo por inyección. El moldeo por transferencia también se presta para usar insertos de metal o de cerámica que se colocan en la cavidad antes de la inyección, el plástico calentado se adhiere al inserto durante el moldeo.

Las piezas moldeadas por transferencia tienen menos flash (el exceso de material que se ejecuta a lo largo de la línea de separación del molde) que sus homólogos de moldeo por

compresión debido a que el molde se mantiene cerrado cuando el plástico entra en la cavidad del molde. Sin embargo, moldeo por transferencia aún produce más materiales de desecho de moldeo por compresión a causa de la colada, los agujeros de aire, y los surcos de desbordamiento que a menudo son necesarios para permitir que escape el aire y el material excedente se desborde.

2.5.2.-CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO:

Como se mencionó anteriormente, una de las principales ventajas del moldeo por transferencia sobre el moldeo por compresión es que las diferentes inserciones, tales como piezas de metal, chips semiconductores, compuestos de fibras secas y cerámicas se pueden utilizar (colocados en la cavidad del molde antes de que el polímero se inyecte). Cuando el polímero se calienta y transfiere llena el molde y forma la unión con la superficie de inserción. Esta capacidad hace que el proceso de moldeo por transferencia sea líder en la fabricación de circuitos integrados y componentes electrónicos con terminales moldeados, clavos, pernos, conectores, etc.

En la industria de los composites, los compuestos reforzados con fibra son a menudo fabricados por un proceso llamada moldeo por transferencia de resina (RTM). Capas de preformas textiles (fibras largas tejidas o siguiendo patrones organizados) están pre-dispuestos en el molde. La resina, entonces, se inyecta para impregnar la fibra. Se utiliza a menudo vacío para evitar burbujas de aire y ayudar a la resina a entrar en la cavidad del molde. La resina que se utiliza tiene que ser relativamente baja viscosidad.

2.5.3.-COMPARATIVA DE VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE ESTE TIPO DE MOLDEO CON EL MOLDEO POR INYECCIÓN Y EL MOLDEO POR COMPRESIÓN.

2.5.3.1.-Ventajas:

- Producto con mejor consistencia que el modelo por compresión, lo que permite una más estricta tolerancia y piezas más intrincadas.
- Producción superior a la velocidad de moldeo por compresión.
- Tiempo de preparación rápida y costos de instalación menores que el moldeo por inyección.

- Menores costos de mantenimiento que el moldeo por inyección.
- Ideal para piezas de plástico con inserciones de metal.

2.5.3.1.-Desventajas:

- Mayor material de residuo que el moldeo por compresión.
- La velocidad de producción es más baja que el moldeo por inyección.
- La complejidad de las piezas obtenidas es inferior que el moldeo por inyección.
- Costos mayores en maquinaria y tecnología que el moldeo por compresión.

2.5.4.-MATERIALES PROCESADOS POR MOLDEO POR TRANSFERENCIA:

A pesar de moldeo por transferencia también puede ser utilizado para los termoplásticos, la mayoría de los materiales utilizados en este proceso son termoestables, los más comunes son:

- Resinas epoxi.
- Resinas poliéster insaturadas.
- Resinas de viniléster.
- Resinas Fenol-formaldehído.
- Elastómeros (Caucho natural, Caucho de silicona, caucho SBR, etc.).

Si la resina moldeada utilizada es un termoplástico, el molde se puede abrir en estado caliente.

Los termoestables curados mantienen su forma y dimensiones, incluso en estado caliente.

Si se trata del moldeo de un termoplástico, el molde y la pieza moldeada se enfrían antes de ser abierto.

2.5.5.-PIEZAS OBTENIDAS:

Algunos productos comunes obtenidos por moldeo por transferencia son mangos utensilios, botones o teclas, piezas de aparato eléctrico, componentes electrónicos y conectores.

El moldeo por transferencia es ampliamente utilizado para encerrar o encapsular elementos tales como bobinas, circuitos integrados, clavijas, conectores y otros componentes.

2.6.-MOLDEO DE PLÁSTICOS POR TERMOCONFORMADO:

El termoconformado o termoformado es un proceso consistente en calentar una plancha o lámina de semielaborado termoplástico, de forma que al reblandecerse puede adaptarse a la forma de un molde por acción de presión vacío o mediante un contramolde.

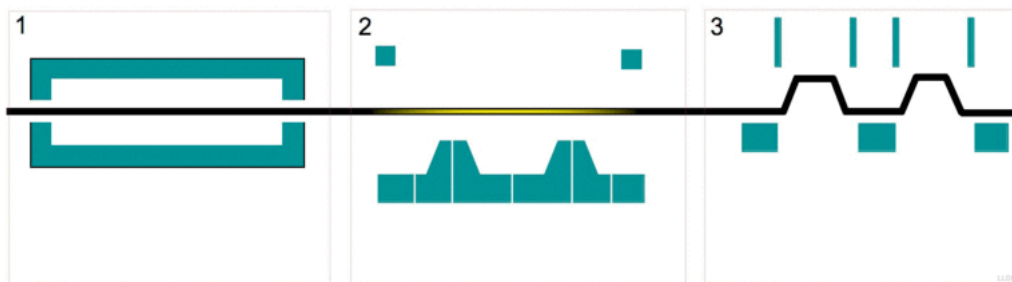


Figura 68: Esquema de moldeo por termoformado.

2.6.1.- DESCRIPCION:

El termoformado es un proceso que consiste en dar forma a una lámina plástica por medio de calor (120 °C a 180 °C) y vacío (600 a 760 mmHg) utilizando un molde o matriz (madera, resina epóxica o aluminio). Un exceso de temperatura puede "fundir" la lámina y la falta de calor o una mala calidad de vacío incurrirá en una pieza defectuosa y sin detalles definidos.

A diferencia de otros procesos como la inyección, el soplado y el rotomoldeado, el termoformado parte de una lámina rígida de espesor uniforme realizada por el proceso de extrusión, y permite realizar pequeñas producciones por su bajo costo en matricería llegando a ser rentable en altas producciones también.

Los materiales más utilizados son PAI, PP, PSI, PET, ABS, PEAD, PVC.² También se puede termoformar PVC espumado, policarbonato, acrílico, etc. Los espesores más comunes van de 0,2 mm (envases descartables) a 6 mm o más (carcasas para maquinaria).¹

Una restricción característica de este proceso es que la pieza a termoformar debe ser fácilmente "desmoldable" esto significa que la matriz debe ser más ancha en la base y más angosta en la parte superior. Esto comúnmente se denomina ángulo de desmolde o de salida y generalmente es de 5 grados como mínimo.

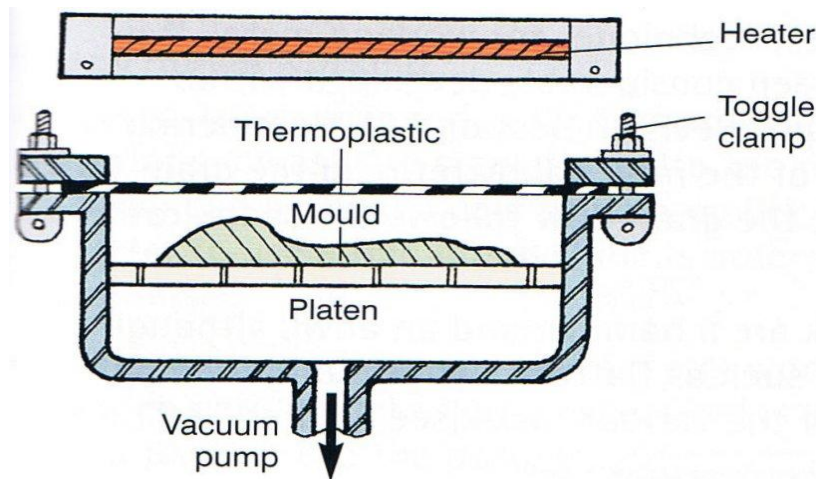


Figura 69: Esquema del proceso de termoformado por vacío.

2.6.1.1.-Etapas:

Aunque el proceso tiene numerosas variantes piernas que serán descritas posteriormente, cabe distinguir tres etapas fundamentales del proceso, que son:

- Calentamiento del semielaborado, ya sea por radiación, contacto o convección.
- Moldeo del semielaborado, que tras calentarse se estira adaptándose al molde por medio de diferentes procesos (presión, vacío , presión y vacío o un contramolde).
- Enfriamiento del producto, que comienza cuando el termoplástico entra en contacto con el molde frío y termina cuando la temperatura es la adecuada para desmoldear pierna sin deformar la pieza.

2.6.1.1.-Parámetros:

Además en esta técnica de transformación de plástico deben tenerse siempre en cuenta una serie de parámetros, que son:

- Temperatura de conformado, que depende sobre todo del material a transformar, aunque también de la complejidad y el espesor de la pieza.
- Tiempo de calentamiento, que depende sobre todo del espesor del material, aunque también del coeficiente de transmisión del mismo. Este es de gran importancia, y ha

de ser suficiente para que la lámina alcance uniformemente en superficie y espesor la temperatura de conformado.

- Tiempo de enfriamiento, que depende de los mismos factores que el tiempo de calentamiento, y ha de ser suficiente para que el elaborado final sea resistente y no se deforme al desmoldear.
- Presión o vacío, depende sobre todo del espesor de la lámina aunque también de la complejidad de la pieza. Debe controlarse, ya que si es insuficiente no se obtendrán todos los detalles y si es excesiva se pueden producir agujeros o marcas.

2.6.2.- VARIANTES DEL PROCESO:

2.6.2.1.- Termoconformado al vacío directo:

Es uno de los procesos más extendidos, debido a que es enormemente versátil y más económico que otros procesos por presión o mecánicos. Consiste en sujetar el semielaborado en una estructura y calentarlo hasta llegar al estado gomoeástico para colocarlo sobre la cavidad del molde y que se adapte a su geometría. Se elimina el aire mediante presión conseguida por vacío (10 KPa), que empuja la lámina contra las paredes y contornos del molde. Una vez que ha enfriado, se extrae la pieza. El equipo y las matrices son relativamente baratos, y se limita a diseños sencillos superficiales.

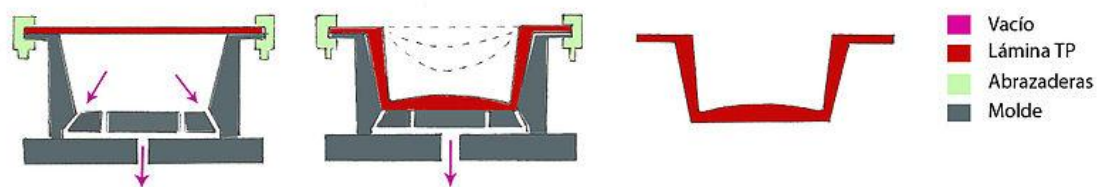


Figura 70: Fases del proceso de moldeo al vacío directo.

2.6.2.2.- Conformado con macho:

También denominado conformado mecánico. Es similar al proceso anterior con la diferencia de que una vez colocada la lámina en la estructura y calentada, se estira mecánicamente sobre un

molde macho y se aplica el vacío mediante diferencia de presión, lo que empuja al plástico sobre las superficies del molde. Se pueden conformar objetos que tengan una relación profundidad-diámetro cercana a 4:1. Los moldes macho se pueden obtener fácilmente y por regla general su coste es menor que el de los moldes hembra, aunque también son más propensos al deterioro y requieren más espacio.

2.6.2.3.- Conformado por molde coincidente:

Consiste en sujetar la lámina a una estructura y calentarla para conformarla entre troqueles macho y hembra. Permite fabricar piezas muy exactas con tolerancias mínimas, consiguiendo además gran precisión en las dimensiones y detalles (deben protegerse los troqueles ya que cualquier defecto se reproduciría en la pieza). El ciclo suele durar entre 10 y 20 segundos.

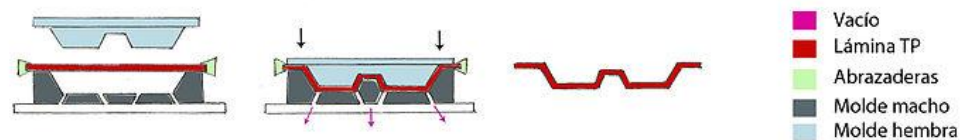


Figura 71: Fases del proceso de conformado por molde coincidente.

2.6.2.4.- Conformado al vacío con núcleo de ayuda y burbuja de presión:

Es el proceso más utilizado para termoconformar geometrías muy profundas, ya que la burbuja de presión y el núcleo de ayuda hace posible controlar el grosor del objeto formado, que puede ser uniforme o variable. El proceso consiste en fijar la lámina y calentarla de forma que a continuación se crea una burbuja mediante presión controlada del aire, que estira el material hasta una altura determinada y controlada normalmente por una célula fotoeléctrica. A continuación el núcleo de ayuda (que normalmente se calienta para evitar el enfriamiento prematuro) desciende y estira el material lo más cercana posible de su forma definitiva. La penetración de la clavija deberá avanzar hasta un 70 o 80% de la profundidad de la cavidad. Finalmente se aplica presión de aire desde el lado de la clavija al mismo tiempo que se forma vacío sobre la cavidad de forma que se completa la conformación de la lámina.

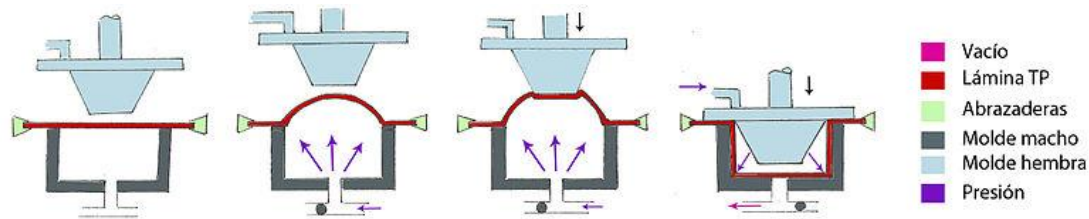


Figura 72: Fases del proceso de termoconformado con núcleo y burbuja de presión.

2.6.2.5.- Conformado al vacío con núcleo de ayuda:

Proceso utilizado para evitar el adelgazamiento de las aristas y esquinas en productos con forma de vaso o caja, ya que permite extender y estirar mecánicamente el material plástico hasta la cavidad del molde. La clavija suele precalentarse y normalmente es un 10-20% menor que la cavidad. Una vez que se ha introducido se extrae el aire del molde completando así la formación de la pieza mediante vacío.

2.6.2.6.- Conformado a presión con ayuda de núcleo:

Es muy similar al proceso anterior con la diferencia de que se aplica presión de aire para que fuerce a la lámina de plástico a adaptarse a las paredes del molde.

2.6.2.7.- Conformado a presión en fase sólida:

Este proceso es muy similar al conformado con ayuda de núcleo, sin embargo el material de partida es una pieza plana sólida que generalmente consiste en polvos sintéticos moldeados por compresión o extrusión, que se calientan por debajo de su punto de fusión y se comprimen hasta alcanzar la forma de una lámina de espesor deseado. El material caliente se estira mediante una clavija y la presión de aire fuerza el material contra las paredes del molde. El proceso permite orientar las moléculas de material mejorando la firmeza, tenacidad y la resistencia al agrietamiento.

2.6.2.8.- Conformado en relieve profundo al vacío:

Consiste en colocar una lámina de plástico caliente sobre una caja y hacer vacío, lo que crea una burbuja hacia el interior de la caja. Posteriormente se baja el molde macho y se libera el vacío de la caja y se hace sobre el molde macho de forma que el plástico se adapta a las paredes del molde. Es posible obtener piezas complejas con entrantes y salientes.

2.6.2.9.- Conformado por presión térmica de contacto de lámina atrapada:

Es un proceso muy similar al conformado al directo con la excepción de que se puede usar tanto presión como vacío para adaptar el material a las paredes del molde.

2.6.2.10.- Conformado con colchón de aire:

Similar al conformado en relieve pero con la creación previa de una burbuja por estirado del material.

2.6.2.11.- Conformado libre:

Consiste en soplar una lámina de plástico caliente sobre la silueta de un molde hembra empleando presiones hasta 2,7 MPa.

2.6.2.12.- Conformado mecánico:

Es un proceso en el que no se utilizan presión de aire ni vacío para conformar la pieza. La técnica es similar al moldeo coincidente, aunque no se emplean moldes macho y hembra acoplados, si no fuerzas mecánica de doblado, estirado o sujeción de la lámina caliente. Suelen emplearse plantillas de madera para obtener la forma deseada y hornos, calentadores de cinta y pistolas térmicas como fuentes de calor. Generalmente se calienta un material plano y se enrolla alrededor de cilindros, se dobla en ángulos ó se conforman mecánicamente tubos, varillas y otros perfiles. Este proceso tiene una variante llamada conformado de anillo y núcleo, que consiste en una forma de molde macho y contramolde hembra con forma similar

entre los que se introduce el plástico caliente, adaptándose a su forma al enfriar. Tampoco utiliza vacío ni presión de aire.

2.6.3.- MATERIALES A LOS QUE SE PUEDE APLICAR:

Los materiales utilizados son siempre termoplásticos con bajo calor específico, es decir, de rápido enfriamiento y calentamiento, y que además cuenten con buena transmisión de calor (alta conductividad térmica). Estas características son de gran importancia, ya que permiten una importante reducción del ciclo de producción de cada pieza al disminuir el tiempo de calentamiento y enfriamiento del material.

Los termoplásticos más usados son PS, PVC, ABS, PMMA, TPRF entre otros; sin embargo, hay algunas excepciones como son los acetales, las poliamidas y los fluorocarbonos, que no se utilizan. Normalmente, las láminas de termoconformado contienen solamente un plástico básico, aunque también se puede utilizar combinaciones de varios materiales.

2.6.4.- GEOMETRÍAS OBTENIBLES EN LAS PIEZAS:

Las piezas obtenibles pueden realizarse con unos espesores de entre 0,1 y 12 mm, lo que puede suponer un inconveniente a la hora de realizar ciertas piezas, aunque la variabilidad de las características del elaborado es grande.

Un inconveniente el proceso es que frecuentemente se obtienen piezas con rebabas, por lo que es necesario desbarbar las piezas y reprocesar los desperdicios.

Se debe tener el grosor de los bordes y en las aristas de la pieza, ya que esto constituyen un inconveniente en los moles relativamente profundos. Al avanzar el material de la lámina hacia el interior de la cavidad se va estirando y adelgaza, por lo que las zonas mínimamente estiradas quedan más gruesas que las estiradas.

2.6.5.- EQUIPOS Y UTILLAJE:

En general se puede afirmar que el costo del utillaje necesario para el termoconformado es bajo, debido a que las bajas presiones de trabajos permiten fabricar moldes muy económicos. Además, su puesta en servicio es rápida, al igual que el cambio de molde, lo que permite una gran flexibilidad del proceso, lo que hace que resulte muy económico para series pequeñas.

La mayor complejidad del molde se encuentra en los pequeños orificios de los que deben disponer para hacer vacío o presión y los sistemas de eliminación de calor, que solo son incorporados si procede. En el caso de los orificios siempre son preferibles y más eficaces las ranuras que los agujeros para permitir que se elimine el aire del interior del molde, y se deben fabricar con un diámetro inferior a 0,65 mm para evitar defectos en la superficie de la pieza acabada. Normalmente se sitúan en las zonas bajas o que no están conectadas al molde. Muchos equipos incorporan una chimenea de equilibrio para asegurar un vacío constante que suele estar entre los 500 y 760 mm de mercurio. Los moldes suelen incluir siempre ángulos de salida para extraer fácilmente la pieza (entre 2 y 7°).

2.6.5.1- Materiales para moldes:

Los materiales más utilizados para los moldes son:

- Madera, para los que se suele utilizar maderas duras secadas en horno, a las que se les aplica barniz para tapar los poros. Suele tardan en enfriar las piezas por lo se utiliza para series cortas o prototipos. Los agujeros suelen realizarse con broca.
- Escayola, se suele emplear con un 5% de fibra de vidrio para evitar rotura por fragilidad o si se requiere gran duración, y se le aplica tapa poros para evitar desgaste. También se utiliza en pequeñas series o prototipos y los agujeros se realizan a partir de alambres lubricados.
- Poliéster reforzado con fibra de vidrio, son de mayor duración por lo que se aplican a series de hasta 500 piezas.
- Colada epoxi, son de mayor resistencia y soportan temperaturas grandes, por lo que se aplica a series de mayor producción, hasta 1000 piezas. Es necesario un modelo para fabricar el molde.

- Aluminio, fácil de mecanizar y con gran capacidad de evacuación del calor, lo que son muy utilizados en grandes series.
- Acero, permiten fácil mecanizados y buenos acabados de superficie; sobre todo si se emplean aceros blandos.

2.6.5.2.- Instalaciones:

Para el proceso de termoconformado existen varios tipos de instalaciones. Hay maquinas simples que realizan el calentamiento y moldeo en una sola estación, se emplean en series cortas y prototipos y suelen ser manuales.

Otro tipo de instalaciones son las industriales, que constan por lo general de distintas estaciones en cada una de las cuales se realiza una operación sobre el material, que va pasando de forma continua. Generalmente constan de:

- Estación de suministro de lámina, que surte de material al resto de estaciones.
- Estación calefactora, que calienta el semielaborado hasta la temperatura adecuada.
- Estación de conformado, da forma a la lámina.
- Estación de troquelado, elimina el material sobrante y recoge el desperdicio.
- Estación de apilado, recoge las piezas conformadas.

2.6.6.- ASPECTOS ECONÓMICOS-PRODUCTIVOS:

El proceso es totalmente automatizable.

2.6.7.- APLICACIONES HABITUALES:

Hoy en día estamos rodeados de todo tipo de artículos termoconformados, aunque podemos dividirlos en dos grandes grupos:

- La fabricación de piezas de gran superficie y estrechas paredes, como son bañeras, paneles interiores de electrodomésticos, paneles de puertas de coches o embarcaciones.

- Todo tipo de envases de industria alimentaria, como son vasitos de yogur, hueveras, envases con diferentes cavidades para repostería, tarrinas individuales de mantequilla o mermelada, etc. Este tipo de envases con huecos también se pueden aplicar a piezas de recambio o artículos de ferretería, portaherramientas o cubiteras.
- Por otro lado, hay otros productos que se fabrican por método como son las señales, accesorios de lámparas, cajones, vajillas, juguetes, cabinas transparentes de aviones o limpiaparabrisas de barcos.

3.- BIBLIOGRAFIA.

KALPAKJIAN, SEROPE Y SCHMID, STEVEN R. Manufactura, ingeniería y tecnología. PEARSON EDUCACIÓN, México, 2002.

<http://extatico.es/>

<http://www.buenastareas.com>

<http://www.mondragon.edu>

<http://es.wikipedia.org>

www.mecanica.com

www.artafrika.es.

<http://www.educared.org>

www.comosehace.com

<http://www.buenastareas.com>

www.abc-pack.com

www.serina.es

<http://www.andreharvey.com>

www.nebrija.es

www.rincondelvago.com

<http://www.kalipedia.com>

<http://www.textoscientificos.com>

<http://books.google.es> (hace referencia a varios libros)

<http://www.iesluisvelez.org>

www.wordpress.com

<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.es>

<http://www.petervaldivia.com>

<http://www.monografias.com>

[www. Youtube.com](http://www.Youtube.com)