

Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería

TESINA
Para obtener el título de:
Ingeniero en Ingeniería en Automatización línea terminal Sistemas Industriales

Título de la Tesina
Aditivos

Integrantes
Hernández Reséndiz Marco Antonio exp. 120232
Parra Ríos Luis Javier exp. 135510

Asesor:
Dr. Juan José Méndez Palacios

Fecha: 18 de Marzo de 2014

La presente obra está bajo la licencia:
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>



CC BY-NC-ND 4.0 DEED

Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

Usted es libre de:

Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

La licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Bajo los siguientes términos:



Atribución — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.



NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).



SinDerivadas — Si [remezcla, transforma o crea a partir](#) del material, no podrá distribuir el material modificado.

No hay restricciones adicionales — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas](#) que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia.

Avisos:

No tiene que cumplir con la licencia para elementos del material en el dominio público o cuando su uso esté permitido por una [excepción o limitación](#) aplicable.

No se dan garantías. La licencia podría no darle todos los permisos que necesita para el uso que tenga previsto. Por ejemplo, otros derechos como [publicidad, privacidad, o derechos morales](#) pueden limitar la forma en que utilice el material.

ÍNDICE

I. RESUMEN.....	1
II. INTRODUCCIÓN.....	2
III. ANTECEDENTES.....	3
IV. JUSTIFICACIÓN.....	4
V. OBJETIVO.....	5
1. INTRODUCCIÓN.....	6
1.1. Polímeros.....	6
1.2. Inyección de Plásticos.....	10
1.2.1. <i>Unidad de cierre</i>	17
1.2.2. <i>El Ciclo de Inyección</i>	21
1.3. Moldes.....	24
1.3.1. <i>Tipos de molde según la apertura</i>	25
1.3.2. <i>Diseño de un molde</i>	27
1.4. Periféricos.....	58
2. GENERALIDADES DE ADITIVOS.....	61
2.1. Introducción.....	61
2.2. Masterbatch.....	62
2.3. Temperatura de transición vítrea (T _g).....	65
3. TIPOS DE ADITIVOS.....	67
3.1. Plastificantes.....	67
3.1.1. <i>Teorías de la plastificación</i>	67
3.2. Estabilizantes.....	70
3.2.1. <i>Antioxidantes</i>	70
3.2.2. <i>Estabilizantes ultravioleta</i>	71
3.2.3. <i>Estabilizantes térmicos</i>	71
3.3. Lubricantes.....	72
3.3.1. <i>Lubricantes externos</i>	73
3.3.2. <i>Lubricantes internos</i>	74
3.4. Cargas.....	74
3.5. Retardantes de llama.....	75
3.6. Agentes espumantes.....	76
3.7. Modificadores de impacto.....	76
3.8. Pigmentos y colorantes.....	77

4. MECANISMOS DE MEZCLADO.....	79
4.1. Tipos de mezclado.....	79
4.2. Equipos de mezclado.....	80
5. FORMULACIONES BÁSICAS.....	83
VI. CONCLUSIONES.....	85
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	86

I. RESUMEN

La competencia global de las empresas y en particular las del sector del plástico, cada vez es más compleja, por lo que es necesario que los empresarios o directores de las mismas se mantengan actualizados de la tecnología y las técnicas de que se manejan en el sector del plástico que se desarrollan cada día y que pueden ser aplicados a sus negocios para hacer más eficientes los procesos y poder ser competitivas.

Actualmente las empresas u organizaciones requieren de soluciones rápidas y eficientes para poder hacer frente a sus problemas. En este contexto, el diseño de experimentos y la simulación adquieren gran importancia, puesto que permiten conocer qué factores pueden estabilizar o desestabilizar un sistema

La presente tesina contiene el tema de plásticos enfocándonos principalmente en los aditivos la propuesta de este tema es que los alumnos se den cuenta de la importancia que tiene los aditivos en la industria del plástico.

Surge esta tesina, por la necesidad que tiene la industria del plástico, intercambio de todo lo anterior y encaminándose hacia la Sociedad del Conocimiento.

II. INTRODUCCIÓN

La humanidad durante muchos siglos ha caminado un largo y estrecho camino en la búsqueda incansable por alcanzar todos los objetivos que se ha propuesto. Ciertamente no cabe la menor duda, de que el ser humano se vale de todo lo que tiene a su alcance y conoce para luchar sin descanso, para moverse en un mundo tan activo y cambiante, sus memorias son parte de la historia y ésta le proporciona lo que necesita para crecer, desarrollarse y domina a otras especies.

Es por ello, que el ser humano es llamado el único animal racional por el simple hecho de ser capaz de analizar situaciones antes, durante y después para mejorar todos sus aspectos, para comparar las decisiones que toma, para fortalecer su espíritu, para manipular su entorno, para saciar su hambre generada por pensamientos que poco a poco forman la acumulación de vivencias. Éstos son datos e información que ha intercambiado y comparado a lo largo de su existencia en este planeta, a lo que se le conoce como “conocimiento”.

El uso de este conocimiento puede beneficiar a muchos siempre y cuando su uso sea el adecuado.

Puede valerse de tecnologías que el hombre ha creado, modificado y mejorado a fin de obtener algo mejor que lo que se tiene.

El proyecto que abordaremos propone dar sustento al conocimiento de plásticos principalmente enfocados a los “aditivos”

En el capítulo uno denominado polímeros daremos una breve explicación de qué son, para qué nos ayudan y donde los podemos implementar. En el capítulo dos inyección de plásticos explicaremos como es el proceso, partes de una máquina de inyección les mostraremos el proceso de inyección, partes de la máquina, el capítulo tres les mostraremos los diferentes tipos de moldes, sus partes, como están diseñados y una introducción al diseño de moldes. El capítulo cuatro les daremos una introducción a los diferentes tipos de periféricos, para que sirven, su importancia dentro del proceso de inyección y las diferentes partes de ellos. Por último en el capítulo cuatro entraremos de lleno a los aditivos explicaremos cada uno de ellos, propiedades, donde y cuando los podemos implementar y qué importancia tienen dentro del mundo de los plásticos.

III. ANTECEDENTES

La evolución del mundo actual ha generado la necesidad de mayor competitividad de las organizaciones. Actualmente la competitividad económica que presenta nuestro país es alarmante, debido a ello muchas empresas no les queda otra alternativa que cerrar, o son absorbidas por otras del exterior. Lo cual genera un gran problema social y por supuesto económico, puesto que provoca desempleo y amplios grupos de pobreza.

Una de las causas principales de la baja competitividad de las organizaciones, es la falta de conocimiento del comportamiento de sus sistemas de operación y en consecuencia carecen de la aplicación de alternativas óptimas que mejoren este comportamiento

IV. JUSTIFICACIÓN

El estudio del tema planteado constituye una necesidad para quien la realiza y para la universidad, y con los cambios tecnológicos que se generan en la actualidad, es necesario satisfacer las necesidades de los estudiantes

Sabemos que con la utilización de la maquinaria se optimizan los procesos de producción, pero, la falta ella, hace que se tenga que realizar ciertas operaciones en forma manual; por esta razón es necesario buscar alternativas con las cuales se pueda aprovechar al máximo la capacidad de la mano de obra directa y el rendimiento de la maquinaria disponible.

La industria, para ser competitiva debe producir con eficiencia y calidad; por lo que es imprescindible realizar cambios importantes, como son la reorganización de sus recursos, implementación de planificación y control de los diferentes procesos, de tal forma que se consiga aumentar la productividad, mejorar la calidad del producto y entregar el producto en los tiempos establecidos

V. OBJETIVOS

Objetivos Generales

- Brindar al alumno una base firme para la introducción al mundo de los plásticos.
- Que los alumnos se den una idea de la industria especialmente en el sector de plásticos.

Objetivos específicos

- Analizar los moldes, partes y funciones.
- Analizar los aditivos, donde los podemos implementar, en qué momento, como nos pueden servir mejor, con que materiales funcionan mejor y con cuáles no.
- Las máquinas de inyección, sus partes y cómo podemos utilizarlas para obtener una mejor calidad y eficiencia.
- Los periféricos en que ayudan a las máquinas para tengan mejor rendimiento y sus funciones principales.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Polímeros

Los polímeros se definen como macromoléculas compuestas por una o varias unidades químicas (monómeros) que se repiten a lo largo de toda una cadena.

Un polímero es como si uniésemos con un hilo muchas monedas perforadas por el centro, al final obtenemos una cadena de monedas, en donde las monedas serían los monómeros y la cadena con las monedas sería el polímero.

La parte básica de un polímero son los monómeros, los monómeros son las unidades químicas que se repiten a lo largo de toda la cadena de un polímero, por ejemplo el monómero del polietileno es el etileno, el cual se repite x veces a lo largo de toda la cadena.

En función de la repetición o variedad de los monómeros, los polímeros se clasifican en:

Homopolímero - Se le denomina así al polímero que está formado por el mismo monómero a lo largo de toda su cadena.

Copolímero - Se le denomina así al polímero que está formado por al menos 2 monómeros diferentes a lo largo de toda su cadena.

La formación de las cadenas poliméricas de los polímeros se producen mediante las diferentes polireacciones que pueden ocurrir entre los monómeros, estas polireacciones se clasifican en:

- Polimerización
- Policondensación
- Poliadicción

En función de cómo se encuentren enlazadas o unidas (enlaces químicos o fuerzas intermoleculares) y la disposición de las diferentes cadenas que conforma el polímero, los materiales poliméricos resultantes se clasifican en:

- Termoplásticos
- Elastómeros
- Termoestables

TERMOPLÁSTICOS

- Se ablandan por calor y se vuelven a endurecer con el frío.
- Moléculas de largas cadenas unidas por enlaces débiles que se pueden romper por calentamiento fundiéndose y también se pueden mover para adquirir aspecto diferente.

- Las uniones débiles se restablecen cuando se enfría el plástico y el material mantiene su nueva forma.

Termoplásticos Amorfos

- Cadena molecular larga que en el momento de formarse se enreda y entrelaza.
- Su estructura asimétrica no permite la cristalización y suelen ser transparentes en su forma natural. Se le conocen como cristales sintéticos u orgánicos.
- Buenas propiedades ópticas.
- Pocas contracciones de transformación.

Termoplásticos Parcialmente Cristalinos

- Partículas ordenadas, en zonas denominadas cristalinas.
- La cristalización hace que sean opacos, no son transparentes.
- Transformación similar a la de los amorfos, las condiciones de enfriamiento tiene gran importancia por la cristalinidad.

Ejemplos: Polietileno (PE), Polipropileno (PP), Poliòxido de metilo (POM), PVC, etc.

TERMOESTABLES

- No se vuelven a ablandar una vez han sido moldeados, una vez adquirida su forma, ésta no puede ser alterada.
- Moléculas de largas cadenas unidas por enlaces químicos fuertes, son tan fuertes que no se pueden romper cuando se calienta el plástico.
- Los intervalos de temperatura de uso están por encima de los de los termoplásticos.
- Normalmente son producidos por policondensación.

Ejemplos: Baquelita, Resinas de melanina/formaldehido (MF), Resinas de urea / formaldehido (UF), Resinas de fenol/formaldehido (FF), Resinas epóxicas.

ELASTÓMEROS

- Tienen propiedades elásticas (como el caucho) a la temperaturas de uso.
- Cuando se someten a tensión se alargan, pero cuando se suspende la tensión recuperan su forma original.
- La reacción de reticulación se conoce como vulcanización.
- No pueden ser fundidos, debido a sus puntos de reticulación.

Ejemplos: caucho natural, caucho de estireno – butadieno y caucho de poliuretano.

En función de la composición química, los polímeros pueden ser inorgánicos como por ejemplo el vidrio, o pueden ser orgánicos como por ejemplo los adhesivos de resina epoxi, los polímeros orgánicos se pueden clasificar a su vez en polímeros naturales como las proteínas y en polímeros sintéticos como los materiales termoestables.

Existen diferentes parámetros que miden las propiedades de los polímeros como el radio de giro, la densidad del polímero, la distancia media entre las cadenas poliméricas, la longitud del segmento cuasi-estático dentro de las cadenas poliméricas, etc...

Existen polímeros naturales de gran significación comercial como el algodón, formado por fibras de celulosas.

La celulosa se encuentra en la madera y en los tallos de muchas plantas, y se emplean para hacer telas y papel.

La seda es otro polímero natural muy apreciado y es una poliamida semejante al nylon.

La lana, proteína del pelo de las ovejas, es otro ejemplo de polímero natural.

Entre las propiedades que definen las propiedades de los polímeros, las más importantes son:

La temperatura de transición vítrea del polímero

El peso medio molecular del polímero

La temperatura de transición vítrea de los polímeros determina la temperatura en la cual el polímero cambia radicalmente sus propiedades mecánicas, cuando la temperatura de transición vítrea es ligeramente inferior a la temperatura ambiente el polímero se comporta como un material elástico (elastómero), cuando la temperatura de transición vítrea es superior a la temperatura ambiente el polímero se comporta como un material rígido (termoestable).

El hule de los árboles de hevea y de los arbustos de Guayule, son también polímeros naturales importantes.

Sin embargo, la mayor parte de los polímeros que usamos en nuestra vida diaria son materiales sintéticos con propiedades y aplicaciones variadas.

Polímeros naturales: Son aquellos provenientes directamente del reino vegetal o animal, como la seda, lana, algodón, celulosa, almidón, proteínas, caucho natural (látex o hule), ácidos nucleicos, como el ADN, entre otros.



Fig. 1.1 Polímero natural [3]

Polímeros semi-sintéticos: Se obtienen por transformación de polímeros naturales. Por ejemplo, la nitrocelulosa o el caucho vulcanizado.



Fig. 1.2 Polímero semi- sintético[3]

Polímeros sintéticos: Son los transformados o “creados” por el hombre. Están aquí todos los plásticos, los más conocidos en la vida cotidiana son el nylon, el poliestireno, el poli cloruro de vinilo (PVC) y el polietileno. La gran variedad de propiedades físicas y químicas de estos compuestos permite aplicarlos en construcción, embalaje, industria automotriz, aeronáutica, electrónica, agricultura o medicina.



Fig. 1.3 Polímeros Sintéticos [3]

1.2. Inyección de Plásticos

Las ventajas de los materiales plásticos en sus propiedades físicas, mecánicas, químicas y sobretodo de reciclaje, ha llamado la atención de las empresas para implementar sistemas de producción explotando todas las posibilidades que pueden dar estos, en cuanto a productos que se puedan reutilizar y desechar para luego llevarlos a un proceso de reciclaje, beneficiando de esta manera al medio ambiente.

INYECCIÓN

Actualmente es el método más empleado por la industria en la producción de piezas pequeñas y compactas, ya que facilita grandes volúmenes de producción a bajos costos, básicamente se moldea termoplásticos y termoestables por medio de disparos de inyección, consta de la máquina de Inyección, herramental, equipos periféricos y materia prima.

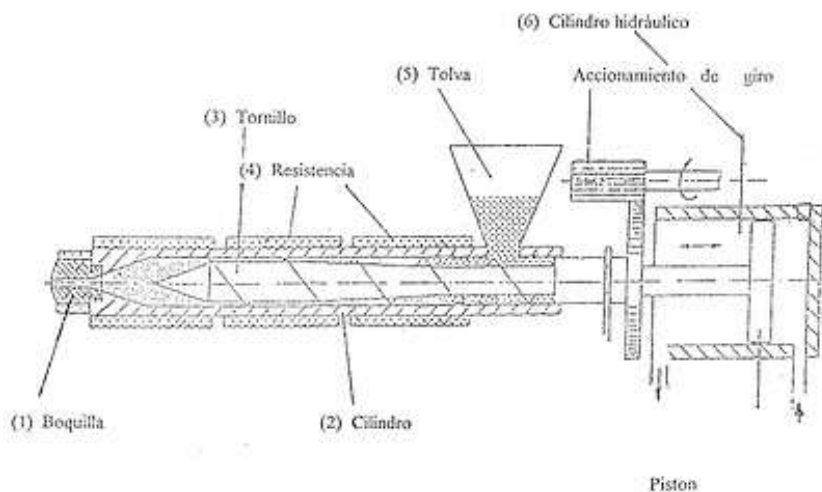


Fig. 1.4 Máquina de Inyección de plástico [4]

A. Tolva

Es la boca por la cual el material se desplaza hacia la zona de alimentación del husillo, se suelen utilizar tornillos para alimentar de manera forzada, el cual funciona como agitador y mezclador por medio de un motor articulado.



Fig. 1.5 Tolva [4]

B. Motor Hidráulico

Es controlado por el panel de acuerdo al sentido en que debe girar el husillo para el avance o retroceso del material, está ajustado al lado de inyección de la máquina.

C. Husillo sin fin (Tornillo)

Tienen la función de transportar, procesar y retener el material en la inyección de plásticos, los hay de puntas fijas e intercambiables de acuerdo al material a moldear.



Fig. 1.6 Tipos distintos de filetes. Filete estándar (izq.). Doble filete (centro). Filete de mezclado rápido (der.) [5]

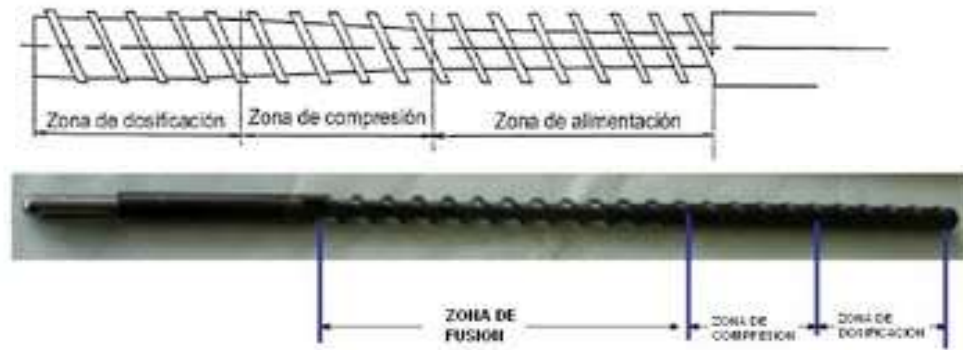


Fig. 1.7 Zonas del tornillo recíprocante. [4]

D. Válvulas anti retorno o puntas de husillo (válvula check)

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

Van montadas en el extremo izquierdo del husillo.

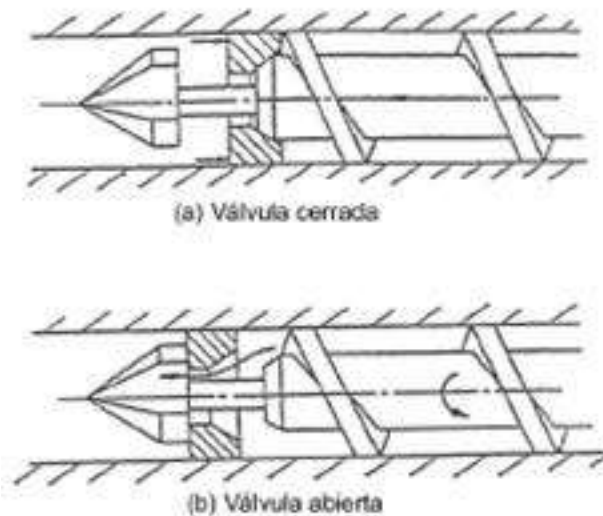


Fig. 1.8 Funcionamiento de la válvula anti retorno [5]

El correcto funcionamiento de esta válvula es esencial para tener un proceso estable, ya que si tenemos fugas de material de la cámara de dosificación hacia los filetes del husillo tendremos una variación considerable en el volumen inyectado al molde, esto por supuesto que tendrá severas repercusiones en el peso y calidad de la pieza moldeada.

Es importante establecer revisiones periódicas a estas válvulas así como hacer una adecuada selección de las mismas.

Estas variaciones de volumen de dosificación se conocen como variaciones del colchón, pudiendo provocar burbujas en la pieza inyectada o hasta el llenado incompleto de material en el molde.



Fig. 1.9 Válvula anti retorno (check) [5]

E. Barril de inyección

El barril es un cilindro hueco de acero aleado capaz de soportar grandes presiones y temperaturas internas provocadas por la fricción de los gránulos y el husillo. Los barriles de moldeo por inyección son relativamente cortos (comparados con los barriles de extrusión), la relación longitud / diámetro (L/D) es de 20:1, solamente en máquinas de altas producciones vienen en una relación de hasta 26:1.

La entrada de alimentación al barril, o garganta, está cortada a través del barril y conecta con el anillo de enfriamiento de la tolva de alimentación.



Fig. 1.10 Barril de inyección [5]

F. Boquilla y punta de inyección

La boquilla es la punta de la unidad de plastificación y provee una conexión a prueba de derrames del barril al molde de inyección con una pérdida mínima de presión. La punta alinea la boquilla y el anillo de retención.



Fig. 1.11 Boquilla y punta de inyección [5]

En general hay tres tipos de boquillas:

- Boquilla de canales abiertos. Este es el tipo más común de diseño, ya que no se coloca ninguna válvula mecánica entre el barril y el molde. Esto permite la boquilla más corta y no se interrumpe el flujo del polímero fundido.
- Boquillas con interrupción interna. Estas se mantienen cerradas mediante un resorte que puede ser interno o externo. Se abren por la presión de la inyección del plástico.
- Boquillas con interrupción externa. Se operan por medios externos, ya sean pistones hidráulicos o neumáticos.

G. Sistema de calefacción del husillo

Estas resistencias de tipo abrazadera van sobre el cilindro de plastificación, para que el material alcance su temperatura de fusión cuando va a través del husillo, siendo procesado.



Fig. 1.12 Calefacción del husillo [5]

K. Molde

¡Sin molde no hay inyección!, se debe considerar como pieza clave a este dado a su costo, importancia y mantenimiento, ya que en él están las cavidades que le darán la forma al material luego de ser inyectado, por otra parte se debe destacar la diferencia de los moldes dependiendo del material a inyectar. El más común el de termoplásticos tiene un diseño sencillo con respecto a los demás y no genera tantos costos.



Fig. 1.13 Molde [5]

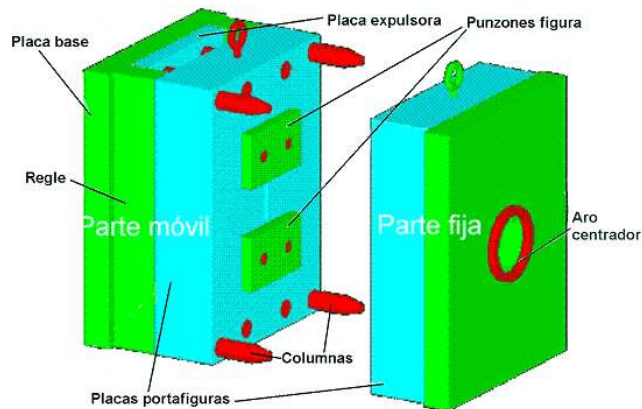
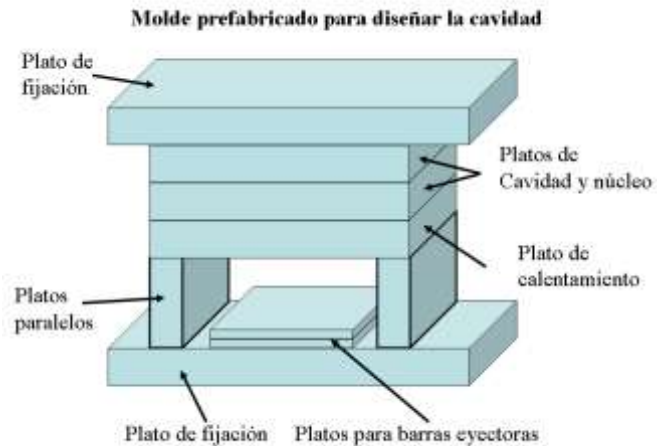


Fig. 1.14 Partes del molde [5]

Los moldes de termoestables necesitan un sistema de refrigerado diferente al de termoplásticos porque se debe controlar el material a temperaturas seguras para evitar que reaccione y de este modo perder recursos (tiempo y materia prima).

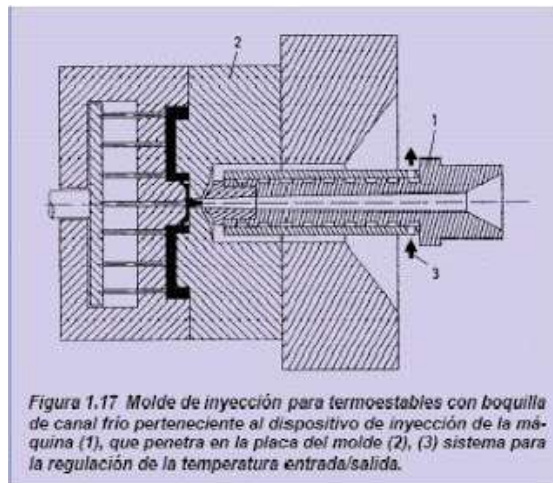


Fig. 1.15 Molde termoestable [5]

Los moldes de elastómeros se mantienen calientes durante un lapso de tiempo y luego se enfrían, los elastómeros suelen ser moldeado por prensado y se asemeja mucho a los de termoestables.

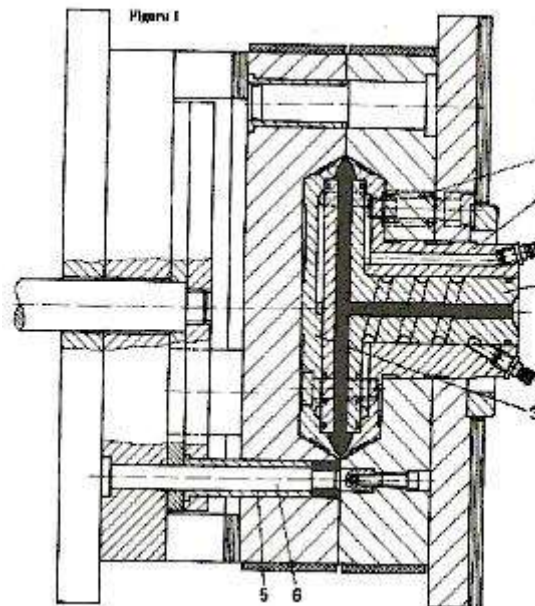


Fig. 1.16 molde elastómero [5]

1.2.1. Unidad de cierre

La unidad de cierre tiene las siguientes funciones:

- Soporta el molde.
- Lo mantiene cerrado durante la inyección.
- Lo abre y lo cierra tan rápidamente como es posible.
- Produce la expulsión de la pieza.
- Brinda protección al cerrado del molde.

Existen cuatro tipos de medios de sujeción, los cuales son:

I. HIDRÁULICOS.

Un medio de sujeción hidráulico convencional tiene un gran cilindro en el centro de la plancha movable sin que aporte ninguna ventaja mecánica. Así, el fluido hidráulico y la presión abren y cierran el medio de sujeción.

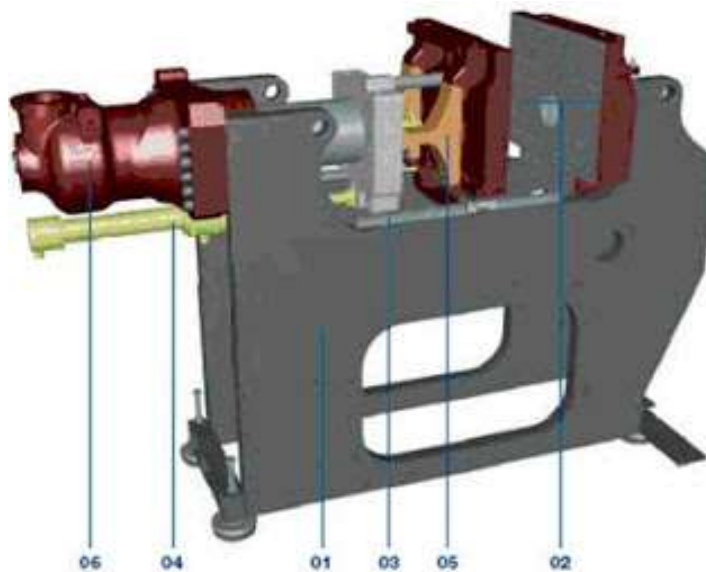


Fig. 1.17 Unidad de cierre hidráulica. [5]

Donde:

1. Bastidor
2. Platinas fija y móvil
3. Rodamientos lineales para el movimiento de las platinas
4. Pistón para el movimiento de las platinas
5. Eslabón flexible para compensar la flexión del bastidor durante el cierre de platinas
6. Pistón de fuerza de cierre.

II. ARTICULADOS ACCIONADOS HIDRÁULICAMENTE (RODILLERA)

En las pinzas hidráulicas (rodilleras), la fuerza de la pinza se controla mediante la presión en el cilindro principal. Por lo tanto es posible variar la fuerza de la rodillera durante el ciclo de moldeo. Comúnmente durante el llenado del molde y el empaque se utiliza una fuerza mayor de la rodillera, en tanto que durante el enfriamiento la fuerza se reduce.

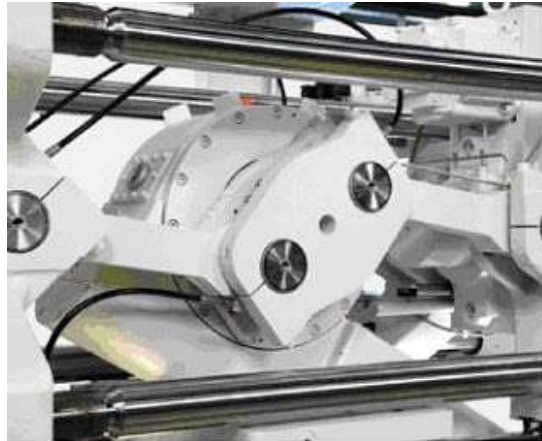


Fig. 1.18 Sistema de cierre a rodillera tipo Z. [5]

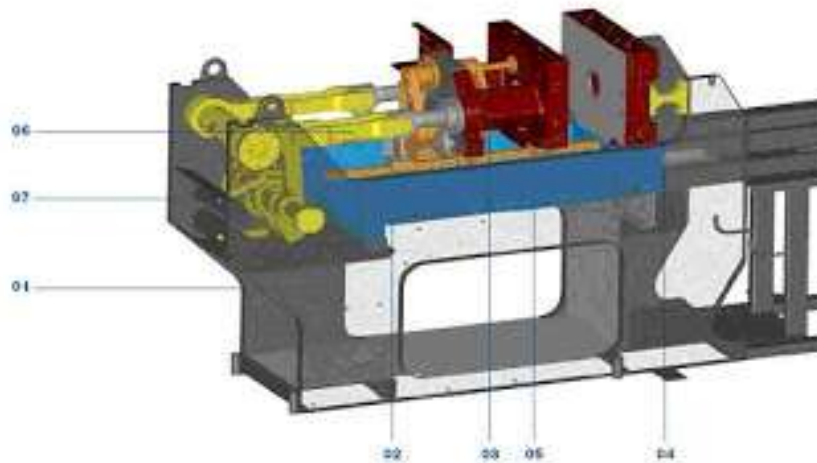


Fig. 1.19 Cierre tipo rodillera convencional. [5]

Donde:

1. Bastidor.
2. Riel guía.
3. Espaciador de platina.
4. Eslabón flexible.
5. Guía de la platina móvil.
6. Rodillera de 5 puntos de contacto.
7. Carnero.

III. ARTICULADOS ACCIONADOS ELÉCTRICAMENTE

Las articulaciones en la unidad de sujeción se extienden y retraen mediante un servomotor, y se utilizan engranes reductores de la transmisión para obtener las fuerzas requeridas. El cierre es mucho más estable pues no tiene un cierre hidráulico que genere calor, además, los servomotores proveen un movimiento extremadamente exacto de los componentes de la máquina.

También es mucho más limpia en su operación que los otros tipos de máquina de moldeo. Todas las máquinas eléctricas son la máquina de elección para la mayor parte de productos médicos.

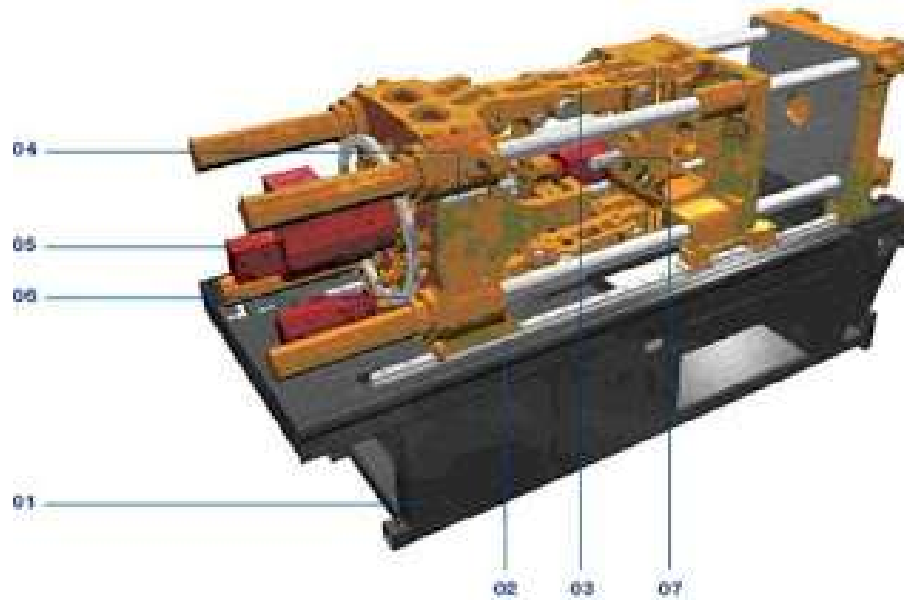


Fig. 1.20 Sistema de cierre eléctrico. [5]

Donde:

1. Bastidor.
2. Guías lineales de precisión.
3. Rodillera de 5 puntos de contacto.
4. Tornillo de bolas recíprocantes para guía de rodillera.
5. Servo motor.
6. Barras guía ajustable eléctricamente para la altura de molde.
7. Unidad de expulsión con servomotor a través de la campana de dirección y 2 tornillos de bolas recíprocantes.

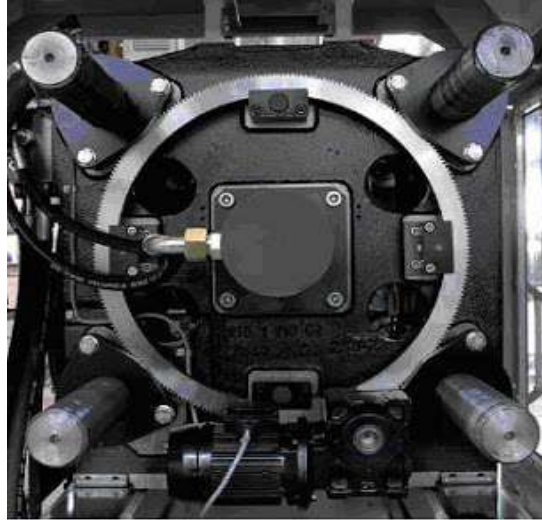


Fig. 1.21 Sistema de transmisión de una máquina eléctrica. [5]

IV. ARTICULADOS HIDROMECANICAMENTE

En las unidades hidromecánicas de sujeción las articulaciones están combinadas con cilindros hidráulicos. La articulación se utiliza para abrir y cerrar la rodillera, pero el pistón hidráulico es el responsable de la presión de cierre. Como esto requiere pequeños cilindros hidráulicos, el movimiento de cierre es más rápido y las unidades de sujeción son más pequeñas que las unidades hidráulicas. Sin embargo la sujeción hidráulica proporciona un mejor control de la fuerza de cierre.

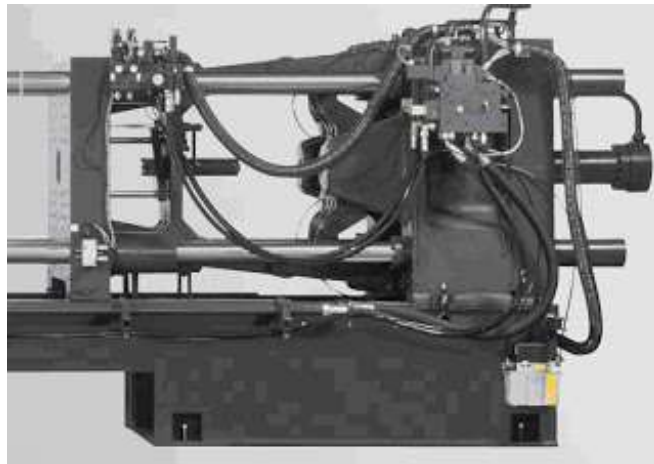


Fig. 1.22 Sistema de cierre hidromecánico. [5]

SISTEMA DE EXPULSIÓN

Al final del ciclo el molde se abre y las piezas enfriadas se expulsan del molde, esto requiere de un sistema de expulsión. Cuando el molde se abre, normalmente la pieza plástica se queda en el lado del corazón del molde, por lo que la mayoría de los diseñadores de moldes colocan el corazón del lado móvil del molde.

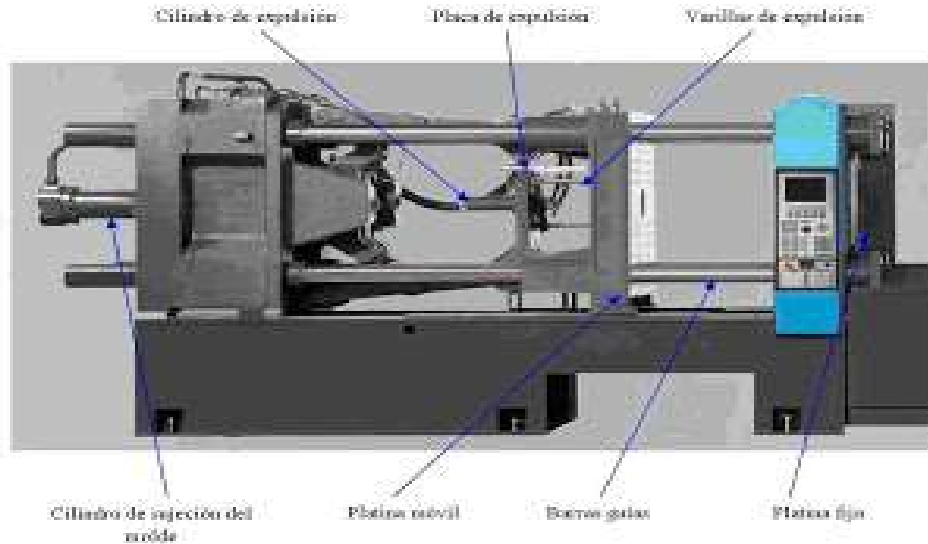


Fig. 1.23 Sistema de expulsión. [5]

1.2.2. El Ciclo de Inyección

El proceso de obtención de una pieza de plástico por inyección, sigue un orden de operaciones que se repite para cada una de las piezas. Este orden, conocido como ciclo de inyección, se puede dividir en las siguientes seis etapas:

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

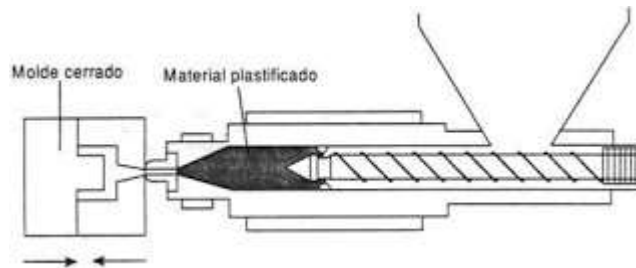


Fig. 1.24 Cierre del molde e inicio de la inyección [5]

2. El tornillo inyecta el material, actuando como pistón, sin girar, forzando el material a pasar a través de la boquilla hacia las cavidades del molde con una determinada presión de inyección.

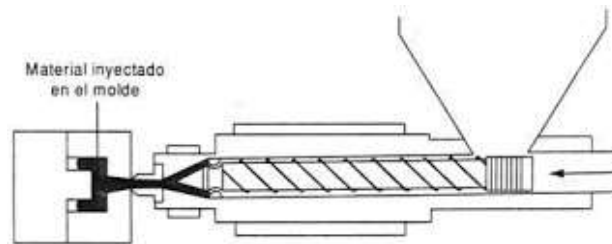


Fig. 1.25 Inyección del material [5]

3. Al terminar de inyectar el material, se mantiene el tornillo adelante aplicando una presión de sostenimiento antes de que se solidifique, con el fin de contrarrestar la contracción de la pieza durante el enfriamiento. La presión de sostenimiento, usualmente, es menor que la de inyección y se mantiene hasta que la pieza comienza a solidificarse.

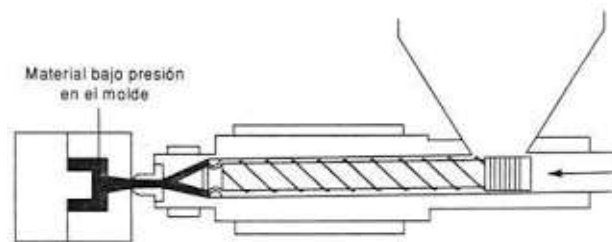


Fig. 1.26 Aplicación de la presión de sostenimiento [5]

4. El tornillo gira haciendo circular los gránulos de plástico desde la tolva y plastificándolos. El material fundido es suministrado hacia la parte delantera del tornillo, donde se desarrolla una presión contra la boquilla cerrada, obligando al tornillo a retroceder hasta que se acumula el material requerido para la inyección.



Fig. 1.27 Plastificación del material [5]

- El material dentro del molde se continúa enfriando en donde el calor es disipado por el fluido refrigerante. Una vez terminado el tiempo de enfriamiento, la parte móvil del molde se abre y la pieza es extraída.

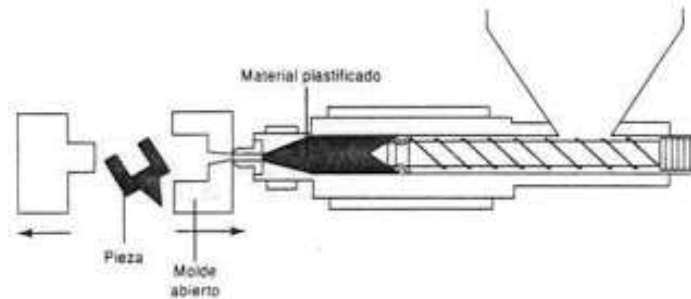


Fig. 1.28 Enfriamiento y extracción de la pieza [5]

- El molde cierra y se reinicia el ciclo.

CONSUMO DE POTENCIA

En cuanto al consumo de potencia en cada una de las etapas del ciclo, se observa que en el cierre del molde apenas se requiere la potencia necesaria para vencer la fricción generada al desplazar la placa móvil. La etapa de inyección necesita la potencia máxima durante un período muy corto.

El desplazamiento de la unidad de inyección y la apertura del molde requieren muy poca potencia. En el siguiente diagrama se esquematiza el consumo de potencia durante el ciclo de inyección.

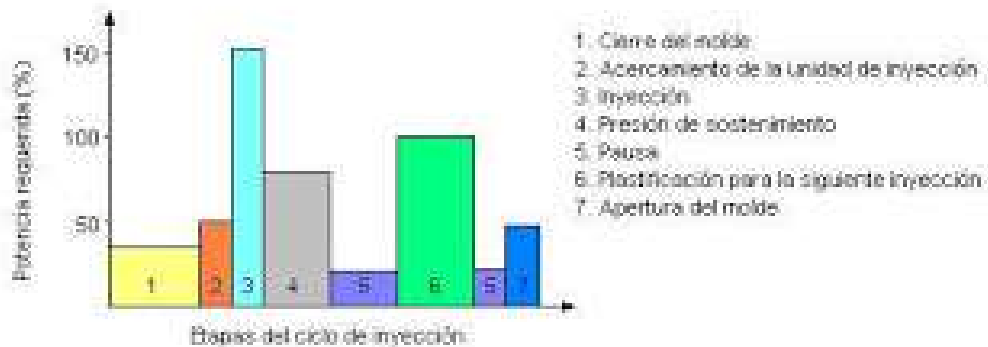


Fig. 1.29 Grafica que muestra donde existe mayor potencia dentro de cada ciclo [5]

1.3. Moldes

1. Brida
2. Placa aislante
3. Tornillo
4. Tornillo
5. Tope
6. Muelle de tirante de expulsión
7. Tirante de expulsión
8. Columna de apoyo
9. Casquillo de guía
10. Cáncamo
11. Sonda de temperatura
12. Grupilla
13. Tornillo
14. Guía de corredera
15. Muelle de corredera
16. Tornillo
17. Bebedero
18. Anillo de centrado
19. Pieza
20. Pozo de bebedero
21. Centrador
22. Guía
23. Casquillo de guía

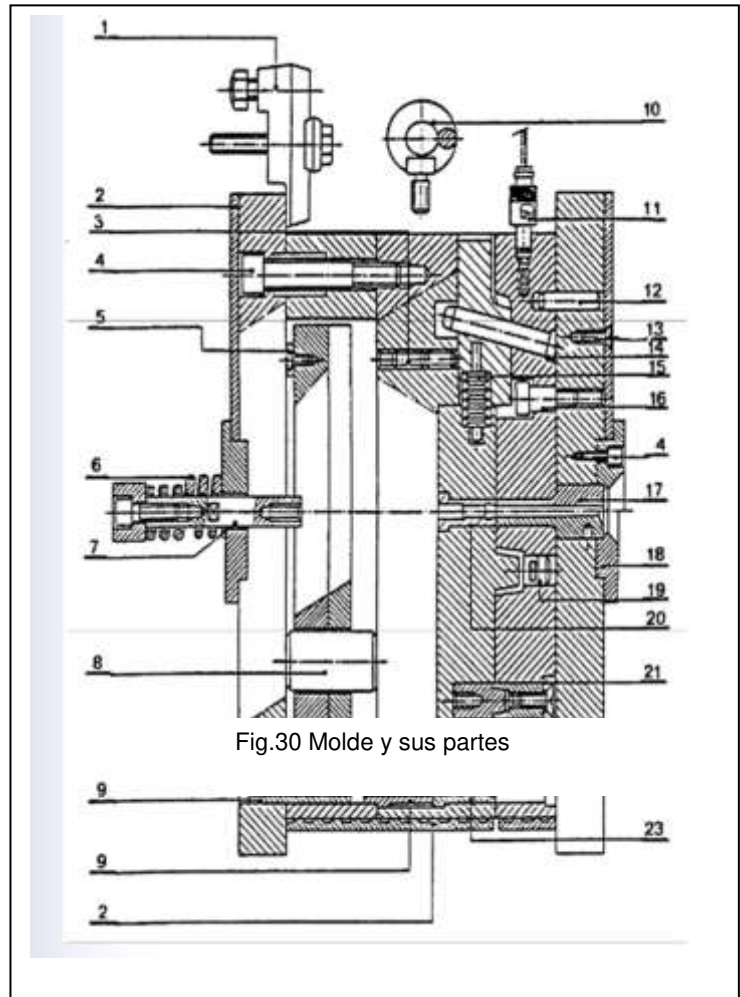


Fig.3.1 Molde y sus partes [11]

Alimentación por el eje

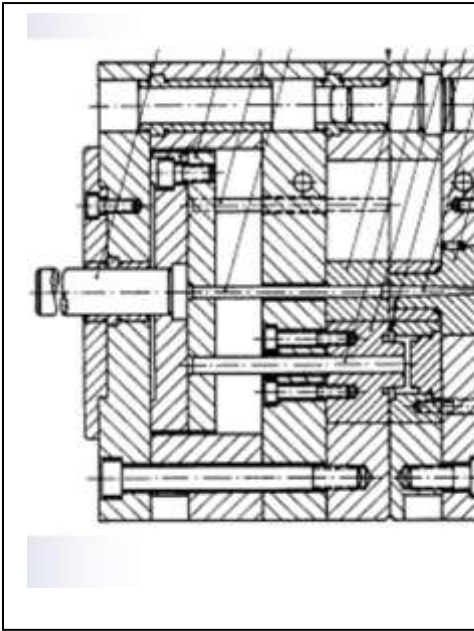


Fig. 1.31 Alimentación [11]

Alimentación por la línea de partición del molde

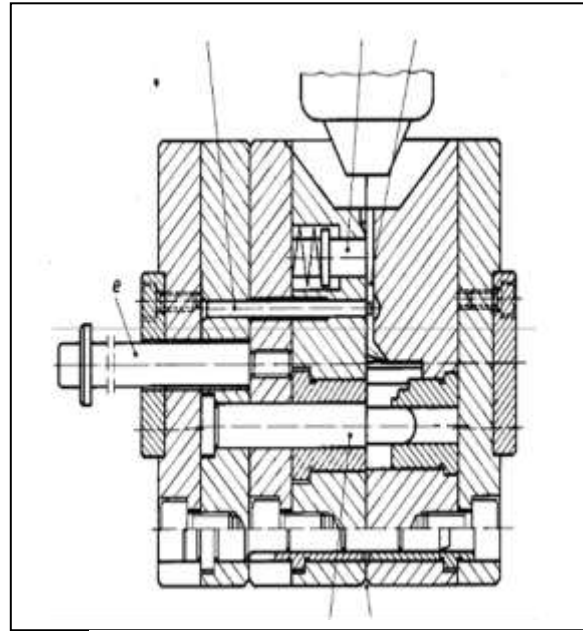


Fig. 1.32 Alimentación [11]

1.3.1. Tipos de molde según la apertura

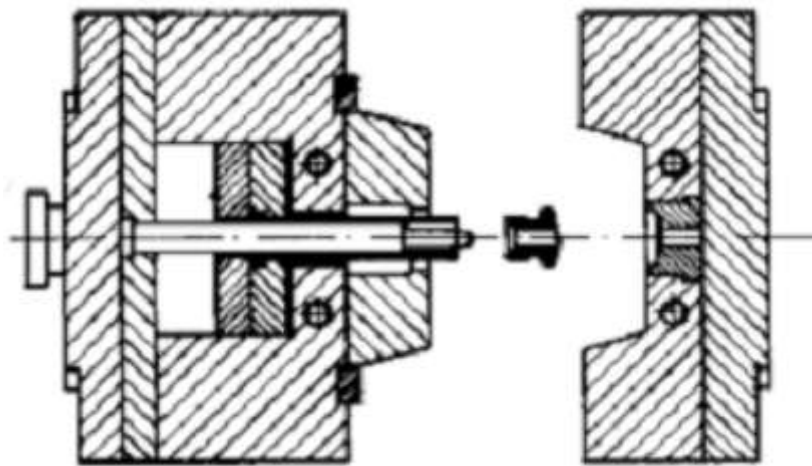


Fig. 1.33 Molde de 2 platos [11]

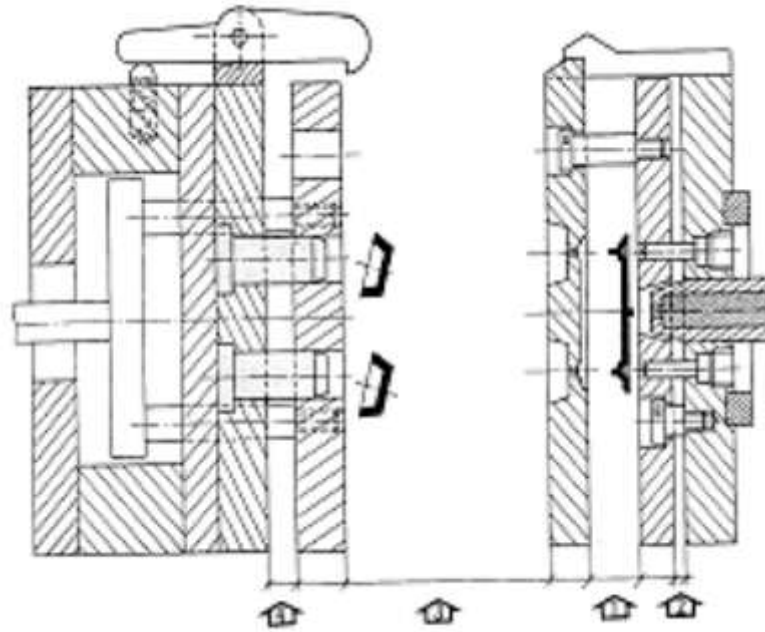


Fig. 1.34 Molde de 3 Platos [11]

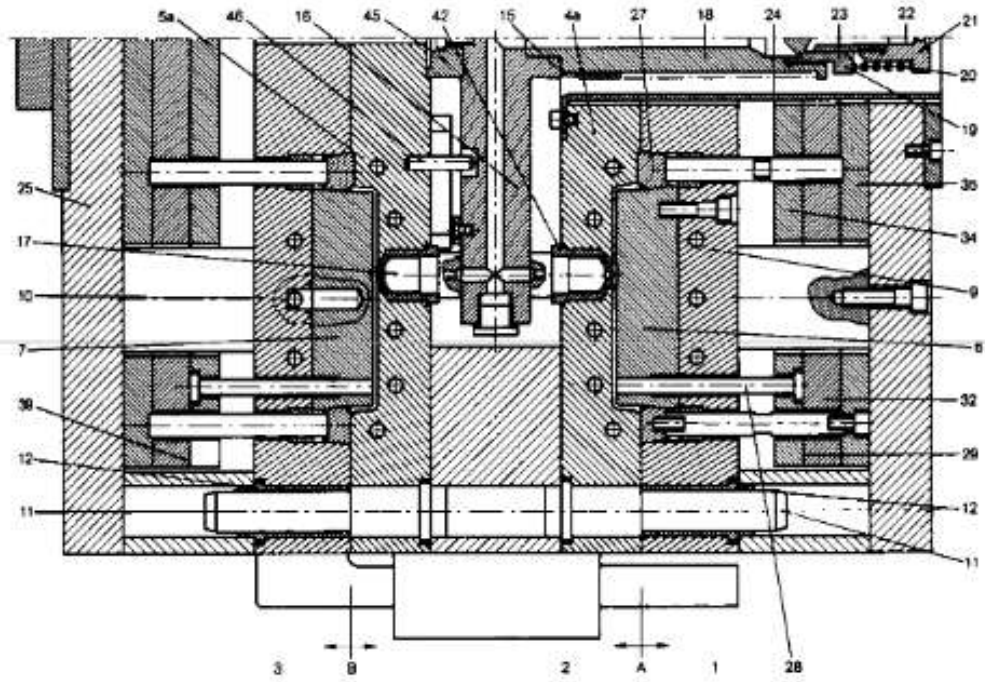


Fig. 1.35 Molde de doble apertura [11]

1.3.2. Diseño de un molde

A. INFORMACIÓN DE LA PIEZA.

Para el diseño de un molde es indispensable conocer las características de las piezas que se piensa procesar, las más importantes son:

1. Geometría.
2. Material.
3. Peso.
4. Volumen.

La geometría de una pieza de plástico se proporciona generalmente a través de un plano.

El uso de la tecnología CAD para el diseño de la pieza en el entorno de la ingeniería concurrente, es indispensable. El diseño lo lleva a cabo generalmente la empresa cliente o el servicio de ingeniería externa, en el archivo CAD es necesario que aparezcan las características a detalle de la pieza a inyectar, tomando en cuenta las recomendaciones de diseño para el proceso de moldeo por inyección.

En la selección del material de fabricación de la pieza plástica se deben considerar algunos factores que involucran: la funcionalidad, la calidad, la economía de la pieza, pero principalmente se debe considerar si se debe cumplir alguna norma por cuestiones de uso del producto, si esto es así, se debe emplear el material que indique la norma. Conociendo el material de la pieza a fabricar y la geometría, se puede determinar el volumen y el peso de la pieza a inyectar.

B. REQUERIMIENTOS DEL TRANSFORMADOR.

El transformador, tiene algunos requerimientos que debe proporcionar al diseñador del molde, la información básica que debe entregar es en torno al modelo de la máquina que llevará a cabo la tarea de inyección de la pieza, las características principales de una máquina de inyección están dadas por la unidad de inyección y por la unidad de cierre.

En el caso de la unidad de cierre las principales características son:

1. Fuerza de cierre.
2. Altura máxima del molde.
3. Carrera de apertura.
4. Espacio entre barras.

En el caso de la unidad de inyección las principales características son

1. Diámetro del husillo.
2. Volumen a inyectar.
3. Presión de inyección.
4. Relación L/D.

5. Velocidad máxima del husillo.
6. Velocidad de inyección.
7. Capacidad de plastificación.

Estas características, son esenciales para comenzar el diseño de un molde de inyección.

C. INFORMACIÓN DE TRANSFORMACIÓN

La información de la transformación está comprendida principalmente por, el número deseado de piezas a producir en un ciclo de operación por la máquina de inyección, este estudio debe estar basado en un estudio económico previo a la fabricación del molde.

D. DISEÑO DEL MOLDE

Esta actividad está dentro del ciclo productivo de una pieza de plástico, implica el diseño, fabricación y evaluación del molde que se va a emplear en la fabricación de la pieza. Como entrada a esta actividad, resaltan la petición de oferta de diseño y fabricación del molde así como, la petición de diseño y fabricación del molde. Hay que establecer esta distinción ya que el fabricante del producto ó el transformador de la pieza de plástico, puede encargarse del estudio del molde (con la correspondiente oferta) a un moldista en particular y subcontratar posteriormente el diseño y fabricación a otro moldista diferente.

Desde el punto de vista de la información básica para diseñar un molde hace falta fundamentalmente la geometría y las características de la pieza a obtener bajo las condiciones de transformación de la misma.

En la actividad de diseñar el molde se incluye el diseño completo del molde teniendo en cuenta la descripción de la pieza (material a fabricar, geometría, peso y volumen). Esta actividad se divide a su vez en tres actividades principales:

1. Estudio previo del molde.
2. Anteproyecto del molde.
3. Proyecto del molde.

Estas tres actividades deben estar en constante comunicación con la actividad de fabricar el molde, esta información contiene las características suficientes que permitan fabricar el molde y son generadas a partir de la información recibida.

E. ESTUDIO PREVIO DEL MOLDE

Esta información contiene:

1. La verificación de la geometría de la pieza.
2. La realización del estudio de viabilidad de fabricación del molde.
3. La generación de una oferta para su diseño y construcción.

Se analiza la posible configuración del molde, pero desde un punto de vista conceptual, sin entrar en detalle. El objetivo es iniciar esta actividad una vez que la definición de la pieza sea suficiente, para lo cual se define un estatus de nivel de definición geométrica de forma que automáticamente se lanza dicha información hasta alcanzar el estado de diseño previo.

Esto permite por tanto iniciar de forma paralela el diseño del molde, obteniéndose su configuración general y estimando el coste de fabricación y el plazo de entrega.

F. VERIFICACIÓN DE LA GEOMETRÍA DE LA PIEZA

La verificación de la geometría de la pieza tiene como objetivo evaluar la posibilidad de desmoldeo de la pieza, en base a sus características geométricas, el área de proyección, la complejidad de fabricación del molde.

Existen diferentes recomendaciones para verificar si la geometría de una pieza diseñada es correcta, las cuales son:

- Uso de radios y redondeos, para evitar concentración de esfuerzos.
- Espesor de la pieza uniforme, para evitar concentración de esfuerzos y contracciones indeseadas.
- Mantener las distancias adecuadas si cuenta con orificios.

Tabla 1.1 Recomendaciones para la geometría de una pieza [12]

ESPEORES DE PARED SUGERIDOS		
MATERIALES TERMOPLÁSTICOS		
Material Termoplástico.	Espesor Mínimo mm	Espesor Máximo mm
Acetal	0.381	3.175
ABS	0.762	3.175
Acrilico	0.635	6.35
Celulosa	6.35	4.7498
FEP fluoroplastico	0.254	12.7
Ionomero	0.635	19.05
Nylon	0.381	3.175
Policarbonato	1.016	9.525
Polietileno (L.D)	0.508	6.35
Polietileno (H.D)	0.889	6.35
Etileno Vinil Acetato	0.508	3.175
Polipropileno	0.635	7.62
Polisulfurona	1.016	9.525
Polipropileno Modificado	0.762	9.525
Poliestireno	0.762	6.35
SAN	0.762	6.35
PVC rigido	1.016	9.525
Poliuretano	0.635	38.1

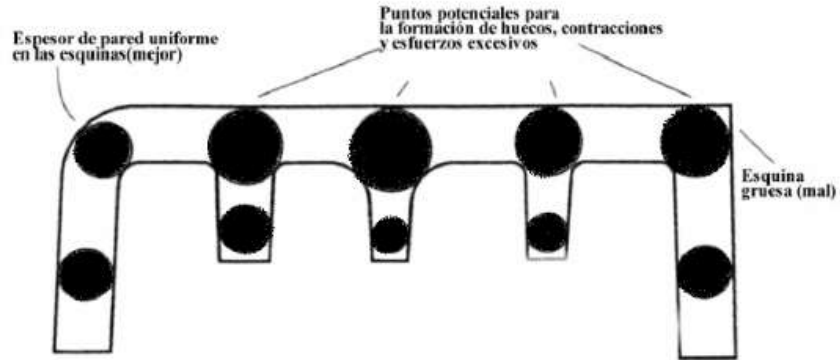


Figura 1.36 Concentración de esfuerzos. [12]

En el estudio de las líneas de partición y de los negativos, es importante encontrar el sentido y el ángulo de desmolde que contenga el menor número de negativos y que estos sean lo más fácil posible de desmoldar de una manera mecánica. Así se puede determinar que superficies quedarán en el lado de expulsión y cuales quedarán en el lado de inyección para evitar marcas no deseadas en algunas superficies, por lo regular el lado de la cavidad queda del lado de la platina fija de la máquina.

G. REALIZACIÓN DEL ESTUDIO DE VIABILIDAD DE FABRICACIÓN DEL MOLDE

El estudio de viabilidad del molde consiste en tomar en consideración las características de la pieza para una posible configuración del molde ya sea simple o múltiple. El precio de una pieza de plástico obtenida por el proceso de inyección de plástico, depende en primer lugar, del número de piezas fabricadas y de la producción por hora. Así, el precio resulta directamente proporcional al número de cavidades y al coste del molde para una máquina determinada. La figura 3.8 relaciona el costo de fabricación de un molde con un número determinado de cavidades, contra con el costo de producción de las piezas obtenidas, (los valores fueron determinados empíricamente).

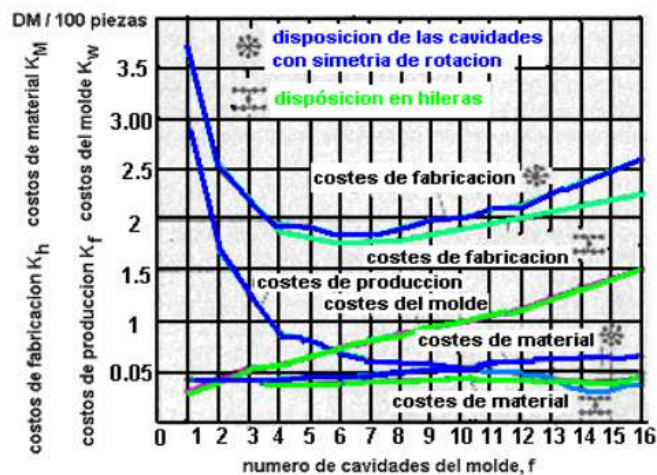


Figura 1.37 Curvas de costos para cavidades. [12]

La variación en la economía de producción de piezas de plástico es determinada de la siguiente manera:

Cuando el molde tiene pocas cavidades de inyección, los costos de fabricación del molde son bajos, pero como consecuencia se tienen unos costos de producción altos (izquierda de la figura), sucede lo contrario, con un molde de cavidades numeroso (derecha de la figura). La decisión sobre el número de cavidades adecuado (económicamente) se sustenta directamente en los volúmenes de producción y la toma de decisiones de fabricar un molde con un determinado número de piezas.

H. ANTEPROYECTO DEL MOLDE

Esta información contiene:

1. Configuración que va a tener el molde.
2. Tipo de molde.
3. Número de cavidades.
4. Sistema de alimentación.
 - Posición de la línea de partición.
 - Tipo de sistema de inyección.
5. Extracción.
6. Refrigeración o enfriamiento. Como es de suponer las acciones que se realizan son muy variadas y complejas durante la ejecución y posterior a esta etapa, se enlistan realmente la cantidad de factores que intervienen en ella.
 1. Análisis de la geometría de la pieza. Para realizar un proyecto de un molde se ha de empezar estudiando su modelo y las líneas que lo definen.
 2. Estudio de las líneas de partición y de los negativos. Será importante encontrar el sentido y el ángulo de desmolde que contenga el menor número de negativos y que estos sean lo más fácil posible de desmoldar de una manera mecánica.
 3. Determinar que superficies quedarán en el lado de expulsión y cuales quedarán en el lado de inyección para evitar marcas no deseadas en algunas superficies.
 4. Determinar los mecanismos de expulsión. Calcular el ancho y la profundidad máxima que tienen los negativos y poder así determinar las dimensiones de los mecanismos móviles que contendrá el molde para extraerlos.
 5. Definir el sistema de inyección. Es uno de los puntos más importantes debido a que puede determinar el tipo de molde estándar a escoger.
 6. Definir el sistema de expulsión que influye principalmente en el hecho de alojar la pieza en el lado de expulsión del molde para poder ser extraída mediante expulsores.
7. Determinar el número de cavidades del molde (número de piezas que ha de realizar el molde en cada inyectada), que es muy importante para determinar la producción estimada.

8. Definir el circuito de refrigeración. Que en la mayoría de casos consiste en la incorporación de un circuito de taladros en los postizos de la figura, en las correderas y en aquellas placas que necesitan evacuación de calor.

Todas estas acciones implican una intensa colaboración entre todos los elementos del sistema. Durante esta etapa no se llegan a determinar completamente las dimensiones geométricas, tolerancias y materiales del molde, todos ellos se realizarán posteriormente en la actividad de proyecto de molde. El anteproyecto depende directamente de las características geométricas y tecnológicas de la pieza, de la cuales se determinan las siguientes características: Si el tipo de canal es frío o caliente; el tipo de entrada (anillo, punto o laminar); si el molde será de dos placas, de mordazas, de extracción por segmentos o de tres placas, la línea de partición del molde y las características de los insertos a emplear en la cavidad (material, número, geometría aproximada, etc.). Se determinarán también las características generales del sistema de inyección: del bebedero, de los canales de alimentación y distribución, de las entradas y de los respiraderos; así como del resto de los sistemas que conforman el molde. Además, en función de criterios económicos se determinarán las siguientes características relativas a las cavidades: número de cavidades a usar, según la oferta emitida en la actividad (estudio previo del molde).

I. SELECCIÓN DEL TIPO DE MOLDE

La complejidad en la selección del diseño de un molde depende directamente del análisis de la geometría de la pieza, del número de cavidades, del sistema de expulsión de la pieza, del circuito de refrigeración, del sistema de inyección, del estudio de las líneas de partición. En la tabla 1.2 y 1.3, se pueden observarlas diferentes versiones de diseño de un molde, se muestra la designación de los moldes de acuerdo a sus funciones y de acuerdo al sistema de expulsión. Es tarea del diseñador, elegir el tipo de molde que mejor cumpla con los requerimientos que la pieza a moldear requiere.

Tabla. 1.2 Tipos de moldes. [12]

Distinción de acuerdo a	Factores de influencia	Versión Diseño	Designación del Molde.
Numero de líneas de partición	Geometría de la pieza Numero de cavidades Tipo de puntos de inyección Principio de expulsión	Molde de dos placas de tres placas de dos líneas de partición	Molde Estándar Molde diseñado para cortar la pieza Molde de varias placas
Sistema de expulsión	Forma de la pieza Material a moldear Parámetros del proceso Tamaño del lote Posición del la pieza relativa a la línea de partición	Acciones laterales Cavidad dividida Mecanismo de destornillado Placa de desmontaje	Molde de accionamiento lateral Molde de cavidad dividida Molde de destornillado Molde de desmontaje
Sistema de transferencia de calor	Maquina de inyección Tiempo del ciclo Material a moldear	Bebedero caliente Canales aislados	Molde de canales calientes Molde de canales aislados
Transmisión de fuerzas	Rigidez del molde Geometría de la pieza Presión de inyección Material a inyectar		Molde Estándar Molde de cavidad dividida.

Tabla 1.3 Tipos de moldes de acuerdo a su configuración. [12]

Clasificación	Criterio de clasificación
1. Molde estándar	Diseño mas sencillo; con una línea de partición; dirección de apertura única, desmolde o expulsión por gravedad, con pernos expulsores o manguitos
2. Molde de accionamiento lateral	Una línea de partición; movimiento de apertura en dirección longitudinal y transversal actuada por pernos leva.
3. Molde de placa de desmontaje	Similar a 1 pero con placa de desmontaje
4. Molde diseñado para cortar la pieza	Similar a 1 pero la separación de los canales y del la pieza se realiza con una placa de corte de moviendo transversal
5. Molde de cavidad dividida	Una línea de partición; moviendo de apertura longitudinal y transversal; las dos partes de la cavidad se mueven en planos inclinados y resisten fuerzas laterales.
6. Molde de destornillado	Movimiento rotaciones automático para desmoldeo
7. Molde diseñado para rasgar la pieza	Dos líneas de partición para desmoldar los canales y la pieza una vez que han sido separados; Movimiento de apertura en una dirección en dos fases.
8. Molde de placas múltiples	Placas de cavidades apiladas con varias líneas de partición
9. Molde de canales aislados	Dos líneas de partición, sistema de canales no convencional con secciones transversales grandes que permiten la formación de un corazón fundido, aislado por una capa de material sólido.
10. Molde de canales calientes	Los canales permanecen calientes por un sistema eléctrico

J. DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE CAVIDADES DEL MOLDE

La determinación de la cantidad de cavidades del molde depende directamente de las características siguientes: el material y la geometría, así como del modelo de la máquina a utilizar, con ello se puede realizar una primera aproximación del número de cavidades que se puede disponer en un molde.

Para iniciar el cálculo de una primera aproximación de la cantidad teórica de cavidades del molde, se relaciona el volumen máximo que puede inyectar la máquina y volumen del artículo a producir, con lo anterior se tiene:

$$F1 \quad S_v \\ A_v \dots\dots\dots(1.1)$$

Donde:

Volumen máximo de inyección de la máquina = S_v (cm³)

Volumen de la pieza + Mazarota = A_v (cm³)

Donde F_1 representa la cantidad máxima de cavidades que el molde puede contener.

En una segunda aproximación se relaciona la capacidad de plastificación del cilindro inyector con el número de inyecciones y el volumen del artículo:

Según ello, la cantidad máxima teórica de cavidades será:

$F_2 = L$

$$(Z)(V_c) \dots\dots\dots(1.2)$$

Donde:

Capacidad de plastificación = L (cm³/min.)

Número de inyecciones por minuto = Z (z/min.)

Volumen de la pieza + mazarota = A_c (cm³)

Cuando se utiliza F_1 para dimensionar las cavidades de un molde, se consume cada vez el volumen total de inyección de la máquina, así que F_2 solo puede ser igual o menor a F_1 .

$$F_2 \leq F_1$$

Donde F_1 siempre es el valor teórico máximo, ya que se supone que se está inyectando el 100% del volumen del plástico. Lo anterior no puede utilizarse en la práctica ya que no satisface ninguna exigencia de calidad. Las máquinas de inyección de construcción moderna, en la práctica tienen un grado de aprovechamiento de 0.2 a 0.8 de ello se deduce, para F_2 ,

$$F_2 \leq 0.8 F_1$$

Sin embargo no conviene llegar a un valor inferior a $F_1 = 0.4 F_2$, ya que de otro modo los tiempos de permanencia se hacen muy largos y se puede contar con inexactitudes de dosificación.

Además para la determinación de F_1 y F_2 resulta conveniente en lugar de considerar el volumen de la mazarota, se deba considerar el volumen total del sistema de plastificación.

K. ÁREA PROYECTADA Y FUERZA DE CIERRE

Las cantidades arrojadas en el inciso anterior, son cantidades que no demuestran físicamente nada, es decir son estimaciones que consideran las características operativas de la máquina sin considerar las dimensiones de la placa que alojara las cavidades.

Para poder estimar físicamente la cantidad de cavidades, originalmente se tiene que contar con la distancia entre columnas de la platina fija de la máquina, que es donde será montado el molde, con lo anterior se tiene que estimar, si el número de cavidades estimado anteriormente es posible ó no, en base al área proyectada. El primer criterio para determinar el área proyectada se basa en la presión de inyección recomendable para el material (figura 1.36), que nunca debe sobrepasar a

la presión de inyección de la máquina, como se ve en la figura 3.10, donde se puede observar que la fuerza de cierre se opone a la presión de inyección y evita que se abra el molde, esta fuerza no deber ser sobrepasada, en el cálculo del área proyectada.

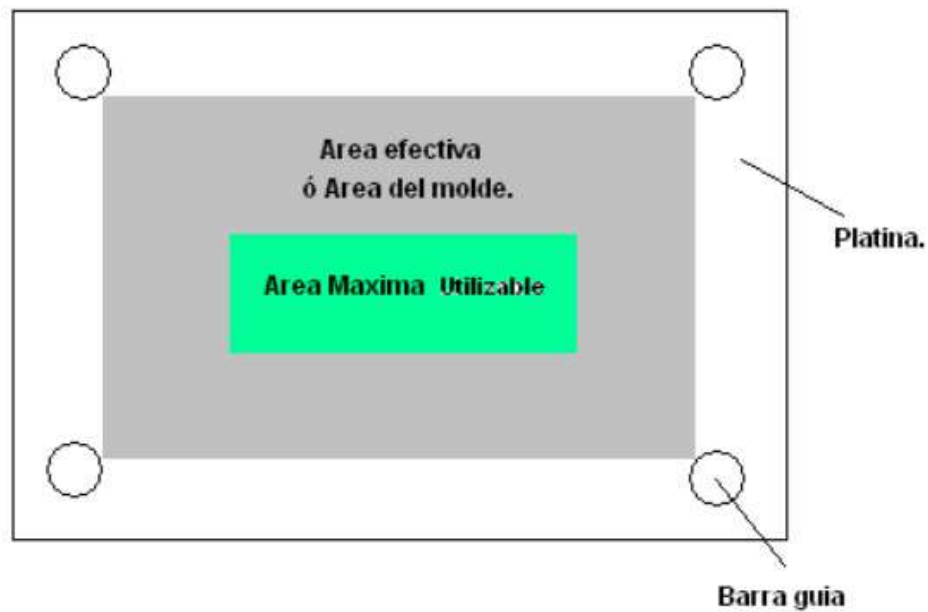


Figura 1.36 Distribución de áreas para el diseño de cavidades [12]

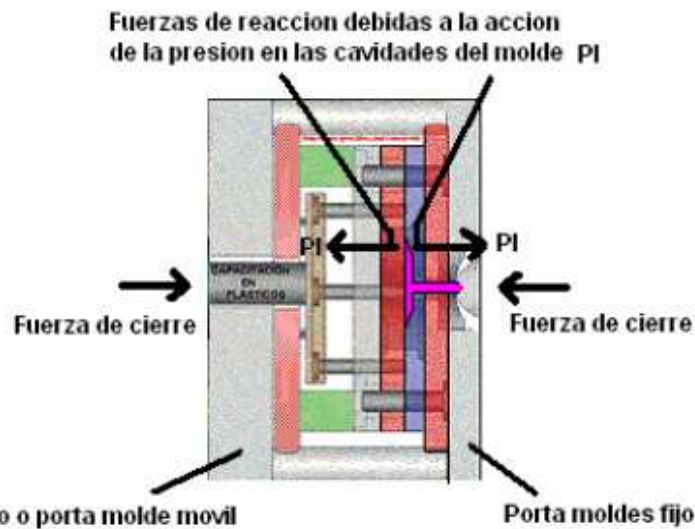


Figura 1.37 Fuerzas que actúan en el proceso de inyección a presión [12]

El área máxima utilizable (área proyectada) es el área, de la cual se dispone para alojar las cavidades y el sistema de alimentación, es una manera de estimar físicamente cuantas cavidades caben en el molde y está establecida por:

$$\text{AREA_MAXIMA_UTILIZABLE} = \frac{\text{FUERZA_DE_CIERRE}}{\text{PRESION_MAXIMA_DE_INYECCION}} \dots \dots \dots (1.3)$$

Una vez que se ha establecido el área máxima utilizable, se determina el número de cavidades relacionando el área de la sección transversal de la pieza y la sección transversal del sistema de alimentación. El cálculo del número de cavidades se calcula multiplicando el número de piezas deseado por el área calculada de la pieza, la fórmula es la siguiente:

Número de piezas x área de la pieza = área total de las piezas.

Por último falta considerar el área que ocupa el sistema de alimentación, para tener un cálculo completo del área máxima requerida. Para determinar una aproximación del área de sistema de alimentación (Mazarota, sección de ataque y el canal de alimentación) se debe considerar un 30% del área total de las piezas.

Área total de las piezas + área del sistema de alimentación < área máxima utilizable.

Con esta verificación se garantiza que la fuerza de cierre no será sobrepasada. Finalmente se debe considerar una distribución adecuada del número de cavidades calculadas y del sistema de alimentación, procurando que la distribución este dentro del área efectiva de la platina, y si esto no sucede se debe procurar diseñar de manera de no chocar con la barra guía.

En el proceso de diseño se recomienda usar la siguiente regla empírica para las presiones de inyección dentro de la cavidad:

- Asumir una presión de 7.75kg/mm² para productos de plástico de pared delgada (tubos, láminas, artículos del hogar, etc.)
- Asumir una presión de 3.1 a 4.6 kg/mm² para productos de plástico técnicos (engranes, piezas automotrices, etc.)

Para garantizar la funcionalidad del número de cavidades se verifica lo anterior con cálculos que involucren al peso y el rendimiento de plastificación de la máquina. Los cálculos desarrollados para la determinación del número de cavidades del molde son solo de aproximación, es decir en la realidad parte fundamental en la determinación del número total de cavidades depende directamente de la cantidad estimada de producción, de los costos de fabricación, de los costos de la materia prima, y por último de los costos de fabricación del molde, ya que cuando el número de cavidades aumenta, aumenta los costos de fabricación.

L. CÁLCULO DEL PESO DEL PRODUCTO

El cálculo del peso del producto es una manera de garantizar que el número de cavidades calculado es el correcto, esto se logra comparando el peso total de las piezas a inyectar con la capacidad de plastificación.

Si se cuenta con una pieza física de muestra, la determinación del peso se puede hacer directamente, llevando a cabo el peso de la pieza en una báscula, si no se cuenta con una pieza

física se procede a calcularlo con el volumen que ocupa y la densidad del material a utilizar, finalmente se suman los pesos de todas las cavidades calculadas. Las características que se ven en la figura 3.11, demuestran los datos con los cuales es posible calcular el peso total de las piezas a inyectar. El cálculo del sistema de alimentación se estima sobre el 30% del peso total de las piezas a inyectar, la suma del peso de las piezas y del sistema de alimentación no deben de ninguna manera sobrepasarla capacidad de inyección de la máquina.

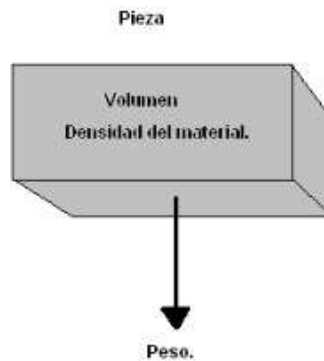


Figura 1.38 Características de la pieza a fabricar. [12]

M. CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE PLASTIFICACIÓN

El cálculo de la capacidad de plastificación del material que será inyectado, ya sea en términos de peso ó volumen, se lleva a cabo para poder compararla con la capacidad de plastificación de la máquina seleccionada. La capacidad de plastificación, indica la cantidad de material por inyección multiplicada por el número de inyecciones por hora.

El tiempo estimado del ciclo son datos técnicos que se proporcionan según el tipo de material y el espesor de la pieza a inyectar. Al final de las operaciones se debe comparar la capacidad de plastificación calculada, con la capacidad de plastificación de la máquina, siempre debe ser mayor la de la máquina.

$$\text{Capacidad de plastificación} = (\text{Volumen o peso de inyección}) (\text{Nc x hora}) \dots \dots \dots (1.4)$$

$$\text{El tiempo estimado del ciclo de operación} = \text{Nc}$$

$$\text{Número de ciclos por hora} = \text{Nc x hora}$$

N. CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE INYECCIÓN

Dentro de las características técnicas de la máquina, está incluida la capacidad de inyección en unidades de gramos u onzas, y está representa la cantidad de materia que se puede inyectar por cada ciclo de operación, el cálculo de la capacidad de inyección de la máquina está determinado por la suma de los pesos. En esta parte se debe verificar que la capacidad de inyección de la máquina sea mayor a la calculada para el molde.

El tiempo de inyección es calculado en base a la capacidad de inyección de la máquina y al peso y es como se indica:

$$T_i = (P/CI) \dots \dots \dots (1.5)$$

Donde:

T_i = Tiempo de inyección en segundos

P = Peso Total.

CI = Capacidad de inyección

O. SISTEMA DE ALIMENTACIÓN (LLENADO).

Funciones y componentes

El sistema de alimentación tiene por objeto recibir la masa de moldeo fundida, procedente del cilindro de plastificación y dirigirla a la cavidad del molde. Como se ve en la figura 1.39, el sistema de alimentación está constituido por:

- 1) Cono del bebedero (mazarota, canal de entrada).
- 2) Canal de alimentación (araña, repartidor, distribución).
- 3) Sección de ataque.

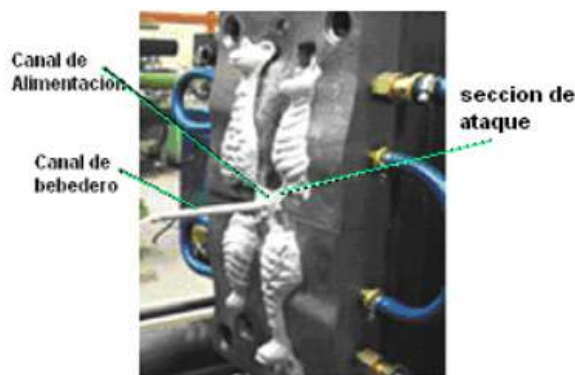
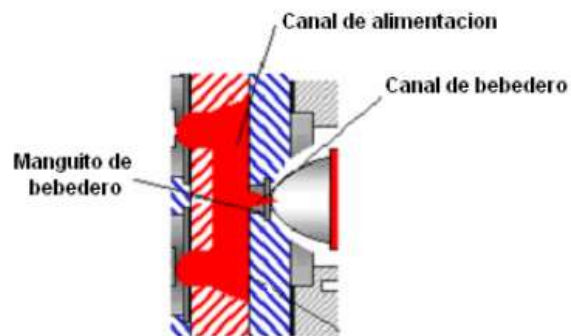


Figura 1.39 Sistema de llenado. [12]

- 1) El cono de bebedero tiene la función de recoger la masa plástica directamente del cilindro de plastificación y dirigirla hacia el plano de partición del molde. Si bien este canal de entrada varía según las normas de trabajo, generalmente tiene forma cónica para facilitar el desmoldeo.

2) El canal de alimentación es la parte del sistema de llenado que en los moldes múltiples, une las cavidades con el bebedero. Este conjunto del sistema se llama muchas veces araña ó repartidor de colada.

3) La sección de ataque constituye un elemento de transición desde el canal de alimentación a la cavidad del molde (pieza); para poder separar de forma fácil y limpia la pieza de la mazarota, por eso este canal debe ser muy fino. También son llamados canales de estrangulamiento, nervios de colada o trabazones, su función es la de unir el canal de alimentación con la cavidad, reteniendo al mismo tiempo, la película enfriada en las paredes de los repartidores de colada.

Para moldes simples el sistema de alimentación está constituido muchas veces únicamente por el canal cónico de entrada, presidiéndose así de canales de distribución y la sección ataque, este canal único se llama bebedero cónico ó mazarota cónica para su configuración se aplican las mismas condiciones que para el canal de entrada.

Diseño de la sección de la boquilla

La boquilla de inyección por las características de funcionamiento se apoya directamente sobre el bebedero al cerrar la máquina de moldeo, estableciendo una junta de presión entre el inyector y el molde (manguito de bebedero). Las superficies de contacto entre la boquilla y el manguito del bebedero pueden ser de diversos tipos, distinguiéndose las superficies de contacto planas y las curvadas (figura 1.40).

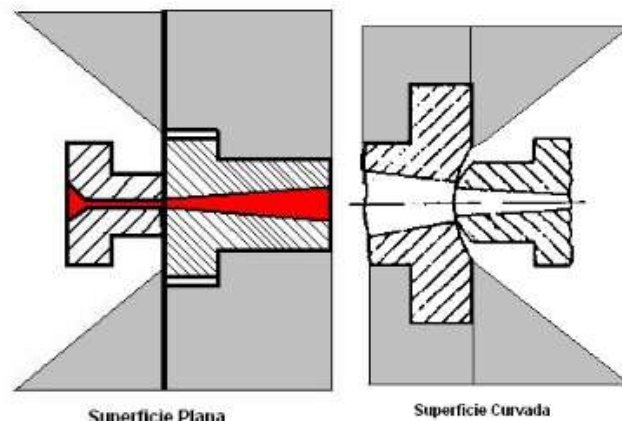


Figura 1.40 Tipos de boquilla. (12)

Las superficies planas se emplean relativamente poco en la práctica por que exige una mayor presión para el cierre, existe la excepción en los moldes de canal caliente, para los que prefieren este tipo debido al desplazamiento que ocasiona la dilatación térmica. Las boquillas curvas son útiles para acomodar la punta esférica de la boquilla.

Por cuestiones operativas, la boquilla y el manguito del bebedero deben tener el mismo radio. Cuando se tiene una superficie de contacto curva (cazoleta), las dimensiones de la curva de la boquilla son iguales a las del manguito del bebedero, y para el dimensionado de esta cazoleta se aplican, de manera similar a las mostradas la figura 1.41.

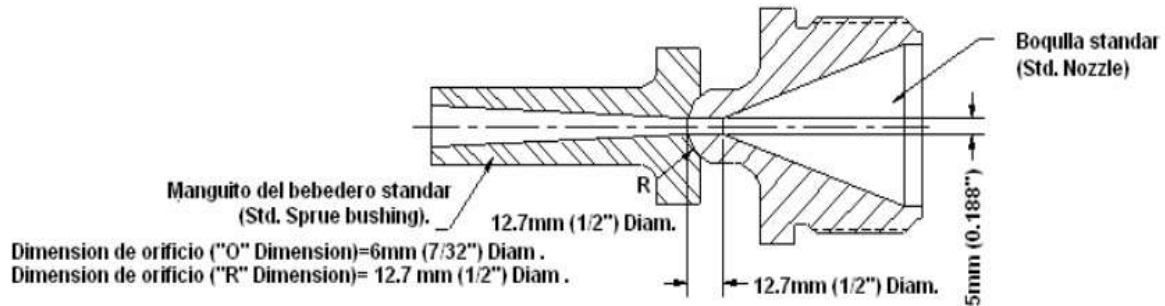


Figura 1.41 Configuración del bebedero y la boquilla. [12]

Como está ilustrado en la figura el manguito del bebedero y la boquilla tienen los radios esféricos iguales de 12.7 mm (1/2").

Pero el orificio del manguito de bebedero siempre tiene que ser más grande que la boquilla de la prensa. Normalmente el manguito de bebedero debería tener un orificio que sea mínimo de unos 0.8 a 1 mm (1/32") más grande que el orificio de la boquilla de inyección. La diferencia en diámetro ayuda al bebedero a desprenderse de la boquilla y la mitad estacionada del molde.

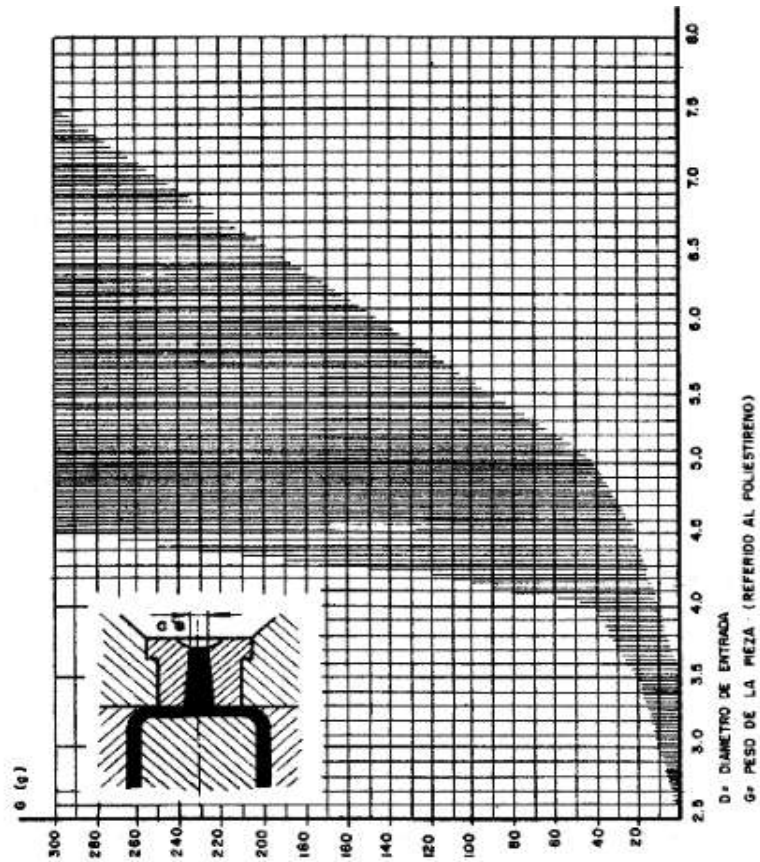
Para una primera aproximación del diámetro de entrada de bebederos cónicos (para materiales termoplásticos), en relación con el peso de la pieza, el diámetro de entrada se calcula con el nomograma 1.1. El diagrama 1.1 es útil para los materiales termoplásticos, pero se puede realizar un segundo cálculo utilizando un modelo matemático en el cual depende directamente de la geometría de la pieza (espesor, tamaño). El diámetro del orificio de entrada (diámetro menor del cono) puede determinarse aproximadamente a partir del volumen a inyectar en un tiempo determinado, y a una velocidad dada, según la ecuación 1.6 (es válida para piezas de hasta 100 cm³ donde se recomienda una velocidad del frente de la masa de unos 1000 mm/s para un buen llenado).

$$D = \sqrt{v / (0.8 * v * t)} = \sqrt{v / 2}$$

Con $v * t = 2$ a $2.5 * 10^2$ (cm).....(1.6)

v = la velocidad

t = tiempo



Nomograma 1.1 Cálculo del diámetro de entrada.

Para el cálculo del diámetro mayor (d_f) de la figura 1.42, se debe considerar de 1 a 1.5 mm más el espesor máximo de la pieza S_{MAX} (tabla 3.1);

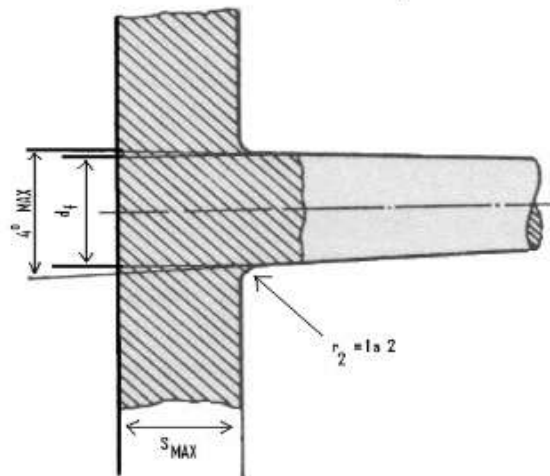


Figura 1.42 Mazarota cónica o de barra. (12)

$$df = s_{\max} + 1.5 \text{ mm} \dots \dots \dots (1.7)$$

S máx. = espesor máximo.

Para el cálculo del ángulo del bebedero se considera un máximo de 4°.
Se recomienda se realice un radio de 1 a 2 mm entre el bebedero y la pieza.

Configuración de los canales de alimentación.

La función principal de los canales de alimentación es lograr que el material penetre en todas las cavidades simultáneamente a igual presión y temperatura.

La masa que fluye en el molde a gran velocidad, se ve afectada por el cambio de temperatura originado por el sistema de refrigeración, este fenómeno causa que el plástico que está en contacto con el molde solidifique rápidamente originando un centro plástico, por el que puede fluir la masa plástica para el llenado del molde. Este núcleo plástico debe conservarse hasta el llenado total del molde y para aprovechar la presión residual con el fin de compensar la contracción de su volumen durante el proceso de solidificación. La selección de una sección transversal correcta para los canales de alimentación es importante en la figura 1.43 se muestran algunas secciones recomendadas.

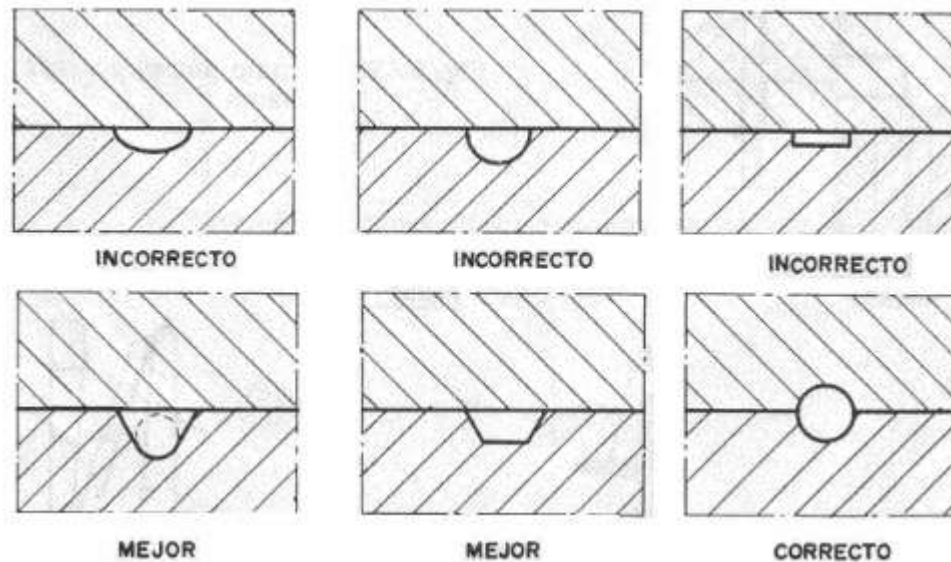


Figura 1.43 Perfiles de los canales de alimentación. Se pueden dimensionar de acuerdo al siguiente modelo y a la figura 4.11. [12]

$$d_2 = S_{\max} + 1.5 = 0.7d_1 \dots \dots \dots (1.8)$$

$$a = 1.25 b$$

$$h = \frac{2}{3} d_2$$

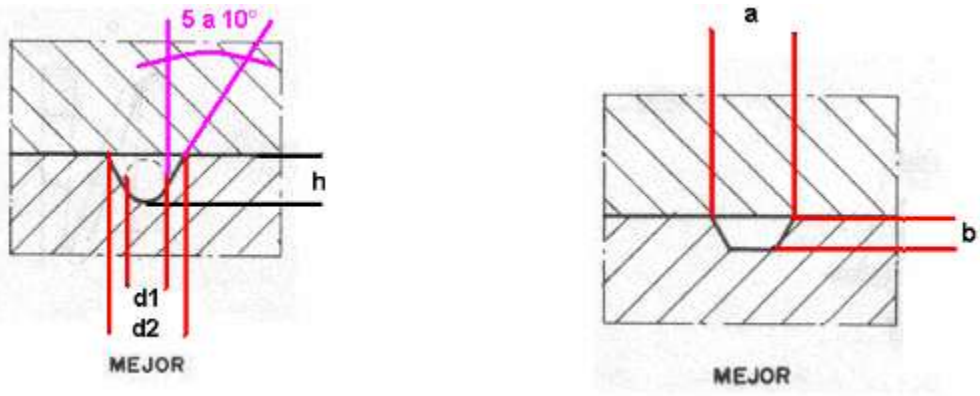


Figura 1.44 Dimensiones principales del canal parabólico y trapezoidal. [12]

De la exigencia de refrigeración se deriva la geometría de los canales de alimentación. Primero teniendo en cuenta que se deben evitar los desperdicios de material, y la segunda por las cuestiones de refrigeración, por tal motivo la relación superficie/volumen debe ser lo menor posible.

Lógicamente las dimensiones del canal dependen del tamaño de la pieza, del tipo de molde y de la masa a elaborar, por lo general ha de considerarse que la sección del canal es mayor cuanto mayor es la pieza, o bien para piezas semejantes, cuanto mayor sea su espesor de pared. En los moldes múltiples, los canales distribuidores tienen también la misión de que todas las cavidades se llenen simultáneas y uniformes.

El modo más sencillo, para lograrlo anterior es hacer que los canales de distribución equilibrados, parte b y c de la figura 1.45.

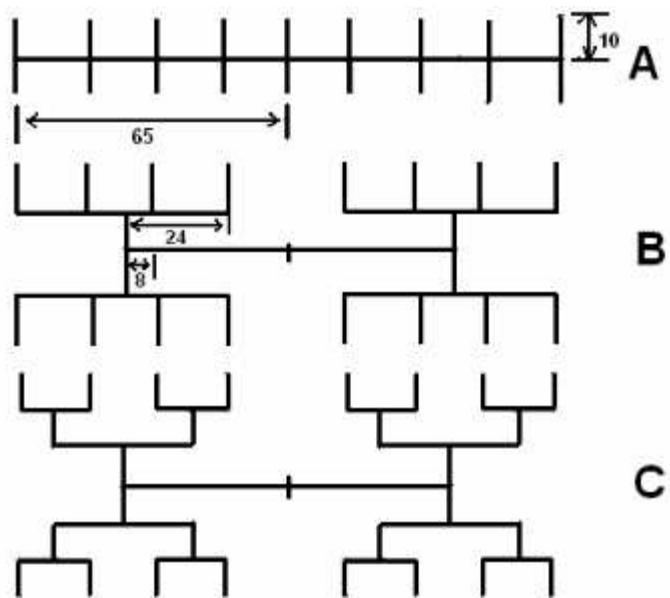


Figura 1.45 Configuración de las entradas o canales de estrangulamiento. [12]

Análisis reológico.

Como consecuencia de la viscosidad y del gradiente de velocidad al que se somete al fluir dentro de las cavidades del molde, el material plástico, aparece una tensión de cizalla en el interior del material.

Los efectos de la aparición de esta tensión interna en el material provocan un esfuerzo de oposición al flujo (que se equilibra con la presión); y generan una disipación interna de energía por el efecto de fricción que éste produce (que tiende a incrementar la temperatura del material). Cuando el material fundido entra en la cavidad se ve sometido a un efecto simultáneo de flujo entre las paredes del molde y de enfriamiento por pérdida de calor a través de estas. Como resultado de estos dos efectos combinados, el perfil de velocidades que el material presenta se asemeja al mostrado en la figura 3.19, en la que se distinguen los perfiles de velocidades en tres puntos dados tomando como referencia el frente de llenado.

Cuando el frente de llenado supera un determinado punto, aparece casi de forma inmediata una capa de material solidificado sobre las paredes del molde. Esta capa recibe el nombre de capa fría (frozen layer). En ella, no puede producirse la circulación del material debido a que, por una parte la temperatura del material es muy baja y no puede fluir, y por otra la viscosidad crece de forma acusada con respecto a la del material fundido.

En la figura 1.46 se muestran cualitativamente los valores de temperatura, velocidad y gradiente de velocidad en la sección del molde, por efecto de la capa fría.

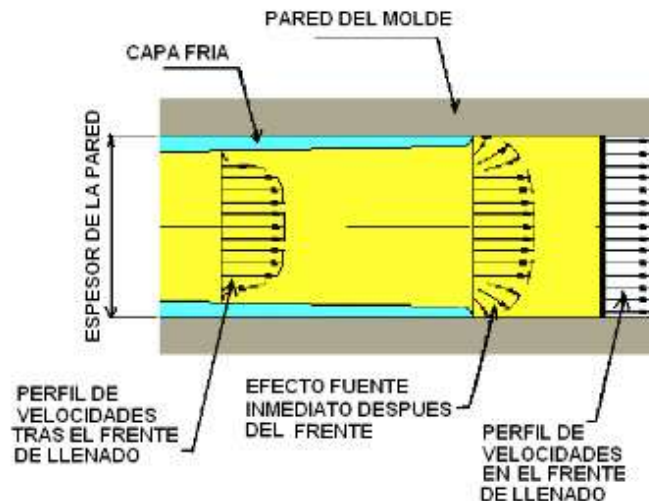


Figura 1.46 Perfil de velocidades en la sección del molde. [12]

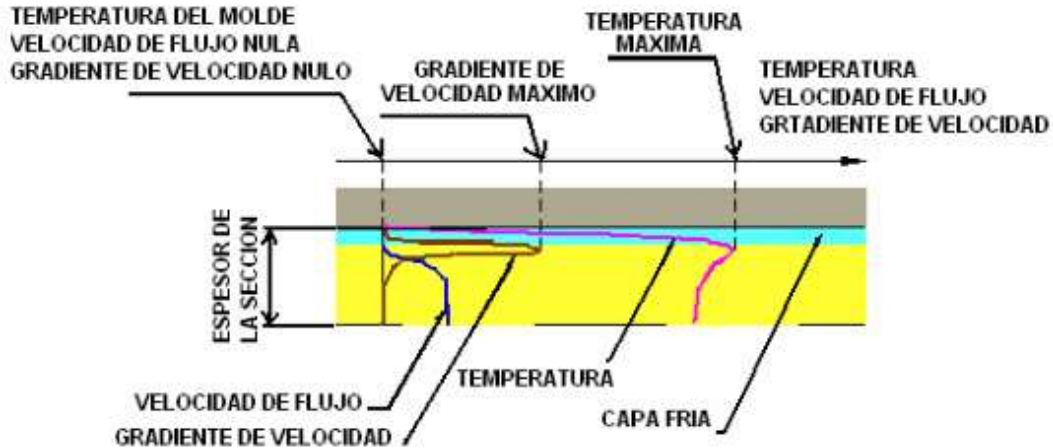


Figura 1.47 Curvas de velocidad de flujo, temperatura y gradiente de velocidad. [12]

Como consecuencia de la aparición de la capa fría, la velocidad del flujo se ve modificada en las cercanías de la misma, de forma que el flujo genera lo que se denomina efecto fuente. Debido a este efecto, el flujo del material (cuya velocidad decrece y cuya viscosidad es más alta) toma la tendencia a formar una pequeña capa superficial que fluye y es presionada contra la pared. Al tomar contacto con la pared, esta capa superficial solidifica de forma casi instantánea y provoca un efecto de orientación de moléculas y fibras (en el caso de materiales reforzados) en dicha zona según la dirección del flujo. Como efecto colateral, en las cercanías de esta capa fría (aunque no en su límite) el material se ve sometido a elevados valores de gradiente de velocidad. Esto genera un esfuerzo de cizalla elevado en la zona que supone, por una parte un incremento local de la temperatura, y por otro un fuerte efecto sobre la orientación de las moléculas y fibras en la dirección del flujo.

El incremento de temperatura que surge cerca de los límites de la capa fría está influenciado por el caudal del flujo, ya que un caudal muy elevado provocará un mayor gradiente de velocidad y por ello una mayor cantidad de calor de disipación; mientras que caudales muy bajos, favorecen el aumento de espesor de la capa fría y una disminución de la sección útil del flujo, que puede traducirse igualmente en un incremento del gradiente de velocidad y del calor disipado.

Una de las consecuencias de dicho incremento de temperaturas es la superación de la temperatura máxima admisible por el material, que provoca su degradación y pérdida de cualidades mecánicas, lo que supone la obtención de una pieza defectuosa. La evolución del crecimiento de la capa fría se observa en la figura 1.48, donde se representa, en función del tiempo, para una determinada temperatura de inyección y para una determinada temperatura del molde, dicho crecimiento en diversos puntos de la cavidad del molde. En dicha evolución debe tenerse en cuenta que el frente de llenado va alcanzando sucesivos puntos en distintos tiempos, siendo la secuencia de llenado la mostrada en la leyenda.

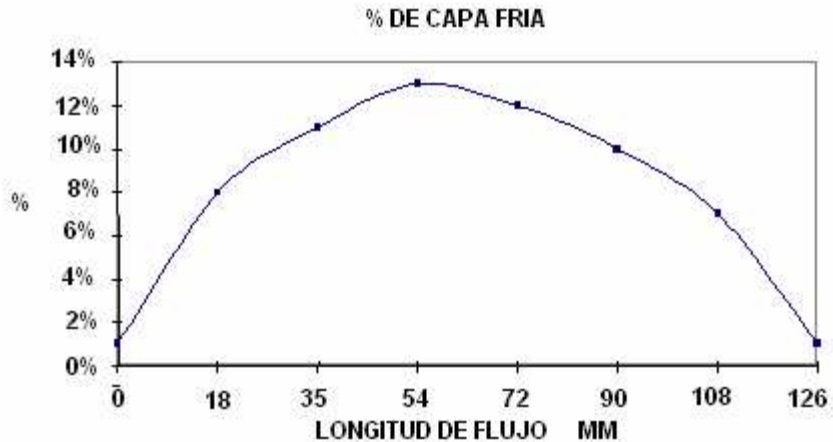


Figura 1.48 Porcentaje de capa fría en función de la longitud de flujo recorrido. [12]

Para un instante determinado, la capa fría no es uniforme en toda la cavidad del recipiente.

Dado que el espesor de la pared del recipiente es homogéneo, los datos mostrados revelan cómo se alcanza el valor máximo de espesor de capa fría en torno al punto medio del recorrido del flujo. Ello se debe a que:

- En el inicio del recorrido el material se encuentra a una temperatura todavía elevada y no permite el crecimiento de la capa, al fluir de forma más o menos uniforme con dicha temperatura.
- Conforme nos alejamos de la entrada, el espesor crece debido a que el material tiende a enfriarse con mayor facilidad, permitiendo que la capa crezca.
- Hacia el final del recorrido, el frente de llenado llega cada vez con más retardo, y, aunque el material tiene una temperatura inferior, no ha tenido tiempo de hacer crecer la capa fría.

La conclusión más inmediata del estudio del espesor de la capa fría consiste en evitar un diseño inadecuado de pieza (espesor demasiado pequeño) o bien por condiciones del proceso de inyección mal seleccionadas (tiempos de llenado demasiado bajos, temperatura de inyección demasiado baja y/o temperatura del molde demasiado baja), la capa fría crezca hasta el punto de obturar completamente la sección de la cavidad y evite el llenado completo de la misma.

Configuración de las entradas o canales de estrangulamiento

El canal de estrangulamiento es la parte del sistema de llenado que une la cavidad que se va a llenar, con el canal distribuidor, (es la parte más estrecha de todo el sistema de llenado), su tamaño y longitud viene determinado por diversas exigencias.

La disposición de las entradas que unen los canales de alimentación y la cavidad de la pieza debe ser bien determinada, ya que de esta depende el correcto llenado de la pieza a inyectar.

Para la realización del cálculo de las entradas de alimentación se debe considerar que estas deben ser de un tamaño lo más pequeño posible, logrando con esto un fácil desmoldeo, pero no sobrecayendo en los límites, porque representaría un cuello de botella en el sistema de distribución, ya

que opondría resistencia al fluido, consumiéndose una gran parte de la presión de inyección (esta resistencia es más alta cuanto más alta sea la viscosidad de la masa de inyección), también es posible que se produzca un sobre calentamiento por la acción de obstaculización, produciéndose una degradación térmica.

Cuando el tamaño del canal es demasiado grande se produce un llenado rápido, que origina un llenado prematuro, con una solidificación del plástico prematura, la temperatura de colada descende originando una rápida caída de presión residual. Existen dos principales tipos de entradas la circular y la rectangular para pero no existe ninguna regla que determine la geometría de los puntos de inyección pero se recomienda:

- Comenzar con una profundidad de 0.635mm y hacer pruebas variando las condiciones del proceso.
- Es recomendable el uso de puntos de inyección redondos.
- Generalmente el grosor del punto de inyección es de 40% a 60% el grosor de la pieza.

En el caso de secciones rectangulares se aplica:

$$f = a * b \dots\dots\dots(1.9)$$

$$F = \pi d^2 / 4.$$

$$a = 3 b.$$

$$l = 0.25 \text{ a } 2.5.$$

$$f = 0.07 \text{ a } 0.1 F.$$

d= diámetro del canal

Las variables están descritas esquemáticamente según la figura 1.49 y 1.50.

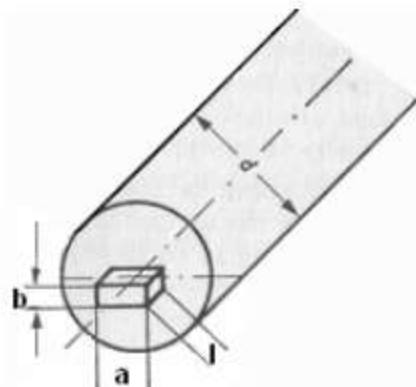


Figura 1.49 Canal de estrangulamiento rectangular con canal de llenado. [12]

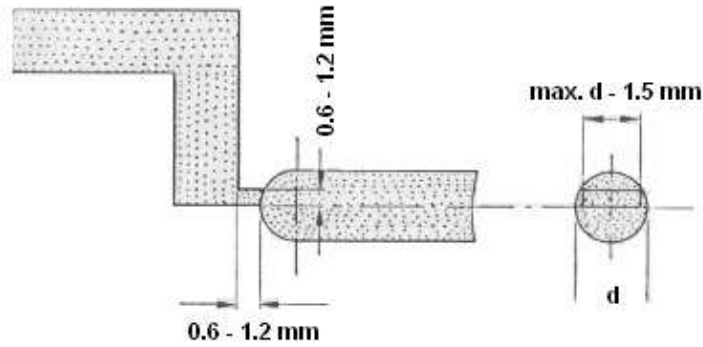


Figura 1.50 Dimensionado del canal de estrangulamiento. (12)

En el caso de secciones circulares se aplica:

$$\text{SECCION_DE_ATAQUE_DE_COLADA} = \frac{18 \cdot 10^{-2} \text{ mm}^2}{\text{gm}} \cdot \text{peso} \dots\dots\dots(1.10)$$

$$\text{Diámetro} = \sqrt{\frac{4 \cdot \text{SECCION_DE_ATAQUE_DE_COLADA}}{\pi}} \dots\dots\dots(1.11)$$

Peso = peso de la pieza.

0.18 mm

2/gr = constante de Davok hasta piezas de 150 gr.

Disposición de las entradas en la pieza

El esfuerzo al que se va someter una pieza obtenida por inyección de plástico debe ser considerado para determinar la posición del canal de estrangulamiento, ya que las propiedades de resistencia de una pieza inyectada están dadas por la dirección de inyección del plástico.

Se deben considerar los siguientes puntos para determinar la posición de entrada en la cavidad del molde:

1. Se debe tener previsto que tipo de esfuerzo máximo debe soportar la pieza y en qué dirección (esto es de mayor importancia en aquellas piezas de plástico reforzadas con fibra de vidrio.)
2. Los valores máximos de resistencia a la tracción y al choque se alcanzan en la dirección del flujo
3. El flujo perpendicular a la dirección de inyección cuenta con menor resistencia al agrietado en virtud de la tensión y la tenacidad reducida.
4. La entrada debe ubicarse en la parte con mayor espesor de la pieza (excepto en la elaboración de espumas estructurales), ya que por esto es común que se presenten porosidades, rechupes y deformaciones.

La consideración de las contracciones y deformaciones producidas por la diferencia de la temperatura y el tiempo de permanencia de carga de la máquina de inyección, se incrementa aún más en piezas que contienen considerables variaciones de espesores, ya que en estas piezas este fenómeno se presenta hasta días después.

Cantidad de entradas

La determinación de la cantidad de entradas que debe considerarse para la inyección de una pieza está dada por el material y la forma de la pieza a inyectar, la decisión de colocar más de una entrada a la pieza puede solucionar problemas de contracción.

Por ejemplo en piezas largas se recomienda que la relación entre el recorrido de la masa que fluye y el espesor de la pieza no sea superior a 80 veces (sino alcanza este valor se utiliza una configuración de entrada puntiforme múltiple). Cuando se trata de piezas que están sometidas a esfuerzos considerables se recomienda solo considerar una entrada de inyección, ya que cuando se colocan dos o más estradas se forman zonas de unión que disminuyen la resistencia.

Salida de aire

Cuando se realiza el llenado de un molde la masa del plástico inyectado tiene que desplazar el aire que se encuentra en el mismo, si este no tiene posibilidad de escapar se atrapa en la parte más alta de la cavidad o en las líneas de unión del flujo procediendo a realizar quemaduras en la superficie. Por lo general las salidas de aire, no tienen dimensión determinada, ya que tienen suficientes probabilidades de salida por el plano de partición o por los expulsores, especialmente cuando el plano de partición tiene determinada aspereza (procurar un acabado con grano de esmeril 240).

Si la configuración del molde no permite lo anterior se recomienda a elaborar la matriz en varias piezas, para que las uniones de las partes sirvan de salidas de aire.

Sistema de expulsión

Desmoldeo de piezas obtenidas por inyección. Después de realizar la tarea de inyección de material en el molde, y alcanzado la temperatura de desmoldeo, se prosigue a expulsar la pieza; por lo regular son utilizados medios mecánicos como varillas expulsoras, aunque también existen medios hidráulicos y neumáticos.

En esta operación de expulsión (varillas expulsoras) se debe garantizar que la pieza a expulsar, quede del lado de la platina móvil, esto se logra mediante resaltes o implementando una diferencia de temperaturas. El sistema de expulsión más conocido es el que opera con varillas expulsoras que separan la pieza del núcleo. La tabla 3.4 muestra los sistemas de expulsión más utilizados, según las características de trabajo:

Tabla 1.4 tipos de sistema de expulsión. [12]

Tipo.	Uso.
Sistema de expulsión anular.	Piezas pequeñas.
Sistema de placa expulsora.	Piezas con simetría de rotación.
Sistema de desmoldeo simultáneo en varios planos.	Piezas grandes y profundas.
Sistema de eyectores de plato.	Piezas profundas.

Es importante cuidar que los eyectores estén situados en partes donde no se vea deteriorada, ni modificada la geometría de la pieza, así mismo si se trata de una pieza que contiene rincones difíciles o nervaduras se debe buscar colocar en estos lugares las varillas de expulsión, ya que en estos se dificulta la expulsión (requieren mayor fuerza de expulsión). La calidad superficial de los núcleos y matrices de un molde también condicionan la labor de expulsión de la pieza, ya que existe una adherencia de la pieza al molde, (incluso tratándose de superficies muy pulidas, las mínimas grietas pueden dificultar la operación de desmoldeo).

Es recomendable realizar un pulido a los núcleos y matrices a fin de eliminar todo tipo de desigualdades de estas piezas, incluso salientes microscópicas (una buena calidad solo se consigue en aceros no porosos de estructura uniforme).

La creencia de que una capa de cromo ayuda a mejorar la labor de expulsión de la pieza, en muchas ocasiones es falsa ya que la superficie de cromo difícilmente se puede aplicar de una manera uniforme.

Los ángulos de desmoldeo de una piezas plástica son importantes, para conseguir un buen desmoldeo.

Configuración de las varillas expulsoras

Se utilizan varillas expulsoras (pernos de empuje) nitruradas o templadas, según sea el tipo de utilización. Se fabrican con una tolerancia g6 para la varilla y H6 para el agujero, se recomienda una relación de 2.5 a 8 veces de longitud en relación con el diámetro. La mayoría de pernos están hechos con acero para trabajo en caliente AISI H13 y tratados para obtener una dureza superficial de 70Rc.

Para realizar un buen diseño del sistema de expulsión existen varios puntos que deben de ser tomados en cuenta y estos son:

- Carrera de apertura y de expulsión.
- Fuerza de expulsión de la máquina.
- Colocación de puntos de expulsión de la pieza.
- Tipo de expulsores, diseño, dimensiones y acabados.
- Diseño de las placas de expulsión y retención
- Retorno de la placa de expulsión.

El diseño de las varillas varía según la aplicación y se tiene la siguiente clasificación según la figura 1.51:

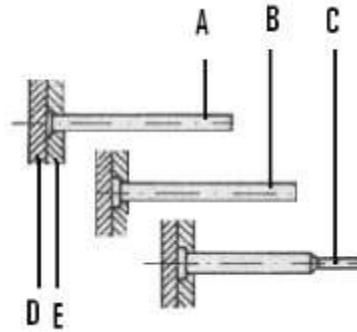


Figura 1.51 Representación esquemática de varias varillas de expulsión. (12)

- a) Varilla de cabeza cónica y vástago cilíndrico. Se utilizan cuando no hay especiales exigencias en cuanto a la transmisión de fuerza, se emplean con diámetros de 3 a 16 mm y una longitud de hasta 400 mm.
- b) Varilla de cabeza cilíndrica y vástago cilíndrico. Se utilizan cuando hay especiales exigencias en cuanto a grandes fuerzas de eyección, se emplean con diámetros de 3 a 16 mm y una longitud de hasta 400 mm.
- c) Varilla de cabeza cilíndrica y espiga en el extremo. Se utilizan cuando la superficie de ataque sobre la pieza es muy pequeña y la fuerza necesaria reducida. El vástago con espiga aumenta la resistencia al pandeo. Se emplean con diámetros de 1.5 a 3 mm y una longitud de hasta 200 mm. Se debe prestar atención en el diámetro de perno expulsor, ya que si éste es demasiado delgado pueden existir problemas de inestabilidad. Para determinar un diámetro adecuado se puede utilizar la siguiente fórmula:

$$d \geq 0.000836L\sqrt{p} \dots\dots\dots(1.12)$$

Donde:

d = diámetro del perno.

L = longitud no guiada del perno.

p = presión de inyección (presión dentro de la cavidad).

Para una aproximación rápida se puede recurrir a la tabla 1.5.

Tabla 1.5 Valores comunes de diámetros de varillas en relación con la longitud. [12]

diametro de la varilla d (mm)	longitud de la guia (mm)
1 a 3	aprox. (8 a 4) d
3 a 5	aprox. (4 a 3) d
5	aprox. (3 a 2.5) d

Contracción de la pieza

Las masas plásticas se contraen al solidificarse en el molde por causa del enfriamiento, la consecuencia es que las dimensiones son menores a las del molde, la contracción para cada plástico es distinta, dato importante si la geometría de la pieza final es funcional. En la realidad esto se resuelve tomando en cuenta el porcentaje de contracción para la pieza a moldear, es decir se debe sumar dicho porcentaje a las dimensiones del molde con el fin de que la pieza cuando se contraiga contenga las dimensiones deseadas. Algunos valores de porcentaje de contracción se muestran en la tabla 1.6.

Tabla 1.6 Contracción en % de plásticos. (12)

Material	% de contracción
Poliamida 6.	1 - 1.5
Poliamida 6 + fibra de vidrio 0.5	0.5
Poliamida 6.6	1 - 2
Poliamida 6.6 + fibra de vidrio 0.5	0.5
Polietileno baja densidad.	1.5 - 3
Polietileno alta densidad.	2 - 3
Poliestileno.	0.5 - 0.6
Estireno - acrilonitrilo.	0.4 - 0.6
Polimetacrilato.	0.3 - 0.6
Material	% de contracción
Policarbonato	0.8
Copolimero de acetato.	2
Cloruro de polivinilo duro.	0.5 - 0.7
Cloruro de polivinilo blando.	1 - 3
Acrlonitrilo-butadieno-estireno.	0.4 - 0.6
Polipropileno.	1.2 - 2
Acetato de celulosa.	0.5
Acetobutirato de celulosa.	0.5
Propionato de celulosa.	0.5

Además para no empeorar el problema de la contracción se deben tomar en cuenta las siguientes recomendaciones con el fin de mantener espesores uniformes en toda la pieza.

- Espesores de pared uniformes en la geometría de la pieza.
- Uso de radios y redondeos en esquinas y cavidades de la pieza.
- Que no existan grandes diferencias termales entre la cavidad y el corazón del molde.
- Tiempos y métodos de expulsión adecuados.

Cálculo del tiempo de enfriamiento

Al efectuar el llenado, se inyecta la masa fundida a elevada presión y gran velocidad en el molde debiendo entonces disiparse su calor hasta que se solidifique. La pieza solo puede ser desmoldada hasta que este solidificada. (En los plásticos que tienen tendencias al reticulado, el endurecimiento se efectúa por aportación de calor, es decir los moldes se calientan a la temperatura de reticulación de 160 a 200 °C).

En el diseño de moldes es indispensable considerar las temperaturas del molde y del material. Para el enfriamiento correcto del molde es necesario tomar en cuenta el llamado principio del cono, que consiste en enfriar desde el borde exterior hasta la punta de colada. La mazarota no ha de enfriarse demasiado pronto para que actúe la presión residual durante un tiempo determinado. El utilizar temperaturas altas de inyección provoca características buenas en la pieza, pero se requiere un periodo largo de enfriamiento.

El caso contrario provoca una disminución en la calidad, pero un pronto desmoldeo aumentado consecuentemente la producción.

Tabla 1.7 Para la determinación del tiempo de enfriamiento t según la pieza. [12]

Forma de la pieza	Dimensión principal	Tiempo de enfriamiento t_s
Cilindro	Diámetro d	$t = \frac{d^2}{23,14 \cdot \sigma} \text{ en } (1,599 T)$
	Longitud ∞	$t = \frac{1}{\left(\frac{23,14}{d^2} + \frac{\pi^2}{\rho}\right) \sigma} \text{ en } \left(\frac{6,396}{\pi} T\right)$
Cubo	Diámetro d	$t_s = \frac{h^2}{3 \cdot \pi^2 \cdot \sigma} \text{ en } \left(\frac{64}{\pi^3} T\right)$
	Longitud l	
Esfera	Longitud de las aristas h	$t = \frac{d^2}{4 \cdot \pi^2 \cdot \sigma} \text{ en } (2 T)$
	Diámetro d	

El tiempo de enfriamiento depende de la temperatura de la masa, de la temperatura de moldeo, de la temperatura de desmoldeo, de la conductividad térmica del material inyectado y del espesor de la pared.

Material	Conductibilidad térmica
Polietileno baja densidad	$7,4 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{s}$
Polietileno alta densidad	$7,7 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{s}$
Polipropileno	$7,6 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{s}$
Poliestireno	$8,3 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{s}$
Cloruro de polivinilo	$4,8 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{s}$

Tabla 1.8 Conductividad térmica de algunos materiales de inyección. [12]

Determinación del calor que debe disiparse por unidad de tiempo

El calor que debe desprender depende de la temperatura en masa de moldeo, de la temperatura de elaboración y de la temperatura media de desmoldeo. Para el cálculo de la cantidad de calor que debe disiparse del plástico, por unidad de tiempo se aplica:

$$Ts = \frac{-S^2}{2\pi\alpha} \times \ln \left[\frac{\pi(Tx - Tm)}{4(Tc - Tm)} \right] \dots\dots\dots(1.13)$$

Donde:

- Ts= Tiempo mínimo de enfriamiento en segundos.
- S= Espesor máximo de la pieza en centímetros (tabla 3.1).
- α=Difusividad térmica de material (cm² s⁻¹ / °C).
- Tx = Temperatura de extracción de la pieza en °C.
- Tm = Temperatura del molde en °C.
- Tc = Temperatura del material fundido en °C.

El calor que debe disiparse puede calcularse de acuerdo a la ecuación siguiente:

$$\sigma := \frac{(\Delta h \cdot m)}{(\text{"Tiempo estimado de inyeccion"})} \dots\dots\dots(1.14)$$

Δh= diferencia de entalpía específica.

m = masa de la pieza.

El valor de la entalpía de obtiene de la figura 3.25 donde

ΦE y ΦM significan temperatura de desmoldeo y temperatura de inyección respectivamente.

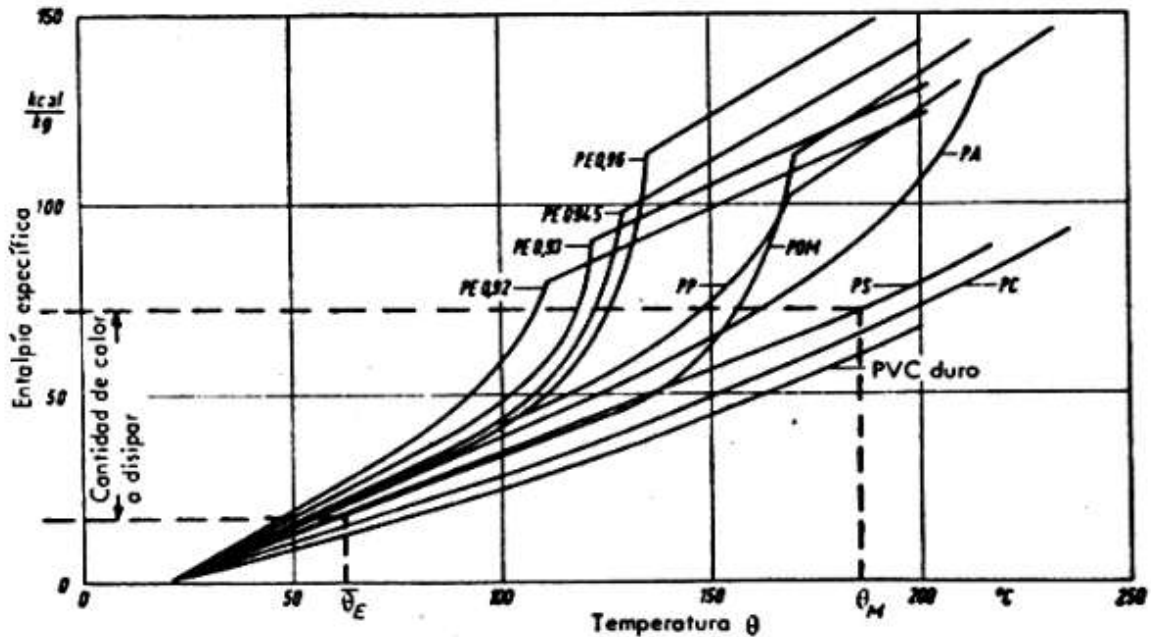


Figura 1.52 Entalpías de las masas termo plásticas. [12]

Disposición del sistema de enfriamiento en el molde

El agente moderador que fluye por los canales de enfriamiento del molde tiene la misión de aportar o disipar calor hasta que se obtenga la temperatura adecuada en la pared para el desmoldeo. También tiene que disipar el calor entre la superficie exterior del molde y el ambiente.

La temperatura del agente de acondicionamiento (tabla 1.9) es muchas veces distinta de la pared del molde (hasta 30 °C de diferencia). El gradiente de temperatura depende de las resistencias a la transmisión y la conducción térmica del molde y el calor a disipar.

Tabla 1.9 Tipos de líquidos intercambiadores de calor. [12]

Medios de acondicionamiento.	Temperatura.	Condiciones.
Agua	5 a 90 °C	Bajo presión, hasta 120 °C.
Mezcla agua/alcohol	< 5 °C	
Salmuera	< 5 °C	
Aceite	> 90 a 300 °C	

Algunos fluidos utilizados muestran temperaturas de operación (tabla 3.10). Distintas para diversas temperaturas de solidificación de plásticos.

Tabla 1.10 Temperaturas de operación. (12)

Material	Temperatura de elaboración [°C]
Poliétileno baja densidad	170-260
Poliétileno alta densidad	220-320
Poliestireno normal	200-250
Poliestireno antichoque	200-250
Poliámidas 6	240-290
Poliámidas 6 + fibra de vidrio	260-310
Poliámidas 6,6	260-300
Poliámidas 6,6 + fibra de vidrio	280-320
Poliámidas 6,10	230-260
Estireno-acrilonitrilo	230-260
Polimetacrilato	170-230
Policarbonato	280-310
Copolímero acetal	180-230
Cloruro de polivinilo blando	180
Cloruro de polivinilo duro	160-190
Polipropileno	180-280
Acetato de celulosa	180-230
Acetobutirato de celulosa	180-220
Propionato de celulosa	180-220
Acrilonitrilo-estireno-butadieno (ABS)	180-240

Las configuraciones que en la práctica han funcionado de una manera más eficaz son las mostradas en las figuras 1.53 y 1.54.

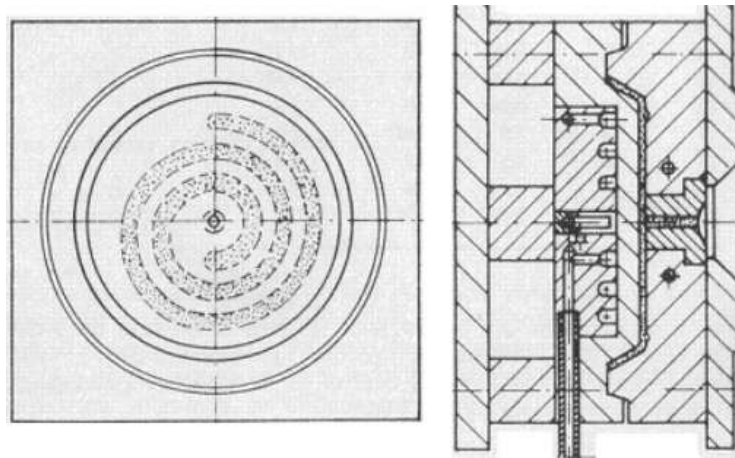


Figura 1.53 Disposición en espiral de los canales de refrigeración en piezas circulares [12]

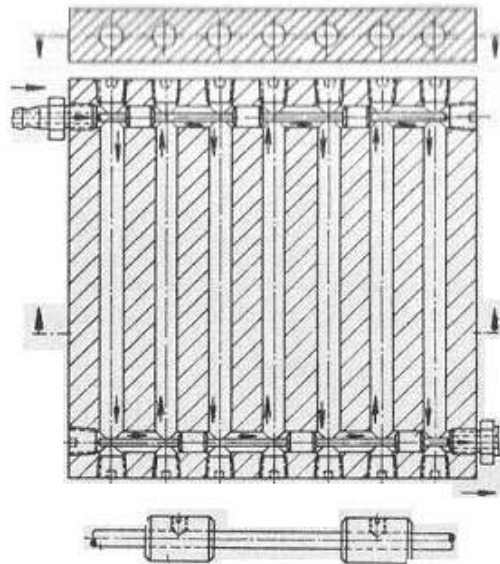


Figura 1.54 Disposición rectilínea de los canales de refrigeración en piezas rectangulares (12)

Cálculo del tiempo total de un ciclo de inyección

Si llamamos T_v al tiempo de apertura del molde más el tiempo de cierre del mismo, entonces el tiempo total de un ciclo es igual a:

$$T_{total} = T_v + T_i$$

T_v = Tiempo de enfriamiento.

T_i = Tiempo de apertura.

T_s = Tiempo de expulsión.

Proyecto del molde

El proyecto del molde tiene como objetivo principal:

1. El diseño de detalle de las distintas partes que componen el molde.
2. Identificar las herramientas necesarias para fabricarlo. Para llevar a cabo el proyecto del molde se cuenta con la salida del anteproyecto y del estudio previo del molde, conteniendo la siguiente información:
 1. La información sobre la geometría definitiva de la pieza.
 2. La oferta económica y los plazos de entrega estimados en la actividad de estudio previo.
 3. Toda la información del anteproyecto del molde.

Al final se obtiene:

La información geométrica y tecnológica completa de las cavidades e insertos del molde (dimensiones exactas, forma, posición, tolerancias, acabado superficial, método de fabricación, etc.), incluidos en los planos a detalle de todos los sistemas del molde.

Tabla 1.11 Partes y Fases del molde

1	Línea de partición	Desmoldee bien la pieza Marca de partición no visible
2	Equilibrado de fuerza de cierre	Colocación de la pieza/s en el molde
3	Punto de inyección	Próximo a la superficie de mejor acabado de la pieza Visibilidad de la marca de inyección visible Flujo sin obstáculos Frente de flujo continuo Situarse en zonas más gruesas Analizar posición de las líneas de soldadura
4	Sistema de distribución-bebedero	Diámetro mayor al lado del molde (10%-12% mayor) Analizar desmoldeo (bebedero invertido) Fijar el contacto con la boquilla Longitud reducida si se puede 5-9 veces diámetro Diámetro del pozo frío mayor que bebedero La mazarota debe expulsarse
	Sistema de distribución-canales	Seleccionar entre canales fríos o calientes Seleccionar la sección transversal Longitud reducida Disposición de los canales para mismas condiciones del polímero Analizar el enfriamiento
	Sistema de distribución-entrada	Permitir separación de la pieza Dimensionamiento para controlar la solidificación Analizar las marcas en la pieza Control del llenado en multicavidad

5	Respiraderos	Ranuras de 0,01 mm aprox.
6	Expulsores	Colocación en lugares de difícil extracción Empuje en zonas rígidas Seleccionar tipo
7	Refrigeración	Temperatura constante Distribución uniforme de temperatura Cuidar partes interiores

1.4. Periféricos

La transformación de los plásticos en general requiere además de la máquina que procesa el material convirtiéndolo en producto terminado, una serie de equipo periférico o auxiliar que sirve tanto para preparar el material, como para ayudar en el proceso mismo.

Es así, que cada proceso y cada planta dependiendo de sus características tendrán diferentes necesidades de equipo periférico. A continuación se menciona el equipo auxiliar más utilizado en el moldeo por inyección.

MOLINOS

La función de los molinos es moler y reducir de tamaño los desperdicios de los materiales plásticos tales como coladas y piezas defectuosas en la inyección.

Las compactadoras pueden procesar película, cintas, o monofilamento para convertirlo en pequeños granos de plástico del mismo tamaño.

Con las compactadoras y molinos se obtiene la materia prima para volver a fabricar envases y contenedores de plástico de diferentes tipos de plástico.

Compactadoras y molinos para reciclar plástico:



Fig. 1.55 Molino para plástico [8]

PIGMENTADORES

Los pigmentadores funcionan haciendo girar al material y al pigmento dentro de unos tambores para que las finas partículas del pigmento se adhieran a la superficie de los granos.



Fig. 1.56 Maquina de pigmentación [8]

SECADORES Y DESHUMIFICADORES.

Son equipos diseñados para eliminar la humedad que retienen los plásticos tanto por adhesión superficial como por absorción. Los secadores toman aire del medio ambiente, lo calientan y lo hacen pasar a través del material.

ALIMENTADORES.

La función de los alimentadores es la de dosificar la cantidad de material que llega a la tolva, la utilización de este equipo se justifica en el caso de plantas muy grandes en donde se alimenta automáticamente a una gran cantidad de inyectoras; o bien, donde se requiere reducir al mismo tiempo debido al manejo de materiales, la contaminación o el desperdicio de los mismos.



Fig. 1.57 Alimentadores [8]

REFRIGRADORES O CHILLERS.

La regulación de la temperatura del moldeo determina en forma decisiva la calidad y el tiempo de ciclo de las piezas moldeadas. Los refrigeradores se encargan de recoger el agua que sale del sistema de enfriamiento del molde para hacerla pasar por un sistema de condensación, disminuir así su temperatura hasta un valor prefijado y poder reciclarla.



Fig. 1.58 Chillers [8]

TERMORREGULADORES.

Se utilizan cuando las temperaturas a controlar se encuentran por encima de los 20 grados hasta los 200 grados, se utilizan los termorreguladores de aceite, que a través de la regulación de la temperatura del aceite que ocurre a través del sistema de temporizado de los moldes mantienen un nivel constante de temperatura del moldeo.



Fig. 1.59 Termorreguladores [8]

2. GENERALIDADES DE ADITIVOS

2.1 Introducción

La industria de los plásticos conoce desde siempre que la obtención de productos verdaderamente útiles sólo es posible si a la matriz polimérica se añaden ciertos aditivos. En general, se consideran aditivos aquellos materiales que van dispersos físicamente en una matriz polimérica, sin afectar a su estructura molecular. Por tanto, quedan excluidas sustancias tales como catalizadores, reticulantes, etcétera. La incorporación de aditivos a plásticos puede alterar considerablemente las propiedades del material. Por ejemplo, en el caso del caucho según los aditivos que se empleen se pueden obtener neumáticos, suelas de zapatillas, colchones, bandas elásticas, gomas de borrar, etc. En el caso del PVC se puede obtener tubos rígidos, botellas, recubrimientos de cables, bandas transportadoras, ropa, balones, muñecas, etc., todos ellos materiales con propiedades y aspecto muy diverso.

Los aditivos se clasifican según su función y no en relación con su constitución química (tabla 2.1). Por su especial importancia, en este tema trataremos los plastificantes, estabilizantes, lubricantes, modificadores de impacto, retardantes de llama, agentes espumantes, cargas y pigmentos y colorantes.

Todos los aditivos deben cumplir una serie de requisitos técnicos. En general se espera que sean altamente eficaces, de modo que se consigan los objetivos propuestos a una concentración que sea aceptable económicamente. Ciertas mejoras en una determinada propiedad pueden dar lugar al empeoramiento de otras; por tanto, lo que determina la elección final de uno o varios aditivos es el comportamiento considerado en su conjunto. En algunos casos, cuando las moléculas de aditivo deben interactuar con las de polímero es preciso que exista una compatibilidad alta, es decir, una alta miscibilidad a nivel molecular. Sin embargo en otros casos es deseable que el aditivo y el polímero formen dos fases bien diferenciadas. Un aditivo, además, no debe ser volátil en las condiciones del proceso de transformación. Esto significa que debe tener una tensión de vapor baja a altas temperaturas y no debe tender a agregarse, lo que daría lugar a un depósito del aditivo en forma de capa fina superficial.

Un aditivo no debe exudar durante su vida en servicio, ya que daría lugar a problemas de estética y a la pérdida de eficacia por eliminación del aditivo. Los aditivos inorgánicos insolubles, tales como pigmentos, cargas, etc., no dan lugar, en general, a fenómenos de exudación, mientras que los plastificantes de bajo peso molecular, por ejemplo, tendrán más tendencia a migrar y exudar a la superficie durante el proceso de transformación y posteriormente por envejecimiento. Además, pueden ser vehículo para la migración de otros aditivos solubles. Por último, un aditivo no debe ser tóxico ni perjudicial para la salud del personal que lo manipule ni tampoco para los usuarios, especialmente cuando el material se utiliza para entrar en contacto con productos alimentarios, farmacéuticos o que se emplean en juguetería.

Tabla 2.1 Tipos de aditivos [16]

Función del aditivo	Tipo de aditivo
Aditivos que facilitan el procesado	Estabilizantes Lubricantes
Aditivos que modifican las propiedades mecánicas	Plastificantes Cargas reforzantes Modificadores de impacto
Aditivos que disminuyen costos de las formulaciones	Cargas Diluyentes y extendedores
Modificadores de propiedades superficiales	Agentes antiestáticos Aditivos antideslizamiento Aditivos antidesgaste Promotores de adhesión
Modificadores de propiedades ópticas	Pigmentos y colorantes Agentes de nucleación
Aditivos contra el envejecimiento	Estabilizantes contra luz UV Fungicidas
Otros	Agentes espumantes Retardantes de llama

2.2 Masterbatch

El término masterbatch describe granzas de plástico que contienen una concentración alta en pigmentos de color o aditivos. El porcentaje de pigmento o aditivo en el masterbatch es superior al del producto final. El masterbatch está hecho de polímeros vírgenes que posteriormente son coloreados o transformados de otra forma. Un masterbatch con base polimérico en forma de granza garantiza un grado de seguridad de proceso superior al de las sustancias en pasta, polvo o líquido y reduce drásticamente la contaminación.

Una explicación de la palabra "masterbatch" viene del término general utilizado en la producción de goma. Antiguamente solo un maestro artesano podía fabricar y mezclar los batches concentrados (de ahí la palabra masterbatch).

Básicamente existen tres grupos de masterbatch: masterbatch de color (monopigmento o a medida) utilizado para colorear productos de plástico, masterbatch de aditivo que determina propiedades de los productos finales (p.e. Estabilizantes de UV, protección contra las llamas, antiestática o antibloqueo) y finalmente masterbatch de combinación de color y aditivos. En general la concentración del masterbatch tiene un ratio pigmento y/o aditivo de $40\% \pm 10\%$.

Con una extrusora (normalmente doble husillo), los polímeros, pigmentos y/o aditivos se mezclan hasta obtener homogeneidad. Esto se consigue aplicando un proceso de premezcla y/o

alimentación partida. Durante el proceso de premezcla una premezcla de polímero, pigmento/aditivo y eventualmente medios de dispersión se juntan en la zona de la entrada principal. Esta premezcla se introduce en batches dentro de mezcladores. Los procesos de mezcla, humidificación, homogeneización y dispersión se llevan a cabo en la extrusora. Un dosificador volumétrico es suficiente para un proceso de premezcla ya que un mezclador separado pesa y adapta con exactitud los elementos de la receta.

Durante el proceso de alimentación partida se equipa una extrusora de doble husillo con una entrada principal y una entrada lateral en la que se instala la alimentación lateral para que el pigmento/aditivo y en dado caso los medios de dispersión fluyan hacia el ya plastificado polímero y se mezclen de forma homogénea. Para obtener una mezcla de receta consistente es preciso utilizar una unidad de dosificación por pérdida de peso en las entradas principales y laterales.

La mezcla de Masterbatch en ambos casos arriba mencionados se solidifica tras su salida por la boquilla por peletización de hilos, anillo de agua o bajo el agua.

En general los granulados pasan directamente al sistema de llenado de sacos. En procesos posteriores el masterbatch monopigmento o aditivo se transporta hacia máquinas procesadoras de plástico como máquinas de moldeo por inyección/soplado y extrusoras de láminas o cable.

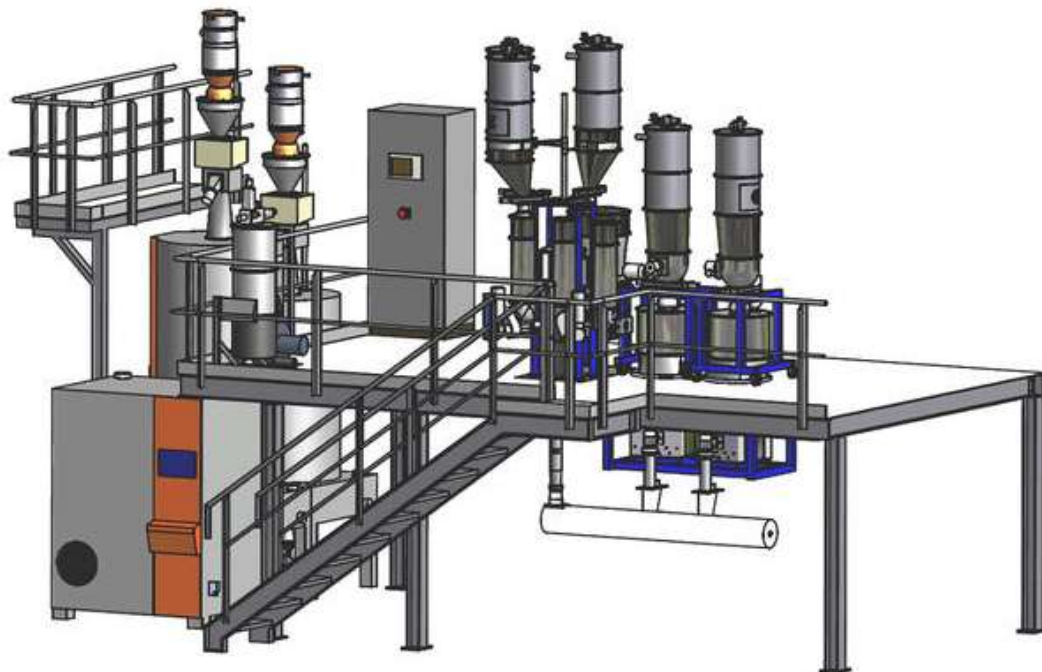


Fig. 2.1 Layout del sistema [15]

Masterbatch a medida

El masterbatch a medida o masterbatch personalizado pertenece a la familia de los masterbatches de color. Su contenido en pigmentos es superior al necesario en una pieza acabada. Para su uso final, se diluye con el polímero a colorear para producir la concentración de color requerida en el producto acabado. Un masterbatch a medida es una mezcla, fabricada por extrusión (comúnmente extrusión de doble husillo), de materbatches monopigmentos prefabricados y de color personalizado. Un reto específico de la fabricación de masterbatch a medida es la homogeneidad al 100% para garantizar la precisión deseada al colorear el producto final.

Para esta aplicación la extrusora de doble husillo cuenta con una entrada principal por la que los ingredientes de la receta alimentan a la unidad de proceso mediante unidades de dosificación por pérdida de peso. La mezcla y homogeneización de los diversos masterbatches monopigmentos se llevan a cabo en la extrusora. Tras la apertura del cabezal, el masterbatch a medida mezclado de forma homogénea se solidifica en forma de granulado por peletización de hilos, anillo de agua o bajo agua.

En general las granzas se transportan directamente al sistema de llenado de sacos. En otra etapa el masterbatch a medida se usa para el coloreado de productos finales en máquinas procesadoras de plástico como máquinas de moldeo por inyección/soplado y extrusoras de film o cable.



Fig. 2.2 Layout del sistema [17]

2.4. Temperatura de transición vítrea (Tg)

Unas de las propiedades más importantes y características que definen a un polímero (y por ende a un adhesivo) es su temperatura de transición vítrea, el valor de la temperatura de transición vítrea está directamente relacionado con las propiedades mecánicas (resistencia, dureza, fragilidad, elongación...) que el polímero (adhesivo) presenta a la temperatura que se encuentra expuesta, ¿nunca has observado porque ciertos plásticos en invierno se vuelven duros y quebradizos?, la explicación se encuentra en su temperatura de transición vítrea.

La temperatura de transición vítrea (Tg) se define como la temperatura a la cual las propiedades mecánicas de un plástico / adhesivo cambian radicalmente debido a los movimientos internos de las cadenas poliméricas que componen al plástico / adhesivo.

En la primera parte de la definición, identificamos a la Tg como la temperatura a la cual las propiedades mecánicas del adhesivo cambian radicalmente, por lo que la temperatura de transición vítrea nos define indirectamente el rango de temperaturas en el cual puede trabajar o estar expuesto el adhesivo/plástico, por ello la Tg también es conocida como la temperatura de trabajo y el conocimiento de su valor es de vital importancia en la fase de diseño.

En la segunda parte de la definición, identificamos la causa de la Tg por la facilidad o restricción de los movimientos de las cadenas poliméricas que ocurren dentro del plástico/adhesivo. Cuando el adhesivo o plástico se encuentra expuesto a unas temperaturas inferiores a su Tg, el movimiento de las cadenas poliméricas disminuye haciendo que el material adquiera un comportamiento rígido y quebradizo, a temperaturas superiores a su Tg el movimiento de las cadenas poliméricas aumenta haciendo que el material adquiera un comportamiento elástico.

En función de los requerimientos a cumplir podemos utilizar un adhesivo u otro haciéndolo trabajar a una Tg superior o inferior, por ejemplo los adhesivos de poliuretano de 1 componente de curado por humedad disponen de una Tg de -45°C , por ello en condiciones ambientales normales se comportan como un elastómero, es decir adquieren un comportamiento elástico y por ello este tipo de adhesivo se utiliza para la realización de uniones elásticas, si este mismo adhesivo se ubica en la Antártida a una temperatura de -60°C automáticamente pasaría a su estado vítreo donde el adhesivo se volvería rígido y quebradizo como el cristal, aumentado su resistencia a esfuerzos pero disminuyendo su elasticidad de manera brusca. Por otro lado nos encontramos con los adhesivos rígidos como los Epoxi, donde su Tg es aproximadamente de 100°C , por ello en condiciones normales siempre trabajan en su estado vítreo dando lugar a sus propiedades de poca elongación y alta resistencia frente a esfuerzos.

Durante la formulación y diseño del adhesivo existen compuestos químicos capaces de disminuir la temperatura de transición vítrea, estos compuestos son conocidos como plastificantes y tienen por objetivo separar las cadenas poliméricas que conforma el adhesivo, con objeto de aumentar el volumen y por ende facilitar el movimiento entre ellas, de tal forma que a mayor movimiento

menor temperatura de transición vítrea y mayor comportamiento elástico tendrá el adhesivo resultante.

Métodos y técnicas para la identificación de la Tg.

Tal y como hemos comentado anteriormente, el conocimiento de la Tg de un adhesivo es un dato vital y necesario durante la fase de diseño de una unión adhesiva, imaginemos que hemos diseñado una unión elástica con un adhesivo cuya Tg es 5 °C , si dicha unión se encuentra a -3°C el propio adhesivo se volverá rígido y duro llegando a producir la rotura frente a los esfuerzos a los cuales ha sido diseñado inicialmente.

Generalmente la temperatura de transición vítrea es un dato aportado por el fabricante del adhesivo y se puede encontrar en las fichas técnicas del producto, para conocer dicho valor el fabricante o usuario utiliza alguna de las siguientes técnicas de análisis térmico:

- Calorimetría diferencial de barrido
- Análisis termomecánico
- Análisis termodinámico

En cada una de las técnicas anteriores se somete una muestra del adhesivo a un ensayo en el cual se mide la cantidad de calor, la variación dimensional o la deformación que sufre la pieza en función de la temperatura, es decir la recolecta de datos se realiza cuando existe un cambio en la temperatura a la cual se somete la muestra, de tal forma que somos capaces de representar las propiedades mecánicas del adhesivo en función de la temperatura en el cual se encuentre, y por ende somos capaces de identificar su temperatura de transición vítrea.

Por último es necesario indicar que la Tg es aplicable en los adhesivos / polímeros termoplásticos y elastómeros, siendo inapreciable en los termoestables donde los movimientos de sus cadenas poliméricas quedan muy restringidos por su propia configuración altamente reticulada, es por ello que los adhesivos termoestables siempre se comportan como materiales rígidos y duros, es decir siempre se comportan como materiales vítreos.

3. TIPOS DE ADITIVOS

3.1 Plastificantes

Según el Consejo de la IUPAC (*International Union of Pure and Applied Chemistry*) “un plastificante es una sustancia que se incorpora a un material plástico o elastómero para aumentar su flexibilidad y facilitar su transformación. Un plastificante puede reducir la viscosidad del fundido, rebajar la temperatura de transición vítrea o disminuir el módulo elástico del fundido”. Esta definición pone de manifiesto las múltiples funciones que puede desarrollar un plastificante en un sistema polímero-plastificante.

Desde el punto de vista tecnológico, la eficacia de un plastificante se suele expresar como la cantidad de plastificante necesaria para alcanzar un valor dado de una propiedad de interés práctico; por ejemplo, la cantidad en que el valor de la Tg del polímero disminuye al introducir el plastificante.

En muchos casos, una buena eficacia es una propiedad muy importante; sin embargo, en otros puede suceder lo contrario: por ejemplo, si el plastificante es bastante más barato que el polímero, cuanto menor sea la eficacia mayor será la cantidad de plastificante necesaria para alcanzar un módulo o dureza dados, por lo que el coste de la formulación final será más bajo. En formulaciones de plastisoles de PVC puede lograrse viscosidad más baja y, normalmente, menor envejecimiento si se usan cantidades mayores de un plastificante de menor eficacia. Los plastificantes se emplean en concentraciones que pueden oscilar entre 40 y 180 phr.

3.1.1 Teorías de la plastificación

La Teoría del volumen libre de Sears y Darby propone que entre las moléculas de un polímero tan solo existe volumen libre y que suficiente volumen libre permite libertad de movimiento. A mayor volumen libre mayor facilidad de movimiento de las moléculas o partes de las mismas, y por tanto mayor flexibilidad y menor Tg.

Se puede conseguir un aumento del volumen libre aumentando los grupos terminales (introduciendo ramificaciones o disminuyendo el peso molecular), o aumentando la temperatura, como se esquematiza en la figura 2.1. La adición de pequeñas moléculas de plastificante, con cadenas flexibles implica gran cantidad de volumen libre. El resultado de aumentar el volumen libre de una molécula al incorporar un plastificante es una reducción de la Tg, una mayor flexibilidad, aumento de la elongación a la rotura, etc.

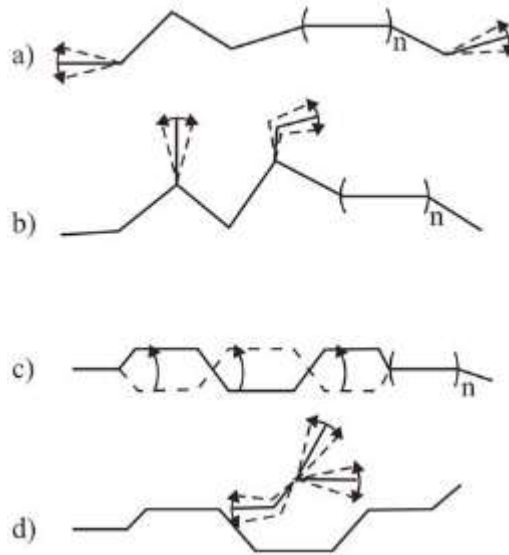


Figura 3.1 Efecto sobre el volumen libre de a) los grupos terminales, b) ramificaciones, c) vibraciones consecuencia del aumento de la temperatura y d) la adición de plastificantes [16]

La teoría del volumen libre está ampliamente difundida, sin embargo no explica aspectos básicos de la plastificación, como por qué algunas sustancias son útiles como plastificantes y otras no, ni el hecho de que algunos polímeros se plastifican con facilidad mientras que otros no lo hacen.

Moorshead desarrolló un enfoque empírico para explicar el fenómeno de la plastificación, el cual trataremos con un cierto detalle por considerarlo muy práctico y fácilmente comprensible. Se refiere al PVC en particular y se plantea el por qué este polímero puede ser plastificado tan eficazmente, por qué determinados productos químicos son apropiados como plastificantes y, lo que es más importante, por qué ciertas estructuras químicas en un plastificante comunican propiedades tan interesantes.

Modelo de Moorshead

En general todas las teorías de la plastificación están de acuerdo en que un plastificante penetra en el interior de la masa del polímero y separa las cadenas, reduciendo así las fuerzas de atracción entre ellas. Las moléculas de un polímero altamente reticulado se mantienen juntas por enlaces covalentes, que no permiten que el plastificante separe las cadenas entre sí. En el caso de un polímero altamente cristalino, las fuerzas de asociación son casi tan fuertes como los enlaces covalentes, por lo que el efecto es similar al caso anterior.

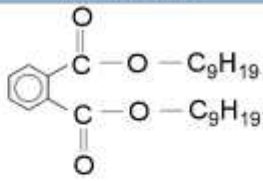
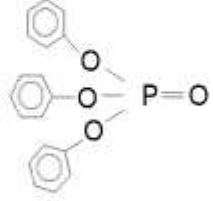
Estos tipos de polímeros no se pueden plastificar. De igual manera, todos los líquidos, de acuerdo con su estructura química, poseen una cohesión característica. Para conseguir que el polímero y el plastificante se mezclen adecuadamente la fuerza cohesiva que atrae las moléculas del líquido

entre sí debe ser del mismo orden que la que atrae las moléculas del polímero. Si la fuerza cohesiva de las moléculas de polímero es mucho mayor que la del líquido, las cadenas del polímero se asocian entre sí preferentemente y rechazan al líquido, cuyas moléculas se asocian también entre sí para formar gotitas, y lo mismo ocurriría en caso contrario.

En el caso del PVC, las cadenas son casi lineales y hay muy pocas zonas cristalinas. Los átomos de cloro, que son voluminosos, separan las cadenas del polímero reduciéndose así las fuerzas de Van der Waals, responsables de la cohesión en polímeros tales como el PE. Sin embargo, en el PVC, hay un átomo de Cl que sustituye a un átomo de H en átomos de C alternativos. El átomo de Cl no equilibrado, da lugar al desplazamiento de una carga, por lo que forma un dipolo. Las fuerzas de atracción debidas a los dipolos y, en menor proporción, las fuerzas de Van der Waals debidas al C y al H, así como las zonas cristalinas que pudieran existir, proporcionan la cohesión total del polímero.

En el PVC la fuerza de cohesión dominante es la debida a la interacción dipolo-dipolo. Los líquidos que posean una estructura dipolar adecuada serán los más compatibles con el PVC. Los dipolos más corrientes en los plastificantes son los grupos éster de ácidos carboxílicos o de oxiácidos inorgánicos. Otro dipolo particularmente útil e interesante es el anillo de oxirano (grupo epoxi). En la tabla 2.3 se muestra la estructura de 4 plastificantes pertenecientes a las familias más comunes (fosfatos, ftalatos, adipatos y epoxi).

Tabla 3.1 Plastificantes más frecuentes [16]

Familia	Plastificante	Estructura
Ftalato	DINP Diiso-nonil ftalato	
Fosfato	TFF Trifenil fosfato	
Adipato	DOA Diiso-octiladipato	$H_{17}C_8 - O - C(=O) - (CH_2)_8 - C(=O) - O - C_8H_{17}$
Epoxi	Epoxiestearato de octilo	$H_{17}C_8 - O - C(=O) - (CH_2)_{14} - \begin{matrix} \diagup O \diagdown \\ C - C \end{matrix} - C_8H_{17}$

La estructura de la molécula de plastificante en su conjunto tiene un profundo efecto en las propiedades del compuesto plastificado. Mientras que los grupos polares son esenciales para lograr una buena compatibilidad, el resto de la molécula puede ser cíclica o alifática, o lo que es más corriente, parte cíclica y parte alifática. Si el plastificante contiene grupos polares y polarizables (caso de los ftalatos y de los fosfatos de arilo), la resistencia a la tracción en el polímero plastificado será grande pero su flexibilidad sólo mejorará moderadamente, ya que habrá puntos de alta cohesión en muchas zonas de las cadenas del polímero (de forma similar a cuando el polímero se encuentra sin plastificar). Sin embargo, si la molécula de plastificante contiene además grupos alifáticos no-polares y no-polarizables, estos grupos separarán los dipolos del polímero sin introducir nuevos puntos de interacción entre las cadenas. Los dipolos del polímero que resultan apantallados por grupos alifáticos del plastificante se comportan como líquidos, como se esquematiza en la figura 2.2. Las moléculas plastificadas con estos plastificantes presentan una buena flexibilidad.

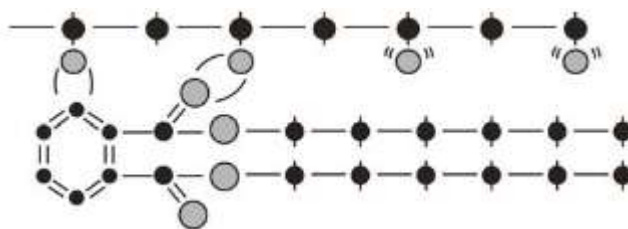


Figura 3.2 Asociación plastificante-polímero y efecto de apantallamiento de la cadena alifática de del plastificante. [16]

3.2 Estabilizantes

Desde que los polímeros sintéticos comenzaron a emplearse han interesado todos los procesos que, desencadenados por la acción de factores externos (calor, atmósfera, radiaciones, etc.), conducen al deterioro de su estructura. Generalmente los estabilizantes ejercen una acción retardante sobre el proceso de degradación.

Un buen estabilizante debe ser capaz de controlar los procesos que tienen lugar durante la descomposición de los polímeros, pero además hay una serie de propiedades de otra índole que se suele exigir a los estabilizantes, como buena compatibilidad con el polímero, efectividad a bajas concentraciones, no afectar a otras propiedades de la formulación, bajo coste, y en ocasiones, estar exentos de color, olor y toxicidad. Se suelen emplear en concentraciones entre 1 y 6 phr.

3.2.1. Antioxidantes

Algunos polímeros como el polipropileno, que presentan átomos de carbono terciarios, tienden a oxidarse cuando se exponen a la intemperie. Las reacciones de oxidación comienzan con la formación de radicales libres, que en presencia de oxígeno forman peróxidos, produciéndose finalmente la rotura de la cadena y por tanto la degradación del material. En general, se supone

que los antioxidantes interrumpen las reacciones de degradación combinándose con los radicales libres o con los peróxidos formados, dando lugar a especies no reactivas. Muchos de los estabilizantes primarios son fenoles estéricamente impedidos o aminas aromáticas. En el esquema se muestra la reacción de estabilización de un polímero con di-ter-butil-p-cresol.

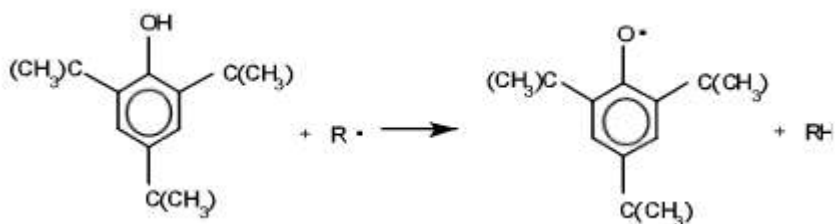


Figura 3.3 Esquema se muestra la reacción de estabilización de un polímero con di-ter-butil-p-cresol. [16]

3.2.2. Estabilizantes ultravioleta

Los estabilizantes ultravioleta generalmente se utilizan junto con los antioxidantes. La energía de la radiación UV que alcanza la superficie de la tierra puede ser lo suficientemente elevada para producir la rotura de los enlaces covalentes en los polímeros, y la consiguiente pérdida de propiedades con el amarilleo de su superficie. Estos estabilizantes absorben energía a una longitud de onda que resultaría perjudicial para los polímeros y la reemiten a una longitud de onda diferente. Se utilizan las 4-alcóxibenzofenonas, benzotriazoles, acrilonitrilos sustituidos, entre otros. A modo de ejemplo sobre el modo de actuación de estos compuestos, en la siguiente reacción se muestra la absorción de energía del salicilato de fenilo para formar una hidroxibenzofenona, y la posterior emisión de energía del quelato para formar una quinona.

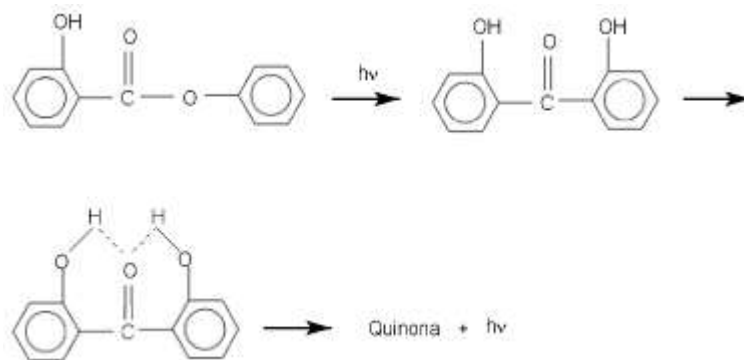


Figura 3.4 Reacción para la absorción de energía del salicilato de fenilo. [16]

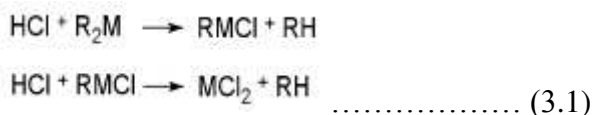
3.2.3. Estabilizantes térmicos

Los estabilizantes térmicos generalmente se emplean con polímeros halogenados. Los polímeros halogenados, tales como los derivados del cloruro de vinilo y de vinilideno tienen una gran importancia comercial, a pesar de que presentan problemas especiales con respecto a su estabilidad térmica durante el procesado. Además de las reacciones oxidativas que tienen lugar en

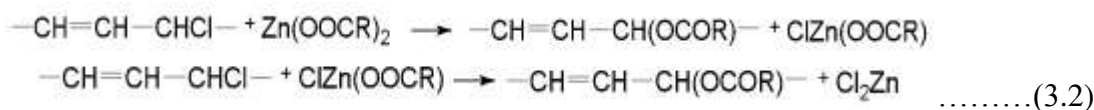
el resto de polímeros, en el caso de los polímeros halogenados puede tener lugar un proceso de deshidrohalogenación muy rápido. El haluro de hidrógeno formado durante la descomposición de estos polímeros actúa además como catalizador de la misma. Otra desventaja adicional en estos polímeros es que los dobles enlaces conjugados formados durante el proceso de deshidrohalogenación confieren una fuerte coloración a los productos.

Muchos polímeros halogenados, como el PVC, presentan una temperatura de descomposición inferior a su temperatura de procesado, de modo que el empleo de estos estabilizantes es imprescindible con estos materiales.

Dentro de las sustancias que pueden actuar como estabilizantes térmicos para el PVC y otros polímeros halogenados, los carboxilatos metálicos (R_2M) constituyen el grupo más numeroso y homogéneo, y además cubren el mayor número de aplicaciones. Al igual que el mecanismo de degradación del PVC, la forma en que los estabilizantes interaccionan con éste no está del todo clara. Los siguientes mecanismos que se muestran hacen referencia al PVC, pero serían igualmente válidos para otros polímeros halogenados. Un modo de acción de los estabilizantes podría ser que reaccionaran con el cloruro de hidrógeno formado en la descomposición del PVC (o en general con el haluro de hidrógeno para otros polímeros halogenados):



La otra posibilidad es que el estabilizante reaccione directamente con las estructuras lábiles del polímero. Los carboxilatos metálicos de Cd y Zn y de otros metales como Pb, Ba, Sn, pueden reaccionar con los átomos de cloro lábiles, impidiendo el crecimiento de las cadenas poliénicas, de la forma siguiente:



3.3. Lubricantes

Los lubricantes se utilizan para disminuir las fuerzas de fricción y reducir el desgaste de dos cuerpos que rozan entre sí. En la industria de transformación de plásticos es frecuente que en diferentes etapas del procesado del polímero aparezcan problemas como consecuencia de una fricción excesiva. En ocasiones ésta ocurre en las tolvas de alimentación de la granza del polímero creando problemas en el transporte y alimentación a los equipos de transformación. También es frecuente que se produzca fricción excesiva entre el polímero fundido y las superficies metálicas de los equipos de transformación, que podría dificultar seriamente el flujo

del fundido, dando lugar a efectos indeseables tales como baja producción o mala calidad superficial del producto acabado.

En ocasiones también se presentan problemas de este tipo durante las operaciones de acabado, por ejemplo, durante la impresión, envasado y embalaje. Para resolver estos problemas se suelen emplear lubricantes internos (lubricación de capa sólida) y lubricantes externos (lubricación en la capa límite). Realmente los lubricantes no pueden dividirse categóricamente en externos e internos, ya que es probable que la mayor parte de ellos actúen de ambas maneras; por tanto, la clasificación se refiere al comportamiento dominante.

3.3.1. *Lubricantes externos*

Tienen como misión reducir y controlar la adhesión entre el polímero y las partes metálicas de los equipos de transformación. Deben tener baja solubilidad en el polímero, sobre todo a las temperaturas de procesado, pero han de tener suficiente polaridad de modo que tengan afinidad tanto por el polímero como por las superficies metálicas. Esto se consigue con moléculas que posean una zona polar y una apolar.

En el proceso de lubricación los grupos polares de las moléculas del lubricante se orientan hacia la superficie metálica y forman una capa permanente. Esta capa límite de la película lubricante consiste en moléculas orientadas hacia la parte metálica del equipo, como se muestra en la figura 2.3, evitando ser solvatadas por las moléculas móviles del polímero. Este mecanismo se aplica a todos los sistemas poliméricos, sean o no polares.

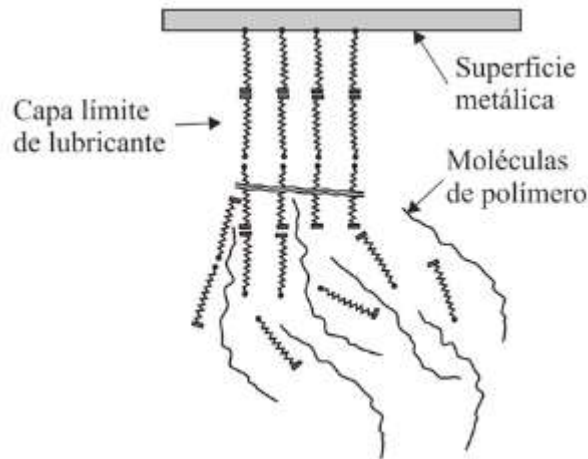


Figura 3.5 Capa límite de lubricante entre la superficie metálica y el polímero fundido. [16]

En general, la compatibilidad de estos lubricantes con el polímero es baja y, por consiguiente, la formación de una capa límite se puede lograr con niveles muy bajos de incorporación. La velocidad de migración de los lubricantes a la interfase es bastante baja, debido a su peso molecular relativamente alto y a la baja concentración en el sistema.

Al aumentar la concentración de lubricante y debido a su reducida compatibilidad con el polímero, puede producirse una exudación o migración hacia la superficie, que podría incluso arrastrar partículas de pigmentos o de cargas y formar un depósito en las superficies del equipo y del material.

Los lubricantes externos más usados son: ácido esteárico, estearato cálcico y de plomo, ceras de parafina y otras ceras, PE de bajo peso molecular, ciertos ésteres, tales como palmitato de etilo, etcétera. Las concentraciones empleadas se sitúan normalmente entre 0.5 y 1.0 phr.

3.3.2. *Lubricantes internos*

La función de estos aditivos consiste en disminuir la fricción de las moléculas de polímero entre sí, de modo que mejore el flujo del material. Idealmente, los lubricantes internos deben ser compatibles con el polímero sólo a altas temperaturas. Si la compatibilidad se mantiene también a temperaturas bajas el lubricante debe usarse en pequeñas concentraciones. Un exceso de lubricación podría provocar el deslizamiento excesivo entre partículas y partículas/metal. Esta situación daría lugar a una velocidad menor de fusión y en consecuencia provocaría una disminución en la producción.

En general, los lubricantes internos son químicamente similares a los externos, con la excepción de que tienen mayor compatibilidad con el polímero y no migran fácilmente a la superficie. Además de los productos ya citados como lubricantes externos, se usan como internos los siguientes: derivados de ceras, como ésteres de cera de Montana; gliceril ésteres, tales como los de los ácidos esteárico y oleico; alcoholes de cadena larga, etcétera. Se emplean en concentraciones entre 1 y 2 phr.

3.4. Cargas

El concepto de carga es muy amplio, pero se pueden definir las cargas como materiales sólidos que se añaden a las formulaciones de plásticos y adhesivos, con objeto de reducir costes. Una carga debería no interferir con las propiedades del polímero (propiedades mecánicas, comportamiento reológico, color) y debería dispersarse en el polímero con facilidad, de modo que la distribución sea adecuada, lo que difícilmente se consigue en la práctica. Por otra parte, las cargas deben ser baratas de modo que supongan una clara disminución del coste de la formulación.

Sin embargo, en el caso de cargas con densidades muy bajas se puede conseguir una disminución sustancial del precio de una formulación aun cuando la carga sea más cara que el resto de componentes, pues al reducir la densidad de la formulación se puede reducir el peso de la pieza acabada, lo que puede ser doblemente interesante.

La naturaleza química de las cargas puede ser muy diversa. Se utilizan desde las sustancias inorgánicas minerales más sencillas como carbonato de calcio, sulfatos de metales

alcalinotérreos, silicatos, sílices y otros óxidos, hasta negro de humo, microesferas de vidrio o cerámica, entre otras. Entre las cargas orgánicas se encuentran la celulosa, almidón, cáscara de almendra, etc. Se emplean generalmente en concentraciones de entre 5 y 50 phr.

En general los materiales cargados presentan peores propiedades mecánicas (resistencia a la tracción e impacto) y problemas de blanqueamiento al aplicar un esfuerzo (deshumedecen), por ello solo se emplean para aplicaciones de bajos requerimientos.

3.5. Retardantes de llama

Para que se produzca el proceso de combustión es necesario que haya oxígeno, un combustible y temperatura alta. Cuando se dan estas condiciones se produce una reacción muy exotérmica con llama.

Cuando los polímeros se calientan experimentan rotura química de sus enlaces con formación de volátiles, generalmente hidrocarburos de bajo peso molecular, lo que conduce a la formación de un residuo poroso. Generalmente estas reacciones se inician en el interior del material y en condiciones de pirólisis (en ausencia de oxígeno), por tanto son endotérmicas y con tendencia a autoextinguirse. Sin embargo la formación del residuo poroso facilita la penetración del oxígeno del aire, con lo que la reacción de combustión de los volátiles formados puede tener lugar.

Si esto sucede, el calor generado por combustión suministra continuamente la energía necesaria para la pirólisis del material. Por lo tanto, puede haber una subida de la temperatura y eventualmente los vapores generados en la pirólisis se inflamarán por combinación con O_2 para formar llama. En este caso se dice que el material es inflamable (o combustible). Si tal calor de combustión no es suficiente para que el material pirolice y produzca volátiles a velocidad suficiente, la llama se extinguirá. Se dice, entonces que el material es autoextinguible.

Los volátiles generados en la degradación térmica de polímeros contienen por lo general grupos C-C y C-H y son buenos combustibles. Los productos no-combustibles de la pirólisis, tales como haluros de halógenos, aminas, CO_2 , etc., dan lugar a una subida de la temperatura de ignición y a un incremento de la demanda de oxígeno para mantener la ignición, por tanto, pueden provocar la autoextinción de los productos de combustión.

A los aditivos capaces de lograr una reducción en la tendencia a la ignición se les llama retardantes de llama. Pueden actuar de forma muy diferente, como por ejemplo, por recubrimiento del área expuesta, de modo que reducen la permeación de oxígeno y así, la velocidad de las reacciones oxidativas.

También pueden actuar como retardantes de llama aquellos compuestos que conducen a la formación de grandes cantidades de gases incombustibles que diluirán el suministro de oxígeno y reducirán la velocidad de combustión. A su vez, esta situ

ación disminuiría la temperatura del material, que podría caer por debajo de la temperatura de ignición, provocando la autoextinción.

Los sistemas retardantes de llama más utilizados comercialmente son bromuros y cloruros orgánicos. Se pueden emplear acompañados de óxidos de antimonio, compuestos de fósforo y boro.

3.6. Agentes espumantes

Su función consiste en producir estructuras celulares en los plásticos, es decir, estructuras que contienen grandes proporciones de celdillas finas llenas de gas. Estas celdillas pueden ser cerradas o abiertas. Las propiedades físicas de los compuestos resultantes serán intermedias entre las del sólido y las del gas. Como se vio al principio del tema, en los plásticos espumados se consiguen importantes modificaciones en la densidad, conductividad térmica, propiedades dieléctricas y disipación de energía acústica y mecánica

Los agentes espumantes usados en la producción de plásticos celulares se dividen en físicos y químicos, de acuerdo a si el gas se genera por un proceso físico (evaporación, sublimación) o por uno químico (rotura de la estructura química o por otras reacciones químicas). Los agentes espumantes físicos son normalmente líquidos de bajo punto de ebullición, que son solubles en la matriz polimérica. Ejercen su acción cuando se llevan a las condiciones de evaporación al incrementar la temperatura y/o reducir de la presión del sistema.

Son, por ejemplo, pentano, heptano, cloruro de metileno, etc. Los agentes espumantes químicos son sustancias químicas, compatibles o finamente dispersas en el polímero, que se descomponen a la velocidad requerida en un intervalo estrecho de temperatura. Los más importantes comercialmente son azodicarbonamidas, benceno-sulfonil hidracina, azobisbutironitrilo, etc.

3.7. Modificadores de impacto

Los modificadores de impacto se emplean para mejorar la resistencia al impacto, especialmente a bajas temperaturas. Esto se consigue generalmente mediante mezclas de polímeros, un termoplástico rígido y un elastómero, de tal modo que se obtienen plásticos con un amplio espectro de propiedades bien equilibradas.

En general, los materiales poliméricos son compatibles entre sí de una manera muy limitada y, por tanto, no pueden mezclarse homogéneamente. Una característica morfológica esencial en los polímeros modificados para aumentar la resistencia al impacto es que exista una estructura multifase, como consecuencia de una cierta incompatibilidad entre la fase termoplástica rígida y el componente elástico, es decir, la fase elastomérica.

Cuando un material de este tipo se somete a un impacto, la energía mecánica asociada al mismo es absorbida primero por la matriz o fase rígida. Si se ha de evitar la fractura frágil, la energía debe transmitirse inmediatamente a la fase elastomérica embebida en la matriz.

En la figura 2.4 se representa esquemáticamente esta situación. Si la energía absorbida no puede ser transmitida a la fase elastomérica, permanecerá en la fase rígida con el resultado de que pueden crearse tensiones en puntos donde eventualmente aparecerán fracturas. Por ello es importante que exista una estructura de dos fases, pero a la vez que haya buen contacto entre ambas fases. El PS modificado con caucho es el ejemplo más corriente de polímero modificado al impacto y recibe el nombre de HIPS.

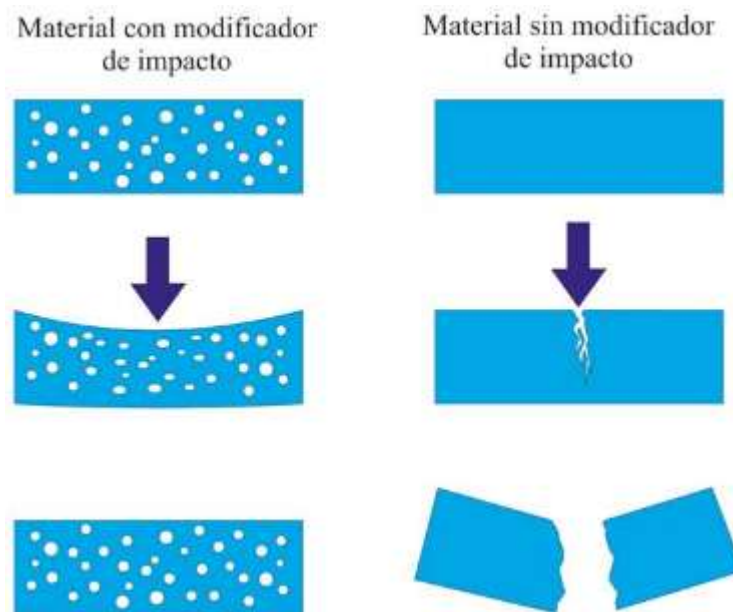


Fig. 3.6 Modo de acción de los modificadores de impacto. [16]

3.8. Pigmentos y colorantes

Los términos pigmento y colorante se emplean en ocasiones indistintamente, aunque según un uso más correcto los pigmentos son sustancias inorgánicas sólidas inmiscibles y los colorantes son sustancias orgánicas miscibles o relativamente compatibles con el polímero. En cualquier caso se emplean en concentraciones muy bajas (0.1 a 0.5 phr).

Los pigmentos se emplean con tamaño de partícula muy fino de modo que se consiga una dispersión lo mejor posible en el polímero. Están muy extendidos, los más frecuentes son el óxido de titanio para el blanco, negro de humo para el negro, diferentes óxidos de hierro para ocre o marrones, cromatos como el de plomo (amarillo) o zinc (verde), entre muchos otros. Generalmente se emplean mezclas de pigmentos para conseguir las tonalidades deseadas.

Los pigmentos son materiales orgánicos o inorgánicos, que son prácticamente insolubles en el polímero donde están dispersos.

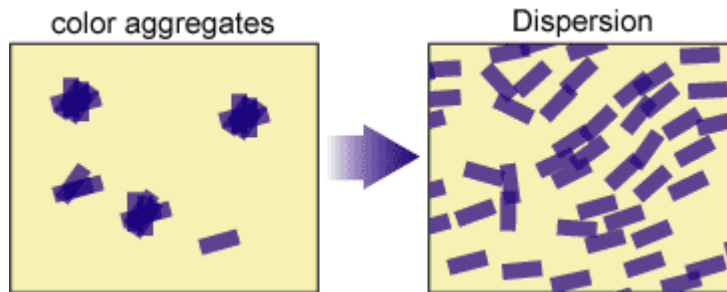


Fig. 3.7 Matriz polimérica en forma de partículas. [18]

Los colorantes por su parte, aunque se emplean en menor medida, son capaces de proporcionar colores más brillantes, y a diferencia de los pigmentos suelen dar acabados completamente traslúcidos, más cuando más compatibles con el polímero. Como contrapartida los colorantes se degradan con mayor facilidad que los pigmentos y pueden presentar problemas de migración o exudación. Los más habituales son la ftalocianina (tonos azules), la rodamina (rojos), uinacridona (violeta y magenta), y muchos otros.

Los tintes son colorantes solubles en el polímero se encuentran dispersos en la matriz polimérica.

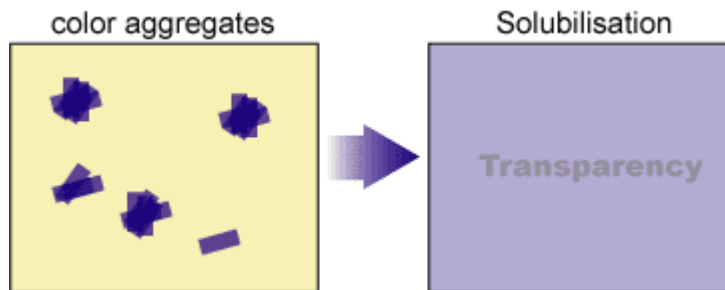


Fig. 3.8 Matriz polimérica sin partículas visibles. [18]

4. MECANISMOS DE MEZCLADO

4.1. Tipos de mezclado

El tipo de equipamiento requerido para producir las mezclas de polímeros y aditivos depende sobre todo de su estado físico: Los polímeros se sirven en formas muy diferentes, que van desde gránulos (granzas), polvos, planchas (en el caso del caucho natural), resinas líquidas de peso molecular bajo (en el caso de los termoestables), etc.

Además el tipo de mezclador depende del grado de dispersión que se desee alcanzar entre el polímero y los aditivos. Según esto se distingue dos tipos de mezclado que pueden aparecer en la bibliografía con los siguientes nombres:

- Mezclado extensivo, distributivo, o simplemente mezclado (blending).
- Mezclado intensivo o dispersivo (compounding).

Mezclado distributivo

El mezclado extensivo consiste en mezclar los componentes de una formulación mediante la agitación de los mismos. De este modo se obtiene una mezcla que en principio podría ser separada (aunque obviamente en la práctica resultaría difícil).

El equipo requerido es un sencillo mezclador en el que todos los ingredientes se añaden a la vez y está provisto de aspas o palas que giran a una velocidad moderada y no es necesario aplicar calor durante el proceso (incluso en algunos casos se requiere de refrigeración).

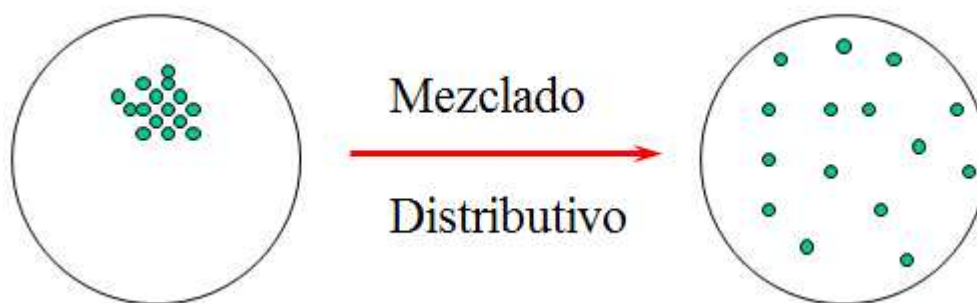


Fig. 4.1 Incremento de la distribución en el polímero [18]

El mezclado distributivo tiene por objetivo distribuir todas las partículas que se están mezclando. En este caso, no se requiere de altos esfuerzos para lograr un buen mezclado.

Mezclado dispersivo

El mezclado intensivo implica una dispersión de los diferentes componentes mucho más íntima. Este tipo de mezclado por lo general implica un cambio en estado físico de los componentes; el polímero debe estar en estado fundido durante el mezclado, por lo que se deben aplicar altas temperaturas para conseguir la fusión del polímero y en algunos casos de otros componentes de la mezcla y por lo general se requieren cizallas muy elevadas.

Por lo general la mezcla debe ser ranulada o troceada antes de introducirla en el proceso de transformación.



Fig. 4.2 Reducción en el tamaño de las partículas a la vez que se distribuyen [18]

El mezclado dispersivo tiene por objetivo disminuir el tamaño de las partículas o aglomerados que se están mezclando. En este caso sí se requiere de mayores esfuerzos, lo cual producirá un aumento en la temperatura del plástico, y puede causar degradación.

El mezclado extensivo se emplea preferentemente frente al intensivo en aquellos casos en los que el método de transformación implique una cizalla elevada y en concreto en el caso de las formulaciones de materiales termoestables y para mezclar pigmentos y cargas en materiales termoplásticos.

Por otra parte, el mezclado intensivo se prefiere al extensivo cuando se requiera una distribución completamente uniforme de los diferentes aditivos de la formulación, así como en el caso de que en el proceso empleado las cizallas aplicadas no sean excesivamente grandes.

4.2. Equipos de mezclado

Mezclador interno Banbury

Consta de dos rotores que giran en direcciones opuestas y a distinta velocidad, generándose cambios en el patrón de flujo. Se alcanzan grandes esfuerzos de corte en este equipo, por lo que provee un mezclado dispersivo y distributivo. Los materiales se alimentan a presión mediante una tolva neumática, o de peso constante, siendo muy importante el factor de llenado.

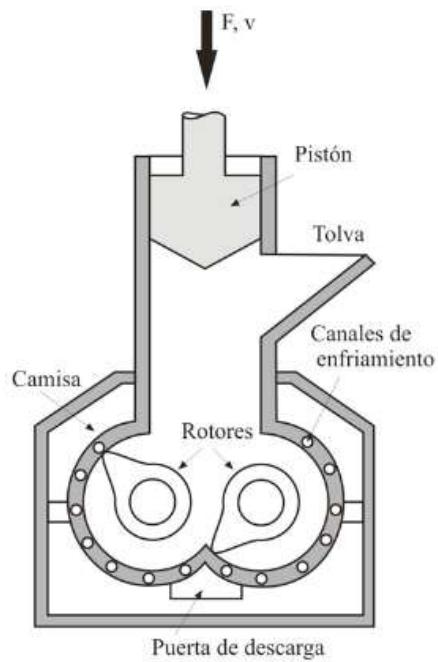


Fig. 4.3 Mezclador tipo Banbury [16]

Molino de rodillos abierto

Es un sistema abierto de rodillos que giran a diferentes velocidades calentados mediante resistencias eléctricas ó vapor y variándose la abertura y produciéndose ahí los esfuerzos de corte. Este equipo de mezclado se utiliza en la elaboración de compuestos en la industria huleira, ya que produce un mezclado adecuado para los aditivos y cargas en los hules.



Fig. 4.4 Mezclador tipo Molino de rodillos abierto [18]

Mezclador extensivo

El mezclador extensivo está diseñado para mezclar polímeros en polvo con cargas y aditivos (aditivos líquidos inclusive), consiste de un sistema de aspas de diseño especial que se encuentran dentro de un recipiente montadas en un eje central que generan calentamiento por fricción y con sistema de enchaquetado para calentar o enfriar.

Vienen equipados con controladores para regular la velocidad de 400-600 rpm a 900-1400 rpm. El material es mezclado creándose un efecto de remolino. Se obtiene una distribución y dispersión de los componentes de la mezcla.



Fig. 4.5 Mezclador tipo extensivo [18]

5. FORMULACIONES BÁSICAS

En la tabla 2.4 se presentan diferentes formulaciones que se emplean en la industria para la fabricación de productos de propiedades muy diferentes y que emplean los aditivos estudiados a lo largo del tema.

La primera formulación que se muestra corresponde a un plastisol de PVC que se procesa mediante moldeo rotacional para la obtención de artículos blandos, por ejemplo cabezas o piernas de muñecas. Como se puede apreciar esta formulación contiene una gran cantidad de un plastificante de compatibilidad media, como es el DINP y emplea como estabilizantes térmicos estearato de Ca/Zn y aceite de soja epoxidado, ambos no tóxicos puesto que se trata de una formulación para juguetería.

Es importante resaltar que se emplea una cantidad relativamente grande de estabilizantes térmicos pues aunque en el proceso de moldeo rotacional no se emplea cizalla, los ciclos son bastante largos. Esta formulación requeriría de un mezclado extensivo antes de ser introducida en el proceso de moldeo rotacional.

La segunda de las formulaciones corresponde a la fabricación de botellas mediante soplado, por ejemplo para contener productos de limpieza. Se trata de un material relativamente blando y no transparente, ya que en la formulación se incluye un modificador de impacto. Obsérvese que en este caso la concentración de los estabilizantes térmicos es muy inferior a la empleada en el caso anterior.

La siguiente formulación para inyección producirá artículos rígidos de PVC y de una buena transparencia (por ejemplo llaveros), pues como se puede apreciar no incluye plastificantes, pero sí una pequeña cantidad de negro de humo y un estabilizante que contiene cadmio.

Con la cuarta formulación se obtendría una espuma de densidad aproximada 0.2 g/cm^3 . Esta formulación incluye un agente espumante químico, la azodicarbonamida. Como este agente descompone a temperaturas muy elevadas (próximas a 220°C) se ha incluido además en la formulación un catalizador (ZnO) que reduce la temperatura de descomposición de la azodicarbonamida. Como se puede apreciar la formulación además incluye peróxido de dicumilo que actuará como entrecruzante. El objetivo de añadir entrecruzante en este caso es evitar que la espuma colapse y pierda su estructura celular mientras el polímero fundido se encuentra en el molde.

En el último caso se trata de una formulación para la fabricación de cables mediante extrusión. Se trata de cables semirígidos pues como se aprecia, aunque incluyen una cantidad relativamente alta de un plastificante de compatibilidad media, también incluye una cantidad grande de carga

(carbonato cálcico) que absorberá parte del plastificante y que dará rigidez a la pieza final. A pesar de ser el PVC un material autoextingible, la formulación incluye un retardante de llama, de acuerdo con la legislación para este tipo de aplicaciones.

Tabla 5.1 Ejemplos de formulaciones de plásticos. [16]

Proceso	Formulación	Conc. (phr)
Moldeo Rotacional	Polímero: <i>PVC, E</i> Estabilizante: <i>Estearato Ca/Zn</i> Coestabilizante: <i>Aceite de Soja epoxidado</i> Plastificante: <i>DINP</i> Pigmento	100 2 4 70 0.1
Soplado	Polímero: <i>PVC, S o M</i> Estabilizante: <i>Octoato de Zn</i> Coestabilizante: <i>Aceite de Soja epoxidado</i> Modificador de impacto: <i>ABS</i>	100 0.2 3 10
Inyección	Polímero: <i>PVC, S</i> Estabilizante: <i>carboxilato Ba/Cd/Zn</i> Coestabilizante: <i>Aceite de Soja epoxidado</i> Lubricante: <i>Ácido esteárico</i> Estabilizante UV: <i>negro de carbón</i>	100 2 5 0.4 0.3
Inyección	Polímero: <i>EVA</i> Reticulante: <i>Peróxido de dicumilo</i> Espumante: <i>Azodicarbonamida</i> Ayu. Espumante: <i>ZnO</i>	100 1.5 2.5 1.5
Extrusión	Polímero: <i>PVC, S o M</i> Estabilizante: <i>Estearato tribásico de Pb</i> Plastificante: <i>Trimellitato</i> Retardante de llama: <i>Trióxido de Sb</i> Carga: <i>Carbonato Cálculo</i>	100 7 70 6 50

VI. CONCLUSIONES

Usualmente los polímeros necesitan la ayuda de uno o más aditivos o modificadores para cumplir con su función, ya que casi nunca se utilizan en forma individual y sin la presencia de estos aditivos, algunas aplicaciones de los materiales plásticos no existirían.

Los aditivos son de vital importancia en la elaboración y fabricación de los polímeros, ya que estos materiales se incluyen en la formulación de los polímeros para modificar y mejorar sus propiedades físicas, mecánicas y de proceso.

En un principio, la función de los aditivos y modificadores fue vencer algunas limitaciones en los materiales plásticos. Por ejemplo, para convertir el PVC rígido en flexible, para proteger de los efectos de la degradación producida por el calor y la luz así como para mejorar la resistencia al fuego. Más tarde, los esfuerzos se enfocaron hacia el procesamiento de plásticos, dando como resultado los lubricantes y ayudas de proceso.

Más recientemente, los modificadores y aditivos son capaces de cambiar la forma y función de los plásticos y mejorar sus propiedades físicas. Por ejemplo, los agentes espumantes nos permiten fabricar productos celulares, los agentes de acoplamiento mejoran los enlaces interfaciales entre resina y carga para aumentar las propiedades físicas y los modificadores de impacto aumentan la resistencia de los plásticos.

VII. BIBLIOGRAFÍA

1. <http://www.losadhesivos.com/definicion-de-polimero.html>
2. <http://www.textoscientificos.com/polimeros/introduccion>
3. <http://www.profesorenlinea.cl/Quimica/PolimerosCeluloAlmid.html>
4. <http://protoplasticos.blogspot.mx/2007/12/inyeccion-de-plsticos.html>
5. <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.mx/2011/06/inyeccion-de-materiales-plasticos-i.html>
6. http://www.mater.upm.es/polimeros/Documentos/Cap6_5MoldeoInyeccion.pdf
7. <http://www.galeon.com/siap7/tema5.htm>
8. <http://es.scribd.com/doc/58512499/Equipos-perifericos-en-inyeccion-de-plasticos>
9. <http://wikifab.dimf.etsii.upm.es/wikifab/images/8/86/03moldesI08.pdf>
10. <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion11.MOLDEO.POR.INYECCION.pdf>
11. http://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0CCwQFjAB&url=http%3A%2F%2Focw.upc.edu%2Fdownload.php%3Ffile%3D15012220%2F22638-3142.pdf&ei=t0khU7qOqnq2AWm84CgCw&usg=AFQjCNGECe-7jsl1q_MRoSIXpDfBS3qxvFQ
12. <http://www.bibliosepi.esimez.ipn.mx/mecanica/2007/Dise%C3%83%C2%B1o%20de%20moldes%20de%20inyecci%C3%83%C2%B3n%20de%20pl%C3%83%C2%A1stico%20con%20Ingenier%C3%83%C2%ADa%20concurrente.pdf>
13. <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.mx/2011/02/aditivos-y-rellenos-para-polimeros.html>
14. http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm15/fcm15_8.html
15. <http://www.motan-colortronic.com/es/soluciones/compounding/masterbatch-de-monopigmentos-y-aditivos.html>
16. <http://iq.ua.es/TPO/Tema2.pdf>
17. <http://www.motan-colortronic.com/es/soluciones/compounding/masterbatch-a-medida.html>
18. http://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=10&ved=0CFUQFjAJ&url=http%3A%2F%2Finvestigadores.ciqa.mx%2Fmaestria%2Fdocs%2FAditivos1.ppt&ei=qJEjU_KjEKbY2QX3uYCoDQ&usg=AFQjCNF6JP8wohCoi9cRNoGB9PccEAtX1A&bvm=bv.62922401,d.b2I



Centro Universitario, Enero 15, 2014.

C. LUIS JAVIER PARRA RÍOS, y
C. MARCO ANTONIO HERNÁNDEZ RESÉNDIZ
Pasante (s) del área de Ingeniería en Automatización,
PRESENTE .

En respuesta a la solicitud que Usted (es) plantea (n) sobre la ASIGNACIÓN de ASESOR, necesario para la elaboración de la TESINA, y requisito para la acreditación del DIPLOMADO EN INGENIERÍA DE PROCESOS PLÁSTICOS se le (s) designa al (la) DR. JUAN JOSÉ MENDEZ PALACIOS, para desarrollar el tema: "ADITIVOS" por lo que deberá (n) dirigirse al catedrático para ponerse de acuerdo y realizar el trabajo correspondiente tomando en cuenta los lineamientos que para su elaboración otorga el Centro de Educación Continua.

Por lo anterior me permito hacer de su conocimiento que la tesina deberá entregarse debidamente empastada y en disco compacto; aprobada por su asesor y la coordinación del área a más tardar el día 10 de marzo del 2014.

ATENTAMENTE
"El ingenio para crear, no para destruir"

M. en I. RUBÉN RAMÍREZ JIMÉNEZ,
COORDINADOR



CENTRO DE
EDUCACIÓN
CONTINUA

FIRMA DE ACEPTACIÓN DEL ASESOR

DR. JUAN JOSÉ MÉNDEZ PALACIOS

Nombre: Dr. Juan José Méndez Palacios

Firma: _____

Fecha: _____

De enterado



Cp. Archivo.
Cpr*




Centro Universitario, Marzo 2014.

A QUIEN CORRESPONDA:

Hago constar que el (os) pasante (s) de la Licenciatura de Ingeniería en Automatización C. MARCO ANTONIO HERNÁNDEZ RESÉNDIZ y LUIS JAVIER PARRA RÍOS, aprobó (n) la TESINA del DIPLOMADO DE INGENIERÍA EN PROCESOS PLÁSTICOS impartido por el Centro de Educación Continua para lo cual presenta (n) el trabajo titulado: "ADITIVOS"

Aprobada con fines de Titulación.


DR. JUAN JOSÉ MÉNDEZ PALACIOS
ASESOR DE TESINA

La presente obra está bajo la licencia:
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>



CC BY-NC-ND 4.0 DEED

Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

Usted es libre de:

Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

La licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Bajo los siguientes términos:



Atribución — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.



NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).



SinDerivadas — Si [remezcla, transforma o crea a partir](#) del material, no podrá distribuir el material modificado.

No hay restricciones adicionales — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas](#) que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia.

Avisos:

No tiene que cumplir con la licencia para elementos del material en el dominio público o cuando su uso esté permitido por una [excepción o limitación](#) aplicable.

No se dan garantías. La licencia podría no darle todos los permisos que necesita para el uso que tenga previsto. Por ejemplo, otros derechos como [publicidad, privacidad, o derechos morales](#) pueden limitar la forma en que utilice el material.