70
2 ej.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

CUAUTITLAN

"DISEÑO DE MOLDES PARA INYECCION DE TERMOPLASTICOS"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A :

OSCAR MATEO MARQUEZ

ASESOR: M. EN I. FELIPE DIAZ DEL CASTILLO RODRIGUEZ.

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX. 1998.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

260692

Universidad Nacional Autónoma de México
UNAM
Biblioteca Central
Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

VNIVERSIDAD NACIONAL AVTONOMA DE MEXICO

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA F.E.S.-CUAUTITLAN
P R E S E N T E .

AT'N: Q. María del Carmen García Mijares
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la F.E.S.-C

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el :

Trabajo de Tesis: "Diseño de Moldes para Inyección de Termoplásticos".

que presenta el **pasante:** Oscar Mateo Márquez,
con número de cuenta: 8932824-0 **para obtener el TITULO de:**
Ingeniero Mecánico Electricista.

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E.
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cuautitlán Izcalli, Edo. de México, a 18 **de** febrero **de** 1998

PRESIDENTE	Ing. Gerardo Sosa	
VOCAL	Ing. José A. López González	
SECRETARIO	Ing. Felipe Díaz del Castillo Rodríguez	
PRIMER SUPLENTE	Ing. Noé García Lira	
SEGUNDO SUPLENTE	Ing. Enrique Cortés González	

INDICE.

Página

INTRODUCCION

CAPITULO 1

EL MOLDE DE INYECCION

1.1 Procedimiento básico..... 1

1.2 Constitución del molde..... 1

1.3 Ciclo de moldeo..... 2

1.4 Denominaciones para los elementos del molde de inyección..... 3

1.5 Clasificación de los moldes..... 4

1.6 Determinación del número de cavidades en un molde..... 4

1.7 Funciones del molde..... 6

1.8 Recepción y distribución del polímero..... 6

1.9 Inyección en el plano de partición del molde..... 8

1.10 Inyección perpendicular al plano de partición..... 8

1.11 Equilibrio de fuerzas en el molde..... 8

CAPITULO 2

SISTEMA DE ALIMENTACION

2.1 Introducción..... 10

2.2 Cono de entrada..... 11

2.3 Extracción del cono de entrada..... 16

2.4 Configuración de los canales de entrada y de distribución..... 17

2.5 Ajuste de la resistencia al flujo en los canales de distribución..... 22

2.5.1 Determinación de la sección de los canales de estrangulamiento..... 23
2.5.2 Configuración de los canales de estrangulamiento..... 23
2.5.3 Disposición de las entradas en la cavidad..... 27
2.5.4 Cantidad de entradas en una cavidad..... 28
2.6 Tipos de canales de entrada..... 30
2.6.1 Entrada cónica..... 30
2.6.2 Orificio de colada puntiagudo con precámara..... 32
2.6.3 Entrada de colada sin bebedero..... 36
2.6.4 Entrada de colada laminar..... 37
2.6.5 Entrada de colada en forma de cúpula..... 38
2.6.6 Entrada de colada anular..... 39
2.6.7 Entrada de colada en forma de túnel..... 40
2.6.8 Molde de tres placas..... 42
2.6.9 Canales de distribución autoaislantes..... 44
2.6.10 Canales distribuidores con calefacción; moldes de canal caliente..... 45
2.6.11 Entrada de colada de varios pisos..... 47

CAPITULO 3

SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

3.1 Determinación del tiempo de enfriamiento..... 51
3.2 Determinación del calor que debe disiparse..... 53
3.3 Disposición del sistema de enfriamiento..... 54
3.4 Disposición de los canales de enfriamiento..... 57

CAPITULO 4

SISTEMA DE EXPULSION

4.1 Fuerzas ocasionadas por el desmoldeo..... 67

4.1.1 Deformación elástica en el molde cilíndrico..... 67

4.1.2 Contracción..... 68

4.2 Accionamiento de las placas botadoras..... 69

4.3 Medios de accionamiento..... 72

4.3.1 Configuración de los pernos botadores..... 74

4.3.2 Montaje de los pernos botadores en las placas botadoras..... 77

4.4 Sistemas de expulsión especiales..... 79

4.4.1 Sistema de expulsión de dos pisos..... 79

4.4.2 Expulsión mixta..... 80

4.4.3 Expulsión en moldes con varios planos de partición..... 80

4.4.3.1 Molde de tres placas..... 80

4.4.3.1.1 Movimiento escalonado del sistema expulsor mediante tirantes..... 80

4.4.3.1.2 Movimiento escalonado del sistema expulsor mediante trinquete..... 81

4.4.4 Desmoldeo por el lado de la inyección..... 83

4.5 Retroceso del sistema expulsor..... 83

4.6 Desmoldeo de piezas roscadas..... 84

4.6.1 Desmoldeo de piezas con rosca interior..... 86

4.6.1.1 Moldes desenroscables..... 86

4.6.2 Desmoldeo de piezas con rosca exterior..... 88

4.7 Moldes para piezas con resaltes de cualquier tipo..... 89

CAPITULO 5

SALIDA DEL AIRE DE LOS MOLDES 99

CAPITULO 6

ELEMENTOS DE GUIA Y CENTRADO

6.1 Guía y centrado exteriores..... 102

6.2 Guía y centrado interiores..... 103

6.3 Centrado de moldes de inyección profundos..... 108

CAPITULO 7

MATERIALES PARA LA FABRICACION DE MOLDES

7.1 Aceros..... 111

7.1.1 Aceros para cementar..... 112

7.1.2 Aceros para templar..... 113

7.1.3 Aceros tratados..... 114

7.1.4 Aceros resistentes a la corrosión..... 115

7.1.5 Aceros para nitrurar..... 116

7.2 Materiales colados..... 116

7.2.1 Fundición de acero..... 117

7.2.2 Materiales no ferrosos..... 118

7.2.3 Materiales no metálicos. Resinas colables..... 121

7.3 Materiales para elementos de accionamiento y montaje en moldes de inyección..... 121

CAPITULO 8
EJEMPLO PRACTICO: DISEÑO DE UN MOLDE PARA ARGOLLA PARA MOCHILA 123

CONCLUSIONES..... 133
BIBLIOGRAFIA..... 136

INTRODUCCION.

La selección del tipo de molde para la producción de una pieza determinada en plástico es el resultado de una cuidadosa evaluación de los elementos y datos disponibles para llegar a la solución más conveniente del problema. Para una buena opción y obtener lo más adecuado, es muy útil el intercambio de información entre el técnico que diseña la pieza moldeada y el diseñador del molde. Las condiciones preliminares deben tomar en cuenta los siguientes puntos:

1. La pieza por moldear: forma, dimensiones, tolerancias, peso, material plástico que se usará, contracción prevista;
2. Cantidad de piezas por producir en la unidad de tiempo: determinación del aspecto económico;
3. Selección del sistema de moldeo y costo de producción del producto;
4. Tipo de molde y número de cavidades: costo del molde, y
5. Selección de la máquina adecuada: tipo y características.

Otras alternativas que también deben decidirse, y que en algunos casos están ligadas a las condiciones preliminares, son las siguientes:

6. Sistemas de alimentación del material a las cavidades del molde que son diversas y dependen tanto del material por usar (termoplástico o termofijo) como de la forma y el número de cavidades;
7. Sistemas de expulsión de las piezas moldeadas y de las coladas después de la solidificación por enfriamiento;
8. Sistemas de enfriamiento del molde, donde es necesario disipar la cantidad de calor que en cada moldeada el material fundido inyectado cede al molde.

Cada molde debe operar a un determinado nivel de temperatura, seleccionado en función del material por moldear;

9. Selección de los materiales para la fabricación de los moldes. Es necesario considerar diversos factores:

a) Calidad del material plástico y dimensiones de la pieza moldeada;

b) Cantidad de las piezas por producir y duración prevista del molde;

c) Método elegido para la fabricación de las cavidades (arranque de viruta, electroerosión, etc.);

10. Sistemas de seguridad y protección de los moldes. Estos dispositivos pueden estar insertos en los sistemas de control de las máquinas modernas para que puedan cerrar el molde con velocidad y fuerza de cierre reducidas a los valores más bajos durante la fase de acercamiento de los medios moldes. Es posible aplicar otros dispositivos a los sistemas de expulsión del molde de manera que sean activados en el momento deseado y durante la fase correcta;

11. Cálculo de los esfuerzos en los moldes y la deformación inducida por las elevadas presiones de moldeo: verificación de las condiciones de los esfuerzos y su estabilidad.

El presente trabajo está orientado hacia el diseño de los elementos que integran un molde para inyección de termoplásticos.

En el primer capítulo se presentan las características fundamentales de un molde para inyección de termoplásticos.

Los capítulos dos, tres y cuatro están dedicados al diseño de los sistemas de alimentación, enfriamiento y expulsión, respectivamente.

En el capítulo cinco se estudia la importancia de la salida del aire de los moldes.

El capítulo seis está dedicado al diseño de los elementos de guia y centrado.

En el capítulo siete se encuentran los materiales que pueden ser empleados en la fabricación de moldes.

Finalmente, en el capítulo ocho se muestra, como ejemplo práctico, el diseño de un molde para producir una argolla para mochila.

CAPITULO 1.

EL MOLDE DE INYECCION.

1.1 Procedimiento básico.

El fundamento del moldeo por inyección es inyectar un polímero fundido en un molde cerrado y frío, donde solidifica para dar el producto. La pieza moldeada se recupera al abrir el molde para sacarla. Una máquina de moldeo por inyección tiene dos secciones principales:

- la unidad de inyección
- la unidad de cierre, o prensa, que aloja al molde (fig. 1.1).

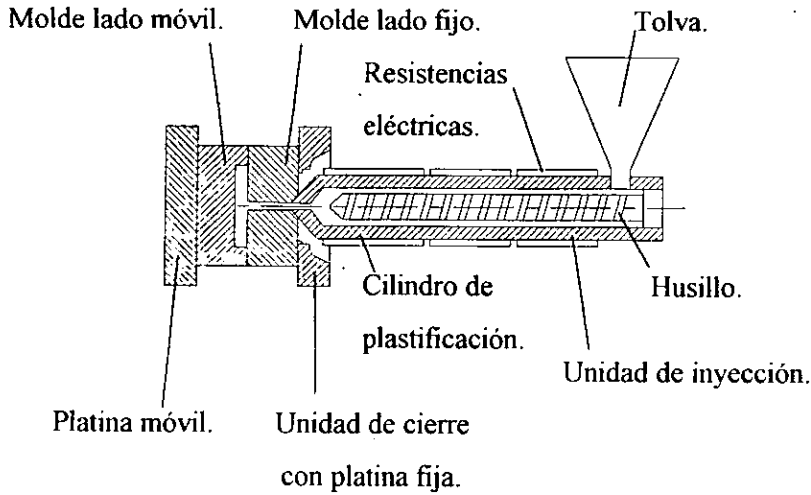


Figura 1.1. Diagrama simplificado de una máquina de moldeo por inyección con husillo reciprocante.

1.2 Constitución del molde.

En el caso más sencillo, el molde consta de dos mitades que, por lo general, se fijan directamente sobre las platinas portamolde de la máquina de

inyección. Estos dos elementos básicos, la mitad del molde lado inyector (lado fijo) y la mitad lado extractor (lado móvil), aparecen en todo molde (fig. 1.1), independientemente de su forma de construcción.

Las características fundamentales de un molde son:

1. La cavidad o impresión, en la cual se moldea el producto. Un molde puede contener una o varias cavidades.
2. Los canales de alimentación, a través de los cuales fluye el material fundido al inyectarse.
3. Los canales de enfriamiento, a través de los cuales se bombea el agua de enfriamiento para disipar el calor del material fundido.
4. Los expulsores, los cuales extraen la pieza moldeada de la cavidad.

1.3 Ciclo de moldeo.

Tras el proceso de llenado y solidificación, el molde se abre por el plano de partición, quedando generalmente la pieza y la vena de la colada adheridas a la mitad del molde lado extractor. Al continuar el proceso de apertura, la parte posterior entra en contacto con un perno fijo de la unidad de cierre de la máquina de inyección, iniciándose en seguida el proceso de desmoldeo. El tope de la unidad de cierre acciona el mecanismo de expulsión, el cual desplaza la pieza y la vena de la colada, separándolas del molde. Al efectuarse el movimiento de cierre se produce la recuperación del mecanismo extractor. Finalizado el movimiento de cierre, o sea, al estar el molde cerrado, el mecanismo extractor se encuentra en su posición final. Mediante una boquilla situada junto a la cavidad del molde se establece una conexión entre éste y el cilindro de inyección, con el que puede empezar de nuevo el proceso de llenado. Según el tipo de máquina, un husillo o un pistón impulsan a elevada

presión el polímero fundido hacia la cavidad del molde. Finalizado el proceso de llenado, se mantiene todavía, durante un cierto tiempo, una presión residual, la cual sirve para compensar la contracción en volumen mediante nueva aportación de material. Con el inicio del llenado del molde empieza la fase de refrigeración, que termina cuando el material se ha solidificado para formar una pieza de forma estable. El período de refrigeración termina al efectuarse el desmoldeo.

1.4 Denominaciones para los elementos del molde de inyección.

En lo sucesivo se emplearán las denominaciones indicadas en la figura 1.2.

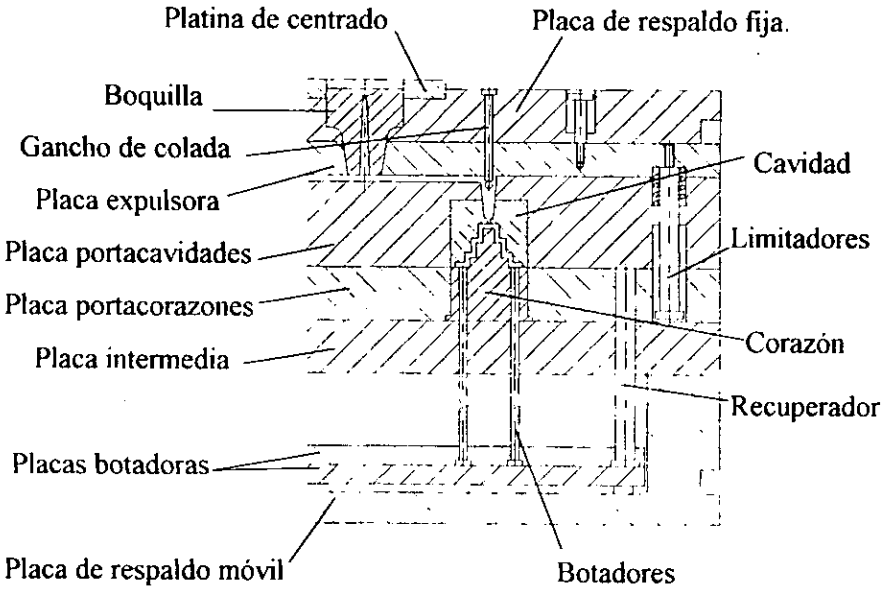


Figura 1.2. Designación de las partes de un molde.

1.5 Clasificación de los moldes.

De acuerdo a la forma de la pieza a producir, los moldes se pueden clasificar en:

- Moldes para piezas sin resaltes o contraperfiles.
- Moldes para piezas con resaltes o contraperfiles exteriores.
- Moldes para piezas con resaltes interiores.

Según el tipo de desmoldeo, los moldes se pueden clasificar en:

- Moldes normales.
- Moldes para piezas con resaltes.
- Moldes de corredera.
- Moldes de mordazas.
- Moldes para roscas.
- Moldes especiales.

1.6 Determinación del número de cavidades en un molde.

La cantidad de cavidades se puede calcular:

1. Por la relación entre el peso o volumen máximo del material correspondiente que puede inyectar la máquina y el peso o volumen del artículo.

Según ello, la cantidad máxima teórica de cavidades será:

F_1 = volumen máximo de inyección de la máquina / (volumen de la pieza + volumen de la vena de colada).

2. Por la relación entre el rendimiento de plastificación del cilindro inyector y el producto del número de inyecciones por el volumen del artículo, referido al material correspondiente.

Según ello, el número de cavidades realizables será:

F_2 = rendimiento de plastificación / [número de inyecciones x (volumen de la pieza + volumen de la vena de colada)].

Como al realizar un molde con F_1 como número de cavidades se consume cada vez el volumen total de inyección de la máquina, F_2 sólo puede ser menor o igual a F_1.

F_1 es siempre el valor teórico máximo. No puede emplearse en la práctica, ya que no satisface ninguna exigencia de calidad. Las máquinas de inyección trabajan, en la práctica, con un grado de aprovechamiento volumétrico de 0.2 a 0.8. De ello se deduce que F_2 debe ser menor o igual a $0.8F_1$.

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

Otro criterio para determinar el número de cavidades es el que se basa en la presión de cierre que puede ejercer la máquina de inyección. Durante el proceso de llenado actúa la llamada fuerza expansiva, que tiende a abrir el molde actuando contra la presión de cierre. Si esta fuerza expansiva, que es igual a la suma de las superficies de proyección de las cavidades y canales de llenado multiplicada por la presión en el molde, es mayor que la presión de cierre, se producirán escapes de material fundido entre los planos de partición del molde, lo cual dará como consecuencia rebabas en la pieza.

La fuerza expansiva se puede calcular con la fórmula

$$F = P.A$$

donde

F = fuerza expansiva.

P = presión del polímero fundido en el interior del molde.

A = la suma de las superficies de proyección de las cavidades y canales.

1.7 Funciones del molde.

En el proceso de inyección tiene lugar una fusión por el calor (plastificación) del material de moldeo; éste se conduce hacia el molde, a través de los canales de conexión, bajo la acción de una fuerza de presión. La cavidad del molde tiene la forma del objeto a fabricar; en ella se produce el moldeo y el enfriamiento del polímero, hasta que éste alcanza un estado suficientemente estable e indeformable para poder desmoldearlo. Por lo tanto, las funciones del molde consisten en:

a) Recibir la masa plástica

b) Distribuirla

c) Darle forma

d) Enfriarla y pasarla al estado sólido

e) Extraer la pieza.

1.8 Recepción y distribución del polímero.

El termoplástico procedente del cilindro de plastificación de la máquina llega, a través de la boquilla de inyección, a la cavidad del molde medianamente enfriado, pasando por un canal en los moldes simples, o por un sistema de canales en los moldes múltiples o, también, en los moldes simples de gran superficie. Estas vías de flujo se denominan canales de distribución, y el termoplástico que solidifica en ellos recibe el nombre de mazarota o vena de colada. Los canales tienen la misión de recibir el termoplástico, dirigirlo a la cavidad del molde y, especialmente en los moldes múltiples, distribuirlo. En

consecuencia, el sistema de alimentación, en los moldes múltiples, comprende el cono de entrada, los canales de distribución y los canales de estrangulamiento.

La disposición y forma del sistema de alimentación son de gran importancia para la calidad de la pieza. Eligiendo apropiadamente dicho sistema se puede influir en el tiempo de inyección, reducir los desperdicios y trabajos de acabado, o bien, con el bebedero puntiforme, ahorrar material.

El tipo de alimentación viene determinado por varios factores; lógicamente, en primer lugar, por el que significa conducir el termoplástico hacia la cavidad del molde con la mayor rapidez, sin obstáculos, por el camino más corto, con mínimas pérdidas de calor y presión, y evitando todo lo posible las discontinuidades de fluidez (las soldaduras) en la pieza. En los moldes múltiples, se tiene además la exigencia de que el material debe alcanzar simultáneamente las diversas cavidades a igual presión y temperatura.

Tratándose de piezas de gran superficie, que deben ser inyectadas por varios puntos, se debe cuidar, finalmente, que el termoplástico tenga iguales recorridos de flujo, a fin de que se mezcle en iguales condiciones en todos los frentes de desembocadura (fluidez homogénea). El sistema de alimentación se debe elegir de modo que la vena de colada tenga el mínimo peso, pueda separarse fácilmente de la pieza y no perjudique el aspecto de las misma. Así, la disposición y forma del sistema de llenado dependen de la configuración de la pieza y del termoplástico a utilizar. Las dimensiones del sistema de alimentación dependen, incluso en gran medida, del tamaño de la pieza.

1.9 Inyección en el plano de partición del molde.

Existen máquinas de inyección que están provistas corrientemente de una unidad de plastificación orientable, que puede oscilar a voluntad entre 0 y 90°. Estas máquinas resultan así muy apropiadas para la inyección en el plano de partición del molde. No obstante, este procedimiento se emplea poco, concretamente sólo cuando se debe fabricar piezas de gran superficie. La ventaja de este método consiste en que el polímero llega a la cavidad del molde directamente, sin recorridos curvos. Resulta desventajoso el empuje lateral contra el molde y la pieza de cierre del mismo.

1.10 Inyección perpendicular al plano de partición.

La mayor parte de los moldes se llenan a través de una boquilla dispuesta perpendicularmente al plano de separación. La boquilla se sitúa generalmente en el centro de la placa portamolde (lado fijo). Con ello se ejerce un empuje central sobre el molde y su pieza de cierre, o contramolde, lo que resulta principalmente importante para los moldes múltiples. Una posición excéntrica de la boquilla solamente se dispone en moldes simples, en los que resulte desventajoso situar el punto de llenado en el centro de la pieza. En muchos casos, al efectuar una inyección perpendicular al plano de partición, se debe desviar el polímero, esto da lugar a recorridos de flujo más largos y a procesos de desmoldeo más complicados.

1.11 Equilibrio de fuerzas en el molde.

En la mayoría de las máquinas de inyección, el cilindro inyector está centrado sobre la platina portamolde; así, queda fija también la posición de la boquilla. Sin embargo, en los moldes simples, la boquilla puede situarse, en

ciertas circunstancias, fuera del centro de la pieza. Entonces, tanto el molde como el contramolde reciben una carga excéntrica; como consecuencia, se forman rebabas salientes y, a veces, se produce la rotura de los ejes guía del molde lado móvil. En todo caso, la principal regla de construcción implica que la resultante de las fuerzas de expansión en el molde (presión de inyección) y la resultante de las fuerzas a que está sometido el molde lado móvil (presión de cierre) actúen lo más centradas posible con relación al sistema de distribución. En los moldes múltiples, ello se consigue disponiendo simétricamente varias cavidades respecto al centro (a la boquilla). En cambio, en los moldes complicados se debe determinar el centro de gravedad para fijar la posición de las cavidades en el molde. El centro de gravedad puede determinarse mediante la siguiente relación:

$$x_m = \sum(f.x_i) / \sum f \quad \text{para cada eje}$$

donde

f = superficie parcial de proyección.

Por otra parte, puede conseguirse también, mediante una configuración apropiada del molde y aplicando medidas auxiliares, que las resultante de las fuerzas de cierre actúe en el centro.

CAPITULO 2.

SISTEMA DE ALIMENTACION.

2.1 Introducción.

El sistema de alimentación tiene por objeto recibir el polímero de moldeo fundido procedente del cilindro de plastificación y dirigirlo a la cavidad del molde. Como se muestra en la figura 2.1, el sistema de llenado consta de varias partes. En moldes múltiples son:

a) El cono de entrada,

b) El canal de distribución,

c) Los canales de estrangulamiento.

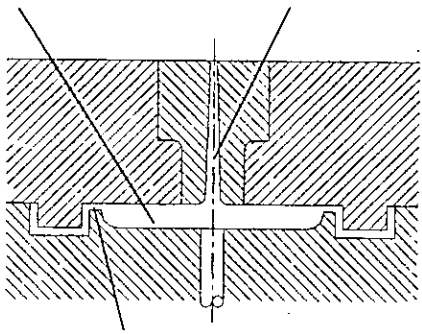


Figura 2.1. Sistema de alimentación.

El cono de entrada recoge el termoplástico directamente del cilindro de plastificación y lo dirige hacia la superficie de partición del molde, perpendicularmente a esta superficie. Este canal de entrada varía según las normas de trabajo; sin embargo, generalmente tiene forma cónica para facilitar

el desmoldeo. En los moldes simples inyectados perpendicularmente, dicho cono constituye muchas veces la totalidad del sistema de llenado.

El canal de distribución es la parte del sistema de alimentación que, en los moldes múltiples, une las distintas cavidades con el cono de entrada. Los canales deben dimensionarse de modo que el material llene simultánea y uniformemente las cavidades a igual presión y temperatura.

El canal de estrangulamiento constituye el elemento de transición desde el canal de distribución a la cavidad del molde (pieza); para poder separar en forma fácil y limpia la pieza de la mazarota, este canal debe ser muy fino.

2.2 Cono de entrada.

En los moldes simples, el sistema de alimentación está constituido muchas veces únicamente por el canal cónico de entrada, prescindiéndose así de los canales de distribución y estrangulamiento. Este canal único se llama bebedero cónico o mazarota cónica. Para su configuración se aplican las mismas condiciones que para el canal de entrada.

La boquilla de inyección del cilindro de plastificación se apoya directamente sobre el bebedero al cerrar la máquina de moldeo, estableciendo una junta de presión entre el inyector y el molde (boquilla del bebedero). Ello representa una elevada carga local para el molde; por tal razón, es conveniente fabricar la boquilla del bebedero con acero templado, previéndose la posibilidad de sustituirlo cuando se deteriora o desgasta.

Las superficies de contacto entre la boquilla de inyección y la boquilla del bebedero pueden ser de diversos tipos, distinguiéndose las superficies de contacto planas y las curvadas.

Las superficies planas se emplean relativamente poco en la práctica, porque exigen una mayor presión para el cierre; sin embargo, existe la excepción de los moldes de canal caliente, para los que se prefiere este tipo debido al desplazamiento que ocasiona la dilatación térmica (fig. 2.2).

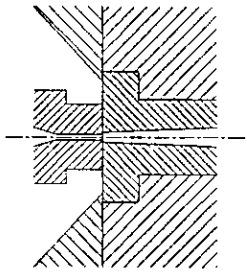


Figura 2.2. Superficie de contacto plana entre la boquilla de inyección y la boquilla del bebedero.

Para que la boquilla de inyección quede bien centrada sobre el orificio de entrada, la superficie de la boquilla del bebedero suele tener una concavidad que permite acomodar la punta esférica de la boquilla (fig. 2.3). Se tiene aquí una superficie de contacto curva. Para el dimensionamiento de esta superficie se aplican, con las denominaciones de la figura 2.3, las siguientes condiciones:

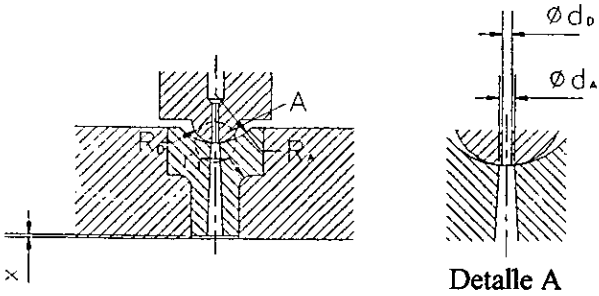


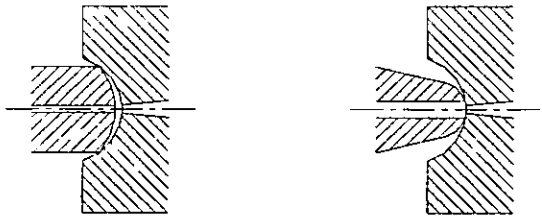
Figura 2.3. Superficie de contacto curva entre la boquilla de inyección y la boquilla del bebedero.

$$R_D + 1 \leq R_A \text{ (mm)}$$

$$d_D + 1 \leq d_A \text{ (mm)}$$

En estas expresiones, R_D significa el radio de curvatura del extremo de la boquilla de inyección; R_A, el radio de la concavidad de la boquilla del bebedero; d_D , el diámetro del orificio de la boquilla de inyección, y d_A , el diámetro del orificio de la boquilla del bebedero.

De no cumplirse estas condiciones se produce un contacto defectuoso que deteriora el perfil de la superficie de contacto, tal como se muestra en la figura 2.4; ello dificulta el desmoldeo de la mazarota al solidificar el material o bien da lugar a que la boquilla de inyección no cierre herméticamente.



a) El canto vivo no puede desmoldearse.

b) No hace junta.

Figura 2.4. Configuraciones incorrectas de las superficies de contacto.

Las dos condiciones citadas para las superficies de contacto determinan, junto con la conicidad de 4°, el dimensionamiento de la boquilla del bebedero.

La altura de la boquilla del bebedero depende de la geometría de la pieza (tipo de estrangulamiento y dilatación). El diámetro viene determinado también por 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 el tiempo t, a la velocidad v, según la siguiente ecuación, la cual es válida para piezas de unos 100 cm^3.

$$V = Q.t = A.v.t = (\pi d^2 / 4).v.t$$

$$d = [V / (0.8v.t)]^{1/2} = (V / 2)^{1/2} \quad \text{con } v.t \approx 2 \text{ a } 2.5\text{x}10^2 \text{ (cm)}$$

Para el llenado es adecuada una velocidad del frente de la masa fluida de unos 1000 mm/s.

Para el diámetro de la base, d_F, es decir, el diámetro mayor del cono, se aplica

$$A_{base} = \sum A_{canales\ de\ estrangulamiento}$$

Dicho diámetro debe ser mayor que la suma de los de todos los canales de estrangulamiento, es decir, que, en un molde sencillo, el diámetro final de la boquilla del bebedero debe ser de 1 a 1.5 mm mayor que el espesor máximo s_{max} de la pieza. De ello se deduce (fig. 2.5):

$$d_F = s_{max} + 1.5 \text{ mm}$$

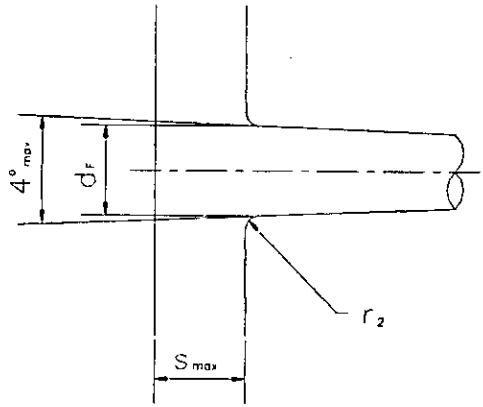


Figura 2.5. Canal de entrada cónico o de barra.

El ángulo de conicidad α del canal del bebedero (entrada) no debe ser menor de 1 a 2°. El extremo debe estar ligeramente redondeado con un radio $r_2 \approx$ 1 a 2 mm, para evitar un canto agudo, entre la mazarota y la pieza, que dificulte el desmoldeo. En virtud de las características técnicas del material

(cizallamiento de los cantos agudos para una boquilla de bebedero templada), el radio r_1 (fig. 2.3) debe ser lo mayor posible. Finalmente, por lo que respecta a la magnitud x (fig. 2.3), se recomienda que la superficie frontal de la boquilla del bebedero quede un poco retirada respecto a la mitad del molde lado fijo, a fin de compensar eventuales deformaciones al aplicar la boquilla de inyección sobre dicha boquilla del molde; no obstante, x no debe sobrepasar de 0.2 mm.

El orificio del bebedero (canal de entrada) debe estar terminado con pulido brillante. Las eventuales estrías de pulido deben discurrir en sentido longitudinal para evitar rugosidades en el perfil que ofrezcan dificultades al desmoldear. Si se emplean masas de moldeo corrosivas, los orificios pulidos se deben revestir de cromo duro.

La figura 2.6 muestra las fuerzas que actúan sobre una boquilla de bebedero. Este está sometido predominantemente a una esfuerzo de flexión alternativo. De ello se deduce que su cabeza de asiento, es decir, el diámetro D_1, no debe ser excesivamente grande (momento flector). El diámetro D de la parte cilíndrica debe ser también lo menor posible, ya que, por representar la boquilla del bebedero un obstáculo para el enfriamiento lento de la mitad del molde lado fijo, cuanto mayor sea D, más posibilidades existen de que en la pieza aparezcan marcas, rechupes, deformaciones o defectos similares, debidos a la diversa velocidad de enfriamiento entre el molde y la boquilla.

El bebedero cónico, o mazarota cónica, es el tipo más antiguo y simple de canal de entrada. Entre los diversos sistemas es el que ofrece menor resistencia al flujo. Por ello se emplea preferentemente con masas de moldeo de flujo difícil y sensibles a la temperatura, así como para todas las piezas de pared gruesa que exijan exactitud de dimensiones.

En el bebedero cónico, la posición de la entrada a la cavidad del molde depende de las dimensiones de la pieza. Debe estar siempre situada frente al punto donde la misma presenta más grosor, para evitar que se cierre antes de solidificarse completamente todas las secciones de la pieza. De no tenerse esto en cuenta, es imposible compensar la contracción volumétrica por medio de la presión residual de la masa durante el enfriamiento.

En el bebedero cónico, la barra o mazarota formada por el mismo se separa siempre de la pieza por maquinado, por lo que el punto de entrada resulta después siempre visible. Como en algunos artículos esto puede ser perjudicial, se procura que dicho punto no sea visible una vez montada la pieza.

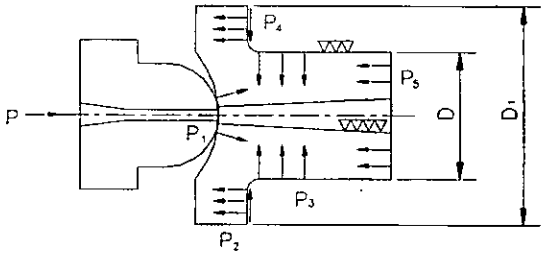


Figura 2.6. Fuerzas que actúan sobre una boquilla del bebedero.

2.3 Extracción del cono de entrada.

El cono de entrada debe estar suficientemente cónico, estar terminado con pulido brillante y tener las eventuales estrías de pulido en sentido longitudinal, para evitar rugosidades perjudiciales. Estas condiciones son indispensables para garantizar un trabajo correcto con el molde. Si, por ejemplo, existen estrías transversales a la dirección de desmoldeo, el termoplástico puede penetrar en las mismas e impedir un desmoldeo perfecto,

lo que perjudicaría en forma importante el curso del trabajo. Si se cumplen las condiciones, al abrir el molde la vena de colada quedará como prolongación respecto al canal del bebedero, o bien saldrá junto con la pieza por el lado correspondiente al expulsor. La mazarota debe de salir, pues, sin dificultades del canal de entrada. En las piezas que no se inyectan directamente, sino a través de un canal de desvío, el orificio del bebedero se prolonga y se realiza de forma especial para garantizar, en cualquier caso, el desmoldeo de la mazarota.

2.4 Configuración de los canales de entrada y de distribución.

Los canales de distribución constituyen la parte del sistema de alimentación que, en los moldes múltiples o en los simples con desvío del flujo, unen las cavidades del molde con el cono de entrada. Tienen la misión de conseguir que el material penetre en todas las cavidades simultáneamente y a igual presión y temperatura.

La masa plastificada penetra a gran velocidad en el molde refrigerado. La disipación de calor enfría y solidifica rápidamente la masa que fluye junto a las paredes exteriores. Al mismo tiempo, la masa que fluye por el centro queda aislada respecto a la pared del canal, originándose así un núcleo plástico por el que puede fluir la masa necesaria para el llenado del molde. Este núcleo plástico debe conservarse hasta que la pieza esté totalmente solidificada; de este modo adquiere plena eficacia la presión residual necesaria para compensar la contracción de volumen que ocurre durante el proceso de solidificación.

De esta exigencia deriva la geometría de los canales de distribución. Teniendo en cuenta las razones de ahorro de material, y en virtud de las condiciones de refrigeración, se obtiene que la relación superficie-volumen debe ser lo menor posible. Lógicamente, las dimensiones del canal dependen

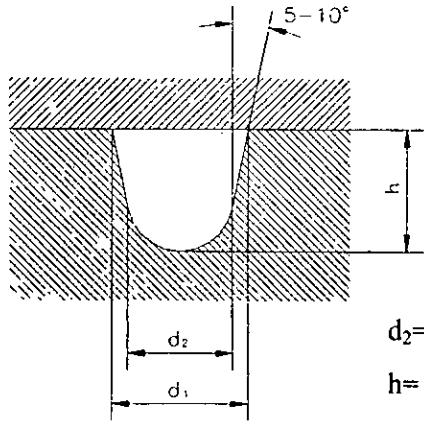
del tamaño de la pieza, del tipo de molde y del termoplástico a elaborar. Por lo general, debe considerarse que la sección del canal debe ser mayor cuanto mayor sea la pieza, o bien, para piezas semejantes, cuanto mayor sea su espesor. Una sección grande favorece el llenado, ya que la resistencia al flujo es menor que en los canales estrechos. El termoplástico debe ser tanto más fluido cuanto más largos sean los canales.

Por otra parte, se tiene la exigencia de producir un artículo con el máximo de rentabilidad. La vena de colada extraída del molde influye en la cantidad de desperdicio y, posiblemente, también en el tiempo de refrigeración cuando las secciones son excesivas respecto al tamaño de la pieza.

Adquiere, pues, gran importancia el dimensionado de los canales, tanto en lo que respecta a la calidad como en cuanto a la rentabilidad de la producción. El canal circular cumple óptimamente la condición de mantener mínima la relación superficie-volumen; con este canal se producen las mínimas pérdidas de calor y por rozamiento. Para poder desmoldearlo, tiene que dividirse diametralmente en partes iguales, abarcando la mitad del molde lado boquilla y la mitad lado expulsor, lo que resulta de difícil realización.

Por otra parte, el maquinado de este canal circular, al efectuarse en ambas mitades, encarece al molde. Por ello puede elegirse una sección que se aproxime a la circular, pero de modo que el canal resultante pueda alojarse en una mitad del molde; para facilitar el desmoldeo, se aplica en la parte móvil del molde.

La sección parabólica es la más utilizada, por aproximarse mucho a las exigencias citadas y proporcionar sólo un poco más de desperdicio que el canal circular. En la figura 2.7 se presentan los datos más importantes para el dimensionado del canal parabólico.



$d_2 = s_{max} + 1.5 = 0.7d_1$

$h = (2/3)d_2$

Figura 2.7. Dimensiones principales del canal parabólico. s_{max}= espesor máximo de la pieza.

La calidad de la superficie de los canales depende de la masa termoplástica a emplear. Por lo general, puede partirse de la base de que es más favorable no pulir los canales, ya que así se produce un anclaje de la película solidificada junto a la pared, evitándose que sea arrastrada por el núcleo plástico; sin embargo, con algunos materiales se debe efectuar un pulido brillante y, a veces, un cromado, para evitar que se produzcan defectos en la pieza. Tales materiales son, por ejemplo, el PVC, el policarbonato y el poliacetato.

En los moldes múltiples, los canales distribuidores tienen también la misión de conseguir que todas las cavidades se llenen simultánea y uniformemente. De producirse retrasos en el llenado de unas partes respecto a las otras, la presión residual sólo actúa a su debido tiempo en determinadas cavidades, mientras que en el resto se produce prematuramente o demasiado tarde. El modo más sencillo de conseguir un llenado simultáneo consiste, lógicamente, en hacer de igual longitud todas las vías de flujo hacia las

cavidades, y en no modificar la sección de los canales de distribución y de estrangulamiento. Para obtener vías de flujo iguales, lo mejor es disponer las cavidades en círculo alrededor del punto central del canal de entrada. Una forma especial de este sistema lo es el canal anular; la masa plástica procedente del canal de entrada llega primeramente a un distribuidor principal en forma de anillo, el cual va conectado a las diversas cavidades mediante canales secundarios. Las figuras 2.8 y 2.9 muestran algunas posibilidades de ordenación de los canales distribuidores.

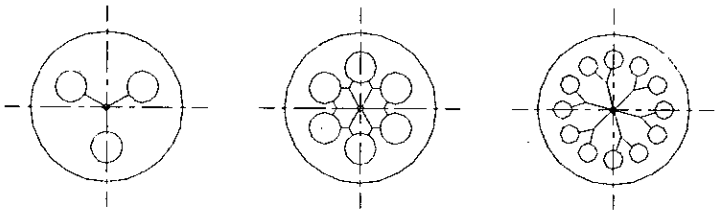


Figura 2.8. Distribución en estrella.

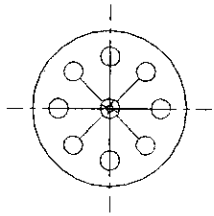


Figura 2.9. Distribución anular.

Si no es posible una distribución semejante, se emplea el llamado distribuidor de hileras. Este, como se muestra en la figura 2.10, consta de un canal principal y diversos canales secundarios que terminan en el canal de estrangulamiento. Aunque se adoptan secciones distintas para el canal principal y los secundarios, puede ocurrir que las cavidades se llenen en forma defasada debido a las diferentes caídas de presión. Por esta razón, en la práctica, se

hacen primero muy pequeños los canales de estrangulamiento que unen el canal de alimentación con la cavidad del molde y, posteriormente, en las inyecciones de ensayo, se van ensanchando hasta que todas las cavidades se llenan simultáneamente.

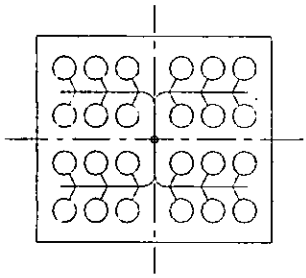


Figura 2.10. Distribución en hileras.

Además de compensar los distintos tiempos de llenado mediante el ajuste de los canales de corte, otras medidas constructivas cuidan de obtener iguales caminos de flujo y conseguir que todas las cavidades se llenen simultáneamente de material en el mismo estado. Como ejemplo de ello, la figura 2.11 indica cómo puede resolverse, con la distribución en hilera, el problema de obtener caminos de flujo iguales, sin tener en cuenta el canal de estrangulamiento. Sin embargo, esta solución, aparentemente favorable, tiene como desventaja el gran volumen del material que solidifica en los canales y se convierte en desperdicio.

El tiempo necesario para llenar un canal puede determinarse mediante la siguiente relación:

$$t = K.l^4 / d^4.\Delta p^3$$

donde

t = tiempo transcurrido hasta el fin del proceso de llenado

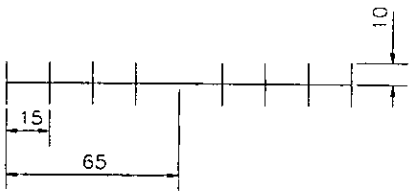
K= constante

l = longitud del canal de llenado

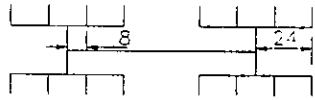
d= diámetro del canal de llenado

Δp = diferencia de presión en el canal de llenado.

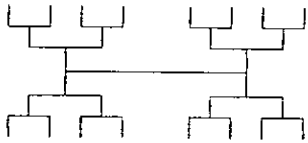
Así pues, si el camino desde el bebedero hasta la ultima cavidad del molde es tres veces mayor que el camino hasta la primera cavidad, como ocurre en el ejemplo (a) de la figura 2.11, la última cavidad se llenará aproximadamente 80 veces más tarde.



a) La última cavidad se llena 80 veces más tarde que la primera.



b) La última cavidad se llena 16 veces más tarde que la primera.



c) Tiempos de llenado iguales pero caminos de flujo más largos y mayor desperdicio.

Figura 2.11. Configuración de distribución en hileras para conseguir caminos de flujo iguales.

2.5 Ajuste de la resistencia al flujo en los canales de distribución.

Si, después de aplicar todas las medidas constructivas, no es posible situar las cavidades a igual distancia del bebedero, de modo que no se cumple

el principio de caminos de flujo iguales, sólo queda la posibilidad de conseguir, mediante secciones de paso distintas en los canales de estrangulamiento, una resistencia al flujo de la masa hasta cada cavidad que haga que el llenado se produzca simultáneamente en todas ellas, a pesar de ser diferentes los recorridos. Si bien estas secciones pueden determinarse previamente en forma aproximada, en la práctica se determina la sección más favorable efectuando ensayos de inyección y llevando a cabo las correcciones pertinentes.

2.5.1 Determinación de la sección de los canales de estrangulamiento.

Si los diámetros de los canales de distribución son iguales, así como las longitudes de los canales de estrangulamiento, las secciones de éstos se pueden calcular, en moldes múltiples con caminos de flujo iguales, por la relación:

$$K = f / l \,.\, L^{1/2} = \text{constante}$$

donde f significa la sección de los canales de estrangulamiento, l su longitud; L, la longitud de los canales de distribución, y F, su sección.

La premisa para el cálculo de la sección de los canales de estrangulamiento es que se conozca o elija una sección.

Para la primera sección de estrangulamiento se elige generalmente f= 0.07F, y para l, un valor situado entre 0.25 y 2.5 mm. Si la sección de estrangulamiento es rectangular, la cara ancha se establecerá según $a \approx 3b$ (fig. 2.12).

2.5.2 Configuración de los canales de estrangulamiento.

El canal de estrangulamiento es la parte del sistema de alimentación que une la cavidad con el canal distribuidor. Generalmente, es la zona de paso más

estrecha de todo el sistema. Su tamaño y longitud vienen determinados por diversas exigencias.

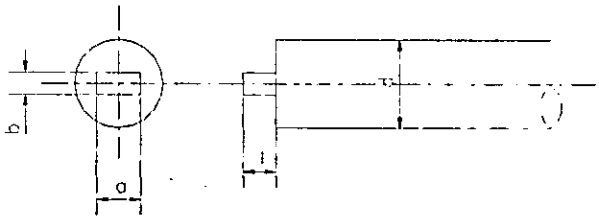


Figura 2.12. Canal de estrangulamiento rectangular con canal de distribución. f= a.b, F= $\pi d^2/4$, a ≈ 3b, l= 0.25 a 2.5 mm, f= (0.07 a 0.1)F, d= diámetro del canal.

La entrada debe ser lo más pequeña posible y de fácil desmoldeo, eligiendo su posición en la pieza de modo que no produzca marcas inoportunas. Con ello se evita un costoso trabajo posterior, que exige tiempo.

Sin embargo, no es posible hacer el canal de estrangulamiento tan pequeño, ya que, por representar un cuello de botella en el sistema de alimentación, opone una considerable resistencia al flujo de la masa plástica, consumiéndose una parte importante de la presión de inyección. La resistencia ofrecida por el canal de estrangulamiento es tanto mayor cuanto más viscoso es el termoplástico. Al fluir por canales estrechos, el termoplástico, que recorre el sistema de alimentación a alta velocidad durante la inyección, se calienta notablemente. Si el canal de estrangulamiento es demasiado pequeño, no solo obstaculiza el llenado, sino que puede producir también un sobrecalentamiento, con la consiguiente degradación térmica del termoplástico. Por el contrario, si la sección es excesiva, la temperatura de la colada no aumenta o sólo un poco, y el material se solidifica en el canal prematuramente. La presión residual para compensar la contracción volumétrica producida al solidificarse la masa, no

puede mantenerse durante suficiente tiempo. Las dimensiones del canal de estrangulamiento pueden determinarse según las relaciones del capítulo 2.5.1. Por tanto, la posición y la forma del canal de estrangulamiento quedan determinadas, en primer lugar, por el tamaño de la pieza, su forma y la viscosidad del termoplástico a utilizar.

Para piezas sencillas se han impuesto, en la práctica, las dimensiones registradas en la figura 2.13.

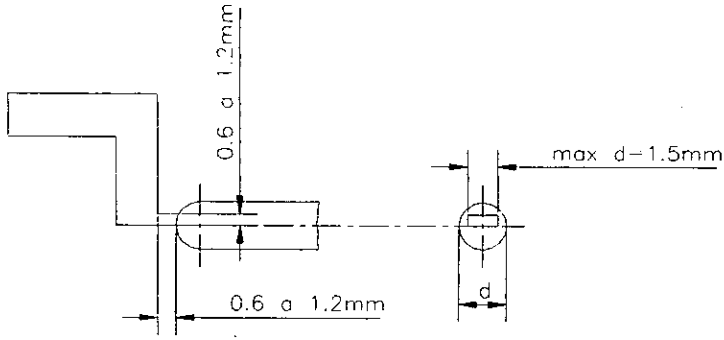


Figura 2.13. Dimensionado del canal de estrangulamiento.

Con la configuración del canal de corte, el fabricante tiene una última posibilidad de corregir el estado de la colada poco antes de que ésta penetre en la cavidad. En los moldes múltiples, donde los canales de distribución tienen frecuentemente longitudes desiguales, la diversa constitución de los canales de estrangulamiento puede conseguir que la resistencia al flujo sea igual en todas partes. Con ello se consigue un llenado uniforme en todas las cavidades.

La figura 2.14 muestra algunos ejemplos fundamentales en cuanto a la forma y posición del canal de estrangulamiento en el sistema de llenado. Según ella, se distinguen las posiciones centrada y excéntrica respecto al canal distribuidor, así como secciones circulares, semicirculares y rectangulares. Por

lo que respecta a la forma del canal de estrangulamiento, son válidas, en principio, las consideraciones formuladas al tratar de los sistemas de llenado. Según ellas, los conductos, y como tal debe considerarse el canal de estrangulamiento, deben permitir el paso de un volumen máximo con la mínima superficie de contacto, a fin de mantener reducidas la refrigeración y las pérdidas por rozamiento. Esta exigencia la cumple óptimamente el canal circular, pero, al tener que estar elaborado en las dos mitades del molde, encarece su fabricación; por tanto, ésta es una razón para no realizar canales de estrangulamiento circulares ni situarlos en el centro del conducto de distribución, a pesar de la facilidad de flujo que ello representa y del hecho de que este tipo de canal permanece abierto durante el tiempo máximo. Por razones económicas se prescinde también del canal rectangular situado en el centro de las vías de llenado. Si, a pesar de ello, se quiere o tiene que emplear, su anchura no debe ser superior al 60% del diámetro del canal de llenado.

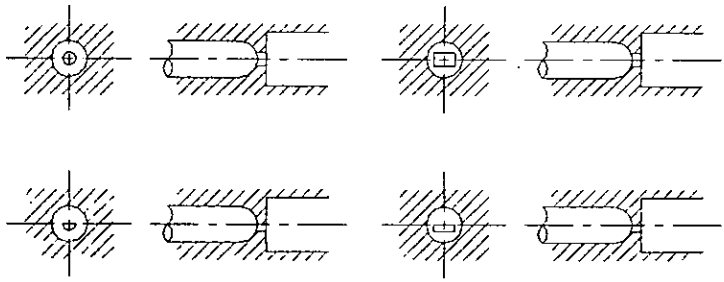


Figura 2.14. Configuración y posición de los canales de estrangulamiento.

La posición excéntrica de los canales de estrangulamiento respecto al eje del canal distribuidor es, pues, de fabricación más económica que la centrada. Por esta razón es también comprensible que se emplee con más frecuencia el canal de estrangulamiento con una superficie situada en el plano de partición

que el centrado. Tal tipo de canal tiene, además, la ventaja de desmoldearse y desprenderse con más facilidad, de modo que, por lo general, no es preciso un trabajo posterior. El canal de estrangulamiento debe situarse de forma que asegure caminos de flujo lo más iguales posibles, ausencia de líneas de flujo, buenas condiciones de circulación y de llenado de la cavidad del molde. En ningún caso debe originarse un chorro de masa pastosa en la cavidad del molde, ya que esta masa no vuelve a derretirse, sino que da origen a la presencia de marcas inoportunas en la pieza. La masa se hincha en la cavidad del molde cuando es muy viscosa o fluye lentamente cuando se sitúa sin interrupción junto a una pared, o cuando las esquinas de la entrada están rotas formando cavidades. Por lo tanto, el chorro debe dirigirse hacia una pared intermedia o contra un obstáculo, para romperlo.

2.5.3 Disposición de las entradas en la cavidad.

La disposición de las entradas determina la dirección de flujo de la masa de moldeo en la cavidad del molde. Como es sabido, las propiedades de resistencia de las piezas inyectadas no son las mismas en sentido longitudinal que en sentido transversal al flujo. Ello debe atribuirse a una diversidad de grado de orientación de las cadenas de concentración moleculares; en artículos de paredes finas este grado de orientación es muy elevado. Los valores máximos de resistencia a la tensión y al choque se alcanzan en la dirección de flujo, mientras que, perpendicularmente a ella, se produce una menor resistencia al agrietado en virtud de la tensión, así como también, una tenacidad reducida. Así, pues, antes de construir el molde, se deben conocer los esfuerzos que va a soportar la pieza a producir, así como la dirección según la cual sufrirá el esfuerzo principal. Como se ha indicado anteriormente, las dimensiones de la

sección del canal de entrada vienen determinadas por las cualidades de la masa termoplástica a emplear y por el espesor de la pared de la pieza; cuanto más viscosa es la masa termoplástica y mayor el espesor de pared de la pieza, tanto mayor deberá ser la sección. Como la magnitud de la sección de estrangulamiento depende del espesor más grande de la pieza, es conveniente efectuar la entrada donde se presente tal espesor. Si la entrada no se efectúa en el punto más grueso de la pieza suelen producirse porosidades, rechupes y una deformación de importancia que afecta las dimensiones de las piezas. Por lo general, puede atribuirse este fenómeno a una presión residual de actuación muy corta.

A causa de las orientaciones mal estudiadas, resultan importantes pérdidas de calidad que influyen en la contracción y en la deformación. Se entiende por contracción la diferencia de dimensiones entre las piezas y el molde. Debido a la dilatación térmica de la masa de moldeo, la contracción será mayor cuando sea también mayor la diferencia entre la temperatura de la masa y la del molde, y será menor cuando más tiempo tenga la masa para quedar en su posición definitiva sin movimiento. Con todas las demás condiciones sin variación, resultan siempre mejores las piezas llenadas con más rapidez; y también son menores las diferencias entre la dirección de flujo y su perpendicular, con lo que la deformación se hace más pequeña.

2.5.4 Cantidad de entradas en una cavidad.

La forma del artículo y el material termoplástico a emplear determinan la necesidad de una o varias conexiones de la pieza con el sistema de alimentación. La deformación presentada por algunos materiales termoplásticos y algunas formas de la pieza pueden compensarse con varias entradas. La

deformación, generalmente, se atribuye a las orientaciones y presiones irregulares que intervienen en la pieza durante el proceso de inyección. Las planchas y tiras se inyectan frecuentemente por su cara estrecha. El camino de flujo de la masa de moldeo depende de la longitud de la pieza y de su espesor. Conviene que la relación entre el recorrido de la masa termoplástica que fluye y el espesor de la pieza no sea superior a 80. Si no se alcanza este valor, se puede emplear una entrada puntiforme múltiple (figura 2.15) o una entrada laminar (figura 2.16) desde el lado largo.

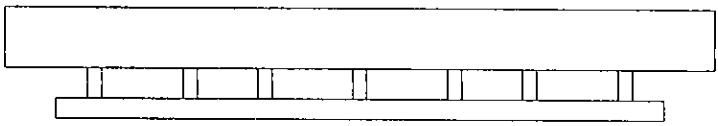


Figura 2.15. Entrada puntiaguda puntiforme.

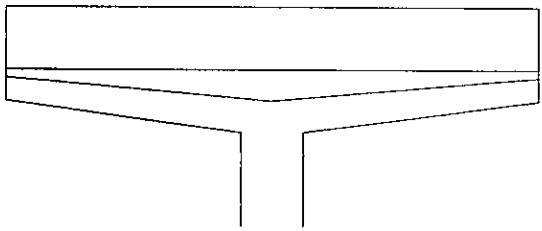


Figura 2.16. Entrada laminar.

Con varias entradas se producen uniones de flujo en los lugares donde converge la masa termoplástica en el interior del molde. Estas uniones resultan tanto más visibles cuanto más viscosa es la masa termoplástica. Por lo general, la pieza tiene una resistencia menor en las líneas de unión; por ello, principalmente en piezas sometidas a esfuerzos elevados, es conveniente utilizar una sola entrada. Si, a pesar de todo, se hace necesario comunicar mediante varias entradas una pieza con el sistema de alimentación, entonces se

debe tener en cuenta la ley del llenado uniforme, es decir, de iguales caminos de flujo desde la entrada hasta las líneas de convergencia de flujos o hasta el extremo de la pieza (figura 2.17).

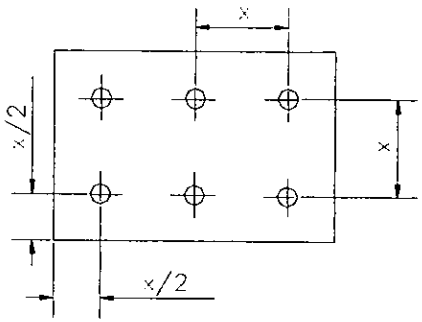


Figura 2.17. Principo de los caminos de flujo iguales.

2.6 Tipos de canales de entrada.

La elección del tipo de entrada y la situación de los canales respecto a la pieza son factores que influyen en la calidad de ésta y en la rentabilidad de la producción. La posición y la configuración de dichos elementos determinan el proceso de llenado y, por consiguiente, también en gran parte, la resistencia de la pieza. El canal de entrada debe estar diseñado de tal manera que la mazarota se pueda separar con facilidad de la pieza y no resulte un impedimento para la utilización de la misma.

2.6.1 Entrada cónica.

La entrada cónica permite una elevada presión residual, que actúa plenamente hasta la solidificación de la pieza. Como este tipo de canal de alimentación opone la mínima resistencia al flujo de la masa termoplástica, se emplea muy frecuentemente cuando se trata de la inyección de masas

termoplásticas viscosas y sensibles a la temperatura. Resulta especialmente apropiado para la producción de piezas de paredes gruesas con reducida tolerancia en sus dimensiones. En casi todos los casos, la mazarota cónica se separa posteriormente en un proceso de trabajo especial.

Existen dos posibilidades de practicar en el molde el canal de entrada cónico. Si se emplea una boquilla (fig. 2.18) no puede evitarse, por lo general, una marca en la pieza. Si no se desea dicho efecto, el canal u orificio de colada tiene que elaborarse directamente en la mitad del molde lado fijo (fig. 2.19).

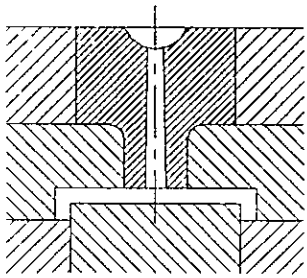


Figura 2.18. Mazarota de barra con boquilla de bebedero.

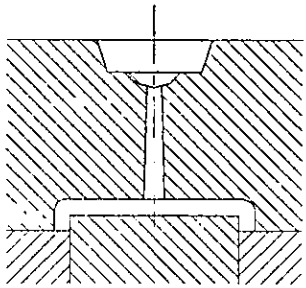


Figura 2.19. Mazarota de barra en la mitad del molde lado boquilla.

2.6.2 Orificio de colada puntiagudo con precámara.

Como ya se ha mencionado, con el canal cónico es necesaria, generalmente, una fase de trabajo adicional, tras el llenado y enfriamiento, para eliminar la mazarota; esto, lógicamente, encarece el artículo. Además, en las piezas de paredes finas pueden producirse rechupes frente al punto de entrada, debidos a la contracción de la masa de moldeo en las mazarotas relativamente grandes. Si bien puede compensarse este inconveniente mediante una presión residual elevada y prolongada, ello significa tiempo invertido y un trabajo todavía menos rentable. El orificio de colada puntiagudo compensa todas las desventajas citadas y permite un trabajo totalmente automático. El artículo se fabrica en una sola fase de trabajo y, por lo general, no precisa ningún repaso posterior.

La boquilla posee una gran depresión que desemboca en el canal que conduce a la cavidad del molde. Este orificio de colada se amplía cónicamente hacia la pieza; es indispensable la forma cónica, a pesar de la reducida longitud de 0.6 a 1.2 mm, para que pueda desmoldearse bien la pequeña mazarota. Ello es muy importante para el buen funcionamiento del orificio de colada puntiagudo con precámara. Al desmoldear la pieza, se separa también la masa solidificada en la entrada , de modo que el orificio queda de nuevo abierto para el siguiente proceso de llenado. En las piezas de paredes finas se mejora el flujo y la distribución de la masa termoplástica mediante una pequeña cazoleta situada frente a la entrada (figura 2.20). La figura contiene también las dimensiones más importantes para el agujero de colada. Las ranuras junto a la boquilla sirven para separar del molde el tapón de material solidificado en caso de que éste llegue a enfriarse o cuando se trabaje con mazarota puntiforme perdida.

Sin embargo, el orificio de colada puntiagudo con precámara solamente es posible con tiempos de ciclo cortos y cuando la masa situada en el núcleo de la precámara permanece tan plástica que permite el paso del material inyectado (figura 2.21). En todos los demás casos se debe desmoldear, antes de cada inyección, la masa solidificada en la precámara.

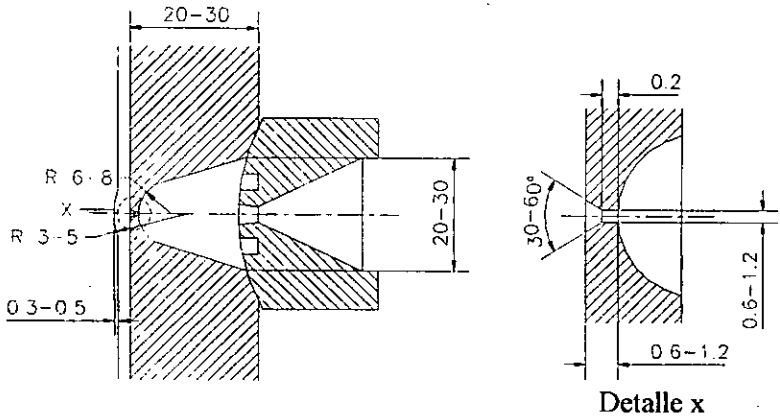


Figura 2.20. Mazarota puntiaguda con precámara y con cazoleta frente a la entrada para mejorar la distribución del polímero.

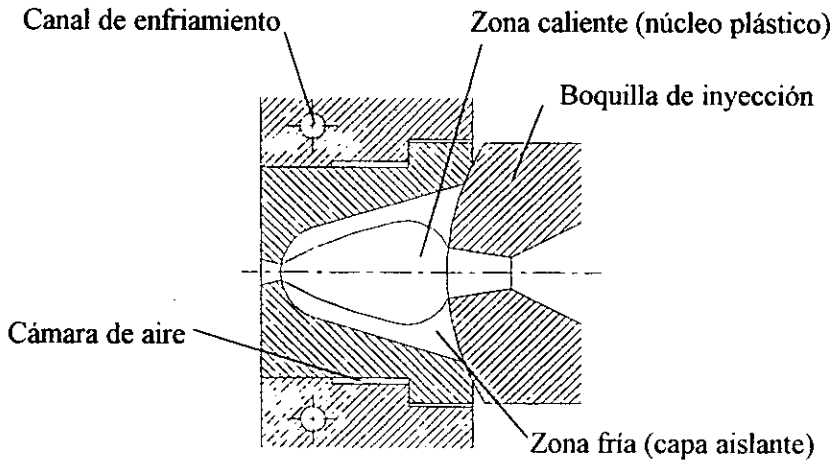


Figura 2.21. Boquilla de bebedero con precámara.

La solución que se presenta en la figura 2.22 muestra una posibilidad para separar la mazarota del bebedero; se elimina neumáticamente al trabajar con mazarota puntiforme perdida. El resalte existente en el plato del bebedero la retiene hasta que la boquilla de inyección se separa del molde; entonces se mueve por aire comprimido, en la dirección de la boquilla de inyección, el pistón anular representado en la figura. En este ejemplo, este pistón retrocede con una carrera de unos 5 mm y, tras una carrera de 3 mm, el aire comprimido actúa directamente sobre la mazarota cónica, de modo que ésta es eliminada por completo.

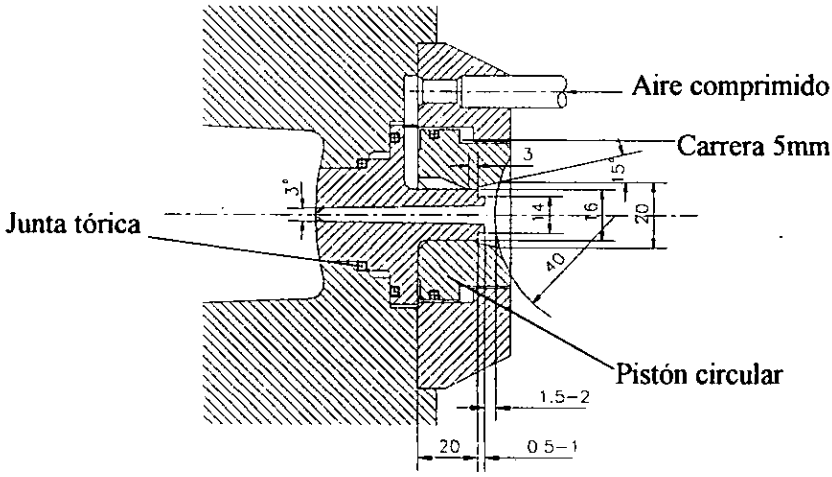


Figura 2.22. Bebedero cónico con mazarota puntiaguda para expulsión neumática de la misma.

Por lo general, los moldes de inyección se refrigeran con un líquido para acelerar el proceso de solidificación y conseguir condiciones constantes. Al trabajar con precámara caliente, tiene lugar una transmisión térmica no deseable desde la precámara hacia el molde refrigerado. Esta transmisión

térmica puede dificultarse elaborando ranuras en el perímetro externo de la boquilla; con ello se forma una pequeña cámara de aire, de efecto aislante, entre el molde refrigerado y la boquilla de inyección caliente (fig. 2.21). Otra posibilidad de compensar la transmisión térmica consiste en calentar la precámara. La forma más sencilla de realizarlo desde el interior consiste en prolongar en punta la boquilla del cilindro de plastificación. Conviene que esta punta de boquilla esté fabricada con un material buen conductor, a fin de conseguir una buena transmisión térmica desde el cilindro de plastificación a la precámara; han dado buenos resultados el cobre y sus aleaciones. La figura 2.23 representa una precámara calentada por el extremo de la boquilla de inyección; ésta produce el cierre de la precámara, mientras que su punta es intencionalmente más pequeña que la cavidad del bebedero, con el objeto de que en el primer llenado del molde, aquella se rodee de masa, que actúa como capa aislante.

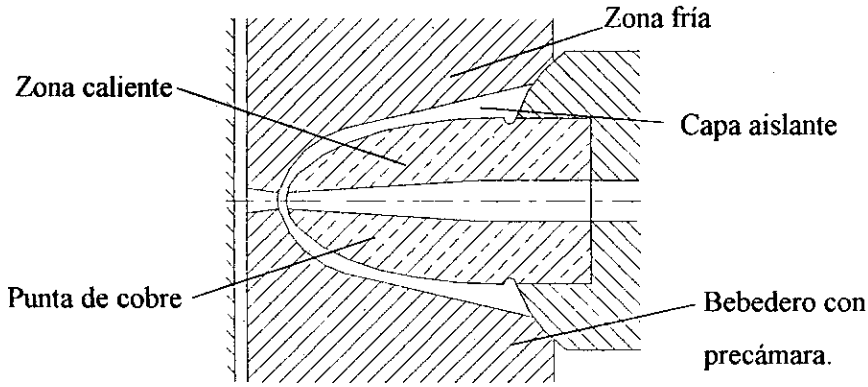


Figura 2.23. Precámara calentada por la punta de la boquilla de inyección.

Se trabaja principalmente con la precámara calentada cuando se trata de piezas de paredes gruesas, que no pueden fabricarse con tiempos de ciclo de

tres a cuatro inyecciones por minuto debido a su más prolongado tiempo de enfriamiento. Transcurrido el tiempo de presión residual, puede separarse la boquilla de inyección del molde, con lo que se evitan nuevas pérdidas de calor y una eventual solidificación del tapón de material en la punta de la boquilla de inyección. El llenado de un molde con entrada provista de precámara ha dado buenos resultados, especialmente para masas termoplásticas con un amplio intervalo de reblandecimiento a baja temperatura. Por tanto puede aplicarse muy bien a la elaboración de polietileno y poliestireno, siendo menos apropiado para poliamidas y otras materias termoplásticas de alta temperatura de fusión.

El diámetro de la entrada depende, como siempre, del espesor de pared de la pieza y de la masa termoplástica a emplear. En general, puede decirse que la pieza se separará tanto más fácilmente de la mazarota cuanto menor sea la sección. Para mantener la entrada lo más pequeña posible se trabaja con elevada temperatura de la masa. No obstante, existen límites, principalmente para masas termoplásticas sensibles a la temperatura.

2.6.3 Entrada de colada sin bebedero.

En la disposición de entrada sin bebedero, la boquilla de inyección llega directamente hasta la pieza y queda unida a ésta por un punto estrecho. La figura 2.24 muestra una cajita inyectada sin bebedero. La cara frontal de la boquilla cierra el molde. La pieza adquiere con ello una marcada señal de inyección (aspecto mate y superficie ondulada). Por ello se debe procurar que la boquilla de inyección sea lo menor posible, recomendándose no sobrepasar un diámetro de 6 a 12 mm. Como la boquilla de inyección tiene contacto con el molde durante los períodos de inyección y de presión residual, el proceso sólo puede aplicarse para la fabricación de piezas finas con ciclo rápido. Para evitar

el peligro de solidificación en la boquilla, calentada solamente por transmisión térmica, la sucesión de inyecciones no debe ser inferior a 3 por minuto. El proceso puede emplearse en forma muy limitada.

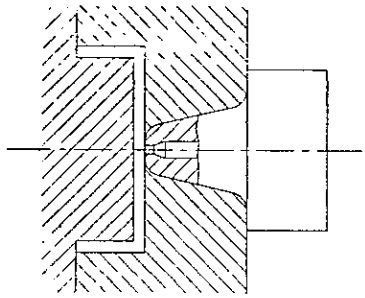


Figura 2.24. Inyección sin mazarota.

2.6.4 Entrada de colada laminar.

Las piezas inyectadas con varias entradas presentan líneas de unión más o menos visibles en los puntos de reunión de la masa termoplástica, que reducen la resistencia. En el caso de placas, tiras, etc., pueden evitarse estas líneas de unión inyectando por un lado la masa termoplástica que constituye la pieza, mediante la llamada entrada laminar, la cual se extiende sobre toda la longitud lateral. En la figura 2.25 se representa una disposición de entrada laminar. El termoplástico pasa, a través del bebedero, al canal de distribución y a un estrechamiento del mismo, que es lo que constituye la entrada laminar. Esta entrada alargada cuida que la masa fluya uniformemente en la cavidad del molde. Con el llenado uniforme de la cavidad no sólo se evitan las líneas de unión citadas, sino que se excluye también, en gran parte, la deformación de la pieza, ya que la dirección de flujo es igual en todas las secciones.

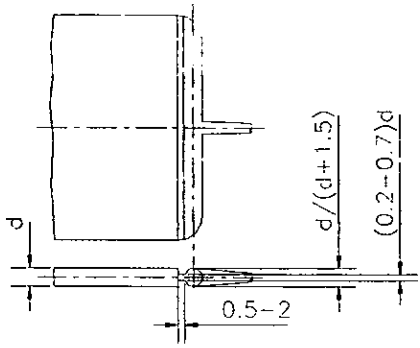


Figura 2.25. Entrada de colada laminar. d= espesor de la pieza.

2.6.5 Entrada de colada en forma de cúpula.

Para obtener piezas anulares ó bujes, éstas se pueden inyectar por uno o varios puntos mediante una mazarota puntiaguda; sin embargo, se producen las líneas de unión ya descritas, con las consiguientes desventajas. Además de la menor resistencia, se producen, en tales piezas, deformaciones y desplazamientos del núcleo.

Para conseguir un llenado uniforme de toda la sección del anillo, se une el cono de colada con un canal en forma de embudo, que suele designarse con el nombre de cúpula, el cual distribuye uniformemente la masa plástica sobre el diámetro mayor de la pieza (fig. 2.26); de este modo no pueden producirse uniones de flujo. Existen dos posibilidades de unir la pieza al sistema de llenado: la pieza se une al canal de llenado a través de una entrada situada entre la cúpula y la pieza (fig. 2.26); o bien se une directamente la pieza a la cúpula (fig. 2.27). Este último tipo de unión exige, generalmente, una costosa elaboración posterior. Ambos sistemas proporcionan piezas de buena calidad y con escasa deformación. El tipo elegido depende principalmente del espesor de

la pieza. Sin embargo, la construcción del sistema de alimentación, que se sitúa como un embudo sobre la pieza, no permite apoyar el núcleo en ambos lados; en piezas muy largas, esto puede hacer que el núcleo se desplace en virtud de eventuales diferencias de presión en la masa que fluye. Para evitarlo, en tales piezas se emplea generalmente la entrada de colada anular.

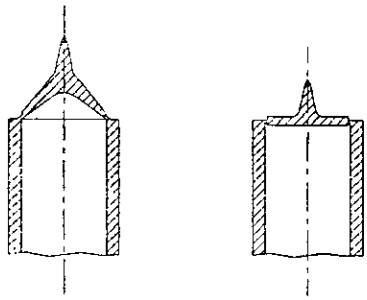


Figura 2.26. Pieza unida al sistema de alimentación a través de la entrada.

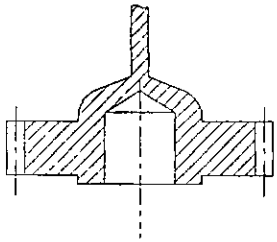


Figura 2.27. Pieza unida al sistema de alimentación a través de una pantalla de colada.

2.6.6 Entrada de colada anular.

Este tipo de entrada de colada se emplea principalmente para piezas anulares o en forma de buje, donde el núcleo precisa doble apoyo debido a su longitud. La entrada de colada anular es muy semejante a la cúpula. La masa

plastificada llega por el cono de entrada a un canal anular que une la pieza con el canal de llenado (fig. 2.28). Durante el proceso de llenado, la estrecha sección que tiene la entrada actúa en primer lugar como estrangulación; por ello se llena primero uniformemente el canal anular con la masa que penetrará después en la cavidad a través de la entrada. Si bien se produce una línea de unión en el canal anular, en la pieza apenas será visible.

La principal ventaja de este tipo de colada consiste en que el núcleo puede apoyarse por ambos extremos. Con ello pueden producirse también piezas en forma de buje relativamente largas, con espesor de pared uniforme. En la figura 2.29 se representan algunas cotas características para el dimensionado del canal anular.

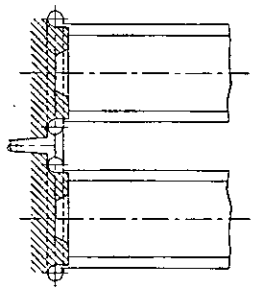


Figura 2.28. Tubos con entrada de colada anular y pivote de centrado para el apoyo del núcleo.

2.6.7 Entrada de colada en forma de túnel.

Excepto cuando se trata de moldes de canal caliente y moldes que operan con distribuidor aislado, en los moldes múltiples se desmoldea conjuntamente la totalidad de la mazarota o vena de colada, por lo que es necesario eliminar ésta posteriormente muchas veces. Por esto no es posible un trabajo

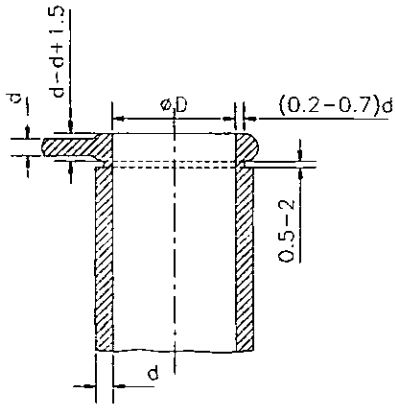


Figura 2.29. Medidas características en la entrada de colada anular.

totalmente automático. La entrada de colada en forma de túnel puede emplearse, entonces, para resolver este inconveniente (fig. 2.30). Con este sistema de entrada, los canales de distribución llegan hasta cerca de la cavidad del molde. Allí son desviados y finalizan en un orificio cónico que une la cavidad con el sistema de alimentación mediante el canal de estrangulamiento. Gracias al agujero oblicuo respecto a la pared lateral de la cavidad (túnel), se origina un canto agudo entre la pieza y el túnel, el cual corta la mazarota al desmoldear la pieza.

Para el desmoldeo, la pieza y la vena de colada tienen que permanecer en la mitad del molde lado móvil. Tanto para la pieza como para la vena de colada, esto puede conseguirse mediante resaltes. Como el canto cortante está situado en la mitad del molde lado fijo, la vena de colada se corta en cuanto se abre el molde. Entonces se desmoldean la pieza y la vena de colada mediante expulsores (fig 2.31).

La entrada de colada en forma de túnel se emplea en especial cuando se trabaja con masas elásticas; con masas muy rígidas, existe el peligro de

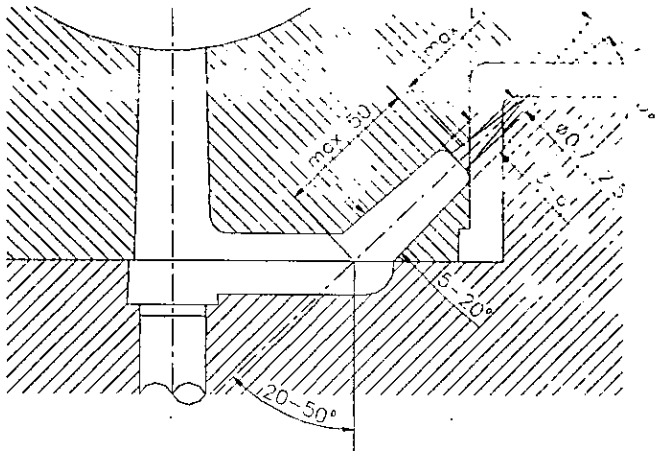


Figura 2.30. Entrada de colada en forma de túnel.

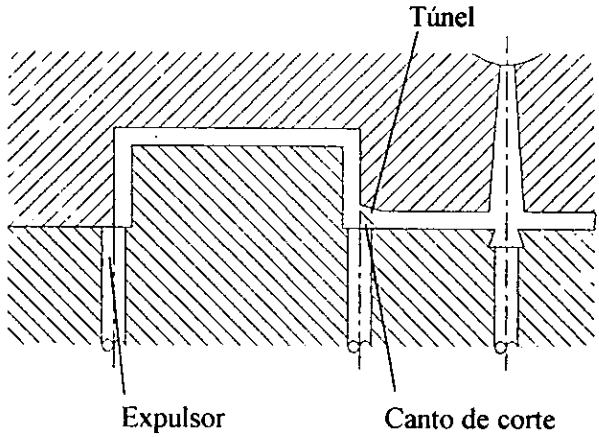


Figura 2.31. Entrada de colada en forma de túnel con canto de corte para separar la vena de colada de la pieza.

que se rompan las mazarotas de los canales de distribución durante la apertura del molde, puesto que trabajan a flexión. Por ello se debe hacer algo mayores los canales distribuidores al producir piezas con materiales frágiles, para que la mazarota no esté completamente solidificada al desmoldear, siendo entonces

más blanda y tenaz. El diámetro de los canales de distribución debe ser en general unos 1.5 mm mayor que el punto más grueso de la pieza.

2.6.8 Molde de tres placas.

El molde de tres placas ofrece otra posibilidad de separar la pieza de la vena de colada al desmoldear.

En el molde de tres placas, la pieza y el sistema de alimentación no se encuentran en un mismo plano de partición del molde, sino que se utilizan dos planos; en uno están las cavidades del molde y en el otro el canal de distribución. El canal de distribución desemboca en un canal de comunicación elaborado en la placa intermedia, es decir, la placa situada entre los dos planos de partición.

El proceso de apertura del molde puede iniciarse en el plano de partición 1 o bien en el 2. Si se abre primeramente por el plano 1, se debe cuidar, como en el caso de la entrada de colada en forma de túnel, que la pieza quede unida al núcleo. Esto puede conseguirse mediante resaltes o por un enfriamiento a distinta temperatura del núcleo y la matriz. En el inicio de la apertura por el plano 1 se rompe la unión o uniones de la pieza con la vena de colada y, al continuar el proceso de apertura, aquella es empujada hacia afuera del núcleo por un expulsor; cuando se alcanza una determinada carrera de apertura, la placa intermedia queda retenida mediante anclaje y, con ello, se abre también el plano de partición 2, a fin de que la vena de colada pueda ser expulsada. Si el molde se abre por el plano de partición 2 se tiene la ventaja de poder realizar la pieza sin resaltes por no ser precisa su retención por el núcleo, ya que queda entre las placas de moldeo, hasta que se separa de la vena de colada, adherida a la mitad del molde lado fijo mediante los resaltes realizados en este. Tras un

nuevo movimiento de apertura efectuado utilizando barras de tracción, puede expulsarse la pieza y la vena de colada.

Los moldes de tres placas también se pueden emplear cuando se deben obtener piezas de gran superficie, las cuales no permiten inyectar desde un lado por resultar caminos de flujo demasiado largos. En la figura 2.32 se representa una posibilidad de configuración del molde de tres placas.

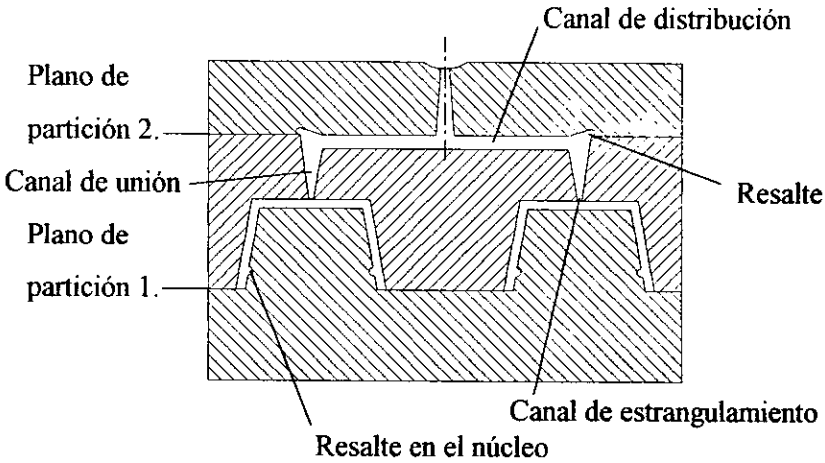


Figura 2.32. Molde de tres placas.

2.6.9 Canales de distribución autoaislantes.

En los moldes de canales de distribución autoaislantes, los canales situados entre el bebedero y la entrada a la cavidad se deben dimensionar de manera que la masa permanezca plástica en el centro del canal. Al igual que con la colada de precámara, el canal distribuidor autoaislante tiene un núcleo plástico que queda aislado respecto al molde por la masa solidificada junto a las paredes del canal, resultando así protegido contra una solidificación y obteniéndose un ciclo suficientemente rápido. Es importante que la cantidad de

masa plástica del canal sea menor que el volumen de inyección, pues esto hace posible renovar completamente el núcleo plástico en cada inyección.

Conviene emplear, pues, los moldes con canales de distribución autoaislantes, principalmente en una producción con ciclos rápidos de materiales termoplásticos con buena fluidez y amplio intervalo de reblandecimiento y fusión. Con materiales de este tipo, generalmente no solidifica el canal distribuidor si se trabaja con una velocidad mínima de tres ciclos por minuto.

Si los canales distribuidores solidifican después de una interrupción del ciclo, se debe desmoldear la vena de colada solidificada antes de una nueva puesta en marcha o bien calentar el molde para que la masa plastifique nuevamente.

La desventaja de los moldes con canal distribuidor autoaislante consiste en que, a veces, el material puede ser arrastrado de las zonas enfriadas, reduciendo con esto la calidad de la pieza.

2.6.10 Canales distribuidores con calefacción; moldes de canal caliente.

En el molde de canal caliente no se desmoldea el material del sistema de alimentación. Se debe calentar el canal de entrada (bebedero) y los canales de distribución para que la masa no se solidifique y pueda disponerse de ella, transcurrido un ciclo de trabajo, para la nueva inyección. Así se aprovecha óptimamente la capacidad de plastificación e inyección de la máquina.

En los moldes de canal caliente, la masa fundida procedente del cilindro de plastificación es recibida por la boquilla del canal de entrada y transportada, a través de los canales de distribución calentados, hasta boquillas que la conducen hasta la inmediación de la cavidad del molde. Estas boquillas están

rodeadas por una precámara que une la pieza con el sistema de alimentación mediante una entrada puntiaguda. Con el objeto de mantener fluida la masa desde el final del proceso de llenado hasta el inicio del ciclo siguiente, se debe calentar la boquilla; la forma más sencilla de efectuarse es por conducción térmica, por lo que las boquillas deben ser de un material buen conductor. Si la temperatura de la punta de una boquilla es demasiado baja, puede solidificarse el material en el canal de entrada (a la cavidad). Si la temperatura es excesiva, la precámara puede calentarse demasiado por conducción térmica en su cara frontal. La consecuencia es un deterioro de la pieza, que puede adquirir una superficie ondulada en la zona de la precámara. Por estas razones es necesario cuidar de un mantenimiento exacto de la temperatura en los puntos de colada.

En la figura 2.33 se representa la boquilla y la precámara de un molde de canal caliente con las medidas más importantes para su dimensionado.

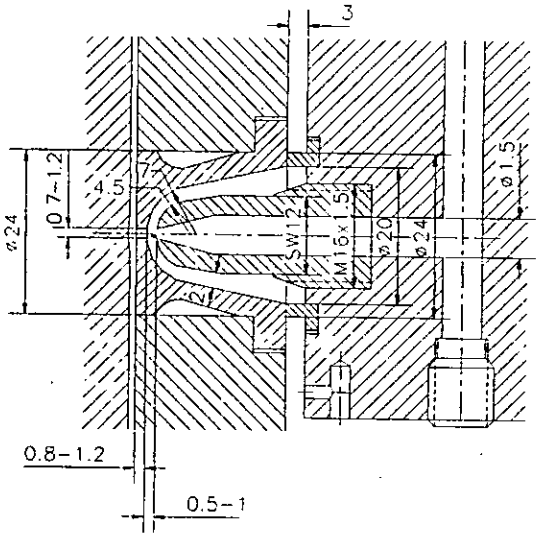


Figura 2.33. Boquilla y precámara de colada para un molde de canal caliente.

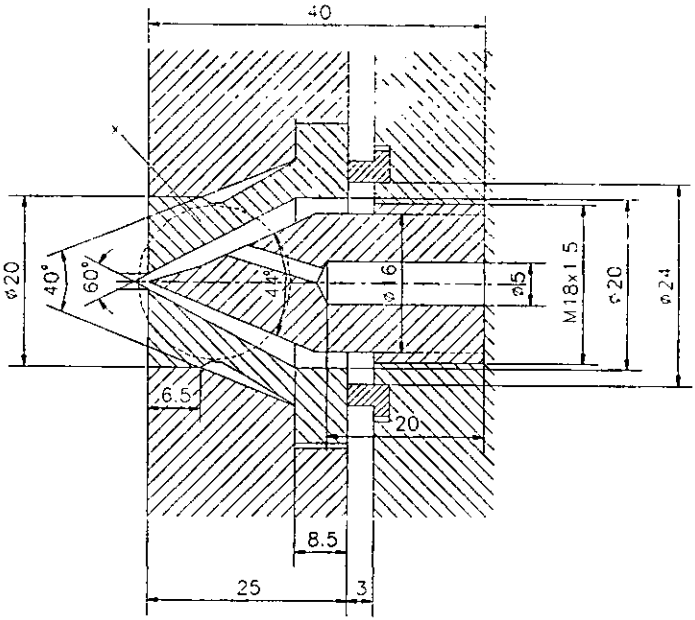
La boquilla y la precámara de un molde de canal caliente pueden configurarse también de modo que una pequeña punta de la boquilla penetre centrada en el orificio de salida de la precámara. Como muestra la figura 2.34, la masa sale entonces por la parte lateral de la boquilla. Gracias a la punta prolongada hasta el orificio de salida, la masa se mantiene caliente en el canal de estrangulamiento. De este modo, la pieza se separa fácilmente al desmoldear y no contiene marcas visibles.

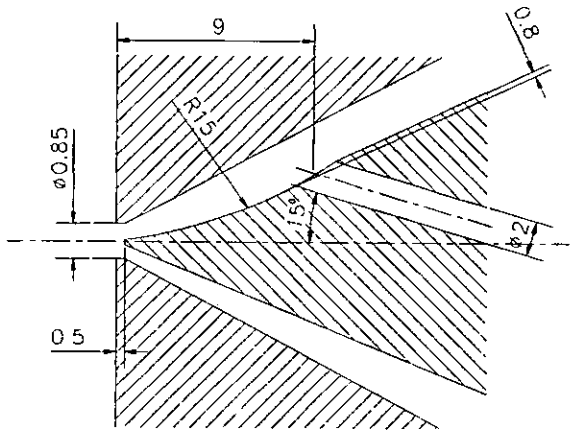
Para dificultar la transmisión térmica indeseada desde la precámara al molde más frío, se efectúan ranuras en la superficie externa de la precámara; con ello se crea una cámara de aire entre la precámara y el molde, que actúa como aislante. Al igual que en la entrada de colada puntiaguda con precámara común, esta entrada de colada con precámara se ensancha en cono hacia la pieza.

2.6.11 Entrada de colada de varios pisos.

Para aprovechar en forma óptima el rendimiento de plastificación de la máquina de inyección, se emplean muchas veces moldes múltiples en los que las cavidades se sitúan en un plano. Sin embargo, con piezas planas de gran superficie y reducido peso, estos moldes múltiples no son suficientes para aprovechar rentablemente la capacidad de plastificación de la máquina. Por ello, se emprendió la construcción de moldes en los que las cavidades se encuentran dispuestas en varios pisos, ya que, así, se aprovecha mejor la capacidad de plastificación.

La figura 2.35 muestra un molde con las cavidades dispuestas en dos pisos. La desventaja de dichos moldes es la elevada pérdida de material, debida a la ramificación del sistema de alimentación.





Detalle x

Figura 2.34. Boquilla calefactora con punta prolongada.

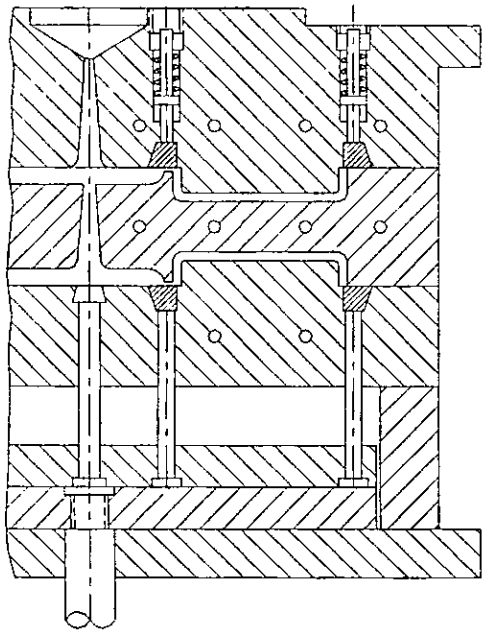


Figura 2.35. Entrada de colada de varios pisos.

CAPITULO 3.

SISTEMA DE ENFRIAMIENTO.

El diseño del sistema de enfriamiento en el molde es de gran importancia, debido a que la pieza sólo puede ser expulsada cuando ha adquirido suficiente rigidez.

La construcción debe realizarse siguiendo el llamado principio del cono, es decir, que la pieza debe enfriarse uniformemente, partiendo del borde exterior hacia el punto de la colada. El cono de entrada debe solidificarse hasta que la presión residual haya actuado durante un tiempo suficiente.

Por lo general, las temperaturas elevadas en el molde producen buenas superficies (brillo), buena fluidez, reducido grado de orientación y esfuerzos residuales bajos; en consecuencia, pocas grietas de tensión; poca contracción posterior; pero, sin embargo, producen largos tiempos de enfriamiento.

Las ventajas económicas obtenidas con tiempos de enfriamiento cortos traen como consecuencia abundantes desventajas en calidad. Además, se debe tener en cuenta que los costos del enfriamiento para temperaturas inferiores a la ambiente, aumentan progresivamente a mediada que baja la temperatura de las paredes del molde.

La formación de agua por condensación en las paredes del molde influye negativamente en la calidad de las superficies cuando la temperatura es muy baja.

En la tabla 3.1 se indican las temperaturas de pared del molde para algunos termoplásticos de inyección.

Tabla 3.1. Temperaturas de elaboración y del molde para algunos termoplásticos de inyección.

Material	Temperatura de elaboración (°C)	Temperatura del molde (°C)
Polietileno baja densidad	170-260	0-70
Polietileno alta densidad	220-320	0-70
Poliestireno normal	200-250	30-60
Poliestireno antichoque	200-250	30-60
Poliamida 6	240-290	60-100
Poliamida 6 + fibra de vidrio	260-310	80-120
Poliamida 6.6	260-300	40-120
Poliamida 6.6 + fibra de vidrio	280-320	60-120
Poliamida 6.10	230-260	80-120
Estireno-acrinolitrilo	230-260	50-80
Polimetracrilato	170-230	40-90
Policarbonato	280-310	85-120
Copolímero acetal	180-230	70-130
Cloruro de polivinilo blando	180	20-80
Cloruro de polivinilo duro	160-190	20-80
Polipropileno	180-280	0-80
Acetato de celulosa	180-230	40-80
Acetobutirato de celulosa	180-220	40-80
Propionato de celulosa	180-220	40-80
ABS-Copolímero	180-240	50-80

3.1 Determinación del tiempo de enfriamiento.

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

Para una temperatura de pared y conductividad de temperatura constantes, se pueden aplicar las siguientes fórmulas para determinar el tiempo de refrigeración:

1) Para placas y piezas de paredes finas.

$$t = (s^2 / (\pi^2 . a)) (8T / \pi^2) /3 \ldots (1)$$

2) Para piezas con forma de cilindro.

a) De longitud ∞ $t = (d^2 / 23.14a) (1.599T) \ldots (2)$

b) De longitud l $t = (1 / [(23.14 / d^2) + (\pi^2 / l^2)] a) (6.396T / \pi) \ldots (3)$

3) Para piezas con forma de cubo.

$$t = (h^2 / (3\pi^2 a)) (64T / \pi^3) \ldots (4)$$

4) Para piezas con forma de esfera.

$$t = (d^2 / (4\pi^2 a)) (2T) \ldots (5)$$

Donde

θ_M = temperatura de la masa

θ_w = temperatura de moldeo

θ_E = temperatura de desmoldeo

s = espesor de pared

d = diámetro

h = longitud de las aristas

$T = (\theta_M - \theta_w) / (\theta_E - \theta_w)$

$a = K / (\rho c)$ = conductividad de temperatura

K = conductividad térmica

ρ = densidad

c = calor específico.

En la tabla 3.2 se indican los valores de conductividad de temperatura de algunos termoplásticos de moldeo.

Tabla 3.2. Conductividad de temperatura de algunos termoplásticos de inyección.

Material	Conductividad de temperatura
Polietileno baja densidad	$7.4x10^{-4}cm^2/s$
Polietileno alta densidad	$7.7x10^{-4}cm^2/s$
Polipropileno	$7.6x10^{-4}cm^2/s$
Poliestireno	$8.3x10^{-4}cm^2/s$
Cloruro de polivinilo	$4.8x10^{-4}cm^2/s$

El tiempo de enfriamiento necesario para conseguir el mismo grado de enfriamiento en piezas distintas, aumenta proporcionalmente con el cuadrado del espesor y en forma inversamente proporcional a la conductividad de temperatura. Por tanto, el tiempo de enfriamiento de una pieza cualquiera puede determinarse también por comparación con una pieza con tiempo de enfriamiento conocido y forma semejante.

3.2 Determinación del calor que debe disiparse.

El calor que debe desprenderse de la pieza depende de la masa de moldeo, de la temperatura de elaboración y de la temperatura media de desmoldeo.

La cantidad de calor que debe disiparse del plástico por unidad de tiempo es

$$Q_{Ku} = (\Delta h.m) / t_{ciclo} \quad ... (6)$$

donde

Δh = diferencia de entalpía específica

m= masa de la pieza

t_{ciclo}= tiempo de ciclo

El tiempo de ciclo está integrado por el tiempo de refrigeración y tiempos secundarios (tiempo de apertura, de pausa y de cierre).

3.3 Disposición del sistema de enfriamiento.

El agente moderador que fluye por los canales de enfriamiento del molde tiene la misión de aportar o disipar calor para obtener la temperatura adecuada en la pared del mismo. El fluido moderador tiene que disipar no sólo el calor aportado por la masa con la que se obtiene la pieza, sino también la diferencia de calor entre la superficie exterior del molde y el ambiente. Para temperaturas elevadas del molde, la cantidad de calor disipada hacia el ambiente puede ser superior a la aportada por la masa inyectada; en este caso, el fluido que sirve de agente moderador tiene que aportar calor para obtener en la pared del molde la temperatura elevada que se requiere.

La temperatura del agente de acondicionamiento es muchas veces diferente a la de la pared del molde. El gradiente de temperatura depende de las resistencias a la transmisión y a la conducción térmica en el molde y del calor a disipar.

La diferencia de temperatura entre el fluido de acondicionamiento y la pared del canal de enfriamiento se debe a la resistencia a la transmisión térmica, que depende de las condiciones de flujo y de las propiedades del agente moderador.

Son apropiados, como medios de acondicionamiento de temperatura:

a) Agua. Para temperaturas de 5 a 90 °C (bajo presión hasta 120 °C).

b) Mezcla agua-alcohol. Para temperaturas menores de 5 °C.

c) Salmuera. Para temperaturas menores de 5 °C.

d) Aceite. Para temperaturas de 90 a 300 °C.

La diferencia de temperaturas entre el fluido de acondicionamiento y la pared del canal de enfriamiento, se obtiene de la Ley de Transmisión térmica de Newton:

$$\theta_{KK} - \theta_{TM} = (Q_{Ku} + Q_U) / (2F_{KK}\, \alpha) \ldots (7)$$

donde

Q_{Ku} = calor a disipar de la pieza

$Q_U = \alpha_L\, F_{wO}\, (\theta_u - \theta_{TM})$ = calor intercambiado entre el molde y el ambiente (El calor es positivo cuando se aporta al molde)

θ_{KK} = temperatura de la pared del canal de enfriamiento

θ_{TM} = temperatura del agente moderador

F_{KK} = superficie del canal de enfriamiento en una mitad del molde

α = coeficiente de transmisión térmica agente moderador-pared del canal de enfriamiento

α_L = coeficiente de transmisión térmica para convección libre en aire = 6Kcal / m^2 h °C

F_{wO} = superficie exterior del molde

θ_u = temperatura ambiente.

El coeficiente de transmisión térmica α depende del número de Reynolds, característico de una corriente. Por tanto, el flujo de agente moderador o de acondicionamiento deberá ser siempre turbulento (Re > 2300). Una velocidad elevada del fluido y una viscosidad reducida mejoran la transmisión térmica.

El coeficiente de transmisión térmica α puede deducirse de la ecuación de Hausen para flujo turbulento en tuberías:

$$Nu = 0.037\ (Re^{0.75} - 180\ )\ x\ Pr^{0.42}\ [\ 1 + (D / L)0.67\ ]\ \ldots\ (8)$$

donde

Nu = número de Nusselt = (αD) / K_{TM}

Re = número de Reynolds = (v_{TM} D) / ν_{TM}

Pr = número de Prandtl = ν_{TM} / a_{TM}

D = diámetro del canal

k_{TM} = conductividad térmica del agente moderador

L= longitud del canal de enfriamiento

v_{TM} = velocidad del agente moderador

ν_{TM} = viscosidad cinemática del agente moderador

a_{TM} = conductividad de temperatura del agente moderador.

La diferencia de temperaturas entre la pared del canal de enfriamiento y la pared del molde depende de la conductividad térmica del material del molde y de la distancia entre los canales de enfriamiento y la pared del mismo:

$$\theta_w - \theta_{KK} = (\ s_{KK}\ Q_{Ku}\ )\ /\ (\ 2K_w\ F\ )\ \ldots\ (9)$$

donde

θ_w = temperatura de la pared del molde

s_{KK} = distancia del canal de enfriamiento a la pared del molde

K_w = conductividad térmica de la pared

F = superficie proyectada de la pieza.

Para obtener un gran rendimiento en el acondicionamiento de la temperatura, la distancia entre los canales de enfriamiento y la pared del molde debe ser pequeña. Sin embargo, existen límites condicionados por razones de resistencia y rigidez.

Combinando las ecuaciones (7) y (9) , se obtiene, para el gradiente total de temperatura, desde la pared del molde hasta el agente de acondicionamiento:

$$\theta_w - \theta_{TM} = [(s_{KK} Q_{Ku}) / (2K_w F)] + [(Q_{Ku} + Q_U) / (2F_{KK}\alpha)] \ldots (10)$$

La temperatura del agente moderador θ_{TM}, la distancia de los canales de refrigeración a la pared s_{KK} y la superficie del canal de refrigeración F_{KK}, se eligirán de modo que se cumpla la ecuación (10). Si θ_{TM} y s_{KK} se definen previamente, queda definido F_{KK} , el cual es un valor mínimo que garantiza el rendimiento de enfriamiento adecuado. Si se aumenta F_{KK} , sólo se reduce la diferencia de temperaturas entre la pared del molde y el agente moderador.

La exigencia de una superficie de intercambio de temperatura máxima la cumplen mejor los canales rectangulares que los de sección circular.

Los canales de enfriamiento deben limpiarse de vez en cuando, ya que los sedimentos del fluido en circulación y la oxidación los pueden obstruir.

3.4 Disposición de los canales de enfriamiento.

El dimensionamiento correcto de la superficie de los canales no constituye una garantía de distribución homogénea de la temperatura en la pared del molde.

Para tener una distribución uniforme, es condición previa que la diferencia entre las temperaturas de entrada y de salida sea menor de 6 °C.

De ello se deduce que debe tenerse una velocidad mínima de flujo, la cual se puede obtener de:

$$Q_{TM} = Q_{Ku} + Q_U = \rho_{TM}\, v_{TM}\, A_{KK} (\theta''_{TM} - \theta'_{TM})\, c_{TM}$$

donde

$$(\theta''_{TM} - \theta'_{TM}) = \max\ 6\ °C$$

v_{TM} = velocidad del agente de acondicionamiento de temperatura

ρ_{TM} = densidad

c_{TM} = calor específico

A_{KK} = sección del canal de enfriamiento

θ''_{TM} = temperatura de salida del agente de acondicionamiento de temperatura

θ'_{TM} = temperatura de entrada.

Si no es posible alcanzar la temperatura de flujo exigida, entonces, se pueden construir varios circuitos. Con la distribución a base de varios circuitos puede alcanzarse casi siempre un acondicionamiento de temperatura relativamente uniforme, por ejemplo, en lugares de gran espesor de pared.

También se debe tener en cuenta que la distancia entre los canales debe guardar una cierta relación con su distancia a la pared del molde (fig. 3.1).

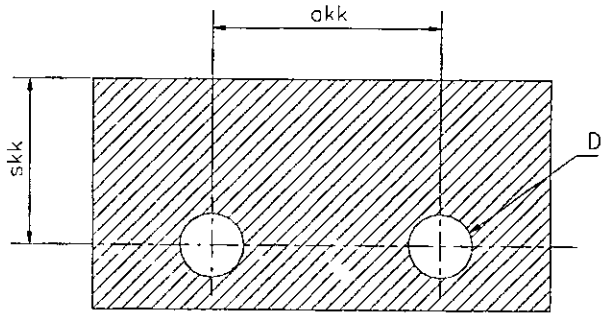


Figura 3.1. Valores experimentales para la ubicación de los canales de refrigeración en los moldes de inyección.

$$a_{kk} \approx (2.5 \text{ a } 3.5)D; \; s_{kk} \approx (0.8 \text{ a } 1.5)a_{kk}$$

La disposición de los canales de enfriamiento en el molde están en función de la forma de la pieza a fabricar.

Para piezas planas, con simetría de rotación, se recomienda el sistema de enfriamiento en espiral representado en la figura 3.2. El líquido refrigerante actúa primeramente sobre el punto situado frente a la entrada de colada, consiguiéndose así que la diferencia de temperatura entre la pieza y el líquido sea máxima en el punto más caliente, por lo que puede disiparse mayor cantidad de calor. En su recorrido por la espiral, el líquido adquiere temperatura, de manera que, en los puntos donde la masa está ya más fría por ser más largo el recorrido del flujo, el gradiente de temperatura es menor y también el calor disipado. La fabricación de este sistema de enfriamiento es muy costosa, sin embargo, proporciona piezas de calidad y con pocas deformaciones.

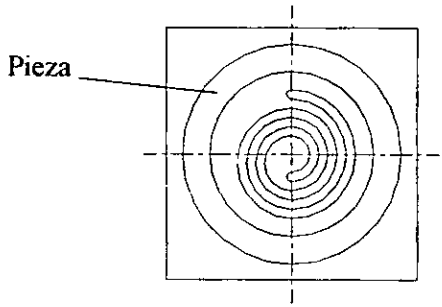


Figura 3.2. Disposición en espiral de los canales de refrigeración.

Por razones económicas se encuentran frecuentemente canales de enfriamiento rectilíneos, los cuales cruzan el molde al tratarse de piezas con simetría de rotación. Con esta disposición no puede garantizarse una distribución uniforme de la temperatura (fig. 3.3). Como consecuencia se producen piezas con deformaciones. Este sistema de enfriamiento, con canales paralelos a través del molde, sólo debería emplearse en moldes para piezas rectangulares inyectadas desde un lado. La entrada del agente moderador se

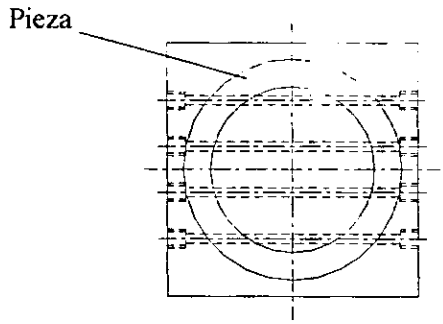


Figura 3.3. Disposición rectilinea de los canales de refrigeración.

debe colocar también cerca del punto de colada. Las piezas rectangulares con entrada de colada en el centro se refrigeran también mejor con un sistema en espiral. Sin embargo, el molde debe ser más grande para enfriar suficientemente las esquinas de la pieza. Por razones económicas no se realiza en este caso el enfriamiento con disposición en espiral. En las piezas inyectadas por el centro, el sistema de enfriamiento rectilineo se divide, de modo que el fluido recorra el mismo camino para el enfriamiento de las mitades derecha e izquierda del molde. La forma más sencilla de conseguirlo es dividir el sistema de enfriamiento y hacer que el fluido penetre en ambas mitades del molde por el centro, pudiendo situar los puntos de afluencia frente a la entrada de colada (fig. 3.4) o desde el exterior del molde. Sin embargo, en este último caso se debe disponer dichos puntos en sentidos opuestos (fig. 3.5).

Para el enfriamiento de núcleos en moldes múltiples se recomiendan los sistemas representados en las figuras 3.6 y 3.7. De acuerdo con su constitución, se les designa como enfriamiento en serie o enfriamiento en paralelo. En el enfriamiento en serie, los distintos núcleos son recorridos sucesivamente por el líquido refrigerante. Pero como la diferencia de temperatura entre las piezas y el líquido disminuye con la longitud del

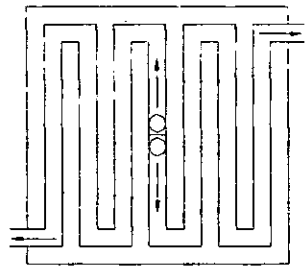


Figura 3.4. Disposición rectilinea de los canales de refrigeración en piezas rectangulares con inyección central. Sistema partido. Acceso central, frente a la colada.

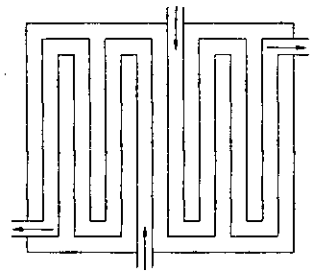


Figura 3.5. Disposición rectilinea de los canales de refrigeración en piezas rectangulares con inyección central. Sistema partido. Entradas contrapuestas.

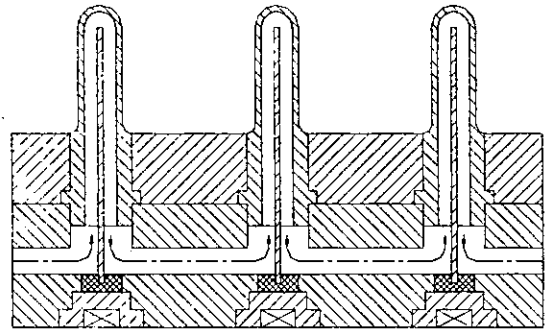


Figura 3.6. Sistema de enfriamiento en serie.

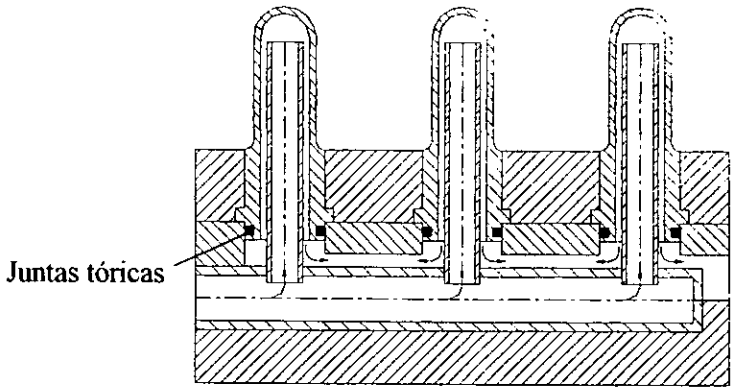


Figura 3.7. Sistema de enfriamiento en paralelo.

recorrido, no se obtiene un enfriamiento uniforme de los diversos núcleos ni, por tanto, de las piezas. En los moldes múltiples provistos de este sistema de enfriamiento, la calidad de las piezas es variable. Para evitar éste inconveniente se emplea el enfriamiento en paralelo. En el enfriamiento en paralelo, el líquido refrigerante se conduce a los diversos núcleos desde un canal colector. Un segundo colector se encarga del retorno del líquido. Con ello se consigue disponer de líquido refrigerante a la misma temperatura para cada núcleo, quedando garantizado el enfriamiento uniforme.

Con el llamado sistema de enfriamiento dactilar, representado en la figura 3.8, se logran, en los moldes múltiples, condiciones óptimas de enfriamiento para cada núcleo. Este sistema se emplea para enfriar piezas alargadas con simetría de rotación. En el enfriamiento dactilar, el tubo exterior está formado por el agujero taladrado en el molde, agujero en el que se rosca el tubo de enfriamiento; el refrigerante entra a través de un tubo de cobre y sale de nuevo por otro agujero. La distancia entre el tubo de entrada y el agujero del

molde debe ser pequeña para evitar un retorno del líquido por un solo lado, con un enfriamiento irregular.

El enfriamiento dactilar se emplea también para moldes planos, principalmente en las zonas que no permiten taladrar agujeros transversales.

En casi todos los sistemas de enfriamiento que no utilizan agujeros taladrados en toda la longitud, la penetración tiene lugar por un solo lado. En estos casos, las juntas deben ser apropiadas para evitar que el líquido refrigerante penetre en la cavidad del molde. Han dado buenos resultados las juntas tóricas, que, según la temperatura del molde, pueden ser de caucho sintético, caucho de silicona, caucho fluorado, goma o cobre-amianto. Las ranuras en donde se introducen las juntas se deben elaborar de modo que, al ensamblar las placas del molde, dichas juntas se deformen en un 10%. La figura 3.7 muestra juntas tóricas para el enfriamiento en paralelo de los núcleos.

En lo que respecta a las juntas, para temperaturas inferiores a 20 °C, son adecuadas las juntas tóricas de caucho sintético; para temperaturas superiores a 20 °C, las juntas de caucho de silicona y caucho fluorado; y para temperaturas superiores a 120 °C, las juntas de cobre-amianto.

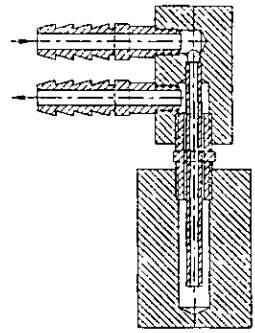


Figura 3.8. Sistema de enfriamiento dactilar.

CAPITULO 4.

SISTEMA DE EXPULSION.

Una vez que la pieza se ha enfriado y solidificado, se debe extraer del molde, es decir, desmoldearla. El caso ideal sería aquel en el que la pieza cayese por gravedad al abrir el molde, separándose de la cavidad o del núcleo. Sin embargo, la pieza queda retenida por resaltes, fuerzas de adherencia y tensiones internas, por lo que se debe desprenderla del molde mediante dispositivos especiales. Por lo general, los dispositivos de desmoldeo se accionan mecánicamente, aprovechando la carrera de apertura de la unidad de cierre de la máquina de inyección. Si este accionamiento eyector simple no basta, la extracción puede efectuarse también neumática o hidráulicamente. Con el sistema de expulsión que actúa utilizando la carrera de apertura de la unidad de cierre de la máquina, se debe cuidar que la pieza quede en la parte móvil del molde, ya que esta es la única que puede contener los expulsores. Esto puede conseguirse mediante resaltes o a base de temperaturas diversas entre el corazón y la cavidad. La pieza se contraerá sobre un núcleo más frío que la cavidad y deberá aplicársele una fuerza para su desmoldeo. Si no es posible construir resaltes, ni establecer temperaturas distintas en el molde; entonces, se debe construir toda la cavidad del mismo en su parte móvil, precisándose entonces una mayor fuerza para el desmoldeo. A veces, una presión de inyección o residual muy alta, o prolongada, dificulta adicionalmente el proceso de apertura y desmoldeo. También producen dificultades las piezas de paredes muy finas, especialmente con termoplásticos frágiles. En algunas

ocasiones, las paredes muy finas o los termoplásticos muy blandos no permiten aplicar la fuerza necesaria para el desmoldeo.

Para que los expulsores trabajen con seguridad, deben aplicarse en los puntos donde los rincones, paredes laterales, nervios, etc., dificultan, por una parte, el desmoldeo, pero conducen, por otra parte, la fuerza de extracción a la pieza gracias a su efecto de refuerzo.

Si una pieza carece de estas zonas predestinadas por la acción de los expulsores; entonces, se debe cuidar que pueda desmoldearse sin deformación ni deterioro, proyectando aquellos en forma adecuada y aplicando los mismos en número suficiente y con una distribución oportuna. La cantidad, forma (superficies de apoyo máximas sobre la pieza) y disposición de los expulsores depende tanto de la forma de la pieza como del termoplástico a emplear.

Todo expulsor produce una marca visible en la pieza, por lo que tiene que considerarse al determinar el sistema y su disposición.

El sistema de expulsión más conocido opera con pernos botadores que separan la pieza del núcleo (o de la cavidad). Los pernos botadores se fijan en las placas botadoras, las cuales, al abrirse el molde, se desplazan hacia un perno fijo, el cual se encarga de accionarlas. Esto hace que los pernos actúen simultáneamente.

El ajuste de los expulsores en la placa portacavidades depende del polímero a emplear, de la temperatura del polímero y del molde. Para la elaboración de polímeros termoplásticos se debe tener un juego suficiente para evitar un desgaste de los expulsores en virtud del rozamiento. Gracias a este juego, los expulsores sirven tembién para eliminar aire del molde y evitan que se produzca el vacío al desmoldear. La figura 4.1 muestra un molde en el que se extrae la pieza con pernos expulsores.

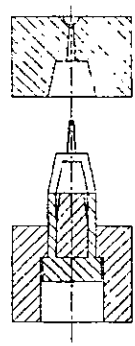


Figura 4.1. Desmoldeo con pernos botadores.

Las piezas muy pequeñas, que no tienen puntos apropiados para el ataque de los botadores, se pueden desmoldear con un expulsor anular (fig. 4.2), o con una placa expulsora (fig. 4.3), con el fin de repartir mejor la "fuerza de extracción" sobre el perímetro de la pieza. Sin embargo, ambos sistemas son más caros que los pernos botadores, debido a que deben ajustarse mejor para que el polímero no penetre entre el núcleo y el dispositivo extractor. Por los costosos trabajos de ajuste, los expulsores anulares y las placas expulsoras se emplean principalmente en moldes para piezas con simetría de rotación.

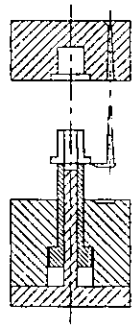


Figura 4.2. Desmoldeo con expulsor anular.

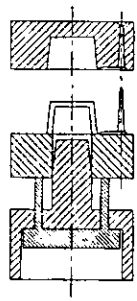


Figura 4.3. Desmoldeo con placa expulsora.

4.1 Fuerzas ocasionadas por el desmoldeo.

4.1.1 Deformación elástica en el molde cilíndrico.

Las presiones de inyección y residual deforman el molde, es decir, éste se ensancha en virtud de la presión existente en su interior. De este modo, penetra mayor cantidad de materia termoplástica que la necesaria para el llenado de la cavidad sin presión. Si en el proceso de enfriamiento no tuviera lugar una contracción volumétrica de la masa, el molde quedaría comprimido por la masa solidificada; pero la contracción volumétrica equilibra una parte de la deformación del molde. Si la contracción es mayor que la deformación elástica, ésta se elimina completamente; en otro caso, se dificultan los procesos de apertura y desmoldeo. En general, se puede decir que la deformación elástica del molde será tanto mayor cuanto más elevadas sean la presión de inyección y residual; la contracción se hace menor cuanto más tiempo actúa la presión residual. Los movimientos de apertura del molde y de extracción de la pieza vienen influidos también por la calidad superficial de los núcleos y cavidades, por la adherencia de la pieza al núcleo y, finalmente, por la propia forma de la pieza.

Incluso tratándose de superficies muy pulidas, las mínimas grietas de pulido perpendiculares a la dirección de expulsión pueden dificultar notablemente la operación de desmoldeo. Por lo general, se debe pulir el molde para eliminar todas las desigualdades, que impiden el movimiento de las superficies que se deslizan bajo fuerte presión.

La adherencia de la pieza al núcleo depende de la calidad de la superficie de éste y de la tensión originada por la contracción. Como la calidad de la superficie es de importancia secundaria, la adherencia, es decir, la magnitud de la contracción, dépende esencialmente de las condiciones de trabajo (presión de inyección, presión residual y duración de la misma), así como del termoplástico a elaborar. En consecuencia, las paredes laterales, agujeros, etc., de la pieza deben tener suficiente conicidad en la dirección de desmoldeo para la inyección. Una conicidad insuficiente produce dificultades de desmoldeo y piezas defectuosas.

4.1.2 Contracción.

Las materias termoplásticas se contraen al solidificarse en el molde. La consecuencia es que las dimensiones de las piezas son menores que las correspondientes del molde. Se denomina contracción, la diferencia porcentual entre las dimensiones del molde y las de la pieza, a la temperatura ambiente.

La contracción es distinta según el tipo de termoplástico y depende de la forma de la pieza a fabricar y de las condiciones de producción. En la tabla 4.1 se indican los porcentajes de contracción de algunos termoplásticos.

Por una parte, se originan variaciones en medida en virtud de la contracción volumétrica producida por la solidificación, siempre que no queden compensadas por la presión residual; por otra parte, la pieza se dilata durante el

enfriamiento posterior del molde. Así, se producen diferencias según que la contracción sea libre o se vea obstaculizada.

La contracción puede definirse también como la diferencia entre las medidas de la pieza desmoldeada y enfriada a la temperatura ambiente y las dimensiones del molde.

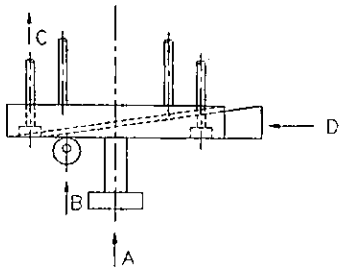
Tabla 4.1. Contracción de algunos termoplásticos.

Termoplástico	Contracción en %
Acetato de celulosa	0.3-0.7
Polimetil metacrilato	0.4-0.8
Polietileno baja densidad	1-3
Polietileno alta densidad	1.5-4
Polipropileno	1-2.5
ABS-Copolímero	0.4-0.7
Poliestireno alto impacto	0.3-0.6
Cloruro de polivinilo rígido	0.4-0.8
Cloruro de polivinilo flexible	1-5
Poliacetal copolímero	1.5-3.5
Poliamida 66	1.2-2.5
Poliamida 6	0.8-2
Poliamida 610	0.8-2
Policarbonato	0.5-0.8

4.2 Accionamiento de las placas botadoras.

El desplazamiento de las placas botadoras acciona los expulsores. Este desplazamiento puede conseguirse de diversos modos. En la figura 4.4, se representan esquemáticamente cuatro formas distintas de desmoldeo.

a) Presión en la dirección de desmoldeo: la placa botadora se desplaza cuando el perno choca con un tope fijo de la máquina de inyección durante el proceso de apertura del molde. Esta es la solución más utilizada (fig. 4.5).



A) Por presión en la dirección de desmoldeo

B) Por presión en la excéntrica de desmoldeo

C) Por tracción en la dirección de desmoldeo

D) Por tracción perpendicular a la dirección de desmoldeo.

Figura 4.4. Representación esquemática de los tipos de desmoldeo.

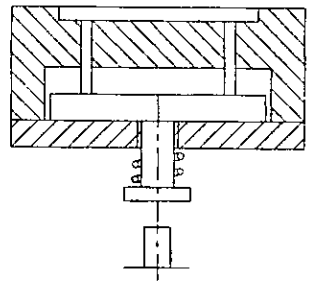


Figura 4.5. Desmoldeo por presión en la dirección de desmoldeo; sistema normal.

b) Presión en la dirección de desmoldeo mediante una excéntrica: la presión sobre la placa botadora la ejerce solamente una excéntrica (leva). Esta posibilidad se utiliza raramente, ya que solamente permite recorridos de desmoldeo muy pequeños. Sin embargo, esta solución puede emplearse cuando se debe conseguir fuerzas de arranque elevadas (fig 4.6).

c) Tracción en la dirección de desmoldeo: el desplazamiento de la placa botadora lo producen tirantes u otros mecanismos. Este sistema se utiliza cuando el sistema expulsor se encuentra en la mitad del molde lado boquilla (fig. 4.7).

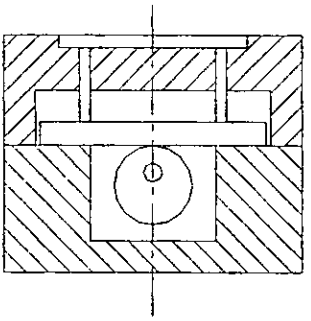


Figura 4.6. Desmoldeo por presión en la dirección de desmoldeo; accionamiento por excéntrica.

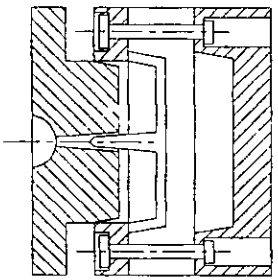


Figura 4.7. Desmoldeo por tracción en la dirección de desmoldeo; accionamiento por tirantes.

d) Tracción perpendicular a la dirección de desmoldeo: esta posibilidad solamente se emplea con accionamiento hidráulico o manual. Sólo pueden conseguirse carreras de desmoldeo muy cortas (fig. 4.8).

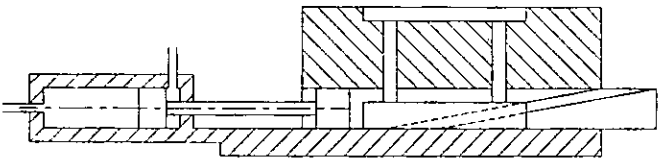


Figura 4.8. Desmoldeo por tracción perpendicular a la dirección de desmoldeo; accionamiento neumático e hidráulico.

4.3 Medios de accionamiento.

Las placas botadoras son accionadas normalmente en forma mecánica, en combinación con la carrera de apertura de la máquina de inyección. El perno extractor choca con un tope y desprende bruscamente la pieza (fig. 4.9), la cual entonces es desplazada por los expulsores en dirección hacia el plano de partición, hasta que cae por gravedad. Este tipo de accionamiento proporciona las mínimas dificultades desde el punto de vista constructivo. Sin embargo, no puede emplearse para piezas muy delicadas, ya que el esfuerzo de choque que inicia el proceso de desmoldeo puede producir a veces un deterioro de las mismas. Por ello, las que no pueden soportar un esfuerzo de choque se desmoldean muchas veces por accionamiento hidráulico. Este método es caro, por exigir un sistema hidráulico especial, pero funciona sin sacudidas y puede accionarse a voluntad.

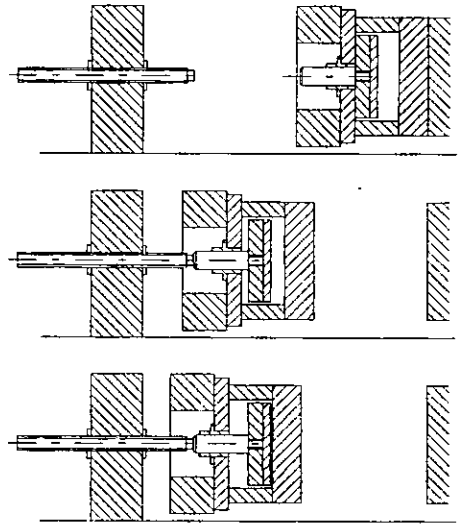


Figura 4.9. Representación esquemática del proceso de desmoldeo efectuado en combinación con la carrera de apertura de la máquina.

Para tener un funcionamiento correcto de todos los sistemas, es necesario un recorrido suficiente de las placas botadoras, pues éstas tienen que desplazar los expulsores (de barra, anulares, etc.) en dirección al plano de partición, hasta que la gravedad pueda actuar sobre la pieza; ello tiene particular importancia cuando se trata de un trabajo automático. En moldes muy profundos, la carrera del expulsor no es a veces suficiente para desmoldear por completo la pieza, por lo que entonces suele emplearse un método mixto de desmoldeo. Primeramente se separa la pieza por accionamiento mecánico y, a continuación, se desprende con aire comprimido (fig. 4.10). Si no se dispone de aire comprimido se debe extraer la pieza a mano después de su separación. El desmoldeo mixto también se emplea cuando se necesitan grandes fuerzas de separación.

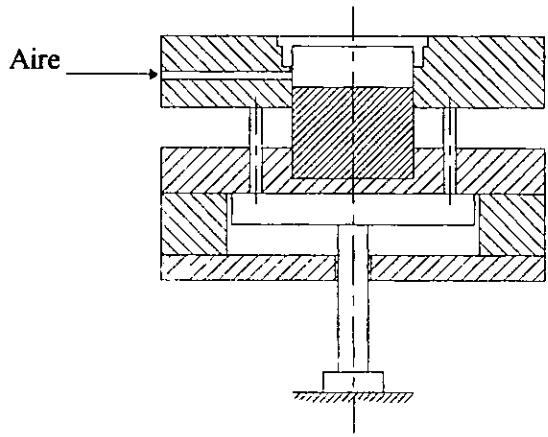


Figura 4.10. Desmoldeo mixto.

En los moldes muy grandes que, por razones de espacio, no permiten la aplicación de un sistema expulsor en el molde, la pieza se debe separar o

arrancar y extraer a mano. Esto sólo es posible si se facilita el desmoldeo con una adecuada configuración de la pieza (conicidad).

4.3.1 Configuración de los pernos botadores.

Se utilizan pernos botadores nitrurados y templados. Para que los pernos tengan fácil movimiento en el molde, se debe rectificar su vástago utilizándose una tolerancia g6. El tipo de ajuste depende del termoplástico a elaborar y de la temperatura del molde. Para el agujero se puede emplear la tolerancia H7. Los pernos botadores están sometidos a compresión durante su actuación, por lo que deben dimensionarse contra el pandeo; para ello se les debe dar suficiente grosor, pero también una guía de suficiente longitud en el molde. La longitud de esta guía debe ser de 2.5 a 8 veces el diámetro del perno. Para los diversos diámetros de pernos expulsores pueden considerarse los siguientes valores orientativos:

Diámetro del perno d (mm)	Longitud de guía (mm)
1 a 3	aprox. (8 a 4) d
3 a 5	aprox. (4 a 3) d
5	aprox. (3 a 2.5) d

Los pernos botadores van montados en las placas botadoras, de modo que, así, se accionan conjuntamente. En la placa deben tener suficiente juego para que puedan ajustarse correctamente en los agujeros del molde por los que pasan. De no ser así, los pernos pueden agarrotarse o, incluso, romperse. Por la misma razón se debe prever también un juego suficiente en los agujeros de las placas intermedias. En la figura 4.11 se representa un ejemplo de montaje para un perno botador de cabeza y vástago cilíndricos.

Por lo general, las cabezas de los pernos se estampan en caliente, ya que, así, se consigue una orientación favorable de las fibras y, gracias a la paulatina transición del vástago a la cabeza, se evitan los rincones agudos y la posible debilitación del perno por un eventual efecto cortante.

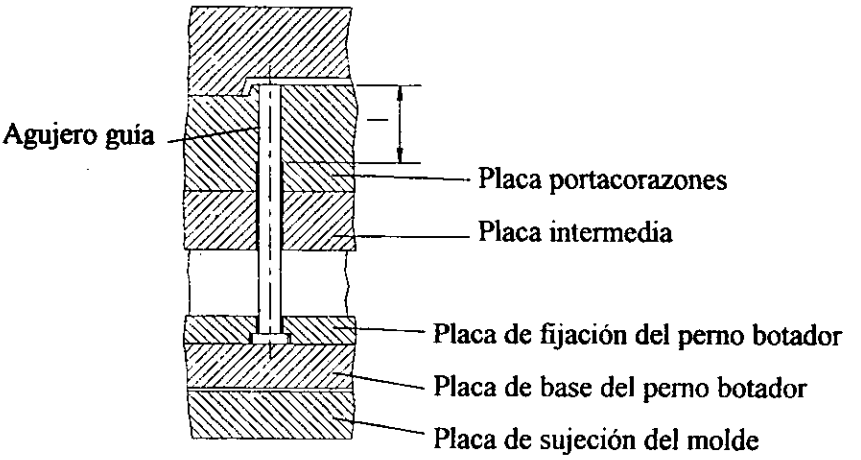


Figura 4.11. Ejemplo de montaje para un perno botador.

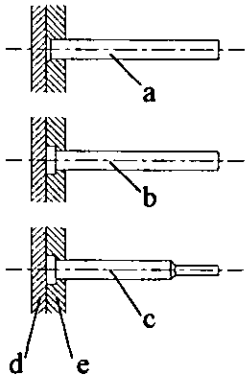
Según su aplicación, existen diversas modalidades de ejecución:

a) Los pernos de vástago cilíndrico con cabeza cónica se adoptan cuando no hay especiales exigencias en cuanto a la transmisión de fuerza por medio de los mismos. Se emplean con diámetros de 3 a 16 mm y una longitud de hasta 400 mm.

b) Los pernos de vástago cilíndrico con cabeza cilíndrica se adoptan cuando se precisa una gran fuerza de expulsión. La cabeza cilíndrica ofrece una superficie de apoyo mayor que la cónica y reduce el peligro de penetración en la placa botadora. El campo de aplicación de estos pernos botadores se extiende a diámetros de 3 a 16 mm y hasta una longitud de 400 mm.

c) Los pernos con cabeza cilíndrica y de vástago con espiga extrema de menor diámetro, se adoptan cuando la superficie de contacto sobre la pieza es muy pequeña y la fuerza necesaria reducida. El vástago con espiga aumenta la resistencia al pandeo. Los pernos se emplean con diámetros de 1.5 a 3 mm y longitudes de hasta 200 mm.

En la figura 4.12 se representan esquemáticamente las tres modalidades descritas de ejecución de los pernos de expulsión.



(a) Perno de cabeza cónica y vástago cilíndrico.

(b) Perno de cabeza cilíndrica y vástago cilíndrico.

(c) Perno de cabeza cilíndrica y espiga en el extremo.

(d) Placa de base del perno botador.

(e) Placa de fijación del perno botador.

Figura 4.12. Representación esquemática de varios tipos de pernos botadores.

Si las caras frontales de los pernos están perfiladas para adaptarlas mejor al contorno de la pieza, se evitará que puedan girar.

Las espigas planas (de sección rectangular o cuadrada), como la representada en la figura 4.13, precisan una guía muy exacta. Su longitud libre debe mantenerse mínima.

Figura 4.13. Perno botador con espiga de sección rectangular.

4.3.2 Montaje de los pernos botadores en las placas botadoras.

Si, para el desmoldeo de una pieza actúan pernos botadores, deben accionarse simultáneamente para que aquella no se deteriore. Teniendo esto en cuenta, los pernos botadores se montan a unas placas de expulsión que los accionan conjuntamente. Si el movimiento de los pernos fuese irregular, la pieza se agarrotaría al desmoldear; con ello aumentaría la fuerza necesaria, de forma que podría llegar a ser insuficiente la de empuje de que están dotados los pernos, o podría alcanzar la fuerza de desmoldeo un valor tal que la pieza no estuviese en condiciones de soportarla. Sus consecuencias ocacionan deterioros en los pernos o en las piezas.

De acuerdo con lo indicado, los pernos botadores se montan en unas placas dispuestas convenientemente. Este sistema de expulsión consta de una placa de base, varios topes y un perno de choque. La placa de sujeción acoge los pernos y se une mediante tornillos a la placa de base, que se encarga de la conexión del sistema expulsor a la máquina, a través del perno de choque. Los topes limitan la carrera del sistema expulsor al cerrar el molde, evitando así que se adhiera a la placa portamolde, lado cierre, durante el proceso de desmoldeo.

Los pernos expulsores necesitan un juego lateral suficiente en la placa de sujeción, ya que así pueden orientarse de acuerdo con los agujeros que lleva la placa portacavidades. También se debe cuidar que las placas botadoras no ejerzan presión sobre los pernos, pues existe el peligro de que se agarroten; por tanto, dichas placas deben estar provistas de guías, las cuales pueden estar construidas por vástagos o pernos-guía especiales.

En el caso más simple, el perno de choque alcanza, durante el proceso de apertura del molde, un tope fijo en la máquina, transmitiendo así el movimiento a las placas botadoras y a los pernos expulsores. Para que el contacto de estos

últimos sobre la pieza sea simultáneo, se debe procurar tener una transmisión uniforme de fuerzas en la placa de base, lo cual sólo se puede garantizar si esta placa de base es suficientemente rígida y no sufre flexión durante el desmoldeo. Por consiguiente, se debe dimensionar convenientemente, constituyendo siempre la placa más gruesa del sistema expulsor. Para que no penetren los extremos de los pernos botadores, las placas base deben templarse y los extremos de los vástagos deben tener dimensiones suficientes. Al cerrar el molde, se debe cuidar que el sistema expulsor recupere su posición de partida, sin deteriorar los pernos botadores ni la mitad opuesta del molde, lo que se consigna mediante barras, muelles o garras de retroceso.

En la figura 4.14 se representa un sistema expulsor guiado y accionado por medio de un perno de tope.

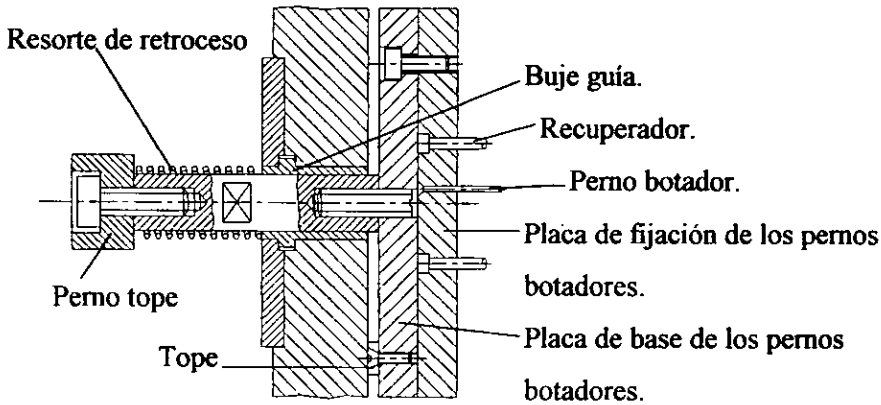


Figura 4.14. Sistema eyector guiado mediante un perno tope.

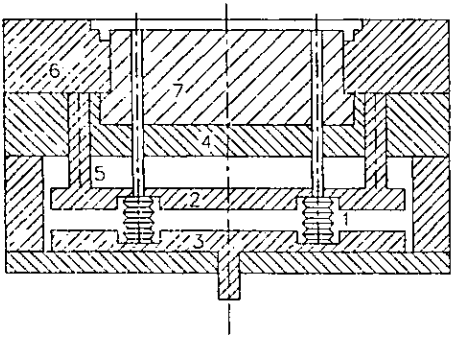
ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

4.4 Sistemas de expulsión especiales.

4.4.1 Sistema de expulsión de dos pisos.

Muchas veces se deben desmoldear en varias etapas las piezas grandes de paredes finas. Este caso se presenta especialmente cuando los pernos botadores no pueden hacer contacto en los puntos de la pieza donde las paredes laterales o los nervios proporcionan mayor resistencia al desmoldeo; sin embargo, su efecto de refuerzo garantiza la segura actuación de la fuerza de desmoldeo sobre la pieza.

La figura 4.15 representa un molde en el que la pieza no puede extraerse mediante expulsores que hagan contacto sobre las paredes laterales. Entonces, para el desmoldeo se emplea el principio de expulsión en dos pisos. Al iniciarse la apertura del molde, la pieza es desplazada primeramente del núcleo 7 con ayuda de la placa expulsora 6. Los muelles de disco 1 no pueden comprimirse todavía durante esta parte del proceso, pues han de ser bastante rígidos. Al continuar la operación de apertura, la placa expulsora 2 establece contacto con la placa de sujeción del núcleo, 4, con lo que la placa de base de los expulsores 3 comprime los resortes de disco y los pernos expulsores extraen definitivamente la pieza.



1. Resorte de discos.
2. Placa expulsora.
3. Placa de base de expulsión.
4. Placa de fijación del núcleo.
5. Varilla presora.
6. Placa botadora.
7. Núcleo.

Figura 4.15. Sistema de expulsión de dos pisos.

4.4.2 Expulsión mixta.

La posibilidad de desmoldeo representada en la figura 4.10 constituye una forma particular de la expulsión de dos pisos. En el proceso de apertura del molde, la pieza se separa primero mecánicamente del núcleo; después, es extraída de forma definitiva mediante aire comprimido. Este principio de desmoldeo tiene la ventaja de ser más económico, en relación con los principios puramente mecánicos, y de que la pieza sufre menos esfuerzos, ya que la presión de desmoldeo (aire) actúa sobre toda la superficie. También se emplea, fundamentalmente, cuando la carrera del expulsor no basta para el desmoldeo total de la pieza (piezas profundas). La entrada de aire puede situarse en cualquier punto.

4.4.3 Expulsión en moldes con varios planos de partición.

4.4.3.1 Molde de tres placas.

Si se trabaja con entrada de colada perdida en moldes múltiples, o en los simples con varios puntos de entrada, durante el movimiento de apertura del molde se debe separar la pieza de la vena de colada y extraerla por separado, a fin de conseguir una producción totalmente automática. Para ello, el molde necesita varios planos de partición con desplazamiento defasado. El movimiento de expulsión puede escalonarse de diversos modos, funcionando los sistemas más conocidos con tirantes o con un trinquete.

4.4.3.1.1 Movimiento escalonado del sistema expulsor, mediante tirantes.

La figura 4.16 muestra un molde de tres placas. Durante el proceso de apertura, el molde se abre primeramente por el plano de partición 1, rompiéndose con ello los canales de estrangulamiento. Tras una cierta carrera

de apertura, se arrstra la placa botadora mediante tirantes, la cual expulsa la vena de la colada. Posteriormente el molde se abre por el plano de partición 2 y la pieza es expulsada por los botadores.

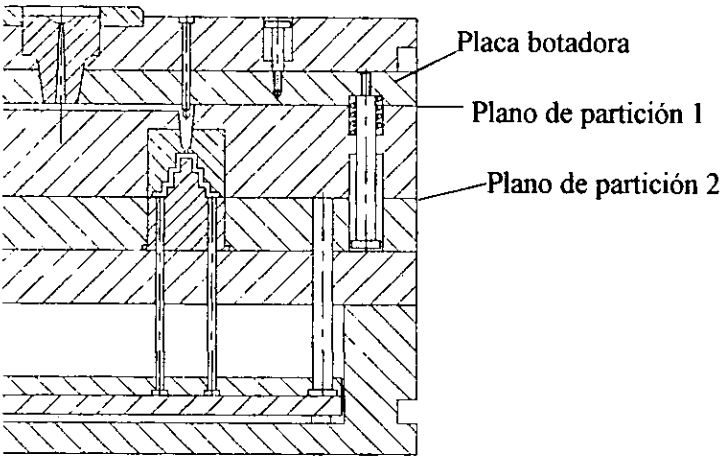


Figura 4.16. Molde de tres placas.

4.4.3.1.2 Movimiento escalonado del sistema expulsor, mediante trinquete.

Con este sistema, la placa intermedia queda bloqueada primero por un trinquete, el cual es liberado por una manivela tras alcanzarse una cierta carrera de apertura. El molde puede abrirse entonces por el plano de partición 2. En la figura 4.17 se representa el curso de movimiento de apertura de un molde con expulsor de trinquete. En A se representa el molde en posición cerrada. El trinquete a bloquea la placa intermedia g y puede girar alrededor del perno d. Con el molde cerrado, este trinquete queda fijo en posición horizontal por el resorte e y el tope f. Al abrirse el molde, la leva b establece contacto con el perno c (figura B) y suelta el trinquete a (figura C); con ello, el molde puede abrirse por el plano de partición 2 en tanto prosigue el movimiento de apertura.

La pieza y la vena de colada se expulsan por separado. Al construir estos moldes se debe fabricar en acero templado el trinquete y la leva, así como el tope del trinquete en la placa intermedia, por estar expuestos a desgaste. Los moldes de este tipo pueden emplearse para piezas de hasta 1 Kg de peso; para moldes mayores se debe utilizar un bloqueo neumático y un movimiento de apertura hidráulico.

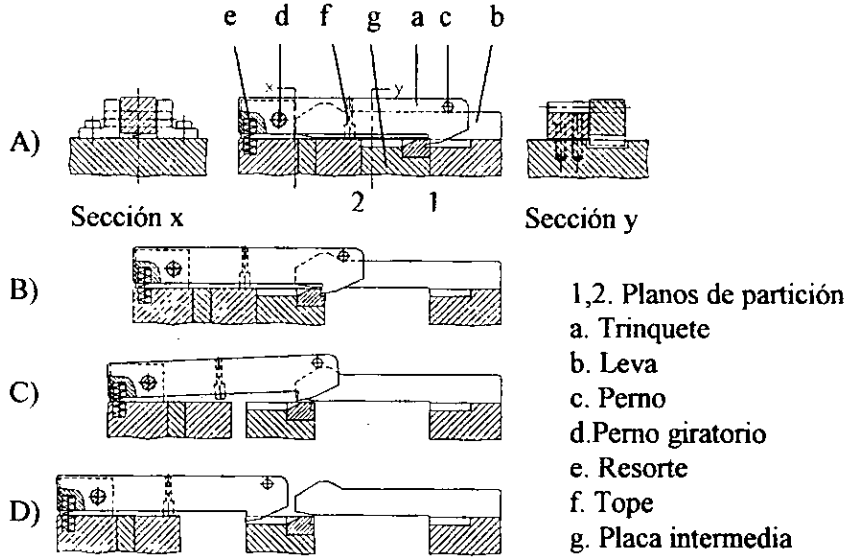


Figura 4.17. Trinquete.

En todos los moldes con varios planos de partición se debe cuidar que se tenga una guía y un centrado exactos de las placas intermedias, con el objeto de evitar el choque mutuo de las partes vaciadas al cerrar el molde, lo que podría perjudicarle. Las guías y trinquetes se deben colocar de modo que no obstaculicen la pieza en su caida por gravedad tras el desmoldeo.

4.4.4 Desmoldeo por el lado de la inyección.

Algunos moldes de inyección tienen el núcleo en el lado de la boquilla; estos moldes se desmoldean separando la pieza del núcleo. La placa expulsora puede ser accionada, durante el movimiento de apertura, por tirantes dispuestos según se indica en la figura 4.18, que van fijos a la mitad del molde fijo, o bien mediante una cadena Galle. La expulsión se efectúa, pues, por tracción en la dirección de desmoldeo (fig. 4.19).

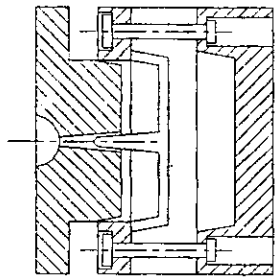


Figura 4.18. Desmoldeo por el lado boquilla; accionamiento con tirantes.

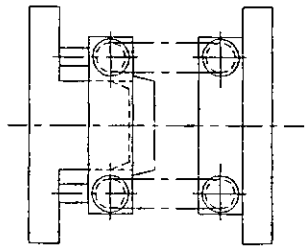


Figura 4.19. Desmoldeo por el lado boquilla; accionamiento con cadena Galle.

4.5 Retroceso del sistema expulsor.

Al cerrar el molde, debe procurarse que los pernos botadores (o los dispositivos, tales como expulsores anulares, placas expulsoras, etc.) retrocedan, en el momento oportuno, a la posición de inyección con el molde

cerrado, ya que, de otro modo, pueden dañarse los mecanismos expulsores o la mitad del molde del lado contrario. Los expulsores de todas clases pueden hacerse retroceder de diversos modos, los cuales se basan en la actuación de barras de retroceso (recuperadores), resortes o dispositivos especiales.

La solución más conocida y económica para el retroceso de los mecanismos de expulsión estriba en el empleo de recuperadores, pudiendo utilizarse pernos botadores con cabeza y vástago cilíndricos. Estos recuperadores se emplean nitrurados o templados. Al igual que los pernos botadores, se montan en las placas botadoras. Al cerrar el molde, son accionadas por la parte contraria del mismo, o bien por otras barras fijas en la misma, a fin de evitar el desgaste de los planos de partición. Al retroceder, arrastran los mecanismos expulsores a través de la placa expulsora. En las figuras 4.20 y 4.21 se representan ambas posibilidades de montaje.

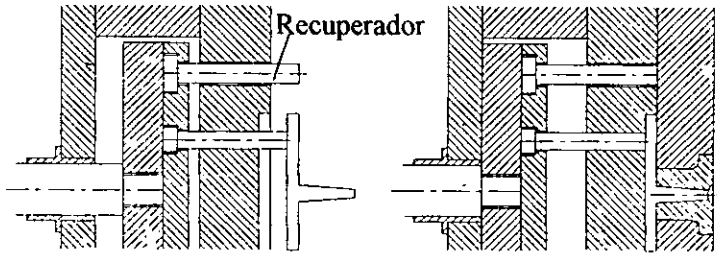


Figura 4.20. Recuperador en una sola pieza. Izquierda: molde abierto; derecha: molde cerrado.

4.6 Desmoldeo de piezas roscadas.

Las piezas provistas de rosca se consideran, según el tipo de la misma, como piezas con resaltes internos o externos. Mientras que algunas roscas internas pueden desmoldearse aún presionando sobre el ligero resalte, las

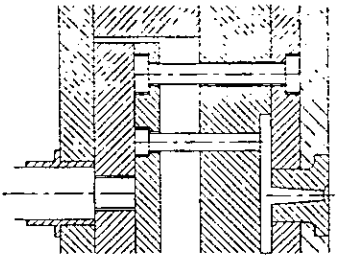


Figura 4.21. Recuperador de acción compartida.

roscas externas deben obtenerse muchas veces en moldes en los que una parte de la cavidad puede desplazarse lateralmente. Estos moldes de corredera o mordazas sólo pueden emplearse cuando no se perjudica la línea de partición producida.

Si en el desmoldeo de piezas con rosca no pueden emplearse ninguna de las ejecuciones que actúan por presión, con correderas o con mordazas, la fabricación se lleva a cabo empleando los llamados moldes para roscas, en los que el propio núcleo está constituido como si se tratara de un elemento roscado; entonces, al desmoldear, se debe desenroscar el núcleo de la pieza (fig. 4.22).

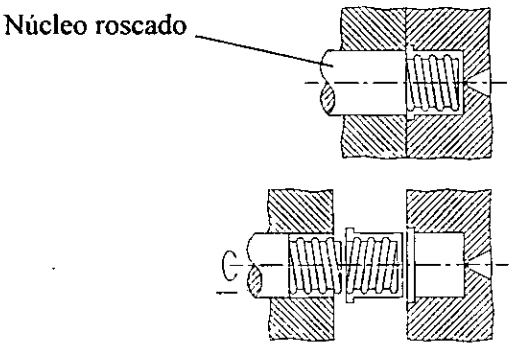


Figura 4.22. Molde para piezas roscadas.

4.6.1 Desmoldeo de piezas con rosca interior.

4.6.1.1 Moldes desenroscables.

En los moldes desenroscables el propio núcleo tiene la forma de un elemento roscado. Las piezas pueden desmoldearse entonces desenroscando el núcleo, lo que puede efectuarse de diversos modos: en forma manual, semiautomática o automática. El tipo de desmoldeo elegido depende principalmente de la cantidad a fabricar. Para series reducidas y en casos especiales, en los que se exige una gran exactitud de las roscas, se emplean, para la fabricación de roscas interiores, moldes con núcleos recambiables, los cuales se introducen en el molde abierto. Transcurrido el ciclo, los núcleos sacan la pieza de la cavidad. Se extraen entonces conjuntamente el núcleo y la pieza; esta última puede desenroscarse posteriormente a mano o mediante dispositivos apropiados, como un manubrio o un motor auxiliar. Para que la producción sea más racional, es conveniente trabajar con varios núcleos; además, no se desmoldea hasta que la pieza se ha enfriado hasta la temperatura ambiente, a fin de evitar su deformación durante el proceso de enfriamiento.

Para series mayores se efectúa el desmoldeo dentro del molde, en forma automática o semiautomática. El sistema semiautomático recurre a dispositivos de desenroscado accionados a mano; y el sistema automático emplea dispositivos en los que el desenroscado se realiza en combinación con la carrera de la unidad de cierre, durante la apertura del molde, por medio de un husillo con paso de rosca pronunciado, una barra dentada, o bien un motor eléctrico o un motor hidráulico con engranaje planetario.

Los dispositivos semiautomáticos desenroscan el núcleo con un manubrio y transmisión por ruedas dentadas (fig. 4.23) o por cadenas o correas (fig. 4.24).

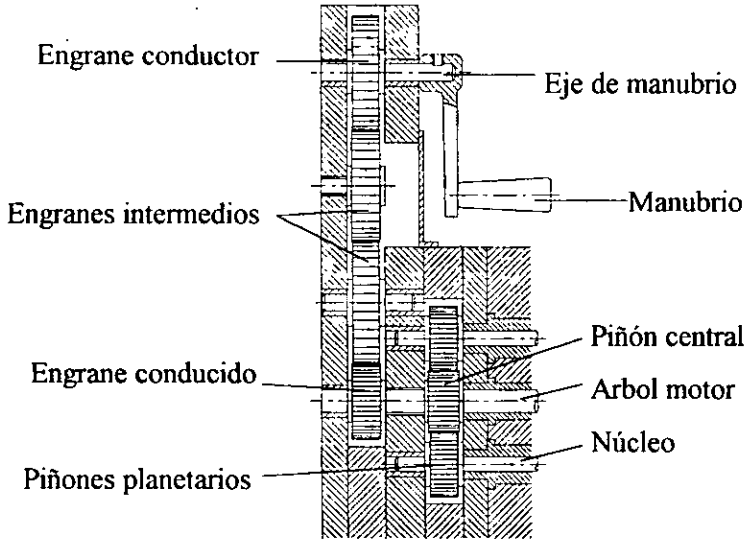


Figura 4.23. Molde para piezas roscadas con desmoldeo manual; accionamiento por ruedas dentadas.

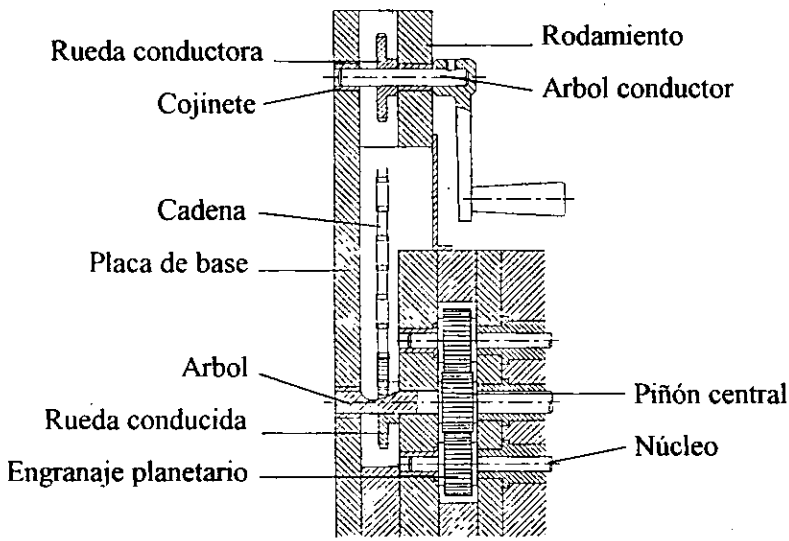


Figura 4.24. Molde para piezas roscadas con desmoldeo manual; accionamiento por cadena.

Para series grandes, la pieza se desmoldea en forma totalmente automática. El dispositivo para el giro del núcleo puede conectarse al movimiento de apertura del molde o bien accionarse por medio de un impulso independiente (fig 4.25).

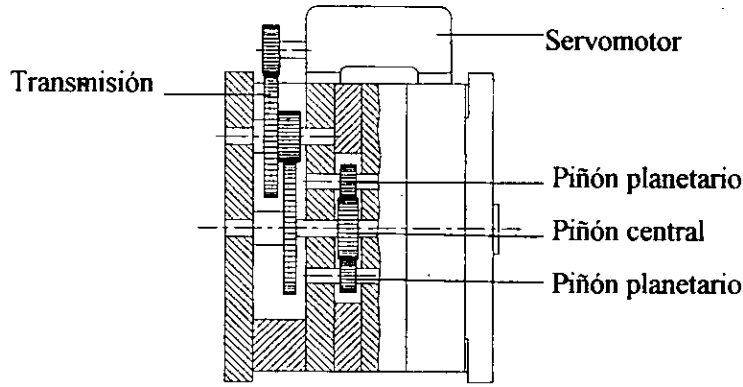
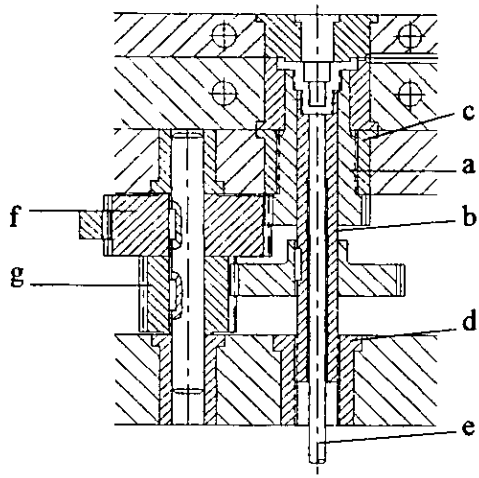


Figura 4.25. Molde para piezas roscadas con accionamiento independiente.

4.6.2 Desmoldeo de piezas con rosca exterior.

En gran parte, las piezas con rosca exterior pueden desmoldearse con los moldes para roscas ya descritos. En la figura 4.26 se representa esquemáticamente un molde para la fabricación de piezas con dos roscas exteriores. Para el desmoldeo se desenroscan de la pieza los bujes a y b, los cuales, al mismo tiempo, se enroscan en las tuercas de arrastre c y d que tienen el mismo paso que la pieza. Para ello se debe asugurar que la pieza no gire. Una vez desmoldeadas las roscas, el expulsor e desmoldea definitivamente la pieza. En el caso presente, las dos roscas tienen un paso distinto. Sin embargo, los distintos diámetros de las ruedas dentadas f y g logran carreras iguales para el movimiento axial de los bujes al desmoldear.

Sin embargo, la construcción de este tipo de moldes, para el desmoldeo de piezas con roscas exteriores, es muy complicada y costosa, por lo que sólo se emplean para la producción de grandes series. Las piezas con rosca o resaltes exteriores se desmoldean mucho más fácilmente con correderas laterales o mordazas. Los moldes que utilizan dicho principio de trabajo se describen en el siguiente tema.



a, b, c, y d, bujes roscados;

e, expulsor;

f y g, ruedas dentadas.

Figura 4.26. Pieza con dos roscas exteriores de distinto paso.

4.7 Moldes para piezas con resaltes de cualquier tipo.

Las piezas provistas de resaltes exigen una forma especial de desmoldeo. Prescindiendo de las roscas, que pueden desmoldearse desenroscando, para el desmoldeo de piezas con resaltes es necesario muchas veces un plano de partición adicional. Los moldes se construyen entonces de forma que permitan que una parte de la cavidad se desplace lateralmente. Los elementos móviles, así como sus guías y elementos de bloqueo tienen que ser muy robustos y deben ajustarse con el máximo cuidado para evitar que se abra el molde

durante la inyección, en virtud de la elevada presión del polímero. Debido a la baja viscosidad de inyección y a la elevada presión existente en el molde, el polímero penetra en los planos de partición de los diversos elementos cuando éstos no están bien ajustados y bloqueados. La consecuencia mínima es una rebaba indeseada. Pero pueden producirse también elevados esfuerzos de flexión y de corte junto a las correderas, las cuales pueden deformarse.

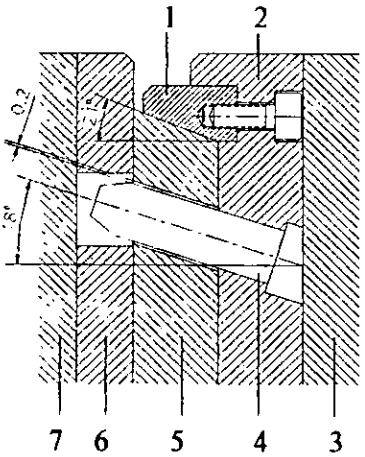
Los elementos móviles del molde son accionados en combinación con la apertura o cierre de la máquina, o hidráulicamente.

Como los diversos elementos deben estar cuidadosamente ajustados y cerrar de forma completamente hermética, las guías adquieren una especial importancia. Las correderas, núcleos y mordazas suelen guiarse mediante colas de milano o ranuras con sección en forma de T. Para reducir el desgaste conviene lubricar las guías durante el servicio. También puede dificultarse el desgaste empleando un tipo adecuado de acero; si las guías son templadas y reajustables, puede corregirse ligeramente el desgaste de las superficies en cuña.

Los moldes cuyo enfriamiento se produce de un modo insuficiente se calientan con intensidad diversa. Las consiguientes dilataciones térmicas pueden dan lugar al agarrotamiento de las mordazas, correderas o núcleos. Por ello es indispensable incluir los elementos móviles en el sistema de acondicionamiento de la temperatura del molde y refrigerarlos intensamente.

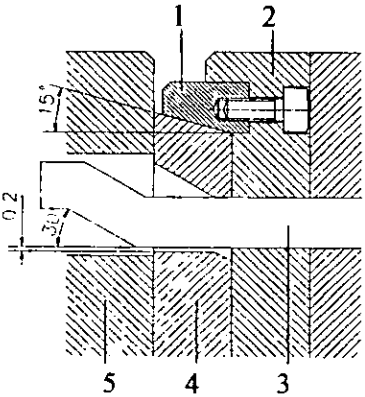
Para el desmoldeo de las piezas se debe descomponer el movimiento de apertura de la máquina en un movimiento lateral de las correderas o núcleos accionados por la misma. Para ello se emplean esencialmente pernos inclinados y correderas acodadas. Las figuras 4.27 y 4.28 muestran una confrontación de

ambos elementos con las dimensiones características para su construcción y montaje.



1. Superficie de cierre;
2. Placa anterior;
3. Placa portamolde;
4. Perno inclinado;
5. Elemento móvil del molde que debe accionarse;
6. Placa posterior;
7. Placa intermedia.

Figura 4.27. Representación esquemática de la disposición constructiva a base de pernos inclinados.



1. Superficie de cierre;
2. Placa anterior de moldeo;
3. Corredera acodada;
4. Elemento móvil del molde que debe accionarse;
5. Placa posterior de moldeo.

Figura 4.28. Representación esquemática de la disposición constructiva a base de correderas acodadas.

El funcionamiento de ambos tipos de molde se representa en las figuras 4.29 y 4.30.

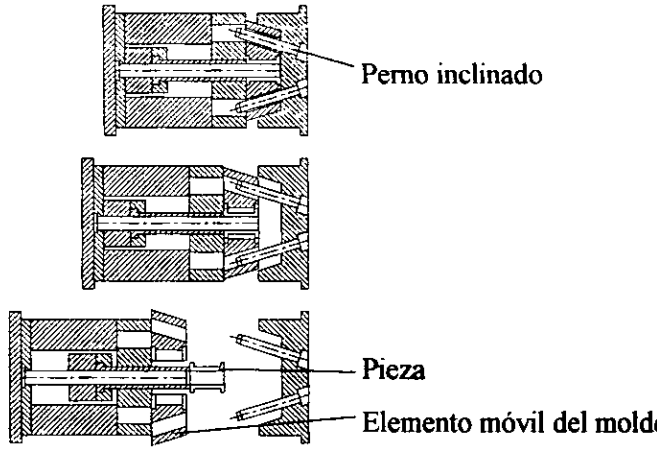


Figura 4.29. Funcionamiento de un molde de corredera con pernos inclinados.

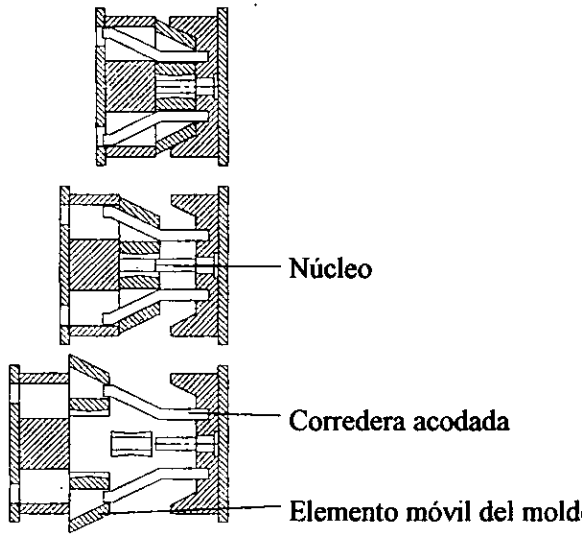


Figura 4.30. Funcionamiento de un molde con correderas acodadas.

Según se deduce de las figuras 4.27 y 4.28, el montaje de los pernos inclinados es más sencillo que el de las correderas acodadas. Como pernos pueden emplearse los pernos de guía corrientes en el mercado; su ángulo de

inclinación puede oscilar entre 15 y 25°, ya que, de este modo, se han obtenido buenos resultados prácticos. Los ángulos grandes facilitan el accionamiento, mientras que los pequeños producen un elevado esfuerzo sobre los pernos; para evitar un agarrotamiento, el ángulo no será en ningún caso menor de 6°. La inclinación de los pernos debe ser siempre menor que la de la superficie de cierre; se recomienda mantener el ángulo de la superficie de cierre unos 2 a 3 grados más inclinado, para compensar el juego entre el perno y el agujero.

Tan pronto se inicia la apertura, en aquellos moldes cuyas correderas son accionadas por pernos inclinados, el movimiento de apertura de la máquina se descompone en movimientos laterales. La resistencia al desmoldeo produce una fuerte carga sobre el perno inclinado, lo que debe tenerse en cuenta al dimensionar el mismo. Tras el arranque, sólo actúan sobre los pernos el peso de las correderas y las fuerzas de rozamiento. La reversión de las correderas debe estar concluida al cerrar por completo el molde; tal como se aprecia en la figura 4.31, este movimiento lo provocan los pernos inclinados, o también la superficie de cierre del molde.

Contrariamente a lo que sucede al iniciarse el movimiento de los pernos, con una corredera acodada, puede retardarse la carrera de la corredera, es decir, el molde tiene un cierto recorrido de apertura, dependiente del perfil de la corredera acodada, antes de que las correderas se desplacen lateralmente y liberen los resaltes para el desmoldeo. Así, con las correderas cerradas, es posible lograr un desmoldeo parcial de la pieza respecto al núcleo del molde, por ejemplo cuando se trata de piezas profundas. Una vez que las correderas han liberado los resaltes, la pieza puede expulsarse utilizando, por ejemplo, medios neumáticos.

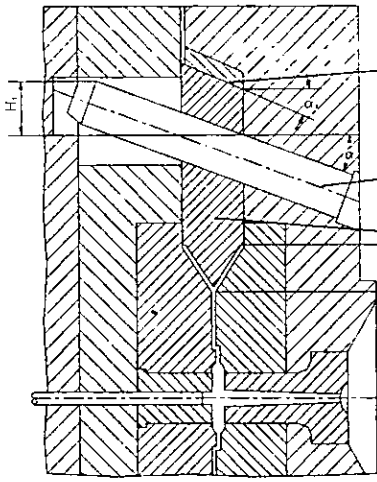
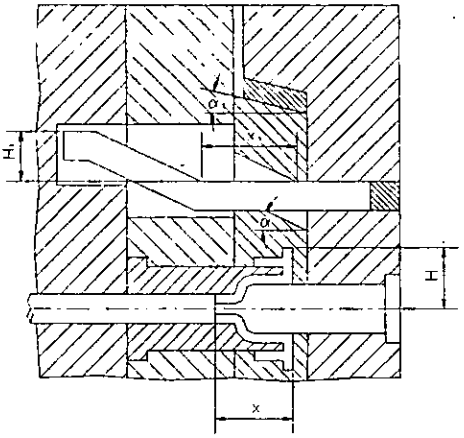


Figura 4.31. Reversión de las correderas utilizando pernos inclinados.

La inclinación del codo de las correderas acodadas debe situarse entre 25 y 30°.

El ángulo de las superficies de cierre puede ser más agudo, ya que así se alcanza una mayor fuerza de cierre. La práctica ha demostrado que el ángulo de las superficies de cierre debe tener unos 15°. En la figura 4.32 se representa un ejemplo de aplicación de correderas acodadas.

Los pernos inclinados y las correderas acodadas se emplean principalmente para accionar correderas y núcleos en moldes pequeños y medianos. Los moldes grandes, y especialmente los destinados a fabricar piezas de grandes superficies, en los que a veces la fuerza de cierre no es suficiente para mantener hermético el molde durante la inyección, se construyen del tipo llamado de mordazas. En la figura 4.33 se representa el funcionamiento de un molde de esta clase. Las mordazas tienen la forma de cuña y van guiadas por un bastidor o plato con el alojamiento correspondiente. El bastidor o plato debe



H, resalte;

H_1, Carrera de apertura de la corredera;

α, inclinación de la superficie de cierre;

α_1, inclinación de la corredera acodada;

x, altura de la pieza;

x_1, carrera de apertura.

Figura 4.32. Molde con correderas acodadas.

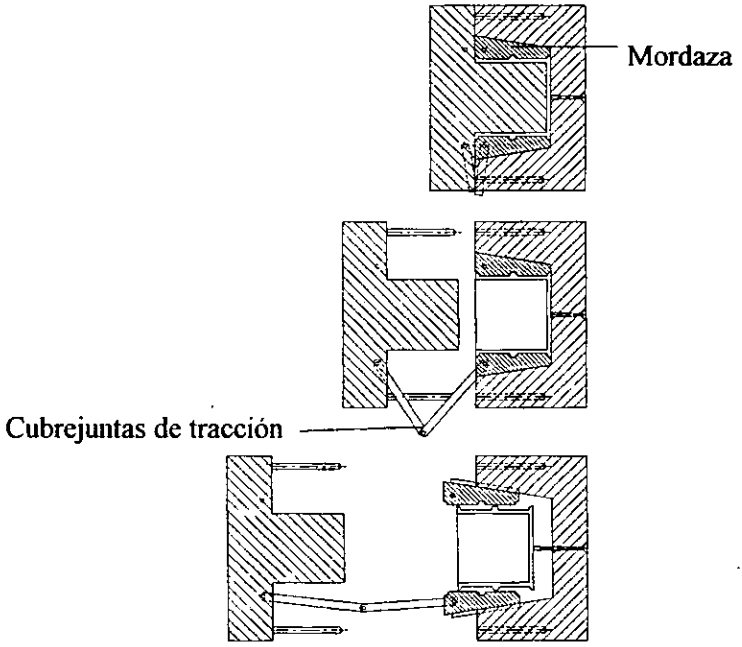


Figura 4.33. Funcionamiento de un molde de mordazas accionadas por cubrejuntas de tracción.

dimensionarse de modo que no se abra bajo la influencia de las fuerzas internas que se originan en el proceso de inyección. De otro modo, es inevitable una formación de rebabas más o menos intensa en las juntas. Los guías de las mordazas son colas de milano o ranuras con sección en forma de T. El ángulo de inclinación de las mordazas debe oscilar entre 10 y 15°. Las inclinaciones menores de 10° producen un fuerte agarrotamiento en el plato, por acción de la fuerza de cierre; mientras que las inclinaciones superiores a 15° contrarestan el efecto de la fuerza de cierre. Los moldes se bloquean con ayuda de una de las mitades del mismo. Cuando las mordazas sobresalen puede actuarse contra las fuerzas de apertura (presión de inyección) mediante un cono inverso en la otra mitad del molde (fig 4.34). El mismo efecto se logra también con la modalidad de construcción representada en la figura 4.35; aquí, mediante un asiento cónico en la otra mitad del molde, se asegura además el bastidor de las mordazas, o el plato cónico, contra una apertura durante el llenado de aquél.

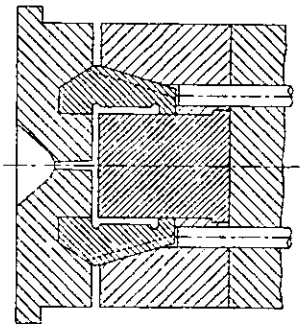


Figura 4.34. Cono invertido para mejorar el cierre del molde.

El movimiento de apertura de las mordazas puede obtenerse forzadamente en combinación con la carrera de apertura de la máquina o bien con accionamiento independiente. Las mordazas de accionamiento forzado se

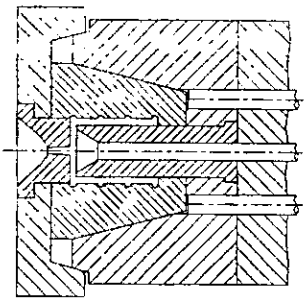


Figura 4.35. El asiento cónico en la mitad del molde lado boquilla evita la apertura del plato.

sacan del plato mediante palancas articuladas o cubrejuntas de tracción (fig. 4.33), vástagos expulsores (figs. 4.34 y 4.35), resortes (fig. 4.36) o levas (fig. 4.37). Para el accionamiento independiente pueden emplearse cilindros hidráulicos.

Con las mordazas accionadas por medio de vástagos expulsores y resortes, se precisa, por lo general, un mecanismo adicional para el desmoldeo de la pieza. Con palancas articuladas o cubrejuntas de tracción, así como con levas, la descomposición del movimiento de apertura en movimientos laterales, necesarios para el desmoldeo, puede retrasarse hasta que la pieza se haya separado del núcleo.

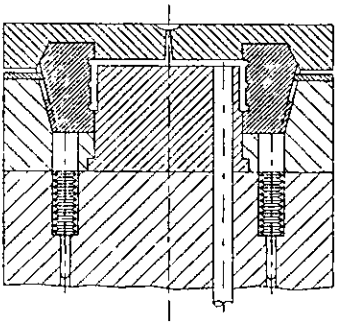


Figura 4.36. Accionamiento de las mordazas con resortes.

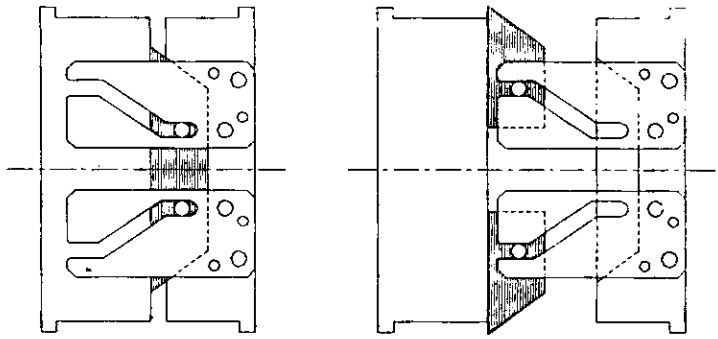


Figura 4.37. Accionamiento de las mordazas con levas. Izquierda: molde cerrado; derecha: molde abierto.

CAPITULO 5.

SALIDA DEL AIRE DE LOS MOLDES.

Al proceder al llenado del molde, el termoplástico inyectado tiene que desplazar el aire que se encuentra en el mismo. Si este aire no tiene posibilidades de salida, queda comprimido en el punto más alto o en las líneas de unión de flujo, produciendo allí quemaduras en la pieza. Estas zonas se caracterizan generalmente por tonalidades oscuras en la pieza que la hacen inservible, ya que frecuentemente el llenado es incompleto. Por lo general, para la salida del aire no se precisan medidas especiales, ya que éste tiene suficientes posibilidades para escapar por el plano de partición o los expulsores (fig. 5.1).

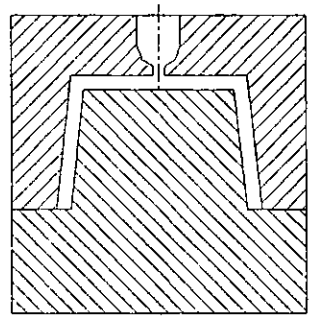


Figura 5.1. Vaso inyectado por el fondo. Posición de entrada favorable para la salida del aire.

La forma y posición de la entrada determinan el proceso de llenado y, por tanto, también la posibilidad de eliminación del aire. Si la posición o forma de la entrada es tan desfavorable que no garantiza la salida del aire, entonces se

deben tomar otras medidas para eliminarlo. Para ello se pueden construir canales especiales para la aireación; sin embargo, muchas veces basta con construir la cavidad en varias piezas (fig. 5.2). Las juntas de partición son muchas veces suficientes para la salida del aire y tienen la ventaja de hacerse menos visibles en la pieza que los canales de aire elaborados en el plano de partición o en otro punto.

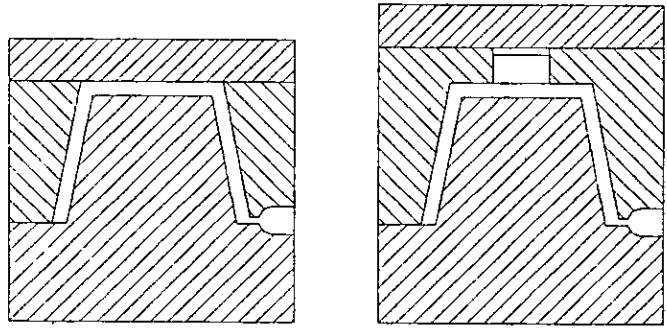
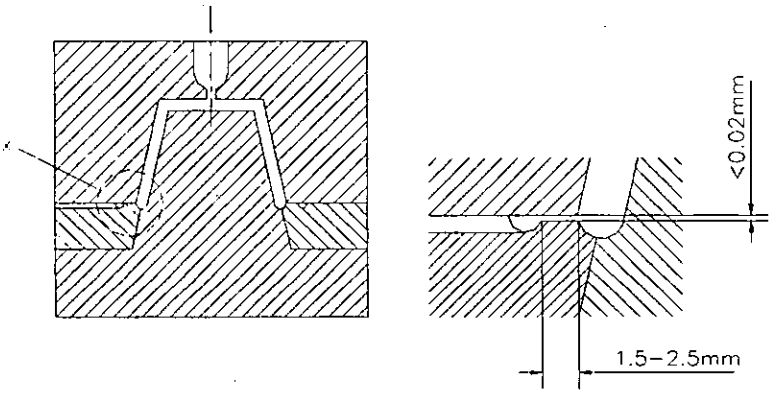


Figura 2.2. Vaso inyectado lateralmente mediante molde con junta adicional. Expulsión del aire por la junta adicional (figura de la izquierda); expulsión mediante troquel auxiliar (figura de la derecha).

Cuando las ranuras de las juntas de partición no son suficientemente permeables y el aire no puede escapar por los expulsores o troqueles auxiliares (fig. 5.2), entonces, se debe reducir las dimensiones de las superficies de junta para reducir el camino a recorrer por el aire, o elaborar canales de unas milésimas de milímetro de profundidad y alrededor de 1 mm de anchura en el plano de separación (fig 5.3).

Otra posibilidad de eliminar el aire consiste en hacer que el molde "respire", es decir, que se abra ligeramente al efectuar la inyección. La respiración de los moldes puede conseguirse ajustando la fuerza de cierre de

forma que el molde pueda abrirse ligeramente al efectuarse el llenado. No obstante, se debe dosificar exactamente el volumen de inyección para evitar la formación de membranas en la pieza. La fuerza de cierre debe ser mayor, en todo caso, que la ejercida por la presión residual.



Detalle x

Figura 5.3. Molde para vasos con canales anulares para la salida del aire.

CAPITULO 6.

ELEMENTOS DE GUIA Y CENTRADO.

6.1 Guía y centrado exteriores.

Los moldes de inyección se montan, para su ajuste, sobre las platinas portamolde de la unidad de cierre de la máquina de inyección. Esta unidad de cierre tiene la misión de abrir o cerrar el molde dentro del ciclo de moldeo. Las guías de los moldes deben cuidar que los elementos de moldeo coincidan exactamente y que el molde cierre en forma hermética. Si los elementos de moldeo no coinciden, pueden chocar mutuamente y deteriorarse bajo la influencia de las elevadas fuerzas de cierre. Además, si los moldes se encuentran descentrados, las piezas pueden presentar distintos espesores de pared, no correspondiendo a las medidas exigidas.

Para facilitar al ajustador la fijación de los moldes sobre las platinas portamoldes de la unidad de cierre de la máquina de inyección y garantizar la posición correcta del mismo, logrando especialmente la concentricidad del agujero de la boquilla del molde con la boquilla del cilindro de plastificación, los moldes poseen elementos de centrado en la mitad lado boquilla, o lado expulsor, que se adaptan a una abertura correspondiente de las platinas portamolde. Estos elementos van roscados a la platina portamolde, o bien, y éste es el caso más frecuente, constan de platinas de centrado montadas en el molde. Además del centrado del molde, respecto a las platinas portamolde, las bridas tienen también la misión de cubrir agujeros grandes o pequeños de dichas platinas. Ello resulta particularmente necesario cuando las platinas tienen agujeros grandes y se acoplan en ellos moldes pequeños, ya que las

elevadas fuerzas de cierre pueden producir una flexión inadmisible. La platina de centrado lado fijo presenta un orificio cónico y se sitúa concéntricamente con el de la boquilla. Por una parte, evita la salida de la boquilla del molde y, por otra, garantiza que el orificio de la boquilla de la máquina y el de la boquilla del molde queden alineados (fig. 6.1).

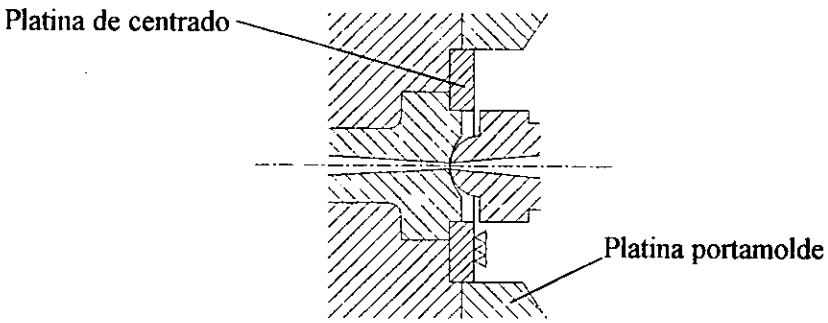


Figura 6.1. Platina de centrado.

Muchos moldes tienen elementos de centrado tanto en el lado de la boquilla como en el lado eyector, aunque ello no parezca tener mucho sentido, ya que el centrado queda superdeterminado. En tales moldes, el elemento de centrado lado extractor ha de poseer cierto juego de ajuste, ya que solamente es un auxiliar de montaje.

Como asiento de ajuste entre la abertura de la platina portamolde y la platina de centrado se emplea el ajuste H7 / f8, el cual se emplea también para el montaje de la platina de centrado en el molde.

6.2 Guía y centrado interiores.

Para alcanzar la máxima precisión, el molde necesita una guía y unos elementos de centrado propios. En moldes pequeños y particularmente planos, se emplean pernos guía. Se trata de pernos que sobresalen de una de las

mitades del molde cuando éste está abierto y, al efectuar el cierre, se introducen con un ajuste perfecto en los orificios de los bujes de acero templado montados en la otra mitad.

En los moldes planos se garantiza una posición relativa permanente y exacta de ambas superficies externas durante el proceso de inyección, así como la obtención de piezas exentas de desplazamiento.

Para la guía axial se emplean normalmente cuatro unidades de guía (perno y buje). Con el objeto de facilitar el montaje y garantizar siempre una correcta colocación del molde, una de las unidades de guía se coloca desplazada o se hace de dimensión diferente. Este último es el caso más frecuente, ya que ofrece menos dificultades de montaje, especialmente cuando se emplean elementos normalizados para moldes, que las unidades situadas en forma desplazada. Para alinear correctamente la unidad de guía al construir el molde y al montarlo en la máquina, dos de los pernos de guía dispuestos en diagonal deben ser algo más largos. Las unidades de guía se deben colocar en la zona más externa del molde, con el objeto de aprovechar éste al máximo para el vaciado y facilitar la colocación del sistema de alimentación y refrigeración.

Al cerrar el molde, los pernos de guía se deben introducir en los agujeros exactamente ajustados de la otra mitad del molde. Sólo puede alcanzarse un centrado efectivo cuando las tolerancias de los diámetros del perno y del buje se mantienen estrechas. Sin embargo, esto trae como consecuencia un fuerte desgaste; por ello no es aconsejable hacer deslizar directamente los pernos en los agujeros correspondientes de las distintas placas del molde. Fundamentalmente, los pernos de guía se deben introducir con un ajuste preciso en los bujes después de montados en sus alojamientos. Para disminuir el

desgaste, las unidades de guía se pueden construir con un acero cementado y tratado a una dureza de 60 a 62 RC. El desgaste se reduce también lubricando los pernos de guía; para este efecto, los pernos poseen ranuras de engrase. Los pernos desprovistos de ranuras sólo se utilizan en moldes muy pequeños y en el caso especial cuando se emplean bujes con rodamientos de bolas.

Para los pernos guía, se puede emplear una tolerancia h6 en la zona de guía o espiga y una tolerancia k5 en la zona del vástago (figura 6.2). El diámetro en el punto de unión puede estar reducido 0.2 mm. Si el perno de guía está asegurado contra desplazamiento, por ejemplo con un espárrago, el agujero de recepción en el molde debe tener una tolerancia H7. En caso de no emplearse tal seguro, entonces es necesaria una tolerancia N7 (ajuste prensado). La longitud de los pernos de guía depende de la profundidad de los vaciados del molde. La guía del molde debe empezar siempre antes de que una de las mitades del mismo se introduzca en la otra .

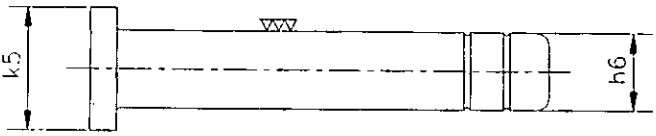


Figura 6.2. Tolerancias en los pernos guía.

Para los bujes, se pueden emplear tolerancias H7 en el agujero de la zona de guía y K6 en el diámetro exterior (figura 6.3). El diámetro del hombro puede rebajarse 0.2 mm. La longitud de los bujes depende del diámetro del agujero. Se recomienda una longitud de 1.5 a 3 veces el diámetro. El agujero para alojar el buje en el molde debe tener una tolerancia H7.

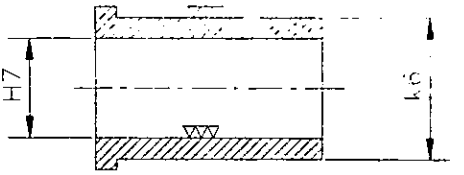


Figura 6.3. Tolerancias en los bujes guía .

Determinación del diámetro de pernos inclinados.

En la figura 6.4 se representa un perno inclinado con las fuerzas que actúan sobre el mismo al desplazarse la placa del molde; la resultante de estas fuerzas se deduce de las ecuaciones para el movimiento de cuerpos sobre un plano inclinado.

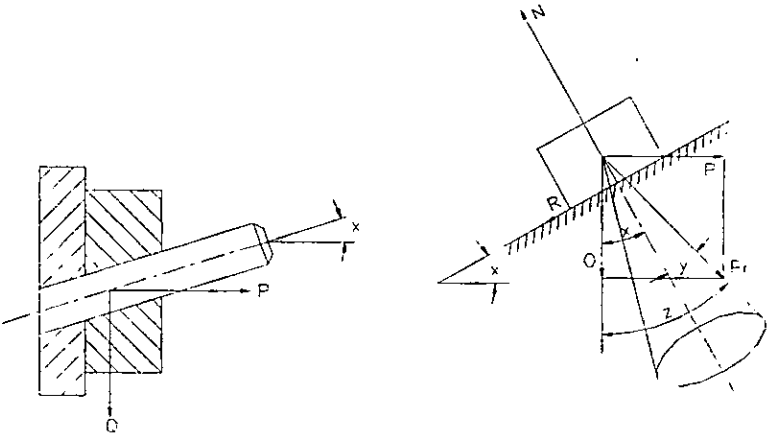


Figura 6.4. Perno guía inclinado con las fuerzas que actúan sobre él.

Se tiene entonces que

$$P + Q + R + N = 0$$

donde

P = fuerza de apertura del molde

Q = peso que soporta el perno inclinado

R = fuerza de fricción

N = fuerza normal al perno.

La resultante de las fuerzas P y Q es

$$P_r = (Q^2 + P^2)^{1/2}$$

Si en esta ecuación se sustituye P por

$$P = Q.tg(x + y),$$

se tiene

$$P_r = [Q^2 + Q^2.tg^2(x + y)]^{1/2}$$

o bien,

$$P_r = Q[1 + tg^2(x + y)]^{1/2}$$

Por otro lado

$$tg\ z = tg(x + y)$$

Por lo general, el valor de tg z no debe ser superior a 0.5.

Con $R = \mu N$ se obtiene del diagrama de fuerzas

$$tg\ y = R / N = \mu N / N = \mu$$

El coeficiente de rozamiento μ es de 0.1, para el movimiento de acero contra acero; con ello puede calcularse el ángulo de inclinación de los pernos.

La fuerza resultante, que actúa perpendicularmente al perno y es decisiva para el cálculo de la sección del mismo, se calcula por la relación

$$P_r = Q[1 + tg^2 z]^{1/2} (\cos x)$$

Al abrirse el molde, los pernos están sometidos a esfuerzos cortantes. La sección necesaria para tales pernos se calcula por la relación

$$A = P / \tau$$

donde

A = sección transversal del perno inclinado

P = fuerza que actúa perpendicularmente al perno

τ = esfuerzo cortante admisible en el perno.

Por lo tanto, finalmente se tiene

$$A = (Q[1 + tg^2 z]^{1/2} / \tau) (\cos x)$$

En la figura 6.5 se representa la fuerza que actúa sobre los pernos en función del tiempo. La fuerza total sólo actúa en el momento de iniciar el desplazamiento de la placa del molde.

En la práctica se ha establecido que los ángulos más favorables para la inclinación de los pernos oscilan entre 15 y 25°. Los ángulos grandes facilitan el movimiento de apertura del molde, mientras que los pequeños aportan una mayor fuerza de cierre; hay que situarse en el punto justo, que puede determinarse por el tamaño del molde o las fuerzas de apertura y cierre.

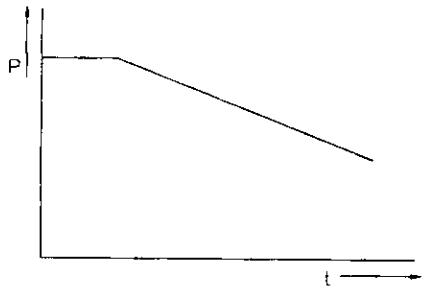


Figura 6.5. Esquema representando la carga sobre un perno inclinado, en función del tiempo.

6.3 Centrado de moldes de inyección profundos.

El centrado de los moldes con pernos y bujes de guía muchas veces no es suficiente para fabricar piezas exentas de desplazamiento, especialmente

cuando el molde tiene un núcleo largo y delgado. En tales moldes, el momento de inercia del núcleo y el módulo de elasticidad del acero no bastan para impedir la deformación del núcleo bajo la presión de la masa que fluye. Las consecuencias son un desplazamiento del núcleo, con tolerancias indeseables en la pieza y dificultades de desmoldeo. Cuando puede esperarse una deformación del núcleo, éste debe apoyarse por ambos lados. Estas consideraciones deben tenerse ya en cuenta al determinar el sistema de llenado. Así, por ejemplo, la entrada de colada anular es preferible para la fabricación de piezas en forma de anillo en las que, debido a la longitud del núcleo, son precisos dos apoyos.

Para fabricar moldes de inyección profundos es conveniente obtener el núcleo y su placa soporte de un sólo bloque de material, es decir, en una sola pieza. Esta es la mejor condición para obtener la fijación absoluta del núcleo respecto a la cavidad. Sin embargo, las pérdidas por maquinado son muy elevadas; por tal razón se fabrican muchas veces en dos piezas el núcleo y la placa soporte. La fijación de dicha placa debe ser muy cuidadosa y sólida. En piezas simples, con simetría de rotación, se tornea un collar de mayor dimensión en el núcleo, el cual sirve como elemento de centrado; mediante este collar y una brida se fija el núcleo a la placa soporte (fig. 6.6).

Si la relación diámetro-longitud del núcleo excluye una deformación bajo la presión de la masa que fluye; entonces, bastará con una guía adicional y un elemento de centrado rígido para evitar el desplazamiento del núcleo con respecto a la cavidad.

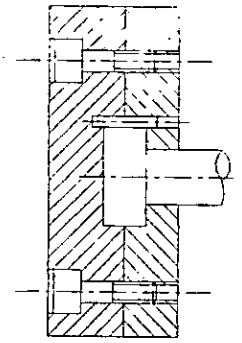


Figura 6.6. Núcleo fijado con brida y placa soporte.

CAPITULO 7.

MATERIALES PARA LA FABRICACION DE MOLDES.

7.1. Aceros.

Las exigencias que debe satisfacer un acero para la construcción de moldes de inyección proceden, por una parte, de las condiciones impuestas a la pieza terminada y, por otra, de los esfuerzos a los que se ve sometido el molde. De ello se desprende que los aceros deben poseer las siguientes propiedades:

a) Buenas condiciones para su elaboración (maquinabilidad)

b) Resistencia a la compresión, temperatura y corrosión

c) Aptitud para el pulido

d) Suficiente resistencia a la tensión y tenacidad

e) Tratamiento térmico sencillo

f) Deformación reducida

g) Buena conductividad térmica

h) Resistencia a los ataques químicos.

Sin embargo, un acero no puede presentar todas estas propiedades. Por ello antes de fabricar un molde, es preciso elegir las propiedades indispensables impuestas por su aplicabilidad. Estas pueden estimarse según los cuatro puntos de vista siguientes:

1) Tipo de la masa de moldeo a elaborar (exigencias relativas a corrosión, abrasión, conductividad térmica y viscosidad).

2) Tipo y magnitud del esfuerzo mecánico permisible (tamaño de la cavidad, presión de inyección, variaciones de forma en el molde, presión residual necesaria).

3) Método de obtención del vaciado del bloque (arranque de viruta, estampado en frío, electro-erosión).

4) Tratamiento térmico necesario, con sus correspondiente variaciones en sus dimensiones.

De acuerdo con estas consideraciones, se procede a la elección del acero apropiado.

Los aceros usados para la fabricación de moldes pueden clasificarse de la manera siguiente:

a) Aceros para cementar

b) Aceros para templar

c) Aceros tratados

d) Aceros resistentes a la corrosión

e) Aceros para nitrurar.

7.1.1 Aceros para cementar.

Los aceros para cementar son los que reúnen las condiciones que más se aproximan a la exigidas a un acero para la construcción de moldes. La ventaja particular de estos aceros consiste en que por cementación, o carburación, y posteriormente con un tratamiento térmico, se forma martensita; lo cual origina una superficie dura y, simultáneamente, un núcleo resistente y tenaz. La elevada dureza superficial hace que los moldes sean resistentes a la abrasión, y el núcleo tenaz los hace resistentes a los esfuerzos alternativos y bruscos.

Estas propiedades se obtienen cuando se calientan los moldes fabricados con acero de bajo contenido de carbono (aceros con un contenido de carbono de menos del 0.2%) en un medio rico en carbono, permaneciendo a una temperatura entre 840 y 900 °C, y enfriando a continuación en aceite o agua. Al

efectuar el calentamiento en un medio que desprende carbono, las capas externas del molde se enriquecen en dicho elemento. El contenido de carbono en las zonas externas puede alcanzar, de este modo, hasta un 0.8%. La profundidad de esta capa enriquecida que puede alcanzar entre 0.6 y 2 mm viene determinada por el medio carburante, que puede ser gaseoso, líquido o sólido, así como por el tiempo y la temperatura. El espesor de la capa enriquecida crece con la temperatura y la duración del calentamiento. Sin embargo, las temperaturas excesivamente elevadas y un tiempo de calentamiento excesivo son perjudiciales para el acero, ya que la estructura se hace muy gruesa y dificulta el posterior tratamiento térmico de temple y revenido.

Dentro de este grupo de aceros se encuentran el P4 (acero para herramientas), el 8620 y el 1015.

7.1.2 Aceros para templar.

En los aceros templados el aumento de dureza se produce por la formación de martensita debida al rápido enfriamiento que sucede al calentamiento. Las propiedades mecánicas que pueden alcanzarse por este procedimiento dependen del medio de temple y de la velocidad de enfriamiento. Como medios de temple se pueden emplear agua, aceite o aire. El agua proporciona el enfriamiento más rápido, mientras que el aceite y el aire son más suaves. La velocidad de enfriamiento queda, por tanto, determinada, por una parte, por el medio de temple y, por otra, por la conductividad térmica, la cual depende, a su vez, de la relación superficie-volumen del molde y de los elementos de aleación que se encuentran presentes en el acero. El Ni, Mn, Cr,

Si y otros elementos reducen la velocidad crítica y permiten, con ello, el endurecimiento completo de secciones más gruesas.

El proceso de temple comprende: calentamiento, estabilización de la temperatura, enfriamiento con formación de la estructura de temple y subsiguiente revenido para mejorar la tenacidad.

Los moldes fabricados con aceros templados tienen una buena resistencia a la abrasión como consecuencia de su elevada dureza; sin embargo, son más sensibles a la formación de grietas y a la deformación en comparación con los moldes cementados o tratados, debido a su menor tenacidad. Por esta razón, los aceros templados sólo se utilizan, por lo general, para pequeños moldes o elementos planos de los mismos.

Dentro de este grupo de aceros se encuentran el 9840, 4141, O1, H12, H13 y el L6.

7.1.3 Aceros tratados.

Con estos aceros, tal como se suministran, no es necesario aplicarles un tratamiento térmico después del maquinado y pueden fabricarse moldes con relativa facilidad y económicamente por arranque de viruta. Su aplicación es especialmente ventajosa para la construcción de moldes de grandes dimensiones, los cuales pueden reaccionar, frente a un tratamiento térmico, con variaciones en las medidas. La desventaja de estos aceros es su reducida resistencia a la abrasión y la deficiente calidad de la superficie de los moldes.

Los aceros son tratados en la propia industria metalúrgica. Allí son sometidos a un tratamiento de revenido después del temple. Mediante el revenido de los aceros a temperaturas superiores a 500 °C, la martensita se

descompone en carburo y cristales mixtos α. A ello va unida una reducción de la dureza y de la resistencia, con simultáneo aumento de la tenacidad de estos aceros.

Dentro de este grupo de aceros se encuentran el 9840, el 4140 y el P20.

7.1.4 Aceros resistentes a la corrosión.

Durante el moldeo, con algunos altos polímeros se desprenden productos químicamente agresivos, generalmente ácido clorhídrico o ácido acético. Por lo general, los moldes se protegen mediante revestimientos galvánicos, como capas de cromo duro o de níquel. Sin embargo, estos revestimientos protectores solamente son de eficacia duradera cuando se consigue una capa de espesor uniforme al hacer la aplicación y se evitan los cantos agudos en el molde. Las diferencias de espesor y los cantos agudos producen tensiones en la capa protectora que, al ser sometida a esfuerzos, pueden dar lugar a la destrucción de dicha capa. El peligro de que el revestimiento no sea uniforme en todas sus partes es especialmente grande en los moldes con contornos complicados.

Además de proporcionar una buena resistencia a la corrosión, el cromado de las superficies se caracteriza por la elevada calidad de las mismas (acabado brillante), la reducida abrasión y la propiedad que hace que la pieza inyectada no se adhiera.

Si no puede garantizarse la obtención de un recubrimiento de cromo uniforme y subsiste el peligro de que se formen grietas en la capa protectora, lo que puede ocurrir principalmente cuando los moldes están sometidos a un esfuerzo flector, se debe recurrir a los aceros resistentes a la corrosión, es decir, aceros con bajo contenido de carbono y combinados, como mínimo, con un 12% de cromo.

Dentro de este grupo de aceros se encuentran el 420 y el 431 (aceros inoxidables ferríticos).

7.1.5 Aceros para nitrurar.

Fundamentalmente pueden nitrurarse todos los aceros cuyos elementos de aleación formen nitruros. Estos elementos de aleación son cromo, aluminio molibdeno y vanadio. Si los aceros que contienen estos elementos se someten a un recocido en un baño salino a base de cianato-cianuro, en corriente de amoniaco o en el seno de una descarga de efluvios de elevada intensidad, a temperaturas situadas entre 500 y 580 °C, o bien, entre 350 y 580 °C para la ionitruración, se produce una difusión de nitrógeno en la superficie del molde y los elementos de aleación forman nitruros, los cuales confieren a la capa nitrurada una dureza de 700 a 1300 HV, según el tipo de acero y procedimiento empleado. Sin embargo, la dureza máxima no se alcanza precisamente en la superficie del molde, sino que está situada algunas centésimas de mm más abajo. Por ello, es necesario efectuar un trabajo posterior de pulido tras el tratamiento de nitruración.

Los aceros para nitrurar se suministran recocidos. Por ello, pueden maquinarse por arranque de viruta sin dificultades. Su principal ventaja consiste en que, tras el tratamiento térmico, se obtienen moldes sin tensiones, de gran tenacidad, con elevada dureza superficial y resistencia a la corrosión mejorada. Normalmente, los moldes sometidos a nitruración no presentan deformaciones.

7.2 Materiales colados.

El empleo de materiales colados en la construcción de moldes se debe, en primer lugar, al procedimiento de fabricación. Junto a los tiempos de

fabricación más cortos para la obtención del vaciado, debe hacerse especial referencia al hecho de que, al colar el molde, se puede fabricar simultáneamente el dispositivo de enfriamiento introduciendo serpentines tubulares. De otro modo, se presentan muchas veces grandes dificultades al confeccionar los sistemas de enfriamiento, principalmente en los moldes de grandes dimensiones, ya que el taladrado puede desviarse. Favorecen también a los materiales colados sus propiedades térmicas y su mayor resistencia a la corrosión. Esto último es particularmente válido para los materiales no ferrosos. El límite de aplicabilidad viene determinado por la insuficiente exactitud de medidas y la menor calidad de superficie, así como por las propiedades mecánicas, que se sitúan considerablemente más abajo en comparación con el acero laminado o forjado.

Los materiales colados que comúnmente se emplean para la construcción de moldes pueden subdividirse en tres grupos:

a) Fundición de acero

b) Metales no ferrosos

c) Materiales no metálicos.

7.2.1 Fundición de acero.

El acero fundido, o moldeado, se emplea principalmente para la fabricación de moldes grandes. Las propiedades mecánicas, que dependen del contenido de carbono (el contenido de carbono oscila entre 0.1 y 0.4%), son más bajas en relación con el acero laminado o forjado, pero, básicamente, son suficiente para cumplir las exigencias formuladas.

La calidad de las superficies de los moldes colados no es, en general, tan buena como los moldes de acero forjado o laminado. La pieza colada adquiere,

en muchos casos, una superficie mate. Sin embargo, este efecto no es necesariamente una desventaja, ya que muchas veces incluso se desea, por ejemplo, para artículos domésticos y de embalaje. Si no se desea un efecto superficial mate, debe elegirse aceros de fácil soldadura, a fin de poder eliminar las zonas porosas y los rechupes.

Las piezas de acero fundido se obtienen corrientemente por colado en moldes de arena.

La ventaja decisiva de los moldes colados reside en su fabricación, ya que puede prescindirse notablemente de los trabajos de maquinado, los cuales determinan el precio y el tiempo de fabricación en la construcción de moldes.

7.2.2 Metales no ferrosos.

Los principales metales no ferrosos empleados en la fabricación de moldes son:

a) Cobre y sus aleaciones

b) Cinc y sus aleaciones

c) Aluminio y sus aleaciones

d) Aleaciones de estaño-bismuto.

Cobre y sus aleaciones.

La ventaja del cobre y sus aleaciones como materiales para la fabricación de moldes se basa en la elevada conductividad térmica y flexibilidad del material, que permite equilibrar rápidamente las tensiones debidas a un calentamiento no uniforme. Las propiedades mecánicas del cobre son moderadas. Si bien pueden mejorarse por laminado o conformación en frío, en general no cumplen con las exigencias que deben satisfacer los materiales para

la fabricación de moldes. Sin embargo, el comportamiento es distinto con las aleaciones de cobre. Las más conocidas para la construcción de moldes son las aleaciones de cobre-berilio-cobalto, las aleaciones de cobre-cinc (latón) y las aleaciones de cobre-estaño (bronce, latón rojo).

Aleaciones de cobre-berilio-cobalto.

Según su composición, estas aleaciones alcanzan una resistencia de 80 a 150 Kg/mm^2. Son suficientemente resistentes a la corrosión y, en caso necesario, pueden ser también cromadas o niqueladas.

Las aleaciones de cobre-berilio-cobalto se emplean principalmente para la fabricación de elementos interiores y boquillas, siempre que existan exigencias particulares referentes a la conductividad térmica. Este caso se presenta particularmente en los moldes de canal caliente, en los que debe evitarse la solidificación del cono de entrada para poder trabajar de un modo rentable, es decir, con rapidez y sin grandes rechazos de piezas.

Aleaciones de cobre-cinc (latón).

El latón es poco apropiado para la fabricación de moldes debido a su baja resistencia a la abrasión. En la inyección de plásticos, generalmente sólo se emplea para la fabricación de las boquillas de que disponen los moldes de canal caliente.

Aleaciones de cobre-estaño (bronce, latón rojo).

Debido a los valores reducidos de resistencia a la tensión, el campo de aplicación del bronce es muy limitado en la construcción de moldes. Como en

el caso de todas las aleaciones de cobre, se aprovecha su buena conductividad térmica y la facilidad de colado.

Cinc y sus aleaciones.

Debido a sus reducidas características mecánicas, el cinc y sus aleaciones se emplean solamente para la fabricación de moldes destinados a inyecciones de prueba, o a la producción de series reducidas.

Aluminio y sus aleaciones.

Las ventajas particulares del aluminio son su reducido peso específico, su elevada conductividad térmica, su buena estabilidad química y su fácil maquinado. La aplicación queda limitada en virtud de su reducida resistencia.

En la construcción de moldes con aleaciones de aluminio se debe tener en cuenta el pequeño módulo de elasticidad en comparación con el acero, la elevada dilatación térmica y la alta sensibilidad a la entalladura. Deben evitarse los cantos agudos. Las superficies de las zonas sometidas a mayores esfuerzos deben pulirse cuidadosamente.

Debido a las bajas características mecánicas, los moldes de aluminio o sus aleaciones se emplean raras veces en inyección.

Aleaciones de estaño-bismuto.

El punto de fusión de las aleaciones estaño-bismuto oscila entre 138 y 170 °C. Al solidificarse, no se produce contracción alguna; por ello, tales materiales consiguen reproducciones muy exactas en cuanto a dimensiones, las cuales pueden elaborarse muy bien y fundirse de nuevo más tarde. Debido a sus

bajas propiedades mecánicas, los moldes fabricados con aleaciones estaño-bismuto solamente son apropiados para inyecciones de ensayo.

7.2.3 Materiales no metálicos-resinas colables.

Para la fabricación de moldes, se pueden emplear las masas de resina epoxídica, las masas de metacrilato y las masas de poliéster. Sin embargo, estas resinas colables solamente son apropiadas para moldes destinados a inyecciones de ensayo.

7.3 Materiales para elementos de accionamiento y montaje en moldes de inyección.

Además de las piezas del molde que entran en contacto con el plástico o materiales de moldeo, son precisas, para la construcción de un molde, una serie de piezas sometidas también a esfuerzos mayores o menores. Estas son, en particular, los pernos y bujes guía, las placas de fijación, las placas intermedias, las placas botadoras, los expulsores, las rondanas de centrado, etc.; estos elementos pueden adquirirse actualmente ya terminados. Con ayuda de los mismos pueden fabricarse moldes completos por el sistema de unidades normalizadas, ya que el realizador solamente debe efectuar su montaje particular. Como materiales para los diversos elementos se pueden emplear los aceros indicados en la tabla 7.1.

Tabla 7.1. Materiales para piezas móviles y de montaje.

Campo de aplicación	Material
Pernos botadores Boquillas de bebedero	Acero para herramientas para trabajo en frío (O2, D3). Acero para herramientas para trabajo en caliente (H11, H13).
Pernos guía Vástagos de guía Bujes de centrado Cuñas de ajuste Otras piezas	Acero para herramientas para trabajo en frío (O2, D3). Acero para herramientas para trabajo en caliente (H11, H13). Acero cementado (1015, 8620). Acero tratado (P20, 4140).
Placas de fijación Placas intermedias Placas expulsoras Placas para alojar elementos de moldeo	Acero templado (1040). Acero para herramientas para trabajo en frío (O2, D3). Acero para herramientas para trabajo en caliente (H11, H13).

CAPITULO 8.

EJEMPLO PRACTICO: DISEÑO DE UN MOLDE PARA ARGOLLA PARA MOCHILA.

Como ejemplo práctico se propone el diseño de un molde para producir una argolla para mochila, la cual se muestra en la figura 8.1.

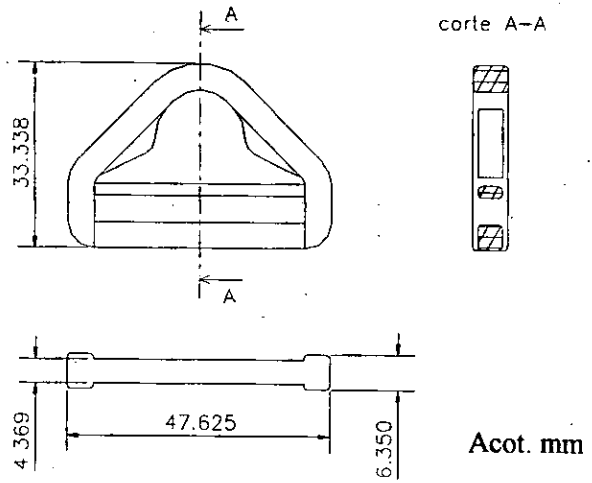


Figura 8.1. Argolla para mochila.

Las características de la pieza son las siguientes:

Material: cloruro de polivinilo (PVC) rígido.

Densidad, ρ= 1.38 g/cm^3

Conductividad de temperatura= 4.8x10^{-4} cm^2/s

Dureza Shore= 65-85 escala D.

Esfuerzo a la tensión (a la rotura)= 40-60 N/mm^2

Elongación (a la rotura)= 20-30 %

Módulo elástico (a la flexión)= 2500-3000 N/mm^2

Esfuerzo al impacto (IZOD-con ranura)= 4-11 mJ/mm^2

Volumen de la pieza, V= 3.828 cm^3

Masa de la pieza, m= 5.283 g

Espesor máximo de la pieza s_{max}= 6.35 mm

Area de la pieza proyectada al plano de separación del molde= 7.026 cm^2

Algunas características de la máquina de inyección que se utilizará para el moldeo son las siguientes:

Volumen máximo de inyección= 100 cm^3

Rendimiento de plastificación= 283 cm^3/min

A continuación se presenta la memoria de cálculo:

Determinación del número de cavidades.

La cantidad máxima teórica de cavidades, F_1, se debe calcular de la siguiente manera:

F_1= volumen máximo de inyección de la máquina / (volumen de la pieza + volumen de la vena de colada)

El volumen máximo de inyección de la máquina= 100 cm^3; lógicamente, el volumen de la pieza + el volumen de la vena de colada para "n" cavidades debe ser menor de 100 cm^3. Si se elige F_1= 17 cavidades, se tiene:

Volumen de la pieza para 17 cavidades= 65.076 cm^3

Volumen de la vena de colada para 17 cavidades= 33.223 cm^3

Volumen de la pieza + volumen de la vena de colada= 98.299 cm^3

Por lo tanto, F_1= 17 cavidades.

Sin embargo, el número de cavidades realizables, F_2, es:

$$F_2 = 0.8F_1 = 0.8*17 \approx 13 \text{ cavidades.}$$

No obstante, para que la resultante de las fuerzas de expansión (presión de inyección) actúe lo más centrada posible con relación al sistema de distribución, el número de cavidades será de 12.

Determinación del sistema de alimentación.

a) Canales de distribución.

Tipo de distribución: en hilera (figura 8.2).

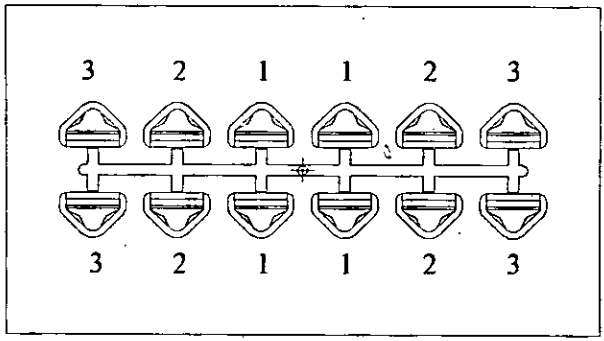


Figura 8.2. Canal de distribución en hilera.

Sección de los canales de distribución: parabólica (figura 8.3).

Las dimensiones principales del canal parabólico se calculan de la siguiente manera:

$$d_2 = s_{max} + 1.5 \text{ mm}$$

donde s_{max}= espesor máximo de la pieza= 6.35mm

$$d_2 = 6.35 \text{ mm} + 1.5 \text{ mm} = 7.85 \text{ mm}$$

$$d_2 = 0.7d_1$$

$$d_1 = d_2/0.7 = 7.85 \text{ mm}/0.7 = 11.214 \text{ mm}$$

$h = (2/3)d_2 = (2/3)*7.85\ mm = 5.233\ mm$

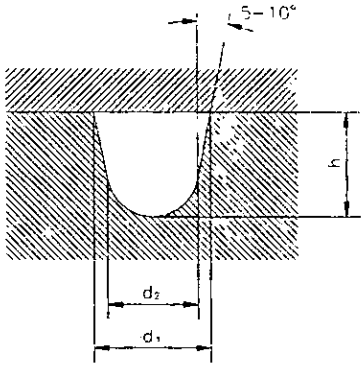


Figura 8.3. Canal de distribución parabólico.

b) Canales de estrangulamiento.

Determinación de la sección de los canales de estrangulamiento.

La sección transversal de los canales de estrangulamiento se puede calcular de la siguiente manera:

$$k = f/(l*L^{1/2}) = cte. \quad . . . (1)$$

Para la primera sección transversal se considera:

$$f_1 = 0.07F$$

La sección transversal de los canales de distribución, $F = 34.47\ mm^2$

Por lo tanto, $f_1 = 0.07*34.47mm^2 = 2.413\ mm^2$

Para calcular las secciones restantes se debe determinar la constante k mediante la ecuación (1).

La longitud de los canales de estrangulamiento, $l = 1$ mm

La longitud del canal de distribución hasta las cavidades "1" (fig. 8.2), $L_1 = 46.838$ mm.

Por lo tanto $k = 2.413\ mm^2/(1\ mm*(46.838\ mm)^{1/2}) = 0.3526\ mm^{1/2}$

Con ello, f_2 se puede obtener de la relación:

$$f_2=klL_2^{1/2}$$

La longitud del canal de distribución hasta las cavidades "2", L_2= 106.163 mm

$$f_2= 0.3526\ mm^{1/2}*1\ mm*(106.163\ mm)^{1/2}= 3.633\ mm^2$$

Finalmente, para f_3 se tiene

$$f_3= klL_3^{1/2}$$

La longitud del canal de distribución hasta las cavidades "3", L_3= 166.488 mm

$$f_3= 0.3526\ mm^{1/2}*1\ mm*(166.488\ mm)^{1/2}= 4.55\ mm^2$$

Para una sección transversal semicircular de los canales de estrangulamiento, el area se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$A=(\pi D^2/4)/2$$

Despejando el diámetro, D, se obtiene:

$$D= (8A/\pi)^{1/2}$$

Por lo tanto, los diámetros de los canales de estrangulamiento, para una sección semicircular, son:

$$D_1= (8f_1/\pi)^{1/2}=(8*2.413\ mm^2/\pi)^{1/2}= 2.479\ mm$$

$$D_2= (8f_2/\pi)^{1/2}=(8*3.633\ mm^2/\pi)^{1/2}= 3.042\ mm$$

$$D_3= (8f_3/\pi)^{1/2}=(8*4.55\ mm^2/\pi)^{1/2}= 3.404\ mm$$

c) Cono de entrada.

El diámetro de la base, d_F, es decir, el dámetro mayor del cono (fig. 8.4), se puede obtener de la siguiente fórmula:

$$A_{base}= \Sigma A_{canales\ de\ estrangulamiento}$$

donde $A_{base}= (\pi*d_F^2)/4$

Despejando d_F de la ecuación anterior, se tiene

$$d_F= (4A_{base}/\pi)^{1/2}$$

Por lo tanto,

$$d_F = (4A_{\text{canales de estrangulamiento}}/\pi)^{1/2}$$

$$A_{\text{canales de estrangulamiento}} = 42.84\ mm^2$$

$$d_F = (4*42.84\ mm^2/\pi)^{1/2} = 7.385\ mm$$

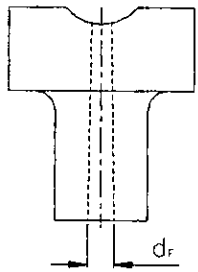


Figura 8.4. Canal de entrada cónico.

Determinación del sistema de enfriamiento.

Disposición de los canales de enfriamiento: rectilinea.

Sección transversal de los canales de enfriamiento: circular.

Medio de acondicionamiento de la temperatura: agua.

Determinación del tiempo de enfriamiento.

El tiempo de enfriamiento se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$t = (s^2/(\pi^2 * a))(8T/\pi^2)/3$$

donde

$$T = (\theta_M - \theta_w)/(\theta_E - \theta_w)$$

Espesor de la pieza, s= 0.635 cm

Conductividad de temperatura del PVC, $a = 4.8 \times 10^{-4}\ cm^2/s$

La temperatura de elaboración para el Cloruro de polivinilo rígido es:

$$\theta_M = 160\ °C$$

La temperatura de moldeo es:

$$\theta_w = 30\ °C$$

Considerando una temperatura de desmoldeo, $\theta_E = 60\ °C$

Se tiene

$$T = (160\ °C - 30\ °C)/(60\ °C - 30\ °C) = 4.333$$

Por lo tanto,

$$t = ((0.635\ cm)^2/(\pi^2 * 4.8x10^{-4}\ cm^2/s))(8*4.333/\pi^2)/3 = 99.65\ s$$

Determinación del calor que debe disiparse.

La cantidad de calor que debe desprenderse de la pieza, se puede calcular con la ecuación siguiente:

$$Q_{Ku} = (\Delta h * m)/\ t_{ciclo}$$

La masa de la pieza para 6 cavidades es:

$$m = 0.005283\ kg * 6\ cavidades = 0.031698\ kg$$

Para el tiempo del ciclo, se tiene

t_{ciclo}= tiempo de refrigeración + tiempo de apertura + tiempo de pausa + tiempo de cierre.

Tiempo de refrigeración, t= 100 s

Considerando que el tiempo de apertura del molde sea de 1 s, el tiempo de pausa de 1s y el tiempo de cierre de 2 s, se tiene entonces:

$$t_{ciclo} = 100\ s + 1\ s + 1\ s + 2\ s = 104\ s$$

Por otro lado, para el PVC, a una temperatura $\theta_M = 160\ °C$, se tiene una entalpía específica, $h_M = 49$ kcal/kg; y a una temperatura $\theta_E = 60\ °C$, $h_E = 11$ kcal/kg

Por lo tanto, la diferencia de entalpía específica Δh es:

$$\Delta h = h_M - h_E = 49\ kcal/kg - 11\ kcal/kg = 38\ kcal/kg$$

Y el calor que debe disiparse de 6 piezas es:

$$Q_{ku}= (38\ kcal/kg*0.031698\ kg)/104\ s= 0.011582\ kcal/s$$

Determinación del diámetro de los canales de enfriamiento.

El diámetro de los canales de enfriamiento se puede obtener de la siguiente ecuación:

$$\theta_W - \theta_{TM}= ((s_{KK}\ Q_{ku})/(2k_w\ F))+((Q_{ku} + Q_U)/(2F_{KK}\alpha)) \quad . . . (2)$$

La temperatura de la pared del molde, $\theta_W = 30$ °C

La temperatura del agente moderador, $\theta_{TM}= 30$ °C

La distancia de los canales de refrigeración a la pared del molde, $s_{KK}= 2.5D$ cm

$$Q_{ku}= 0.011582\ kcal/s$$

La conductividad térmica de la pared del molde, $k_w= 1.6x10^{-4}$ kcal/scm°C

La superficie proyectada de la pieza, F= 7.0258 cm^2 * 6 cavidades= 42.1548 cm^2

La superficie del canal de refrigeración, $F_{KK}= L\pi D$

donde L= la longitud del canal de enfriamiento= 42.545 cm

Por lo tanto, $F_{KK}= 42.545\pi D\ cm^2$

El calor intercambiado entre el molde y el ambiente, Q_U, se puede calcular con la ecuación siguiente:

$$Q_U= \alpha_L F_{wO}(\theta_u - \theta_{TM})$$

El coeficiente de transmisión térmica para convección libre en aire, α_L= $1.667x10^{-7}$ kcal/cm^2s°C

La superficie exterior del molde, F_{wO}= 21.806 cm^2 * 6 cavidades= 130.836 cm^2

La temperatura ambiente, θ_u= 23 °C

$$\theta_{TM}= 30\ °C$$

Por lo tanto,

Q_U= (1.667x10^{-7} kcal/cm^{2}seg°C)(130.836 cm^2) (23 °C - 30 °C)= -1.5267x10^{-4} kcal/s

El coeficiente de transmición térmica α debe obtenerse de la ecuación de Hausen para flujo turbulento:

$$Nu= 0.037(Re^{0.75} - 180)Pr^{0.42}(1 + (D / L)0.67)$$

donde

$$Nu= (\alpha D)/ K_{TM}$$

$$Re= (v_{TM}D)/\nu_{TM}$$

$$Pr= \nu_{TM}/a_{TM}$$

La conductividad térmica del agua, K_{TM} = 1.477x10^{-6} kcal/scm°C

La viscosidad cinemática del agua, ν_{TM}= 8.04x10^{-3} cm^2/s

La conductividad de temperatura del agua, a_{TM}= 1.483x10^{-3} cm^2/s

La velocidad del agua, v_{TM}, debe calcularse de la siguiente ecuación:

$$Q_{ku} + Q_U= \rho_{TM}v_{TM}A_{KK}(\theta''_{TM} - \theta'_{TM})c_{TM}$$

$$Q_{ku}= 0.011582 \text{ kcal/s}$$

$$Q_U= -1.5267\text{x}10^{-4} \text{ kcal/s}$$

La densidad del agua, ρ_{TM}= 0.9957 g/cm^3

La sección transversal del canal de enfriamiento, $A_{KK}= \pi D^2/4$

$$\theta''_{TM} - \theta'_{TM}= 6 \text{ °C}$$

El calor específico del agua, c_{TM}= 1.0005x10^{-3} kcal/g°C

Por lo tanto, para la velocidad del agua v_{TM}, se tiene:

0.011582 kcal/s - 1.5267x10^{-4} kcal/s= (0.9957 g/cm^3)$v_{TM}(\pi D^2/4)$(6 °C)* (1.0005x10^{-3} kcal/g°C)

Despejando v_{TM} de la ecuación anterior se tiene:

$$v_{TM} = 2.4346/D^2 \ cm^3/s$$

Entonces se tiene que

$$Nu = (\alpha D)/ \ 1.477x10^{-6} \ kcal/scm°C$$

$$Re = (2.4346/D^2 \ cm^3/s)D/ \ 8.04x10^{-3} \ cm^2/s = 302.815/D \ cm$$

$$Pr = (8.04x10^{-3} \ cm^2/s)/(1.483x10^{-3} \ cm^2/s) = 5.421$$

Por lo tanto, para el coeficiente de transmisión térmica α, se tiene:

$(\alpha D)/ \ 1.477x10^{-6}$ kcal/scm°C= $0.037((302.815/D \ cm)^{0.75} - 180)(5.421^{0.42})*$ $(1 + (D/42.545cm)0.67)$

Despejando α de la ecuación anterior se tiene:

$\alpha = 8.068x10^{-6}D^{-1.75} + 1.2702x10^{-7}D^{-0.75} - 2.0006x10^{-5}D^{-1} - 3.1506x10^{-7}$ $Kcal/cm^2s°C$

Finalmente, para el diámetro de los canales de enfriamiento, se tiene

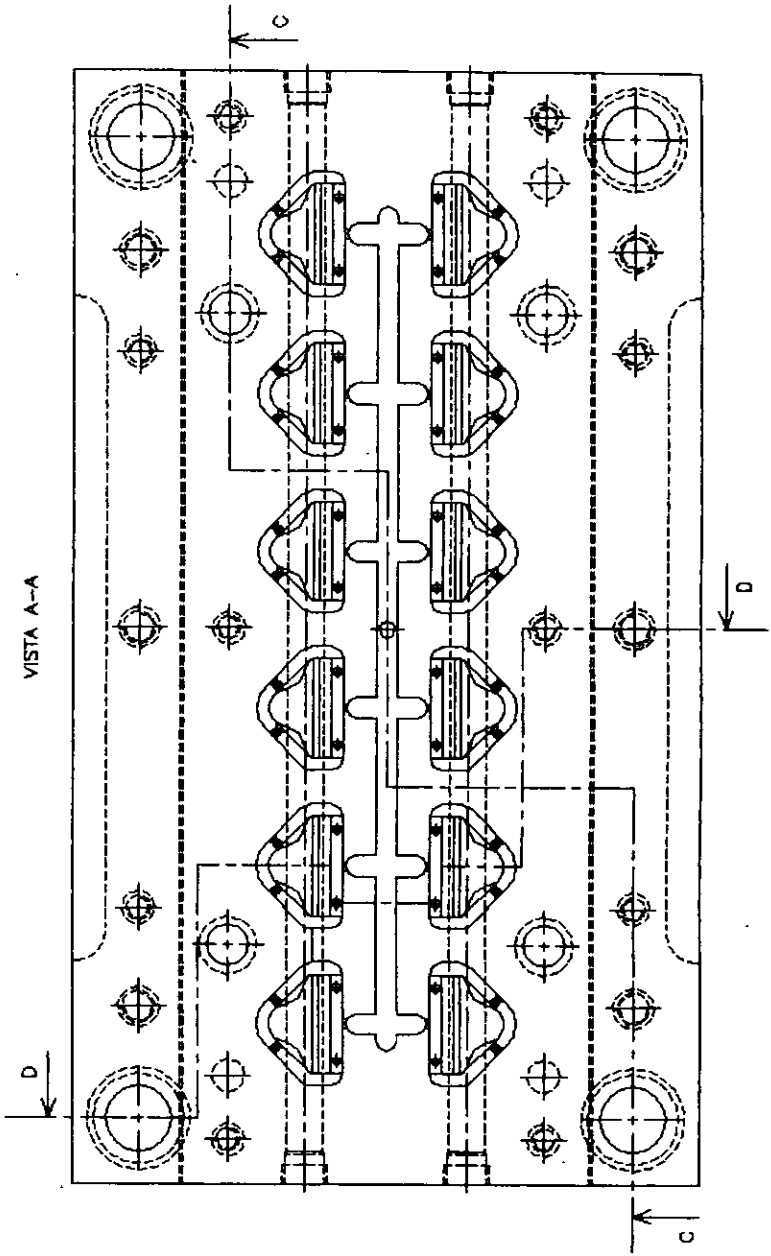
$30°C - 30°C = [(2.5D \ cm * 0.011582 \ kcal/s)/(2 * 1.6x10^{-4} \ kcal/scm°C * 42.1548 \ cm^2)] + [(0.011582 \ kcal/s - 1.5267x10^{-4} \ kcal/s)/(2 * 42.545\pi D \ cm^2 * 8.068x10^{-6}D^{-1.75} + 1.2702x10^{-7}D^{-0.75} - 2.0006x10^{-5}D^{-1} - 3.1506x10^{-7}$ $Kcal/cm^2s°C]$

Resolviendo la ecuación anterior se obtiene:

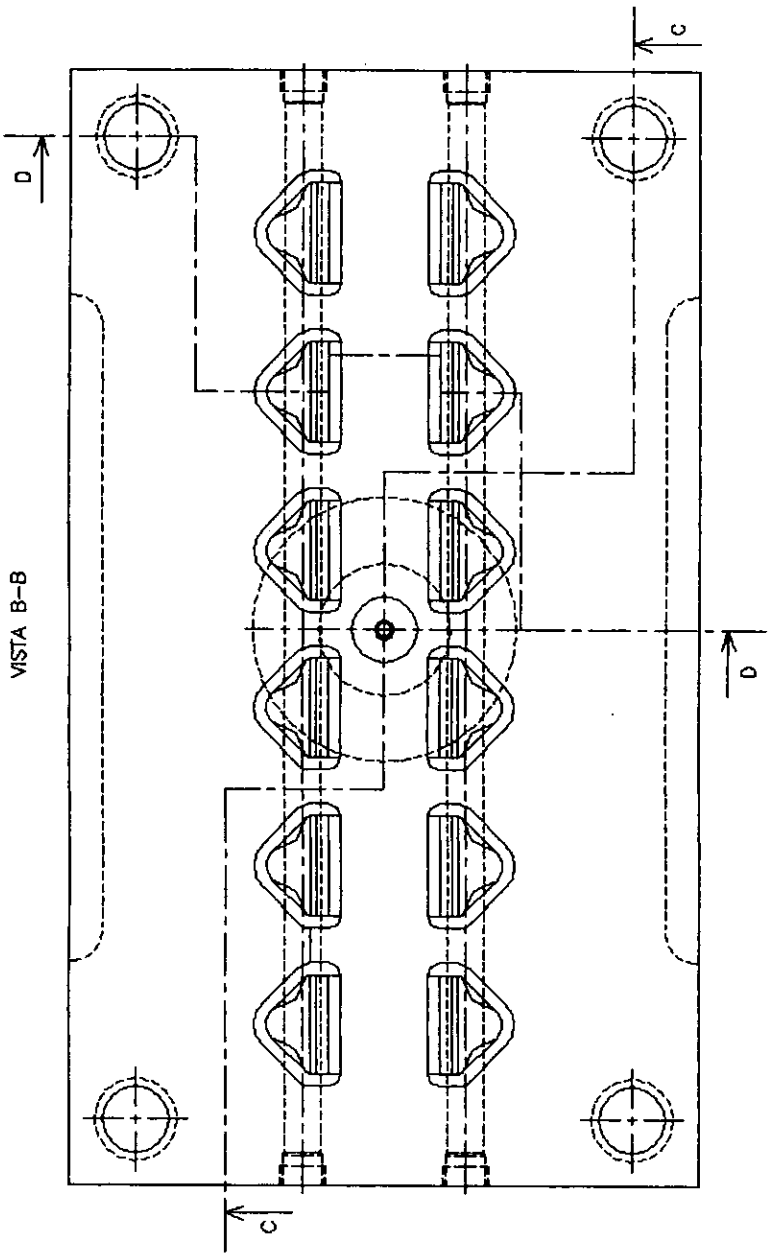
$$D = 1.414 \ cm$$

$$s_{KK} = 2.5D = 2.5*1.414 \ cm = 3.535 \ cm$$

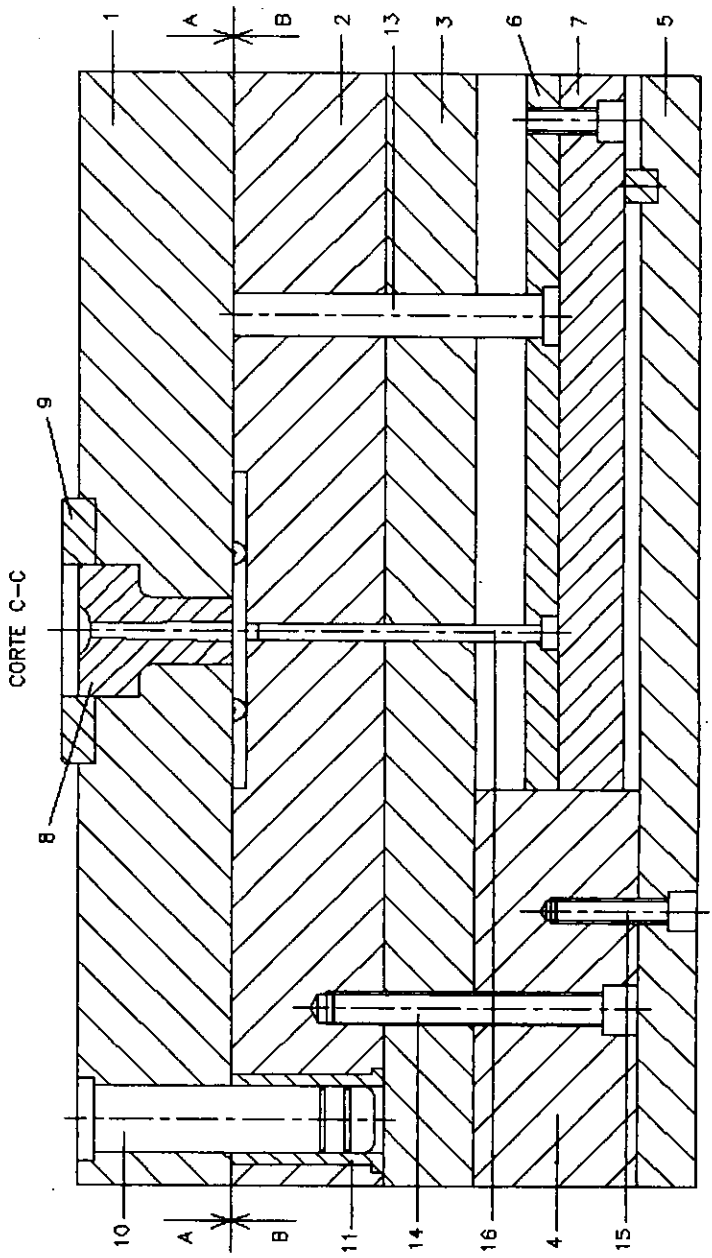
En base a los cálculos antes presentados, el diseño final del molde se presenta en el dibujo de conjunto mostrado en la figura 8.5.



Esc: 1:2	FES-C UNAM	18-03-1998	Dib. Oscar M.
Acot.	Molde argolla para mochila		Rev. MI Felipe D.
	Vista A-A		Fig. 8.5

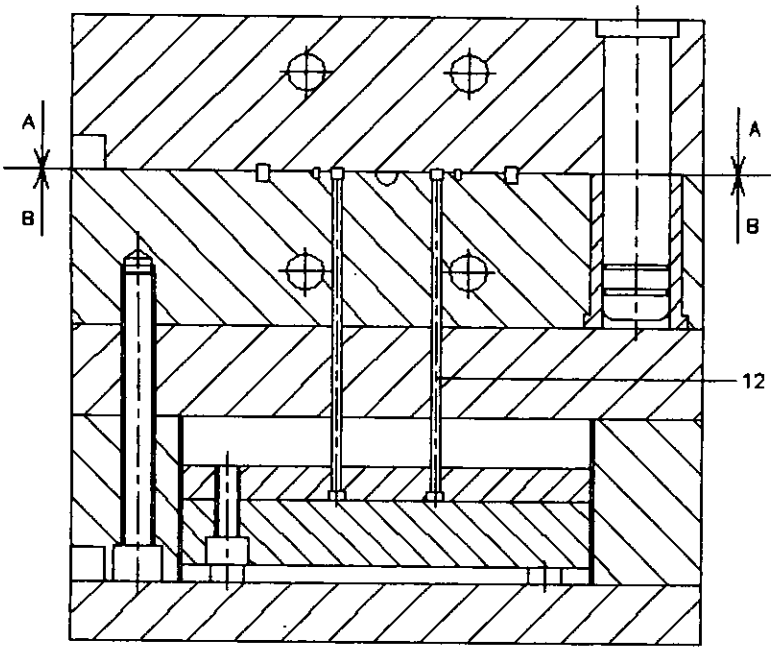


Esc:1:2	FES-C UNAM	18-03-1998	Dib.Oscar M.
Acot.	Molde argolla para mochila		Rev.MI Felipe D.
	Vista B-B		Fig.8.5



Esc: 1:2	FES-C UNAM	18-03-1998	Dib. Oscar M.
Acot.	Molde argolla para mochila		Rev. MI Felipe D.
	Corte C-C		Fig. 8.5

CORTE D-D



Esc:1:2	FES-C UNAM	18-03-1998	Dib.Oscar M.
Acot.	Molde argolla para mochila		Rev.Ml Felipe D.
	Corte D-D		Fig.8.5

Nº	Ct	Descripción	Material	Observaciones
1	1	Placa de respaldo fija	Acero 1015	Cementado
2	1	Placa portacavidades	Acero 1015	Cementado
3	1	Placa intermedia	Acero 9840	Templado y revenido
4	2	Espaciador	Acero 9840	Templado y revenido
5	1	Placa de respaldo móvil	Acero 9840	Templado y revenido
6	1	Placa portabotadores	Acero 9840	Templado y revenido
7	1	Placa de base de los botadores	Acero 9840	Templado y revenido
8	1	Boquilla	Acero 9840	Templado y revenido
9	1	Platina de centrado	Acero 9840	Templado y revenido
10	4	Perno guia	Acero 8620	Cementado
11	4	Buje guia	Acero 8620	Cementado
12	48	Perno botador de 3.175 mm de ø	Acero H13	Templado y revenido
13	4	Recuperador de 15.875 mm de ø	Acero 9840	Templado y revenido
14	6	Tornillo Allen		ø 12.7 x 117.475 mm
15	10	Tornillo Allen		ø 9.525 x 53.975 mm
16	1	Expulsor de colada de 6.35 mm de ø	Acero H13	Templado y revenido

Esc: 1:1	FES—C UNAM	18-03-1998	Dib. Oscar M.
Acot.	Molde argolla para mochila		Rev. MI Felipe D.
			Fig. 8.5

CONCLUSIONES.

En base al trabajo antes presentado, se pueden establecer las conclusiones siguientes:

1. El diseño de los sistemas de alimentación y enfriamiento del molde de inyección, dependen de la forma de la pieza a producir, del material termoplástico a emplear y del número de cavidades.

2. Para calcular y dimensionar el sistema de enfriamiento, es necesario encontrar la solución de ecuaciones que se refieren al intercambio de calor entre el material termoplástico fundido inyectado al molde y el líquido de enfriamiento que circula por los conductos, construidos alrededor de las cavidades.

3. Los sistemas de extracción o expulsión también están condicionados a la geometría de la pieza, la cual puede tener barrenos laterales, rebajes, roscas y todo aquello que requiera sistemas o diseños especiales.

4. La elección de los materiales para la fabricación de los moldes requiere de una cuidadosa evaluación de varios factores: forma de la pieza por moldear, calidad del material plástico, cantidad de piezas por producir y método seleccionado para la construcción de la cavidad.

5. En el caso de producciones repetitivas, el molde debe ser construido con diversas calidades de acero, oportunamente seleccionadas, tomando en cuenta la función y forma de cada componente y los niveles de servicio requeridos.

6. Los tiempos de diseño pueden reducirse drásticamente si se estudian y se utilizan los componentes normalizados en diversos modelos y tamaños, diseñados para cubrir los usos más comunes.

7. Las experiencias de éxitos y fracasos en el diseño de moldes pueden ayudar a la buena realización de un molde. Una colección ordenada de diferentes tipos de moldes, clasificados de acuerdo con su uso y completada con especificaciones y otros detalles, será de gran utilidad para quien frecuentemente busca soluciones confiables y ya comprobadas en su fabricación.

8. El conocimiento de los fenómenos de contracción en el moldeo y la contracción posterior al moldeo, permite prever con relativa aproximación las variaciones dimensionales de las piezas moldeadas con un determinado material plástico durante la contracción inicial que ocurre en la cavidad del molde (paso del material fundido al estado sólido) y después del moldeo, en donde las piezas pueden todavía sufrir una sucesiva contracción debido al alivio de esfuerzos internos.

9. Para los materiales termoplásticos que poseen un intervalo de contracción muy grande, resulta incierta la dimensión de la cavidad del molde y aumenta el riesgo de proceder a su construcción, especialmente si se trata de producir piezas moldeadas con límites de tolerancia muy cerrados.

10. La contracción por moldeo no sólo depende de la propiedad intrínseca del material plástico sino que además existen otras variables: forma y espesor del producto moldeado, tipo de molde, localización y sección transversal del puerto de inyección, longitud y sección de los canales de alimentación, temperatura del molde, proceso de moldeo y variaciones de temperatura de la masa fundida, variaciones de las presiones, de la velocidad y del tiempo de moldeo.

Finalmente, es necesario decir que, en nuestro país existen muchos talleres en donde el diseño de los moldes se realiza, totalmente, de manera empírica. El presente trabajo ha pretendido proporcionar los conocimientos

básicos requeridos para diseñar cada una de las partes que integran un molde para inyección de termoplásticos, apoyados en un conocimiento teórico práctico, que se espera sirva a la persona interesada en el tema.

BIBLIOGRAFIA.

Menges, G. y Mohren, G.	Moldes para inyección de plásticos. Editorial Gustavo Gilli, S.A. Barcelona 1980.
Mink Spe, Walter.	Inyección de plásticos. Editorial Gustavo Gilli, S.A. México, D.F. 1981.
Bodini, Gianni y Cacchi P., Franco.	Moldes y máquinas de inyección para la transformación de plásticos. Tomo 2. Editorial McGraw-Hill. México, D.F. 1993.
Morton, D. H. y Lancaster, Jones.	Procesamiento de plásticos. Editorial Limusa. México, D.F. 1993.
R. G. W. Pye.	Inyection mold design. Longman Scientific and Thecnical. Gran Bretaña 1988.
Anguita Delgado, Ramón.	Moldeo por inyección. Primera parte: Teoría y equipos. Editorial Blume. España 1975.
Savgorodny, V. K.	Transformación de plásticos. Editorial Gustavo Gilli, S.A. Barcelona 1978.
Crawford, R. J.	Plastics Engineering. Maxwell Macmillan International Editions. Republic of Singapore 1989.

Delmonte, John. Moldeo de plásticos. Editorial José Montesó. Barcelona 1967.

Stoeckhert, Klaus. Tratamiento de las superficies de plástico. Editorial Gustavo Gilli, S.A. Barcelona 1977.