

69

2ej.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
CAMPUS ARAGON

"DISEÑO DEL MOLDE Y SELECCIÓN DEL MATERIAL PARA LA FABRICACIÓN DEL TOPE DE SUSPENSIÓN DELANTERA DE LOS MODELOS 1981-1986 DE LA CHRYSLER"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO MECANICO
ELECTRICISTA
P R E S E N T A:
VICENTE RODRÍGUEZ LORENZO

Asesor: Ing. Javier Nava Pérez

MEXICO

1990 **B**

257704

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



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 está 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.

En memoria del Sr. **José Navarrete Rodríguez**
por haber contribuido de manera particular y
significativa en mi vida.

A mis hermanos **Raquel, Juan, Socorro, Jaime,**
Paty, Lourdes y Pilar. Así como a mis padres
Hilario y María Elena por ser parte fundamental
de mi vida.

Quiero agradecer a la Lic. Celia Mena por transmitirme parte de su sapiencia y su paciencia y comprensión que me tuvo.

Al Ing. Javier Nava Pérez como muestra de gratitud, respeto y agradecimiento. Además por brindarme la orientación y confianza para la realización de este trabajo en todo momento.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I ELASTÓMEROS	3
I.1.- Polímeros	3
I.1.1.- Polimerización por Adición	3
I.1.2.- Polimerización por Condensación	3
I.1.2.1.- Clasificación de los Polímeros	4
I.1.2.2.-Termoplásticos	4
I.1.2.3.-Termofijos	4
I.2.- Elastómeros	4
I.3.- Elastómeros Reticulados (vulcanizados)	5
I.3.1.- Vulcanización	9
I.3.2.-Cargas	9
I.4.- Elastómeros Termoplásticos	10
CAPÍTULO II PROCESOS DE MOLDEO	11
II.1.- Por Compresión	11
II.2.- Por Transferencia	11
II.3.- Por Inyección	12
II.3.1.- Por Inyección-Reacción	12
II.4.- Por Extrusión	16
II.5.- Recubrimientos por Extrusión	17
II.6.- Caladreado	17
CAPÍTULO III MOLDES PARA ELASTÓMEROS	20
III.1.- Moldes de Compresión	20
III.1.2.- Moldes Positivos y semipositivos	21
III.2.- Moldes de Transferencia	23
III.2.1.- Línea de Partición	23
III.2.2.- Entrada	23
III.2.3.- Cámara de transferencia	23
III.3.- Rodillos de Caladreado	24
III.3.1.- Flexión de Rodillos	24
III.4.- Dados de Extrusión	27
III.4.1.- Flujo de Material de Moldeo	28
III.4.2.- Dados para Películas	31
CAPÍTULO IV MOLDES DE INYECCIÓN	33
IV.1.- Constitución y Función del Molde de Inyección	33
IV.1.1.- Ciclos del Molde de Inyección	33
IV.2.- Número de Cavidades de un Molde de Inyección	36
IV.2.1.- Moldes de una Sola Cavidad	37
IV.2.2.- Moldes de cavidades múltiples	37
IV.3.- Moldes para Insertos Metálicos	38
IV.4.- Desmoldeo de Piezas	41
IV.4.1.- Mecanismos de expulsión de piezas moldeadas	43
IV.4.1.A.- Espiga o Lámina Extractora	43

IV.4.1.B.- Expulsor Tubular	43
IV.4.1.C.- Espiga Extractora de Válvula	43
IV.4.1.D.- Expulsión por Aire	46
IV.5.- Extracción de Gases	47
IV.6.- Enfriamiento de Moldes	47
IV.7.- Tiempo de Enfriamiento	51
IV.7.1.- Canales de Enfriamiento	53
IV.7.1.A.- Canales En forma De Espiral	53
IV.7.1.B.- Canales Rectilíneos	53
IV.7.1.C.- Canales En Serie y En Paralelo	54
IV.7.2.- Disipación de Calor	56
IV.8.- Calentamiento de Moldes	57

CAPÍTULO V CONSIDERACIONES DE DISEÑO ----- 59

V.1.- Condiciones Preliminares	59
V.2.- Medición de Dureza de Piezas Moldeadas	60
V.3.- Tolerancias y Ajustes	62
V.3.1.- Contracción	63
V.3.2.- Conicidad de Desmoldeo	64
V.3.3.- Líneas de Partición	64
V.3.4.- Concentración de Esfuerzos en Piezas Moldeadas	66
V.3.5.- Rebabas	67
V.3.6.- Envejecimiento (degradación)	68
V.4.- Esfuerzos y Deformaciones elásticas en moldes	68
V.4.1.- Espesor de Pared del Molde	69
V.5.- Recepción y Distribución de Masa	70
V.5.1.- Entradas	71
V.5.2.- Canales de Alimentación	74
V.5.3.- Flujo de Material en la Cavity del Molde	77
V.5.4.- Moldeo sin Canales de Alimentación	78

CAPÍTULO VI MATERIALES PARA LA FABRICACION DE MOLDES - 82

VI.1.- Selección de Materiales para la Fabricación de Moldes	82
VI.2.- Aceros para Moldes	83
VI.2.1.- Aceros de Aleación	84
VI.2.2.- Aceros de Herramientas	84
VI.2.3.- Aceros para Punzonado y Embutido	85
VI.2.4.- Aceros Inoxidables	85
VI.3.- Materiales no Ferrosos	86
VI.3.1.- Cobre y sus Aleaciones	86
VI.3.1.1.- Aleaciones Cobre-Berilio	86
VI.3.1.2.- Aleaciones Cobre-Zinc	86
VI.3.1.3.- Aleaciones Cobre- Estaño (bronce, latón rojo)	86
VI.3.2.- Aleaciones de Zinc	87
VI.3.3.- Aleaciones de Aluminio	87
VI.3.4.- Aleaciones Estaño y Bismuto	87
VI.3.5.- Materiales no Metálicos	87

CAPÍTULO VII FABRICACIÓN DE MOLDES ----- 88

VII.1.- Por Maquinado convencional	88
VII.2.- Desplazamiento de Metal por Ebutido	89
VII.3.- Por Electroerosión(E.D.M)	90

VII.3.1.- Electroodos(E.D.M) - - - - -	90
VII.3.2.- Dieléctricos - - - - -	92
VII.4.- Electroerosión Química - - - - -	96
VII.5.- Maquinado electrolítico(M.E) - - - - -	96
VII.5.1.- Electroodos(M.E) - - - - -	97
VII.5.2.- Electrolítico - - - - -	97
VII.6.- Deposición de Metal - - - - -	98
VII.7.- Acabado - - - - -	99
CAPÍTULO VIII MAQUINAS DE INYECCIÓN - - - - -	101
VIII.1.- Antecedentes - - - - -	101
VIII.1.2.- Tipos constructivos - - - - -	102
VIII.2.- Unidad de Cierre del Molde - - - - -	102
VIII.2.1.- Cierre por Rodillera simple - - - - -	104
VIII.2.2.- Cierre por Rodillera Doble - - - - -	104
VIII.2.3.- Cierre por Pistón Hidráulico - - - - -	105
VIII.2.4.- Cierre Mixto - - - - -	105
VIII.2.5.- Especificaciones de la Unidad de Cierre - - - - -	105
VIII.3.- Unidad de Inyección - - - - -	106
VIII.3.1.- Sistema Eléctrico para el Control del Cilindro de Plastificación - - - - -	108
VIII.3.2.- Especificaciones de la Unidad de Inyección - - - - -	108
VIII.4.- Parámetros Generales - - - - -	109
VIII.5.- Parámetros de Moldeo - - - - -	110
CAPÍTULO IX PROYECTO DEL MOLDE - - - - -	112
IX.1.- Análisis de Problema - - - - -	112
IX.2.- Características de la pieza - - - - -	112
IX.2.1.- Selección de Material de Moldeo - - - - -	112
IX.3.- Selección de Molde - - - - -	114
IX.3.1.- Selección del Material para la Construcción del Molde - - - - -	115
IX.3.2.- Diseño de la Cavidad del Molde - - - - -	115
IX.3.3.- Configuración de Entrada - - - - -	118
IX.3.4.- Espigas - - - - -	118
IX.3.5.- Calentamiento del Molde - - - - -	119
CONCLUSIONES - - - - -	130
ANEXO - - - - -	131
BIBLIOGRAFÍA - - - - -	136

INTRODUCCIÓN

Como consecuencia de que en la industria mexicana dedicada a la construcción de moldes para la fabricación de piezas de hules, generalmente no realizan un diseño adecuado y en la construcción de moldes para la fabricación de dichas piezas, siendo este proceso empírico. Por lo que las piezas obtenidas en estos moldes presentan grandes defectos y no realizan satisfactoriamente la funciones para la cual fueron proyectados.

Por esta razón se encontró que se requiere de la fabricación de un tope de suspensión delantera de los automóviles Chrysler K y E modelos 81 - 86, que no presenten grandes variaciones dimensionales, exceso de rebabas y deformaciones permanentes. Ya que los que existen en el mercado nacional presentan estos defectos, generando con esto gastos extras al usuario por dichos conceptos.

Por todo lo antes expuesto casi siempre las empresas que requieren de piezas fabricadas con materiales de hule para producción en gran escala y de calidad aceptable, recurren a adquirirlos por importación ya se de Japón, Inglaterra, Italia y China principalmente, lo que origina con esto que los costos de las piezas de hule se incrementen.

Por lo cual está tesis va encaminada a proporcionar las herramientas necesarias, que servirán de ayuda para los talleres encargados del diseño y construcción de moldes para moldear piezas de hule, que no cuentan con un departamento de ingeniería dado que sus condiciones económicas no lo permiten.

Sirve de guía para aquellas empresas que se dedican al diseño de piezas moldeadas en hule, permitiendo seleccionar el elastómero adecuado para cada aplicación en particular.

Con este trabajo se pretende cubrir el vacío que existe en lo referente a la selección de material de moldeo, diseño y construcción de moldes para moldear piezas de hule, permitiéndoles a las pequeñas empresas dedicadas a este ramo acercarse a la calidad obtenida por las empresas exportadoras.

Por lo cual el siguiente trabajo queda estructurado de la siguiente manera:

En el capítulo I se hace una breve descripción de las características del grupo de elastómeros, así como sus propiedades, clasificación y aplicaciones más importantes.

El capítulo II se hace mención de los principales procesos de moldeo para moldear piezas de hule, así como sus ventajas y desventajas.

El capítulo III se refiere a los diferentes tipos de moldes para moldear elastómeros, mediante procesos de transferencia, compresión, extrusión y caladreado.

Por lo que se refiere al capítulo IV se hace referencia a moldes para moldear hules, mediante el proceso de inyección como es; tipos de molde constitución y función del molde, mecanismos expulsores y calentamiento de moldes para lograr el vulcanizado de la pieza de hule.

Por lo que refiere al capítulo V se presentan las consideraciones preliminares para el diseño de moldes como son: dureza de piezas de hule, tolerancias, contracción de material de moldeo, desmoldeo, inserción de elementos metálicos, líneas de partición, rebabas, envejecimiento, entradas, canales de alimentación, y esfuerzos y deformaciones elásticas cuando el molde se encuentra sujeto a la acción de la presión de inyección.

El capítulo VI se refiere a todo lo relacionado a la selección de materiales para la construcción de moldes; de acero, aleaciones de otros materiales metálicos y de materiales no metálicos.

En el capítulo VII se hace referencia a los procesos de fabricación de moldes como son: arranque de viruta por maquinado convencional, y procesos más avanzados como el maquinado electrolítico(M.E), electroerosión (E.D.M) indispensables para la fabricación de cavidades y barrenos profundos, y procesos de electrodeposición de metal.

En el capítulo VIII se da una breve explicación sobre el funcionamiento de las prensas de inyección, así como sus parámetros más importantes.

Por ultimo en el capítulo IX se presenta una aplicación, sobre el diseño de molde y selección de material de moldeo para la fabricación de soportes de suspensión delantera de los automóviles Chrysler modelos 81 - 86.

CAPÍTULO I

ELASTÓMEROS

I.1 POLÍMEROS

Los polímeros son materiales orgánicos naturales o artificiales que se caracterizan por ser moléculas gigantes, formadas por cientos de miles de moléculas menores, dispuestos regularmente en forma de cadenas ramificadas y reticuladas.

Los polímeros se encuentran formados por monómeros, que es la unidad básica de la estructura de los polímeros, donde pueden unirse en distintas disposiciones estructurales y forman compuestos diferentes con propiedades totalmente diferentes.

La estructura molecular de los polímeros se encuentra determinada por el método de manufactura.

En el proceso de polimerización o formación de macromoléculas largas se distinguen dos procesos básicos y son los siguientes.

I.1.1 POLIMERIZACIÓN POR ADICIÓN

Es un proceso en el cual una cantidad de unidades moleculares básicas se unen entre sí para formar largas cadenas moleculares, en el cual existen una o más unidades menos repetidas. Durante esta reacción no se forman productos secundarios o subproductos.

I.1.2 POLIMERIZACIÓN POR CONDENSACIÓN

Es un proceso en el cual dos o más monómeros se unen para formar cadenas macromoleculares largas bajo condiciones apropiadas de temperatura y presión, en el cual no aparecen en la sustancia final todos los elementos presentes al comienzo. A diferencia de la polimerización por condensación se forman productos secundarios, tales como el agua o algún compuesto simple, los cuales tienen que ser eliminados.

1.1.2.1 CLASIFICACIÓN DE LOS POLÍMEROS

Generalmente los polímeros se clasifican de acuerdo con sus propiedades físicas y químicas y se constituyen en tres grupos, termoplásticos, termofijos y elastómeros.

1.1.2.2 TERMOPLÁSTICOS

Son resinas con una estructura molecular lineal obtenidas por polimerización, que durante el moldeado en caliente no sufren modificación química. Esto quiere decir que se reblandecen al aumentar la temperatura pudiendo entonces deformarse fácilmente. Al enfriarse recuperan sus propiedades originales, pero conservan la forma en que fueron moldeados.

Poseen esta característica debido a que las moléculas se unen una con otra por medio de enlaces débiles tipo Van der Waals, siendo enlaces físicos.

Como contienen cadenas de diferentes dimensiones, los materiales termoplásticos no tienen una temperatura de fusión definida, si no que se ablandan dentro de un rango determinado de temperaturas.

Debe tenerse en cuenta que el calentamiento sucesivo da como resultado la degradación de la resina.

Existen once categorías principales que son: ABS, acetales, acrílicos, celulósicos, fluorocarburos, poliamidas, policarbonatos, polietilenos, polipropilenos y vinilos; con diferentes propiedades y aplicaciones cada uno de ellos.

1.1.2.3 TERMOFIJOS

Los polímeros termofijos obtenidos también por polimerización, pueden ser fundidos una sola vez. Este tipo de polímeros se caracterizan por tener en toda su estructura cadenas moleculares unidas por enlaces cruzados covalentes o enlaces puente de hidrógeno, o ser redes planares ó tridimensionales.

Se funden inicialmente por la acción del calor pero si se continúa con la aplicación de calor experimentan un cambio químico irreversible, el cual provoca que el material se degrade.

Su dureza se debe a los cambios químicos producidas generalmente por temperatura y presión elevadas y también por la acción de catalizadores o agentes reticulantes, estos materiales tienen a mantener su resistencia hasta la temperatura a la cual se carbonizan.

Existen ocho categorías principales como son: alquidos, alílicos, aminas, epóxicos, fenólicos, poliésteres, silicones, uretano y cauchos.

1.2 ELASTÓMEROS

El grupo de los elastómeros comprende los hules naturales y hules sintéticos cuya característica principal es que soportan deformaciones reversibles del orden de entre 100 y 1000%

El polímero base (un cis 1,4= polisopreno) es el mismo venga del *Hevea brasiliensis* o de cualquiera de las otras numerosas especies botánicas que exudan caucho.

En contraposición de hules sintéticos pueden ser de muchos tipos diferentes. Por lo tanto no existe solamente un solo tipo de caucho sintético, sino muchos, cada uno de los cuales, tiene sus ventajas y desventajas así como su propio rango específico de características y su propia área particular de utilización.

La elección depende primeramente, de las propiedades esenciales para cada aplicación particular y solamente en segundo lugar, donde más de un hule pueden cubrir los requerimientos en consideraciones comerciales de conveniencia.

1.3 ELASTÓMEROS RETICULADOS

Los elastómeros reticulados alcanzan esta condición después de la transformación por temperatura (moldeo, calandrado, extrusión y vulcanización). La reticulación química es irreversible y convierte a la mezcla suave y pegajosa en un producto elástico con las características deseadas.

Dentro de los elastómeros reticulados se encuentran el hule natural y los hules sintéticos.

Propiedades y Aplicaciones de los Elastómeros más comunes. (Según ASTM D2000)

Hule Natural [NR]

Intervalo de Temperatura: -40°C , $+90^{\circ}\text{C}$,

Propiedades: Muy flexible

Resistente al desgaste abrasivo

Resistente a la tracción

Buena resistencia a la acción de los ácidos

Baja resistencia a la intemperie

Baja resistencia a la oxidación

Baja resistencia a la acción de solventes y aceites lubricantes

Aplicaciones: Dentro de las principales aplicaciones esta la fabricación de neumáticos de automóvil en combinación con agentes estabilizadores y hules sintéticos.

Hule Isopreno [IR]

Intervalo de temperatura: -50°C , $+80^{\circ}\text{C}$

Propiedades: Composición química parecida a la del hule natural

Más puro que el caucho natural

Baja resistencia a los solventes y aceites lubricantes

Baja resistencia a la rotura

Baja resistencia a la oxidación

Baja resistencia a la intemperie y ozono.

Aplicaciones: Neumáticos de automóviles

Cintas transportadoras

Industria farmacéutica

Hule Estireno Butadieno [SBR]

Intervalo de temperatura: —40°C, + 120°C

Propiedades: Costo relativamente bajo

- Alta histéresis
- Buena resistencia a ácidos, solventes y aceites lubricantes
- Buena resistencia a la luz (radiación ultravioleta)
- Buena flexibilidad a baja temperatura
- Buena resistencia al calor
- Buena resistencia a la oxidación
- Buena resistencia eléctrica.

Aplicaciones: Neumáticos y automóvil

- Suelas y tacones para la industria del calzado
- Cintas transportadoras
- Neumáticos de bicicletas
- Juntas, amortiguadores, retenes y topes
- Industria Alimenticia.

Hule de Butadieno [BR]

Intervalo de temperatura: —100°C, + 90°C

Propiedades: Muy flexible

- Resistente al desgaste abrasivo
- Sensible a la oxidación
- Resistente al calor
- Buena resistencia a aceites y solventes
- Buena resistencia a la intemperie y ozono
- Buena resistencia a la luz (resistencia a la radiación ultravioleta)
- Buena elasticidad
- Baja histéresis
- Buena resistencia a la abrasión
- Baja resistencia a la rotura y progresión de cortes

Aplicaciones: Neumáticos y automóviles

- Cintas transportadoras
- Correas o bandas trapezoides
- Instalaciones antivibratorias
- Recubrimiento de rodillos

Hule de Nitrilo Butadieno [NBR]

Intervalo de Temperatura: —20°C, + 120°C

Propiedades: Buena resistencia a la acción de ácidos, solventes y aceites minerales

- Baja resistencia
- Alta histéresis
- Baja flexibilidad a temperaturas bajas
- Buena resistencia eléctrica
- Buena resistencia a la oxidación
- Buena resistencia a la intemperie y ozono
- Buena resistencia a la luz (resistencia a la acción de los rayos ultravioleta)
- Baja resistencia al calor.

Hule Butílico [IIR]

Intervalo de Temperatura: —40°C, + 120°C

Propiedades: **Baja resistencia a solventes y aceites**

- Moderada flexibilidad
- Baja permeabilidad al aire
- Resistente al calor
- Resistencia eléctrica aceptable
- Buena resistencia a la propagación de rotura
- Buena resistencia a la acción de los ácidos
- Buena resistencia a la luz solar y envejecimiento

Aplicaciones: **Fabricación de cámaras interiores para neumáticos**

- Revestimiento de neumáticos sin cámara
- Mangueras de vapor
- Planchas de tejados
- Revestimiento de depósitos
- Revestimiento anticorrosivos
- Industria farmacéutica

Hule Cloropreno [CR]

Intervalo de temperatura: —25°C, + 100°C

Propiedades: **Buena resistencia al calor**

- Excelente resistencia a la acción de ácidos solventes y aceites lubricantes
- Buena resistencia a la tracción
- Buena resistencia a la abrasión
- Flexibilidad moderada a baja temperatura
- Valores óptimos en elasticidad al golpe
- Buena resistencia a la oxidación y envejecimiento
- Buena resistencia a la luz

Aplicaciones: **Revestimiento de mangueras y tuberías para transporte de aceites**

- Cierres, juntas de goma para las ventanillas y otros artículos para el automóvil
- Juntas de ventanas, planchas de tejado de edificios
- Revestimiento de equipo químico
- Revestimiento de cables eléctricos
- Impermeabilizado de textiles para tiendas de campaña
- Fabricación de pinturas y adhesivos.

Hule Acrílico [ACM]

Intervalo de temperatura: —15°C, + 120°C

Propiedades: **Excelente resistencia a ácidos solventes y aceites**

- Buena resistencia a gasolina
- Buena resistencia eléctrica
- Buena resistencia a la luz solar

Aplicaciones: **Sellos juntos mangueras**

- Cierres de aceites
- Fabricación de papel
- Acabado de cuero
- Revestimiento de textiles

Hule Etileno — Propileno Monomero/Dieno [EPDM]

Intervalo de temperatura: —30°C, + 135°C

Propiedades: Excelente resistencia al ozono e intemperie
Baja resistencia a hidrocarburos aceites y solventes
Buena resistencia a la oxidación
Buena resistencia a la luz
Buena resistencia a la propagación de rotura
Buena resistencia al golpe
Buena resistencia a la abrasión
Buena resistencia a la tensión

Aplicaciones: Industria eléctrica
Cintas transportadoras
Industrias lechera y alimenticia
Máquinas y equipo

Hule Fluorado [CFM,FKM]

Intervalo de temperatura: —15°C, + 200°C

Propiedades: Excelente resistencia a ácidos solventes y aceites minerales
Buena resistencia al calor
Buena resistencia a la acción de agentes químicos
Costo alto
Baja absorción de agua

Aplicaciones: Sellos, anillos en "o" (toricos)
Recubrimientos resistentes a la corrosión
Sellos y mangueras
Industria aeroespacial

Hule de polietileno Clorosulfurado [CSM]

Intervalo de temperatura: —40°C, + 150°C

Propiedades: Resistencia a altas temperaturas
Flexibilidad moderada a bajas temperaturas
Excelente resistencia a la acción de ácidos y lubricantes
Buena resistencia a la abrasión
Moderada resistencia a la tracción.

Aplicaciones: Mangueras para automóvil
Revestimiento de alambres y cables
Deportes
Industria eléctrica

Hule Uretánico [AU—EU]

Intervalo de temperatura: —20°C, + 90°C

Propiedades: Buena resistencia a la acción de solventes y aceites lubricantes
Buena resistencia a ácidos
Baja resistencia a la acción de la luz (rayos ultravioleta)
Moderada resistencia a la acción de la intemperie y ozono
Buena resistencia a la abrasión

Aplicaciones: Rodillo de imprenta
Neumáticos macizos

Engranajes y piezas de ingeniería
Revestimiento de tejido y cueros sintéticos
Hule espuma
Tapicería de muebles y vehículos
Espumas rígidas para aislamiento térmico
Almohadillas de seguridad en vehículos.

Hule Silicónico [MQ]

Intervalo de temperatura: —100°C, + 300°C

Propiedades: Amplio intervalo de temperatura
Buena elasticidad al golpe
Buena resistencia a la acción de ácidos
Buena resistencia a la oxidación
Alta permeabilidad a gases
Buena resistencia a la acción de la luz
Químicamente inertes
Costo relativamente alto

Aplicaciones: Sellos y artículos especiales moldeados y extruidos
Adhesivos
Industria aeroespacial
Correas transportadoras en la industria alimenticia
Tapones para productos y farmacéuticos
Aislamientos de cables y cierres.

1.3.1 VULCANIZACIÓN

Los primeros usos del caucho natural recuperado en crudo de látex, o aplicado directamente, como en la impermeabilización contra el agua, revelaron algunas limitaciones de éste, se volvía duro y frágil a bajas temperaturas, blandos y pegajosos cuando estaban calientes.

Con la invención de la vulcanización se solucionaron estos problemas rápidamente y permitió muchas nuevas aplicaciones.

Las propiedades elásticas de los hules naturales y sintéticos alcanzan sus valores máximos después de un apropiado tratamiento de vulcanización con azufre o con algún peróxido.

Actualmente los químicos llaman a este proceso "reticulación" ya que el azufre o cualquier peróxido adecuado facilita la creación de uniones tridimensionales transversales a través de la molécula lineal del hule, estas uniones o puntos son precisamente los que le dan al hule vulcanizado esas características (flexibilidad, elongaciones elevadas bajo cargas pequeñas y retorno casi total a su dimensión original, cuando deja de aplicarse la carga).

1.3.2 CARGAS

Las cargas o rellenos en los hules son partículas finamente divididas que se añaden durante la mezcla, se dividen en reforzante y no reforzante. Esto depende de si

intensifican las propiedades del elastómero o simplemente actúan como plastificantes o dilatadores.

Los negros de humo son los rellenos de refuerzo dominante, ya que modifican en gran medida el comportamiento físico de los compuestos elastoméricos dependiendo del tamaño y cantidad de las partículas o granos. Partículas pequeñas imparten:

- Altos niveles de refuerzo.
- Alta resistencia a la tensión
- Incrementan la resistencia a la abrasión
- Aumentan la resistencia a la rotura.

Agregados grandes imparten:

- Mejor comportamiento a la extrusión.
- Viscosidad alta.
- Mejor resistencia al tratamiento, es decir, tratamiento al curado
- Módulo de elasticidad mas alto, es decir productos más rígidos.

Caolines

Estos son silicatos de aluminio químicamente hidratados. Hay una gran variedad de clases que de diferentes tamaño de partículas.

La acción reforzante de los caolines es mucho menos marcada que la del negro de humo. Son útiles en compuestos en los cuales es inaceptable el color negro.

Se utilizan algunos otros minerales tales como; sílices, parafinas, ceras, jabones, ácido esteárico, como refuerzos, plastificantes, protectores y activadores.

I.4 ELASTÓMEROS TERMOPLÁSTICOS

En este tipo de elastómeros no es necesario la reticulación, la propia estructura molecular, lineal sin uniones químicas hace posible la transformación (moldeo, caladreado y extrusión). También existe la posibilidad que permite la reutilización las coladas y materiales de desecho.

En este caso el material es suministrado en forma de gránulos y es directamente transformado en piezas o artículos terminados sin ningún proceso intermedio (ya que no requiere de curado o vulcanización). La formulación de mezclas de hules es aún en nuestros días un arte que requiere de un buen conocimiento de los ingredientes y largas pruebas en el laboratorio para buscar lo óptimo de las características físico—mecánicas y en el tiempo, así como la temperatura de vulcanización (cuando este tratamiento sea necesario).

Para alcanzar la mejor formulación que debe poseer una propiedad determinada, siendo a veces necesario sacrificar otra propiedad menos importante para el uso al que va destinado el producto. La búsqueda no se hace al azar, más bien se realiza con base en programas, manteniendo fijas las proporciones de algunos componentes de la mezcla y modificando las propiedades de las otras partes.

Dentro los principales elastómeros termoplásticos, se encuentran los poliuretanos termoplásticos, cuyas aplicaciones se encuentran en la fabricación de espumas. Quizás el primer hule termoplástico de todos sea el cloruro de polivinilo plastificado, aunque no se reconoció como tal en su origen, no obstante posee propiedades elastoméricas, que se utilizan para elaborar suelas de zapatos principalmente.

CAPÍTULO II

PROCESOS DE MOLDEO

II.1 POR COMPRESIÓN

Es el método más antiguo y común en la producción de objetos de plástico. La materia prima se suministra en forma de polvo, gránulos o tabletas.

El proceso básico se muestra en la fig. 2.1 y consiste en depositar cierta cantidad de material en la cavidad inferior del molde. El émbolo que contiene al macho desciende y hace presión sobre el plástico que al tornarse líquido fluye a toda la cavidad del molde y se forma la pieza. El molde permanece cerrado mientras, el producto se cura (endurece), por la acción del calor por último se abre el molde y la pieza se retira.

Para facilitar la producción se incorporan numerosos dispositivos a los moldes como son espigas guías en ambos costados del molde para su debida alineación, placas o espigas extractoras para expulsar la pieza de la cavidad, algunas piezas se equipan con platos de calefacción que transmiten su calor a los moldes, barrenos en la cavidad y macho respectivamente para permitir la circulación de agua o vapor con fines de calefacción.

Las ventajas y limitaciones de este proceso son los siguientes:

- Bajo costo en la fabricación del molde
- Poco desperdicio de material
- Bajo costo en el acabado del producto terminado
- Posibilidad de obtener piezas grandes
- Dificultad para obtener formas intrincadas (bordes, agujeros pequeños etc.)
- Variación en la densidad y forma del producto
- Presiones no uniformes en el molde
- Dificultad para obtener tolerancias cerradas.

II.2 POR TRANSFERENCIA

El método de transferencia difiere de la compresión en que el material calentado se carga en una zona exterior a las cavidades y luego se obliga a entrar a estas mediante un pistón de alta presión, que se introduce en la cámara para formar el producto moldeado. Ver fig. 2.2

Las presiones empleadas son del 50 al 100% mayores que para el moldeo por compresión siendo estos una de las razones que permite obtener piezas completas.

En el moldeo por transferencia el material penetra en el molde como un fluido con lo que se disminuye enormemente la fuerza ejercida contra las distintas partes del molde e intercesiones. Las ventajas importantes de este sistema, como ya se mencionó se

pueden moldear secciones delgadas e intrincados el flujo del material se controla fácilmente, la exactitud dimensional es buena, velocidad de producción más rápida que en el moldeo de compresión por transferencia y también existe la posibilidad de moldear piezas con inserciones.

II.3 POR INYECCIÓN

En el moldeo por inyección consiste en calentar el material que viene en forma de gránulos o polvo, en un cilindro de plastificación hasta transformarlo en una masa plástica la cual solo una parte es inyectada dentro del molde cerrado del cual tomará la forma debida a que el molde es mantenido a una temperatura inferior a la de fusión del material plástico, de modo que el compuesto una vez inyectado se enfría y endurece, siendo finalmente expulsado del molde. En la fig. 2.3 se representa esquemáticamente este proceso.

Las máquinas de émbolo están siendo sustituidas por las de tornillo sinfín reciprocantes. Las presiones empleadas varían de 5.63 a 17.16 kg./mm dependiendo del tamaño de la máquina y el espesor de la pieza a moldear.

La capacidad de una máquina se define en función de la masa del poliestireno (como material de referencia) que puede inyectarse por ciclo, este parámetro se conoce como capacidad de descarga. Las capacidades más comunes van de 140 g. A 50 g. Aunque hay máquinas de 8.5 kg. De capacidad o más.

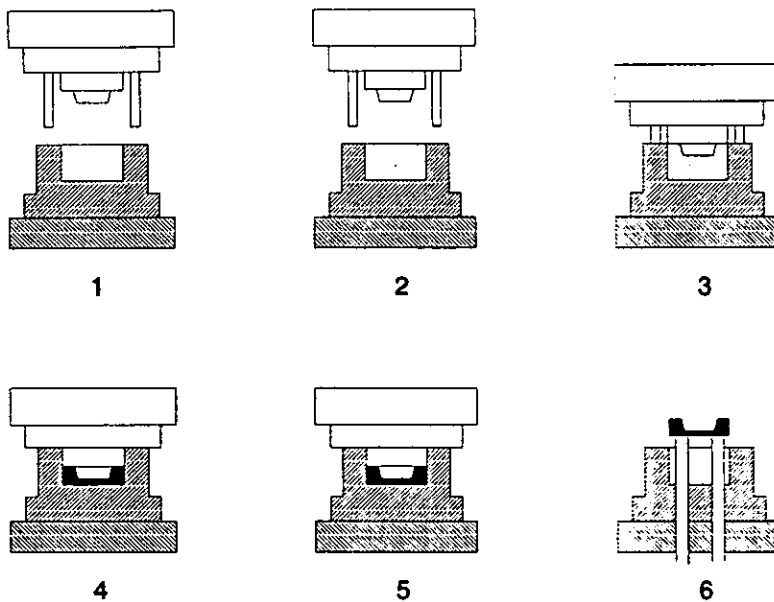
Algunas ventajas de este proceso son las altas tasas de producción, bajo costo por parte, se puede producir partes de configuración relativamente intrincadas, se puede moldear con insertos metálicos los acabados superficiales se pueden controlar para obtener piezas lustrosas y la exactitud dimensional del proceso es bueno.

Las limitaciones son las siguientes; no recomendables para baja producción a causa del alto costo del herramental, las resinas pueden solidificarse antes de llenar el molde cuando se inyectan secciones muy delgadas se pueden desarrollar tensiones internas a causa de que las piezas se enfríen rápidamente.

II.3.1 POR INYECCIÓN—REACCIÓN (RIM)

El moldeo por inyección con resinas líquidas reactivas es un proceso que está adquiriendo gran aceptación es especial para la fabricación para espumas de poliuretano y elastómeros.

Consiste en usar sistemas de dos componentes líquidos que se mezclan antes de inyectarlos al molde. El curado se verifica con gran rapidez lo que permite ciclos de moldeo de menos de un minuto. El proceso RIM se emplea mucho para componentes automáticos tales como topes que se adaptan a los parachoques con amortiguadores.



1. Molde limpio y abierto.
2. Llenado con material de moldeo en forma de pastilla o polvo.
3. Cierre de molde.
4. La prensa llega a la presión deseada.
5. Se abre el molde, la pieza es expulsada.

fig. 2 . 1 Secuencia de operaciones del proceso de moldeo por compresión.

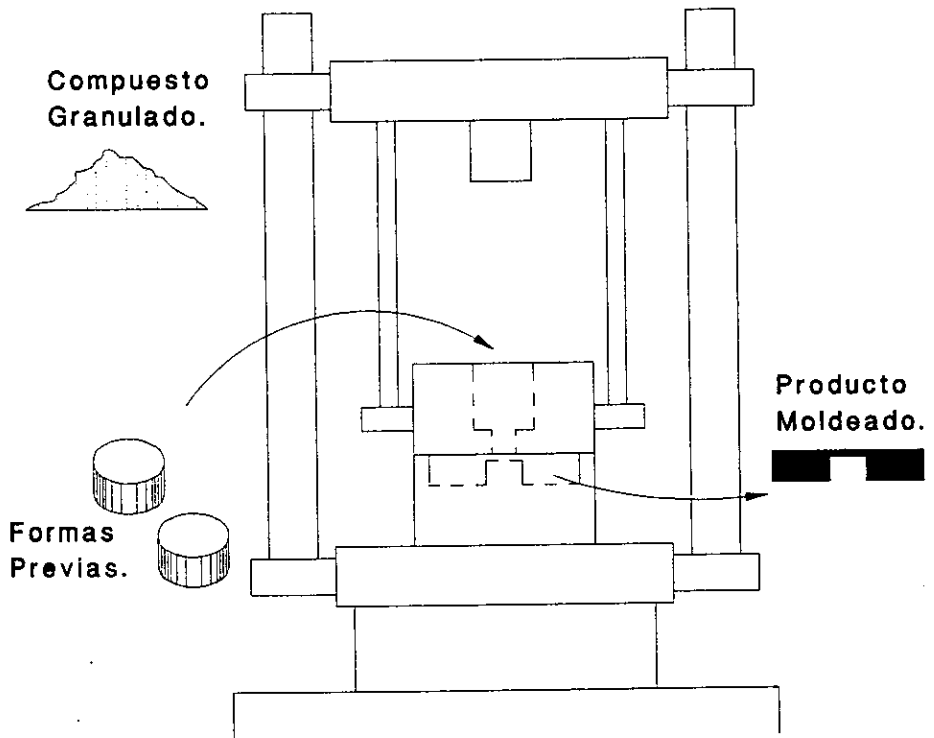


fig. 2 . 2 Diagrama esquemático del proceso del moldeo de transferencia.

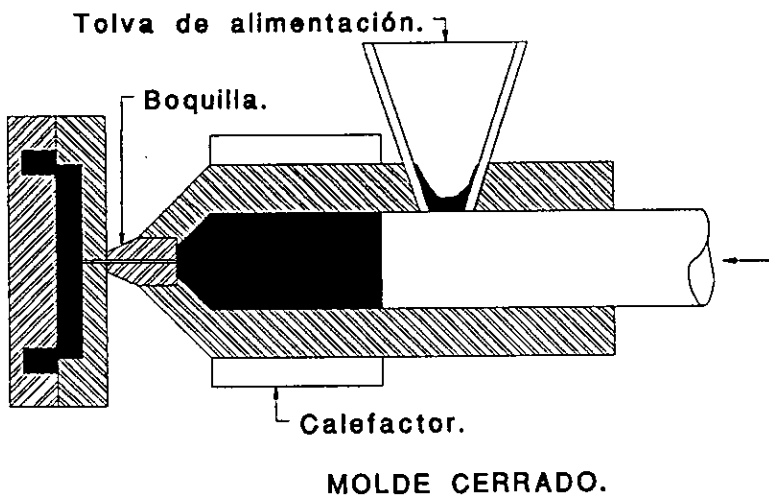
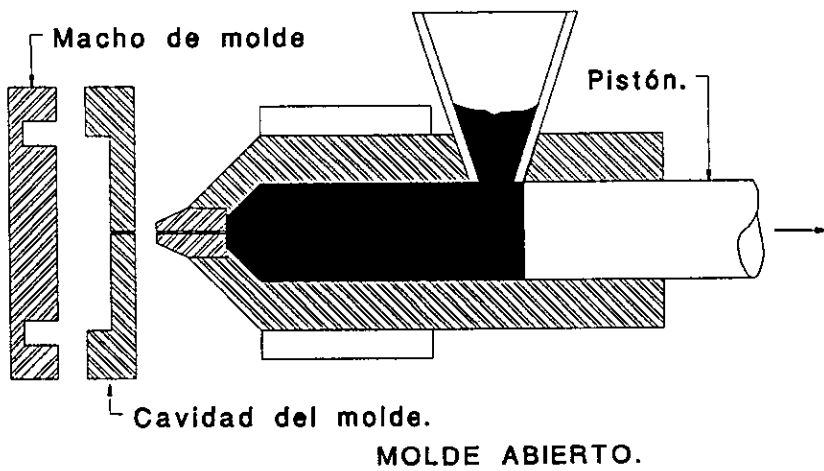


fig. 2 . 3 Representación esquemática del proceso de inyección.

II.4 EXTRUSIÓN

El término extrusión significa el flujo continuo de material a través de un dado. El material se coloca en una tolva de la que pasa a través de un cilindro de calefacción y después pasa con la ayuda de un tornillo de alimentación hacia el dado.

En el extremo puesto de cilindro de calentamiento, se obliga al material (que se ha calentado y comprimido hasta formar una masa plástica) a pasar a través de una boquilla que le da la forma a la sección extruida. Como se muestra en la fig. 2.4

La sección se conduce fuera de la boquilla con la ayuda de una cinta transportadora en movimiento y la dimensión final de la pieza viene dada por la velocidad de la cinta que estira el perfil hasta un área de sección reducida.

Algunas características de este proceso son las siguientes:

- Bajo costo del herramental comparado con el moldeo de inyección.
- Control sobre el espesor del perfil extruido.
- Tasas de producción elevadas.
- Buena resistencia longitudinal del producto extruido.
- Tolerancias cerradas y difíciles de obtener.

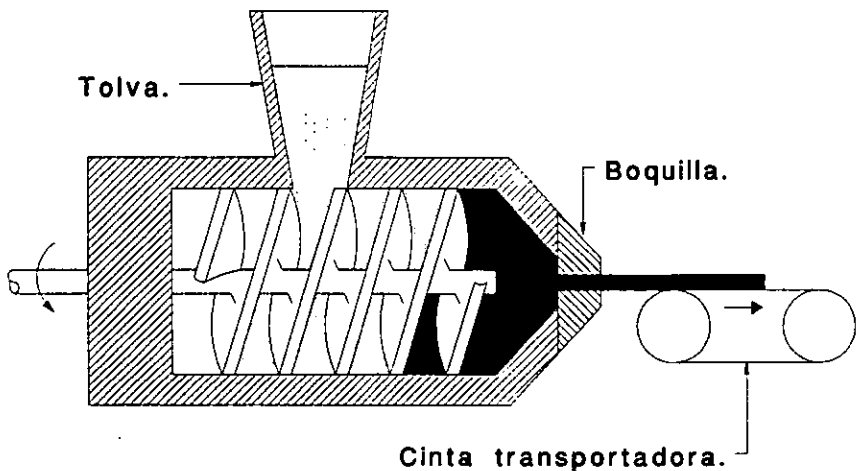


fig. 2 . 4 Proceso de extrusión que se emplea para la fabricación de perfiles continuos.

II.5 RECUBRIMIENTO POR EXTRUSIÓN

Este método es utilizado para obtener películas. Los recubrimientos de termoplásticos pueden aplicarse sobre películas, papel, telas y alambres por medio de un proceso de extrusión. Las unidades de recubrimiento de películas utilizan un extrusor y una serie de rodillos para aplicar el recubrimiento.

Los recubrimientos se usan para mejorar una o más propiedades, incluyendo la penetración de humedad, de gases, resistencia al rasgado y estabilidad al calor. El recubrimiento de alambres se aplica principalmente para el aislamiento eléctrico y resistencia a la abrasión. La fig. 2.5 representa una unidad de extrusión.

II.6 CALADREADO

El proceso de caladreado se aplica únicamente, a los polímeros gomosos, como son los hules sintéticos y naturales, incluyendo el cloruro de polivinilo.

Un proceso típico de taladreado, se inicia, una vez mezclado el compuesto, que alimenta a una serie de rodillos rotatorios, para obtener la lámina del calibre deseado. Estos rodillos generan calor y esfuerzos cortantes.

Por lo general se requiere de más de una sola pasada para darle a la lámina la precisión que se necesita, como se muestra en la fig. 2.6

Con este proceso se obtienen productos tales como; películas láminas, recubrimientos de telas, bandas, neumáticos, pisos, lienzos en diferentes calibres, cortinas para baños etc.

La lámina caladreada tiene por lo común alta orientación molecular y comportamiento anisotrópico, entre sus propiedades físicas más importantes. Desde luego el proceso es altamente lineal es decir, el polímero se alinea a lo largo de la lámina, en la dirección de la máquina. En el momento en que la lámina pasa por los rodillos se generan esfuerzos de tracción y fuerzas cortantes dentro de la misma zona.

La superficie de la lámina mejor caladreada tiene un acabado mate, similar al efecto de piel de tiburón, y se debe a roturas a muy pequeña escala que se producen cuando la lámina sale de entre los rodillos.

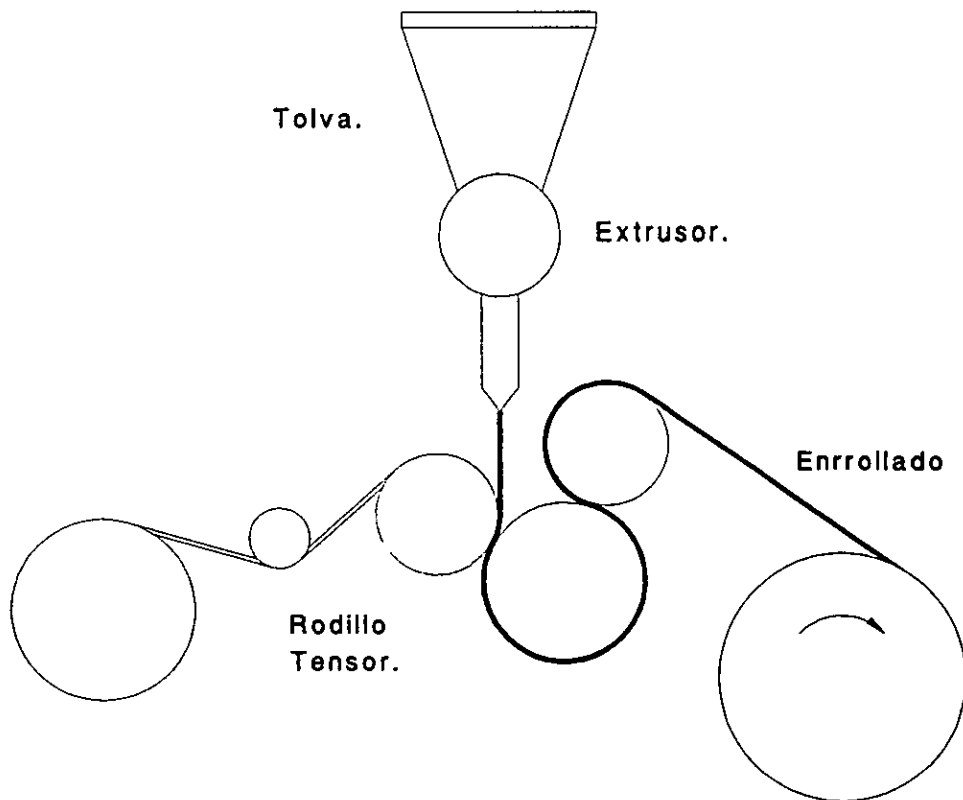


fig. 2 . 5 Dispositivo para recubrir por extrusión.

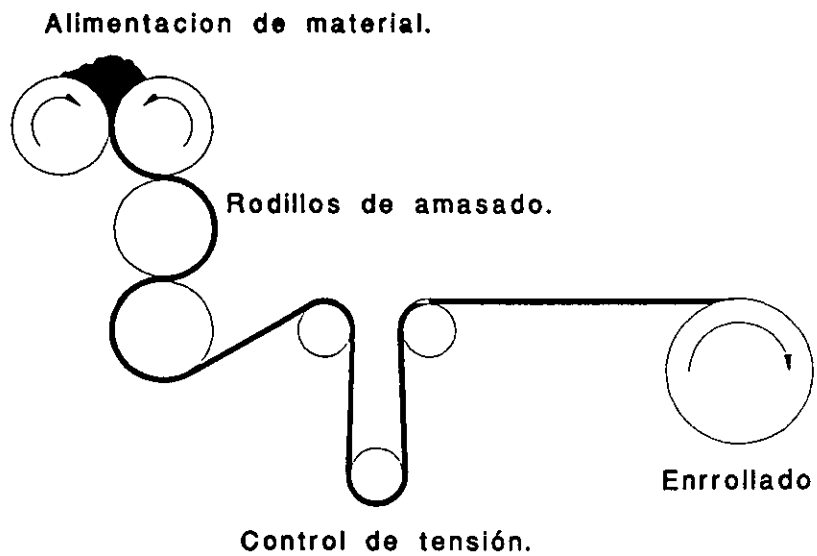


fig. 2 . 6 Proceso de caladreo.

CAPÍTULO III

MOLDES PARA ELASTÓMEROS

III.1 MOLDES DE COMPRESIÓN

Una gran cantidad de moldes de compresión se utilizan para moldear materiales termofijos y hules vulcanizados. Se trata del proceso de moldeo más antiguo y los últimos progresos en moldes de compresión que aun conservan muchas de esas características primitivas.

En realidad en el llenado de moldes de compresión consiste en forzar el material de moldeo voluminoso dentro de una cavidad con una forma determinada, utilizando presiones de más de 175 kgf/cm² al tiempo que se le aplica calor con temperaturas de (120°C — 195°C) con el objeto de plastificar el objeto y obligarlo a fluir para llenar la cavidad del molde.

Cálculo del volumen de la pieza a moldear.

$$W_t = (V)(W_v) \quad (1)$$

donde:

- V = Volumen total de la pieza
W_v = Densidad del material a moldear
W_t = Peso total de la pieza

Añadiendo un 10% en volumen para las rebabas

La rebaba es el material que debido a la presión ejercida, escapa alrededor del macho y por las ranuras del escape de flujo cuando se cierra el molde.

En el moldeo por compresión se deberá ajustar esta tolerancia entre el macho y la cavidad, para evitar el precurado del material en la línea de partición y facilitar la salida del material situado en las áreas planas del asiento, obteniéndose así un buen contacto. El material que escapa compensa cualquier variación que hubiera en la carga pues se trata de material en exceso.

La altura de la cámara o espacio de carga puede calcularse con la fórmula siguiente:

$$D = \frac{V - V_1}{A} \quad (2)$$

donde:

D = Altura del espacio de la carga, desde la parte superior de la cavidad hasta la superficie de asiento en contacto.

V = Volumen total del material necesario

V₁ = Volumen del espacio real de la cavidad (excluyendo el volumen de espigas, salientes, insertos, etc)

III.1.1 MOLDES POSITIVOS Y SEMIPPOSITIVOS

a) Moldes Positivos

Los moldes positivos operan de un modo similar a un pistón dentro de un cilindro, necesitan de una holgura adecuada grande el material escapara por dicha holgura, obteniéndose piezas con variaciones de densidad. Si la holgura es demasiada estrecha, no existe la posibilidad de salida del material del molde y los gases producidos quedarían atrapados dentro de la pieza en forma de burbujas, lo que le restan calidad a la pieza moldeada. Una holgura pequeña origina que la pared del macho roce la pared de la cavidad rayando a esta, y produciendo mal aspecto a la pieza e incluso se presentarían problemas de extracción de la misma.

Se recomienda una holgura de 0.076mm, para cada lado entre el macho y la cavidad.

En la fig. 3.1 se representa esquemáticamente un molde positivo.

b) Moldes Semipositivos

En los moldes semipositivos el punzón se detiene en un tope, permitiendo un mejor control de la rebaba y por lo tanto se obtienen piezas de mejor densidad.

La simplificación del diseño del molde semipositivo permite que se usen moldes más económicos y de funcionamiento simple.

El material sobrante forma un sello y seca rápidamente en la línea de división del molde, como se representa en la fig. 3.2

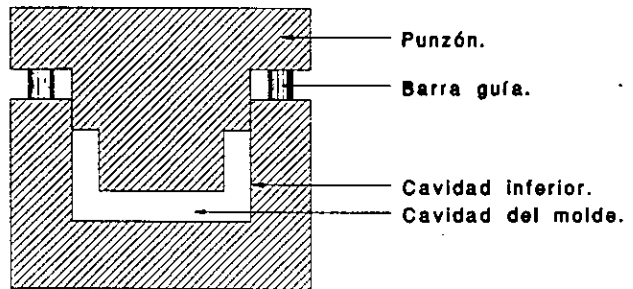


figura 3.1 Molde positivo.

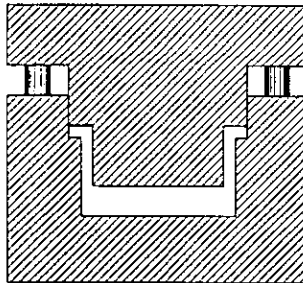


figura 3.2 Molde semipositivo.

III.2 MOLDES DE TRANSFERENCIA

En los moldes de transferencia las cavidades machos y mecanismos extractores son similares a los empleados en los moldes de compresión, con la diferencia que existe una cámara de transferencia desde el cual el material de moldeo fluye por el bebedero a la cavidad.

III.2.1. Líneas de Partición

La colocación de la línea de partición se determina por la forma de la pieza a moldear, y siempre que sea posible, debe formar una línea recta en la parte superior del molde, en otros casos la línea de partición deberá ir en el centro de la pieza empleando un mitad de la cavidad en cada sección del molde. En el capítulo cinco se estudiarán mas a detalle lo referente a las líneas de partición.

III.2.2. Entradas

La posición de las entradas en moldes de transferencia depende de muchos factores. Las entradas bien diseñadas deben de permitir un flujo fácil de material en la cavidad del molde y quitarse fácilmente después del moldeo.

Los mejores resultados se obtienen cuando se colocan en las secciones gruesas de pieza o próximas a ellas.

Cuándo se emplean más de dos entradas y la longitud del flujo es excesivo el material puede no soldar y adecuadamente en los puntos en los que se juntan las dos corrientes del compuesto. Es recomendable situar las entradas lejos de las partes de la pieza que toman parte activa en el funcionamiento de esta, ya que las irregularidades producidas por la separación de la entrada exige un gasto adicional de acabado.

III.2.3. Cámara de Transferencia

El tamaño y forma de la cámara de transferencia es un factor que debe tomarse en cuenta. Como norma general la forma de la cámara se asemeja a la forma de la cavidad del molde, cuando la presión de la cámara se utiliza como presión de cierre.

Por ejemplo se utilizara una cámara cilíndrica para una pieza redonda y cámara rectangular si las cavidades son rectangulares.

Los moldes múltiples de transferencia, se recomienda que la cámara abarque tantas cavidades como sea posible y, teniendo esto en cuenta una cámara rectangular será la más adecuada para llenar todas las cavidades, otra técnica consiste en asegurar que la cámara abarque al menos tres cuartas partes de los moldes múltiples.

Es importante que la cámara tenga el volumen necesario para contener el compuesto de moldeo suficiente, debe tener además una sección adecuada para ejercer la presión de cierre requerida y su superficie ha de proporcionar una área de calentamiento con respecto al peso de la carga de modo que el compuesto plastifique y pueda fluir en un tiempo y a una presión razonable.

Lo referente a la extracción de gases, insertos metálicos canales de alimentación así como tipos de entradas se estudiaran mas adelante.

III.3 RODILLOS DE CALADREADO

Las calandrias para plásticos y hules en cuanto a sus principios, son similares a los rodillos de dos molinos, sus rodillos están separados a una distancia fija (aunque se puede ajustar), es decir no flotan, contrariamente a lo que se cree que son unas modificación de las máquinas llamadas "calandrias" de la industria textil.

En la fig. 3.3. se representan los arreglos más comunes, también se aprecia la trayectoria del material, de moldeo dentro de un sistema de rodillos. La primera lámina se forma cuando el material pasa por la primera línea de contacto de rodillos directamente desde la alimentación, la cual puede hacerse con molinos de rodillos o un extrusor. En la línea de contacto entre rodillos se hace pasar a menudo la lámina sin comprimirla. En el tercer contacto se vuelve a pasar la lámina por un banco de rodillos controlado el espesor, con una tolerancia de ± 0.02 mm.

En la disposición de la L invertida se utiliza para caladrear láminas gruesas por estar más tiempo en contacto con los rodillos lo que permite un calentamiento uniforme.

Por otro lado el diseño de Z inclinada ofrece un corto recorrido térmico y se utiliza para producir láminas delgadas o sensibles al calor.

III.3.1 FLEXION DE RODILLOS

Las fuerzas que se generan entre los rodillos se deben tomar en cuenta para poder analizar la flexión de estos.

El valor de la fuerza de separación que se generan en una lámina de 100 mm de calibre es de 30 o 40 toneladas, y para una de 50 mm es de 70 toneladas. Esta fuerza es suficiente para doblar los rodillos y causar que el espacio entre ellos se curve en forma convexa, lo cual da una lámina de calibre no uniforme, de borde a borde.

Para mantener un espacio de separación paralelo y compensar la flexión de los rodillos, se utilizan tres métodos que se ilustran en la fig. 3.4 y son los siguientes:

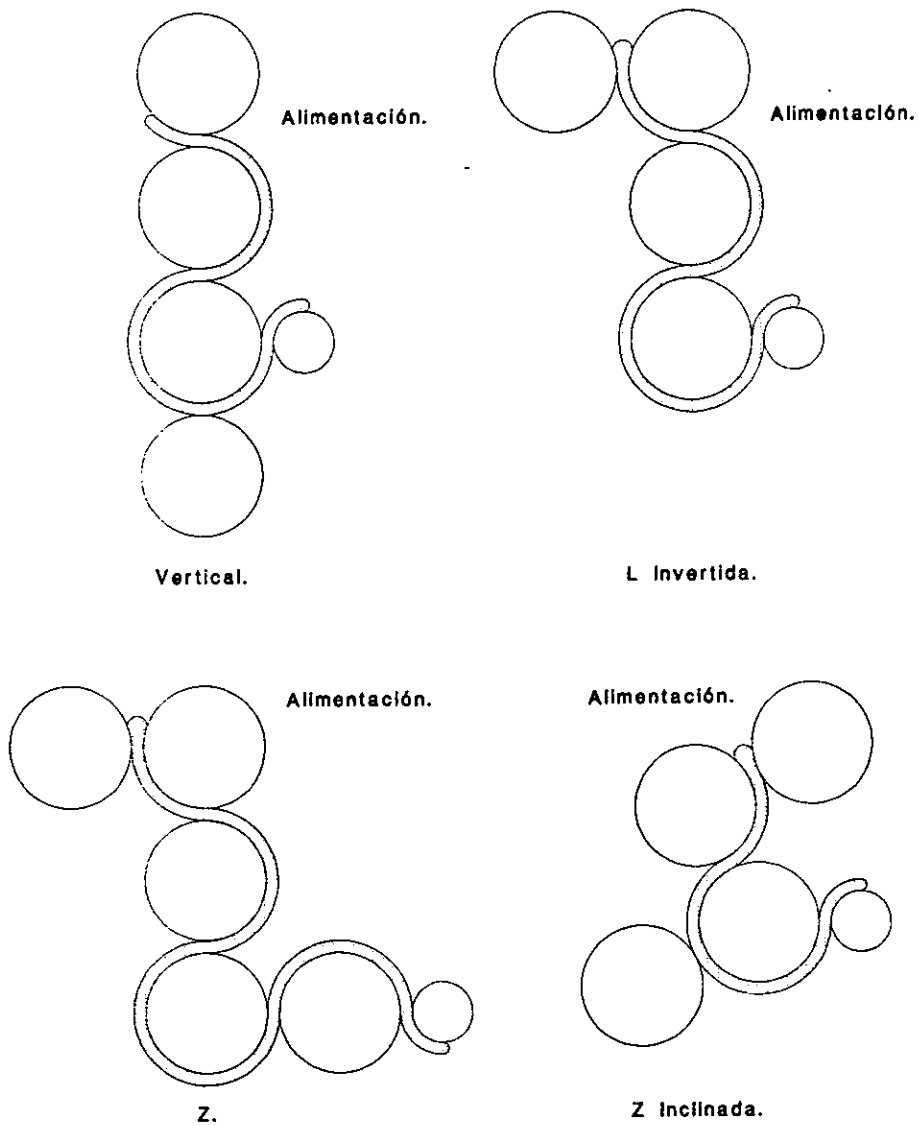
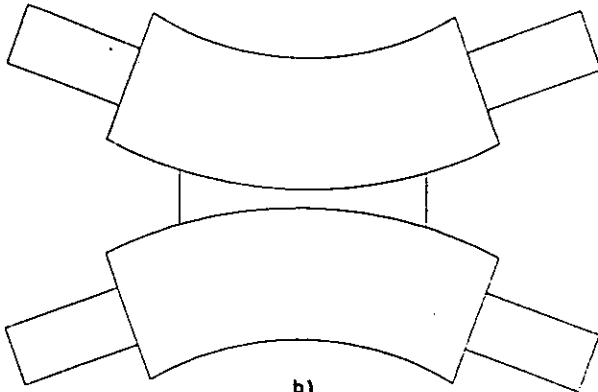


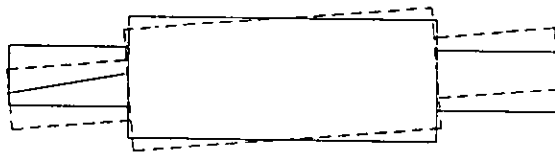
figura 3.3 Disposiciones comunes de rodillos para calabras de cuatro rodillos.



a)



b)



c)

figura 3.4 Métodos para contrarrestar la flexión en rodillos
a)Conformar el rodillo. b)Precarga. c)Ejes cruzados.

1.— Conformar el rodillo con una curva opuesta para compensar el efecto de flexión.

Este es el más simple y el único, si la máquina no tiene las condiciones necesarias para doblar rodillos o cruzar ejes, pero es el menos versátil. Pues un contorno o forma determinado sólo será útil para pocos calibres de láminas, además volver a rectificar, un rodillo es un procedimiento laborioso y por lo tanto costoso.

2.— Cargar los rodillos para tener una flexión compensatoria.

En este procedimiento es importante no compensar de más a los rodillos porque se tendría una lámina cóncava; esto también causará distorsión al enrollar la lámina,

3.— Cruzar ligeramente los ejes de los rodillos para obtener orillas más gruesas.

Los dispositivos que permiten doblar rodillos o cruzar los ejes incrementan el costo de una máquina ya de por sí costosa. Sin embargo la memoria de las máquinas modernas tienen ya sea, uno o dos de estos aditamentos.

III.4 DADOS DE EXTRUSIÓN

El diseño óptimo de un dado de extrusión es complicado aunque algunos fundamentos están bien definidos, como el comportamiento de los materiales fundidos que se desplazan por espacios reducidos.

Los perfiles obtenidos mediante dados de extrusión, tienen la característica que son largos y continuos, cuyo perfil de sección transversal se obtiene con la forma del dado.

Con frecuencia la extrusión de perfiles requiere en la salida del dado de una operación secundaria para obtener un producto de buenas dimensiones y calidad.

Es decir las dimensiones del dado determinan aproximadamente las dimensiones reales de la tubería o perfil extruido. Mediante dispositivos adecuados se estira o jala la pieza sometida a extrusión a la salida del dado, con esta acción se contrarresta la deformación que sufre el perfil a la salida del dado, pero también ayuda el alargamiento a orientar las moléculas del polímero, lo cual incrementa su resistencia lineal.

Dentro los diferentes perfiles y tubos obtenidos por extrusión tenemos los siguientes:

- Tuberías de gas hechas polietileno.
- Tuberías de cloruro de polivinilo (PVC) para agua y drenaje
- Marcos para ventanas de PVC
- Cintas para sellar ventanas, parabrisas y puertas de automóviles.
- Rieles para cortinas.
- Mangueras de jardín
- Láminas planas y corrugadas.

Los perfiles para dados para obtener formas complejas requieren de una gran habilidad por parte del diseñador y mucha experiencia.

Si el perfil que desea obtener no es circular, los patrones de flujo y las velocidades varían en diferentes sitios y la deformación a la salida del dado no es igual en todos

los puntos, por eso se tiene que descuadrar el perfil del dado para lograr la forma que se necesita.

III.4.1 FLUJO DE MATERIAL DE MOLDEO

En la obtención de polímeros extruidos las fuerzas de tracción son importantes pues influyen de manera significativa en el comportamiento del polímero fundido al cruzar o pasar por los dados de extrusión. En la fig. 3.5 se representan esquemáticamente los diferentes perfiles de flujo.

A) En flujos paralelos un elemento del fluido se mantiene intacto conforme avanza a lo largo del canal; es decir únicamente se presentan esfuerzos cortantes.

B) En el caso de flujos convergentes, las líneas de corrientes convengan y un elemento se distorsiona debido a los esfuerzos de tracción que se llevan a cabo; es decir el material se estira y se hace más estrecho al dirigirse a la salida del dado.

Los patrones fundamentales de flujo en dados de extrusión para producir varillas o tubos son los que se presentan en la fig. 3.6 y sus principales características son las siguientes:

En el caso de la fig. 3.6a y 3.6b, el perfil de longitud es cero en los cambios bruscos de dirección se forman puntos muertos remolinos en las esquinas. Esto conduce a la obtención de piezas con temperatura no uniforme. También en estos casos se presenta el fenómeno conocido como fractura de fundido; es decir el flujo laminar se pierde por los cambios bruscos de secciones y el producto de extrusión será de forma irregular.

En el caso de la figura 3.6c se presenta el flujo laminar debido al ahusamiento que presenta el perfil del dado y con esto se eliminan los puntos muertos, manteniendo con esto un recorrido térmico y de esfuerzos cortantes estables.

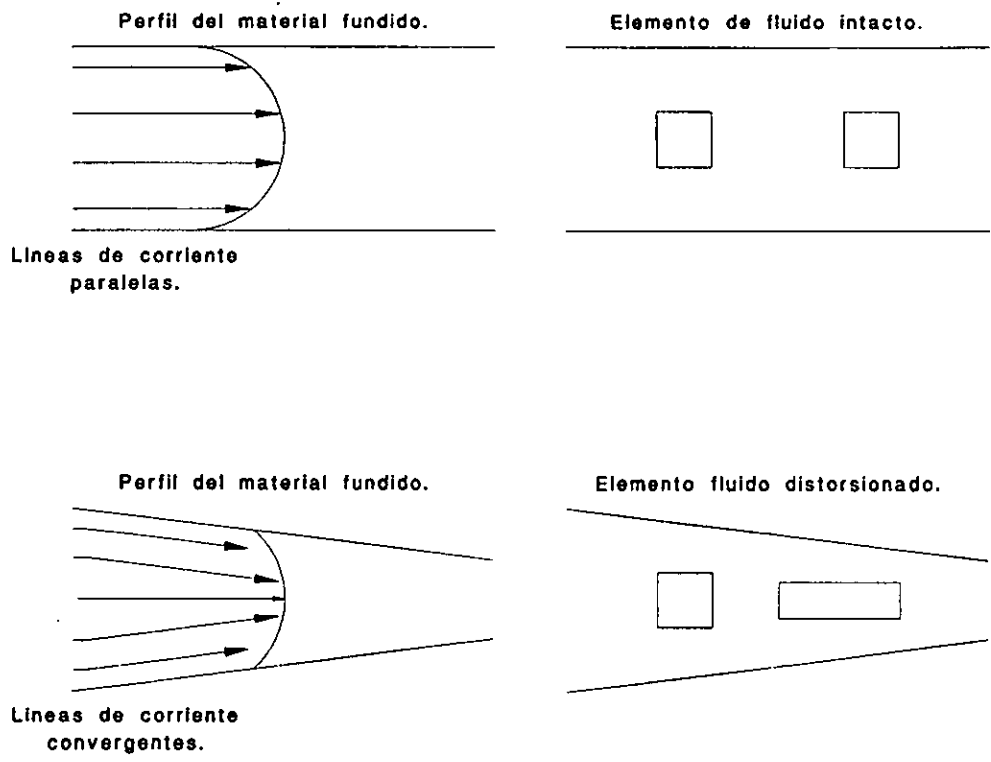


figura. 3.5 Flujos paralelos y convergentes.

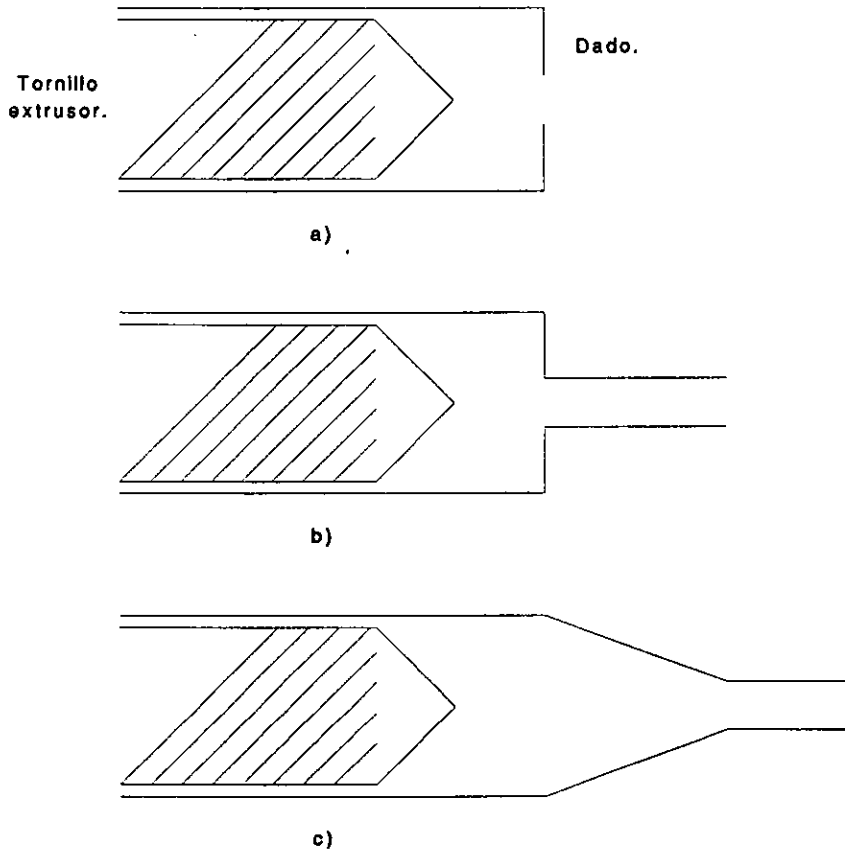


figura 3.6 Patrones de dados para varilla o tubo.

III.4.2 DADOS DE PELICULAS

En el diseño de dados para laminar hojas de películas se presentan ciertos problemas, que consisten principalmente en modificar la forma cilíndrica del material de moldeo a medida que entra al dado, hasta lograr la forma delgada y ancha manteniendo a la vez uniforme el calor existente y los perfiles de presión y temperatura. Se usan básicamente tres formas de dados y se muestran en la fig. 3.7.

Se consideran películas a aquellos materiales extruidos con un espesor menor de 0.5 mm y por encima de este valor se conocen como hojas de láminas.

a) Dados en forma de T

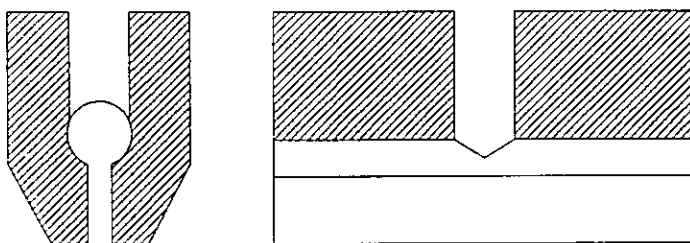
Es el más sencillo y de bajo costo de fabricación, pero presenta la desventaja de no distribuir bien el material fundido, ni permitir un flujo fácil. No es conveniente para materiales fundidos con una alta viscosidad o que se degradan fácilmente. Este tipo de dados se utiliza para recubrimientos por extrusión, con polímeros de bajo peso molecular.

b) Dado cola de pescado

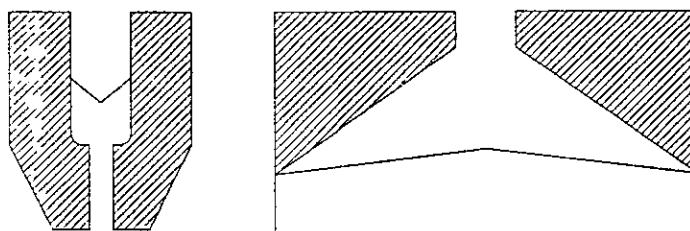
En este diseño se distribuye mejor el material fundido; pero es difícil emplearlo para fabricar hojas anchas o gruesas, ya que es bastante pesado y contiene una gran masa de polímero que puede degradarse y generar problemas de temperatura.

c) Dado en Forma de Gancho de Ropa.

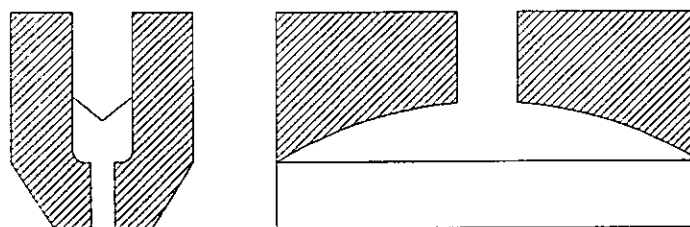
Esta forma de dado es la más difícil de maquinar, y en consecuencia la de más alto costo de fabricación, pero con esta forma se obtiene una distribución de material fundido. El aspecto que lo caracteriza es el canal de distribución que alimenta la salida. Pues se asemeja a un gancho común para colgar ropa con sección transversal circular.



a) Dado en T.



b) Dado de cola de pescado.



c) Dado en forma de gancho.

figura 3.7 Dados para láminas y películas.

CAPÍTULO IV

MOLDES DE INYECCIÓN

IV.I CONSTITUCION Y FUNCIÓN DEL MOLDE DE INYECCIÓN

La misión de un molde de inyección consiste en dar forma a la pieza y mantener el material fundido bajo presión, hasta que este suficientemente rígido, de modo que sea posible su expulsión. Debe realizar esta función repetidamente con ciclos mínimos de producción continua, sin que se produzcan, deformaciones, desgaste, rotura de algún elemento y sin que exija un mantenimiento excesivo.

En el proceso de inyección tiene lugar una fusión por el calor (plástificación) de la masa de moldeo; esta se conduce hacia el molde a través de los canales de alimentación, bajo la acción de una fuerza de extrusión (presión), generalmente muy elevada, que actúa desde el cilindro de plastificación. La cavidad del molde tiene la forma del objeto a fabricar; en ella se produce el moldeo y enfriamiento de la masa ó calentamiento (en el caso de elastómeros), hasta alcanzar un estado suficientemente estable e indeformable, para después desmoldearla. Por lo tanto las principales funciones del molde son:

- 1.—Recibir la masa plástificada
- 2.—Distribuirla en la cavidad del molde
- 3.—Darle forma
- 4.—Pasarla al estado sólido mediante un enfriamiento o calentamiento
- 5.—Extraer la pieza moldeada.

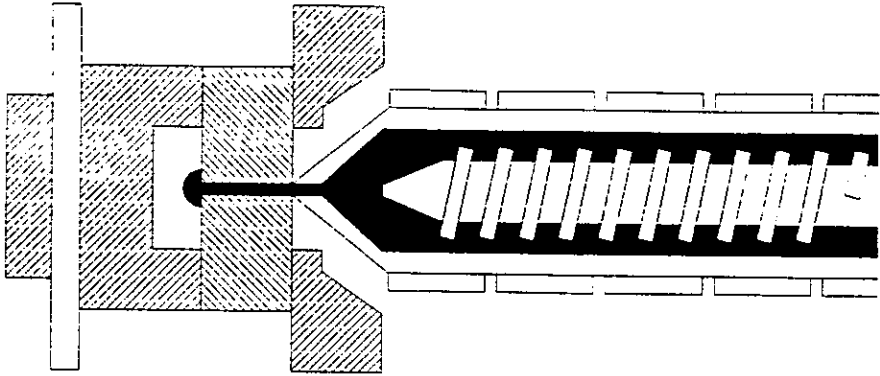
IV.I.I CICLOS DEL MOLDE DE INYECCION

En el proceso de molde por inyección se aprecian tres fases y son las siguientes:

Fase 1 inyección

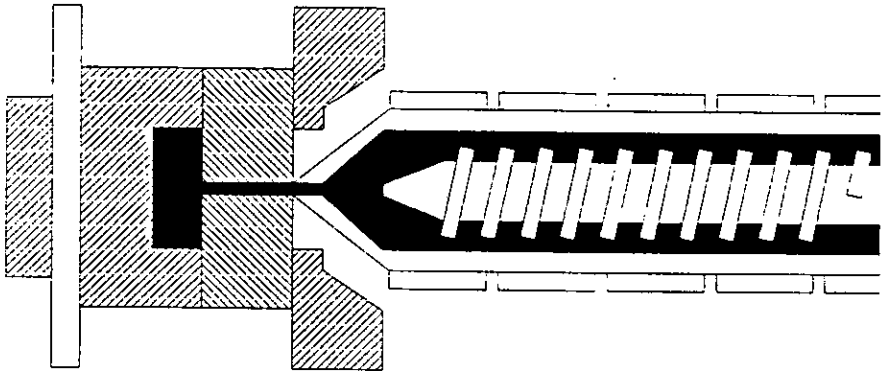
La conexión molde y cilindro de inyección se realiza mediante una boquilla situada junto a la cavidad del molde, con la cual comienza la fase de llenado del molde.

Según el tipo de máquina un husillo o pistón impulsa a elevada presión la masa plastificada hacia la cavidad del molde.



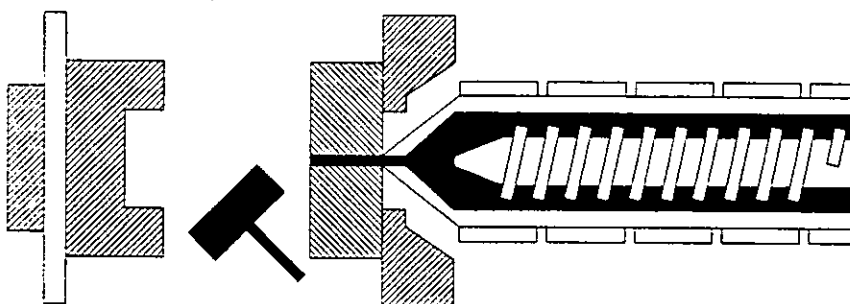
Fase 1: Inyección

figura 4.1



Fase 2: Permanencia con presión.
(plastificación)

figura 4.2



Fase 3: Extracción.

figura 4.3

Fase 2 Permanencia con presión (solidificación)

Terminada la fase de inyección, se mantiene durante cierto tiempo todavía una presión residual, la cual sirve para compensar la contracción en volumen de la pieza, mediante una nueva aportación de material.

Fase 3 Extracción

Una vez solidificada la pieza, el molde se abre por el plano de partición, quedando la pieza adherida a la mitad del molde (lado extractor). Al continuar el proceso de apertura, se inicia el desmoldeo de la pieza, el tope del extractor acciona el mecanismo de expulsión, el cual desplaza a la pieza separándola del elemento posterior del molde. Solo al efectuarse el movimiento de cierre se produce la recuperación del mecanismo extractor. Finalizando el movimiento de cierre el extractor se encuentra en su posición final, y el molde se encuentra listo para iniciar otro ciclo de moldeo.

Con el inicio del llenado del molde el sistema de refrigeración o calefacción, según sea el caso, comienza a funcionar y termina cuando el material a solidificado y la pieza se a desmoleado formando una pieza de forma estable.

En las figuras 4.1, 4.2 y 4.3 Se presenta esquemáticamente las fases de inyección.

IV.2 NÚMERO DE CAVIDADES DE UN MOLDE DE INYECCIÓN

La determinación del número de cavidades del molde, depende de una gran cantidad de factores técnicos y económicos, como son los siguientes:

1.- Naturaleza del Material

Las características principales del material a emplear, son: peso, volumen (cm), de la pieza incluyendo la colada, viscosidad del material fundido, presión específica para llenar el molde, dimensiones de la pieza (espesor de la pieza, longitud del flujo en los canales de alimentación hasta llegar a la cavidad del molde).

2.- Características del Molde

Estas se deciden considerando la dimensión de la pieza a moldear, así como la cantidad de piezas a producir en la unidad de tiempo determinado, sistema de alimentación, costo y rentabilidad del molde.

3.-Selección de la Máquina

Una adecuada elección de la máquina de inyección dependerá de todas las decisiones anteriores. De hecho las especificaciones de la unidad de inyección, capacidad de inyección, frecuencia de los ciclos de trabajo, fuerza de cierre del molde, superficie de moldeo proyectada, tamaño de las platinas portamoldes, carrera de la platina móvil, etc, están condicionadas por las características del material que se inyectará.

4.-Costos

En estos se incluyen costos por hora de la máquina (rentabilidad, consumo de energía, mantenimiento, costos de operación, salarios y otros gastos directos, etc).

IV.2.1 MOLDES DE UNA SOLA CAVIDAD

Los moldes simples aplicados a máquinas con ciclos rápidos, ofrecen notables ventajas de producción. Pueden obtenerse en forma económica pequeñas series con ciclo de moldeo semiautomático. Como principales ventajas pueden destacarse las siguientes:

- a) Obtención de piezas completamente idénticas, con moldes de cavidades múltiples no puede lograrse en igual forma este resultado, ya que es difícil obtener cavidades idénticas y complicadas. Ello hace que se utilizan preferentemente moldes simples para producir piezas valiosas y complicadas.
- b) Se utilizan para obtener piezas de prueba, de grandes dimensiones con un bajo costo de fabricación del molde.
- c) En moldes simples puede obtenerse óptimamente la forma, dimensiones y características particulares de la pieza a inyectar. En diseñado dispone de más libertad para determinar el plano de partición, las vías de llenado, el sistema extractor barrenos de calefacción o refrigeración según sea el caso.
- d) Mejor control de producción, se simplifica el ajuste de la máquina y demás dispositivos, ya que el ciclo de trabajo solo depende de una pieza.
- e) Utilizando un adecuado sistema de llenado, puede obtenerse piezas sin desperdicio alguno.
- f) Como desventaja importante se tendría una baja producción.

IV.2.2 MOLDES DE CAVIDADES MÚLTIPLES

Para planificar moldes con varias cavidades hay que decidir primero el número de piezas a incluir. La determinación de la cantidad de cavidades por molde depende del peso del material por inyectar, del rendimiento de plastificación y de la presión de cierre de la máquina.

Dentro de las principales características del molde, así como de las piezas obtenidas tenemos las siguientes.

- a) La producción de piezas realizada en un molde de cavidades múltiples siempre será mayor que la de un molde simple.

- b) El costo de fabricación del molde es considerablemente alto y deberá usarse en una máquina de mayor capacidad de producción, desde luego con un costo mayor por hora.
- c) La calidad de las piezas es menor en moldes múltiples que en las de una sola pieza, principalmente por las largas vías de llenado y cuando se tienen tolerancias muy cerradas.
- d) El desmoldeo puede realizarse automáticamente semiautomático o manual.

IV.3 MOLDES PARA INSERTOS METALICOS

No existen diferencias notables con los moldes citados anteriormente. El proceso de trabajo con moldes para insertos metálicos generalmente es manual o semiautomático debido al tiempo requerido para la colocación del inserto.

Al diseñar tales moldes y decidir el número de cavidades a disponer hay que considerar el tiempo de colocación de los insertos, este tiene que estar en relación con el volumen de inyección para no someter al compuesto a excesivos tiempos de permanencia dentro del molde debido a que se degrada el material.

Los insertos sirven para someter a la pieza moldeada; a soportar velocidades altas, soportar cargas excesivas, como anclajes, rodamientos, contar con secciones roscadas exteriormente e internamente, mejorar la conductividad térmica o eléctrica, como terminales, refuerzos, articulaciones, chapas magnéticas, placas de rotulación y para otros fines decorativos y funcionales, pero se deben evitar lo menos posible, ya que incrementan los costos de producción.

Durante el enfriamiento los materiales de moldeo se contraen alrededor del inserto, lo que contribuye substancialmente, a tener una mejor adherencia para resistir, la rotación, la compresión, tensión y contribuir a su mejor funcionamiento, ya que la carga que soporta el inserto se transmite directamente al compuesto adyacente.

Para fabricar las inserciones se emplean materiales como: latón, cobre, oro plata aluminio, plásticos termofijos, fibra vulcanizada, vidrio, cerámica cementada con fibra de fibra de vidrio y muchos otros materiales. Las inserciones que han sido bien diseñadas, se montan fácilmente y permiten un desmoldeo rápido.

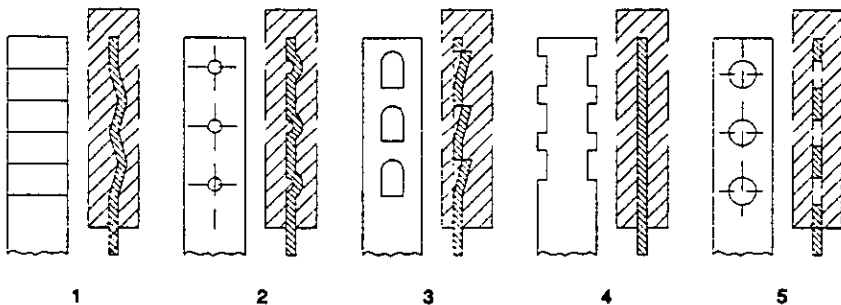
Es importante proveer a la superficie del inserto, que va anclarse en la pieza a moldear con un moleteado, estriado ó recalcado profundo para permitir el flujo del material y mejorar la adherencia. Para facilitar el moldeo, los insertos se deben localizar perpendicularmente al plano de partición y del tal manera que no sean desplazados durante la inyección del material.

Los insertos deben ser los menos de 2mm de diámetro o espesor, para evitar que se flexionen bajo las presiones de moldeo.

En la figura 4.4 se muestran algunos anclajes recomendados para la inserción de láminas metálicas.

Las tolerancias deben ser precisas para que el compuesto de moldeo no penetre en los insertos roscados, pero rodeándolo deberá haber una cantidad suficiente de material para evitar que se rompa la pieza.

En la figura 4.5 representa la configuración esquemática para insertos metálicos de sección circular; los insertos con números 2 y 4 no se recomienda para esfuerzo de tracción y el número 4 para esfuerzos de torsión. Los insertos números 9 y 10 y 11 cuentan con caperuza protectora para la cuerda.



1. Anclaje por doblado.
2. Anclaje por embutido.
3. Anclaje por corte y doblado.
4. Anclaje por dentado.
5. Anclaje por punzonado.

figura 4.4 Representación esquemática de la configuración de chapas para inserción.

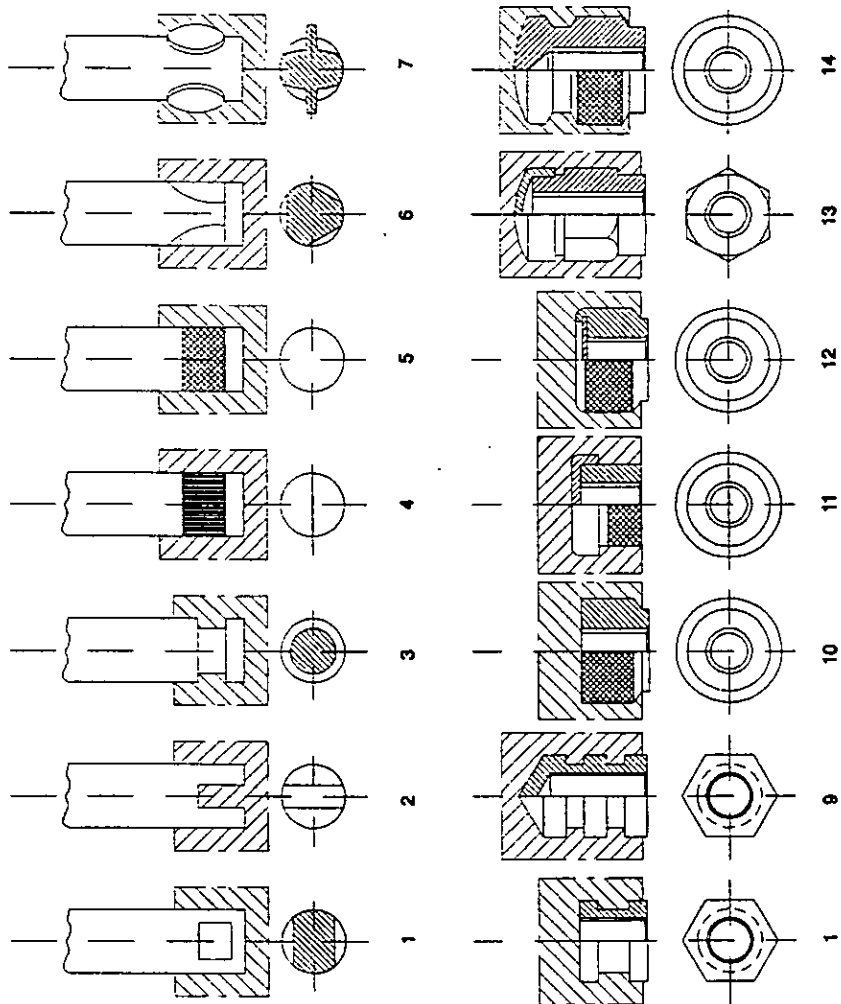


figura 4.5 Representación esquemática de la configuración de piezas perfiledas para inserción.

IV.4 DESMOLDEO DE PIEZAS

Una vez enfriada y solidificada la pieza, hay que extraerla del molde, es decir desmoldearla. El caso ideal sería aquel en que la pieza cayese por gravedad al abrirse el molde separándose de la cavidad o del núcleo. Pero la pieza queda retenida en una parte del molde, debido a resaltes, fuerzas de adherencia y tensiones internas, por lo que deberá desprenderse del molde mediante dispositivos especiales, llamados expulsores.

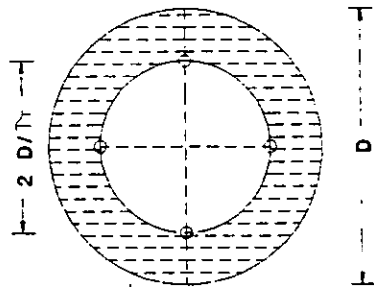
La carrera de los expulsores debe ser suficiente para retirar la pieza moldeada de las partes fijas del molde. Para que los expulsores trabajen con seguridad deben aplicarse en los puntos donde los rincones, paredes laterales, nervios, etc. Que dificultan por una parte el desmolde, pero conducen por otra parte la fuerza necesaria para la extracción de la pieza gracias al efecto de refuerzo. Si la pieza moldeada carece de estas zonas para la acción de los expulsores deberá tenerse cuidado en el desmolde para no deformarla o dañarla. Por lo tanto al diseñar el molde deberá tomarse en cuenta la cantidad y disposición de dichas superficies de apoyo máximas sobre la pieza, considerado la forma de la pieza así como el material de moldeo.

No hay que olvidar que la pieza que se va a extraer se encuentra un tanto blanda (en el caso de elastómeros) o con paredes muy finas, dificultando a un más su expulsión, debido a la alta temperatura a la que se realiza la expulsión.

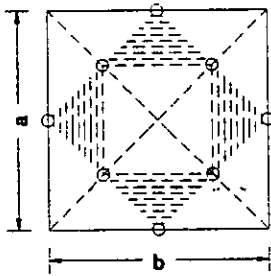
Con el objeto de minimizar las pérdidas de piezas dañadas se recomienda extraer la pieza en el momento preciso que esta suficientemente rígida para evitar su deformación, siendo necesario refrigerar el molde hasta alcanzar la temperatura mínima en el momento de la expulsión en la figura 4.6 se puede ver la posición ideal de las espigas extractoras, cuando se desmoldan materiales como los elastómeros.

Las espigas extractora producen una marca visible en la pieza, este efecto puede aprovecharse si se desea añadir algún dibujo o marca especial sobre la pieza.

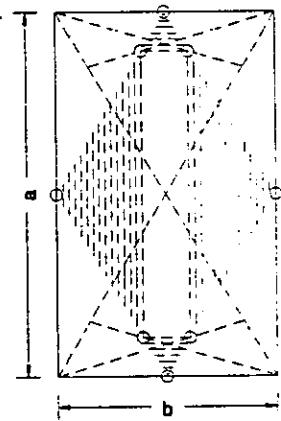
Los mecanismos de extracción también están condicionados a la forma de la pieza moldeada (geometría), la cual puede tener barrenos laterales, rebajas, resaltes, roscas, insertos metálicos y todo aquello que requiera de dispositivos especiales para un desmolde automático. La gran diversidad de soluciones usadas para extraer y expulsar la pieza moldeada, hace imposible detallar o describir tales mecanismos, sin embargo se mencionaran algunos más importantes.



Pieza circular.



Pieza cuadrada.



Pieza rectangular.

figura 4.6 Situación Ideal de las espigas extractoras (son preferibles los puntos que se encuentran en las zonas rayadas para la ubicación de las espigas extractoras), en el caso de materiales de moldeo blandos y flexibles.

IV.4.1 MECANISMOS DE EXPULSIÓN DE PIEZAS MOLDEADAS

IV.4.1.A. Espiga o lámina extractora

Según sean las zonas disponibles para la extracción de la pieza, se usaran espigas de forma redonda o rectangular. Para que la vida del molde sea lo más larga posible, las espigas extractoras deben situarse en una zona lo más amplia posible.

Se utilizan ampliamente con materiales de moldeo rígidos.

En la figura 4.7 se representan este tipo de espigas.

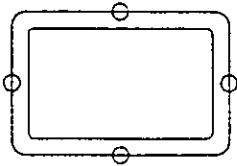
IV.4.1.B. Expulsor tubular

Se utilizan estos mecanismos en zonas en las que se tienen espigas machos. Se fijan estas a la placa de sujeción inferior permitiendo a la espiga tubular o de manguito realizar la expulsión uniforme alrededor de la espiga macho. Este tipo de expulsión tubular se utiliza en cualquier material de moldeo.

IV.4.1.C. Espiga Extractora de Válvula.

Se llama así por su forma de válvula con su vástago y presenta una gran superficie de expulsión para moldes en que las posibilidades de uso de expulsores convencionales quedan muy limitadas, proporcionando al mismo tiempo un buen desmolde y buena rigidez al molde. Se utilizan frecuentemente con materiales flexibles y en moldes en que las entradas a las cavidades tienen la forma de disco, en la figura 4.8 pueden apreciarse los detalles relativos a una espiga extractora de válvula.

Espiga extractora redonda.



Espiga extractora con forma de lámina.

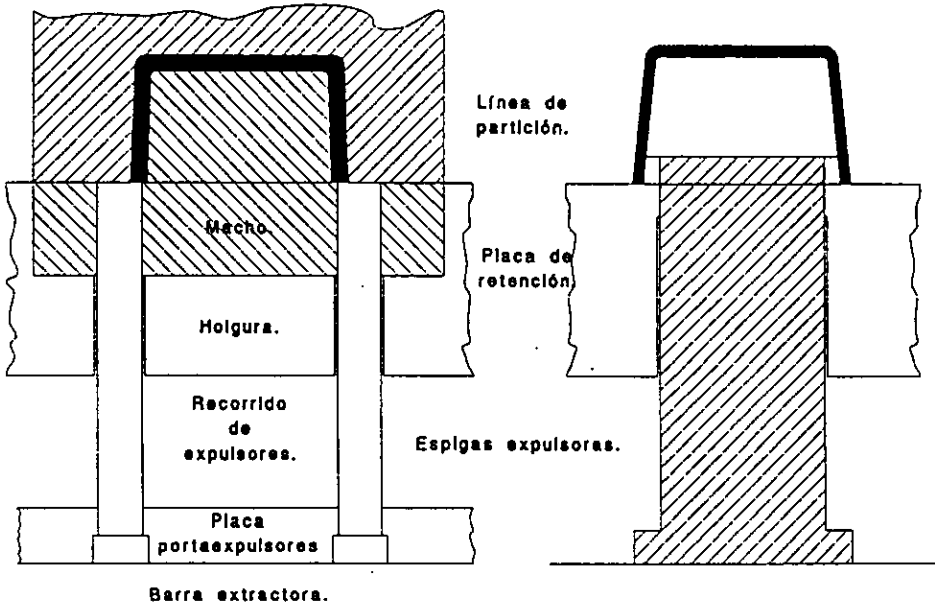
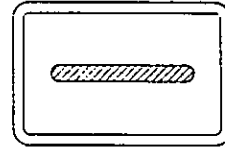


figura 4.7 Diseño típico para espigas extractoras en forma redonda y laminar.

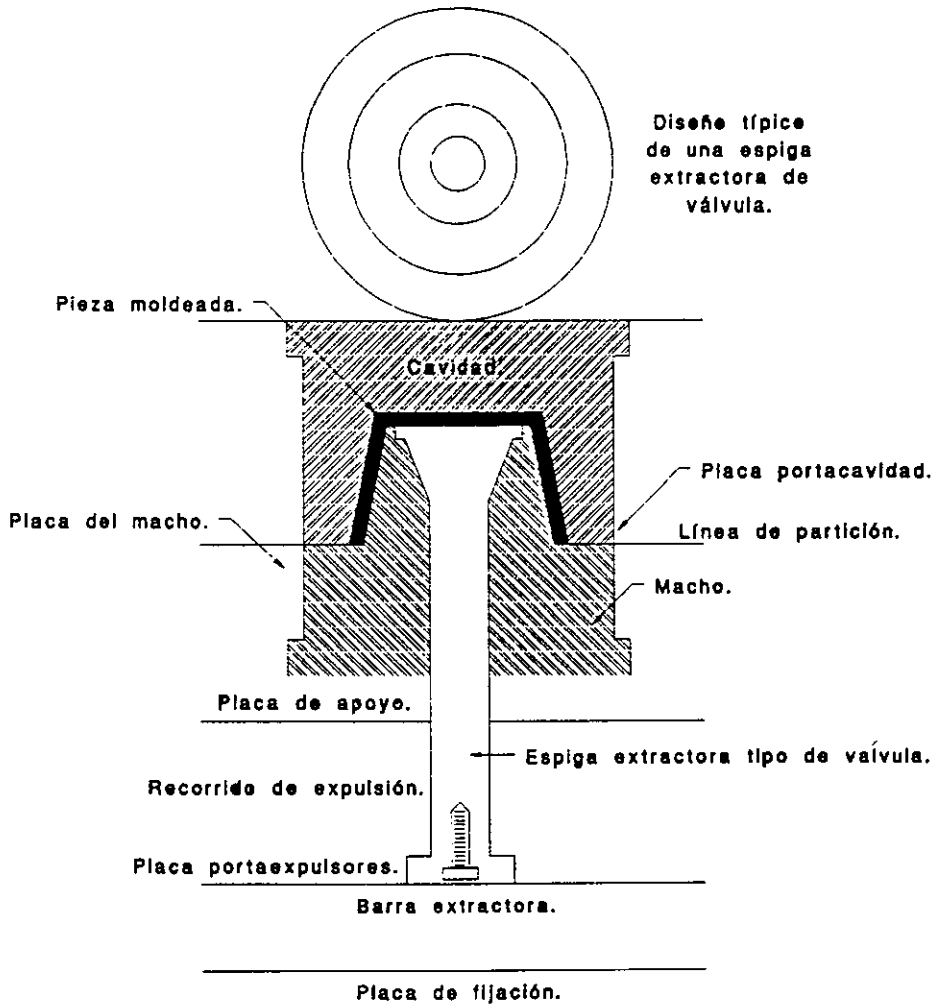


figura 4.8 Diseño típico de un molde con espiga extractora tipo válvula.

IV.4.1.D. EXPULSIÓN POR AIRE

Se introduce aire a presión por el interior del núcleo que soporta la pieza, la apertura de la válvula se acciona mediante una espiga móvil unida a una barra extractora y que al abrirse el molde deja escapar el aire que obliga a la pieza a desprenderse para la carrera de retroceso la válvula va accionada generalmente por un muelle.

La expulsión de piezas moldeadas mediante el aire se usa por lo general con materiales de moldeo flexibles y para piezas que tienen una superficie de desmolde profundo. En la figura se presenta el diseño típico de mecanismo para el desmolde con aire.

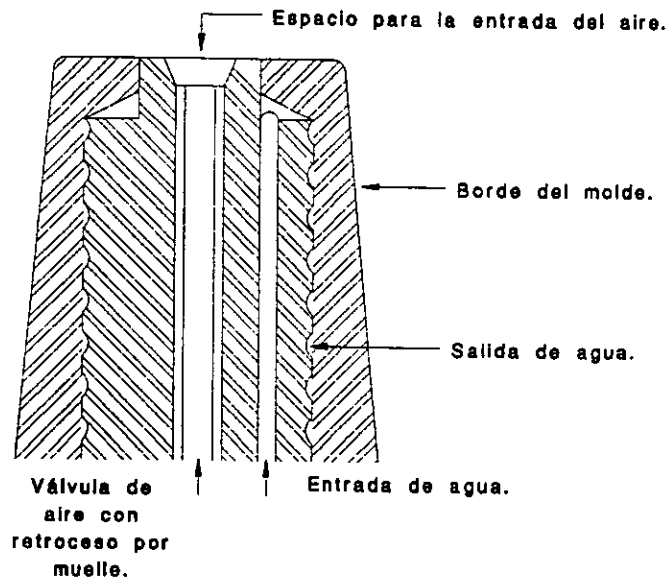


figura 4.9 Montaje típico de una válvula de extracción de aire.

IV.5 EXTRACCIÓN DE GASES

En el proceso de llenado del molde, la masa tiene que desplazar el aire que se encuentra ocupado el espacio de la cavidad del molde. Si el aire no tiene posibilidades de salir quedará atrapado en el punto más alto del molde o en las líneas de unión del flujo, produciendo allí quemaduras o burbujas, y generando un llenado deficiente.

Por lo general para la salida del aire es suficiente el espacio entre las líneas de partición y a través de los expulsores.

Cuando las ranuras en el plano de partición no son suficientes para la salida del aire, habrá que considerar canales de respiración. En general un canal de respiración es un pequeño espacio y orificio que permite el paso del aire o gases al exterior del molde, pero que es demasiado pequeño para que el compuesto de moldeo pueda fluir a través de estos en cantidades apreciables.

El tamaño y la ubicación de estos canales de respiración dependerá del tamaño y diseño de la pieza a moldear así como de la ubicación de las espigas extractoras e inserciones.

Se recomienda que los canales de respiración tengan una profundidad de 0.05 mm a 0.125 mm y ancho de 3.75 mm a 6.35 mm en la práctica se comienza con las dimensiones más pequeñas y se van agrandando hasta tener un tamaño adecuado.

Se recomienda la situación de los canales de respiración colocarlos en los siguientes puntos:

- a) En las partes de la pieza más alta y gruesa
- b) Cerca de las inserciones o secciones de pared delgada donde se formara una línea de soldadura
- c) En las espigas extractoras
- d) En el punto en que la cavidad se llena de último lugar.
- e) En las espigas que sirven de apoyo a inserciones.

IV.6 ENFRIAMIENTO DE MOLDES

La expresión enfriamiento del molde quiere decir la necesidad de hacer circular un líquido refrigerante alrededor de las cavidades de un molde con el propósito de asegurar la disipación de calor producida por la masa de moldeo fundida e inyectada en el molde en cada ciclo de trabajo.

Para que el material termoplástico endurezca en período mínimo de tiempo es importante reducir la temperatura del material ya moldeado después de que ha penetrado en las cavidades del molde.

En general los moldes llevan canales interiores que permiten el flujo de algún fluido refrigerante a diferentes temperaturas bien controladas; muchas veces los canales están dispuestos de tal forma que es posible controlar la temperatura del molde por zonas

las partes móviles deben refrigerarse lo mismo que las zonas que rodean las cavidades y machos.

Durante la producción y después de una serie de ciclos de trabajo el molde alcanza una temperatura estable, pero puede presentarse grandes diferencias de temperatura en zonas específicas o partes del molde (por ejemplo: corazones, mordazas móviles, partes internas de las cavidades, etc.).

Cuando el material fluye a través de las vías de llenado hacia la cavidad del molde, el material de moldeo posee una temperatura mucho más alta que el molde (condición necesaria para que ocurra una transferencia de calor). En este momento aumenta rápidamente la temperatura superficial de la cavidad, después desciende nuevamente a un mínimo durante el enfriamiento de la pieza ya moldeada, debida a la transferencia de calor entre el molde y el fluido circulante. Esta temperatura mínima es la que permite extraer del molde la pieza inyectada sin peligro de una deformación, a la vez el tiempo de enfriamiento de cada pieza influye directamente en la duración del ciclo de inyección. Tomando en cuenta este continuo cambio de temperaturas en la cavidad del molde es imposible mantener constante la temperatura en esa zona.

Es decir se trata de reducir la oscilación de temperaturas del molde producidas durante el llenado y se disipe lo más uniformemente posible, sin que varíe notablemente la temperatura global del molde, como se aprecia en el diagrama de la fig. 4.10, donde el flujo del material de moldeo calienta la pared de la cavidad del molde en un período relativamente corto del ciclo general de trabajo, en cambio la transferencia de calor hacia el agente refrigerante, es más lento a pesar de las buenas propiedades conductoras de los materiales empleados para la fabricación de moldes.

Una transferencia adecuada de calor entre molde y refrigerante se alcanza cuando la superficie de la cavidad del molde presenta una temperatura mínima la final de cada ciclo de trabajo; es decir antes del siguiente llenado.

En realidad un buen balance de transferencia de calor para calcular la cantidad de calor a retirar, es complicado aun empleando fórmulas relacionadas con la transferencia de calor entre material fundido y líquido refrigerante que mantiene el molde a baja temperatura. Es oportuno señalar que cuando se desconocen datos sobre la conductividad térmica del material fundido, el acero con el cual esta construido el molde y la cantidad de calor que es necesario extraer en un tiempo determinado, son necesarias ciertas reglas sobre ubicación dimensiones de los canales de enfriamiento en relación con las cavidades del molde, por ejemplo:

- a) El tamaño de la superficie de contacto entre la pared del molde y el material de inyección.
- b) La diferencia de temperaturas entre el material fundido y la cavidad del molde.
- c) El intercambio de calor ocurre entre la superficie de la cavidad del molde y la superficie total por donde circula el agente refrigerante.
- d) El diámetro y número de barrenos por donde circula el fluido refrigerante deben de ser lo más grande posible, compatible con la estructura y tamaño del molde y los barrenos deberán encontrarse lo más cerca posible a la superficie de la cavidad.

Para barrenar los conductos de enfriamiento es necesario tomar en cuenta ciertos aspectos como son:

a) La relación L/D (longitud/diámetro) del barreno se taladrara si excede de 50/1 es necesario emplear un taladro de barrenado profundo.

b) El recorrido de los ductos de refrigeración a través del molde.

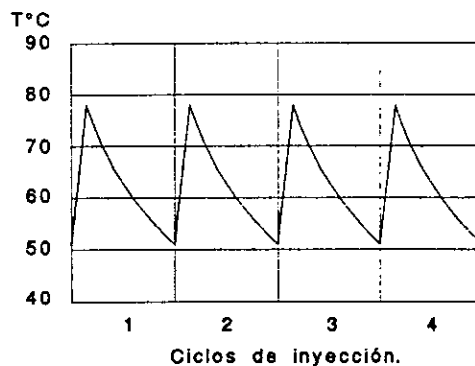
c) Facilidad de mantenimiento de los ductos de enfriamiento debido a la acumulación de incrustaciones (generalmente carbonato de calcio y magnesio) que se presenta cuando se emplea agua no tratada como agente refrigerante.,

d) Los conductos de enfriamiento con diámetros menores a 8 y 6 mm deben evitarse debido a la dificultad para taladrarlos así como los problemas que presenta su mantenimiento y su eficiencia para garantizar un adecuado intercambio de calor.

e) La pérdida calor por radiación es mínima comparada con la transferencia entre el molde y el fluido refrigerante.

A continuación las fig. 4.11 y 4.12 proporcionan algunos criterios empleados con mayor frecuencia.

figura 4.10 Representación esquemática de curvas de temperatura en la zona de cavidad del molde durante los diversos ciclos de trabajo.



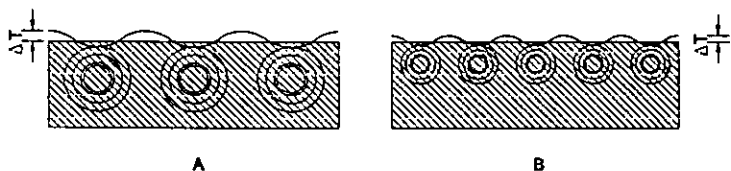
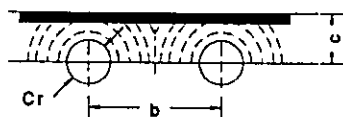


figura 4.11 Diferencias de temperaturas sobre la superficie de la cavidad de un molde de acuerdo con la posición de los barrenos de enfriamiento. En el caso A se tienen las mayores diferencias de temperatura (T), debido a los grandes espacios entre los conductos individuales de enfriamiento. En el caso B las diferencias son menores, ya que los ductos de enfriamiento están más cerca uno de otro.

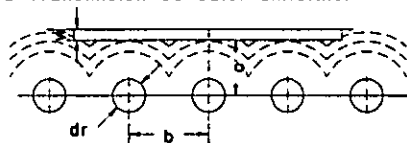
(Tomado del libro de H. Beck-Spritzgiessen. Pub Hasner, Munich 1963)

1 Transmisión de calor no uniforme.



Espacio b muy grande
 • espacio c muy pequeño
 + diámetro del barreno d_r muy grande
 Resultado: Temperatura no uniforme en la cavidad del molde.

2 Transmisión de calor uniforme.



Si tenemos:

I Espesor de la pieza W	Diámetro de los barrenos d_r
2 mm	8 - 10 mm
4 mm	10 - 12 mm
6 mm	12 - 15 mm

II Espacio c - 2 - 3 x diámetro del barreno dr
 III Espacio b - mx. 3 x diámetro del barreno dr

figura 4:12 Diámetro y localización de los ductos de enfriamiento/calentamiento en moldes de precisión. Los barrenos están rodeados por líneas concéntricas isotérmicas (idealizado).

Mantener estable la temperatura del molde es uno de los factores que asegura la dimensión constante (la mínima variación en la contracción) de las piezas moldeadas. Además una temperatura uniforme entre los dos medios moldes garantiza una misma velocidad de enfriamiento en las dos superficies de la pieza moldeada.

Así se evitan las deformaciones de las piezas moldeadas (piezas planas, medianas o grandes moldeadas con materiales plásticos con estructuras semicristalina) causada por la diferencia de temperatura en las dos partes del molde

Los costos que representa la creación de sistemas de enfriamiento puede a veces parecer excesivo, pero siempre se justifica por la reducción de el tiempo de solidificación de la pieza y el alargamiento de la vida útil del molde.

IV.7 TIEMPO DE ENFRIAMIENTO

El tiempo de enfriamiento depende de la temperatura de la masa, de la temperatura de moldeo, de la temperatura media de desmolde, de la difusividad térmica del material inyectado y del espesor de pared.

Para la determinación del tiempo de enfriamiento se puede utilizar el nomograma de la figura 4.13 o las fórmulas de la tabla 4.1

Tabla 4.1 Determinación del Tiempo de enfriamiento según la forma de pieza

Forma de la Pieza	Tiempo de enfriamiento (t)
Cilindro	$t = \frac{d^2}{23.14 \alpha}$ $t = \frac{1}{\left(\frac{23.14}{d^2} + \frac{\pi^2}{L^2} \right)}$
Esfera	$t = \frac{d^2}{4\pi^2 \alpha}$
Cubo	$t = \frac{h^2}{3\pi^2 \alpha}$

Donde:

d= Diámetro [cm]

s= Espesor de pared [cm]

L= Longitud [cm]

h= Longitud de las aristas [cm]

α = Difusividad térmica [cm²/s]

T_m= Temperatura de inyección [°C]

T_w= Temperatura de pared del molde [°C]

T_E= Temperatura media del desmolde [°C]

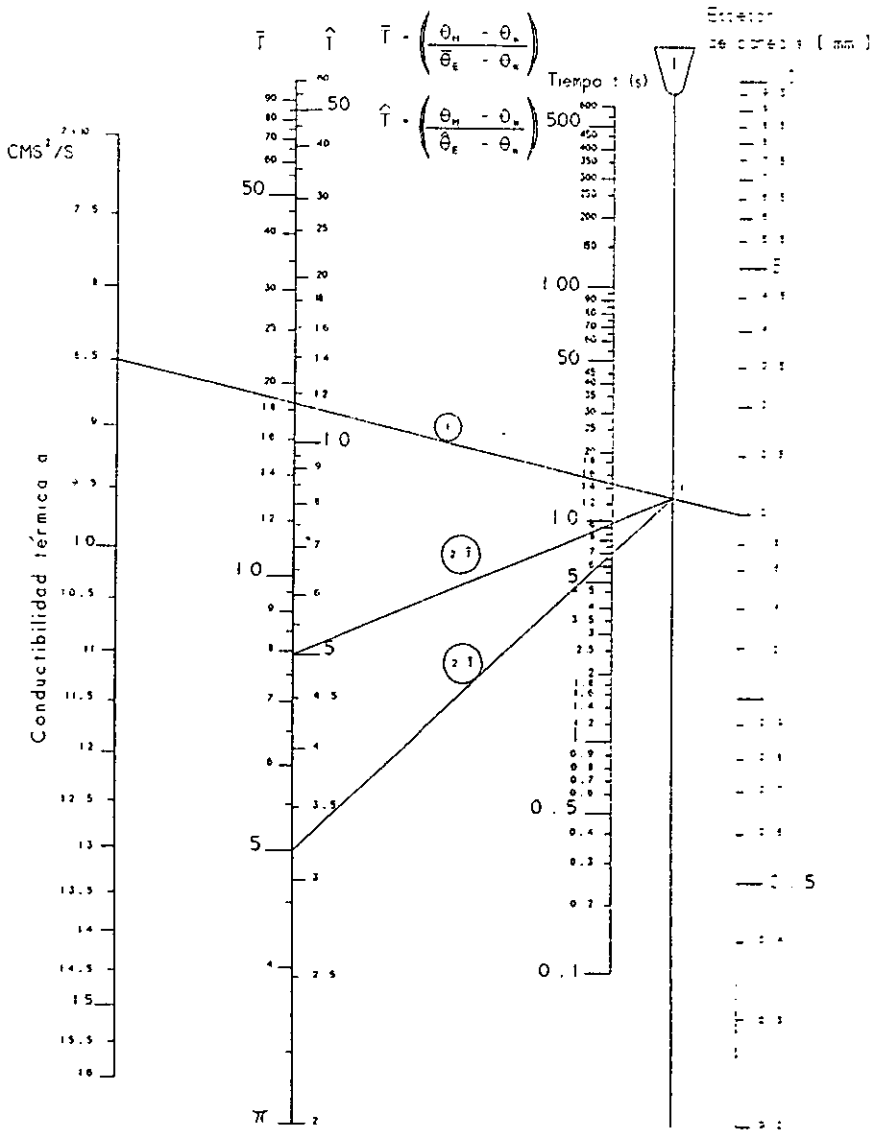


figura 4 . 1 3 Nomograma para determinar el tiempo de enfriamiento.

Ejemplo: ¿Cuál será el tiempo de enfriamiento de una pieza inyectada de 2 mm de espesor? Si se supone que la difusividad térmica del material de molde es de $8.5 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{s}$.

Solución: se entra con la difusividad térmica y el espesor de pared, el proveedor de la materia prima indica las siguientes condiciones de elaboración: $T_m = 230^\circ\text{C}$, $T_w = 30^\circ\text{C}$ y una $T_E = 70^\circ\text{C}$

Así el valor de:

$$\bar{T} = \frac{T_m - T_w}{T_E - T_w} \quad (3)$$

Para la temperatura media de desmoldeo:

Resulta $T = 5.0$ Utilizando el nomograma se obtiene un tiempo de enfriamiento de $t = 6.5 \text{ s}$

Si se exige una temperatura máxima de desmoldeo en el centro de la pieza de 70°C ,

$T = 5.0$ y el tiempo de enfriamiento aumenta a

$t = 9 \text{ s}$.

IV.7.1 CANALES DE ENFRIAMIENTO

A continuación se presentan los canales de enfriamiento más interesantes, los cuales han dado buenos resultados en la práctica.

VI.7.1.A. Canales en Forma de Espiral

Para piezas planas, con simetría de rotación se recomienda éste sistema de enfriamiento representado en la fig. 4.14 a El líquido moderador actúa primeramente sobre el punto situado frente a la entrada de colada, consiguiendo 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 retira calor, de modo que, en los puntos donde la masa está más fría por ser más largo el camino de flujo, el gradiente de temperatura es menor y por lo tanto el calor disipado.

VI.7.1.B. Canales Rectilíneos

Por razones de fabricación y costos se encuentran frecuentemente canales de enfriamiento rectilíneos, los cuales cruzan el molde. De este modo no puede garantizarse una distribución uniforme de la temperatura en consecuencia se tendrá una deformación de las piezas. Este sistema de enfriamiento, con canales paralelos a través del molde, solo deberá emplearse en moldes para piezas rectangulares inyectadas desde un lado.

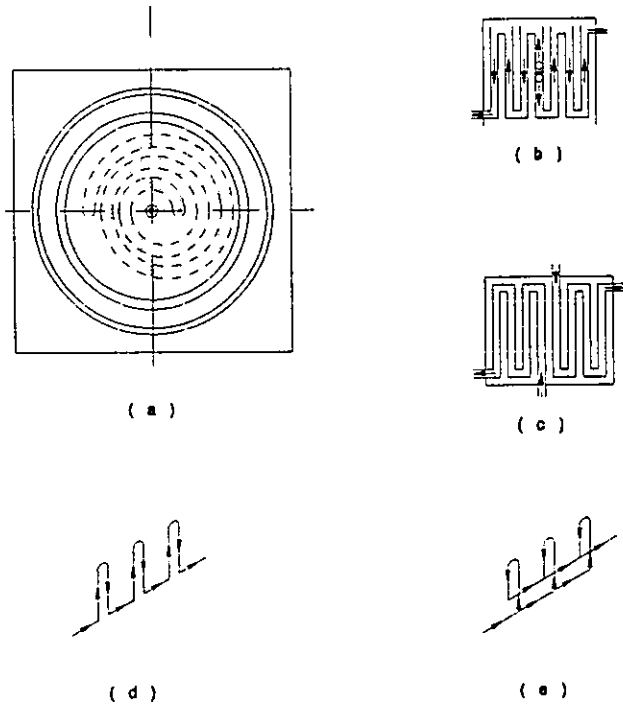
La entrada del agente moderador se colocará también cerca del punto de colada. En piezas inyectadas por el centro, el sistema de enfriamiento rectilíneo debe dividirse, de tal modo que el líquido tenga que recorrer el mismo camino para el enfriamiento de las mitades derecha e izquierda del molde. La 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, como se aprecia en la fig. 4.14 b desde el exterior del molde. No obstante, en este último caso hay que disponer de dichos puntos en sentidos puestos.

VI.7.1.C. Canales en serie y en Paralelo

Para el enfriamiento de núcleos en moldes múltiples, han dado buenos resultados los sistemas representados en la figuras. 4.14 d y 4.14 e.

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



- a) Disposición en espiral de los canales de refrigeración
- b) Canales de refrigeración en disposición rectilínea con inyección central, acceso central, frente a la colada
- c) Canales de refrigeración en disposición rectilínea con inyección central. Sistema partido con entradas contrapuestas
- d) Canales de enfriamiento en serie
- e) Canales de enfriamiento en paralelo

figura 4 . 1 4 Disposición de canales de enfriamiento.

IV.7.2 DISIPACIÓN DE CALOR

Si se considera al molde en el momento de inyección como un material de paredes compuesto por diferentes materiales y el flujo de calor es unidimensional. La transferencia de calor puede evaluarse como sigue:

$$Q = \frac{T_m - T_a}{\frac{1}{h_{1A}} + \frac{s}{K_A} + \frac{1}{h_{2A}}} \quad (4)$$

Donde: T_m = Temperatura de inyección [°C]
 T_a = Temperatura ambiente [°C]
 h_1 = Coeficiente convectivo [W/cm² °K, cal/seg cm²]
 h_2 = Coeficiente convectivo [W/cm² °K, cal/seg cm² °C]
 s = Espesor del molde o pared [cm]
 k = Conductividad térmica de la pared del molde [W/cm²°K, cal/seg c °C]

$$\frac{1}{h_{1A}} \quad , \quad \frac{1}{h_{2A}} = \text{Resistencia térmica por convección}$$

$$\frac{s}{kA} = \text{Resistencia térmica por conducción}$$

El agente moderador que fluye por los canales de enfriamiento del molde, tiene como objetivo aportar o disipar calor hasta obtener una temperatura adecuada en la pared del molde.

La temperatura del fluido de acondicionamiento es muchas veces distintas a la de la pared del molde (hasta 30 °C de diferencia). El gradiente de temperatura depende de las resistencias térmicas en el molde, del calor a disipar, de las condiciones de flujo y de las propiedades del agente moderador.

Son apropiados como medios de acondicionamientos de temperatura los siguiente fluidos:

Agua	Temperatura: 5— 90°C (hasta 120 °C, bajo presión)
Mezcla agua/alcohol	Temperatura: 5°C
Salmuera	Temperatura: 5°C
Aceite	Temperatura: 90°C a 300 °C

IV.8 CALENTAMIENTO DE MOLDES

En el moldeo por inyección el calor proporcionado para el curado de las resinas termofijas y los elastómeros ocurre en el cilindro de plastificación y posteriormente en el molde.

Después que se ha calentado el molde y se han iniciado las fases del ciclo de llenado, el molde continua suministrando la energía térmica necesaria para:

a) Fundir y endurecer una cierta cantidad de material(kg/h) de moldeo que varia de acuerdo al ritmo del moldeo.

b) Compensar las pérdidas de calor por conducción a través de las platinas de la máquina, por conducción del aire circundante en la fase de apertura del molde mientras que las pérdidas por radiación se desprecian por ser mínimas.

Cuando no se dispone de información necesaria para calcular la cantidad de calor a suministrar o se dificulta su evaluación se considera una potencia de instalación de 30 a 50 Watts/kg de acero (peso del molde) que garantiza la cantidad de calor requerido para cada medio molde.

En general se emplea una potencia unitaria baja(+/-30W/kg) para calentar moldes pequeños, mientras que para moldes grandes o partes de moldeo voluminosos, es necesario una potencia unitaria mayor de 50W/kg.

Esta estimación solo se emplea solo cuando se usan resistencias eléctricas tipo cartucho insertadas directamente en la estructura del molde cercanas a las cavidades a llenar. Cuando se instalan calentadores tipo cartucho, solo se necesita perforar en la sección a calentar un orificio de diámetro adecuado para introducir el cartucho y ligeramente mayor con el objeto de tener un ajuste sin huelgo.

Con el objeto de evitar pérdidas de calor en las placas externas del molde muchas veces se emplean planchas de resinas de asbesto.

El calentamiento de los moldes provoca una dilatación térmica en toda la estructura del molde incluyendo las cavidades individuales. Los sistemas de guías, ya sean pernos, bujes, correderas, etc. Deben estar bien diseñados con tolerancia adecuadas, es decir con el juego necesario para evitar problemas consecuentes(atascarse, atorarse, rayarse entre si).

Cuando los medios moldes deben de trabajar bajo diferentes niveles de temperatura, es necesario comprobar que la dilatación entre ambas partes no provoque problemas que pueden afectar a la pieza moldeada.

El diagrama de la figura 4.15 sirve para calcular en forma aproximada la dilatación térmica en piezas de acero al carbón, en función de su dimensión nominal y de los cambios de temperatura.

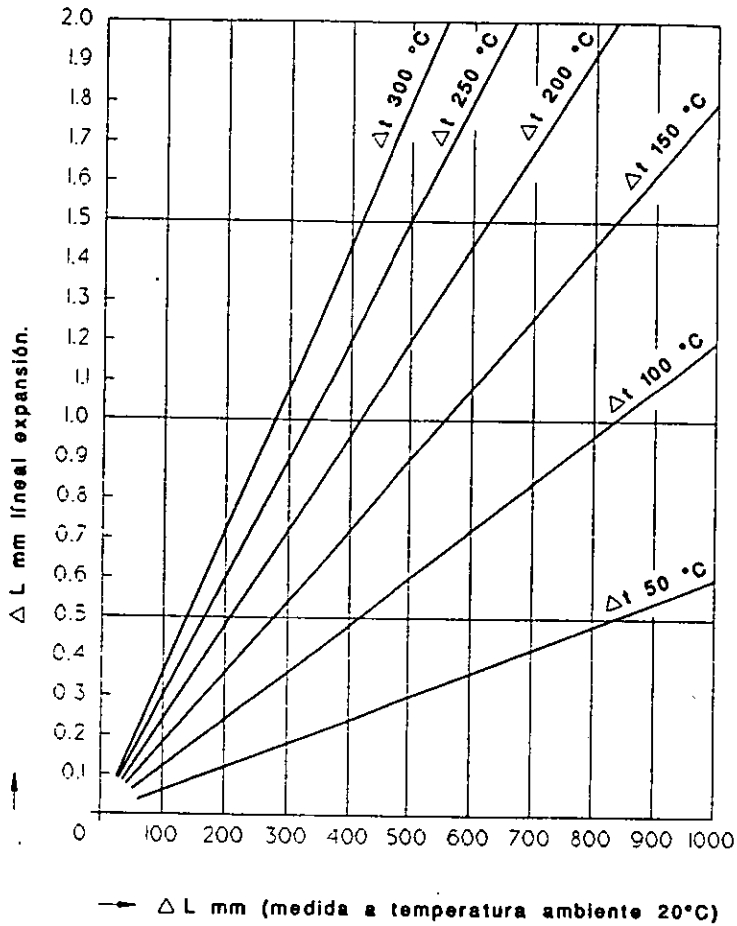


figura 4.15 Dilatación térmica lineal de aceros al carbón con un coeficiente de dilatación térmica lineal equivalente a $12 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

CAPÍTULO V

CONSIDERACIONES DE DISEÑO

V.1 CONSIDERACIONES PRELIMINARES

En la proyección de un molde se debe tener muy en cuenta, el material de moldeo a emplearse, esto se reduce a estudiar el comportamiento del producto en condiciones reales de utilización, y que demuestren su duración y estabilidad en condiciones de trabajo.

Ningún material poseerá todas las cualidades deseables y ninguna de las indeseables. Las características indeseables deben compensarse con un adecuado diseño de la pieza.

Dentro de las características que se deberán de tomar en cuenta para la selección del polímero de moldeo idóneo son las siguientes:

- Resistencia al impacto
- Resistencia a la radiación
- Transparencia
- Resistencia al arco eléctrico
- Resistencia a la llama
- Absorción de humedad
- Tensión aplicada
- Resistencia a ácidos, aceites y solventes
- Resistencia a la intemperie
- Desgaste superficial
- Propiedades de aislamiento
- Estabilidad dimensional
- Olor, sabor.

Con lo que respecta al diseño del molde se debe contar con la mayor información posible a cerca de la pieza a moldear así como métodos de moldeo, materiales de moldeo, máquinas de moldeo, materiales para la fabricación de moldes, etc. Información que se resume de la forma siguiente:

- Características de la pieza a moldear
- Tipo de molde
- Tamaño de molde
- Cantidad de piezas a producir en unidad de tiempo
- Líneas de partición
- Coincidencia de desmoldeo
- Posición de las espigas extractoras

- Tipos de expulsores
- Canales de alimentación
- Inserciones metálicas
- Esquinas o cantos vivos, espesor de paredes y uniones
- Rotulado en relieve o bajo—relieve
- Tolerancias y ajustes
- Canales de refrigeración
- Calentamiento de moldes
- Cálculo de deformaciones y esfuerzos en moldes
- Contracción de la pieza moldeada
- Datos técnicos sobre materiales de moldeo
- Selección de sistemas de moldeo
- Selección de la prensa de moldeo
- Lista de materiales disponibles para la fabricación de moldes
- Selección de materiales para la fabricación de las distintas partes del molde
- Planos legibles y claros
- Planos de detalle
- Planos de despiece de molde
- Lista de piezas del molde
- Fabricación del molde
- Maquinado convencional
- Electroerosión
- Tratamientos térmicos
- Acabado

V.2 MEDICIÓN DE DUREZA DE PIEZAS MOLDEADAS

Para la determinación de la dureza de los hules se usan los viejos métodos de medida con durómetros Shore A y D así como el Rockwell estos han sido sustituidos por una norma internacional identificada con las siglas IRDH (International Rubber Hardness Degrees) que especifica las características de los instrumentos adecuados, para medir la dureza sobre los hules blandos, normales y duros.

Las gráficas de las figuras 5.1 y 5.2 pueden usarse para una comparación aproximada de los grados de dureza entre los hules y los materiales plásticos.

Para una comparación de los valores de dureza, es necesario consultar las normas proporcionadas por asociaciones de normalización, como (ASTM, DIN, BSI, UNI, RMA)

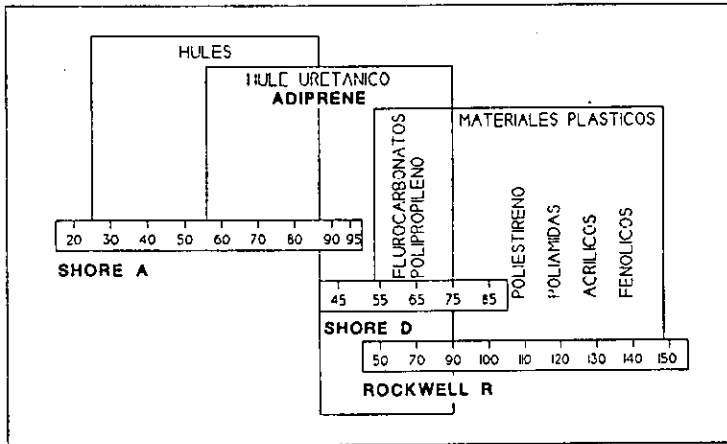


figura 5 . 1 Comparación de los valores de dureza entre elastómeros y materiales plásticos (escala Shore A y D, Rockwell R) (Tomada del libro tomo II de Moldes y Máquinas de inyección para la transformación de plásticos).

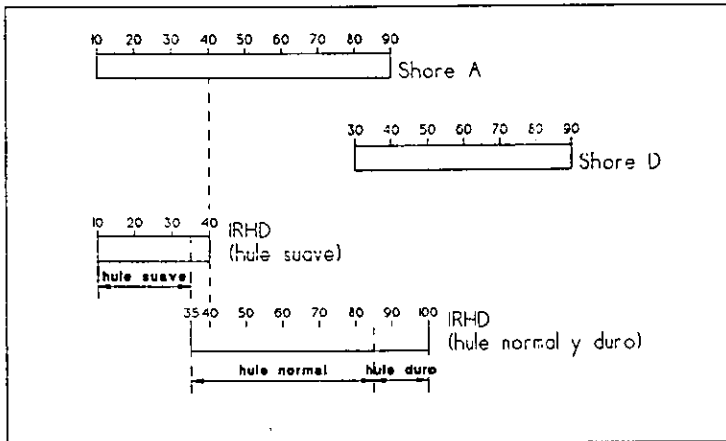


figura 5 . 2 Comparación de las escalas de dureza de acuerdo con los métodos Shore A y Shore D e IRDH (International Rubber Hardness Degrees) para hules naturales y sintéticos.

V.3 TOLERANCIAS Y AJUSTES

Las tolerancias en las dimensiones de una pieza moldeada son las variaciones permitidas en más o menos en una dimensión nominal. Las tolerancias en las dimensiones de los moldes son inevitables debido a las variaciones involuntarias que tienen lugar en el maquinado, templado, pulido, electrodeposición, etc.

En el cálculo de las dimensiones y tolerancias en moldes, se determina considerando el factor de contracción del material de moldeo; es decir se suma la tolerancia de contracción en todas las partes del molde (algunos materiales crecen al salir del molde, por lo tanto tendrán una contracción negativa.)

Los factores de contracción suministrados por los fabricantes pueden estar comprendidos dentro de unos límites tan estrechos tales como 0.003 a 0.004 para materiales termofijos. Pueden tener unos límites tan amplios de variación tales como 0.05 a 0.04 para materiales como los elastómeros.

Las tolerancias dimensionales dados en el diseño de moldes, equivalen a no más de la mitad de las tolerancias deseadas para la pieza moldeada ya que la variación dimensional del molde es solo uno de los factores que afectan a la dimensión final de la pieza moldeada. Otros factores que influyen en las dimensiones finales de la pieza son:

1. Contracción variable del material de moldeo
2. Calor
3. Presión
4. Tiempo de enfriamiento o curado

La mayor parte de los talleres que se dedican a la construcción de moldes han establecido sus propias normas sobre las variaciones de tolerancia con las que trabajan como se muestran en la tabla 5.1

Tabla 5.1 Tolerancias típicas de taller a no ser que se especifiquen otra cosa

Dimensión	Tolerancia
Dimensiones Fraccionarias de 12.4 mm o menos.....	+/- 0-008
Dimensiones Fraccionarias por encima de 12.4 mm.....	+/- 1/64
Tres Cifras Decimales	+/- 0.005
Cuatro Cifras Decimales.....	+/- 0.001

Para tolerancias de ajuste en caliente normalizadas de interferencia de metales, como en el caso de secciones partidas. Para ajustes a presión se especifican con acotaciones en decimal de las piezas del molde al mismo tamaño que el orificio de los platos de retención de la prensa. En la tabla 5.2 se dan las tolerancias para ajustes en caliente.

Tabla 5.2 de interferencias para ajustes en caliente restar la tolerancia de ajuste, de la sección del molde para obtener el tamaño del orificio en el anillo de retención

Tamaño del orificio in (mm) hasta	Interferencia Negativa	Tamaño del orificio hasta in (mm)	Interferencia Negativa
1(25.4)	0.0010	12(304.8)	0.0058
2(50.8)	0.0015	14(355.6)	0.0065
3(76.2)	0.0020	16(406.4)	0.0070
4(101.6)	0.0028	18(457.2)	0.0075
6(152.4)	0.0035	20(508)	0.0080
8(203.2)	0.0045	22(555.8)	0.0088
10(254)	0.0053	24(609.6)	0.0093

V.3.1 CONTRACCIÓN

Un aspecto de gran interés para el diseño de moldes es el de la contracción. Esta es la diferencia de tamaño entre el molde y la pieza moldeada. El fenómeno de contracción ocurre durante el moldeo y posterior al moldeo. La contracción inicial que es la que ocurre en la cavidad del moldeo (paso del material fundido a estado sólido) se debe principalmente al cambio de densidad cuando solidifica el polímero. Después del moldeo las piezas pueden todavía sufrir una sucesiva contracción (debido al alivio de esfuerzos internos). Otras variaciones dimensionales de sentido opuesto (dilatación) pueden ser provocadas por la natural absorción de agua de las piezas después del moldeo.

En la contracción por moldeo no solo depende de las propiedades intrínsecas del material de moldeo, sino que además existen otras variables como son:

- Forma y espesor del producto moldeado
- Tipo de molde
- Localización y sección transversal del punto de inyección
- Longitud y sección de los canales de alimentación
- Temperatura del molde
- Variación de la presión de inyección
- Proceso de moldeo
- Variación de la temperatura de la masa
- Velocidad de tiempo de curado
- Temperatura del material de moldeo

Los problemas de contracción son complicados por el hecho de que una determinada pieza moldeada jamás tendrá una contracción porcentual uniforme. Presenta valores diferentes si es medio en la dirección del flujo o en sentido transversal a esta.

En general los elastómeros vulcanizados presentan escalas de contracción muy amplias, ya que las innumerables y diversas mezclas, las temperaturas y los tiempos de vulcanización influyen en la contracción del producto final. La contracción de estas mezclas puede ser reducida aumentando la cantidad de materiales de relleno (por ejemplo caolín) en relación con el elastómero base. En los hules con enlaces cruzados con un contenido de relleno normal, la contracción es de alrededor de 1.5% pero puede ser tan bajo como el 0.6% para ciertas mezclas con un alto contenido de relleno, debido a que la escala de contracción no permite obviamente establecer tolerancias de moldeo cerradas.

También para los elastómeros termoplásticos la contracción depende de las propiedades íntimas del hule, como de la cantidad de plastificante agregado para obtener los diversos grados de dureza.

Para compuestos de hule que contienen fibras de refuerzo, la contracción es menor a lo largo del eje de la fibra. Mayores cantidades de relleno o fibra aumentan la dureza del hule y por lo tanto reducen la contracción. La contracción también puede ser desigual para compuestos de hule con inserciones metálicas.

Como resultado de la contracción y otros factores las superficies externas de las piezas de hules rara vez son verdaderamente planas, sobre todo si se han usado refuerzos de metal. Los metales tienen un coeficiente de expansión térmica menor que el hule, y esto causa alabamiento en las piezas moldeadas.

V.3.2 CONICIDAD DE DESMOLDEO

Para facilitar el desmoldeo de piezas, se aconseja dar a las paredes laterales, del molde una cierta coincidad. En caso absolutamente necesario, es posible obtener algunas superficies sin coincidad. En no disponer de un ángulo adecuado de desmoldeo en la mayor parte de los moldes es la causa de muchos problemas de desmoldeo.

La necesidad de coincida en piezas moldeadas de hule varía tanto en el diseño de la pieza como en la naturaleza del elastómero. Para muchas piezas que tengan dureza por debajo de 90 Shore A, es innecesaria la coincida.

Una excepción son los hules termoplásticos suaves, caso en que se recomienda un ángulo de conicidad de $\frac{1}{4}^\circ$ a 1° perpendicular a la línea de separación o de partición para hules duros, proporciónese por lo menos 1° por cada pared del molde.

Cuando se usan moldes de compresión la conicidad de las paredes laterales de los moldes, debe permitir que el material fluya desde el fondo del molde hacia la línea de partición.

V.3.3 LÍNEAS DE PARTICIÓN

En las piezas moldeadas por inyección se muestra el efecto de la línea de partición del molde, es decir, la unión de las dos mitades del molde. La pieza y el molde se deben de diseñar de modo que la separación ocurra en un área donde no afecte adversamente la apariencia ni la funcionalidad de la pieza. Se recomienda poner la línea de partición en lugares no visibles, lo que le da una buena apariencia a la pieza y en algunos casos elimina la necesidad de acabado. También donde existan esquinas agudas fácil de desbarbar o pulir.

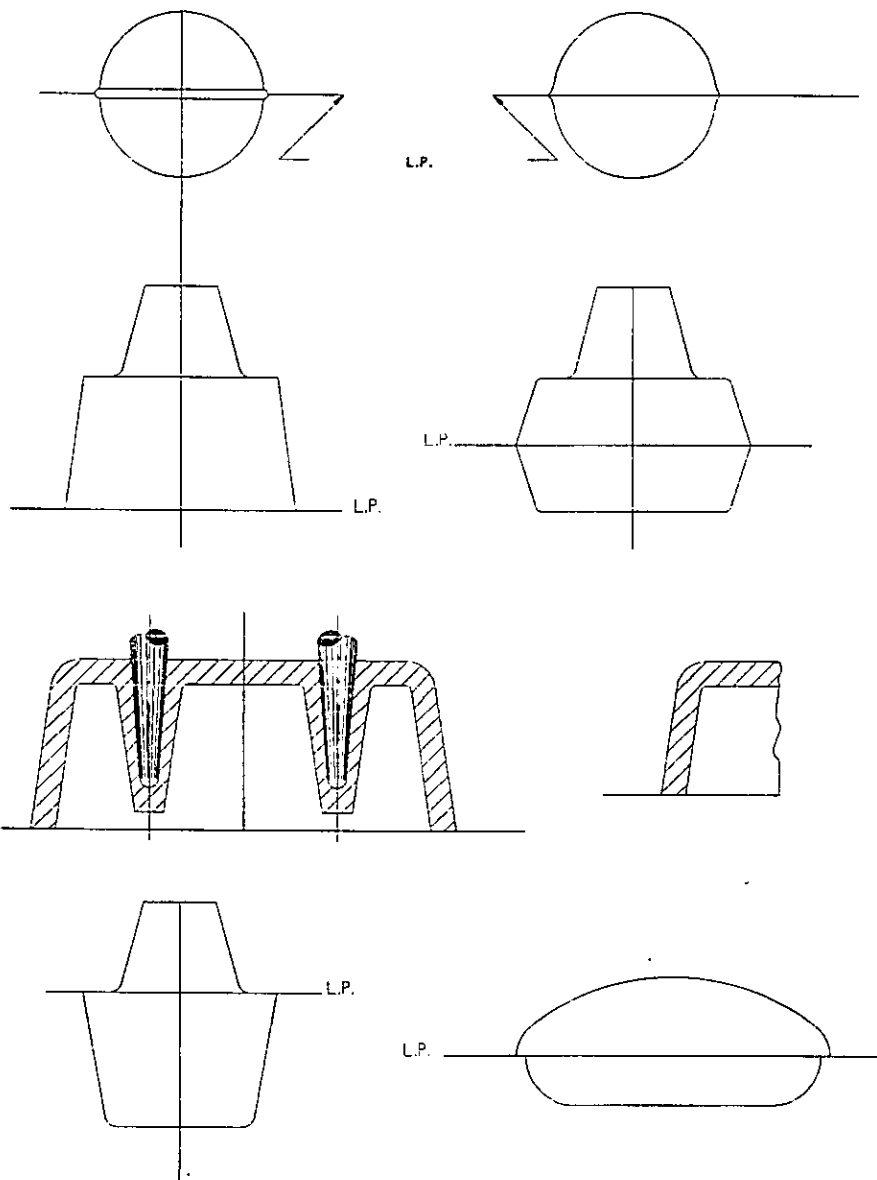


figura 5 . 3 Recomendaciones para localizar la línea de partición de distintas piezas.

Sin embargo, la eliminación de la rebaba de la línea de separación puede destruir el filo de esquina. La especificación de la pieza en el dibujo debe permitir esto

Las líneas de partición deben ser rectas, es decir, las dos mitades del molde deben encontrarse en un solo plano. Esto reduce los costos de construcción del molde, pero esto puede ser imposible si el diseño de la pieza es irregular.

Si es posible poner la línea de separación en la orilla de la pieza el desbarbado de la línea de partición se facilita si existe si un bordo o alguna otra superficie realzada en la línea de separación, en la figura 5.3 se dan algunas recomendaciones para localizar la línea de partición de distintas piezas. Descentrando deliberadamente las cavidades, se puede evitar defectos de apariencia que podrían ocurrir si las mitades del molde no alinean correctamente.

V.3.4 CONCENTRACIÓN DE ESFUERZOS EN PIEZAS MOLDEADAS

Quizá las propiedades más importantes de los polímeros dependan del tiempo y la temperatura. Esto es muy importante cuando se diseñan productos que soportan cargas.

Si el material está sujeto, ya sea a cargos constantes o cíclica se generan esfuerzos en el y se deformará o flexionará, en los materiales como el concreto y los metales estas características se manejan fácilmente, pues los materiales se comportan linealmente y obedecen a la ley de Hooke, es decir el esfuerzo es proporcional a la deformación los elastómeros sin embargo se comportan de manera diferente (debido a su estructura molecular en forma de largas cadenas de sustancias orgánicas) es decir se deforman mucho y su respuesta no es lineal.

Todos los materiales están expuestos a concentración de esfuerzos. Cualquier esquina aguda. Orificio, entalladura y otras discontinuidades reducen la resistencia mecánica de la pieza. Las consecuencias de la concentración de esfuerzos en piezas moldeadas con esquinas agudas es por lo general. La fractura, especialmente cuando el producto esta soportando cargas. Este defecto puede contrarrestarse considerando radios de esquinas que sean cuando menos el doble del espesor del material.

La flexión o el doblado producen fuerzas de tracción, compresión, y cortes. Por lo que los productos laminados sujetos a cargas de flexión fallan por esfuerzos de compresión principalmente

Las variables principales que de alguna manera afectan la falla por concentración de esfuerzos de los productos moldeados con polímeros son:

1. Temperatura de trabajo de la pieza
2. Tiempo de duración o aplicación de la carga
3. Absorción de humedad
4. Envejecimiento
5. Condiciones de trabajo

V.3.5 REBABAS

La rebaba tiende a formarse en las esquinas de las piezas de hule moldeada de la línea de partición del molde. En el caso de moldeo por compresión, el exceso de hule fluye dentro de la ranura para rebaba la cantidad de rebaba permisible depende de la función de la pieza de hule.

La extensión de la rebaba es aquella que va más allá de la orilla de la pieza y se debe designar a sí en el dibujo de la pieza, como se describe en la tabla 5.3 por ejemplo, la designación del dibujo T.000 significa que no se permite ninguna rebaba, mientras que T—016 que se permite un extensión de rebaba de 0.0.16 in (4.064 mm)

Cuando se diseñan moldes de precisión la rebaba es muy delgada o no la hay sin embargo algunos moldes se diseñan para producir rebaba lo suficientemente gruesa para permitir que salgan las piezas formando una hoja, y las piezas se cortan después en la hoja mediante un troquel.

Tabla 5.3 Designaciones de dibujo para extensiones de rebaba de piezas moldeadas de hule

Clase RMA	Designación de dibujo	Rebaba máxima permisible	Comentarios
1	T.000	Ninguna	No se permite rebaba en el área asignada. (Notificaciones estándar referentes a otras superficies deben acompañar a esta designación)
2	T.003	0.08 mm (0.003 in)	Esta tolerancia requerirá normalmente pulido, careado, esmerilado o alguna otra operación similar
3	T.016	0.40 mm (0.016 in)	Esta tolerancia requerirá normalmente recorte con troquel de precisión, pulido o recorte extremadamente preciso.
4	T.032	0.80 mm (0.32 in)	Esta tolerancia requerirá normalmente recorte con troquel, con máquina tambor de golpeteo o recorte a mano
5	T.063	1.60 mm (0.063 in)	Esta sería la tolerancia normal de recorte por desgarradura
6	T.093	2.35 mm (0.093 in)	En piezas grandes, esta tolerancia requerirá normalmente recorte con troquel, por desgarradura o recorte a mano de algún tipo
7	T ∞	Sin límite	Ninguna limitación de rebaba

* Derma handbook, 3a. Edición, Rubber Manufacturers Association New York, 1970

V.3.6

ENVEJECIMIENTO (DEGRADACIÓN)

Las condiciones que causan el envejecimiento de los polímeros, son las deformaciones bajo cargas cíclicas o continuas durante mucho tiempo; altas temperaturas y la exposición prolongada en ambientes oxidantes. Las consecuencias del envejecimiento se manifiestan de dos maneras: Experimentan una deformación gradual, bajo una carga constante; disminuye la fuerza requerida para producir una deformación constante. Estas consecuencias del envejecimiento se conocen como "Deformación bajo carga" y "Relajación", respectivamente.

Para propósitos de diseño se puede asumir que los módulos de deformación y relajación son iguales, siendo estos definidos como el esfuerzo dividido entre la deformación en el tiempo ($F/A/L/L$). El tiempo es función del material específico, como se observa en la figura 5.4

V.4

ESFUERZOS Y DEFORMACIONES ELÁSTICAS EN MOLDES

Como el molde puede ser considerado un recipiente cerrado sujeto a presiones internas muy elevadas (del orden de ciertos de bar) se emplean las fórmulas simples de estática correspondientes a estructuras elásticas, para calcular el valor de los esfuerzos y sus consecuentes deformaciones.

Las presiones de inyección y residual deforman al molde, es decir este se ensancha en virtud de la presión existente en su interior. de este modo penetra mayor cantidad de material 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 pieza ya moldeada, el molde quedaría retenido 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 del molde, esta se elimina completamente, en otro caso se dificultan los procesos de apertura y desmoldeo, en general podemos decir que la deformación elástica del molde será tanto mayor cuando más elevadas sean las presiones de inyección y de residuo.

De hecho el molde es una estructura que sometida a fuerzas que pueden medirse o suponerse, se deforman ó flexionan pero vuelve a sus dimensiones originales cuando se quita la fuerza que produjo esa deformación.

En realidad, la placa de la cavidad no esta sometida a una flexión estática, sino a una flexión alternada, debido a que en cada ciclo de moldeo la placa se flexiona. Esta flexión alternada que se repite decenas y centenas de veces al día (tantas como número de ciclos moldeo se realicen), puede ser considerados como un esfuerzo a la fatiga.

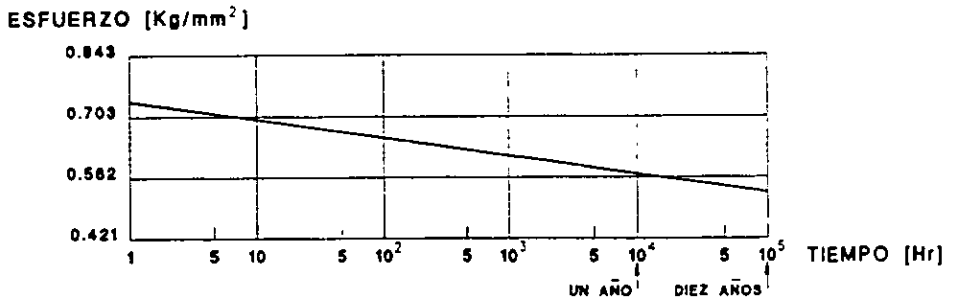


figura 5 . 4 Disminución de la resistencia a la tensión debido al envejecimiento.

V.4.1 ESPESOR DE PARED DEL MOLDE

Una fórmula general aproximada utilizada para determinar el espesor de pared del molde, con secciones del molde de 50.8 mm de diámetro, consiste en emplear el 60% de la profundidad de la cavidad, pero nunca menos de 7.93 mm, ni más de 19.05 mm de la cavidad, cuando la sección menos de 7.93 mm, ni más de 19.05 mm de la cavidad. Cuando la sección tiene más de 50.8 mm de diámetro, debe añadirse 1.58 mm por cada 25.4 milímetros de aumento en el diámetro. en los casos en que la profundidad es superior al doble del espesor de pared básico debe añadirse 3.17 mm al espesor de pared. Para fines prácticos, el diámetro exterior debe dimensionarse aprovechando las dimensiones de los materiales comerciales.

Los moldes que llevan cavidades partidas merecen una atención especial en el sentido de que debe darse la suficiente resistencia a las placas de retención, para que las cavidades no se abran bajo la acción de la presión. El espesor de las partes de la cavidad es el mismo que el de una cavidad de una sola pieza, pero los anillos de retención deben tener de 1½ a 2 veces el espesor normal, empleando un múltiplo mayor para las cavidades profundas.

La tabla 5.4 contiene los valores de espesores de pared para algunas partes del molde y que en la práctica ha demostrado que dan resultado satisfactoriamente.

Tabla 5.4 Espesores de pared mínimos para cavidades y platos de retención de moldes.

Diámetro interior de las cavidades (mm)	Espesor de pared para cavidades redondas (mm)	Espesor de pared para platos de retención (mm)	Espesor de pared para cavidades rectangulares (mm)	Espesor de pared para platos de retención (mm)
Hasta 31.75	7.93	31.95	11.11	31.75
31.75—50.8	9.52	36.51	12.7	36.51
50.8—76.2	11.11	38.1	14.28	38.1
76.2—101.1	12.7	41.27	15.87	41.27
101.1—127	14.28	44.45	17.46	47.62
127—177.8	15.87	47.62	20.63	53.97
177.8—228.6	19.05	50.8	25.4	62.97
228.6—304.8	22.22	57.15	36.51	69.85
más de 304.8	25.4	62.97	44.45	76.2

Nota: Añadir 3.17 mm de espesor de pared cuando la profundidad sea el doble del espesor de pared básica indicado en la tabla. Tomada del libro de Ingeniería de moldes para plásticos de Dubois J.

V.5 RECEPCIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE MASA

La masa procedente del cilindro de plastificación llega a través de la boquilla de inyección, a la cavidad del molde, pasando por un canal en los moldes simples, o por un sistema de canales en los moldes múltiples. Estas vías de flujo, se llaman canales de distribución y la masa que solidifica en ellos se conoce como mazarota.

Los canales tienen la misión de recibir la masa dirigirla a la cavidad del molde y especialmente en moldes múltiples, distribuirla. En consecuencia el sistema de alimentación, en los moldes múltiples, comprende las boquillas, bebederos, entradas y canales de alimentación.

La disposición y la forma (tipo) del sistema de alimentación son de gran importancia para la calidad de una pieza moldeada. Eligiendo apropiadamente dicho sistema se puede influir en el tiempo de inyección, reducir los desperdicios de colada y tiempo de acabado.

El tipo de alimentación viene determinado por varios factores; en primer lugar, el que respecta a conducir la masa de moldeo hacia la cavidad del molde lo más rápidamente posible, sin obstáculos, por el camino más corto, con la mínima pérdida.

de calor y presión y evitando en todo lo posible las discontinuidades de fluidez (líneas de soldadura) en la pieza en los moldes múltiples, se tiene además la exigencia de que el material debe alcanzar simultáneamente las diversas cavidades con igual presión y temperatura.

El sistema de alimentación se elegirá de modo que la mazarota tenga un mínimo peso, pueda separarse fácilmente de la pieza y no perjudique el aspecto de la misma (evitando las irregularidades debidas a la mala fluidez). Así la disposición y la forma de llenado dependen de la configuración de la pieza y de la masa a elaborar y en gran medida de las dimensiones de la pieza como se verá más adelante.

V.5.1 ENTRADAS

Es una zona de transición entre el canal de alimentación y la cavidad del molde, de su forma y dimensiones depende la uniformidad del llenado, un ataque correctamente diseñado logra un efecto de replastificación del material, durante su paso por la reducción de sección transversal de las entradas.

La posición de los puntos de inyección o ataques deben satisfacer ciertos requisitos como son:

- 1.-Dirigir el flujo de material de molde contra la pared de la cavidad o contra el corazón.
- 2.-Dirigir el aire para las zonas de salida y evitar que sea atrapado
- 3.-Inyectar el material de la sección más gruesa a la sección más delgada.
- 4.-Evitar las líneas de unión en zonas sujetas al impacto o áreas de refuerzo.
- 5.-Facilitar la separación de la pieza moldeada de la mazarota.

Para lograr el corte y expulsión de las piezas, se permite dar una cierta conicidad en las paredes laterales de la zona de ataque; con materiales flexibles se necesita una conicidad mínima y será mayor en casos de materiales rígidos (hules duros). La longitud de la entrada es muy crítica y en general varía entre 0.63 mm a 1.52 mm. En moldes de cavidades múltiples se deberán emplear longitudes de entradas muy precisas.

A continuación se presentan los principales tipos de ataques así como sus ventajas y desventajas. En las figuras 5.5, 5.6 y 5.7 se representan las configuraciones de los ataques recomendados.

- a) El ataque es más ancho que el canal, lo que ocasiona líneas de flujo frías, debido a que el incremento de presión no es el suficiente, este tipo de ataque no es recomendado

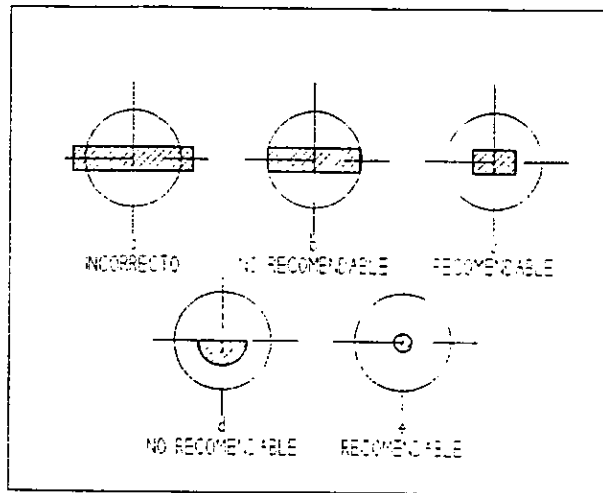


figura 5.5 Configuración de ataques.

b) El ataque es del mismo ancho que el canal anterior, aunque es mejor que el anterior, es demasiado ancho todavía.

c) Entrada rectangular estrecha, puede tener un ancho de 4 mm menor que el del canal, este tipo de ataque si es recomendado.

d) Ataque de sección en segmento; no es buena solución hidrodinámica porque proporciona líneas del flujo rfo.

e) Ataque puntiforme, muy utilizado para moldes de cavidades múltiples y pequeñas, con la ventaja que se desprende fácilmente, su diámetro varía de 0.02 mm a 3.5 mm y la longitud de 0.8 mm a 1 mm

Debido a que el ataque se debe quitar después del desmoldeo esto implica una operación adicional además no se recomienda para superficies visibles, debido a la marca que queda sobre la pieza.

1.- Ataque de abanico.

Es un tipo de inyección lateral, usada para piezas planas y delgadas ya que asegura una distribución uniforme de la mezcla, contribuye a reducir la distorsión y es adecuado para piezas rectangulares. La sección de entrada debe ser siempre menor a la del canal. Sus dimensiones suelen estar comprendidas entre 0.25 y 1.58 mm de espesor y entre 6.35 mm y el 25% de la longitud de anchura.

2.- Ataque submarina (o túnel)

Las entradas del túnel o submarina permiten la separación automática de las piezas del sistema de alimentación en el momento de expulsar la pieza. El diámetro mínimo de entrada debe ser de 0.8 mm en polímeros no reforzados y de 2 mm para los

reforzados. Estas entradas son cónicas y parten del canal de alimentación.

3.- Ataque capilar

Se utilizan mucho en la mayor parte de los polímeros de moldeo, permiten la separación automática del sistema de alimentación de la pieza. Sus dimensiones más empleadas son de 0.25 mm a 1.58 mm de diámetro

4.- Ataque por diafragma

Se utiliza con casi todos los materiales y con piezas que llevan orificios de gran superficies. Es adecuado para piezas cilíndricas que requieren buena concentricidad y una buena resistencia en la línea de unión (soldadura). Después del moldeo necesita una operación de corte de disco o diafragma. El espesor en la zona de entrada es de 0.25 mm y 0.12 mm. Se aconseja una longitud máxima de corte de 0.5 a 1 mm

5.- Ataque radial o de estrella.

Se emplean para piezas tubulares que no requieren tolerancias cerradas. Puede usarse en combinación con la entrada de anillo o cónica. Las piezas pueden presentar errores de concentricidad o líneas de unión (donde cierra la inyección) sus dimensiones están comprendidas entre 0.79 mm y 4.76 mm de espesor por 1.58 mm a 6.35 de anchura.

6.- Ataque de anillo

Se utiliza para artículos tubulares, permite que el material se distribuya alrededor del corazón del molde antes de bajar a llenar uniformemente el molde. Tienen un espesor comprendido entre 0.25 mm a 1.58 mm.

7.- Ataque lateral

Es una variante de la entrada de membrana o de abanico. Se sitúa en el lado superior o inferior de la pieza. El tamaño típico es de 0.39 mm a 6.35 mm de espesor y de 1.58 mm de ancho.

8.- Entradas de película (membrana)

Adecuadas para piezas planas o superficie amplia, en donde la distorsión o alabeo debe reducirse al mínimo. El tamaño de entrada es pequeña (aproximadamente 0.25 mm a 0.63 mm) con una anchura equivalente al 25% de la cavidad aproximadamente. La longitud de la entrada debe ser pequeña; 0.63 mm aproximadamente.

9.- Ataque de lengüeta.

Es adecuada para piezas planas. Atenúa el flujo turbulento del material en la cavidad y reduce las tensiones residuales en la zona de inyección. La pequeña área de entrada permite que la temperatura del material aumente por fricción, y la lengüeta forma una cámara que permite que el material caliente choque contra sus paredes y llene finalmente la cavidad con un flujo constante y uniforme de material bien plastificado. Las dimensiones mínimas de la lengüeta son de 6.53 mm de ancho y un sección transversal equivalente al 75%

del espesor de la cavidad. La anchura de la entrada en general, es el doble del espesor de la lengüeta.

V.5.2 CANALES DE ALIMENTACIÓN

Los canales de alimentación deben de diseñarse para llenar la cavidad del molde rápidamente, y facilitar su extracción, así como de la pieza moldeada. La superficie de los canales debe estar bien pulida para la gran mayoría de los materiales de moldeo, y en sistemas ramificados, es conveniente disponer de extractores múltiples.

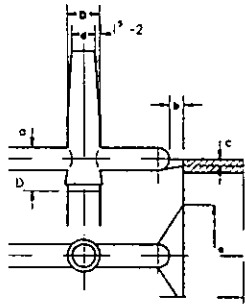
En general la longitud de los canales de alimentación debe ser mínima, se deben evitar esquinas o cantos agudos, y colocar los canales cerca de los conductos de refrigeración.

Los canales secundarios son más pequeños que los principales, pues a través de ellos pasa un volumen menor de material, y desde el punto de vista económico es conveniente utilizar en los canales de alimentación el mínimo de material.

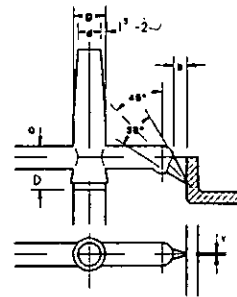
Es preferible la utilización de los canales de sección circular, ya que presentan la menor relación de superficie y volumen; con ello se tienen las mínimas pérdidas de calor y presión.

Se recomienda diámetros de 6.35 mm para canales principales, y reduciendo su sección a la mitad en el caso de canales secundarios.

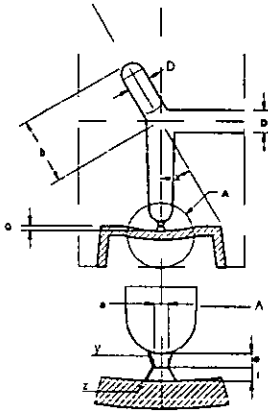
Los canales trapezoidales (sección transversal) dan buenos resultados y permite que el sistema de alimentación se sitúen en una sola parte del molde. Los canales trapezoidales tienen un ancho de 6.35 mm y 9.52 mm de profundidad; los canales secundarios se construyen con una sección de un 30% más pequeñas que la de los canales principales.



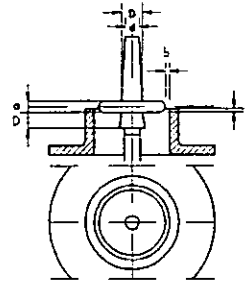
1) ENTRADA DE ABANICO



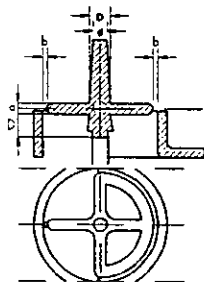
2) ENTRADA SUBMARINA



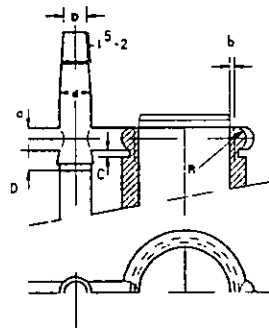
3) ENTRADA CAPILAR



4) ENTRADA POR DIAFRAGMA

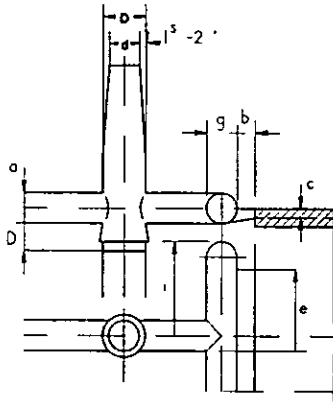


5) ENTRADA RADIAL O DE ESTRELLA

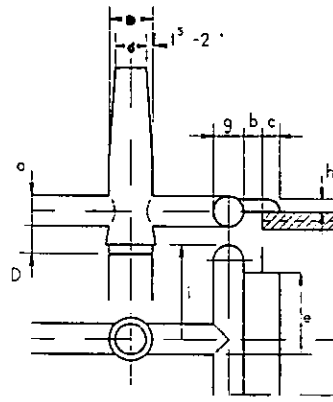


6) ENTRADA DE ANILLO

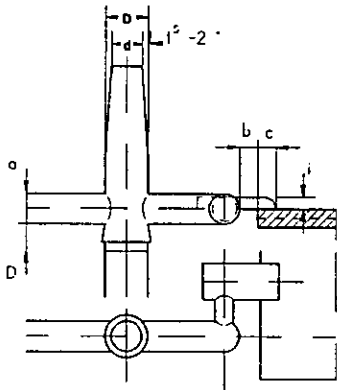
figura 5.6 Configuración de ataque. (Tomada de una publicación técnica, General Electric Plastics, Bergen Op Zoom, Holanda).



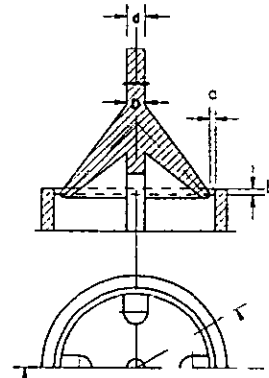
7) ENTRADA LATERAL



8) ENTRADA DE PELICULA



9) ENTRADA DE LENGUETA



10) ENTRADA CONICA

figura 5.7 Configuración de ataque. (Tomada de una publicación técnica, General Electric Plastics, Bergen Op Zoom, Holanda).

Las piezas compuestas, de gran área y aquellas derivadas con materiales de impacto requieren de sistemas de canales más grandes, con objeto de que la carga y el polímero puedan fluir dentro de las cavidades, con la mínima pérdida por resistencia al flujo.

Aún con estas consideraciones y detalles puede suceder que alguna cavidad no se llenen por completo. Un control cuidadoso del peso de las piezas permite identificar cual de ellas tiene un peso deficiente, problema que puede resolverse con un pequeño aumento en la entrada de inyección.

V.5.3 FLUJO DE MATERIAL EN LA CAVIDAD DEL MOLDE

Considerando el flujo de material de moldeo a través de un canal de sección transversal circular. Determinando el esfuerzo de corte (τ)

$$\tau = \frac{PR}{2L} \quad (5)$$

donde: P= Caída de presión a lo largo del canal
R= Radio del canal
L= Longitud del canal

Así como la velocidad de corte en la pared (v)

$$v = \frac{4Q}{\pi R^3} \quad (6)$$

donde Q= gasto volumétrico

Teniendo en cuenta que la viscosidad del polímero en condiciones de inyección es:

$$\eta = \frac{\tau}{v} = \left(\frac{PR}{2L} \right) \left(\frac{\pi R^3}{4Q} \right) \quad (7)$$

$$\eta = \frac{\pi PR^4}{8LQ} \quad (8)$$

Si se ordena la ecuación de Poiseuille para encontrar el flujo volumétrico, quedará de la siguiente manera:

$$Q = \frac{\pi PR^4}{\eta 8L} \quad (9)$$

Por lo que se ve que el gasto volumétrico en la entrada de la cavidad del molde, depende mucho de los cambios de dimensiones del canal especialmente de R, por cambios en el valor de la viscosidad debido quizá a las variaciones de temperatura, suponiendo que P permanece constante.

En general el flujo del material queda determinado, por la disposición, forma, colocación de los canales y ataques. Evitándose esquinas agudas, reducciones excesivas de sección, recorridos largos del material a través del sistema de alimentación y caídas de temperaturas.

En las figuras 5.8 , 5.9 y 5.10 se muestran las líneas de flujo de material para las distintas formas de piezas, en función de la ubicación de las entradas, donde todas ellas son recomendables.

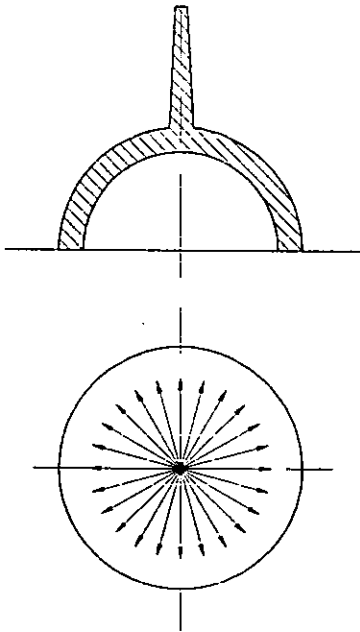
V.5.4 MOLDEO SIN CANALES DE ALIMENTACIÓN

Un problema importante que existe en el moldeo por inyección es el de los desperdicios. Los moldes que se describieron anteriormente, producen una cantidad irreducible de desperdicios de canales de alimentación, mazarotas, bebederos y algunas piezas defectuosas. Por estas razones el diseño moderno de moldes tiende a reducir la cantidad de material en el canal de alimentación

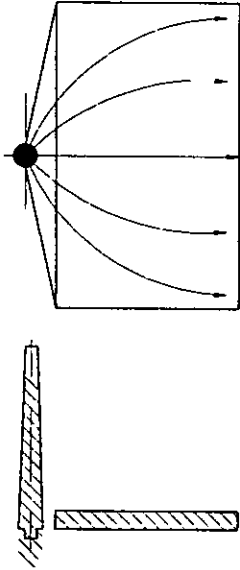
En el mejor diseño del molde el canal de alimentación prácticamente se elimina en su totalidad, es el proceso de moldeo sin canales de alimentación.

Las técnicas que se emplean son la siguientes:

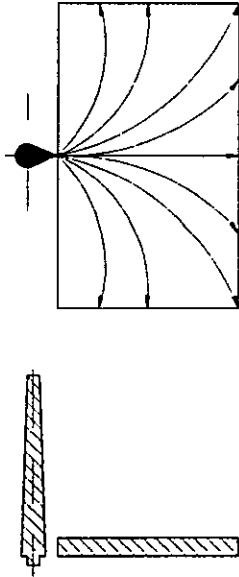
- a) La boquilla se sitúa directamente sobre la cavidad del molde.
- b) Este moldeo sin canales de alimentación se recomienda para piezas muy grandes y de impresión simple.
- c) La masa llega a la cavidad del molde directamente sin recorridos curvos
- d) Resulta desventajoso el empuje lateral contra el molde y la pieza de cierre del mismo.



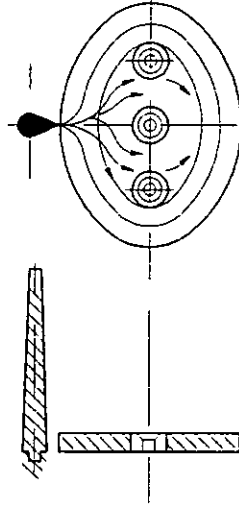
A) Cono bebedero central.



B) Cono bebedero de rejilla ancha.

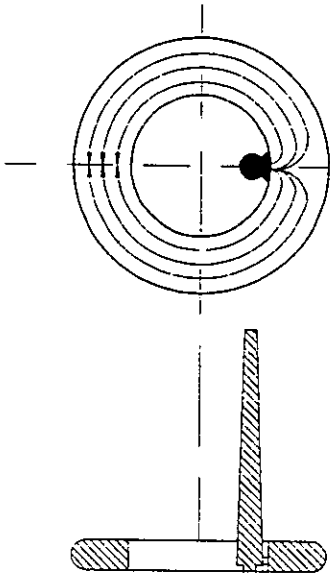


C) Cono bebedero asimétrico situado afuera.

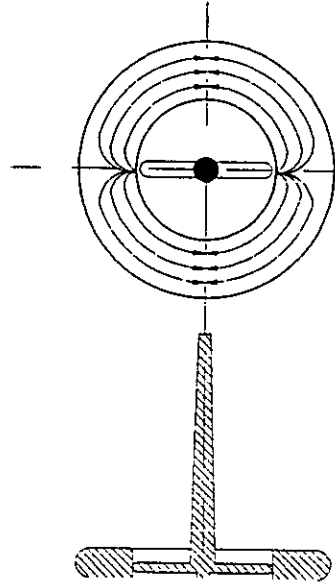


D) Cono bebedero asimétrico situado afuera.

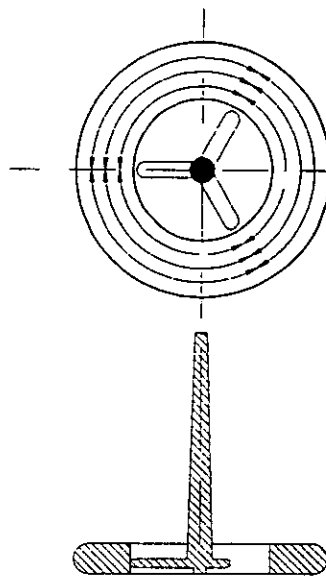
figura 5.8 Representación esquemática del flujo de material con diversos tipos de colada.



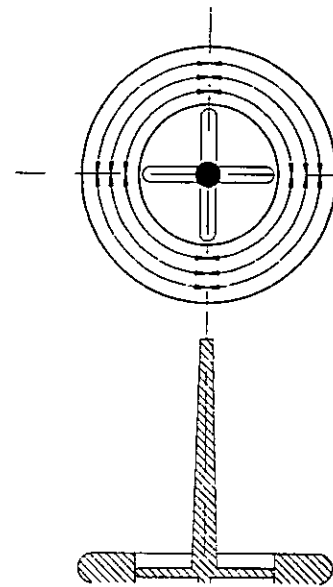
E) Cono bebedero asimétrico situado dentro.



F)



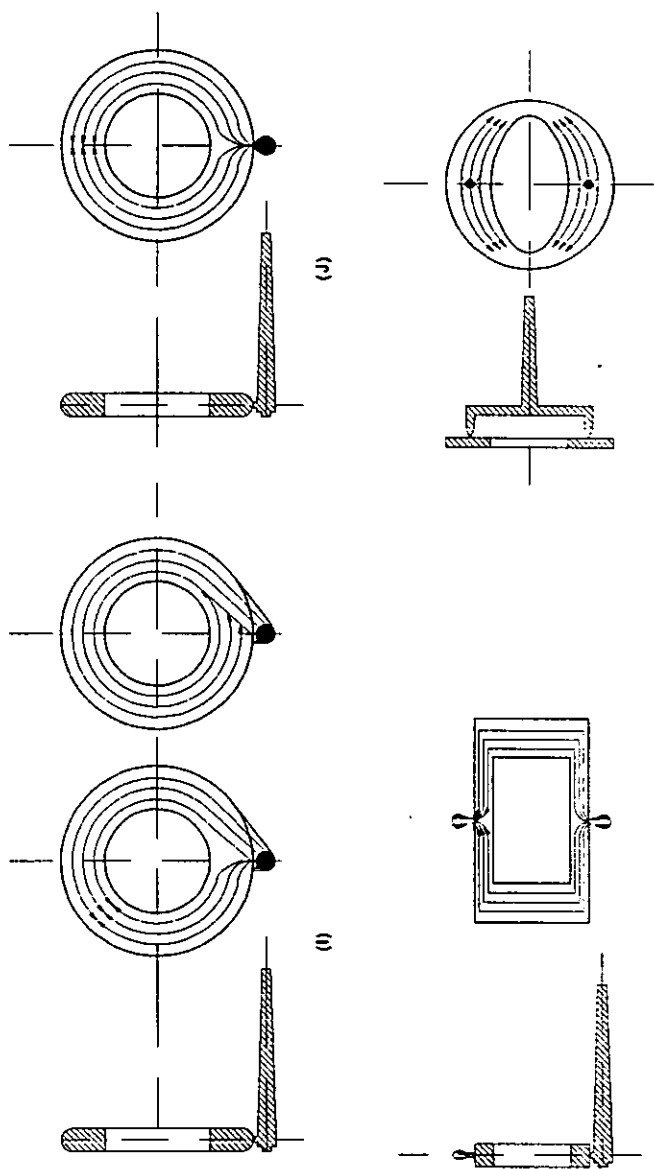
G)



H)

F, G y H Conos bebederos simétricos de ataques múltiples.

figura 5.9 Representación esquemática del flujo de material con diversos tipos de colada.



(H, I, J) Conos bebederos asimétricos, situados afuera.

(K) Cono bebedero con ataque puntiforme doble.

(L)

figura 5.10 Representación esquemática del flujo de material para diversos tipos de colada.

CAPÍTULO VI

MATERIALES PARA FABRICACIÓN DE MOLDES

VI.1 SELECCIÓN DE MATERIALES PARA LA FABRICACIÓN DE MOLDES

Para la fabricación de moldes de materiales plásticos y elastómeros se emplean materiales tales como; aceros de aleación, aceros para herramientas, aceros para punzonado y embutido tratados térmicamente, metales no ferrosos y materiales no metálicos.

Para la selección de materiales para la fabricación de moldes se requiere evaluar varios factores como son:

- Dimensiones de la pieza a moldear(forma, tamaño, peso, etc.)
- Características del material de moldeo fundido(viscosidad, temperatura de curado, presión, refuerzos, inserciones metálicas, etc).
- Cantidad de piezas a producir.
- Método par la fabricación del molde(por maquinado convencional, electroerosión (EDM), electroformado, embutido, colado, etc)
- Costos de fabricación del molde(este es un factor importante pues es necesario elegir los materiales idóneos para las diferentes partes del molde, con el fin de asegurar la eficiencia , duración y precisión para las condiciones previstas de diseño).
- Tiempo de ciclo de inyección (esta definido en base a la temperatura de curado o endurecimiento de pieza)
- Número de piezas a producir (esta define la duración de la vida útil del molde)
- Función y nivel de servicio requerido de cada componente del molde.
- Propiedades físicas de los materiales empleados en la fabricación de moldes(conductividad térmica, resistencia a la abrasión, deformación, resistencia a la corrosión, etc.).

VI.2 ACEROS PARA MOLDES

Las características que debe poseer un acero para moldes, deben ser tales que hagan de él un material útil para la formación del molde, que puede maquinarse, templarse mediante un adecuado tratamiento térmico para lograr una mejor resistencia al desgaste, tenacidad, estabilidad dimensional y una mejor resistencia a la deformación bajo la acción de presiones que pueden romper o deformar las partes de acero más duras. Para ello se requiere que los aceros empleados en la fabricación de moldes posean la siguientes propiedades:

a) Facilidad de maquinado

Es la capacidad que presentan los aceros para ser cortados libremente y producir un buen terminado después de maquinado. La facilidad de maquinado de una pieza de acero depende de la dureza de este y de su microestructura (cantidad de carburos duros en exceso en la superficie) y de su ductilidad. Para la fabricación económica de moldes es necesario emplear aceros que se maquinen fácil y uniformemente.

b) Seguridad en el tratamiento térmico

Una característica muy importante en un buen acero para moldes es la seguridad en el recocido, templado y revenido satisfactorio en las diferentes piezas que lo conforman, usando métodos distintos pero obteniendo resultados uniformes.

c) Estabilidad dimensional

Se recomienda que los aceros empleados para la fabricación de moldes no presenten deformaciones en el momento de soportar las presiones de inyección, y que durante el calentamiento del molde las dilataciones térmicas sean mínimas.

d) Resistencia a la abrasión

La resistencia al desgaste se define como, la pérdida de tolerancias dimensionales. Esta es una característica fundamental que debe poseer un acero par uso general para moldes.

e) Resistencia a la corrosión

La resistencia a los ataques químicos se consigue empleando aceros inoxidable o aceros con un revestimiento protector(cromado, níquelado, etc). Se recomienda que la capa protectora en los revestimientos galvánicos sea de 0.2 mm de espesor para evitar tensiones internas en la dicha capa protectora. Es indispensable evitar las esquinas muy agudas en el molde. Es importante considerar que la resistencia a la corrosión se consigue a costa de dureza y la resistencia a la abrasión.

f) Dureza y tenacidad aceptables

Los aceros necesitan una superficie dura y su parte interna debe ser muy tenaz, en cuanto mayor sea el molde, mayor debe ser la resistencia que debe tener la parte interna del molde, para impedir su deformación. Esta característica se obtiene con un adecuado tratamiento térmico.

g) Facilidad de acabado

La estructura del acero debe ser uniforme y estar relativamente libre de heterogeneidad en la aleación. También debe ser uniformemente por análisis químico. Un buen acero para molde debe estar limpio; es decir no debe tener oquedades, inclusiones no metálicas ni porosidades que den lugar a picaduras durante el pulido.

VI.2.1 ACEROS DE ALEACIÓN

Es una clasificación de aceros de acuerdo a su contenido de carbón y elementos de aleación. Se consideran aceros de baja aleación (suma de elementos aleados menor al 8%) y de alta aleación (cuando los elementos en aleación suman mayor al (8%).

Los aceros de aleación se diferencian de los aceros de herramienta por varias causas. Su contenido de carbón disminuido y se han añadido otros elementos para comunicar al acero ciertas características únicas. En la tabla 5.1 se muestran algunos elementos utilizados en la obtención de los distintos aceros de aleación y se especifican las propiedades que proporciona al acero cada una de ellas.

Tabla 6.1 Propiedades de elementos de aceros aleados.

Elemento	Características o acción
Silicio	Dureza
Carbono	Endurecedor
Manganeso	Desoxida durante el proceso de fabricación y aumenta la resistencia
Níquel	Tenacidad y resistencia
Cromo	Dureza
Vanadio	Depurador. También aumenta la resistencia a la fatiga
Molibdeno	Amplía el margen de tratamiento térmico
Tungsteno	Dureza y resistencia al calor.

VI.2.2 ACEROS PARA HERRAMIENTA

El término acero para herramientas suele emplearse a aquellos aceros especiales de alta calidad, utilizados para corte y formado principalmente.

El método de identificación y tipo de clasificación de los aceros para herramientas adoptado por AISI (American Iron and Steel Institute) tiene en cuenta el método de templado, aplicaciones, características particulares. Los aceros para herramientas que más se utilizan se han agrupado en siete grupos asignándole una letra a cada grupo para su fácil identificación.

El acero para herramientas fue el primer material que se empleo en grandes cantidades para la fabricación de moldes de plástico. Su muchos defectos y desventajas condujeron a la aparición de aceros de aleación especiales para la fabricación de moldes empleados en el moldeo de piezas de plásticos.

Estos aceros se maquinan fácilmente, pero no son adecuados para embutición con punzón de forma. Una vez templado un bloque de acero para herramientas tiene aproximadamente la misma dureza en todas las direcciones, por lo que carece de un núcleo tenaz. Como consecuencia de todo esto, el molde tiende a romperse en lugar de deformarse cuando se le aplica unan presión excesiva. Otro conveniente que presenta el acero para herramienta es su alto costo inicial.

En la tabla A.1 (Ver anéxo) se aprecia un fragmento de los aceros para herramientas más comunes; donde la tenacidad, dureza al rojo, seguridad en el endurecimiento y resistencia a la descarburización. Se han clasificado cualitativamente en buenos, regulares y eficiente.

VI.2.3 ACEROS PARA PUNZONADO Y EMBUTIDO

Para la fabricación de punzones de forma, se emplean aquellos aceros que poseen una alta resistencia a la compresión y suficiente tenacidad. Los aceros empleados comúnmente son los aceros para estampado en frío como los A2, A6 y S1 templado en aceite pues presenta una mínima variación dimensional.

Las caracterfsticas principales que deben poseer los aceros para embutir es una buena plasticidad cuando se ha recocido y presentar buena estabilidad dimensional durante el temple.

El P1 según AISI es de entre todos el más fácil de embutir ya que casi es hierro puro. Le siguen otros aceros mas o menos semejantes hasta incluso el P6 que posee suficientes elementos de aleación para dar una dureza en el núcleo de aproximadamente 20 Rockwell C después de haber recibido un tratamiento térmico de cementación.

VI.2.4 ACEROS INOXIDABLES

Algunos polímeros desprenden durante su moldeo sus productos corrosivos(ácido clorhídrico o ácido acético) esto produce corrosión en los elementos de acero que se encuentran en contacto con el material de moldeo.

Aunque existen muchas aleaciones de aceros inoxidables, solo unos cuantos pueden tomarse en cuenta para utilizarlos en moldes que han de estar sometidos a fuertes presiones y además que sean capaces de templarse, dentro de la serie AISI 400 se encuentran los tipos 420, 416, y 431.

Es importante tomar en cuenta que la resistencia a la abrasión y la conductividad térmica son considerablemente menores que en los aceros no inoxidables

En la tabla A.2 y A.3 (Ver anéxo) se presentan fragmentos de tablas de aceros que se encuentran en el mercado; como son Aceros Fortuna y Palme. En ellas se encuentra los aceros para moldes para plásticos equivalentes de AISI

VI.3 MATERIALES NO FERROSOS

En la fabricación de moldes para inyección después del acero se emplean muchos otros materiales diferentes a ese, pero solo se emplean para moldeo de pruebas de ensayo, prototipos, pequeñas series de producción y en ocasiones en el moldeo de inyección.

Los principales materiales empleados para la fabricación de moldes no ferrosos son:

- Cobre y sus aleaciones
- Aleaciones de zinc.
- Aleaciones de Aluminio
- Aleaciones de estaño—bismuto
- Materiales no metálicos

VI.3.1 COBRE Y SUS ALEACIONES

Las características del cobre empleado para la fabricación de moldes es la alta conductividad térmica y flexibilidad que presenta el material, por lo que respecta a sus propiedades mecánicas son moldeadas aunque se conformen ó laminen en frío, sin embargo mejora sus propiedades en aleación con otros elementos. Las aleaciones más conocidas de cobre empleadas para la fabricación de moldes son:

VI.3.1.1 ALEACIONES COBRE—BERILIO

Las mejores propiedades físicas, de esta aleación para la fabricación de moldes son; densidad uniforme, buena resistencia a la compresión (80 a 150 Kg/mm²), buen acabado superficial, son suficientemente resistentes a la corrosión y en casos necesarios pueden ser cromados o niquelados.

Las aleaciones cobre—berilio se emplean principalmente para elementos internos del molde y fabricación de boquillas, siempre que sean prioritarias las necesidades referentes a la conductividad térmica.

VI.3.1.2 ALEACIONES COBRE—ZINC

A esta aleación se le conoce como latón, se emplea muy poco para la fabricación de moldes, debido a su baja resistencia a la abrasión, generalmente se emplea en boquillas por su buena conductividad térmica

VI.3.1.3 ALEACION COBRE—ESTAÑO (BRONCE, LATÓN ROJO)

Esta aleación presenta baja resistencia a la tracción (entre 50 y 60 Kg/mm²), por lo que su uso en la fabricación de moldes es muy limitado. El bronce se emplea principalmente en la fabricación de moldes para soplado y al vacío. Aprovechando como todas la aleaciones de cobre su buena conductividad térmica y su facilidad de colado.

VI.3.2 ALEACIONES DE ZINC

Debido a sus reducidas propiedades mecánicas las aleaciones de zinc se emplean poco para moldes de prueba de inyección y la obtención de reducidas series de producción. Sus temperatura de fusión es de aproximadamente 390° C además que se deforma con presiones altas y por lo general se refuerza con armazones de acero, con el fin de disminuir las deformaciones.

VI.3.3 ALEACIONES DE ALUMINIO

Las ventajas prácticas del aluminio son: su bajo peso específico, su elevada conductividad térmica, su buena estabilidad química, y su fácil mecanizado.

En las aleaciones de aluminio hay que tomar en cuenta su pequeño módulo de elasticidad en comparación con el del acero, la elevada dilatación térmica y la alta sensibilidad a la entalladura. Deben evitarse las esquinas agudas y las superficies sometidas a los mayores esfuerzos, debe de pulirse cuidadosamente.

Tomando en cuenta sus bajas propiedades mecánicas las aleaciones de aluminio se emplean frecuentemente para la obtención por soplado de cuerpos huecos, en el moldeo al vacío y en moldes para la elaboración de espuma estructural.

VI.3.4 ALEACIONES ESTAÑO—BISMUTO

Las características de las aleaciones estaño—bismuto son: su alto peso específico, son relativamente blandos, poseen un bajo punto de fusión (138 y 170 °C). Al solidificarse no produce contracción alguna por ello con tales materiales se consiguen reproducciones muy exactas en cuanto a sus dimensiones. Debido a sus bajas propiedades mecánicas, los moldes fabricados con este tipo de aleaciones son apropiados solamente para inyecciones de ensayo.

VI.3.5 MATERIALES NO METÁLICOS

Algunos materiales no metálicos tales como: madera contrachapeada, diversos materiales termofijos (resinas, epoxicas, etc,) reforzados con fibras y rellenos. Estos moldes fabricados con materiales no metálicos se aplican principalmente en la obtención de piezas moldeadas al vacío, prototipos, trabajos de desarrollo para copiado y similares. Además las zonas que soportan esfuerzos altos pueden reforzarse mediante inserción de elementos metálicos.

Estos moldes pueden obtenerse en forma particularmente económica y no exigen conocimientos excesivos por parte del constructor.

CAPÍTULO VII

FABRICACIÓN DE MOLDES

VII.1 POR MAQUINADO CONVENCIONAL

En la mayor parte de los procesos de fabricación de moldes, puede realizarse con máquinas—herramientas.

En estos procesos de corte de metal, se aplica una fuerza mecánica uniforme, con una velocidad bien controlada, mediante una herramienta de corte con uno o más filos. Básicamente consiste en el arranque de viruta hasta obtener las dimensiones deseadas.

Con este tipo de maquinado se deja al molde prácticamente acabado, de tal forma que solo sea necesario un pequeño acabado, el cual se puede realizar manualmente. El trabajo posterior queda limitado al pulido necesario para conseguir una buena calidad de superficie.

En este proceso de maquinado se emplean principalmente, máquinas herramientas; como sierras, cepillos, limadoras, tornos, fresadoras, rectificadoras y pantógrafos.

a) Sierras

Dentro de las máquinas de corte tenemos, las sierras cintas, de disco abrasivo, sierras mecánicas (de movimiento alternativo) y sierras circular de disco con puntas de carburo. Se utilizan para cortar barras o planchas de acero en su forma comercial.

b) Cepilladoras y Limadoras

Se utiliza para escuadrar bloques rectangulares al tamaño requerido. Mediante una herramienta de corte de un solo filo.

c) Tornos

Se emplean para maquinar formas redondas, roscas internas y externa así como, para taladrar, pulir, abrillantar, etc.

d) Fresadoras

El fresado es un proceso de cortar metales en forma rectangular. Las fresas suelen ir provistas de varios accesorios que permiten una mayor flexibilidad de manipulación. Junto con los distintos dispositivos y accesorios, las fresadoras son las máquinas—herramientas más versátiles en la fabricación de moldes.

e) Rectificadoras.

Cuando se temple un acero invariablemente se producen deformaciones, esto lleva consigo la necesidad de maquinarse a las dimensiones deseadas después del templeado.

El rectificad Es el medio más efectivo para maquinar el acero templeado, las rectificadoras se utilizan cuando se desea obtener un buen acabado en bloques de acero.

f) Pantógrafo.

Tiene una función similar a las máquinas duplicadoras, sin embargo tienen una relación mayor a 1:1 y pueden llegar a ser de 20:1 Estas máquinas se utilizan para grabado automático, cuando existe una gran relación de reducción, detalles complicados, etc.

VII.2 DESPLAZAMIENTO DE METAL POR EMBUTIDO

La embutición con punzón en frío es un proceso mecánico en el que una pieza de acero templeado, se fuerza a penetrar bajo una gran presión en un bloque de acero recocido dando lugar a la cavidad deseada.

Este proceso se emplea cuando hay que obtener cavidades de molde con una superficie que es difícil conseguir con el maquinado convencional

El punzón, estampa o troquel se trabaja exteriormente según el perfil deseado. El contorno puede labrarse en una superficie exterior mucho más rápida, exacta y con un bajo costo que el correspondiente a una cavidad del molde.

Las dimensiones de la matriz dependen del contorno y por tanto del punzón a emplear. Para garantizar el flujo de material en la matriz al proceder al embutido, conviene que la altura de la matriz no sea menor de 1.5 a 2.5 veces al diámetro del punzón. Si el flujo del material desplazado no es correcto, se produce un embutido a sacudidas que da lugar a una superficie escamosa. Las dimensiones de los contornos a embutir, están limitadas por la carga máxima que soportan los punzones, cuando los contornos son profundos, el embutido muchas veces no se puede realizar en un solo proceso de trabajo; hay que efectuar entonces un recocido intermedio de la matriz, pudiendo ser en casos necesarios, varios recocidos intermedios.

Es de gran importancia la superficie de la matriz y del punzón. Conviene que las superficies del punzón estén bien pulidas, para facilitar el flujo del material durante el embutido o estampado y evitar la adherencia o soldadura en frío. Por la misma razón. Se procura una suficiente lubricación.

La calidad superficial de las cavidades obtenidas por embutido se debe a que no se cortan las fibras del material, contrariamente a lo que ocurre con el mecanizado convencional.

Finalmente las piezas obtenidas por embutido se someten a un recocido, para eliminar las tensiones internas antes de la elaboración final, para que en el templeado definitivo no puedan producirse deformaciones.

VII.3 POR ELECTROEROSIÓN

El proceso de electroerosión o maquinado por descarga eléctrica (EDM), es uno de los más modernos. Consiste en aplicar descargas eléctricas entre dos conductores (electrodo y pieza de trabajo) de corriente directa, aplicada en periodos de tiempo relativamente cortos, generando un campo eléctrico en el entrehierro del electrodo y la pieza de trabajo. Los electrodos producen una chispa que cruza el entrehierro y funde una pequeña cantidad de metal de electrodo y el material de trabajo, si éstas acciones se controlan dentro de un dieléctrico las descargas eléctricas de pequeños impulsos se concentran en una área pequeña, el metal desprendido forma pequeños cráteres en la pieza de trabajo como se muestra en la figura 7.1 Las partículas separadas son transportadas por el dieléctrico hacia afuera de la zona de trabajo.

Por lo tanto el maquinado por electroerosión depende de las secuencia de impulsos eléctricos, del entrehierro, de las características del electrodo, de la forma de pieza de trabajo y de las propiedades del dieléctrico.

Para minimizar el desgaste de la herramienta, la polaridad se elige de manera que la mayor cantidad de calor sea generada sobre la pieza a trabajar, por lo tanto, si los pulsos son cortos la herramienta tiene polaridad positiva. La duración los impulsos a la cual se cambia la polaridad, depende de la forma de la pieza a trabajar y del material del electrodo. En general la herramienta sufre desgaste más lento con impulsos de voltaje largas.

El intervalo entre dos descargas eléctricas consecutivas es muy importante, por lo general , con intervalos pequeños se obtienen altas velocidades de remoción y poco desgaste de la herramienta.

VII.3.1 ELECTRODOS (E.D.M)

El electrodo reproduce fielmente su forma en la pieza de trabajo, en esencia su acción puede considerarse comparable a la de una herramienta de corte convencional. Las cualidades deseables del material para electrodos es:

- Muy buena conductividad eléctrica
- Alta velocidad de remoción de material de la pieza
- Bajo desgaste
- Facilidad para producir piezas con dimensiones exactas y buen acabado superficial.
- Buena moldeabilidad o fácil de fabricar
- Bajo costo

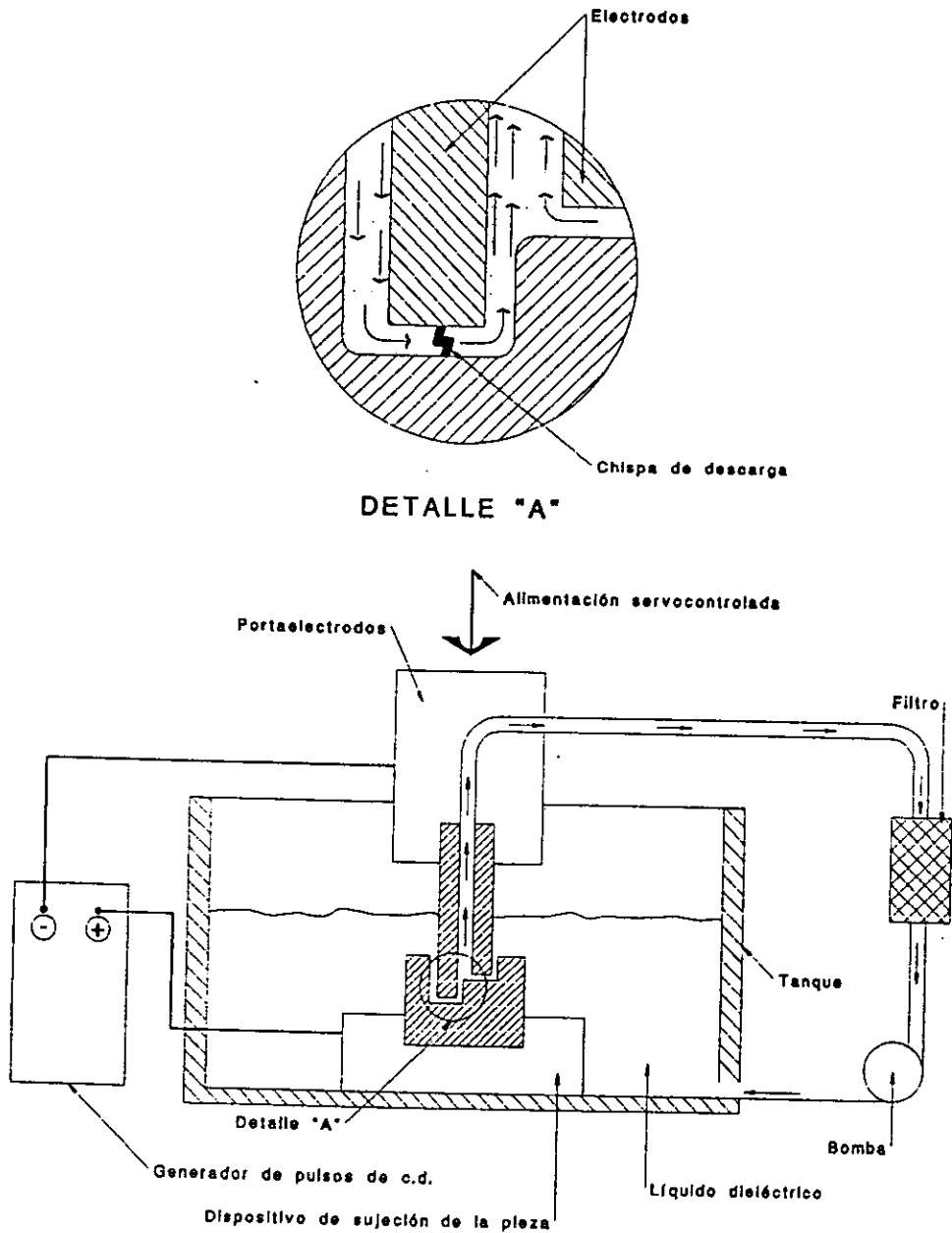


figura 7 . 1 Maquinado por electroerosión (MDE)

VII.3.2 DIELÉCTRICOS.

En el proceso de electroerosión el fluido dieléctrico es imprescindible, pues sin su presencia no tendría lugar la descarga eléctrica que produce la electroerosión.

Su principal función es el aislamiento eléctrico de los dos electrodos (cátodo y ánodo) que intervienen en el proceso, hasta que el campo eléctrico alcanza un determinado valor, denominado rigidez dieléctrica

En este momento el fluido se ioniza y conduce la descarga, comportándose como un buen aislante.

Además de esta característica debe refrigerar la herramienta y la zona de trabajo, que se calientan por el efecto térmico del proceso, siendo también un medio eficaz para la eliminación del material fundido.

Las características primordiales que deben tener los fluidos dieléctricos son las siguientes:

- No debe tener afecto alguno sobre los materiales de la pieza a mecanizar, ni sobre los electrodos
- Baja viscosidad con el fin de penetrar por todos los rincones de la pieza.
Debe poseer una constante dieléctrica adecuada (debe ionizarse a potencias de entre 40 y 400 v).
- El punto de inflamación será tan alto como sea posible a prevenir cualquier riesgo de incendio (como orientación deberá ser superior a 100°C).
- Deberá conservar sus propiedades tanto físicas como químicas.
- No contaminará el lugar de trabajo con vapores nocivos.
Su precio será acorde con sus características y calidad.

De los dieléctricos más utilizados son: el petróleo, agua desmineralizada, aceites minerales, keroseno.

En las tablas 7.1 y 7.2 se describen varias aplicaciones de distintos materiales para la fabricación de electrodos de (M.D.E), así como sus ventajas desventajas respectivamente.

Tabla 7.1 Aplicación de varios materiales para electrodos

MATERIAL DEL ELECTRODO	FORMA DEL ELECTRODO	RELACION DE DESGASTE		MAQUINABILIDAD
		Acabado de bordes	Acabado fino en esquinas	
Grafito	Bloque, varilla, tubo y barra	100:1	5:1	A
Cobre—Tungsteno	Barra cortas, secciones rectangulares, cuñas insertadas, alambre, tubo y varilla	8:1	3:1	C
Bronce	Barra, varilla, tubo y lámina	1:1	0.7:1	B
Cobre	Como el bronce	2:1	1:1	B
Plata—Tungsteno	Todas las producidas por pulvimetalurgia	12:1	8:1	C
Tungsteno	Alambre, varillas y cintas	10:1	5:1	D
Carburo de Tungsteno	Varillas	10:1	6:1	D
Acero	Todas las formas	4:1 1.5:1	4:1 1:1	A A
Zinc—Estaño	Dados obtenidos por fundición	2:1	0.7:1	B
Aluminio	Perfiles fundidos o forjados	5:1	0.5:1	B
Molibdenu	Varillas, alambre y tubos	8:1	3:1	D
Niquel	Todas las formas	8:1	5:1	C

MATERIAL DEL ELECTRODO	USOS RECOMENDADOS		USOS NO RECOMENDADOS	OBSERVACIONES
	Material de la pieza	Aplicación		
Grafito	Acero	Herramental	Carburos	relación de desgaste: volumen de material eliminado en pieza/ volumen de material desprendido del electrodo A=Excelente B=Buena C=Regular D=Pobre (a)=Especialmente metales refractarios (b)=Cavidades solamente (c)=Aleaciones zinc—estaño solamente
Cobre—Tungsteno	Todos	Ranuras	Grandes áreas	
Bronce	Todos	Agujeros	Exactitud elevada	
Cobre	Todos	Agujeros	Como el Bronce	
Plata—Tungsteno	Todos	Ranuras y agujeros pequeños	Agujeros irregulares	
Tungsteno	Todos (a)	Ranuras y agujeros pequeños	Agujeros irregulares	
Carburo de Tungsteno	Todos (a)	Ranuras y agujeros pequeños	Agujeros irregulares	
Acero	No ferroso Acero	Agujeros pasados Dados para estampar	Carburos Carburos	
Zinc—Estaño	Acero	Dados para forja (b)	Agujeros(c)	
Aluminio	Acero	Dados para forja (b)	Material Dieléctrico del	
Molibdenu	Refractarios	Agujeros	Material Dieléctrico del	

TABLA 7.2 Ventajas y desventajas de varios materiales para electrodos

MATERIAL DEL ELECTRODO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
GRAFITO(POLARIDAD INVERTIDA EN DESBASTE)	Fácil de maquinar Puede adherirse al portaelectrodo con adhesivos Puede montarse en portapunzones del mismo modo que en portaelectodos Puede usarse con una corriente apropiada para que no existe desgaste durante el maquinado basto Bajo costo	Se debe maquinar completamente, ya que no puede grabarse por ataque químico. Requiere muy buen flujo de aceite dieléctrico vibración o retiros periodicos(durante el proceso) Pueden ocurrir arcos dañinos al maquinar carburos El aceite deléctrico ablanda el grafito, de modo que no puede cementarse para reutilizarse
ALEACIONES DE COBRE TUNGSTENO (POLARIDAD INVERTIDA AL MAQUINAR ACERO)	Puede adherirse al portaelectrodos mediante soldadura de latón Buena resistencia mecánica en los cantos Puede producir superficies con acabado inferior a $1 \mu m$	La soldadura puede ablandar el material del electrodo, puede ser necesario un rectificado para restablecer la dureza Cuesta más que el grafito.
ACERO (POLARIDAD INVERTIDA)	Bueno para maquinar pocos dados Recomendable para maquinar punzones pequeños	La relación de desgaste sólo es satisfactoria para ciertas combinaciones de aceros El tiempo de maquinado es aproximadamente cinco veces mayor que con electrodo de grafito
ALEACIONES DE ZINC—ESTAÑO(50% —50%)	Fácil de acuñar a dimensiones exactas Permite maquinar formas complejas Baja temperatura de fusión (cerca de $343 \text{ }^\circ\text{C}$) Fácil de moldear por fundición Puede refundirse indefinidamente para reutilizarse Cuesta menos que la mayoría de los electrodos maquinados	No se puede producir detalles finos Tiene rápido desgaste en las esquinas

Tabla 7.2 (continuación)

MATERIAL DEL ELECTRODO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
ALEACIONES DE ZINC—ESTAÑO(70% —30%)	Mejor relación de desgaste que la aleación zinc—estaño (50% —50%)Admite corrientes como de 150 amp.	La precisión de los electrodos obtenidos por fundición disminuye con la disminución del porcentaje de estaño. En la acuñación de los electrodos se requiere mayor presión que para la aleación zinc—estaño (50%—50%)
ALEACIONES DE ALUMINIO(POLARIDAD INVERIDA)	La corriente puede ser como de 270 amp. Permitiendo velocidades de remoción de material mayores de 245 806 mm /h La relación de desgaste es semejante a las aleaciones zinc—estaño (70% —30%)	Alta temperatura de fusión (660°C)
COBRE	Bajo costo Fácil de maquinar Mayor relación de desgaste que el bronce Produce superficies con acabados extremadamente finos	Menos relación de desgaste que el grafito
BRONCE	Disponible en tubos pequeños e insertos en forma de cuña Puede maquinar casi cualquier material	Relación de desgaste tan baja como 16 para electrodos pequeños, en el maquinado de tungsteno
ALEACIONES PLATA—TUNGSTENO ALEACIONES PLATA—CARBURO DE TUNGSTENO	Buenas relaciones de desgaste, realiza cortes precisos Buena resistencia mecánica en borde Porciones delgadas resisten vibración durante el uso Las aleaciones plata—carburo de tungsteno no requieren de fluido dieléctrico para cortes poco profundos	El costo inicial es alto Difícil de maquinar No magnético

VII.4 ELECTROEROSIÓN QUÍMICA

Las técnicas de remoción de material o grabado se han utilizado desde los tiempos más remotos, en una gran variedad de aplicaciones.

La mayor parte de los metales o aleaciones que se utilizan en la fabricación de cavidades para molde se atacan o corroen bajo la acción de soluciones ácidas o alcalinas. En primer lugar se aplica sobre la superficie del metal una película protectora resistente a la solución se sumerge la pieza a erosionar en la solución química, durante un tiempo predeterminado.

Por el ataque ácido se pueden formar letras, números, marcas comerciales, logotipos en bajo relieve o altoprelieve. Los especialistas pueden reproducir texturas de tejido y cuero fino sobre piezas moldeadas, grabando químicamente el detalle inverso en la cavidad de un metal duro.

Las dos variables más importantes en la remoción química de materiales son la solución química o mordente y la película resistente al mordente. El uso principal de la mascarilla o capa protectora, es proteger parte de la superficie del molde contra la acción del mordente; por lo tanto la acción del mordente será selectiva, y se aplicará para producir la forma deseada de la pieza.

Los materiales más empleados en la aplicación de capa protectora son; vinilo, neopreno y butilo, se aplican sobre la superficie de trabajo por inmersión, aspersión, circulación, o con rodillos. El espesor de la película formada en la superficie de trabajo varía de 0.025 a 1.27 mm según el tipo de mascarilla, material base y el tipo de mordente.

El paso final es quitar el protector, lo cual puede quitarse a mano o sumergir la pieza en un disolvente.

VII.5 MAQUINADO ELECTRÓLITICO (M.E)

Todos los procesos electroquímicos se basan en la ley de Faraday que dice si se colocan dos metales en un electrolito y se conectan a una fuente de corriente continua (directa) el metal del polo positivo (ánodo) se desprende y se deposita en el polo negativo (cátodo)

Este proceso consta del ánodo, cátodo y el electrolito. Además de la celda básica, el sistema tiene algunos componentes mecánicos para hacer circular el electrolito y colocar el electrodo que es la herramienta de corte.

Se utiliza como fuente una corriente continua constante y de bajas fluctuaciones. Cuando la corriente circula por el electrolito que esta en constante movimiento, ocasiona que algunos de los iones del fluido desprendan iones metálicos de la pieza de trabajo. Los iones metálicos se enlazan con los iones del electrolito, entran en solución y se separan del entrehierro formado entre el electrodo y la pieza de trabajo.

Esta acción electroquímica es la fuerza cortante básica en este proceso. Debido a que el electrolito esta en circulación constante, no se deposita metal en la superficie del electrodo, el cual nunca toca a la pieza de trabajo y no sufre desgaste ni daños por calor.

Entre las ventajas y limitaciones del maquinado electroquímico están las siguientes:

- Se pueden trabajar metales difíciles de maquinar con otros procesos
- Se maquinan formas complejas con movimientos monoaxiales concentrado en áreas pequeñas de trabajo
- Baja temperatura de maquinado, aproximadamente 98°C
- El proceso no daña a la pieza térmicamente, es decir no se producen esfuerzos residuales.
- Prácticamente no se produce calentamiento ni fricción
- El desgaste es mínimo en los electrodos.
- La pieza acabada queda libre de rebabas.
- La velocidad de arranque de material es independiente de la dureza y tenacidad de la meta.
- Alto costo de los electrodos
- Problemas de corrosión y seguridad.

VII.5.1 ELECTRODOS(M.E)

El diseño y construcción de electrodos es uno de los aspectos más críticos del maquinado electrolítico.

Las cualidades de los metales empleados en la fabricación de los electrodos son; resistencia mecánica, facilidad de maquinado, baja resistividad eléctrica, buen conductor eléctrico, buena conductividad térmica, alta resistencia a la acción química del electrolito y fácil de reparar. Los metales más empleados para electrodos de M.E. son; cobre, bronce, acero inoxidable, titanio y cobre—tungsteno. Entre los más preferidos esta el cobre y el bronce debido a que para un mismo valor de corriente de corto circuito intensa resultan menos dañados que los otros metales, ya que poseen una mayor conductividad térmica, y por lo tanto conducen el calor hacia afuera con mayor rapidez.

Por lo general al electrodo se le da la forma de la imagen que proyectaría la pieza al verse en un espejo, la función del electrodo es proporcionar una ruta definida para el flujo de corriente; sus dimensiones deben ser ligeramente superior de las nominales de la pieza para permitir un corte posterior a ésta; el excedente del material dejado puede ser de 0.025 a 0.76 mm dependiendo del flujo del electrolito y de la precisión dimensional requerida.

La sección transversal del electrodo debe ser suficientemente grande para proporcionar resistencia y rigidez mecánica. El diseño del electrodo debe permitir el flujo uniforme del electrolito en toda las áreas maquinadas, además, con suficiente rapidez para disipar el calor generado y mantener inalterada la composición química del electrolito cerca de las superficies de trabajo.

VII.5.2 ELECTRÓLITO

A diferencia del dieléctrico usado en electroerosión, cuya función es de aislamiento entre electrodo y pieza de trabajo. El electrolito permite la circulación de la corriente eléctrica entre electrodo y pieza de trabajo, remueve el material maquinado en la región de corte y disipa el calor generado en la operación.

Las características que debe poseer un electrólito podemos decir que son:

- Buena conductividad térmica
- Que deje un buen acabado en la superficie de trabajo.
- Baja corrosividad.
- Baja toxicidad
- Seguro de manipular
- Buena estabilidad química y electroquímica

Las composiciones generales para algunos electrólitos para M.E. de varios metales se describen en la tabla 7.3

Tabla 7.3 Electrólitos para M.E. de varios metales

MATERIAL DE LA PIEZA	ELECTRÓLITO		VELOCIDAD DE RE MOCION DE MATERIAL ($\frac{\text{mm}^3}{\text{min.}}$) —100 amp.
	MAYOR CONSITUYENTE	CONCENTRACION MAXIMA (g/litro de agua)	
Acero; aleaciones a base de hierro, níquel y cobalto	NaCl o KCl	300	2130
	NaNO3	600	2130
Acero endurecido para herramientas	NaClO3	780	1966
Hierro gris	NaCl	300	1966
	NaNO3	600	1966
Fundición blanca	NaNO3	600	1639
Aluminio y aleaciones de aluminio	NaNO3	600	2130
	NaCl o KCl	300	2130
Aleaciones de Titanio	NaCl o KCl	120	1639
Tungsteno	NaOH	180	983
Molibdeno	NaOH	180	983
	NaCl o KCl	300	983
	NaCl o KCl	300	4425
Cobre y aleaciones de cobre	NaCl o KCl	300	4425
	NaNO3	600	3277
Circonio	NaCl o KCl	300	2130

VII.6 DEPOSICIÓN DE METAL

Los principales procesos de desplazamiento de metal son; colada y todas sus variantes y el revestimiento galvánico. En todos estos procesos se necesita un modelo que sirva de patrón, el cual puede estar hecho de cualquier material estable, o cualquier metal sólido.

El proceso de colada rara vez se emplea, en la fabricación de moldes para elastómeros. Estos no proporcionan la densidad adecuada, resistencia mecánica en las cavidades, así como tampoco un adecuado pulido.

Para la conformación por galvanizado se parte de un modelo positivo o negativo de la pieza deseada. Sobre dicho modelo se deposita galvánicamente una capa metálica de suficiente espesor. La elección del metal de deposición depende de las propiedades mecánicas exigidas de la pieza. Los metales más adecuados para la fabricación de los moldes para la fabricación de moldes son el níquel y las aleaciones níquel—cobalto. El níquel se precipita

galvánicamente sobre el modelo hasta un espesor de 5 mm esta capa de níquel se refuerza con una capa de cobre, también galvánica, cuyo espesor se sitúa entre 10 y 15 mm. Tras el galvanizado se separa el modelo de la pieza obtenida, que es de forma estable, y puede pasar al siguiente proceso de fabricación. La pieza obtenida por galvanizado se maquina generalmente para su uso posterior.

Al configurar los modelos positivos, hay que tomar en cuenta que los cantos agudos, producen fragilidad en la capa galvánica. Esto puede evitarse mediante un vaciado hueco, o utilizado un radio superior al espesor de la capa.

Este proceso se emplea cuando hay que configurar la matriz de un modelo complicado. Se caracteriza por una excelente calidad de superficie y una gran exactitud de reproducción.

La desventaja principal de la conformación con revestimiento galvánico está en los largos tiempos de fabricación de los elementos. Sin embargo esta desventaja se compensa en los costos de producción del modelo positivo. Aquí los reducidos costos de producción es un aliciente económico, así como la posibilidad de utilizarlo varias veces.

VII.7 ACABADO

Se esmerilan y pulen los moldes después del tratamiento térmico y templado de la pieza del molde. Para eliminar las capas de óxido y de coloración debidas a la operación de el templado, y conseguir una buena superficie. la calidad superficial es, un factor decisivo para la calidad de las piezas moldeadas. La superficie del molde debe ser lo más lisa posible, y sobre todo deberá estar exenta de poros.

Los procesos de acabado indicados en la tabla 7.4 pueden servir como orientación respecto al modo de proceder para conseguir buenas superficies.

Tabla 7.4 Procesos de esmerilado y pulido

Fase de trabajo	Operaciones	Abrasivos
Esmerilado Fino	1) grano 40—180 2) grano 300—400 3) grano 600—800	Tela de esmeril, fieltro con coridón Pasta de carborundo aplicada sobre paños de fieltro Pasta de carborundo con aceite, por ejemplo, aceite rubí o estearina
Pulido previo	4) grano 3—10 μ m	Pasta verde de pulir —mezcla de parafina como óxido de cromo
Pulido final	5) grano 0,25—1 μ m	Arcilla de aluminio (óxido de aluminio) disgregada con agua destilada en la proporción 9:1; carburo de boro y polvo de diamante

Entre cada fase de pulido se limpiarán intensamente los moldes con petróleo, con el objeto de eliminar la totalidad de granos de abrasivo de la etapa precedente, antes de iniciar el trabajo con abrasivos de grano más fino. Solamente así puede evitarse el rayado o la formación de estrias. La dirección de esmerilado con los diversos abrasivos, debe variar 90° en cada operación, de esta manera puede verse si el esmerilado precedente ha sido pulido por completo.

Las superficies lisa y brillantes, son más costosas que los acabados de tipo comercial más convencionales. Los acabados recomendados por la RMA se describen en la tabla 7.5

Tabla 7.5 Designaciones estándar de dibujo para acabados de la Rubber Manufacturers Association (RMA)

Clase RMA	Designación de dibujo	Abrasivos
1	F—1	Un acabado liso, pulido y uniforme, completamente libre de marcas de herramienta, abolladuras, mellas y rasguños, como se produce en un molde de acero altamente pulido. En áreas donde se especifica F—1, el molde estará pulido a un acabado superficial de 0.25 μ m (10 μ in) o mejor.
2	F—2	Un acabado plano como el que se produce con un molde de acero pulido. En las áreas donde se especifica F—2, el molde estará pulido a un acabado superficial de 0.80 μ m (32 μ in) o mejor pero con marcas muy pequeñas de herramienta sin esmerilar.
3	F—3	Las superficies del molde estará conforme a buenas prácticas de taller, y no se especificará el acabado en micropulgadas. Eso es un acabado "comercial"
4	F—4	Un acabado satinado como el producido por rectificación con agua.

*De RMA Handbook, 3a. ed., Rubber Manufacturers Association. New York, 1970.

CAPÍTULO VIII

MAQUINARIA Y EQUIPO DE INYECCIÓN

VIII.1 ANTECEDENTES

Las máquinas de moldeo por inyección son una derivación de las máquinas de fundición a presión para metales. La primera máquina para la producción de piezas de materiales termoplásticos, mediante el moldeo por inyección, se construyó en Alemania en 1920. Era una máquina totalmente manual; tanto en el cierre del molde como la inyección lo efectuaba el operador a mano mediante mecanismos con levas.

En 1927 nuevamente en Alemania, se desarrolla una máquina para materiales plásticos accionada por cilindros neumáticos, pero inmediatamente se vio la necesidad de máquinas con presiones específicas superiores a lo que en ese momento estaba disponible.

Italia fue uno de los primeros Países de Europa que iniciaron la construcción de máquinas por inyección hidráulicas autónomas. Las primeras máquinas de este tipo aparecieron en Italia en el año de 1947, se trataba de máquinas pequeñas con una capacidad de inyección de 30 gramos de poliestireno. En la base tenía incorporada una unidad hidráulica para la operación y control de la inyección; el cierre del molde lo efectuaba manualmente el operador mediante un sistema de levas.

Realmente eran equipos que no requerían costosos y complicados sistemas hidráulicos para operar y por su propia simplicidad constructiva se podían instalar en departamentos o en locales pequeños.

Desde entonces el desarrollo y evolución técnica fue sorprendente. Actualmente existen máquinas totalmente automáticas que no requieren ninguna intervención del operador, existen plantas Industriales con instalaciones en serie de máquinas, trabajando totalmente en ciclo automático. También la alimentación de la materia prima a la tolva, la extracción de las piezas moldeadas y sus movimientos para completar el ciclo de producción es absolutamente automático.

Hoy se encuentran en el mercado máquinas con capacidad de inyección de unos pocos gramos hasta de 30 kilogramos y con una fuerza de cierre de molde de 20 kN hasta 100 000 kN (de 2 a 100 000 ton).

VIII.1.2 TÍPOS CONSTRUCTIVOS

El tipo de construcción más corriente en las máquinas de inyección es el horizontal. En el las unidades de inyección y cierre trabajan horizontalmente en alineación axial. En máquinas verticales, que se desarrollaron principalmente para funcionamiento manual (inserción de elementos metálicos y similares), se conserva también el trabajo axial de las unidades de inyección y cierre. Sin embargo, existen también variantes de las que la unidad inyectora está dispuesta perpendicularmente respecto al eje de la unidad de cierre; el desvío de la corriente del material plastificado hacia la boquilla alineada axialmente con la unidad de cierre se efectúa dentro del cilindro especial de plastificación, como se observan en la figura 8.1

Construcciones especiales permiten una inyección del material en ángulo respecto al eje de la unidad de cierre en el plano de separación.

Las modernas máquinas de inyección permiten un trabajo con tres formas de funcionamiento: manual, semiautomático y automático. En el trabajo manual todas las funciones son dirigidas por el operador. En el trabajo semiautomático, un impulso de mando dispara el ciclo total de trabajo; que se repite automáticamente. El cambio de forma de trabajo a otro se efectúa generalmente mediante una computadora.

Las dificultades que se presentan en el proceso de producción con máquinas de inyección residen, en parte considerable, en mantener uniformes los valores de producción determinados. Cualquier modificación genera literalmente, un nuevo problema si prolonga por ejemplo el tiempo de permanencia de material en el cilindro de plastificación aumenta la temperatura de la masa de inyección, que por su viscosidad modificada, saldrá por el plano de partición del molde, de tal forma que habrá que reducir la presión de inyección. Al reducir la presión se retrasa el llenado del molde, por que habrá que aumentar el tiempo de permanencia en el molde. Por lo que resulta ventajoso la posibilidad de un funcionamiento automático, así como su elevada productividad justifica este tipo de funcionamiento.

VIII.2 UNIDAD DE CIERRE DEL MOLDE

La unidad de cierre del molde es el componente de la máquina que sostiene a el molde, efectúa el cierre y apertura, genera la fuerza para mantenerlo cerrado durante la fase de inyección y cuando el molde se abre expulsa la pieza moldeada.

Cualquiera que sea la construcción de la unidad de cierre de una máquina proporciona siempre un determinado valor de presión de cierre.

Partiendo de esto hay que observar siempre que la fuerza de apertura del molde, resultante de la presión interna sea siempre menor que la presión de cierre.

Algunas piezas no pueden inyectarse en forma simétrica, por lo que no puede evitarse entonces una configuración asimétrica de las vías de llenado y por lo tanto un esfuerzo de apertura excéntrico. En tales casos es aconsejable dar un factor de seguridad de aproximadamente 20—30% de la presión máxima de cierre del molde.

Par absorber las altas presiones internas de llenado que se producen durante esta operación y evitar una separación de las partes del molde por su plano de separación, e impedir gruesas rebabas o una salida de material, es recomendable considerar las correspondientes disposiciones constructivas.

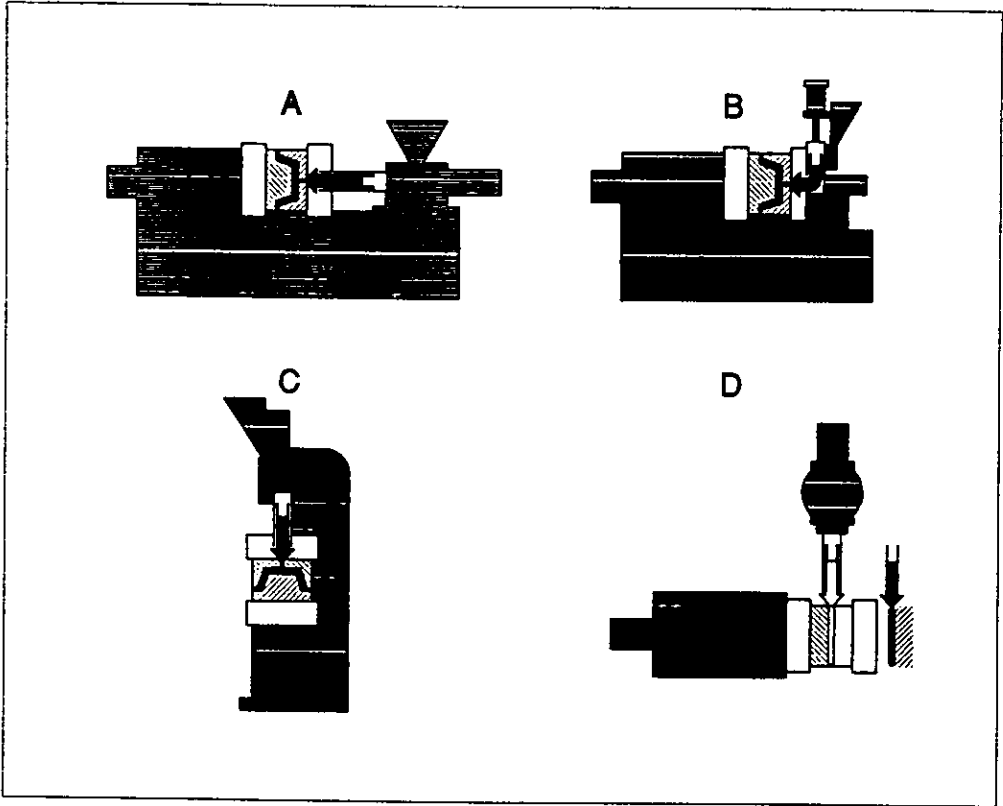


figura 8 . 1 Representación esquématica de las cuatro direcciones principales de trabajo de las unidades de cierre en máquinas de inyección.

- A. Trabajo horizontal. B. Variante modificada de A, con cilindro de inyección dispuesto verticalmente. C. Trabajo vertical indispensable para la inserción de elementos metálicos y similares. D. Unidad de inyección en posición angular (90° con respecto a la unidad de cierre).**

Se han creado muchos sistemas de cierre, pero los más conocidos y utilizados son:

- Cierre por rodillera (simple o doble)
- Cierre por pistón (conocido como cierre directo)
- Cierre mixto

VIII.2.1 CIERRE POR RODILLERA SIMPLE

Es un sistema de bielas que, multiplicando la fuerza que se le aplica realiza la fuerza de cierre requerida. La relación de multiplicación varía de 15 a 25 veces en la rodillera simple y de 25 a 50 veces en la rodillera doble. En otras palabras para obtener una fuerza de cierre de 2000kN (200t) en un sistema que tenga una relación de aproximadamente 40 veces, se debe aplicar una fuerza de 50 kN (5 ton).

Normalmente los sistemas de rodillera, están constituidos por un sistema de biela que actúan a lo largo del eje central de grupos de moldes este tipo de construcciones fue empleado por muchos fabricantes para máquinas con fuerza de cierre hasta 2000 kN (200 ton), aunque ocasionalmente se usaron en máquinas con fuerza de cierre mayor a las 200 ton.

Actualmente la rodillera simple es usada en máquinas con fuerza de cierre hasta de 700 kN (70 ton).

VIII.2.2 CIERRE POR RODILLERA DOBLE.

Puesto que la relación de multiplicación del sistema de doble rodillera es superior en más o menos dos veces respecto a la rodillera simple, para una misma fuerza de cierre requerida, el consumo de energía es aproximadamente la mitad. Este sistema de cierre proporciona una mayor velocidad de desplazamiento a la platina móvil, acortando a la vez los tiempos de cierre y apertura de l molde y, en consecuencia reduce el tiempo total del ciclo de molde.

Sin embargo, es importante señalar que el sistema de doble rodillera es más costoso que el tipo de rodillera simple, pues tiene un mayor número de bielas y además la cabeza del molde, así como la platina móvil resultan mas compelas y costosas.

La fuerza de cierre de una máquina de rodilleras puede ser medida controlado el alargamiento de las columnas en el momento del cierre del molde. De hecho todos los sistemas de cierre de moldes (por rodilleras o pistón) provocan una elongación en las columnas de la prensa cuando actúa la fuerza de cierre.

Midiendo con suficiente precisión el alargamiento de las columnas, del orden de algunas décimas de milímetro, se puede obtener la fuerza aplicada por medio de la fórmula:

$$F = \frac{nEA(\Delta L)}{L} \quad (10)$$

en donde:

- F= fuerza de cierre [kN]
- E= módulo de elasticidad del acero (aproximadamente 210 kN/mm²)
- A= el área de la sección de una columna [mm²]
- ΔL = es el alargamiento medio obtenido sobre las columnas [mm]
- L= longitud tomada como base sobre la columna [mm]
- n= número de columnas (generalmente 4)

VIII.2.3 CIERRE POR PISTÓN HIDRÁULICO

Comparado con el sistema por rodillera, el sistema por pistón resulta más lento, pero permite tener una carrera más larga de la platina móvil sin aumentar substancialmente el costo del sistema. En este sistema la platina móvil se acerca a la platina fija por medio de un pistón pequeño localizado en el centro del pistón principal o por medio de dos cilindros laterales al mismo pistón principal, todo esto con objeto de reducir el consumo del fluido hidráulico. La fuerza de cierre real es el propio empuje del pistón principal. Si queremos conocer la fuerza de cierre, basta con multiplicar el área de la sección del pistón por la presión del fluido hidráulico que actúa sobre el mismo pistón.

VIII.2.4 CIERRE MIXTO

Este tipo de cierre se a utilizado extensamente en Estados Unidos, en tanto que en Europa se tienen pocos ejemplos de su aplicación. Este sistema es un poco más costoso que los anteriores pero presenta algunas ventajas, las de acercamiento de las dos mitades del molde se hacen por medio de la rodillera, en tanto que la fase de compresión del molde se hace mediante el pistón que actúa sobre el mismo molde a través de la rodillera.

Para conocer la fuerza de cierre, basta multiplicar el área de la sección del pistón grande o principal por la presión del fluido hidráulico.

VIII.2.5 ESPECIFICACIONES DE LA UNIDAD DE CIERRE

A continuación se presentan los parámetros principales de la unidad de cierre así como su significado.

- Fuerza de cierre del molde [kN o ton].
Es la fuerza máxima con la cual se puede cerrar el molde
- Carrera de la platina móvil [mm].
Es la carrera máxima de la platina móvil, corresponde a la carrera de apertura del molde.
- Distancia entre columnas[mm].
Es la máxima distancia entre las columnas de deslizamiento de la platina móvil.
Sirve para definir el ancho máximo del molde.
- Dimensiones de las platinas [mm].

Son las dimensiones externas de las platinas portamoldes
Sirven para definir las dimensiones máximas del molde

- Mínimo y máximo espesor (altura del molde) [mm].
Indica el espesor mínimo y máximo del molde que puede montarse en las platinas de la máquina.

VIII.3 UNIDAD DE INYECCIÓN

La unidad de inyección es la parte de la máquina que efectúa la alimentación, plastificación y la inyección en los canales de flujo del molde una cantidad de material previamente determinada, que corresponde al volumen de la cavidad o cavidades del molde.

La unidad inyectora de una máquina tiene que ser tal que permita una aceptación de las funciones a las exigencias de producción. La inyección de materiales con estrechas tolerancias de fluidez exige por lo general un rápido llenado del molde, para evitar que la solidificación prematura de la masa de inyección en los canales de llenado impida el llenado completo del molde. También para la fabricación de piezas con diversos espesores de pared hay que procurar un rápido llenado del molde. Puede decirse que, es recomendable trabajar con una rápida velocidad de inyección.

En contraposición a esto, se encuentran problemas prácticos de producción. Por ejemplo, la inserción de elementos metálicos se hace difícil cuando éstos no pueden ser colocados fijamente dentro del molde y pueden cambiar de posición, bajo la influencia del flujo de la masa inyectada.

La unidad de inyección tiene que ofrecer la posibilidad de compensar mediante manipulaciones de compresión, las contracciones de volumen que presenta la pieza durante la solidificación. En la práctica se deja actuar el pistón de inyección durante un tiempo determinado sobre el material inyectado, bajo la presión específica correspondiente, con el objeto de poder equilibrar, mediante una nueva aportación de material plastificado, la contracción de volumen que se presenta durante el enfriamiento que se manifiesta por la formación de cavidades y depresiones.

La parte fundamental de la unidad de inyección es el cilindro de plastificación, este comprende el husillo, boquilla, resistencias eléctricas, pistón de inyección y los termopares o termocoples los cuales están conectados a los termoreguladores de temperatura, estos controlan la temperatura del cilindro de plastificación.

Normalmente las máquinas de inyección pueden estar equipadas con tres diferentes cilindros de plastificación (ocasionalmente cuatro), teniendo cada uno diverso diámetro de husillo, a los cuales generalmente se les designa como : No. 1, No. 2, No. 3, No. 4, (cada uno con sus correspondiente husillo).

El cilindro de plastificación No. 2 (tamaño medio) es uno de los más utilizados, provisto de un husillo que permite alcanzar presiones específicas de inyección de 1500 bar. Con estos valores de presión se moldea casi todos los materiales disponibles que hay en el mercado sin embargo si se desea moldear piezas con paredes delgadas empleando materiales muy viscosos en su estado fundido, debe de disponerse de una mayor presión específica de inyección, y por lo tanto será necesario emplear el cilindro No. 1 que normalmente permite alcanzar presiones de 2000 bar. Para moldear de materiales más fluidos o que se deban moldear piezas con mayor espesor que no tengan una especial exigencia, se puede emplear el cilindro No. 3, con el cual se puede moldear con presiones específicas de

aproximadamente 1200 bar, suficiente para inyectar estos materiales.

El valor de la presión de inyección ejercida por el husillo sobre el material fundido varía según la resistencia que el husillo encuentra en el movimiento de traslación durante la fase de inyección. Este valor es directamente proporcional a la presión del circuito hidráulico medido con el manómetro y se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$P_1 = \frac{P_c A_1}{A^2} = \frac{F}{A^2} \quad (11)$$

donde:

P_1 = es la presión específica sobre el material [bar, kg/cm²]

P_c = presión del circuito hidráulico, debida con el manómetro [bar,kg/cm²]

A_1 = el área de la sección transversal del pistón hidráulico de inyección [cm²]

A^2 = el área de la sección transversal del husillo de plastificación [cm²]

F = es la fuerza aplicada por el pistón de inyección [N,kgf]

La capacidad máxima de inyección de una máquina está dada por el volúmen que el husillo genera en su desplazamiento, multiplicado por su rendimiento volumétrico que normalmente tiene un valor de 0.85; por lo anteriormente, el volumen se calcula con la fórmula

$$Q = \frac{\pi d^2 c \eta}{4} \quad (12)$$

donde:

Q = volumen máximo inyectable [cm³]

d = diámetro del husillo [cm]

c = carrera del husillo [cm]

η = rendimiento volumétrico (aprox. 0.85)

Conociendo el volumen máximo de inyección efectivo de una máquina, se puede obtener la correspondiente capacidad máxima de inyección en gramos de material, multiplicando el volumen por el peso específico del material que se deba inyectar.

Mediante boquillas de inyección que se fijan en la parte frontal del cilindro de inyección, se establece la conexión con el molde, para dirigir el material de moldeo hacia la cavidad del molde

El diámetro del canal de flujo en la boquilla depende del volumen de la cavidad del molde. En piezas de peso reducido (20 a 30 gramos), el orificio de la boquilla tiene que poseer un diámetro de unos (3 a 3.5 mm)

Para moldes mayores y piezas con diverso espesor de pared pueden utilizarse boquillas con un orificio de hasta 6 mm de espesor. Algunos métodos especiales de molde y piezas de grueso espesor exigen muchas veces mayores orificios de boquilla, para poder compensar contracciones de volumen a través del eje del canal de llenado, que conserva su consistencia plástica durante el máximo tiempo.

VIII.3.1 SISTEMA ELÉCTRICO PARA EL CONTROL DEL CALENTAMIENTO DEL CILINDRO DE PLASTIFICACIÓN

Prácticamente el cilindro se calienta por medio de resistencias eléctricas tipo banda colocadas sobre su superficie externa. Con relación a la longitud del cilindro de plastificación, los grupos de resistencias pueden variar de dos para máquinas pequeñas, a ocho grupos para máquinas grande. Cada grupo está controlado por un termostato (controlador de temperatura) conectado a un termopar insertado en el cilindro.

El sistema de regulación asegura una temperatura constante del cilindro a nivel prefijado en el termostato. La conexión del sistema de calentamiento se efectúa por medio de un interruptor, el cual a su vez activa los conectores que alimentan a las resistencias eléctricas.

Alcanzada la temperatura prefijada, el circuito se desconecta y se vuelve a conectar cuando apenas ha descendido 1°C abajo del límite prefijado.

VIII.3.2 ESPECIFICACIONES DE LA UNIDAD DE INYECCIÓN

Las características técnicas de la unidad de inyección de una máquina de moldeo se dan en seguida junto con una breve explicación.

- 1.— Diámetro del husillo [mm]. Es la relación externa del husillo que plastifica e inyecta el material en el molde.
- 2.— Relación L/D del husillo. Es la relación entre la longitud útil del husillo (L) y su diámetro externo (D)
- 3.— Máxima presión de inyección [bar, kgf/cm²]. Es la máxima presión específica que se aplica sobre el material de moldeo para se inyectado en el molde.
- 4.— Volumen teórico de inyección [cm³]. Es el volumen generado por el husillo durante su translación en la fase de inyección.
- 5.— Volumen efectivo de inyección [cm³]. Es la cantidad real del material de molde que la máquina puede inyectar en el molde.
- 6.— Capacidad efectiva de inyección en peso. Es la cantidad de material, expresada en gramos, que la máquina puede inyectar en el molde. Esta varía en función del peso específico del material y puede ser determinada multiplicando el volumen de inyección efectivo por el peso específico del material que se utilice.
- 7.— Capacidad de inyección [cm³ /s] Es el volumen de material que la máquina puede transferir al molde en un segundo, a la máxima velocidad de inyección. Este dato sirve para calcular el tiempo que la máquina emplea para inyectar en un molde un volumen prefijado de material.
- 8.— Área proyectada. Es el área total de las piezas moldeadas, más es sistema de bebederos y canales de alimentación.

- 9.— Capacidad de plastificación [kg/h, g/s]. Es la cantidad de material que la máquina puede plastificar en la unidad de tiempo, a la máxima velocidad de rotación. Esta varía con relación al material que se utilice.
- 10.—Velocidad máxima de rotación del husillo (rpm). Es la máxima velocidad de rotación que el husillo puede alcanzar durante la fase de plastificación.
- 11.—Potencia instalada de calentamiento en el cilindro de plastificación [Kw]. Es la potencia máxima de las resistencias eléctricas instaladas sobre el cilindro de plastificación.
- 12.—Potencia del motor hidráulico o eléctrico que acciona el husillo [Hp,Kw]. Es la potencia disponible para hacer girar el husillo en la fase de plastificación.
- 13.—Par máximo de husillo [Nm,kgf—m]. Es el momento de torsión máximo disponible en el husillo durante la rotación en la fase de plastificación.

VIII.4 PARÁMETROS GENERALES

-Potencia del motor eléctrico [Kw,Hp]

Es la potencia del motor eléctrico que acciona el sistema hidráulico.

-Potencia máxima instalada [Kw]

Es la potencia máxima instalada sobre la máquina y correspondiente a la suma de la potencia del motor eléctrico y las potencias de las resistencias eléctricas del cilindro de plastificación. Si la máquina esta dotada con motor eléctrico para accionar el husillo, la potencia debe de sumarse para el cálculo del a potencia máxima instalada. En la práctica, la potencia consumida varía entre el 25% y el 60% de la potencia instalada según el ritmo de utilización de la máquina.

-Ciclos en vacío [ciclos/min]

Es el número de ciclos que la máquina puede realizar en un minuto, con el molde montado pero sin realizar las fases de inyección y plastificación. En efecto, durante la prueba de velocidad en vacío, la máquina realiza las siguientes fases:

- a) cierre y bloqueo del molde
- b) acercamiento de la boquilla al molde
- c) separación de la boquilla del molde
- d) apertura del molde

El ciclo de vacío comprende también el tiempo entre ciclos.

VIII.5 PARÁMETROS DE MOLDEO

En una máquina de moldeo por inyección todos los parámetros del ciclo de trabajo son variables con el objeto de poder adaptarse a las exigencias de calidad y precisión de las piezas que se producen, a las características del molde y del material de moldeo que se usa. Moldeando, por ejemplo: piezas que tienen el mismo peso, con el mismo material pero conforma y características diversas, se tendrán condiciones de ciclo de producción y por lo tanto diferente regulación en los parámetros del mismo ciclo.

Los parámetros que deben regularse en una máquina de inyección en función del molde y del tipo de material a trabajar son los siguientes:

- 1.— Velocidad de cierre del molde
- 2.— Velocidad de apertura del molde
- 3.— Carrera de la platina móvil
- 4.— Fuerza de cierre del molde
- 5.— Espesor del molde (distancia entre platinas)
- 6.— Tiempo entre ciclos (reciclo)
- 7.— Velocidad de inyección
- 8.— Velocidad de plastificación (rpm, velocidad del husillo)
- 9.— Carrera de inyección y espesor del colchón
- 10.— Primera presión de inyección (presión de llenado)
- 11.— Segunda presión de inyección (presión de sostenimiento)
- 12.— Tiempo de sostenimiento (pospresión)
- 13.— Contrapresión sobre el husillo
- 14.— Tiempo de solidificación del material inyectado en el molde
- 15.— Carrera de separación de la boquilla del molde
- 16.— Temperatura del cilindro de plastificación
- 17.— Temperatura de la boquilla
- 18.— Temperatura del molde (medio molde, fijo y móvil)
- 19.— Carrera de extracción.
- 20.— Velocidad de extracción
- 21.— Fuerza de extracción

Algunos de estos parámetros requieren de una regulación predeterminada fácil de ajustar, otras en cambio son confiadas a la habilidad del operador que efectúa el ajuste de la máquina. De estos últimos los más crítico son: carrera de inyección, velocidad de inyección, tiempo de inyección, presión de sostenimiento de inyección, velocidad del husillo y tiempo de ciclo.

En el mercado existen diferentes productores de hules, como son: Copolymers, Dupont, Exxon Nordel y Epsyn principalmente.

Considerando que el Epsyn presenta una gran variedad de hules EPDM, se toma el Epsyn 4906 que es el que reúne las características para el diseño del soporte de hule. El cual deberá cumplir con las normas de ASTM D2000.

Composición del EPDM duro/flexible
ASTM D2000 (2CA907CB2A25B12Z)

Epsyn 4906

Curado ultrarápido, excelente resistencia al ozono, el EPDM especial se puede mezclar con el SBR, Neopreno y hule nitrilo, se aplica extensamente como hule esponja, neumáticos, soportes de hule, etc. Presenta buen moldeo por inyección en productos que requieran esta propiedad y tiene un factor de contracción del 1.5%.

Las dimensiones de la pieza de hule se calcularon tomando en cuenta el reducido espacio que existe entre los brazos superiores e inferiores, como se muestra en el dibujo No 1, así como su forma y espesor para un funcionamiento adecuado.

El peso del soporte de hule excluyendo el peso del inserto metálico es de 280g, se calculo considerando la densidad del EPDM.

Por lo que respecta al inserto metálico (tornillo) éste tendrá que ser recubierto por un adhesivo antes del inicio de cada ciclo de inyección.

Composición de la mezcla	*PHR
Epsyn 4906	100
Negros de humo	70
Zno(activador)	15
Ácido esteárico	1.5
Aceites parafínicos	5
Ceras	2
Jabones	2
Parafina	1.5
Azufre	0.5
Donador de azufre	2
Tiazoles	1.3
Retardadores	0.3
Partes totales	204.10

*Partes por ciento de hule (PHR)

CAPÍTULO IX

PROYECTO DEL MOLDE

IX.1 ANÁLISIS DEL PROBLEMA

Ninguna carretera esta completamente plana. Las ruedas del automóvil tienen que realizar además de su movimiento de giro, movimientos hacia arriba y hacia abajo, debido a las irregularidades del terreno. Cuando la marcha es rápida estos movimientos se suceden en espacios de tiempo muy cortos y las aceleraciones perpendiculares al piso pueden ser de un valor que sea un múltiplo de la aceleración de la gravedad. Esto genera en el vehículo esfuerzos muy grandes en forma de golpes, que son tanto más fuertes cuando la masa que se mueve es mayor.

Estos golpes o choques resultan desagradables para los ocupantes e incluso perjudiciales para el automóvil mismo. Por lo tanto todos los automóviles de alguna manera van provistos de sistemas elásticos y sistemas de suspensión, para contrarrestar dichos fenómenos; se emplean amortiguadores telescópicos, soportes de hule, muelles, etc.

IX.2 CARACTERÍSTICA DE LA PIEZA

La función básica de la suspensión elástica (soporte) es la proteger los brazos superiores e inferiores de una posible ruptura o falla del amortiguador de tubo, en la suspensión delantera y evitar que los movimientos vibratorios se transmitan al chasis.

Aprovechando las propiedades naturales de los elastómeros naturales y sintéticos, es decir su elevada amortiguación propia así como su gran capacidad para absorber los movimientos vibratorios de alta frecuencia y proteger las partes metálicas de la suspensión, como la absorción de ruido. El soporte deberá ser diseñado tomando en cuenta las propiedades de estos materiales.

El soporte de suspensión se encuentra ubicado en el brazo inferior de la suspensión delantera de los automóviles Chrysler K y E como se muestra en la figura 9.1 Dada la función y ubicación del soporte está deberá reunir ciertas condiciones a la que se encuentra sometido como son:

- 1.- Resistencia al ozono
- 2.- Buena amortiguación (resiliencia)
- 3.- Deberá soportar considerables esfuerzos de compresión
- 4.- Tener una dureza de aproximadamente (80- 90 Shore A)
- 5.- Buena resistencia a la intemperie
- 6.- Adherencia a los metales .

IX.2.1 SELECCIÓN DEL MATERIAL DE MOLDEO

Una vez dadas las condiciones de trabajo a la que encontrará sometida la pieza (soporte de hule). Se elige de entre el grupo de los elastómeros al EPDM (Etileno-propileno monomero/dieno), cuyas propiedades se muestran en la tabla 9.1.

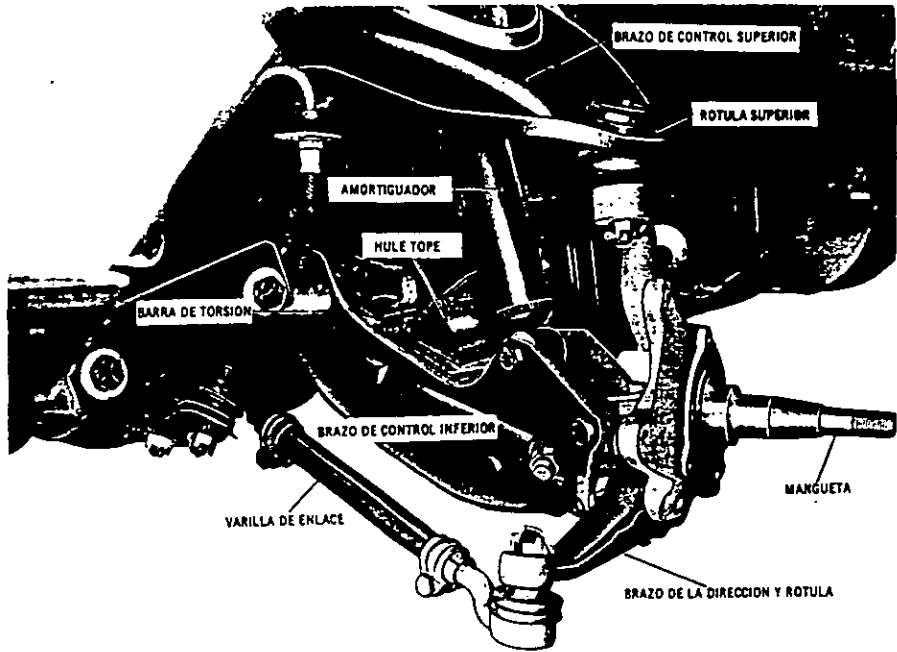


Fig. 9.1 Vista de la parte posterior de la unidad de suspensión sin el conjunto de rueda y freno, donde se aprecia el tope de hule.

Tabla 9.1 Propiedades del EPDM

Propiedades del EPDM	Unidades	Valores típicos
Densidad	Mg/m ³	0.86
Dureza	Shore A	30-90
Tensión max	MPa	0.34-24.13
	Psi	50-3500
Módulo de elasticidad (%)	MPa	0.69-20.69
	Psi	100-300
Elongación (%)	Psi	100-700
Resiliencia (rebote) (%)		40-75
Resistencia a la histerisis		buena
Resistencia a la ruptura		buena
Resistencia a la abrasión		buena-excelente
Resistencia al impacto		muy buena
Temperatura de servicio min	°C/°F	57/70
Temperatura de servicio max	°C/°F	177/350
Resistencia al ozono		sobresaliente
Resistencia a la oxidación		excelente
Resistencia a la intemperie		sobresaliente
Resistencia al agua		excelente
Resistencia a la radiación		buena
Resistencia a la acción de hidrocarburos y aceites		buena

En el mercado existen diferentes productores de hules, como son: Copolymers, Dupont, Exxon Nordel y Epsyn principalmente.

Considerando que el Epsyn presenta una gran variedad de hules EPDM, se toma el Epsyn 4906 que es el que reúne las características para el diseño del soporte de hule. El cual deberá cumplir con las normas de ASTM D2000.

Composición del EPDM duro/flexible
ASTM D2000 (2CA907CB2A25B12Z)

Epsyn 4906

Curado ultrarápido, excelente resistencia al ozono, el EPDM especial se puede mezclar con el SBR, Neopreno y hule nitrilo, se aplica extensamente como hule esponja, neumáticos, soportes de hule, etc. Presenta buen moldeo por inyección en productos que requieran esta propiedad y tiene un factor de contracción del 1.5%.

Las dimensiones de la pieza de hule se calcularon tomando en cuenta el reducido espacio que existe entre los brazos superiores e inferiores, como se muestra en el dibujo No 1, así como su forma y espesor para un funcionamiento adecuado.

El peso del soporte de hule excluyendo el peso del inserto metálico es de 280g, se calculo considerando la densidad del EPDM.

Por lo que respecta la inserto metálico(tornillo) esté tendrá que ser recubierto por un adhesivo antes del inicio de cada ciclo de inyección.

Composición de la mezcla	*PHR
Epsyn 4906	100
Negros de humo	70
Zno(activador)	15
Ácido esteárico	1.5
Aceites parafínicos	5
Ceras	2
Jabones	2
Parafina	1.5
Azufre	0.5
Donador de azufre	2
Tiazoles	1.3
Retardadores	0.3
Partes totales	204.10

*Partes por ciento de hule (PHR9)

IX.3 SELECCIÓN DEL MOLDE

Teniendo en cuenta la forma y dimensiones del soporte de hule, se eligió para prensas de inyección de una sola cavidad con línea de partición perpendicular a la entrada de inyección, como se muestra en el dibujo No 1 y No 2, teniendo en cuenta el espacio necesario para la colocación del inserto metálico (tornillo).

IX.3.1 SELECCIÓN DEL MATERIAL PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL MOLDE

Para la construcción de la cavidad del molde se escogió el acero P4(AISI), suministrado por aceros Fortuna(EWX40M), siendo este un acero al cromo-molibdeno con bajo porcentaje de carbón. Siendo este un acero especial para moldes para cavidades de medianas dimensiones, el cual lleva un cementado superficial por el método de empaquetado.

IX.3.2 DISEÑO DE LA CAVIDAD DEL MOLDE

Considerando al molde como la cavidad de un recipiente cerrado a presión (14MPa que corresponden a la presión de inyección) . Se pueden calcular los valores de los esfuerzos y sus correspondiente deformaciones.

Tomando uno de los lados de la cavidad del molde, como una viga doblemente empotrada y sujeta a la acción de una carga uniformemente distribuida, como se muestra en la figura 9.2 , se procede a calcularlos momentos flexionantes en A, B y C respectivamente.

Por lo tanto la pared interna de la cavidad soporta una carga de:

$$\begin{aligned}\omega &= L \cdot b \text{ (presión)} && (13) \\ \omega &= (57\text{mm}) \times (61\text{mm}) \times (14\text{N/mm}^2) = 48678 \text{ N} \\ \omega &= (48.67\text{KN})\end{aligned}$$

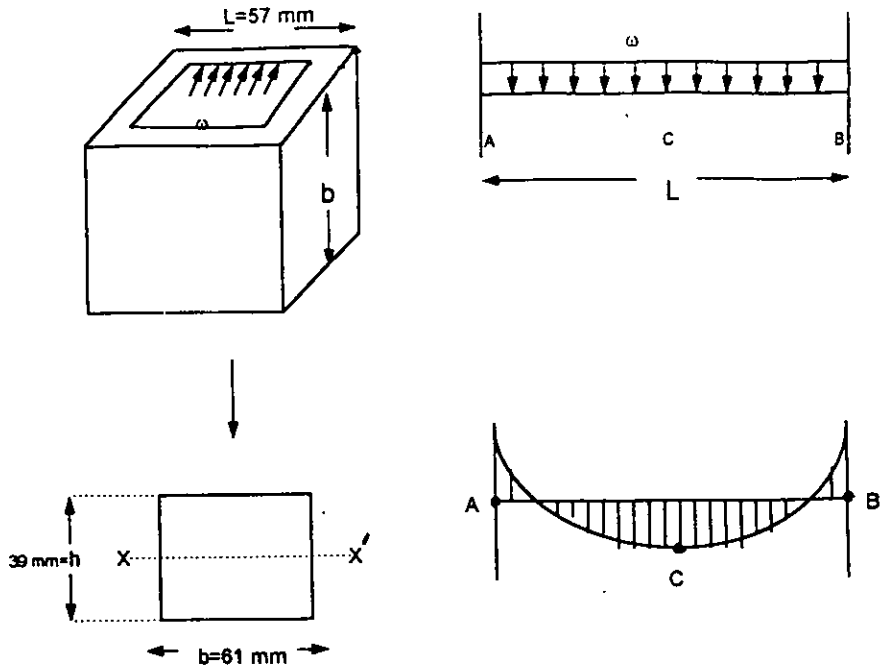


Fig. 9.2 Sección transversal y diagrama de momentos flexionantes de una pared de la cavidad del molde

Como el momento máximo de flexión ocurre en el centro de la viga, se procede a calcular los momentos en A, B y C.

$$M_c = \left(\frac{\omega L^2}{24} \right) = \frac{(48.678 \text{KN})(57 \text{mm})^2}{24} = 6589.78 \text{KN} \cdot \text{mm} \quad (14)$$

$$M_A = M_B = \frac{\omega L^2}{12} = \frac{(48.678 \text{KN})(57 \text{mm})^2}{12} = 13179.56 \text{KN} \cdot \text{mm} \quad (15)$$

Para calcular la deflexión máxima que ocurre en el punto C de la viga se procede de la siguiente manera:

$$f_c = \left(\frac{1}{384} \right) \left(\frac{\omega L^3}{EJ} \right) = 0.0026 \left(\frac{\omega L^3}{EJ} \right) \quad (16)$$

E= El módulo elástico del acero (210KN / mm²)

J = Momento de inercia de una viga de sección rectangular respecto al eje neutro(X-X') es:

$$J = \left(\frac{bh^3}{12} \right) = \left[\frac{(61\text{mm})(39\text{mm}^3)}{12} \right] = 301538.25\text{mm}^4 \quad (17)$$

Por lo que desarrollando:

$$f_c = 0.0026 \times \left[\frac{(48.678\text{KN})(57\text{mm}^3)}{\left(\frac{210\text{KN}}{\text{mm}^2} \right) (301538.25\text{mm}^4)} \right] = 0.00037\text{mm}$$

Esta flexión de 0.00037 mm de la pared más larga no resulta despreciable.

Este cálculo se hizo para una pared de la cavidad, por lo que la pared opuesta tendrá la misma deflexión (0.00037 mm) y en menor medida se flexionarán las paredes cortas de la cavidad.

El módulo de la sección de la viga es:

$$W = \left(\frac{bh^2}{6} \right) = \left[\frac{(61\text{mm})(39\text{mm}^2)}{6} \right] = 15463.5\text{mm}^3 \quad (18)$$

Calculando los esfuerzos máximos de tensión se tendrá lo siguiente:

$$\sigma_c = \left(\frac{M_c}{W} \right) = \left(\frac{6589.78\text{KN}\cdot\text{mm}}{15463.5\text{mm}^3} \right) = 0.426\text{KN}/\text{mm}^2 \quad (19)$$

$$\sigma_c = 426.5 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_B = \sigma_A = \left(\frac{M_A}{W} \right) = \left[\frac{13179.56\text{KN}\cdot\text{mm}}{1546.5\text{mm}^2} \right] = 0.85\text{KN}/\text{mm}^2 \quad (20)$$

$$\sigma_B = 852.3\text{N}/\text{mm}^2$$

Teniendo en cuenta que se elige un acero P4 cuyo esfuerzo a la tensión es ($\sigma_{acero}=1100\text{N}/\text{mm}^2$)

El factor de seguridad en el punto C es el siguiente:

$$F_c = \left(\frac{\sigma_{ACERO}}{\sigma_c} \right) = \left(\frac{1100N/mm^2}{426.5N/mm^2} \right) = 2.5 \quad (21)$$

El factor de seguridad en A y B es el siguiente:

$$F_A = F_B = \left(\frac{\sigma_{ACERO}}{\sigma_A} \right) = \left(\frac{1100N/mm^2}{852.3N/mm^2} \right) = 1.3 \quad (22)$$

IX. 3.1 CONFIGURACIÓN DE ENTRADA.

Teniendo en cuenta la forma de la pieza, así como la alta viscosidad, de la mezcla de hule, se optó por la opción de inyección sin canales de alimentación con la entrada en la parte alta de la línea de partición del molde.

La entrada es de tipo lateral sencilla con bebedero cónico, cuyas dimensiones son de 12.7mm de ancho y 1.6mm de espesor. En el dibujo No 4 se muestran los detalles de la entrada junto con el bebedero fabricado en acero 4140 templado en aceite, el cual debe resistir los efectos de la abrasión por el flujo de hule.

Aunque este tipo de entrada es utilizado para moldear piezas planas, es la más adecuada para inyectar piezas rectangulares donde la sección de entrada debe ser siempre menor a la del canal de alimentación. Además asegura una mejor distribución del polímero fundido.

Básicamente la entrada estrecha asegura dos cosas:

1.- Permite separar fácilmente la mazarota de la pieza moldeada, después de sacarla del molde, eliminando en la mayoría de los casos la necesidad de desbastar.

2.- Incrementa la velocidad de corte conforme fluye el material fundido y en consecuencia, disminuye la viscosidad para llenar mejor y más rápido el molde.

IX.3.2. ESPIGAS.

Para ajustar las dos mitades del molde y alcanzar un centrado efectivo y obtener así piezas exentas de desplazamiento se emplean cuatro elementos de centrado de molde (espigas guías).

Éstas deberán tener tolerancias estrechas como las marcadas en el dibujo 5 tanto las espigas como en los casquillos donde se alojan.

Dichos elementos sufren un fuerte desgaste por lo que se fabricarán de un acero 1045 con tratamiento térmico para las espigas de cementado con una dureza superficial de RC60, la cual es suficiente para resistir la fuerte abrasión.

La longitud de los pernos guías se calcularon tomando en cuenta la profundidad del vaciado del molde, de tal manera que su profundidad no afecta la construcción de los barrenos para la inserción de los elementos de calefacción del molde.

Los casquillos se fabricaran del mismo acero 1045 con un temple total y a la misma dureza RC60, dichos casquillos se encuentran alojados en la contraplaca del molde.

Para la expulsión de la pieza moldeada se aprovecha el inserto metálico (cuerpo del tornillo), y mediante una espiga expulsora cuyas dimensiones se muestran en el dibujo No 6, fabricada de una

acero 1045 el cual va fijo en dos placas, las cuales van montadas en una corredera que es arrastrada por la platina móvil mediante cadenas.

IX.3.3 CALENTAMIENTO DEL MOLDE.

Se emplean dos resistencias eléctricas tipo cartucho para la calefacción del molde, con un intervalo de temperaturas. De 100 °F - 400 °F (37.8 °C - 204.4 °C), diámetro de 5/8 de pulg. (15.87mm), longitud de 3 ¼ de pulg. (95.25mm), con 15 amperes de corriente y 110 volts. La cual es suficiente para completar el vulcanizado de la pieza, que cura a una temperatura, de 160 °C- 170 °C, el control de dicha temperatura. Se lleva a cabo mediante un termostato.

Para calcular la pérdida de calor del molde y de ésta manera suponer el espesor de la placa de asbesto, que permita disminuir la transferencia de calor a las platinas de la máquina de inyección, se considera el molde como una pared compuesta, como se muestra en la figura 9.3.

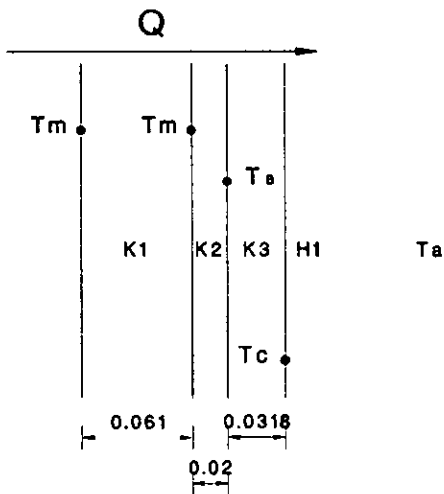


Figura 9.3 Representación esquemática de las paredes del molde con una placa de aislante (asbesto)

Considerando el flujo de calor unidimensional (eje de la máquina de inyección) donde K_1 , K_2 , K_3 constantes y T_m como temperatura máxima de moldeo

Donde:

$$T_m = 170^\circ\text{C}$$

$$K_1 = K_3 = 52 \text{ W/m}^\circ\text{K}$$

$$K_2 = 0.0233 \text{ W/m}^\circ\text{K}$$

$$T_a = 60^\circ\text{C}$$

$$h_1 = 25 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{K}$$

h_1 = Es el coeficiente convectivo del aire alrededor del molde cuyo intervalo es de (5-25) $W/m^2 \cdot K$ considerando una convección libre.

Calculando el flujo por unidad de área para la pared compuesta tenemos:

$$Q'' = \frac{T_m - T_a}{\frac{s_1}{K_1} + \frac{s_2}{K_2} + \frac{s_3}{K_3} + \frac{1}{h_1}} \quad (23)$$

$$Q'' = \frac{170^\circ C - 60^\circ C}{\frac{0.061m}{52W/m^2K} + \frac{0.02m}{0.0233W/m^2K} + \frac{0.0318m}{52W/m^2K} + \frac{1}{25W/m^2K}} \quad (24)$$

$$Q'' = 122.2W/m$$

Calculando la temperatura T_c que es la de la superficie exterior del molde.

$$T_c = T_a + \frac{Q''}{h_1} \quad (25)$$

$$T_c = 60^\circ C + \frac{122.2W/m^2}{25W/m^2 \cdot K}$$

$$T_c = 64.88^\circ C$$

La cual es la temperatura mínima y la platina no sufre dilatación alguna por efecto del incremento de temperatura.

Si se calcula el flujo de calor por unidad de área sin la placa de asbesto se tiene :

$$Q'' = \frac{170^\circ C - 60^\circ C}{\frac{0.01m}{52W/m^2K} + \frac{0.0318m}{52W/m^2K} + \frac{1}{25W/m^2K}} \quad (26)$$

$$Q^* = 263.8\text{W/m}^2$$

Por lo que calculando T_c sin aislante de asbesto tenemos:

$$T_c = 60^\circ\text{C} + \frac{2632.8\text{W/m}^2}{25\text{W/m}^2 \text{ }^\circ\text{K}}$$
$$T_c = 165.3^\circ\text{C}$$

La cual resulta ser demasiada alta y origina dilatación térmica en las platinas de la prensa de inyección, además que se presentan grandes pérdidas de calor.

Tomando el molde en conjunto como un cuerpo sólido de acero el cual se dilata al presentarse un incremento de temperatura, se procede a calcular la dilatación térmica del molde.

Con un coeficiente de dilatación térmica lineal de $\alpha = 12 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ para el acero al carbón y utilizando el diagrama 4.15 cuyas temperaturas son:

$$T_{\text{ambiente}} = 20^\circ\text{C}$$

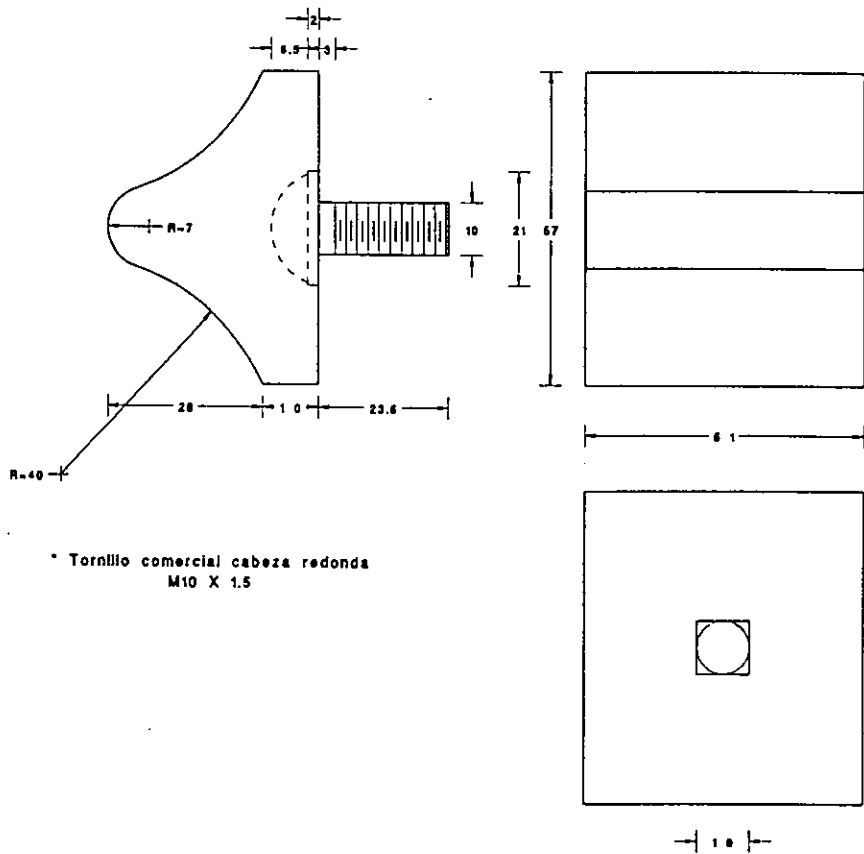
$$T_m = 170^\circ\text{C}$$

$$\Delta = (170 - 20)^\circ\text{C} = 150^\circ\text{C}$$

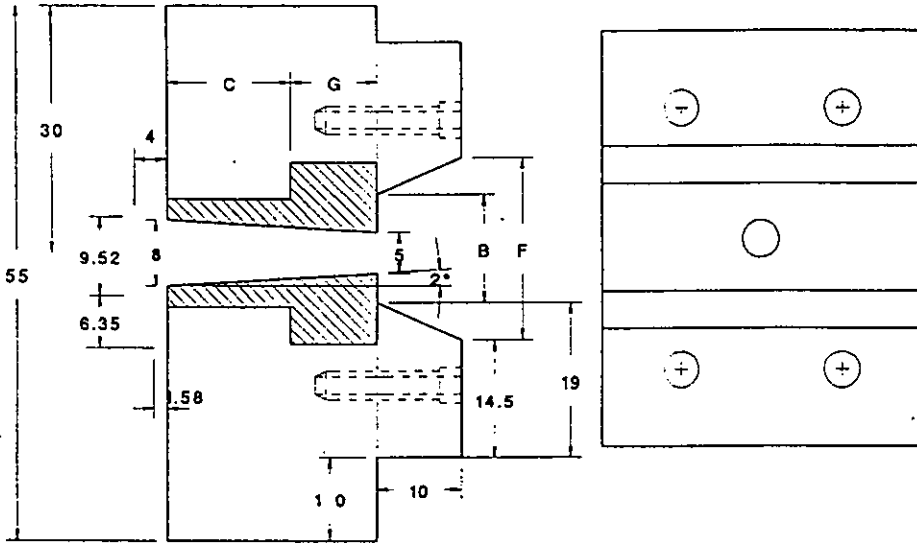
La longitud del molde es:

$L = 153.44\text{mm}$, siendo el lado mayor donde se tiene un aumento de longitud de:

$\Delta L = 0.28\text{mm}$ en dirección al eje de la prensa, por lo que el incremento de longitud en los lados más cortos del molde serán menores.



UNAM E.N.E.P. ARAGON		
TESIS PROFESIONAL		
ESCALA: SIN	SOPORTE DE SUSPENSION DE HULE VULCANIZADO DE UN DARK K Y E.	MATERIAL: EPDM
ACOT: MM	ALUMNO: VICENTE RODRIGUEZ LORENZO	DIBUJO: 1



F= 13/16 "(20.63 MM)

B= 1/2 "(12.7 MM)

C= (15 MM)

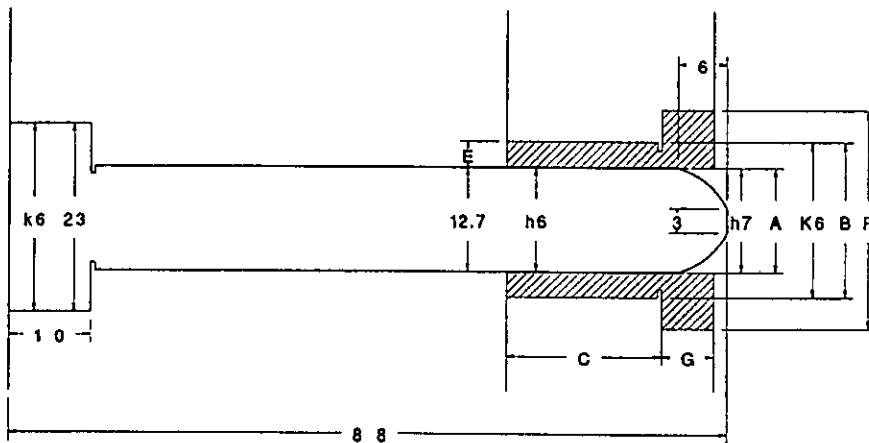
G=(10.4 MM)

UNAM E.N.E.P. ARAGON

TESIS PROFESIONAL

ESCALA: SIN	ENTRADA LATERAL CON BEBEDERO CONICO SENCILLO.	MATERIAL: ACERO 4140
ACOT: MM	ALUMNO: VICENTE RODRIGUEZ LORENZO	DIBUJO: 4

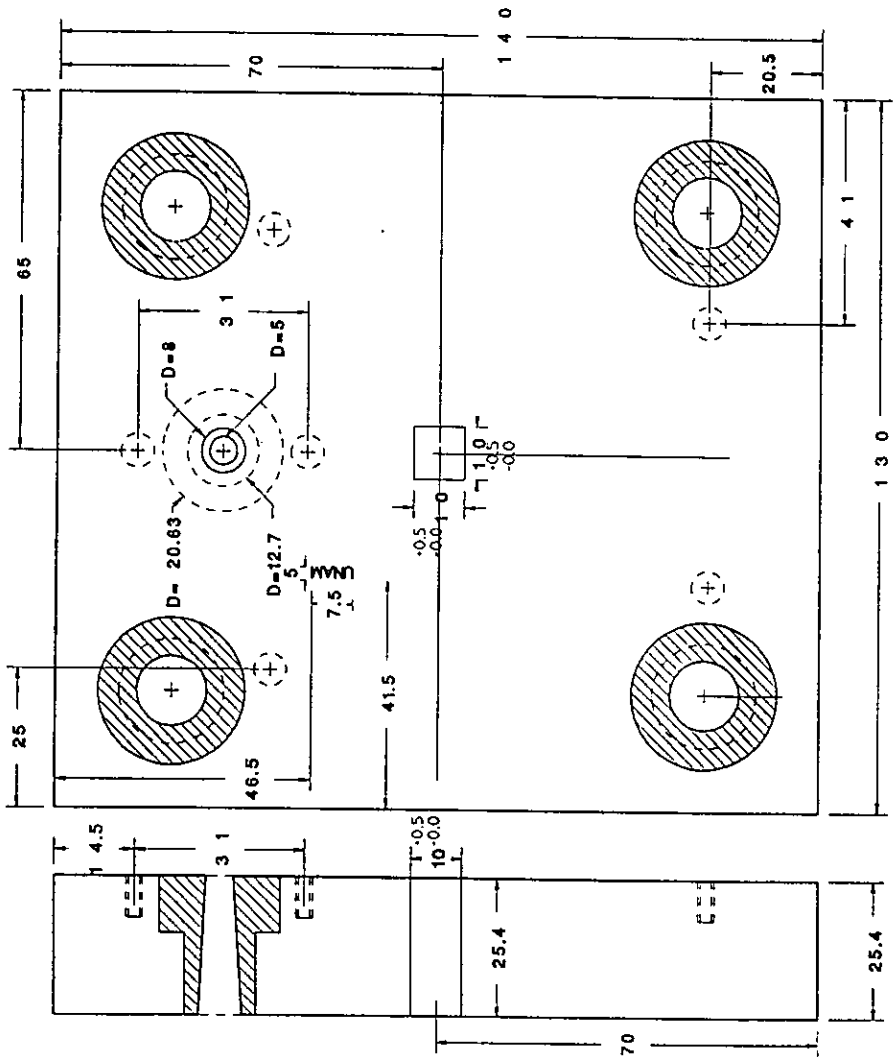
- A= 1/2 " (12.7 mm)
 B= 3/4 " (19.05 mm)
 C= 3/4 " (19.05 mm)
 E= 1/8 " (3.17 mm)
 F= 1 3/64 " (26.59 mm)
 G= 1/4 " (6.35 mm)



UNAM E.N.E.P. ARAGON

TESIS PROFESIONAL

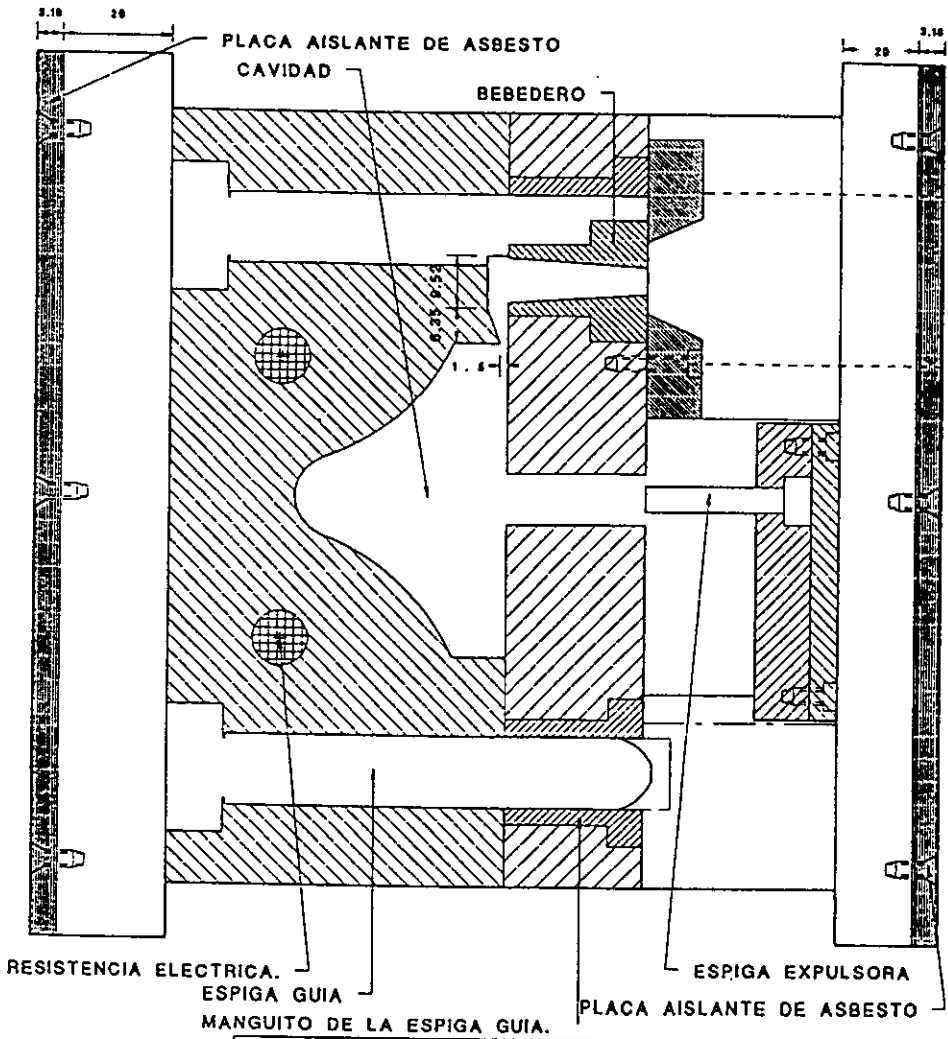
ESCALA: SIN	ESPIGAS GUIAS SIN RANURAS DE LUBRICACION CON CASQUILLO.	MATERIAL: 1045 ACERO
ACOT: MM	ALUMNO: VICENTE RODRIGUEZ LORENZO	DIBUJO: 5



UNAM E.N.E.P. ARAGON

TESIS PROFESIONAL

ESCALA: SIN	CONTRAPLACA DE LA CAVIDAD DEL MOLDE.		MATERIAL: ACERO P4
ACOT: MM	ALUMNO: VICENTE RODRIGUEZ LORENZO	DIBUJO: 7	



UNAM E.N.E.P. ARAGON

TESIS PROFESIONAL

ESCALA: SIN	MOLDE DE UNA SOLA CAVIDAD.	MATERIAL:
ACOT: MM	ALUMNO: VICENTE RODRIGUEZ LORENZO	DIBUJO: 8

CONCLUSIONES

No fue posible realizar una comparación entre moldes nacionales e importados debido a que las empresas dedicadas a la construcción de moldes para moldear elastómeros se negaron a proporcionar la muestra física de un molde.

Por esto se decidió que el molde se construyera de una sola cavidad, calculando la deflexión máxima de la cavidad del molde por efecto de la presión de inyección, la cual fue mínima y obteniendo un factor de seguridad de 7.9, el cual es aceptable.

Por lo cual este trabajo se determino emplear la mezcla del hule EPDM, El cual reuné las características requeridas por el soporte de suspensión y siguiendo la norma ASTM D2000 (2CA907B2A5B12Z9) referente a hules automotrices.

La deformación que el molde presentó por efecto del incremento de la temperatura es de 0.28 mm en dirección paralela al eje de la prensa. Teniendo en cuenta que el EPDM cura a una temperatura de 160°C - 170°C, el calentamiento del molde se realizó mediante resistencias eléctricas tipo cartucho.

Se selecciono un acero P4 para la construcción de la cavidad del molde con un tratamiento térmico de cementado superficial.

Por lo que respecta a la entrada de inyección, esta se lleva a cabo sin canales de alimentación, con forma cónica lateral sencilla y ubicada en la línea de partición del molde, es decir en donde la rebaba no afecte la funcionalidad de la pieza y que esta sea mínima.

El proceso de inyección es semiautomático, ya que el operador colocará el inserto metálico y el molde expulsara a la pieza automáticamente mediante una espiga extractora.

Por todo lo anterior se puede decir que el contenido de está tesis sirve de guía para todas aquellas medianas empresas que se dedican al diseño de piezas de hule, permitiendo seleccionar el elastómero adecuado para cada aplicación en particular.

ANEXO

En la tabla A.1 se aprecia un fragmento de los aceros para herramientas más comunes; donde la tenacidad, dureza al rojo, seguridad en el endurecimiento y resistencia. Se han clasificado cualitativamente en buenos, regulares y eficiente.

1º	ENDURECIMIENTO	METODO DE TRATAMIENTO	INTERVALO DE TEMPERATURA	DUREZA SUPERFICIAL	TEMPERATURA DE TRATAMIENTO	PROPIEDADES DE RESISTENCIA A LA DEFORMACION	SEGURIDAD EN EL FUNCIONAMIENTO	TENACIDAD	ENTRECAMBIO AL ROJO	RESISTENCIA AL DESGASTE	MAQUINABILIDAD	RESISTENCIA A LA DESCARBILACION
W1	1 400—1—550	Salmuera p agua	300—650	62—50	Superficial	Deficientes	Regular	Buena	Deficiente	Regular a buena	Optima	Optima
W2	1 400—1 550	Salmuera p agua	300—650	65—50	Superficial	Deficientes	Regular	Buena	Deficiente	Regular a buena	Optima	Optima
S1	1—650—1 800	Acetate	400—1 200	58—40	Media	Regulares	Buena	Muy buena	Regular	Regular	Regular	Regular a buena
S5	1 600—1 700	Acetate	350—800	60—50	Media	Regulares	Buena	Optima	Regular	Regular	Regular	Deficiente
O1	1 450—1—500	Acetate	300—500	62—57	Media	Muy buenas	Muy buena	Regular	Deficiente	Buena	Buena	Buena
A2	1 700—1 800	Aire	350—1 000	62—57	Profunda	Optimas	Optima	Regular	Regular	Muy buena	Regular	Regular
A4	1 500—1 600	Aire	350—800	62—54	Profunda	Optimas	Optima	Deficiente	Regular	Buena	Regular	Buena a regular
D2	1 800—1 975	Aire	400—1 000	61—54	Profunda	Optimas	Optima	Deficiente	Buena	Optima	Deficiente	Regular
D3	1 700—1 800	Acetate	400—1 000	61—54	Profunda	Muy Buenas	Buena	Deficiente	Buena	Optima	Deficiente	Regular
D4	1 775—1 850	Aire	400—1 000	61—54	Profunda	Optimas	Optima	Buena	Buena	Optima	Deficient	Regular
H11	1 825—1 875	Aire	1 000—1 200	54—38	Profunda	Muy buenas	Optima	Buena	Buena	Regular	Regular	Regular
H19	2 000—2 200	Aire Acetate	1 000—1 300	59—40	Profunda	Buenas	Buena	Buena	Buena	Regular	Regular	Regular
H21	2 000—2 200	Aire Acetate	1 100—1 250	54—36	Profunda	Aire: Buenas Acetate: Regular	Buena	Buena	Buena	Regular a buena	Regular	Regular
H23	2 200—2 350	Aire Acetate	1 200—1 500	47—30	Profunda	Aire Buenas Acetate: Regular	Buena	Regular	Muy buena	Regular a buena	Regular	Regular
H26	2 150—2 300	Salmuera p aire	1 050—1 250	58—43	Profunda	Salmuera: buena Acetate: regular	Buena	Regular	Muy buena	Buena	Regular	Regular

H41	2 000—2 175	Sal Acetate	1 050—1 200	60—50	Profunda	Sal y Aire buenas:Acetate	Regular	Deficiente	Muy buena	Buena	Regular	Deficiente
T1	2 300—2 375	Acetate, aire o sal	1 000—1 100	65—60	Profunda	Buenas	Buena	Deficiente	Muy buena	Muy buena	Regular	Buena
T4	2 300—2 375	Acetate, aire o sal	1 000—1 100	66—62	Profunda	Buenas	Regular	Deficiente	Optima	Muy buena	Regular	Regular
T6	2 325—2 400	Acetate, aire o sal	1 000—1 100	65—60	Profunda	Buenas	Regular	Deficiente	Optima	Muy buena	Regular	Deficiente
M1	2 150—2 225	Acetate, aire o sal	1 000—1 100	65—60	Profunda	Buenas	Regular	Deficiente	Muy buena	Muy buena	Regular	Deficiente
M2	2 175—2 250	Acetate, aire o sal	1 000—1 100	65—60	Profunda	Buenas	Regular	Deficiente	Muy buena	Muy buena	Regular	Regular
M6	2 150—2 200	Acetate, aire o sal	1 000—1 100	66—61	Profunda	Buenas	Regular	Deficiente	Muy buena	Muy buena	Regular	Deficiente
M41	2 175—2 220	Acetate,air o o sal	1 000—1 100	70—65	Profunda	Buenas	Regular	Deficiente	Muy buena	Muy buena	Regular	Deficiente
L2	1 450—1 550 1 550—1 700	Agua Acetate	350—1 000	63—45	Media	Agua deficiente sal:Acetate:regular Acetate	Agua deficiente	Muy buenas	Deficiente	Buena	Buena	Buena
L6	1 475—1 550	Acetate	350—1 000	62—45	Media	Buenas	Buena	Muy buenas	Deficiente	Buena	Regular	Buena
F2	1 450—1 600	Agua sal:ruera	300—500	66—62	Superficial	Deficientes	Deficiente	Deficiente	Deficiente	Muy buena	Regular	Buena
P2	1 525—1 550	Acetate	300—500	64—58	Superficial	Buenas	Buena	Buena	Deficiente	Regular	Regular	Buena
P20	1 500—1 600	Acetate	900—1 100	37—28	Superficial	Buenas	Buena	Buena	Deficiente	Regular	Regular	Buena

Tabla A.1. Continuación
 *Adaptado de las tablas en Steel Products Manual, "Tool Steels", American Iron and Steel Institute, 1970.

Tabla A.3 Tabla comparativa de Aceros Palme para la fabricación de moldes de plástico

CÓDIGO R.O.E.	MAR CA	ANÁLISIS PRINCIPAL %											TRATAMIENTOS TÉRMICOS				APLICACIONES COMUNES		MAR CA	DIL (MM)
		C	Si	Mn	Cr	Ni	M	W	Co	V	FORJA °C	RECOCIDO °C	TEMPERADO °C MEDIO	REVENIDO °C	DUREZA BRINELL	CARACTERÍSTICAS GENERALES	PALME EXCO	ASI		
HERRAMIENTAS PARA TRABAJOS EN FRÍO																				
05	1.	0.00	0.30	0.60	0.20					10	1050-	850	890-	890	480	190-	ACERO AL CROMO NIQUEL MATRICES DE ESTAMPADO	05	A2	
ACEROS PARA TRABAJOS CALIENTES																				
18	0.	0.45	0.30	0.30	0.40					20	1000-1000-	710 (23)	890-	400	220-	ACERO LIGERAMENTE ALIADO AL CROMO NIV HERRAMIENTAS	18	S1		
ACEROS PARA MAQUINARIA																				
8418	0.	0.10	0.25	0.40	0.00					5	1100-	870-	850	400	220-	ACERO PARA LA INDUSTRIA DEL PLASTICO	8418	P4		
ACEROS INOXIDABLES																				
410	0.	0.15	0.00	0.00	0.00					13	1150-	900	850-	790		BARRA PERFORADA	410	410		
418	0.	0.15	0.00	0.25	0.13					13	1150-	900	850-	790		ANGULOS FLEJES	418	418		
431	0.	0.20	0.00	0.00	0.00					2	1150-	900	1050-				431	431		

BIBLIOGRAFÍA

- 1.- Anguita D, R., " Moldeo por compresión y transferencia ", Ed. Blune, México 1ª Ed
- 2.- ASTM D2000. Rubbers Products Automotive Applications
- 3.- Avner.S.H. "Introducción a la Metalurgia Física". Ed. McGraw - Hill. México 1990. 2ª Ed
- 4.- Bardocz, L. Soas. L. " Plastic Molds and Dies ". Ed Radnoti Van Nostrand ReinholCo Hungria 1981
- 5.- Bilurbina. L. Liesa. F. "Materiales no Metálicos Resistentes a la Corrosión" Ed Marcombo Boxarew Barcelona 1990. 1ª ed.
- 6.- Bodini. G. Pessain. C. F. "Moldes y Máquinas de inyección Para la Transformación de plásticos ".Ed McGraw -Hill Vol 1,2. 2ª Ed México 1993.
- 7.- Caucho Sintético Publicado por el Institute of Synthetic Rubber Producer Inc 1ª Ed New York 1973.
- 8.- Diaz. A. J. Zapata. H. S. " Resistencia de materiales Editorial Limusa 3ª Ed México 1988.
- 9.- Driver. E. W. "Química y Tecnología de los Plásticos " Ed C.E.C.S.A. 1ª Ed México 1982.
- 10.-Dubois, J.H, "Enciclopedia de la Química Industrial " Vol. 5. 2ª Ed Urmo. Madrid 1982.
- 11.-Jones. M. "Procesamiento de plásticos" Ed Limusa/Noriega. 1ª Ed México 1993.
- 12.-Karlekar. B. V. Desmond. R. M. "Transferencia de calor " Ed Interamericana México 1985.
- 13.-Manual de Reparación y afinación Chrysler K y E 81-85. Ed Chilton - Limusa .4ª Ed México 1994.
- 14.-Manrique A.J, " Transferencia de calor " México 1981, Ed Harla.
- 15.-Menges. G. Mohren. G. " Moldes para inyección de plásticos " Ed GG Barcelona. 1975.
- 16.-Mink, S W. Sors. L. " Inyección de plásticos " Ed. GG. Barcelona 1977.
- 17.-Molera. S. P. "Electromecanizado" Ed Marcombo Boxarew Barcelona 1989.
- 18.-Nauton. W. J. "Ciencia y Tecnología del Caucho Ed C.E.C.S.A. 1ª Ed México 1967.
- 19.-Palmer. R. T. Luerssen. G. V " Acero para Herramientas " De Representaciones y Servicios de Ingeniería México 1986.
- 20.-Peters, E, N., " Mecánica, Ingeniería y Técnica " Ed Océano / Centrun , Vol 1 . México. 1989.
- 21.-Publication Epsyn EPDM Rubber Typical Application and Properties. 1990.
- 22.-Publication Naciones Unidas " Ingeneering Plastic " New York 1991.

- 23.-Rangel, C, E., Nafaeli., "Los plásticos" Ed S.E.P- U.N.A.M 1ª Edición.
- 24.-Richardson, T, A., " Industrial Plastic Theory and Application ". South - Western Publishing Co. United States of America 1983.
- 25.-World Resources Series 13 Vol. "Rubber" Vol 8. 2ª Ed London. 1979.
- 26.-Saugorodny. V. K. " Transformación de Plásticos " Ed G.G. Barcelona 1978.
- 27.-Shigley. J. E, Mischke. C. R." Diseño en Ingeniería Mecánica "Ed McGraw-Hill 5ª Ed. México.
- 28.-Stoekhert, K., " Tratamiento de superficies de plásticos " Ed. GG. Barcelona 1974.
- 29.-Van Vlack. H. L. " Tecnología de Materiales ", Ed. Alfaomega 1ª Ed. México 1991.
- 30.-Webb, M, J., "Manual para Técnicos en Mecánica Industrial". Ed McGraw - Hill, Vol 1, 1ª Ed.