

41126
17



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGÓN**

**SELECCIÓN Y PRINCIPIOS DE
FUNCIONAMIENTO DE MÁQUINAS DE
INYECCIÓN PARA TERMOPLÁSTICOS.
UN CASO PRÁCTICO.**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE :
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA
(Á R E A M E C Á N I C A)
P R E S E N T A :
JUAN RAMÓN CANO TENORIO

ASESOR:
ING. JAVIER NAVA PÉREZ

MÉXICO

2003

A



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS

A mis padres por todo su apoyo incondicional, por estar siempre en los momentos mas difíciles y por sus sabias palabras para no dejarme caer en la adversidad, para ustedes este trabajo.

A mi madrina por estar siempre conmigo en las buenas y en las malas, por su ayuda para seguir adelante.

A la fabrica Gemeloplast en especial a Enrique Juárez por su ayuda para elaborar el caso práctico de este trabajo.

Al Ing. Rodrigo Lino por darme la oportunidad de adentrarme en el tema y por su valiosa colaboración.

Al Ing. Nava Pérez Javier por su tiempo, paciencia y conocimientos para dirigirme este trabajo de investigación.

A mis primos que siguiendo su ejemplo logre concluir la universidad.

A mis amigos que sin su motivación no hubiera concluido este trabajo.

GRACIAS

B

**SELECCIÓN Y PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO
DE MÁQUINAS DE INYECCIÓN
PARA TERMOPLÁSTICOS.
UN CASO PRÁCTICO.**

ÍNDICE

	PÁGINA
Introducción.....	5
Abreviaturas.....	7

CAPÍTULO I POLÍMEROS

I.1	Generalidades.....	10
I.2	Clasificación de los Materiales Termoplásticos.....	12
I.2.1	Polímeros Termoplásticos para Moldeo por Inyección.....	12
I.2.2	Propiedades Generales de los Termoplásticos.....	14
I.2.3	Comportamiento Mecánico de los Termoplásticos.....	20
I.2.4	Tecnología de Moldeo de Materiales Termoplásticos.....	24
I.3	Clasificación de los Materiales Termofijos.....	26
I.3.1	Polímeros Termofijos para Moldeo por Inyección.....	26
I.3.2	Propiedades Físicas y Mecánicas de los Termofijos.....	27
I.3.3	Comportamiento Mecánico de los Termofijos.....	28
I.3.4	Tecnología de Moldeo de Materiales Termofijos.....	29
I.4	Clasificación de los Materiales Elastómeros.....	30
I.4.1	Características Físico-Mecánicas de los Elastómeros.....	30
I.4.2	Tecnología de Moldeo de Materiales Elastómeros.....	33

CAPÍTULO II FACTORES QUE INFLUYEN EN EL PROCESO DE MOLDEO

	PÁGINA	
II.1	Materiales Termoplásticos.....	36
II.1.1	Viscosidad y fluidez de los Materiales Termoplásticos en Estado Fundido.....	36
II.1.1.1	La reología de los polímeros.....	36
II.1.1.2	La viscosidad de un polímero termoplástico.....	36
II.1.2	Temperaturas.....	39
II.1.2.1	El control de la temperatura.....	40
II.1.2.2	Las variaciones de temperatura.....	40
II.1.3	Velocidades y Tiempos.....	41
II.1.3.1	Las velocidades de rotación del husillo.....	41

II.1.3.2	El tiempo de enfriamiento.....	42
II.1.4	Presiones.....	43
II.1.4.1	La presión de inyección.....	43
II.1.5	Almacenamiento de los Materiales Termoplásticos.....	44
II.1.5.1	Secado de los materiales para moldeo.....	45
II.1.6	Contracción de Piezas Moldeadas y Limitaciones.....	47
II.2	Materiales Termofijos.....	50
II.2.1	Viscosidad y fluidez de los Materiales Termofijos en Estado Fundido.....	51
II.2.2	Temperaturas.....	52
II.2.3	Velocidades y Tiempos.....	52
II.3	Aditivos.....	53
II.3.1	Aditivos de Proceso.....	53
II.3.1.1	Antioxidantes.....	53
II.3.1.2	Estabilizadores de Calor.....	54
II.3.1.3	Lubricantes.....	54
II.3.1.4	Ayudas de Proceso.....	55
II.3.2	Aditivos Funcionales.....	55
II.3.2.1	Cargas.....	55
II.3.2.2	Agentes de Acoplamiento.....	56
II.3.2.3	Modificadores de Impacto.....	56
II.3.2.4	Pigmentos.....	57
II.3.2.5	Blanqueadores Ópticos.....	57
II.3.2.6	Deactivadores de Metales.....	57
II.3.2.7	Plastificantes.....	57
II.3.2.8	Fungicidas.....	58
II.3.2.9	Absorbedores de Luz Ultravioleta (UV).....	58
II.3.2.10	Agentes de Entrecruzamiento.....	59
II.3.2.11	Agentes Nucleantes.....	59
II.3.2.12	Retardadores de Flama.....	60
II.3.2.13	Supresores de Humo.....	60
II.3.2.14	Agentes Antiestáticos.....	60
II.3.2.15	Agentes Antibloqueo.....	60
II.3.2.16	Agentes Espumantes.....	61
II.3.2.17	Aromatizante.....	61

CAPÍTULO III PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO DE LAS MÁQUINAS DE INYECCIÓN.

PÁGINA

III.1	Generalidades.....	62
III.2	Máquinas de Inyección para Materiales Termoplásticos.....	63
III.3	Unidad de Cierre del Molde.....	67
III.3.1	Cierre por Rodillera Simple.....	67
III.3.2	Cierre por Rodillera Doble.....	68
III.3.3	Cierre por Pistón Hidráulico.....	69
III.3.4	Cierre Mixto Rodillera-Pistón.....	70
III.3.5	Cierre Hidromecánico o por Pistón Bloqueado.....	70
III.4	Unidad de Inyección.....	73
III.5	Sistema Hidráulico.....	77
III.5.1	Sistema Hidráulico con Control Proporcional.....	78
III.6	Sistema Eléctrico.....	79
III.6.1	Sistema Eléctrico para el Control Automático.....	79
III.6.2	Sistema Eléctrico para el Control del Calentamiento del Cilindro de Plastificación.....	80
III.7	Especificaciones de las Máquinas de Moldeo por Inyección.....	81
III.7.1	Especificaciones de la Unidad de Inyección.....	81
III.7.2	Especificaciones de la Unidad de Cierre de Moldes.....	82
III.7.3	Especificaciones Generales.....	83
III.7.4	Condiciones de Operación de una Máquina de Moldeo por Inyección.....	83
III.8	Regulación de los Parámetros de Moldeo.....	85

CAPÍTULO IV MÁQUINAS DE INYECCIÓN, TIPOS Y CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS.

PÁGINA

IV.1	Generalidades.....	87
IV.2	Tipos Constructivos.....	88
IV.3	Características Técnicas de Máquinas de Inyección con Husillo.....	89
IV.4	Máquinas de Inyección para Preformas.....	102
IV.5	Prensas de Inyección de 100 a 199 Toneladas de Cierre.....	105

CAPÍTULO V CASO PRÁCTICO.**PÁGINA**

V.1	Datos Generales del Problema.....	108
V.2	Selección del Proceso.....	108
V.3	Hoja de Selección de Máquina de Inyección de Termoplásticos.....	108
V.3.1	Máquina Seleccionada.....	109
V.4	Hoja de Selección de Material a Emplear.....	112
V.4.1	Material Seleccionado.....	112
V.5	Constitución y Función del Molde.....	113
V.6	Parámetros de Moldeo.....	115
V.7	Hoja de Proceso.....	119
V.8	Acabado de la Pieza.....	121
Conclusiones.....		122
Bibliografía.....		124

INTRODUCCIÓN

La selección de una máquina de inyección para polímeros termoplásticos no es un trabajo sencillo ya que no es común encontrar información en textos de polímeros o ciencias y tecnología de materiales que nos ayude o guíe para una correcta selección, lo que provoca una deficiencia para los ingenieros recién egresados de las universidades del país que pretenden ingresar a alguna empresa en cuestión, o que tienen poco tiempo de trabajo y que requieren comprar este tipo de maquinaria.

Se debe de tener conocimientos prácticos o al menos teóricos de los principios de funcionamiento de las máquinas de inyectoras para poder hacer una selección adecuada, así como conocer el comportamiento de los materiales con los que trabaja una inyectora que son los polímeros. El tema de polímeros es un tema muy extenso ya que existen en el mercado infinidad de estos productos por lo que no es fácil dominarlos en su totalidad. En este trabajo sólo se mencionan los de mayor importancia y uso en la industria actual.

Para poder seleccionar adecuadamente la máquina debemos de conocer el funcionamiento de la misma, así como sus partes componentes, sus ventajas y desventajas en cada caso, la geometría de la pieza a inyectar, así como el volumen de producción y otras variables que serán analizadas posteriormente.

Todos los componentes y funciones de una máquina inyectora están controlados por un sistema eléctrico automatizado por medio de microprocesadores, que controlan interruptores de límite o temporizadores.

El objetivo de este trabajo de investigación es difundir los conocimientos básicos necesarios para la selección de una máquina de inyección, por lo cual esta dividido en cinco capítulos en forma secuencial para el mejor entendimiento del proceso.

En el capítulo I conoceremos los polímeros más utilizados actualmente en la industria, sus propiedades generales, clasificación y características principales.

En el capítulo II se trata sobre los factores que influyen en el proceso de moldeo: viscosidad, temperaturas, velocidades y tiempos, así como también los aditivos utilizados.

En el capítulo III se analizan los principios de funcionamiento de las máquinas de inyección: unidad de cierre del molde, unidad de inyección, sistema eléctrico y condiciones de operación de una máquina de moldeo por inyección.

En el capítulo IV se presentan algunos tipos y características técnicas de máquinas de inyección existentes en el mercado, características técnicas y tipos constructivos.

En el capítulo V se estudia un caso práctico en donde se plantea un problema real y los pasos a seguir para una selección adecuada de una máquina inyectora como son: la selección de proceso, la selección de una máquina, los parámetros de moldeo y la hoja del proceso para nuestro caso.

ABREVIATURAS.

A continuación se listan las abreviaturas de los polímeros mas empleados, estas son las asignaciones recomendadas por la norma DIN 7728 hoja 1 (Dic. 73).

ABS	Acrilonitrilo-butadieno-estireno
ACM	Acrilister-caucho
AFK	Polímero reforzado con asbesto
AMMA	Acrilonitrilo-metimetacrilato-copolímero
ANM	Acrilister-caucho
ASA	Acrilonitrilo-estireno-acrilister
BR	Cis 1,4 polibutadieno
CA	Acetato de celulosa
CAP	Celulosa acetobutirato
CAP	Celulosa acetopropionato
CF	Resina cresol-formaldehído
CFK	Polímero reforzado con fibra de carbono
CHR	Clorhidrina-caucho
CMC	Carboximetilcelulosa
CN	Celulosa nitrato
Cop	General para copolímeros
CP	Celulosa
CS	Cloropreno caucho
CS	Cuerno sintético caseína
CSM	Poliétileno clorosulfonado
DAIP	Diallisoftalato
DAP	Dialfitalato
DBP	Dibutiltalato
DIDA	Disideciladipato
DOP	Dioctiltalato
DOS	Dioctilsebacato
EC	Etilcelulosa
ECB	Etileno-cop-betín
E/EA	Etileno-etilacrilato
EP	Resina epoxi
EPDM	Etileno-propileno-terpolímero
EPM	Etileno-propileno-caucho
EPS	Poliestireno expandido
E-PVC	Emulsión PVC
ETFE	Etileno-tetrafluoretileno
E/VAC	Etileno-vinilacetato
FEP	Perfluoretilenopropileno
FK	Polímero reforzado con fibras de vidrio
GF-EP	Resina epoxi reforzada con fibra de vidrio
GFK	Plástico reforzado con fibra de vidrio
GRP	Plástico reforzado con fibra de vidrio
GR-1	Caucho-butilo
GR-N	Caucho-nitrilo
GR-S	Caucho-estireno-butadieno
GF-UP	Resina poliéster reforzada con fibra de vidrio
HDPE	Poliétileno alta densidad
Hgw	Tejido duro

Hm	Material estratificado
HMWPE	Poliétileno alto peso molecular
HP	Papel duro
HR	Caucho butilo
IR	Caucho Cis 1,4 polisopreno
LDPE	Poliétileno baja densidad
MC	Metil-celulosa
MDI	Difenil-metadiisocianato
MDPE	Poliétileno media densidad
MF	Resina melamina-formaldehido
MP	Designación antigua para polímeros
M-PVC	Cloruro de polivinilo en masa
NBR	Caucho nitrilo
NC	Nitrocelulosa
NK	Caucho natural
NR	Caucho natural
PA	Poliámidas
PAN	Poliacrilonitrilo
PB	Poli-buteno
PBTP	Poli-butilenteraftalato
PC	Policarbonato
PCTFE	Policlorotrifluoretileno
PDAP	Polidialftalato
PEC	Poliétileno clorado
PE	Poliétileno
PEO	Oxido de poliétileno
PET	Poliétilentereftalato
PF	Resina fenol-formaldehido
PFA	Copolímeros perfluoralcóxi
PFEP	Poli-tetrafluoretileno-perfluor propileno
PIB	Poliisobutileno
PMMA	Poli-metilmetacrilato
PO	Poli-olefinas
POM	Poli-oximetileno, poliformaldehido (policetal)
PP	Poli-propileno
PPO	Oxido de polifenileno
PS	Poli-estireno
PSB	Caucho estireno butadieno
PTFE	Poli-tetrafluoretileno
PTMT	Ver PBTP
PUR	Poliuretano
PVAC	Poli-vinilacetato
PVAL	Poli-vinilalcohol
PVB	Poli-vinilbutirato
PVC	Cloruro de polivinilo
PVCA	Vinilcloro vinilacetato
PVCC	Cloruro de polivinilo clorado
PVDC	Cloruro de polivildeno
PVDF	Fluoruro de polivinilideno
PVF	Fluoruro de polivinilo
PVFM	Poli-vinilformal
PVF2	Fluoruro de polivinilideno

PVK	Polivinil carbazol
SAN	Estireno acrilanitrilo
SB	Estireno butadieno
SBR	Caucho estireno butadieno
SI	Caucho de silicona
SI	Silicona
SMS	Estire-metilestireno
SPVC	PVC suspensión
TAH	Ester del ácido tiobutírico
TF	Tricresilfosfato
TCP	Tricresilfosfato
TDI	Toluendisocianato
TKP	Tricresilfosfato
TOTH	Triociléster del ácido trimelático
TPF	Tifenilfosfato
TPX	Polimentilpenteno
UF	Resina urea formaldehído
UP	Poliéster no saturado
VAC	Vinilacetato
VC	Vinilcloruro
VF	Fibra vulcanizada, fibra roja
VI	Fibra vulcanizada, fibra roja

ABREVIATURAS DE NORMAS MENCIONADAS

DIN	DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG INSTITUTO ALEMÁN PARA LA NORMALIZACIÓN
ISO	INTERNATIONAL STANDARDS ORGANIZATION ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE NORMALIZACIÓN
UNI	NAZIONALE ITALIANO DI UNIFICAZIONE NACIONAL ITALIANO DE NORMALIZACIÓN
ASTM	AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS SOCIEDAD AMERICANA PARA PRUEBAS Y MATERIALES
BSI	BRITISH STANDARDS INSTITUTE INSTITUTO BRITÁNICO DE NORMALIZACIÓN
NOM	NORMA OFICIAL MEXICANA

CAPITULO I POLÍMEROS

I.1 GENERALIDADES.

Con pocas excepciones, los polímeros se obtienen del petróleo crudo o del gas natural mediante una serie de procesos químicos. Estos materiales se conocen como compuestos petroquímicos (compuestos derivados del petróleo) y son, por tanto de base hidrocarbonada. Sin embargo representa, solo una pequeña parte de la producción total del gas natural y del petróleo, casi 1.5 a 2%. Las materias primas necesarias para producir los distintos polímeros son el metano, etileno, propileno, benceno, acetileno, naftaleno, tolueno y xileno.

A menos que ya esté como monómero, la materia prima se transforma en éste. Los proveedores de resina (elemento aglutinante) transforman luego el monómero en polímero, el cual es la materia prima básica. El monómero de etileno se convierte en polietileno, el de estireno en poliestireno, el de cloruro de vinilo en policloruro de vinilo, etcétera. Estos son los termoplásticos. Ciertos tipos de polímeros (los termofijos) se producen por una ruta un poco diferente (polimerización por adición) al hacer reaccionar dos compuestos diferentes en el equipo final de procesamiento, es decir, urea más melamina.

¿ Que es un polímero ?

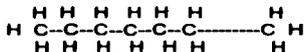
Un polímero es simplemente una molécula muy grande formada por la unión de muchas moléculas mas pequeñas llamadas monómeros. Las propiedades de una molécula varían al modificar su tamaño. Estas variaciones pueden observarse en la tabla 1.1.

TABLA 1.1 EFECTO DE LA LONGITUD DE LA CADENA EN LAS PROPIEDADES DE LOS COMPUESTOS DEL CARBONO.

Número de átomos de carbono	Nombre	Forma
1	Metano	Gas
2	Etano	Gas
3	Propano	Gas
7	Heptano	Líquido
12 - 14	Petróleo	Líquido viscoso
26 - 50	Parafina	Sólido blando
1 000	Polietileno de bajo peso molecular	Sólido flexible
3 000 - 350 000	Polietileno de alto peso molecular	Sólido rígido y resistente

Capítulo I Polímeros

Todos estos compuestos son cadenas rectas de moléculas de carbono e hidrógeno:



La diferencia básica es la longitud de las cadenas. Tanto el punto de fusión como la resistencia son proporcionales al tamaño de las moléculas.

En la formación de resinas sintéticas y elastómeros con largas cadenas moleculares (conocidas como macromoléculas o polímeros), se distinguen dos procesos básicos de **polimerización**, que ya existen en la naturaleza de la celulosa, del caucho natural y en otras sustancias.

La **polimerización por adición** es un proceso en el cual, bajo condiciones apropiadas de temperatura y presión, las moléculas monoméricas se enlazan entre sí para formar largas cadenas moleculares. Durante ésta reacción no se producen productos secundarios o subproductos.

La **polimerización por condensación** es un proceso en el cual dos o más sustancias simples (monómeros) se combinan bajo condiciones apropiadas de temperatura y presión para formar largas cadenas moleculares. A diferencia de la polimerización por adición, en la polimerización por condensación se forman productos secundarios, tales como agua, ácidos, etcétera, los cuales tienen que ser eliminados.

Otros agentes, llamados iniciadores y catalizadores, se usan para iniciar o acelerar estas reacciones complejas que conducen a la formación de macromoléculas.

A todas estas resinas y hules naturales y sintéticos se les agrega cargas de refuerzo o relleno, aditivos químicos, plastificantes estabilizantes, colorantes, etcétera (como se verá en el tema de Aditivos del capítulo 2), con el fin de dar a los materiales plásticos de moldeo o a las mezclas de hule, características particulares en cuanto a condiciones mecánicas o físicas.

Todo lo anterior ha dado origen a innumerables productos y aplicaciones de lo cual podemos poner como ejemplos:

- ⇒ materiales para inyección y para extrusión
- ⇒ hojas, láminas y películas
- ⇒ resinas para uso electrotécnico, pinturas adhesivos, etc.
- ⇒ hules vulcanizables y hules termoplásticos
- ⇒ fibras textiles sintéticas

En paralelo el desarrollo de nuevos productos y aplicaciones, se han ido experimentando y perfeccionando diversas tecnologías de producción y transformación

con el uso de máquinas y equipos mejorados constantemente a fin de alcanzar grandes producciones con ciclos de trabajo automático.

A continuación se dará la clasificación de los polímeros y algunas de sus propiedades, así como los procesos de transformación para cada grupo. Se hará una breve mención de los elastómeros, ya que éste trabajo trata sobre los polímeros Termoplásticos.

1.2 CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES TERMOPLÁSTICOS.

Generalmente, los polímeros se clasifican de acuerdo con las propiedades físicas y químicas que los constituyen, en dos grupos principales: termoplásticos y termofijos.

Los **termoplásticos** tienen una estructura molecular lineal (obtenida por procesos de polimerización o de policondensación) que durante el moldeo no sufren ninguna modificación química.

La acción del calor causa que éstos termoplásticos se fundan, solidificándose rápidamente por enfriamiento en el aire o al contacto con las paredes del molde. Dentro de ciertos límites, el ciclo de fusión-solidificación puede repetirse; sin embargo debe tenerse en cuenta que el calentamiento repetido puede dar como resultado la degradación del polímero.

1.2.1 Polímeros Termoplásticos para Moldeo por Inyección

Un polímero listo para ser moldeado por inyección o por otros procedimientos de transformación, puede ser definido como un "compuesto" constituido por el polímero base llamado "aglutinante" y varios aditivos químicos así como cargas o rellenos de diferente naturaleza.

En el grupo de los **polímeros termoplásticos** (ver tabla 1.2) , se presenta una lista de los más utilizados para la producción de compuestos de moldeo, generalmente se abastecen en polvo o en gránulos (pellets). La lista no es completa, en cuanto incluye los polímeros más conocidos (polímeros básicos) sin mencionar los polímeros más nuevos o las combinaciones de dos o más polímeros (copolímeros), que se han producido para aplicaciones especiales.

El moldeo por inyección es el típico proceso de transformación de los termoplásticos, aunque también pueden trabajarse con otros métodos (extrusión, soplado, termoformado, etc.).

TABLA 1.2 RESINAS TERMOPLÁSTICAS

RESINAS TERMOPLÁSTICAS (resina base)	Símbolo ISO 1043	Denominación
Acrílicas	PMMA	Polimetil-metacrilato
Celulósicas	CA	Acetato de celulosa
	CAB	Acetobutirato de celulosa
	CP	Propionato de celulosa
Estirénicas	PS	Poliestireno
	SB	Poliestireno alto impacto
	ABS	Acrilonitrilo-butadieno-estireno
	SAN	Acrilonitrilo-estireno
Vinílicas	PVC	Cloruro de polivinilo
	PVAC	Poliacetato de vinilo
Polioléfinicas	PE	Poliétileno
	PP	Polipropileno
Poliacéticas	POM	Poliacetal (polio-simetileno)
Poliamidas	PA 66	Poliamida 66
	PA 6	Poliamida 6
	PA 61	Poliamida 61
	PA 11	Poliamida 11
	PA 12	Poliamida 12
Policarbonatos	PC	Policarbonato
Poliésteres	TP	Polibutílen-tereftalato
Termoplásticos	PETP	Polibutílen-tereftalato
Polifenilénicas	PPO	Polióxido de fenileno
Poliuretanos (con estructura lineal)	PUR	Poliuretano termoplástico
Resinas	FEP	Fluoro-etileno-propileno
Fluoro-carbónicas	ETFC	Tetrafluoro-etileno
	PCTFE	Trifluoroetileno-polícloro

Como ya se mencionó los Aditivos¹ en sus diferentes formas son muy importantes para modificar las características de los polímeros y poder satisfacer las necesidades del producto final.

Es fácil deducir que entre más amplia sea la variedad de materiales termoplásticos combinados con los múltiples aditivos que entran en juego, se puede crear una infinidad de combinaciones.

¹ Ver capítulo 2

1.2.2 Propiedades Generales de los Termoplásticos.

Las propiedades de un polímero dependen en primer lugar de las características químico-físicas del polímero base y de los aditivos usados para mejorar o modificar alguna propiedad de dicho polímero.

A continuación veremos los termoplásticos más utilizados, sus características físicas, químicas y algunas de sus aplicaciones más importantes.

POLÍMERO: Polietileno Baja Densidad (**LDPE**).

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS: alta flexibilidad, buena resistencia térmica, baja dureza superficial, buen dieléctrico.

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS: Estable de 85° a 95 °C . Estable frente a alcalis, alcohol. Inestable a hidrocarburos y bencol.

APLICACIONES: recipientes domésticos, embalajes, aparatos médicos, juguetes, piezas para alta frecuencia.

POLÍMERO: Politrifluor Cloroetileno (**PCTFE**)

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS: estabilidad química y térmica, gran dureza, propiedades de deslizamiento, no inflamable, buen dieléctrico.

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS: estable de 190° a 200°C. Muy resistente a todos los productos químicos.

APLICACIONES: piezas de aparatos químicos, válvulas, llaves, juntas para pistones y accesorios de equipo eléctrico.

POLÍMERO: Polipropileno (**PP**).

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS: estable al calor, resistencia a la tracción, rigidez, dureza superficial, resistencia a la corrosión, quebradizo bajo 0°C.

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS: estable de 120° a 130°C. Estable frente a alcalis y ácidos débiles. Inestable a ácidos concentrados, hidrocarburos y bencol.

APLICACIONES: recipientes, juguetes, artículos para mecánica fina y aparatos eléctricos, cascos protectores.

POLÍMERO: Oxido de Polifenileno (**PPO**).

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS: estable al calor, resistencia mecánica, altas propiedades dieléctricas.

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS: estable hasta 175°. Buena estabilidad a los productos químicos.

APLICACIONES: piezas funcionales en lavadoras, artículos domésticos resistentes al agua y al calor.

POLÍMERO: Etilcelulosa (**EC**).

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS: alta tenacidad, reducida estabilidad al calor, resistencia al agua.

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS: estable hasta 66°C . Estable frente a productos químicos y ácidos débiles.

APLICACIONES: bobinas de hilación, auriculares telefónicos.

Capítulo I Polímeros

POLÍMERO : Poliestireno (PS).

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS: gran rigidez y estabilidad dimensional, dieléctrico, resistente a la humedad, envejece rápidamente.

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS: estable de 60° a 75°C. Estable frente a ácidos, alcalis, alcohol. Inestable a ésteres, éter, benceno, carburantes.

APLICACIONES: objetos domésticos, juguetes, artículos publicitarios, botes y pequeños recipientes, aislante eléctrico.

POLÍMERO: Poliestireno Alto Impacto (SB).

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS: alta rigidez, aislante, resistencia al choque, duro y tenaz, envejece rápidamente.

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS: estable de 60° a 70°C. Estable a ácidos débiles. Inestable frente a éteres, ésteres, cetonas, benceno, carburantes.

APLICACIONES: carcasas de teléfonos, radios y televisión, vasos, juguetes, embalajes.

POLÍMERO: Acrilonitrilo-estireno (SAN).

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS: dureza, tenacidad, resistencia superficial, resistencia a la intemperie y envejecimiento.

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS: estable hasta 80°C. Estable a solventes orgánicos, ácidos, aceites y grasas. Inestable a ésteres y éteres.

APLICACIONES: piezas de aparatos de oficina, de radio y televisión, vajillas, artículos domésticos.

POLÍMERO: Polivinil Carbazol (PVK).

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS: estabilidad al calor, rígido, quebradizo, altas propiedades dieléctricas.

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS: estable hasta los 70°C. Estable a ácidos, alcalis, alcohol, éter, inestable al benceno.

APLICACIONES: piezas para aislamiento eléctrico sometidas a altas cargas térmicas.

POLÍMERO: Policarbonato (PC).

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS: alta resistencia mecánica, estabilidad dimensional al calor. Buenas propiedades dieléctricas y resistencia al envejecimiento, transparencia.

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS: estable de 110° a 135°C. Estable a ácidos, alcohol, aceites y grasas. Inestable a la cetona, éter, benceno. Larga permanencia en agua hirviendo.

APLICACIONES: piezas de aislamiento para la técnica de iluminación, aparatos esterilizables para uso médico, vajillas, lentes ópticos.

POLÍMERO: Acetato de Celulosa (CA).

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS: elevada tenacidad, tacto agradable. Buen brillo, atrae poco polvo, estable al sonido.

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS: estable de 60° a 85°C. Estable a la bencina, aceite y grasa, inestable a ácidos y ésteres.

APLICACIONES: mangos, cajas para aparatos domésticos.

POLÍMERO: Acetobutirato de celulosa (CAB).

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS: buena resistencia mecánica, al calor y humedad, muy resistente a la intemperie, apropiado para injerto metálico, transparente.

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS: estable hasta 70°C. Estable para ácidos débiles, aceites, bencinas y grasas. Inestable frente a ácidos.

APLICACIONES: volantes, mangos de herramientas, guarniciones para muebles, pantallas para televisión.

POLÍMERO: Cloruro de Polivinilo Rígido (PVC).

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS: Buena resistencia, dureza y tenacidad, resistencia frente a la corrosión. Buenas propiedades dieléctricas. Difícil combustión.

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS: estable de 60° a 70°C. Estable al ácido alcalis, alcohol, aceite, grasa, cetona, éter, benzol.

APLICACIONES: accesorios y válvulas, discos, juntas, piezas para aislamiento eléctrico. Elementos para aparatos domésticos.

POLÍMERO: Cloruro de Polivinilo Flexible (PVC).

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS: muy elástico.

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS: estable de 40° a 70°C. Estable al alcohol, éster, éter, benzol.

APLICACIONES: juntas, amortiguadores, pies para aparatos, juguetes, suelas.

POLÍMERO: Poliamidas (PA).

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS: elevado alargamiento y tenacidad. Reducido desgaste, alta absorción de agua, quebradizo al secarse, buena estabilidad al calor.

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS: estable de 90° a 110°C. Resistente a alcalis, alcohol, éster, éter, benzol, aceite y grasas.

APLICACIONES: piezas técnicas de todo tipo, engranes, cojinetes, elementos de embrague, aparatos médicos.

POLÍMERO: Polimetil Metacrilato (PMMA).

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS: alta resistencia mecánica, dureza superficial, estabilidad a la intemperie, transparente.

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS: estable de 70° a 90°C. Resistente a aceites, grasas, ésteres, carburantes.

APLICACIONES: piezas de aislamiento, lentes y cubiertas de focos, carátulas, calaveras.

POLÍMERO: Acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS).

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS: tenacidad, gran rigidez y dureza, resistencia a la intemperie, buen dieléctrico, estable al sonido.

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS: estable de 60° a 80°C. Estable frente a alcalis, ácidos débiles, aceite y grasas. Inestable a ácidos concentrados, ésteres, éteres, cetonas.

APLICACIONES: piezas para automóvil, teléfonos, aparatos domésticos, recipientes, juguetes.

POLÍMERO: Poliuretano(PUR).

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS: alta resistencia y exactitud de medidas, resistencia a la tracción y al desgaste, aislante eléctrico, baja absorción de agua.

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS: estable hasta 88°C. Estable a álcalis, ácidos débiles, ésteres, éteres, bencina, bencol, aceite y grasa. Inestable frente a ácidos concentrados.

APLICACIONES: piezas con gran estabilidad dimensional, cojinetes, engranes, juguetes.

POLÍMERO: Polietileno Alta Densidad (HDPE).

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS: rigidez, resistente a la temperatura, dureza superficial, buen dieléctrico, esterilizable.

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS: estable hasta 105°C. Estable frente a ácidos, alcohol, álcalis. Inestable a los hidrocarburos y bencol.

APLICACIONES: utensilios domésticos, botellas, aparatos médicos, recipientes, juguetes.

En general los **materiales termoplásticos con estructura lineal**, ya vistos en la tabla 1.2, pueden ser subdivididos en dos subgrupos con referencia a su acomodo molecular:

⇒ **polímeros con estructura amorfa:** en este tipo de polímeros la fusión no se realiza a una temperatura determinada. Por lo tanto no existe un "punto de fusión" preciso, sino que el material pasa gradualmente del estado sólido a un estado viscoso a medida que la temperatura aumenta, hasta convertirse finalmente en un fluido.

En este amplio "intervalo de fusión" los materiales amorfos pueden obviamente ser trabajados o transformados (por inyección, extrusión, soplado, etc.) dentro de límites de temperatura bastante grande.

En estos materiales amorfos (sin refuerzos fibrosos u otras cargas inertes), la contracción en el molde está limitada entre 0.3% y 0.9%. Los mismos polímeros con cargas o refuerzos fibrosos presentan valores de contracción inferiores.

Algunos materiales con una estructura amorfa son transparentes como por ejemplo las metacrílicas, las poliamidas amorfas, los policarbonatos y algunas estirénicas (PS, SAN) y celulósicas.

⇒ **polímeros con estructura parcialmente cristalina:** éstos polímeros constituidos por partes amorfas y partes cristalinas, presentan un característico "punto de fusión" que corresponde a la transición del estado sólido al estado fluido. El intervalo útil para la transformación está por lo tanto limitado a pocos grados centígrados, ya que un poco abajo del punto de fusión, el material está todavía sólido y no se puede moldear ni extruir. Por otra parte no es prudente superar mucho la temperatura de fusión porque puede intervenir el fenómeno de degradación térmica.

Capítulo I Polímeros

Estos polímeros con estructura semicristalina tienen una contracción en el moldeo mucha mas elevada con respecto a los materiales amorfos.

La estructura semicristalina hace a estos materiales más resistentes a los agentes químicos (solventes, sustancias ácidas o básicas, etcétera, como ya se vio en el punto 1.2.2 de éste trabajo) y menos sensibles a los aumentos de temperatura en cuanto que mantiene las características de resistencia mecánica y de rigidez hasta la proximidad del punto de fusión.

La diversa estructura molecular no sólo influye en el comportamiento del proceso de fusión y solidificación, sino que también determina las propiedades físicas y mecánicas.

La tabla 1.3 lista los materiales termoplásticos previamente mencionados subdivididos en dos subgrupos:

- ⇒ polímeros con estructura amorfa
- ⇒ polímeros con estructura semicristalina

Se dan también los símbolos ISO correspondientes, sus temperaturas o límites del punto de fusión y los valores aproximados de la contracción al moldeo.

TABLA 1.3 MATERIALES TERMOPLÁSTICOS CON ESTRUCTURA AMORFA Y CRISTALINA

Termoplásticos con estructura amorfa		Intervalo de fusión °C	Contracción en moldeo %
	símbolo ISO		
ABS copolímero	ABS	170 - 200	0,4 - 0,7
Poliestireno	PS	130 - 160	0,3 - 0,6
Poliestireno resistente al impacto	SB	130 - 160	0,3 - 0,6
Acritonitrilo-estireno	SAN	140 - 170	0,4 - 0,6
Acetato de celulosa	CA	130 - 170	0,3 - 0,7
Acetato butirato de celulosa	CAB	130 - 170	0,3 - 0,7
Propionato de celulosa	CP	130 - 170	0,3 - 0,7
Policarbonato	PC	220 - 260	0,5 - 0,8
Polimetil metacrilato	PMMA	150 - 180	0,4 - 0,8
Óxido de polifenileno (modificado)	PPO	240 - 270	0,5 - 0,8
Cloruro de polivinilo (rígido)	PVC	130 - 160	0,4 - 0,8
Termoplásticos semicristalinos		Temperatura de fusión °C	Contracción en moldeo %
	símbolo ISO		
Poliétileno (baja densidad)	LDPE	110	1 - 3
Poliétileno (alta densidad)	HDPE	130	1,5 - 4
Polipropileno	PP	165	1 - 2,5
Poliámidas 66	PA 66	255	1,2 - 2,5
Poliámida 6	PA 6	220	0,8 - 2
Poliámida 610	PA 610	220	0,8 - 2
Poliacetal (homopolímero)	POM	175	1,5 - 3,5
Poliacetal (copolímero)	POM	165	1,5 - 3,5
Polibutileno-tereftalato	PBTP	255	1,2 - 2,8
Poliétileno-tereftalato	PETP	255	1,2 - 2
Fluorotileno-propileno copolímero	FEP	270	3,5 - 5
Etileno-Tetrafluoruro etileno copolímero	ETFE	270	3,5 - 5

- Tomado de Moldes y Máquinas de Inyección para la Transformación de Plásticos Gianni Bodini, Franco Cacchi Pessani Ed. Mc Graw Hill

La temperatura máxima de trabajo para los productos moldeados de cualquier material es bastante más bajas que la temperatura de ablandamiento o de fusión. Las temperaturas de trabajo o servicio son usualmente alrededor de la mitad de la temperatura de fusión correspondiente.

Esta regla empírica no es válida en los casos particulares en donde se presentan variaciones de esfuerzos mecánicos o condiciones ambientales que reduzcan los márgenes de resistencia del materia.

Otra característica ligada a la naturaleza química de los polímeros termoplásticos es su tendencia a absorber agua, ya sea del ambiente (aire húmedo) o por inmersión directa.

En general, los polímeros (ya sean termoplásticos o termofijos) deben ser moldeados o extruidos con un mínimo de humedad para evitar la formación de vapor durante el proceso.

Naturalmente las piezas moldeadas salen de los moldes completamente deshidratadas (prácticamente secas) pero tienden a absorber lentamente humedad del ambiente. Consecuentemente las piezas moldeadas que han absorbido agua en mayor o menor cantidad varían sus dimensiones, su resistencia mecánica y sus características aislantes.

Es útil se deba establecer dimensiones y límites de tolerancia de piezas moldeadas de cuyo funcionamiento sea necesario asegurarse (por ejemplo, pernos, bujes, engranajes, etcétera) en diversas condiciones ambientales. Es necesario recordar para éste propósito, que los materiales plásticos tienen un coeficiente de dilatación térmica lineal de 4 a 8 veces más que el de los metales (acero, bronce, latón)

Es sabido que el coeficiente de dilatación térmica lineal de un sólido es la variación que experimenta la unidad por el aumento de temperatura de 1°C. Para el acero el valor medio es:

$$\alpha = 12 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

Por ejemplo, un engrane moldeado en poliamidas 66, cuyo diámetro primitivo sea de 100 mm sufrirá un aumento en el diámetro de 0.4 a 0.5 mm cuando la temperatura de trabajo aumenta de 20 °C a 70 °C (diferencia de 50 °C).

Un engrane de las mismas dimensiones pero construido en acero sufrirá un aumento en el diámetro de sólo 0.06 mm.

1.2.3 Comportamiento Mecánico de los Termoplásticos.

Los polímeros sometidos a esfuerzos mecánicos se comportan en forma diferente a los metales. Su propia estructura consta de largas cadenas moleculares de sustancias orgánicas por lo tanto muy diversas a la estructura cristalina de los metales. Resulta

Los materiales termoplásticos sometidos a tracción no siguen fielmente la ley de Hooke, según la cual dentro de ciertos límites, las deformaciones son proporcionales a la carga. A temperaturas normales (23 °C) bajo carga constante, se produce en los termoplásticos el fenómeno de deformación plástica.

Lo que significa que una pieza moldeada bajo la acción de una carga constante prolongada en el tiempo, continúa deformándose (no importa que la carga unitaria sea inferior a la del punto de cedencia). Con temperaturas elevadas (80°C - 100°C) se producen disminuciones notables de su resistencia mecánica y en consecuencia disminuye también la rigidez del producto (disminución del valor del módulo elástico).

Es necesario mencionar brevemente dos fenómenos típicos de los **materiales termoplásticos**:

- ⇒ **deformación plástica**, que se puede definir como el aumento de la deformación en función del tiempo de la aplicación de la carga.
- ⇒ **ablandamiento**, que es la disminución de la resistencia mecánica en función del tiempo de la aplicación de la carga.

Se trata de dos fenómenos que, para cada material no puede ser fácil de representar con ecuaciones o diagramas, debido a que dependen también de otras variables (temperaturas de trabajo, presencia de refuerzos fibrosos, etc.).

Ambos fenómenos, **deformación plástica y ablandamiento**, son causados por el comportamiento visco-elástico de los termoplásticos que, sometidos a fuerzas moderadas, tienden a estirarse y llegan a deformarse permanentemente si el esfuerzo es prolongado.

El diagrama que sigue presenta, en forma comparativa, las características físico-mecánicas de los "termoplásticos de ingeniería" más conocidos. Obviamente no es posible en un diagrama dar una visión completa de las características de todos los materiales utilizados con o sin cargas de refuerzo, rellenos, aditivos, etcétera.

El diagrama (ver Fig. 1.1) muestra las curvas esfuerzo- deformación de algunas **polímeros termoplásticos sin carga de esfuerzo**. Las pruebas de tracción fueron hechas a temperatura ambiente (23°C) y se observa la diferencia de los termoplásticos examinados.

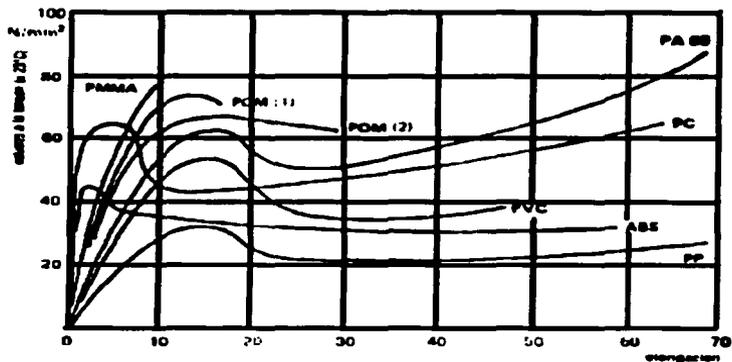


Fig. 1.1 Curvas esfuerzo vs. elongación correspondientes a diversos polímeros termoplásticos (esfuerzo a la tensión a 23°C - 50% humedad relativa).²

ABS	acrilonitrilo-butadieno-estireno
PA 66	poliamida 66
PC	poli-carbonato
PMMA	polimetil-metacrilato
POM (1)	polímero acetálica (homopolímero)
POM (2)	polímero acetálica (copolímero)
PP	polipropileno
PVC	cloruro de polivinilo (rígido)

Algunos materiales bastante frágiles (por ejemplo: PMMA) se rompen sin debilitarse y con poca elongación. Otros materiales más tenaces presentan un marcado punto de debilitamiento, después del cual prevalece una deformación permanente y notoria seguida de la rotura (por ejemplo: ABS, PA 66, PC, etcétera).

Considerando que la curva esfuerzo-deformación de este diagrama se refiere a pruebas de tensión de breve duración a temperatura ambiente (23°C), las cargas admisibles en

² Tomado de la Enciclopedia Materie Plastice.

un cálculo de resistencia deberán reducirse, según el grado de seguridad que se considere, a valores de 1/5 a 1/10 de los esfuerzos del punto de cedencia o de rotura.

Estos fenómenos pueden ocurrir aún en temperaturas tan bajas como 20 °C, presentándose con mayor incidencia a temperaturas más altas o bajo condiciones ambientales diversas (humedad, agentes químicos, etc.) por lo que pueden crear incertidumbre para el diseño correcto (dimensionalmente) de partes mecánicas moldeadas con materiales termoplásticos.

Ciertamente el esfuerzo de trabajo admisible para el material preseleccionado deberá ser lo más bajo posible, respecto al cálculo realizado o las fuerzas que se hayan previsto.

Se han realizado pruebas a la tensión por largos periodos (1 año) en los laboratorios de las compañías productoras de termoplásticos, que han permitido hacer gráficas para todos los materiales de deformación en función del tiempo, bajo diferentes condiciones de carga y de temperatura.

El diseñador de un componente con materiales termoplásticos puede por lo tanto prever las deformaciones que sufrirá la pieza moldeada después de un largo periodo de servicio, y hacer una selección correcta del material a usar.

Resulta evidente la necesidad de sobre-dimensionar las piezas moldeadas que deben al mismo tiempo resistir la aplicación de carga mecánica y térmica de larga duración. De hecho en la aplicación práctica, muchas piezas moldeadas deben resistir sin excesiva deformación por largo tiempo, a temperaturas superiores a las consideradas normales (20°C - 25°C).

Por estas razones los esfuerzos de trabajo admisibles en un producto moldeado, ya sea calculado u obtenido por gráficas o tablas, deberán reducirse por motivos de seguridad. En realidad se requiere tener en cuenta los errores de cálculo, eventuales sobrecargas o defectos en el material termoplástico causados por un proceso de transformación no bien regulado o la acción de condiciones ambientales diferentes a las previstas (humedad, temperatura, agentes químicos, etc.).

Es oportuno recordar los fundamentos de la ciencia de la construcción que exige mantener un amplio "factor de seguridad", cuando se tiene información incierta sobre los materiales a utilizar o se desconozcan las fuerzas a que van a estar sometidas las piezas.

1.2.4 Tecnología de moldeo de materiales Termoplásticos.

Aun cuando el moldeo de polímeros, puede parecer a primera vista una operación muy simple, se podrá apreciar mejor enseguida, cuáles y cuántos son los problemas que deben resolverse para producir piezas moldeadas que respondan a las exigencias de precisión y de calidad que cada producto industrial requiere.

Hemos visto que la clasificación comúnmente adoptada para distinguir polímeros y elastómeros se basa en las características químico-físicas que constituyen el compuesto.

Los métodos mejor conocidos para el procesamiento de polímeros se muestran en la tabla 1.4. La tabla da en forma concisa los métodos e indica, a un lado del equipo utilizado, los dispositivos y la máquina utilizada para el proceso.

TABLA 1.4 TECNOLOGÍA DE TRANSFORMACIÓN DE LOS POLÍMEROS TERMOPLÁSTICOS

	Métodos de transformación	Moldes Herramental o equipo	Maquinaria-equipo
TERMOPLÁSTICOS suministrado en: polvo gránulos lámina película, etc.	Moildeo por inyección	Moldes de acero	Máquinas de inyección (hidráulicas)
	Extrusión (redondo-hojas películas)	Dados y cabezales de extrusión	Equipo de extrusión
	Soplado (cuerpos huecos)	Moldes de aluminio	Máquinas de soplado con extrusión con inyección
	Termoformado (por vacío o por presión)	Moldes o formas de madera o aluminio	Máquinas para termoformado (formado en caliente)
	Rotoformado (cuerpo hueco)	Moldes tipo concha de lámina de acero o aluminio	Sistema de rotomoldeo-hornos de aire caliente
	Formado por expansión (ejemplo: poliestireno expandido)	Moldes de aluminio	Calderas (generadores) de vapor Equipos para moldeo por vapor
	Calandreado (ejemplo: hojas continuas)		Mezcladores Calandrias
	Moldeo por compresión	Moldes de acero	Máquinas de moldeo por compresión

I.3 CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES TERMOFIJOS.

Las resinas termofijas (también obtenidas por polimerización o policondensación) pueden ser fundidas una sola vez. Las resinas de este grupo, que se caracterizan por tener una estructura molecular reticulada o entrelazada, se funden inicialmente por la acción del calor, pero enseguida, si se continua la aplicación del calor, experimenta un cambio químico irreversible, el cual provoca que las resinas se tornen infusibles (es decir, no se plastifican) e insolubles. Este endurecimiento es causado por la presencia de catalizadores o de agentes reticulantes.

I.3.1 Polímeros Termofijos para Moldeo por Inyección.

El grupo de las resinas termofijas (ver tabla 1.5) incluye las resinas básicas más conocidas y empleadas en la preparación de los compuestos para moldeo, abastecidos por el mercado en forma de polvo o gránulos. El moldeo de estos materiales puede realizarse en máquinas de inyección automática o en prensas por transferencia o a compresión, estando la selección del método a usar ligado al tipo de molde utilizado.

También en el caso de los termofijos existe una extensa gama de materiales de moldeo disponibles, por lo que se puede entender lo complejo que resulta seleccionar el material idóneo para la producción en serie de una determinada pieza moldeada.

TABLA 1.6 RESINAS TERMOFIJAS

RESINAS TERMOFIJAS (resinas base)	SÍMBOLO ISO 1043	Denominación
Fenólicas	PF	Resina fenolformaldehído
Melamínicas	MF	Resina melamina-formaldehído
	MFP	Resina melamina-fenol-formaldehído
Ureicas	UF	Resina urea-formaldehído
Alquídicas	—	Resina alquídica
Alílicas	PDAP	Resina alílica (polidial- iftalato)
Epóxicas	EP	Resina epóxica
Poliésteres insaturados	UP	Resina poliéster
Poliuretano	PUR	Resina poliuretánica (con estructura reticulada)
Silícnicas	SI	Resina silicónica (con estructura reticulada rígida o flexible)

1.3.2 Propiedades físicas y mecánicas de los Termofijos.

Los materiales termofijos tienen, a diferencia de los termoplásticos, características químico-físicas totalmente diversas. La resina base, que constituye la esencia del compuesto para el moldeo, cuando es llevada al punto de fusión no puede permanecer en estado fluido por mucho tiempo. De hecho se inicia rápidamente el proceso irreversible de endurecimiento (o cura) bajo la acción del calor, de la presión y de las sustancias catalizadoras o agentes de endurecimiento. Las resinas bases tienen en general estructura amorfa y aspecto vítreo. Son de hecho bastante frágiles.

En el breve tiempo entre la fusión y el inicio del endurecimiento (llamado "vida plástica") debe concluirse el moldeo, vaciado o cualquiera que sea el método de transformación.

En la tabla 1.6 se relacionan los termofijos más conocidos con su símbolo ISO, los límites de fusión y los valores aproximados de contracción en el moldeo. Debe considerarse que la contracción de un material termofijo puede variar según el método de transformación que se use (inyección, transferencia, compresión).

**TABLA 1.6 MATERIALES TERMOFIJOS
INTERVALOS DE FUSIÓN Y CONTRACCIÓN APROXIMADA**

Resinas básicas con cargas o refuerzos fibrosos	símbolo ISO	Intervalo de fusión °C	Contracción en molde %
Fenólicas + polvo de madera (aserrín)	PF	70 - 100	0,3 - 0,7
Fenólica + fibra de vidrio	PF	70 - 100	0,1 - 0,3
Melamínica + asbesto	MF	80 - 110	0,3 - 0,5
Ureica + celulosa	UF	70 - 100	0,4 - 0,8
Resina alquídica + fibra de vidrio		70 - 100	0,2 - 0,7
Resina alílica + fibra de vidrio	PDAP	70 - 100	0,2 - 0,5
Resina epóxica + fibra de vidrio	EP	60 - 90	0,1 - 0,4
Poliésteres insaturados + fibra de vidrio	UP	70 - 100	0,3 - 0,8
Poliéster insaturado	UP		

1.3.3 Comportamiento mecánico de los Termofijos.

Los **materiales termofijos** son a su vez poco influenciables por las variaciones de temperatura. Se trata en general de plásticos rígidos, bastantes frágiles, que sometidos a tracción se rompen sin presentar debilitamiento.

Tienen una alta resistencia a la compresión con deformaciones sin importancia en relación al tiempo.

Los **materiales termofijos**, debido a su estructura molecular reticulada, presentan características mecánicas y térmicas diversas con respecto a los termoplásticos.

Son materiales que después del endurecimiento, permanecen rígidos al crecer la temperatura y, por lo tanto, pueden ser utilizados a temperaturas de trabajo más altas. Tienen un módulo de elasticidad más alto y menor ablandamiento, por lo cual resisten mejor que los termoplásticos a las cargas permanentes sin deformación notable en función del tiempo.

1.3.4 Tecnología de Moldeo de Materiales Termofijos.

Los métodos mejor conocidos para el procesamiento de polímeros se muestran en la tabla 1.7. La tabla da en forma concisa los métodos e indica, a un lado de cada molde, los equipos o dispositivos y la máquina utilizada para el proceso.

TABLA 1.7 TECNOLOGÍA DE TRANSFORMACIÓN DE LOS POLÍMEROS TERMOFIJOS

TERMOFIJOS	Métodos de Transformación	Moldes Herramental O equipo	Maquinaria- equipo
suministrado en: polvo gránulos fibra tejida impregnada compuestos en pasta u hojas impregnadas resinas alquídicas	Moldeo por transferencia	Moldes de acero	Máquinas de moldeo por transferencia
	Moldeo por inyección	Moldes de acero	Máquinas de moldeo por inyección
	Procesos por fundición: Con colada de resina fluida Fundición de resinas sólidas	Formas de madera metálicas o de otros materiales Recipientes metálicos	Equipo para la mezcla de los compuestos Hornos para la fusión o para tratamiento térmico (endurecimiento)

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

1.4 CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES ELASTOMERICOS.

El grupo de los **elastómeros** (es decir, polímeros elásticos) comprenden los hules naturales y todos los hules sintéticos, y se caracterizan por una elevada elongación del orden entre el 200 y el 100%. Las propiedades de los hules naturales y sintéticos alcanzan sus valores máximos después de un apropiado tratamiento de vulcanización o curado con azufre o peróxido.

La vulcanización transforma a la estructura molecular de los hules, los cuales después de ser tratados, se convierten en infusibles y más resistentes a los agentes químicos. Las propiedades elásticas de los hules se conservan por un largo periodo, si las condiciones ambientales y las temperaturas de trabajo se mantienen dentro de ciertos límites.

Dentro del grupo de los elastómeros, en los últimos años se han desarrollado los **hules termoplásticos** que tienen razonablemente buenas propiedades elásticas dentro de límites de temperatura de operación más restringidos con respecto a los hules vulcanizados.

Estos elastómeros no contienen agentes reticulantes y, por lo tanto, no requieren ser vulcanizados. Para moldearlos se usan las mismas técnicas que para las resinas termoplásticas y además, pueden ser reprocesados para volver a usar los desperdicios.

1.4.1 Características Fisico-Mecánicas de los Elastómeros.

El casual descubrimiento del proceso de vulcanización del hule natural con el azufre, hecha por el investigador Goodyear (1839) permite conocer el extraordinario comportamiento elástico del compuesto caucho-azufre, después de calentarlo a la temperatura adecuada.

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 transversales (o puntos) son precisamente los que le dan al hule vulcanizado -o reticulado- esas características (flexibilidad, elongaciones elevadas bajo cargas pequeñas y retorno casi total a la dimensión inicial cuando deja de aplicarse la carga).

La clasificación de los elastómeros obtenidos de los hules naturales está basada en general sobre la composición química de la cadena polimérica.

No obstante los usuarios prefieren, en analogía con las clasificaciones de los materiales plásticos, considerar a los elastómeros como pertenecientes a dos grupos:

Capítulo I Polímeros

- ⇒ elastómeros reticulados (vulcanizado)
- ⇒ elastómeros termoplásticos.

En la tabla 1.8 se listan los elastómeros reticulados más conocidos (con el correspondiente símbolo ASTM³) y se presentan sus diferentes comportamientos a la acción de algunos fluidos. La composición química del elastómero-base hace que algunos hules (hule natural MR y los cuatro siguientes) no puedan resistir a la acción de las gasolinas, aceites lubricantes o de solventes, mientras que otras calidades de hules, indicadas abajo de la línea que divide la tabla en dos áreas, pueden resistir en diferente medida la acción de los fluidos citados. Se indican también los límites de temperatura (para servicio continuo) de los productos elaborados con los elastómeros reticulados mostrados en la tabla.

TABLA 1.8 ELASTÓMEROS RETICULADOS (hules vulcanizados)
Resistencia a la acción de varios fluidos y al calor

ELASTÓMEROS RETICULADOS (hules vulcanizados)	Símbolos ASTM D1418	Resistencia a			Límites de temperatura	
		Ácidos	Solventes	Aceites lubricantes	min. °C	max. °C
Hule natural	NR	2 - 1	0	0	-40	+90
Hule butílico (isobutileno isoprano)	IIR	2 - 1	0	0	-40	+120
Hule polibutadieno	BR	2	0	0	-45	+135
Hule estireno-butadieno	SBR	2	0	0	-40	+120
Hule etileno-propileno (termpolímero)	EPDM	3	0	0	-30	+135
Hule uretánico	AU - EU	1 - 0	3 - 2	3	-20	+90
Hule de cloropreno	CR	3 - 2	2	2	-25	+100
Hule de polietileno clorosulfonado	CSM	3	2	2	-25	+120
Hule nitrilo-butadieno	NBR	2 - 1	3	3	-20	+120
Hule acrílico	ACM	2	3 - 2	2	-15	+150
Hule fluorado	FKM	3	3	3	-15	+200
Hule silicónico	MQ	1	2	2	-50	+250

NOTA 1. La resistencia ala acción de diversos fluidos (ácidos, solventes, aceites lubricantes) está valuada empíricamente como sigue: 3= excelente, 2= buena, 1= ligeramente buena, 0= mala.

NOTA 2. Límites de la temperatura (para servicio continuo): los valores son indicativos, debido a que una especial formulación de la mezcla y diversos factores ambientales (condiciones de servicio, agentes químicos y atmosféricos) pueden modificar la resistencia del producto moldeado, ya sea en bajas o en altas temperaturas.

³ ASTM = D 2000 - 93

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

La tabla 1.9 muestra los **elastómeros termoplásticos** con los nombres comerciales de cuatro elastómeros base producidos por importantes compañías italianas y de otros países. También en esta tabla se dan los valores empíricos de la resistencia de los hules termoplásticos a la acción de algunos fluidos y al calor.

TABLA 1.9 ELASTÓMEROS TERMOPLÁSTICOS (hules termoplásticos)
Resistentes a la acción de diversos fluidos y al calor

ELASTÓMEROS TERMOPLÁSTICOS (hules termoplásticos)	Nombre comercial	Resistencia a			Límites de temperatura	
		Ácidos	Solventes	Aceites lubricantes	min °C	max °C
E - TP Estireno-butadieno	Europrene Sol-T (ENICHEM)	2	0	0	-40	+50
E - TP Poliuretánico	Desmopán (BAYER)	0	2-1	3-2	-20	+80
E - TP Etileno-propileno	Dutral TP (MONTE-DISSON)	2	1	1	-30	+70
E - TP Poliéster (E - TP = elastómero termoplástico)	Hytrei (DU PONT)	0	3-2	3-2	-40	+100

NOTA 1. La resistencia a la acción de diversos fluidos (ácidos, solventes, aceites lubricantes) está valuada empíricamente como sigue: 3= excelente, 2= buena, 1= ligeramente buena, 0= mala.

NOTA 2. Límites de la temperatura (para servicio continuo): los valores son indicativos, debido a que una especial formulación de la mezcla y diversos factores ambientales (condiciones de servicio, agentes químicos y atmosféricos) pueden modificar la resistencia del producto moldeado, ya sea en bajas o altas temperaturas.

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

La formulación de las mezclas de hule es, aún en nuestros días, un arte que requiere de un buen conocimiento de los ingredientes y largas pruebas en laboratorio para buscar lo óptimo de las características físico-mecánicas y el tiempo, así como la temperatura de vulcanización (donde este tratamiento sea necesario). Para alcanzar la mejor formulación de un hule que deba poseer una propiedad determinada (ejemplo: elevadas características elásticas a baja temperatura) a veces es forzado sacrificar otra propiedad considerada menos importante para el uso al que va destinado el producto.

Para los **elastómeros termoplásticos** no es necesaria la reticulación (o vulcanización). La propia estructura molecular lineal sin uniones químicas, hace posible la transformación (moldeo, calandrado, extrusión) con los mismos métodos típicos de la

Capítulo I Polímeros

resina termoplástica. La posibilidad de fundir nuevamente el material permite la reutilización de las coladas y material de deshecho.

En general los elastómeros sometidos a una carga, sufren una deformación instantánea (que puede deberse a su naturaleza elástica) a la que les sigue un aflojamiento (deformación permanente) que depende del valor y del tiempo de la aplicación de la carga.

Es oportuno aclarar que los elastómeros base, que requieren el tratamiento final de vulcanización, vienen generalmente suministrados por los proveedores en trozos, laminado o en gránulos. Será responsabilidad del transformador, preparar una "mezcla" adecuada para la subsecuente transformación (inyección, extrusión, etc.) y vulcanización.

Por el contrario en el caso de los elastómeros o hules termoplásticos, el material es suministrado en gránulos y es directamente transformado en piezas o artículos terminados sin ningún proceso intermedio (ya que no requiere curado o vulcanizado).

I.4.2 Tecnología de Moldeo de Materiales Elastoméricos.

En cuanto se refiere a los elastómeros (hules vulcanizados y termoplásticos), la tabla 1.10 da una lista de métodos, equipos o dispositivos así como las máquinas necesarias para la transformación.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

**TABLA 1.10 TECNOLOGÍA PARA LA TRANSFORMACIÓN DE ELASTÓMEROS
(hules vulcanizados y termoplásticos)**

	Métodos de transformación	Moldes herramental o equipo	Maquinaria equipo	
ELASTÓMEROS RETICULADOS	Moldeo por compresión Moldeo por transferencia Moldeo por inyección Calandreado	Moldes de acero Moldes de acero Moldes de acero	Máquinas de moldeo por compresión Máquinas de moldeo por transferencia Máquinas de moldeo por inyección Mezcladores-equipos de vulcanización	
	tabletas hojas bandas perfiles extruidos gránulos resinas líquidas, etc.	Extrusión	Dados y cabezales de extrusión	Extrusoras-equipos de vulcanización
		Moldeo RIM-inyección-reacción (ejemplo: poliuretano con 2 componentes)	Moldes de aluminio	Equipo para mezclar Máquinas de moldeo
		Moldeo de hule líquido (ejemplo: silicones con 2 componentes)	Moldes de acero	Equipo para mezclar Máquinas de moldeo
		Moldeo por inyección	Moldes de acero	Máquinas de moldeo por inyección
		Moldeo por soplado (cuerpos huecos)	Moldes de aluminio	Máquinas de soplado
		Moldeo por fundición	Formas de madera, metálicas o de otros materiales	Equipo para fundir las resinas
ELASTÓMEROS TERMOPLÁSTICOS	Extrusión	Dados y cabezales de extrusión	Equipo de extrusión	
hules termoplásticos suministrados en: gránulos polvos, etc.				

En general las características físico-mecánicas de los polímeros se determinan mediante pruebas de ensayo en los laboratorios de las compañías productoras. Los métodos de pruebas, equipos e instrumentos empleados son generalmente recomendados o prescritos por instituciones o asociaciones normalizadoras (UNI, DIN,

ISO, ASTM, BSI, etcétera). El propósito de todo esto es verificar y comparar los resultados de las pruebas sobre los polímeros producidos y asegurarse que correspondan a las especificaciones establecidas por las instituciones.

Las pruebas sobre elastómeros para la determinación de sus características físico-mecánicas, son similares a algunas pruebas para termoplásticos pero usando diferentes métodos e instrumentos.

Las piezas moldeadas resultan más resistentes a los esfuerzos mecánicos en el sentido en que fluyó el material que en el sentido transversal. La orientación molecular puede resultar "congelada" en mayor o menor medida en los termoplásticos, según que el enfriamiento dentro del molde sea rápido o lento. Una excesiva velocidad de enfriamiento de la pieza moldeada para dar lugar a tensiones internas que pueden provocar deformaciones o roturas posteriores (aunque haya pasado mucho tiempo del moldeo).

Hemos visto que la clasificación comúnmente adoptada para distinguir materiales termoplásticos y elastómeros se basa en las características químico-físicas de resina o polímero que constituye el compuesto. Por lo tanto será siempre necesario ajustar el ciclo de moldeo con mucho cuidado (temperaturas, presiones, tiempos, etcétera, como se verá en el capítulo 2 de éste trabajo) para obtener piezas moldeadas con buenas características y tolerancias dimensionales cerradas.

CAPÍTULO II

FACTORES QUE INFLUYEN EN EL PROCESO DE MOLDEO

II.1 MATERIALES TERMOPLÁSTICOS.

El desarrollo del proceso de inyección fue influido por el desarrollo de materiales termoplásticos y desde sus primeros tiempos se adaptaron los procesos a las particularidades de moldeo de los nuevos polímeros que aparecían en el mercado. A continuación veremos los factores a considerar para la elaboración de termoplásticos, estos son internos por la composición molecular del polímero y externos como lo son los aditivos los cuales como se verá pueden modificar las características del polímero.

II.1.1 Viscosidad y fluidez de los materiales termoplásticos en estado fundido.

El moldeo de polímeros, practicado por muchos años en forma hasta cierto punto empírica, actualmente ha sido descrito y analizado en forma científica tanto por investigadores universitarios como por laboratorios de las compañías que producen dichos materiales.

II.1.1.1 La reología de los polímeros entendida como el estudio de la fluidez de dichos materiales fundidos, ha aclarado la propiedad y el comportamiento en el proceso de moldeo en los variados métodos de transformación (como extrusión, calandreado, sopiado, etcétera).

El polímero termoplástico en estado fundido tiene el mas bajo valor de viscosidad (y por consiguiente la mas alta fluidez) y es capaz de permanecer en esta condición por varios minutos. Esta característica, permite que el material pueda inyectarse, extruirse o procesarse de cualquier otra manera, aunque tal procedimiento requiere de largos intervalos de tiempo.

II.1.1.2 La viscosidad de un polímero termoplástico en estado fundido, es una característica ligada a su peso molecular. En la misma familia de termoplásticos (ejemplo: poliamidas PA 66)⁴ se utilizan materiales de bajo peso molecular⁵, y por lo tanto con baja viscosidad, adecuados para el moldeo por inyección de piezas delgadas o con superficies muy extendidas.

⁴ Ver abreviaturas.

⁵ Ver capítulo 1

Por el contrario, los materiales con alto peso molecular, es decir, con alta viscosidad, serán más apropiados para el proceso de extrusión o soplado. Durante el proceso de moldeo por inyección de los termoplásticos, la viscosidad de la masa fundida disminuye, cuando se aumenta la temperatura en la cual ocurre la fusión, porque también depende de la viscosidad con que el material fluye por los ductos (boquillas, canales de alimentación, pasajes a las cavidades del molde). Tan pronto como la masa fundida ha llenado el molde, se inicia la fase de enfriamiento por transferencia de calor. La viscosidad del polímero aumenta nuevamente hasta alcanzar la solidificación.

En este punto es importante recordar que las leyes de la dinámica de los fluidos (leyes de Newton), válida para líquidos no compresibles (agua, aceite, etcétera) no son aplicables a los materiales termoplásticos en estado fundido, porque éstos son en general bastante más viscosos y en cierta medida compresibles.

La viscosidad en los líquidos "newtonianos" tienen valores característicos para cada tipo de fluido y disminuye linealmente con el aumento de temperatura. En los polímeros fundidos (considerados como fluidos "no newtonianos") la viscosidad disminuye cuando se aumentan, tanto la temperatura del polímero como la velocidad de flujo (o velocidad de corte, entendida como diferencia de velocidad entre dos estratos adyacentes de fluido).

Si se examinan las variaciones de viscosidad de algunos polímeros termoplásticos fundidos, en relación con las variaciones de temperatura, podemos notar que:

- ⇒ ciertos materiales que presentan curvas de viscosidad con fuerte pendiente y para los cuales un moderado aumento de temperatura baja la viscosidad, facilitando así el llenado de un molde complejo con largos canales de alimentación (ejemplo: PMMA, PA 66, PC)⁶
- ⇒ otros materiales que tienen, por el contrario, valores de viscosidad mas constantes o sea menos dependientes de la variación de la temperatura del proceso (ejemplo: PE, PP, PS, POM) para facilitar el flujo de estos polímeros dentro del molde, en vez de aumentar la temperatura del cilindro de plastificación (con el riesgo de degradar el material) se puede aumentar la temperatura del molde (de colada caliente) o eventualmente modificar la sección de alimentación (aumentándola).

A propósito del flujo de un fluido en un ducto, es oportuno recordar que la velocidad del fluido no es constante en cada punto de la sección del mismo. Así por ejemplo, en un tubo cilíndrico el fluido que está en contacto con las paredes, está siempre inmóvil (velocidad cero), mientras que hacia el centro del tubo, la velocidad crece gradualmente hasta alcanzar el máximo valor (flujo laminar).

El perfil de la velocidad de flujo puede ser diferente al variar la densidad y las fuerzas internas que se opongan al movimiento del fluido. De cualquier forma, el fluido en contacto de las paredes del ducto está invariablemente estático.

⁶ Ver abreviaturas

De todo lo anteriormente dicho, se pueden hacer dos consideraciones:

- ⇒ resulta inútil el pulir a espejo los canales de alimentación del molde debido a que esto no facilita el flujo del material fundido (según el principio de la velocidad cero cuando está en contacto con las paredes)
- ⇒ sobre las paredes de los canales y de las cavidades del molde, en el mismo instante en que llega la inyección, se solidifica una delgada capa de material, en tanto que una "vena fluida" al centro de la sección permite el flujo del material fundido hasta llenar completamente el molde.

Por estas dos razones, se puede evitar el pulido a espejo de los canales de alimentación de los moldes para el proceso de inyección.

La determinación de la viscosidad es en realidad una medida mas o menos compleja que se realiza con instrumentos de precisión diversos, según se trate de un polímero termoplástico fundido, o en solución, de un termofijo o de una mezcla de hule.

Para el caso de un polímero termoplástico en estado fundido, la medida de la viscosidad hecha con reómetros o viscosímetros, resulta difícil, especialmente cuando se quiere reproducir las condiciones de molde (elevadas velocidades y presiones de inyección con los correspondientes esfuerzos de corte altos).

El índice de fluidez (MFI= *melt flow index*, en inglés) es por el contrario más simple de determinar y se ha adoptado como la medida de la fluidez para diversos polímeros termoplásticos. El índice de fluidez se determina midiendo la cantidad (en gramos) de polímero fundido que sale en 10 minutos de un recipiente cilíndrico, provisto de un barrenó (boquilla) calibrado, en determinadas condiciones de temperatura y de presión.

Una forma más empírica de medir la fluidez de un material plástico, también se puede obtener de un molde de cavidad en forma de espiral instalado en una máquina de inyección pequeña que debe operar con valores determinados de temperatura y de presión.

Se inyecta el material fundido en el canal con forma de espiral plano de un molde construido expresamente para esta prueba. La longitud de la espiral así obtenida, corresponde al grado de fluidez del polímero fundido que, empujado por la presión, fluye en la espiral del molde hasta que la solidificación frena el flujo. Este método de prueba no está todavía unificado y por lo tanto los resultados, que dependen de las condiciones de moldeo, de la sección del canal a espiral y del tipo de molde, tienen valor sólo como comparación de la fluidez de materiales plásticos diversos, moldeados en determinadas condiciones, utilizando siempre el mismo molde y la misma máquina.

En estos últimos años, con el estudio sobre la reología de los polímeros se han logrado importantes avances. Los programas de cálculo desarrollados a través de computadoras nos permite analizar el problema fundamental del moldeo por inyección, o

Capítulo II Factores que Influyen en el Proceso de Moldeo

sea el llenar a presión un molde frío con un polímero termoplástico en estado fundido. El molde actúa como un "intercambiador de calor", donde en breves instantes suceden muchas cosas:

- ⇒ caída de presión del material fundido que fluye en un canal de una sección y longitud determinada
- ⇒ disminución de temperatura debido al enfriamiento del material por contacto con las paredes del molde.
- ⇒ incremento de temperatura simultáneo causado por el recalentamiento (por fricción) del material que fluye bajo alta presión a través de los canales y entradas de inyección.
- ⇒ enfriamiento (solidificación) de la pieza moldeada. La posibilidad de determinar con exactitud el tiempo de solidificación que permita establecer la duración del ciclo de moldeo y la productividad del sistema máquina-molde.
- ⇒ construcción de la pieza moldeada. La previsión cuidadosa de las dimensiones y tolerancias factibles, reduce la posibilidad de errores en el diseño y construcción del molde.

Estos programas de cálculo permiten obtener respuestas suficientemente precisas a muchas preguntas relacionadas con el moldeo de los materiales termoplásticos.

Su propósito de cálculo es el de resolver en forma científica los problemas que los moldeadores y constructores de moldes han resuelto hasta ahora con intuición, con mucho sentido práctico y posiblemente con largas pruebas y costosas modificaciones o correcciones a los moldes. Resulta conveniente recordar que es siempre menos costoso modificar un molde en fase de diseño, que proceder a la reconstrucción de alguna parte, cuando el molde ya está construido. Por muchas y varias razones no es posible este análisis preventivo, pero hoy es más seguro (menos empírico) precisamente por el apoyo que los modernos programas de cálculo pueden dar tanto al constructor de moldes como al moldeador.

II.1.2 Temperaturas.

En los diversos procedimientos de moldeo las variaciones de temperatura de fusión o de plastificación juegan un papel diferente, según se trate de material termoplástico o de un termofijo.

En la parte anterior se dijo que para los termoplásticos, la viscosidad es constante cuando la temperatura también es constante. Las variaciones de temperatura del polímero fundido se traducen en variaciones de viscosidad. Por esta razón es posible facilitar el llenado de un molde complejo, reduciendo la velocidad del polímero con un pequeño aumento de temperatura en el cilindro de plastificación o en el molde.

La fusión de los materiales termoplásticos se realiza gradualmente en el cilindro de plastificación, bajo condiciones controladas. Al calentamiento externo proporcionado por

el cilindro de plastificación, se suma el calor generado por la fricción del husillo que gira y mezcla el material. La forma del husillo (tornillo), la variación de su velocidad de rotación y de los valores de la contrapresión (que actúa sobre el husillo durante la plastificación), producen variaciones de la cantidad de calor generado por fricción dentro del cilindro.

Llegando a la energía térmica necesaria para la fusión, se nota que en general los materiales semicristalinos (ejemplo: poliolefinas PE y PP, poliamidas PA, poliacetales POM, etcétera)⁷ requieren mayor cantidad de calor que los materiales amorfos (ejemplo: resinas estrirénicas PS, SB, ABS, etcétera) pues el calor específico de los materiales semicristalino es mayor que el de los materiales amorfos.

II.1.2.1 El control de la temperatura en las diferentes zona del cilindro de plastificación se realiza mediante termopares insertados en diversos puntos a lo largo de la trayectoria del material, desde la tolva hasta la boquilla. Los termopares están conectados a instrumentos de control automáticos, que mantienen la temperatura de cada zona en un nivel prefijado. Sin embargo, la temperatura real de la masa fundida que está por ser inyectada en el molde, puede ser diferente a la registrada por los termopares ya sea del cilindro o en la boquilla. Por tal motivo es aconsejable medir directamente la temperatura del material haciendo salir un poco de material por la boquilla sobre una placa aislante y ahí mismo hacer la medición con la sonda de un pirómetro o de un termómetro de respuesta instantánea.

Las lecturas frecuentes (por ejemplo una vez al día), es la mejor manera de controlar las variaciones entre la temperatura leída en los instrumentos y la temperatura real de la masa fundida apenas salida de la boquilla. Así se podrán tomar en cuenta las condiciones cuando se ajuste el cuadro de control.

II.1.2.2 Las variaciones de temperaturas en el molde pueden producir piezas con calidad variable y dimensiones diferentes. Cada separación de la temperatura de régimen se traduce en un enfriamiento cada vez más veloz o más lento de la masa fundida inyectada en la cavidad del molde.

Si la temperatura del molde se baja, la pieza moldeada se enfría más rápidamente y esto puede crear una marcada orientación en la estructura, elevadas tensiones internas, propiedades mecánicas y aspecto superficial de mala calidad (anisotropía).

Cuando se moldean materiales con estructura semicristalina (ejemplo: poliolefinas PE, PP, poliamidas PA, resinas acetálicas POM, poliésteres termoplásticos PBTP, PETP, etcétera)⁸, pueden trabajarse con moldes de colada caliente (60 a 120 °C). El enfriamiento lento produce en las piezas moldeadas una cristalización uniforme en casi toda la sección (tanto en lo interno como en la superficie). De esta manera, se mejoran las características mecánicas y la estabilidad dimensional de las piezas producidas.

⁷ Ver capítulo 1.

⁸ Ver abreviaturas.

Esto ocasiona, inevitablemente, ciclos de moldeo más largos y mayores costos de producción. Como se verá más adelante la contracción en el moldeo depende no sólo de la temperatura del molde, sino también de otras variables (presiones, tiempos, etcétera).

En el moldeo de termoplásticos el molde se mantiene a una temperatura inferior respecto a la del polímero fundido que se inyectará en la cavidad. La masa fundida al hacer contacto con las paredes del molde cede a éste su calor y se solidifica. Por lo tanto el molde debe disipar en cada ciclo el calor, cediéndolo al líquido de enfriamiento que se hace circular por los conductos dispuestos para asegurar el intercambio térmico.

Los sistemas automáticos de termostatación del molde mantienen la temperatura constante, asegurando así la producción de piezas moldeadas con la contracción uniforme.

La regulación a temperatura constante del molde, es un factor muy importante cuando se moldean estos materiales. Variaciones en la temperatura del molde influyen negativamente sobre la fluidez del material, sobre sus propiedades mecánicas y el grado de endurecimiento.

II.1.3 Velocidades y tiempos.

Cuando se habla de velocidad de inyección se hace una referencia al avance o carrera axial del husillo en la fase de inyección. La velocidad y el tiempo de inyección están obviamente ligadas porque varían en razón inversa: en las máquinas modernas se puede seleccionar en forma directa los valores de la velocidad de inyección, en tanto que en otras máquinas se determina el tiempo de inyección en segundos (o tiempo de desplazamiento del husillo).

En general, las velocidades de inyección elevadas facilitan el llenado de moldes que tienen un recorrido de flujo largo, sobre todo cuando se moldean piezas de paredes delgadas. Es decir, cuando la inyección se realiza en un tiempo breve, se alcanza a llenar el molde antes de que se empiece a solidificar el puerto de entrada y por lo tanto se interrumpe el flujo.

Las altas velocidades de inyección disminuyen también las caídas de presión (o pérdidas de carga) que se presentan cerca de los puertos de entrada a la cavidad del molde. Un límite para la velocidad de inyección puede ser la sensibilidad de algunos termoplásticos al calor (ejemplo: resinas acetálicas y poliamidas) que, inyectadas violentamente a través de secciones restringidas de la boquilla o del puerto de entrada, pueden presentarse estriados (quemaduras) debido al sobrecalentamiento.

II.1.3.1 Las velocidades de rotación del husillo y el correspondiente par motriz aplicado por el motor hidráulico, determinan la capacidad de plastificación de la máquina (en kg/h), pero pueden influir también la homogeneidad y la uniformidad de la temperatura del material fundido contenido en el cilindro.

El aumento de la velocidad de rotación (rpm) del husillo (y por lo tanto su velocidad periférica) hace incrementar la cantidad de calor generado por la fricción.

Los efectos positivos de este aumento de temperatura, podemos resumirlos aquí:

- ⇒ piezas moldeadas más compactas (completas)
- ⇒ superficies mejores de las piezas moldeadas
- ⇒ mejores líneas de unión (mejor fusión de las líneas de flujo)
- ⇒ ausencia de partículas no fundidas en las piezas moldeadas.

En general los valores de la velocidad de rotación están expresados en revoluciones por minuto (rpm) sin hacer referencia al diámetro del husillo. En la actualidad es más significativo y exacto considerar la velocidad periférica del husillo (expresada en metros por segundo), porque ésta es una función del diámetro y del número de revoluciones por minuto.

Los datos siguientes corresponden a velocidades periféricas del husillo para la plastificación de varios materiales:

- ⇒ materiales muy fluidos: 0.6 a 1.2 m/s
- ⇒ materiales con fluidez media: 0.3 a 0.6 m/s
- ⇒ materiales termofijos o elastómeros: 0.1 a 0.3 m/s

II.1.3.2 El tiempo de enfriamiento para piezas moldeadas con materiales termoplásticos, que deben solidificar en el molde antes de ser extraídas, condiciona la duración del ciclo de moldeo y por lo tanto la productividad de una máquina.

Pero el cálculo exacto del tiempo de enfriamiento es más o menos complejo, debido a que se trata de un intercambio de calor que depende de muchas variables:

- ⇒ la temperatura del material fundido
- ⇒ la temperatura de solidificación del material
- ⇒ el coeficiente de conductividad térmica del material
- ⇒ la temperatura del molde
- ⇒ el espesor de la pieza moldeada.

Para simplificar las cosas puede estimarse con cierta aproximación la duración del tiempo de enfriamiento, usados diagramas trazados para determinados materiales termoplásticos moldeados bajo condiciones definidas.

II.1.4 Presiones.

Es sabido que el sistema hidráulico de una máquina de inyección de materiales termoplásticos debe proveer fluido a diversos niveles de presión y flujo para garantizar el correcto funcionamiento de ella.

Durante el ciclo de moldeo intervienen diversos valores de presión en tiempos sucesivos. La intensidad y duración de cada presión influyen en diferente medida sobre las características físico-mecánicas y la contracción de las piezas moldeadas.

La presión de inyección se puede definir como la presión requerida para vencer la resistencia que el material fundido produce a lo largo de su trayectoria, desde el cilindro de plastificación hasta el molde. La resistencia que se opone al flujo del material depende:

- ⇒ de la brusca reducción de sección correspondiente a la boquilla, los canales de alimentación y de las entradas al molde
- ⇒ de la longitud de la trayectoria y la geometría más o menos complicada de la cavidad que debe de producir la pieza moldeada.

A estas resistencias de naturaleza "geométrica" que el polímero fundido encuentra a lo largo de su trayectoria, se le debe agregar el aumento de la viscosidad del material que progresivamente endurece (por endurecimiento o por reticulación) durante el flujo.

II.1.4.1 La presión de inyección (o primera presión P1) corresponde a la fase de llenado del molde y su valor está determinado por la suma de la resistencia que se opone al flujo del material inyectado en el molde. Cuando se alcanza la máxima presión de inyección P1, ésta se cambia a valores más bajos y es llamada **presión de sostenimiento** o **pospresión** (segunda presión P2).

El objetivo es el de mantener bajo presión el material fundido que se solidifica y se contrae en la cavidad del molde. Para compensar la contracción, se introduce un poco más de material fundido en el molde, hasta completar el llenado. Así se obtienen piezas moldeadas más compactas y se reduce la contracción.

Si se considera que los polímeros en estado fundido son líquidos compresibles, se entenderá que la presión de sostenimiento determina el grado de contracción de la pieza moldeada solidificada "bajo presión". Los valores de contracción disminuyen en la medida que la presión aumenta, pero surge enseguida la dificultad para extraer la pieza que se deforma al no separarse de las paredes del molde con facilidad.

Durante la plastificación, el material fundido se acumula entre el espacio de la punta del husillo y la boquilla. El material plastificado es llevado hacia adelante en tanto que el husillo girando va hacia atrás. La contrapresión sobre el husillo que gira, tiene la función de impedir el retorno de éste, mejorando la acción de la mezcla del material. Al mismo tiempo aumenta el calor generado por la fricción al grado de correr el riesgo de

"sobrecalentar" los materiales termoplásticos sensibles al calor o de romper las fibras de vidrio usadas para reforzar los materiales.

Para tener bajo control los efectos de la contrapresión es necesario verificar que la temperatura del cilindro de plastificación (o más exactamente la temperatura de la masa fundida) no supere los límites preestablecidos para evitar la degradación térmica del material. Para reducir la cantidad de calor generado por la fricción se puede bajar tanto el valor de la contrapresión como la velocidad del husillo (rpm= revoluciones por minuto).

Se ha mencionado que los valores más o menos altos de las presiones de inyección y de sostenimiento (o pospresión) contribuyen a reducir la contracción y a mantener dentro de límites cerrados la variación dimensional de las piezas moldeadas. Sin embargo los tiempos de aplicación de estas presiones deben ser reguladas en forma diferente:

- ⇒ la inyección debe hacerse preferentemente en un tiempo corto (o sea en alta velocidad)
- ⇒ la presión de sostenimiento debe ser mantenida por largo tiempo.

El método más simple para determinar el tiempo correcto de la presión de sostenimiento, evitando una prolongación inútil, está basado en el control del peso de las primeras piezas moldeadas al inicio de la producción.

El instrumento de control es una balanza de precisión que permite verificar el peso de las primeras piezas moldeadas, hechas con el tiempo de la presión de sostenimiento gradualmente incrementado. Registrando los pesos de las piezas moldeadas en relación al tiempo de sostenimiento, obteniéndose de esto una curva.

El tiempo apropiado corresponde al punto en el cual la curva toma tendencias horizontal, o sea, cuando el peso de las piezas se estabiliza en un valor casi constante. La determinación del tiempo de sostenimiento "óptimo" (o tiempo de pospresión) debe hacerse al inicio de cada nueva producción o de cada lote considerable por moldearse.

II.1.5 Almacenamiento de los materiales termoplásticos.

Tanto los materiales de moldeo en gránulos como en polvo, así como los productos terminados (piezas moldeadas o semielaboradas) deberán ser conservados en lugares secos con suficiente ventilación. Por razones de seguridad (prevención de incendios), los almacenes deben estar separados del departamento de producción (moldeo, operaciones secundarias). Las compañías que producen los polímeros de moldeo, protegen el embalaje de estos materiales, para evitar en lo posible la absorción de humedad y la contaminación.

Cuando se deba almacenar grandes cantidades de materiales de moldeo, sea en gránulos o en polvo, se recurre a grandes recipientes provistos de dispositivos con sistemas de aspiración para transportar directamente el material. La sucesiva utilización

de la materia prima, se realiza a través de tuberías que se conectan a las tolvas de las máquinas o a los secadores de material.

II.1.5.1 Secado de los materiales para moldeo. La humedad absorbida en diferente medida por los materiales termoplásticos durante el transporte o depositados en los almacenes, puede causar durante el proceso de fusión y de inyección, inconvenientes que se manifiestan en las piezas moldeadas:

- ⇒ disminución de la resistencia mecánica
- ⇒ variación de la contracción por moldeo
- ⇒ defectos superficiales (hojeado, ampollas, rechupes, etcétera)

Los productores de materiales termoplásticos indican que en los materiales granulados (o en polvo) destinados al moldeo por inyección son admisibles los contenidos de humedad (expresados en porcentaje de peso) mostrados en la tabla 2.1.

Algunos materiales, si se almacenan en un ambiente seco y ventilado, en su empaque original (bolsa a prueba de agua o contenedores sellados), pueden usarse directamente para moldeo o para extrusión, sin necesidad de presecarlos (a menos que se expongan en un ambiente húmedo).

Otros materiales por el contrario, demuestran una mayor condición higroscópica, por lo cual si se dejan en un recipiente o embalaje abierto, absorben humedad del aire ambiente en cantidad superior a los límites recomendados (ver tabla 2.1). Para estos materiales que absorben humedad (ejemplo: resinas poliamídicas, celulósicas, metacrílicas, policarbonatos, poliésteres termoplásticos, etcétera) es necesario proceder al secado preventivo, según el caso, con simples secadores de circulación de aire caliente o con aparatos más complejos como los dehumidificadores con aire seco o en hornos de secado bajo vacío.

TABLA 2.1 CONTENIDO DE HUMEDAD PERMISIBLE EN LOS MATERIALES TERMOPLÁSTICOS (destinados al moldeo por inyección)

Materiales termoplásticos	Símbolo ISO	Humedad Permisible % en peso	Tratamiento antes del moldeo Secado Previo
Polietileno Polipropileno Poliacetato Polímeros Fluorados	PE PP POM FEP ETFE	No Absorben humedad	No Necesario (salvo en caso de exposición en ambiente húmedo)
Resinas acrílicas	PMMA	0.1	dehumidificación con aire caliente y seco 70 - 80 °C - 3h
Resinas estirénicas	PS SB ABS SAN	0.1 - 0.2	70 - 80 °C - 2-3h
Resinas celulósicas	CA CAB CP	0	70 - 80 °C - 2-3h
Resinas vinílicas	PVC	0.3	60 - 70 °C - 1h
Policarbonatos	PC	< 0.02	120 °C - 4-6h
Poliésteres	PBTP	< 0.05	120 °C - 2-4h
termoplásticos	PET	< 0.05	120 °C - 2-4h
Polifenilenos	PPO	< 0.05	110 °C - 2-4h
Poliamidas	PA66 PA 6 PA 610 PA 11	0.1 - 0.2	dehumidificación con aire caliente y seco { 70 - 80 °C - 4-6h o bien en horno bajo vacío
	PA 12	0	70 - 80 °C - 24h

La verificación del contenido de humedad de los materiales termoplásticos y de su eventual secado antes de procesarlos tiene tal importancia, que los gastos o cuidados en la preparación para el empleo del material, resulta con seguridad recompensado con la buena calidad del producto moldeado y con la menor duración del ciclo de moldeo.

Un aparato que permite determinar el grado de humedad de los polímeros termoplásticos es un instrumento llamado AQUAMETER construido por la BRABENDER, Duisburg, Alemania, basado en la reacción agua-carburo de calcio.

El pequeño contenedor cilíndrico, cerrado a prueba de gas y colocado sobre el aparato, encierra la muestra de material a examinar (10 o 20 gramos). La resistencia eléctrica que cubre el contenedor, calienta la muestra del material que alcanza una cierta temperatura y libera la humedad que contiene. La humedad que desprende durante la prueba reacciona con el carburo de calcio y hace aumentar la presión interna del contenedor. Sobre el cuadrante del manómetro se leen directamente los valores de humedad (porcentaje de agua) correspondiente al material, valores que dependen de la presión del gas desprendido durante la prueba.

Cuando se deban secar materiales termoplásticos muy higroscópicos (ejemplo: poliamidas, policarbonatos, etcétera) que en estado de equilibrio tienen un contenido de humedad superior a los límites admisibles, es necesario usar equipos como los deshumidificadores de aire seco o los hornos de secado en vacío.

Degasificación de los polímeros fundidos. El secado de los materiales termoplásticos en gránulos o en polvo hecho con secadores antes del moldeo, es una operación necesaria que, sin embargo, tiene un costo adicional al proceso. La degasificación de los polímeros en estado fundido, ya realizado por varios años por los extrusores continuos de un solo husillo, se ha extendido a los cilindros de plastificación en las máquinas de inyección. El uso de un cilindro especial con husillo de dos zonas, permite la plastificación de materiales no secados, que contienen humedad y sustancias volátiles en cantidad superior a las normas. La humedad contenida en el material se elimina, durante la plastificación, en forma de vapor que sale por un agujero radial a través de la pared del cilindro.

II.1.6 Contracción de piezas moldeadas y limitaciones en las tolerancias.

El conocimiento de los fenómenos de contracción en el moldeo y la contracción posterior al moldeo, nos permite prever con relativa aproximación las variaciones dimensionales de las piezas moldeadas con un determinado material termoplástico durante la contracción inicial que ocurre en la cavidad del molde (paso del material fundido al estado sólido). Después del moldeo, las piezas pueden todavía sufrir una sucesiva contracción (contracción posterior al moldeo) debida al alivio de esfuerzos internos. Otras variaciones dimensionales de sentido opuesto (dilatación) pueden ser provocadas por la natural absorción de humedad de las piezas después del moldeo.

En general, los materiales termofijos y los termoplásticos amorfos (acrílicas, celulósicas, estirénicas, policarbonatos, etcétera) tienen contracciones de moldeo inferiores al 1% y no están sujetos a contracciones posteriores apreciables. Para los termoplásticos con estructura parcialmente cristalina (polietileno, polipropileno, resinas poliamídicas y poliacetálicas,) se verifican contracciones de moldeo del 1% al 4% según el tipo de polímero y la utilización de aditivos. Estos polímeros presentan también en diversa

medida fenómenos de contracción posterior. Se puede decir, que no es fácil determinar con precisión el porcentaje de aumento en la medida del molde para compensar la contracción que sufrirá la pieza moldeada.

Datos en general sobre la contracción por moldeo (entendido como el intervalo entre los valores mínimo y máximo) se han ya indicado para los termoplásticos y los termofijos en tablas del capítulo 1. Pero cuando el intervalo de contracción es muy grande, resulta incierta la dimensión de la cavidad del molde y se aumenta el riesgo de proceder a su construcción, especialmente si se trata de producir piezas moldeadas con límites de tolerancia muy cerrados. Existen otras variables que influyen en la contracción:

- ⇒ forma y espesor del producto moldeado
- ⇒ tipo de molde
- ⇒ localización y sección transversal del puerto de inyección, longitud y sección de los canales de alimentación, temperatura de moldeo
- ⇒ proceso de moldeo
- ⇒ variaciones de temperatura de la masa fundida, variaciones de las presiones, de la velocidad y del tiempo de moldeo.

El difícil problema de prever la contracción se ha estado atacando por muchos años siguiendo la vía experimental con resultados alternos de pruebas exitosas y de errores costosos. Sin embargo, los diseñadores de piezas moldeadas y los constructores de moldes no tenían otra información más que la proveniente de:

- ⇒ comparación de los valores de la contracción medida sobre piezas moldeadas y a producidas
- ⇒ análisis de la diferencia de contracción obtenida sobre la misma pieza (contracción longitudinal y transversal)
- ⇒ prueba de moldeo con molde experimental con una cavidad para determinar la contracción efectiva, antes de proceder a la construcción de moldes con múltiples cavidades.

Las compañías productoras de materiales termoplásticos han realizado investigaciones y pruebas sistemáticas para poner en claro la interacción de muchos factores que influyen en la contracción de los polímeros. Para cada termoplástico se han trazado los diagramas "PVT" (presión-volumen-temperatura).

En estado fundido los termoplásticos pueden ser considerados líquidos compresibles. Su volumen específico (o sea el volumen ocupado por un gramo de material) varía en función de la temperatura y de la presión. Se puede cambiar la contracción de una pieza modificando oportunamente las condiciones de moldeo (por ejemplo, el valor y duración de la presión de sostenimiento, la temperatura del molde, etcétera).

Actualmente el uso extendido de computadoras ha hecho posible que se recopilen datos y se utilicen programas de cálculo (software) que constituyen un valioso soporte científico para proyectar racionalmente piezas moldeadas y moldes. En particular, se puede obtener información y datos referentes a:

- ⇒ el proceso de moldeo con las variables que lo condicionan (temperaturas, presiones, tiempos, etcétera).
- ⇒ el tipo de molde (dimensiones de canales y los puertos de inyección, temperatura de trabajo, sistema de termostatación, etcétera).
- ⇒ forma y espesor de la pieza por moldear en relación a las características del material termoplástico y eventuales dificultades para el llenado.
- ⇒ previsión de la contracción por moldeo y de la tolerancia obtenible, ligada al tipo y al grado de eficiencia de la máquina por utilizar.
- ⇒ el análisis del flujo del polímero fundido en la fase de llenado del molde, número y posición de los puertos de inyección, cálculo del tiempo de enfriamiento de la pieza moldeada, etcétera.
- ⇒ comparación entre la tolerancia de moldeo considerada en el diseño del producto y la realmente obtenida, etcétera.

II.2 MATERIALES TERMOFIJOS.

Existen varios sistemas de moldeo para materiales termofijos (compresión, transferencia, inyección), también los elastómeros se moldean con sistemas similares.

El método más viejo y mejor conocido es el **moldeo por compresión**; éste consiste en llenar un molde abierto, calentado a una temperatura entre 140°C - 180°C con una cantidad determinada de material (resina termofija o elastómero según sea el caso). El molde es entonces cerrado por las platinas de una prensa, por un tiempo suficiente para provocar la reticulación y por lo tanto el endurecimiento o si el material es un elastómero la pieza puede vulcanizarse.

Transcurrido este tiempo, que es determinante para obtener productos moldeados de buena calidad, el molde se abre para permitir la extracción de las piezas.

En el pasado, el moldeo por compresión fue considerado un proceso lento y costoso, debido a que las fases del ciclo:

- ⇒ carga de material
- ⇒ cierre y apertura de la prensa
- ⇒ extracción de las piezas moldeadas, eran hechas manualmente por operarios capacitados.

Actualmente el moldeo por compresión de termofijos es un proceso automático, de notable perfeccionamiento, que en los últimos años se ha realizado en las máquinas, en los moldes y también en los materiales de moldeo que requieren tiempos de endurecimiento más breves que en el pasado.

El **moldeo por transferencia**, creado alrededor de 1940 como una versión mejorada del antiguo método de compresión, fue adoptada para moldear piezas con injertos metálicos. En realidad los injertos, sostenidos en el molde cerrado, no pueden ser movidos o deformados por el material que entra en la cavidad en estado fundido.

En un molde cerrado por las platinas de una prensa y caliente, requería introducir una cantidad de material ya dosificado en una cámara de distribución central. En ese momento un pistón secundario impulsaba el material para "transferirlo a presión" hacia las cavidades situadas alrededor de la cámara central a través de un sistema de canales. La similitud con la inyección a presión de metales (aleaciones de aluminio y de zinc) eran evidentes y los primeros resultados fueron alentadores.

Una serie de experiencias con éxitos y fracasos, resaltaron varios problemas:

- ⇒ elevado costos de moldes, tanto en su diseño como en su construcción
- ⇒ dificultad en el moldeo de resinas termofijas altamente reactivas, que aún no habían sido perfeccionadas para este particular proceso de transformación
- ⇒ dificultad en la transferencia de calor de un molde caliente a un material frío mediante un "aplastamiento" cuando ni las temperaturas ni los tiempos eran controlables.

Estos problemas, que implicaban máquinas, moldes y materiales de moldeo, fueron estudiados y resueltos en el transcurso de los años, abriendo así el camino para el moldeo de termofijos por inyección.

En el **proceso por inyección de termofijos** el material se precalienta a baja temperatura (70-90°C), cuidando de no superar los límites para evitar que se inicie la reacción de endurecimiento. Cuando el husillo empuja hacia adelante el material plastificado, es inyectado a presión al molde calentado a mayor temperatura (140-180°C). Después del tiempo necesario para completar la reacción de endurecimiento del material termofijo o la vulcanización del elastómero (hule natural o sintético), se abre el molde y se extraen las piezas moldeadas.

En todos los procesos de moldeo, las variaciones de:

- ⇒ temperaturas
- ⇒ presiones
- ⇒ velocidades y tiempos

pueden causar en las piezas moldeadas defectos evidentes. El conocimiento de la interacción entre estas variables puede ser de mucha utilidad cuando se tenga que probar un nuevo molde o iniciar la producción de piezas moldeadas.

II.2.1 Viscosidad y fluidez de los materiales termofijos en estado fundido.

Un polímero termofijo en estado fundido, tiene un comportamiento totalmente diferente al termoplástico. Inicialmente la acción del calor provoca el ablandamiento y la fusión de la resina termofija que en pocos segundos alcanza el valor mínimo de viscosidad (correspondiente a la máxima fluidez).

Sin embargo, continuando la aportación de calor se inicia la reacción de condensación (reticulación) y en consecuencia la viscosidad de la masa fundida aumenta progresivamente hasta el completo endurecimiento.

La viscosidad de las resinas termofijas en estado fundido depende, de las propiedades de la resina (formulación química) y de las condiciones de moldeo (temperaturas, tiempos de fusión y endurecimiento).

II.2.2 Temperaturas.

En el caso de materiales termofijos, la variación de la viscosidad depende tanto de la temperatura como del tiempo. De hecho el molde de estas resinas reactivas resulta más crítico, respecto a los termoplásticos, porque debe hacerse en el intervalo de tiempo que ocurre entre la plastificación y la reacción de endurecimiento.

En el moldeo de termofijos, el molde no es ya un intercambiador de calor, más bien debe proporcionar la cantidad de calor necesario para la fusión del material y para la sucesiva reacción de endurecimiento o de vulcanización, según que se trate de materiales termofijos o de elastómeros.

II.2.3 Velocidades y tiempos.

Los tiempos de endurecimiento de las piezas moldeadas con materiales termofijos dependen de las propiedades de la resina base que constituye el "aglutinante" del compuesto del moldeo. Existen resinas de rápido endurecimiento especialmente formuladas para el moldeo por inyección en máquinas con cilindro de plastificación con husillo.

También en el proceso de materiales termofijos, los tiempos de endurecimiento condicionan la duración del ciclo de moldeo que resulta generalmente más largo en el sistema por compresión y por transferencia, mientras definitivamente es más breve por el sistema de inyección.

Las ventajas de la **plastificación de los termofijos con el husillo giratorio** se han extendido en los últimos años al moldeo por compresión y, en algunos casos, también al sistema por transferencia.

De esta manera se han eliminado los problemas y los costos del precalentamiento del material en polvo o en gránulos (pellet), los tiempos del ciclo de moldeo se han reducido notablemente. En la actualidad, las máquinas de moldeo para termofijos, equipadas con husillo rotatorio de plastificación operan automáticamente con ciclos de moldeo definitivamente más cortos que en el pasado.

II.3 ADITIVOS.

Los aditivos para polímeros son materiales orgánicos e inorgánicos que se incorporan en el polímero, antes y durante su transformación para mejorar sus condiciones de procesamiento y modificar las propiedades del producto terminado. Debido a que las diferentes clases de polímeros tienen su propio comportamiento químico, es necesario seleccionar el aditivo de la mejor forma posible para obtener las más óptimas características requeridas en el producto terminado.

Los aditivos se clasifican en dos grupos principalmente:

- a) Aditivos de Proceso
- b) Aditivos Funcionales

II.3.1 Aditivos de proceso.

Facilitan el procesamiento del polímero, reducen desperdicios y aumentan la velocidad de producción. Dentro de estos tipos de aditivos encontramos los siguientes.

II.3.1.1 Antioxidantes.

Son sustancias que retardan la degradación oxidativa de los polímeros sujetos a temperaturas normales o elevadas. La oxidación se refleja principalmente en la decoloración, rompimiento, fragilidad y disminución de propiedades mecánicas del polímero.

Algunos polímeros son propensos a la oxidación tales como el PE, PS, SAN, ABS, PVC, PA y PC.⁹

Los antioxidantes se dividen a su vez en:

Primarios.- inhiben la oxidación por el impedimento de radicales libres tales como fenoles alquilatados, bisfenoles alquilatados y aminas sustituidas.

Secundarios.- descomponen los peróxidos e hidroperóxidos en productos estables tales como fosfito orgánico y fosfato orgánico.

Los antioxidantes se agregan a la formulación en cantidades cercanas a los 0.25%. Lo utilizan el PS, PE, PVC, ABS, SAN, PA6, PA66, POM, PC, PET y PBT.

⁹ Ver abreviaturas.

II.3.1.2 Estabilizadores de calor.

Son compuestos químicos que retardan la descomposición, absorbiendo el ácido clorhídrico (HCl) liberado por algún polímero a cierta temperatura (PVC a 100°C) y evitando que continúe dicha liberación logrando que el procesamiento de transformación del polímero se lleve a cabo adecuadamente.

La degradación se puede notar por el cambio de color blanco a amarillo pasando de color canela a color café rojizo y por último negro. Los estabilizadores de calor se dividen por su acción química en:

Primarios.- son aquellos que absorben y neutraliza al ácido clorhídrico y además evitan la formulación del doble enlace en el polímero, por lo que se puede usar como estabilizadores únicos en la formulación.

Los estabilizadores primarios más usados son el sulfato tribásico de plomo, ftalato dibásico de plomo en concentraciones de 4 a 6%, el estearato dibásico se recomienda del 0.5 a 1%. Algunos otros estabilizadores primarios son jabones y gases de plomo, mezclas de sales metálicas, calcio-zinc y órgano-metálicos de estaño.

Secundarios.- estos únicamente absorben y neutralizan el ácido clorhídrico, por lo que no se pueden usar solos en una formulación, generalmente se mezcla con estabilizadores primarios para obtener mejores propiedades. Dentro de los estabilizadores secundarios existen aceites apoxidados de soya para estar en contacto con alimentos y organofosfitos. Algunos otros estabilizadores secundarios son los compuestos epoxidados y organofosfitos.

II.3.1.3 Lubricantes.

Se utilizan para lubricar la superficie metálica de la máquina y la lubricidad interna del polímero fundido evitando la adherencia entre ambas y mejorando el procesamiento del polímero.

Se debe evitar que en la formulación exista demasiado lubricante ya que se puede ocasionar un producto muy frágil por la disminución de la resistencia a la tensión, así como exudación o migración en la superficie, dificultándose el procesamiento al patinar el material en el cilindro. Los lubricantes dependiendo de su compatibilidad y composición química se clasifican en:

Lubricantes internos.- forman una película entre las moléculas del polímero, evitando que exista contacto entre ellas, reduciendo la generación de calor por fricción de dichas moléculas. Por ejemplo: alcohol graso, ácido graso y amidas de ácidos grasos. Se utiliza en los polímeros PVC, PA y PC en concentraciones de 0.1 a 0.2%.

Capítulo II Factores que influyen en el Proceso de Moldeo

Lubricantes internos externos.- controlan el calor generado entre el material fundido y las partes mecánicas de la máquina. Por ejemplo: esteres de cera y derivados de ácido montánico. Los polímeros que usan estos lubricantes son: PVC, PS, PE, PP, PA, PC y POM en concentraciones de 2.0 a 1.2%.

Lubricantes externos.- estos lubricantes, forman una película entre las paredes metálicas y el polímero fundido evitando la fricción e incrementando el flujo de material. Por ejemplo: ceras parafinas y ceras polietilénicas, se usan en concentraciones de 0.1 a 0.8% los polímeros que las emplean son el PVC y PS.

II.3.1.4 Ayudas de proceso.

Son sustancias que se utilizan para obtener una mayor facilidad en el procesamiento y moldeo del compuesto. Las ayudas de proceso se clasifican de la siguiente forma:

Modificadores de flujo.- se utilizan con el fin de acelerar el proceso de fusión, mejorar la fluidez y la resistencia al impacto. Los más usados son el polimetilmetacrilato en sus diferentes pesos moleculares, en concentraciones de 1 a 5%. Los polímeros que los utilizan son: ABS y PVC principalmente.

Modificadores de Viscosidad.- son aquellos compuestos que tienen la función de aumentar o disminuir la viscosidad del polímero a fin de facilitar su procesamiento y aplicación. El más empleado es el estereato de aluminio y la resina poliéster insaturada (para aumentar la viscosidad) y otros de más uso son los ácidos grasos etoxilados, titanatos y silanos (como depresores de viscosidad).

Agente desmoldante.- este tipo de agentes se puede aplicar al molde por aspersión o con brocha, como una solución diluida, suspensiones, emulsiones, etcétera. Permitiendo la liberación fácil de la pieza del molde. Las ceras, silicones, fluoroplásticos, jabones de estearatos metálicos son los más usados.

II.3.2 ADITIVOS FUNCIONALES.

II.3.2.1 Cargas.

Son normalmente compuestos, sólidos e inertes que se emplean para reducir la cantidad de polímero y por lo tanto los costos de la formulación, así como para aumentar o reducir algunas de las siguientes propiedades: resistencia a la abrasión, a la tensión, al calor, a químicos y a las temperaturas de flexión entre otras. Las cargas se clasifican en:

Inorgánicas.- estas cargas provienen de minerales, por ejemplo: carbonatos, silicatos, sílicas, óxido de antimonio, sulfatos de esferas de vidrio. La más empleada es el carbonato de calcio, en las formulaciones se puede emplear de 5 a 50% impartiendo resistencia al desgaste.

Capítulo II Factores que Influyen en el Proceso de Moldeo

Orgánicas.- estas cargas son menos usadas, pero presentan mayor toxicidad que las anteriores, las más utilizadas son: harina de madera, polvo de caucho y negro humo.

En general, para que una carga pueda sustituir una parte del polímero, deberá cumplir con los siguientes requisitos:

- a) El tamaño de la partícula no será mayor de 3.5 micras y debe ser uniforme.
- b) No deberá contener impurezas que influyan en las propiedades del polímero.
- c) No deberá absorber plastificantes.
- d) Las propiedades de procesamiento y facilidad de dispersión deberán ser buenas.
- e) La estabilidad del polímero no debe ser afectada.

II.3.2.2 Agentes de acoplamiento.

Son sustancias organometálicas que se utilizan como puentes de enlace entre el polímero orgánico y la carga que generalmente es inorgánica, también reduce la viscosidad de el compuesto formulado, sin afectar sus propiedades.

Los agentes de acoplamiento mas usados son los titanatos debido a su fuerte enlace de acoplamiento entre la carga orgánica y el polímero, en las formulaciones de PVC rígido aumentan las propiedades mecánicas sin reducir las otras propiedades. Los titanatos también contribuyen a una mejor lubricación del compuesto fundido obteniendo un producto final con mejores resistencias químicas.

II.3.2.3 Modificadores de impacto.

Los modificadores de impacto se adicionan a los polímeros a fin de que absorban o reduzcan los choques y evitar fracturas en el artículo ya terminado, pero estos no proporcionan flexibilidad al producto. Estos aditivos se deben adicionar a la mezcladora cuando se están elaborando los compuestos, después de que se han adicionado los estabilizadores y lubricantes líquidos.

Los tipos de modificadores de impacto más utilizados son: copolímero de ABS, acrílicos, polietileno clorado, copolímero acetato de vinilo-etileno, mezclas de PVC, acrilonitrilo y resina tipo MMSB.

Un factor que hay que tomar en cuenta es la intensidad y tiempo de proceso, debido a que influyen en el grado de dispersión del polímero, es decir, se tiene que esperar a que la dispersión se complete.

II.3.2.4 Pigmentos.

Son sustancias sólidas de partículas muy finas e insolubles en el medio, que con ayuda de un "vehículo" desarrolla un color determinado, el cual se puede impartir al polímero. Los pigmentos se clasifican de acuerdo a su composición química en:

Inorgánicos.- cuyas propiedades son resistencia al calor, buena estabilidad a la luz, facilidad de dispersión, resistencia al sangrado, alta opacidad y bajo precio.

Orgánicos.- cuyas propiedades son brillo, buena transparencia, óptimas propiedades dieléctricas, tendencia a migrar, baja estabilidad al calor y alto precio.

II.3.2.5 Blanqueadores ópticos.

Son compuestos químicos que tienen la función de ocultar el amarillamiento de los polímeros, incrementando su brillo y la intensidad de su color. Los principales blanqueadores ópticos son: compuestos cuumarinos, benzoxasolas y triacinas.

Los polímeros que hacen uso de estos blanqueadores son el PVC, PS, PC, PUR, PE y PP, en concentraciones de 50 a 500 ppm (partes por mil).

II.3.2.6 Deactivadores de metales.

Estos productos químicos son los encargados de neutralizar la descomposición de los polímeros originada por la presencia de metales. Los desactivadores que existen en el mercado son: debenzalhidrazonas, ésteres de ácido fosforoso, derivados de oxalaminas y diacil hidracina.

Estos desactivadores se aplican en concentraciones de 0.05 al 0.2% para formulaciones de PE, PVC y PP.

II.3.2.7 Plastificantes.

Son sustancias que se adicionan a los polímeros para mejorar su flexibilidad y procesabilidad.

Sus principales características son: aumenta la temperatura de fusión y el módulo elástico sin alterar la naturaleza de los polímeros.

Son típicamente líquidos de alto punto de ebullición o algunas veces sólidos de bajo punto de fusión, con peso molecular arriba de 300¹⁰.

¹⁰ Ver capítulo 1.

Capítulo II Factores que influyen en el Proceso de Moldeo

Los plastificantes se clasifican de acuerdo a su compatibilidad en:

Primarios.- los ftalatos, ésteres fosfóricos, y el mas utilizado es el dioctil ftalato (DOP) se utiliza en el PVC y en compuestos celulósicos con una concentración de 5 al 60%.

Secundarios.- presentan características limitadas de solubilidad y compatibilidad, debido a esto no pueden ser utilizados como únicos en una formulación.

El nivel de plastificante secundario, depende del tipo y cantidad del plastificante primario que se utilice. Como ejemplo se tienen esterés, ácidos epoxidados y trimetales.

II.3.2.8 Fungicidas.

Cuando el polímero va a estar en contacto con el agua o en ambiente húmedo, se pueden generar microorganismos que afectan en su presentación, debido a esto, los polímeros se deben formular con este tipo de aditivos los cuales presentan características de compatibilidad y estabilidad al calor

Los fungicidas mas usados son: 2 etil hexoato de difenil antimonio, 10, 10 oxi bis fenoxarsina, n tioftalamida, derivados del tributil estaño 8 Hidroxi Quimolato de cobre, 2n Octil 4 Isotiazolin3. Se utilizan para PVC, nylon, poliuretano y en polímeros de estireno en concentraciones de 0.03 a 1.0%.

II.3.2.9 Absorbedores de luz ultravioleta (UV).

Son compuestos químicos que retardan o inhiben la fotodegradación de los polímeros. La luz solar, la radiación UV y la luz artificial, aceleran el deterioro de las propiedades físicas y químicas de los polímeros, resultando con decoloraciones y fragilidad.

Los absorbedores de luz UV se clasifican, por su composición química en: esterés de ácido benzoico, hidroxifenona, aminas y pigmentos en concentraciones que van de 0.05 al 0.5%, dependiendo del tipo de absorbedor tal como se aprecia en la tabla 2.2.

TABLA 2.2 ABSORBEDORES DE LUZ ULTRAVIOLETA

POLIMERO	ABSORBEDOR UV	PORCENTAJE (%)
PVC	Esteres Aminas, Benzotriazoles	0.05 – 1.5
PP	Fosfitos, Fosfatos	0.05 – 0.3
HDPE	Benzotriazoles y Benzofenonas	0.1 – 0.3
PS y ABS	Benzotriazoles	0.1 – 0.2
PUR	Fosfitos, Benzotriazoles	0.1 – 0.5
PA, PET, PBTP	Hidroxi Benzofenonas y Benzotriazoles	0.2 – 0.5

II.3.2.10 Agentes de entrecruzamiento.

Son los encargados de enlazar las moléculas de los polímeros, para que estos formen "puentes moleculares" y se aumenten las propiedades mecánicas y resistencia al medio ambiente de dichos polímeros.

Los agentes de entrecruzamiento son: Hidroperóxidos, Peroxiacetales, Diocil peróxido, Alquil peróxido y Peroxiesteres. Se utilizan en PE, PVC y PUR en concentraciones de 0.5 a 1%.

II.3.2.11 Agentes nucleantes.

Su función es aumentar la cristalinidad de los polímeros, con lo que se mejoran sus propiedades mecánicas, además reducen el ciclo de moldeo aumentando la velocidad de producción.

Como ejemplo tenemos la sílica, caolín y talco, sulfuro de molibdeno, fenol fosfinado de sodio, succinato de sodio, estreato de potasio. Se utilizan principalmente para modificar al PET, PA, PP y PE.

II.3.2.12 Retardadores de flama.

Estos aditivos hacen desplazar al oxígeno del aire, por medio de una liberación de gases (bromo, vapor de agua, cloro o fósforo) contenido en su molécula. Al inhibir al oxígeno se evita que el polímero se descomponga y reduce su flamabilidad. Como ejemplo de este tipo de aditivos tenemos los compuestos bromados, parafinas cloradas, compuestos de fósforo, alúmina trihidratada y trióxido de antimonio. Los principales polímeros que usan estos aditivos son el PP, PS, PE, ABS, Nylon, Poliéster y Policarbonato en concentraciones de 5 a 20%.

II.3.2.13 Supresores de humo.

Son compuestos químicos que se adicionan en las formulaciones de los polímeros para reducir el humo liberado durante la posible combustión.

Dentro de los principales supresores de humo más empleados se encuentran los trióxidos de antimonio con borato de zinc, bario o calcio, óxido de molibdeno y tetrafenilo de plomo en concentraciones de 2 a 6%.

II.3.2.14 Agentes antiestáticos.

Son sustancias químicas que se utilizan para prevenir la acumulación de cargas estáticas en la superficie de algunos polímeros provocando la atracción del polvo y otras partículas extrañas. Existen dos tipos de agentes antiestáticos:

Los Internos.- Amina Grasas Etoxiladas, Esteres Etoxilados de Glicerol de Ácidos Grasos. Estos tipos de agentes se utilizan en el PVC, Poliestireno y Polietileno en concentraciones del 0.5 al 4%.

Los Externos.- Sales Cuaternarias de Amonio de Ácidos Grasos, Esteres Etoxilados de Glicerol de Ácidos Grasos en concentraciones de 0.1 al 1%.

II.3.2.15 Agentes antibloqueo.

Son compuestos químicos cuya función es impedir o reducir la adhesión entre partículas o láminas, cuando están sujetas a una presión o incremento de temperatura. La adhesión generalmente se presenta en los rollos o pilas de película que mantienen alguna presión. Entre los mejores se encuentran Silicato de Calcio, Ceras de Aminas en concentraciones de 0.1 a 1%. Se aplican principalmente al PVC, PE, PP, Nylon y Polímeros de Estireno.

II.3.2.16 Agentes espumantes.

Son sustancias químicas que se utilizan para producir polímeros celulares. La espuma celular de PVC se obtiene cuando la masa fundida se descompone, el agente espumante libera gas, el cual provoca la expansión. Los agentes espumantes para PVC más conocidos son:

- ⇒ Azodicarbonamida o 1,1 Azobisformamida (ABFA),
- ⇒ Para-Oxibis Benceno Sulfónico Hidracida (OBHS),
- ⇒ P-Toluen Sulfónico Semicarbohidra (TSSC),
- ⇒ Boro Hidruro de Sodio.

II.3.2.17 Aromatizante.

Son compuestos químicos encargados de impartir un determinado olor a los polímeros, así tenemos con olor a frutas vegetales o esencias. Se deberá tener en cuenta la compatibilidad de este tipo de aditivos y el polímero debido a que el concentrado generalmente fabricado a base de polietileno y polipropileno, podrá utilizarse principalmente en las poliolefinas. La concentración que se emplea es de 0.2 al 1.0%.

CAPÍTULO III

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LAS MÁQUINAS DE INYECCIÓN

III.1 GENERALIDADES.

Las máquinas de inyección de materiales termoplásticos son una derivación de las máquinas de fundición a presión para metales. El primer ejemplar se desarrolla y termina en Estados Unidos de América en 1870. Con todo, 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 de molde como la inyección lo efectuaba el operador a mano mediante mecanismos con levas.

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

En Italia aparece la primera máquina de inyección de construcción nacional en los inicios de la Segunda Guerra Mundial; se trataba en principio de máquinas operadas manualmente, a esas máquinas las siguieron máquinas accionadas hidráulicamente, cuya construcción alcanzó su verdadero desarrollo hasta término de la guerra. Gracias a la NEGRI BOSSI, Italia fue uno de los primeros países de Europa que iniciaron la construcción de máquinas de inyección hidráulicas autónomas. Las primeras máquinas de ese 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 (como en muchos casos se hizo) en departamentos o en locales pequeños.

Desde entonces el progreso por el desarrollo y evolución técnica fue sorprendente. Actualmente tenemos máquinas totalmente automáticas que no requieren ninguna intervención del operador. Existen plantas industriales con instalación de una serie de máquinas (más de 50) trabajando totalmente en ciclo automático. También la alimentación de la materia prima (polímero) a la tolva, la extracción de las piezas moldeadas y su movimiento para completar el ciclo de producción es absolutamente automático.

Capítulo III Principios de Funcionamiento de las Máquinas de Inyección

Un similar, rápido y sorprendente progreso han tenido la construcción de moldes, lo que ha contribuido en buena parte a alcanzar la automatización de las máquinas.

Hoy encontramos en el mercado máquinas con capacidad de pocos gramos, hasta 30 kilogramos y con fuerza de cierre del molde de 20 kN hasta 100 000 kN (de 2 a 10 000 ton)

A continuación se explicarán los principios de funcionamiento de máquinas de inyección para termoplásticos.

III.2 Máquinas de inyección para materiales termoplásticos.

Recordemos que el proceso de moldeo por inyección consiste esencialmente en: calentar el material termoplástico que viene en forma de polvo o gránulos para transformarlo en una masa "plástica" en un cilindro llamado "cilindro de plastificación" y así inyectarlo en la cavidad del molde, del cual tomará la forma. Debido a que el molde es mantenido a una temperatura inferior al punto de fusión del material termoplástico, después de que este es inyectado se solidifica con rapidez. En este momento el proceso del ciclo se ha completado y se expulsa la pieza moldeada.

La duración del ciclo de trabajo varía, según el tipo de polímero utilizado y la configuración de la pieza moldeada, de un segundo (para las máquinas más veloces que moldean piezas de más o menos cinco gramos) hasta algunos minutos (para las que moldean piezas de dos kilogramos o más).

El molde puede ser de una o más cavidades: se han construido moldes de más de 240 cavidades con resultados de piezas totalmente satisfactorias. Con pocas excepciones las piezas obtenidas por moldeo resultan totalmente terminadas, con tolerancias dimensionales muy cerradas. Por este motivo es posible afirmar que las máquinas de moldeo por inyección, son equipos de alta productividad.

A continuación veremos varias figuras para dar una mejor explicación del funcionamiento de las máquinas de inyección.

La figura 3.1 representa el esquema básico de una máquina de inyección del tipo de pistón que ha finalizado su ciclo de trabajo; se ve la pieza moldeada que ya fue expulsada del molde.

Capítulo III Principios de Funcionamiento de las Máquinas de Inyección

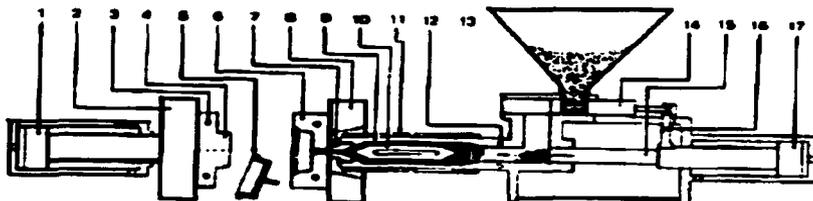


Fig. 3.1 Diagrama simplificado de una máquina de moldeo por inyección todo pistón. Todos los componentes móviles de la máquina están representados al finalizar el ciclo. Nótese que la pieza moldeada (5) es expulsada del molde. 1. Pistón del cierre del molde 2. Platina móvil 3. Circuito de agua para el enfriamiento del molde 4. Medio molde móvil 5. Pieza moldeada 6. Medio molde fijo 7. Boquilla 8. Platina fija 9. Cilindro de plastificación 10. Torpedo 11. Resistencia eléctrica para calentamiento de cilindro de inyección 12. Tolva 13. Pistón de inyección 14. Brazo que actúa el dosificador 15. Pistón hidráulico

La figura 3.2 representa la misma máquina durante su ciclo de trabajo. En esta figura se nota el molde cerrado y el pistón (15) que ha terminado la inyección del material dentro del molde.

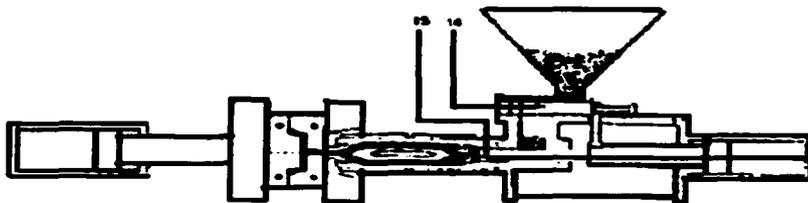


Fig. 3.2 Diagrama simplificado de una máquina de moldeo por inyección tipo pistón. Nótese que el molde está cerrado y el pistón (15) se encuentra en la fase final de la inyección, mientras que el dosificador (14) ha terminado la alimentación del material.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Refiriéndonos a las figuras anteriores, las etapas o fases del proceso son las siguientes:

- a) Cierre del molde accionado por el pistón (1)
- b) Inyección del material al molde por medio del pistón (15) que, a su vez, es accionado por el pistón (17) del cilindro hidráulico. Debe tenerse en cuenta que el material inyectado no es el mismo que en ese momento cae de la tolva de alimentación al cilindro de plastificación, pues este contiene una cantidad de material superior a la inyectada de aproximadamente cinco veces, con el propósito de que ese material sea plastificado.

El torpedo (10) de la figura 3.1, colocado dentro del cilindro de plastificación (9), tiene como función empujar el material termoplástico contra la pared externa de la cámara de plastificación con el fin de facilitar y mejorar la plastificación del material.

Durante la fase de inyección, la corredera dosificadora introduce en el cilindro de plastificación cierta cantidad de material termoplástico. Dicha corredera es accionada durante la fase de inyección por un brazo movido por el pistón de inyección (17) En la figura 3.2 puede verse que el material dosificado cae sobre el pistón (15) y llegará al cilindro de plastificación en el momento en que dicho pistón retorne a su posición primitiva.

En la práctica, la corredera dosificadora (14) alimenta al cilindro de plastificación con la cantidad de material que debe inyectar, que corresponde al peso de la pieza moldeada. Por lo tanto el volumen del dosificador puede variarse en función del peso por moldear.

Siguen las otras etapas del ciclo:

- c) Pausa para el enfriamiento del material inyectado
- d) Retorno del pistón (15) a su posición inicial.
- e) Apertura del molde y expulsión de la pieza moldeada.

La máquina que se muestra en este diagrama, conocida como máquina de inyección con pistón, fue construida en 1958. Al introducirse en el mercado materiales termoplásticos con diversas características, se requirieron mayores presiones específicas de la inyección y mejor plastificación, con lo que se inició la construcción de máquinas equipadas con una unidad de inyección dotado con un tornillo o husillo reciprocante. Éstas fueron llamadas máquinas de moldeo por inyección con husillo reciprocante.

La figura 3.3 muestra el esquema básico de una máquina de moldeo por inyección con husillo reciprocante (*reciprocating-screw injection moulding machine*). En el dibujo se puede ver que la unidad de cierre es igual a la de una máquina tipo pistón, en tanto que la unidad de inyección es sustancialmente nuevo. De hecho el cilindro y su correspondiente pistón fueron sustituidos por el cilindro (7) y el husillo (6)

La corredera dosificadora también fue eliminada ya que la dosificación se lleva a cabo por el husillo que gira en el cilindro.

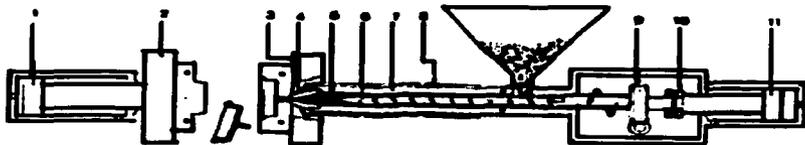


Fig. 3.3 Diagrama simplificado de una máquina de moldeo por inyección con husillo recíprocante. Todos los componentes móviles están representados al finalizar el ciclo. Nótese que el molde está abierto y el husillo (6) se encuentra en la posición final de la fase de inyección. 1. Pistón del cierre del molde 2. platina móvil 3. Platina fija 4. Boquilla tipo libre 5. Cámara de inyección 6. Husillo de plastificación 7. Cilindro de plastificación 8. Resistencia eléctrica para el calentamiento del cilindro 9. Reductor que actúa la rotación del husillo 10. Balero (cojinete) axial 11. Pistón hidráulico de inyección.

Ahora examinaremos rápidamente las fases de operación de este tipo de máquinas.

- Cierre del molde por el pistón (1)
- Inyección: el pistón (11) empuja hacia adelante el husillo (6), que se mueve con movimiento axial en el cilindro (ver Fig. 3.4), transfiriendo el material plastificado de la cámara de inyección a la cavidad del molde.
- Plastificación: terminada la fase de inyección, el husillo empieza a girar accionado por el motorreductor (9) De este modo, se realiza la fase de plastificación, durante la cuál el material termoplástico es transferido de la tolva a la cámara de inyección (5).

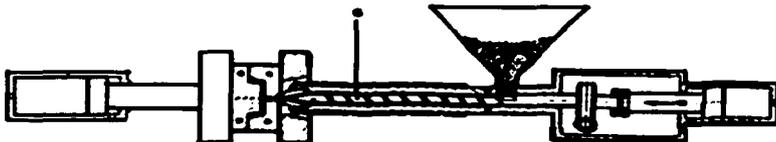


Fig. 3.4 Diagrama simplificado de una máquina de moldeo por inyección con husillo recíprocante. Nótese que el molde está cerrado, mientras que el husillo (6) está al final de la carrera de inyección.

Durante esta transferencia, el material se plastifica por efecto del calor generado por las resistencias eléctricas (8). Al proceso de plastificación contribuye también el calor producido por la fricción del material en su recorrido de la tolva a la cámara de inyección.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Capítulo III Principios de Funcionamiento de las Máquinas de Inyección

De hecho, también la energía mecánica suministrada por el motor al husillo para su rotación se transforma en calor (ver capítulo I).

El regreso del husillo (durante la fase de plastificación) se verifica por el empuje provocado por el material termoplástico al ser transportado a la cámara de inyección por el mismo husillo y no por efecto de ningún sistema externo. Las subsecuentes etapas del ciclo son:

- d) Pausa para el enfriamiento de la pieza inyectada.
- e) Apertura del molde y expulsión de la pieza moldeada.

Recopilando, la secuencia de las fases o etapas descritas anteriormente son:

- a) Cierre del molde;
- b) Inyección;
- c) Plastificación (dosificación del material en la cámara de inyección);
- d) Pausa para el enfriamiento de la pieza moldeada (solidificación);
- e) Apertura del molde y expulsión de la pieza moldeada.

III.3 Unidad de cierre del molde.

La unidad de cierre del molde es el componente de la máquina que sostiene 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.

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

- ⇒ Cierre por rodillera (simple o doble)
- ⇒ Cierre por pistón (también conocido como cierre directo)
- ⇒ Cierre hidromecánico o pistón bloqueado.

De estos tres sistemas, el más utilizado sin lugar a dudas es el de doble rodillera, especialmente en máquinas con fuerza de cierre hasta de 10 000 kN (1000 ton)

Examinaremos ahora cada uno de los tipos de cierre.

III.3.1 Cierre por rodillera simple.

La 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 obtenida varía de 15 a 25 veces en la rodillera simple y de 25 a 50 veces la rodillera doble. En otras palabras, para obtener una fuerza de cierre de 2000 kN (200 ton) 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 son accionados por un cilindro hidráulico.

Este tipo fue empleado por muchos fabricantes para máquinas de cierre hasta de 2000 kN (200 ton), aunque ocasionalmente se usaron en máquinas con fuerza de cierre mayor a las 200 toneladas. Actualmente, la rodillera simple es usada en máquinas con fuerza de cierre hasta de 700 kN (70 ton)

Para una misma fuerza de cierre producida, el consumo de energía de una máquina equipada con rodillera simple es superior con respecto al de una máquina con rodillera doble.

III.3.2 Cierre por rodillera doble.

El sistema de doble rodillera es el más usado en la actualidad en Europa, particularmente para máquinas con fuerza de cierre hasta de 10 000 kN (1000 ton)

Las razones por las cuales se emplea tanto este tipo de sistema se halla en el hecho de que proporciona una mayor velocidad de desplazamiento a la platina móvil, acortando a la vez los tiempos de cierre y apertura del molde y, en consecuencia, reduce el tiempo total del ciclo del moldeo.

Puesto que la relación de multiplicación del sistema de doble rodillera es superior en mas o menos dos veces respecto a la rodillera simple, para una misma fuerza de cierre requerida, el consumo de energía es aproximadamente la mitad; es decir, la fuerza generada sobre el plano móvil resulta más equilibrada respecto a la originada por el sistema de rodillera simple, en cuanto actúa sobre dos líneas, generalmente paralelas, con las columnas del grupo de moldes.

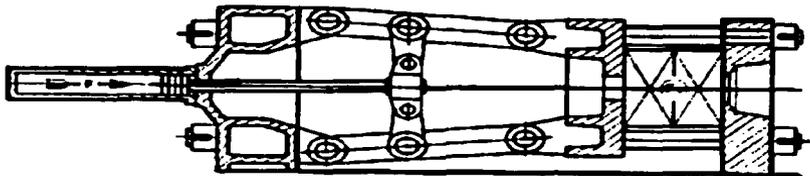


Fig. 3.5 Sección longitudinal de un grupo de cierre de moldes con doble rodillera (del tipo a cuatro puntos de unión), accionado por cilindro hidráulico. Este tipo de grupo es el más usado en Europa para máquinas hasta de 10 000 kN (1000 ton.).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

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 de moldes y la platina móvil resultan más complejas y costosas. La rodillera doble puede ser del tipo de cuatro puntos o de cinco puntos de unión.

La rodillera doble de cinco puntos se está imponiendo sobre la de cuatro puntos debido a que ofrece la ventaja de que, bajo las mismas condiciones, tiene una longitud externa de 30% más corta.

Los métodos mecánicos para medir la fuerza de cierre de una máquina por rodillera han sido sustituidos hace pocos años por dispositivos electrónicos. Estos dispositivos, aplicados a las columnas de una máquina, están conectados a un circuito electrónico de medición precisa tipo puente, que permite medir la fuerza de cierre de la prensa, también indica el esfuerzo al que está sujeta cada columna.

III.3.3 Cierre por pistón hidráulico.

Este tipo de cierre mostrado en la figura 3.6, tuvo una amplia utilización en la década 1950-1960 y actualmente en Europa lo usan fabricantes de máquinas de inyección; sin embargo, en Estados Unidos todavía lo utilizan fabricantes especialmente en máquinas grandes.

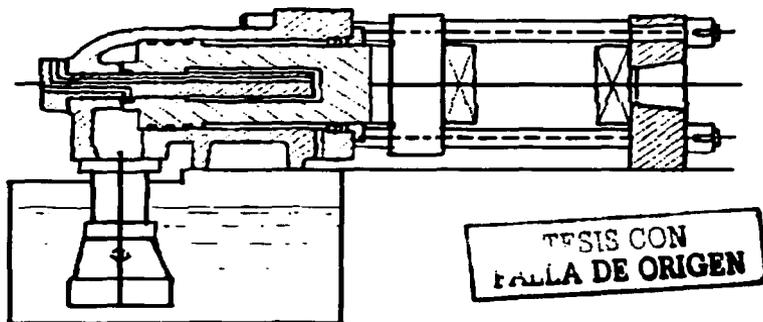


Fig. 3.6 Sección longitudinal de un grupo de cierre de moldes tipo pistón (llamado también cierre directo).

Comparado con el sistema por rodillera, el sistema por pistón resulta más lento, pero permite tener una carrera muy larga de la platina móvil, sin aumentar sustancialmente 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 de fluido hidráulico. La fuerza de cierre real es el propio empuje del pistón principal, si queremos conocer la fuerza de cierre, basta multiplicar el área de la sección del pistón por la presión del fluido hidráulico que actúa sobre el mismo pistón.

III.3.4 Cierre mixto rodillera-pistón.

Este tipo de cierre se ha usado extensamente en Estados Unidos a diferencia de Europa. Con tal sistema, que es un poco más costoso que los otros pero presenta algunas ventajas, la fase de acercamiento de las dos mitades del molde se hace 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.

III.3.5 Cierre hidromecánico o por pistón bloqueado.

En la figura 3.7 se ve el esquema de una prensa con cierre hidromecánico para una máquina de inyección. Se trata de un tipo que se usa preferentemente para máquinas grandes, en la que se puede obtener una carrera larga de la platina móvil sin aumentar notablemente el costo del sistema. En este caso, la fase de acercamiento del molde se obtiene por medio de un pistón pequeño que actúa en el centro del pistón principal o mediante dos cilindros puestos lateralmente al mismo pistón principal, en tanto que la fase de cierre final (compresión) la proporciona el pistón grande o principal colocado sobre la platina móvil o sobre la cabeza de moldes. Para este sistema, la fuerza de cierre también se determina multiplicando la sección transversal del pistón principal por la presión hidráulica del fluido.

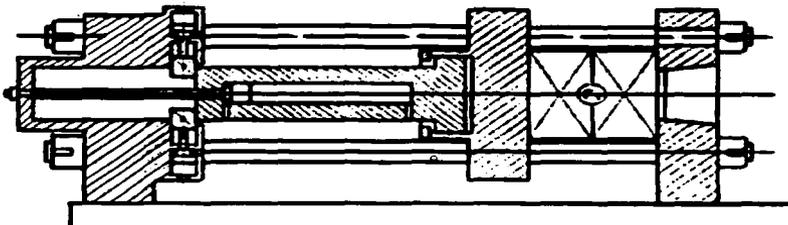


Fig. 3.7 Sección longitudinal de un grupo de cierre de moldes de tipo hidromecánico o pistón bloqueado, usado normalmente en máquinas grandes.

La figura 3.8 muestra la sección longitudinal de una máquina de inyección con sistema de cierre por rodillera doble. Ésta se encuentra con la rodillera abierta, o sea que el molde está en posición de apertura, en tanto la figura 3.9 muestra la rodillera cerrada. El cilindro hidráulico (1) acciona precisamente a la rodillera, la cuál a su vez acciona a la platina móvil (11) para las fases de apertura y cierre del molde. La rodillera está compuesta de las bielas cortas (6), bielas largas (9) y de las levas de empuje (8); estas están conectadas al pistón (2) por medio de la cabeza de cruz (5). Las levas están unidas entre sí mediante pernos. El conjunto de la rodillera está conectado por pernos a la cabeza de moldes (4) (cabezal) y a la platina móvil (11).

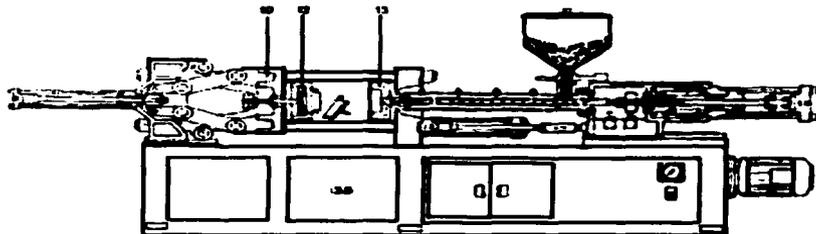


Fig. 3.8 Sección longitudinal de una máquina de moldeo por inyección con husillo recíproco y rodillera doble equipada con motor hidráulico de pistones axiales para accionar la rotación del husillo. La máquina se muestra con el molde abierto en el momento de expulsión de la pieza moldeada 12. Medio molde móvil 13. Medio molde fijo.

Esta última normalmente se desliza sobre cuatro columnas que, además de guiar a la platina móvil, hacen la unión entre la cabeza de moldes (4) con la platina fija (16) (o de reacción), actuando como reacción a la fuerza de cierre del molde. La cabeza de moldes (4) está fija cuando la máquina trabaja, pero puede moverse cuando se sustituye el molde, de manera que puede ajustarse a la distancia de las platinas, de acuerdo con el espesor (altura) del molde. El ajuste se obtiene apretando o aflojando las tuercas (3) sobre las columnas. En las máquinas modernas el sistema de regulación del claro entre las platinas está motorizado. Por medio de un motorreductor o de un motor hidráulico se transmite el movimiento de rotación a las tuercas (3) usando un conjunto de engranes.

El sistema de rodillera está normalmente lubricado automáticamente por aceite, mediante una motobomba eléctrica, que funciona de acuerdo con los ciclos / hora con que la máquina trabaja.

El movimiento del pistón (2) está accionado por la bomba del sistema hidráulico. La unidad de moldes está equipada con un dispositivo para expulsar las piezas moldeadas, que incluye uno o más botadores en forma de punzones y que actúan sobre el sistema de extracción del molde durante la carrera final de la placa móvil.

En la figura 3.8 podemos ver el punzón botador (10) que acciona la extracción de la pieza moldeada. El dispositivo de extracción puede ser también del tipo hidráulico. En tal caso los punzones o pernos extractores están accionados por un pistón hidráulico colocado al centro de la platina móvil.

La ventaja principal de los sistemas de expulsión hidráulicos consiste en la posibilidad de accionar la extracción en el punto que se requiera durante la apertura del molde, además de que la fuerza y velocidad de expulsión pueden ser reguladas independientemente de la velocidad y fuerza de apertura del molde.

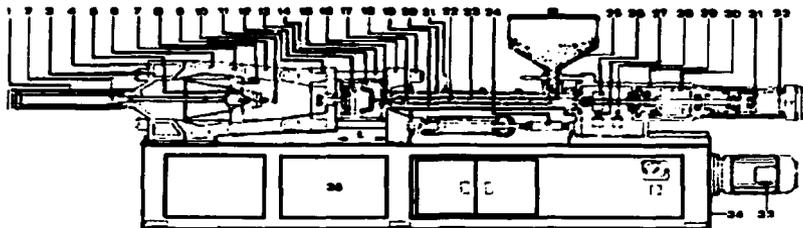


Fig. 3.9 Sección longitudinal de una máquina de moldeo por inyección por husillo reciprocante del tipo doble rodilera. Nótese el molde y el husillo (22) en posición al final de la inyección. 1. Cilindro hidráulico del molde 2. Pistón que actúa el cierre del molde 3. Tuerca de la cabeza de moldes 4. Cabeza de moldes 5. Cabeza de cruz 6. Biela corta 7. Perno 8. Leva de empuje 9. Biela larga 10. Botador de expulsión de la pieza 11. platina móvil 12. Medio molde móvil 13. Medio molde fijo 14. Columna 15. Boquilla libre 16. Platina fija 17. Válvula anti-retorno 18. Tuerca de la platina fija 19. Cilindro para accionar el movimiento del grupo de inyección 20. Resistencia de calentamiento del cilindro de plastificación 21. Termopar 22. Husillo de plastificación 23. Cilindro de plastificación 24. Tuerca para la regulación de la posición de la boquilla 25. Tolva 26. Acoplamiento (husillo-eje-motor) 27. Interruptor de límite para accionar la segunda presión de inyección 28. Interruptor de límite para actuar el término de plastificación 29. Cabeza de inyección 30. Motor hidráulico para actuar la rotación del husillo 31. Pistón de inyección 32. Cilindro de inyección 33. Motobomba del sistema hidráulico 34. Bancada (base) 35. Abertura para recolectar las piezas moldeadas.

III.4 Unidad de inyección.

La unidad de inyección es la parte de la máquina que efectúa la alimentación, la plastificación y la inyección al molde del material termoplástico. En la figura 3.9 podemos ver que este grupo lo componen tres partes fundamentales:

- ⇒ Cilindro de plastificación (23)
- ⇒ Cabeza de inyección (29)
- ⇒ Cilindro de inyección (32)

Veamos la composición exacta de estas partes y su función.

El cilindro de plastificación comprende el husillo (22), la boquilla (15) y las resistencias eléctricas (20) para el calentamiento del material termoplástico.

Del cilindro de plastificación, donde están insertos los termopares (21) (o termocoples), parten los conductores que están conectados a los termorreguladores o controladores de temperatura, instalados en el gabinete del control eléctrico de la máquina.

Los termopares controlan la temperatura del cilindro de plastificación, enviando la señal a los termostatos ya descritos.

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 (cada uno con su 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 moldean casi todos los materiales termoplásticos que hay disponibles en el comercio. Sin embargo, si se deben moldear piezas con paredes delgadas empleando materiales muy viscosos en su estado fundido, como por ejemplo PVC rígido, resina metacrílica, policarbonato y otros, debe 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 el moldeo de materiales más fluidos, como poliestireno, polietileno o polipropileno, cuando se deban moldear con presiones específicas de aproximadamente 1200 bar, es suficiente el cilindro No. 2 para inyectar estos materiales.

La tabla 3.1 da una idea de la forma en que varía el volumen máximo de inyección en función del tipo de husillo usado. Varía también la máxima presión específica sobre el material según el diámetro del husillo utilizado.

TABLA 3.1 CILINDROS DE PLASTIFICACIÓN CON SUS RESPECTIVOS HUSILLOS

		Cilindro de plastificación		
		No. 1	No. 2	No. 3
Diámetro del husillo	mm	60	70	80
Volumen efectivo de inyección	cm ³	745	1015	1325
Capacidad de inyección efectiva (poliestireno)	gr	780	1065	1390
Máxima presión específica sobre el material	bar	2050	1510	1150

Conociendo el volumen máximo de inyección efectiva 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 debe inyectar.

En algunos casos es necesario la construcción de husillos especiales con el fin de aumentar la productividad de la máquina o mejorar la plastificación del material, porque el husillo universal (ver Fig. 3.10) no puede dar, evidentemente, el máximo rendimiento con todos los materiales de moldeo.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

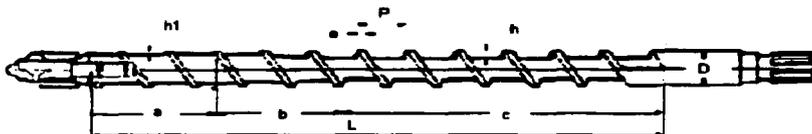


Fig. 3.10 Husillo de plastificación tipo "universal" para materiales termoplásticos. Nótese (a la izquierda) la válvula en forma de anillo, que sirve para evitar el retorno del material fundido durante la fase de inyección. El husillo comprende tres zonas diferentes: la zona "C" es la de alimentación, la zona "B" corresponde a la compresión y la zona "A" realiza la laminación o dosificación. P es el paso, h y h1 son respectivamente la profundidad inicial y final del perfil.

Los cilindros de plastificación disponen de una serie de boquillas con las cuales se puede inyectar todos los materiales termoplásticos existentes en el mercado y que pueden adaptarse a cualquier tipo de molde.

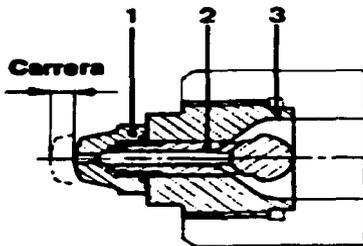


Fig. 3.11 Boquilla con válvula, comúnmente llamada tipo "A":
1. Cabezal 2. Pistoncito válvula 3. Cuerpo de la boquilla.

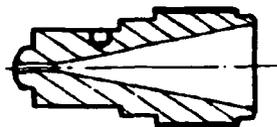


Fig. 3.12 Boquilla libre tipo "C".

La boquilla con válvula que se ve en la figura 3.11 es una de las más utilizadas (tipo A) Se abre automáticamente cuando se apoya sobre el bebedero del molde y se cierra, también automáticamente, cuando la unidad de inyección se separa del molde y la presión del material termoplástico, existente en la cámara de inyección, empuja al pistoncito contra la parte externa, cerrando el barreno de salida del material. La boquilla de la figura 3.11 (tipo C) es una boquilla de flujo libre (boquilla abierta).

Este diseño se usa cuando la unidad de inyección permanece apoyada sobre el molde incluyendo la fase de plastificación. Sirve también para el moldeo de PVC rígido.

La cabeza de inyección une el cilindro de plastificación con el cilindro hidráulico de inyección. En nuestro caso se incluye también el motor hidráulico (30) (ver Fig. 3.9) que controla la rotación del husillo durante la fase de plastificación. Se trata de un motor con pistones axiales, coaxiales con el mismo husillo, con funcionamiento suave y silencioso. Esta solución, que fue realizada por primera vez por NEGRI BOSSI, permitió la eliminación de la transmisión por engranes entre el motor y el husillo, con la gran ventaja de ser silencioso y requerir menor mantenimiento.

El motor hidráulico está accionado por la bomba del sistema hidráulico de la máquina. Su velocidad de rotación y por lo tanto, la velocidad del husillo puede ser fácilmente regulada en forma continua de cero hasta la máxima. La presión máxima de trabajo del sistema está normalmente comprendida entre 100 y 175 bar (kgf/cm^2)

Algunos fabricantes utilizan para sus máquinas el motor hidráulico de capacidad variable, en el que el par (torque) es variable y la potencia constante. Con este tipo de motor se aumenta la versatilidad de la unidad de inyección, ya que se dispone de una unidad de plastificación que puede girar a elevada velocidad con bajo "par" (para materiales con mucha fluidez) o baja velocidad con elevado "par" (para materiales muy viscosos o poco fluidos)

El cilindro hidráulico de inyección controla la fase de inyección por medio del pistón (31), o sea, la transferencia de material termoplástico de la cámara de inyección a la cavidad del molde (ver Fig. 3.9).

La presión máxima de trabajo del cilindro de inyección está normalmente comprendida entre 100 y 175 bar (kgf/cm^2) En algunos casos se usan presiones mayores, especialmente en las máquinas de gran capacidad.

El diámetro del pistón (31) se calcula de manera que pueda obtenerse una presión específica sobre el husillo mediano de 15 000 bar. La presión de inyección puede ser regulada mediante una válvula. Es importante considerar que la carrera de inyección se efectúa bajo dos diferentes valores de presión. La primera presión (P1) (como se explicó en el capítulo 2) actúa sobre la fase de llenado del molde, que corresponde a cerca del 95% de la carrera de inyección. La segunda presión (P2) actúa en la parte final de la carrera y entra en función cuando el cople (26) acciona el interruptor de límite (27) A la segunda inyección se le llama también pospresión de inyección o presión de sostenimiento, debido a que su propósito es mantener, durante la fase inicial del enfriamiento de la pieza en el molde, la presión sobre el material inyectado cuando el molde se ha llenado completamente, con objeto de evitar rechupes en la pieza y reducir en lo posible la contracción. Su valor es generalmente más bajo que el de la primera presión.

Capítulo III Principios de Funcionamiento de las Máquinas de Inyección

La adopción de los sistemas hidráulicos integrados ha permitido fabricar máquinas más rápidas, con funcionamiento silenciosos, más fáciles de instalar y manejo más práctico.

En la figura 3.13 se muestra el sistema hidráulico de una máquina de moldeo por inyección, con husillo reciprocante equipada con doble rodillera.

El funcionamiento de este sistema se puede sintetizar como sigue:

La bomba (3) succiona el aceite del tanque a través del filtro (4) y lo envía a los distribuidores (11), (12) y (14), los cuales actúan mediante señales eléctricas los respectivos cilindros.

La máxima presión del sistema está controlada por la válvula (6), mientras que la válvula (7) y (9) controlan, respectivamente, la baja presión de cierre del molde y la segunda presión de inyección o pospresión de la inyección.

Los reguladores de flujo (17) y (18) tienen la función de controlar la velocidad de cierre y apertura del molde, mientras que el control de la velocidad de rotación del husillo y la velocidad de inyección se realiza mediante los reguladores (15) y (16).

La velocidad de traslación de la unidad de inyección se regula mediante la válvula (13).

El enfriamiento de aceite en circulación se hace por medio del intercambiador de calor (10), normalmente del tipo de tubos con circulación de agua fría. El aceite de retorno, antes de llegar al tanque, pasa por el intercambiador de calor.

III.5.1 Sistema hidráulico con control proporcional.

Las máquinas para inyección más modernas están equipadas con el sistema hidráulico con válvulas proporcionales para el control tanto de las presiones como de la velocidad. Se trata de válvulas reguladas eléctricamente, instaladas en la línea de presión de la bomba donde controlan el flujo y la presión del aceite.

Estas válvulas permiten simplificar notoriamente el sistema hidráulico ya que eliminan los reguladores de flujo y de presión; además, la selección de los valores de velocidad y de presión del ciclo de la máquina resulta notablemente simplificadas, ya que se efectúan directamente sobre el cuadro de control de la máquina por medio de preselectores decimales, con posibilidad de ajuste hasta de 99 valores.

Las ventajas que se tienen al usar válvulas proporcionales son:

- ⇒ Simplificación del sistema hidráulico; se elimina aproximadamente el 50% de tubería, lo que representa indiscutiblemente una mayor confiabilidad y un equipo más compacto.
- ⇒ Funcionamiento más suave y silencioso de la máquina.
- ⇒ Disminución hasta de un 40% del consumo de agua para el enfriamiento del aceite

⇒ Selección de los valores de velocidad y presión más rápida y sencilla, ya que se efectúan en forma digital directamente sobre el tablero de mando de la máquina.

III.6 Sistema eléctrico.

Las máquinas de moldeo por inyección están equipadas con un sistema eléctrico que sirve para controlar el funcionamiento automático del proceso, la temperatura del cilindro de plastificación y el motor eléctrico, así como los dispositivos especiales que eventualmente requiera la máquina.

El sistema puede estar instalado en la base de la máquina o en un gabinete separado de la máquina. Esta última es sin lugar a dudas preferible, ya que estando el sistema separado de la misma no se transmiten las vibraciones que se producen durante su funcionamiento y se garantiza una mayor vida útil de los órganos eléctricos, además de reducir las posibles fallas.

La máquina tiene un tablero de control con selectores y botones de operación que sirve para el ajuste inicial ya sea para el montaje del molde o ya para el funcionamiento manual, semiautomático y automático, los controles para el arranque y paro del motor eléctrico, que acciona la bomba hidráulica (cuando la máquina está equipada con arrancador de control remoto), así como el selector para el funcionamiento en ciclo manual del extractor hidráulico. Sobre este tablero de control también se instala el selector que controla la regulación del espesor del molde cuando la máquina está dotada con este dispositivo.

III.6.1 Sistema eléctrico para el control automático.

El sistema eléctrico para el control automático está compuesto de dispositivos eléctricos que sirven para funcionar automáticamente la máquina.

Éstos se encuentran en parte en el gabinete de control eléctrico (relevadores, temporizadores, retardadores, controles de tiempo) La secuencia de las fases que componen el ciclo de funcionamiento está controlada por el movimiento de la máquina mediante el accionamiento de interruptores eléctricos de límite, que a su vez accionan a los relevadores y a los controles de tiempo (temporizadores) instalados dentro del gabinete de control, mientras que el control de tiempo de inyección y del tiempo del cierre del molde, se ejecutan con temporizadores montados en el frente del mismo gabinete.

Cuando la máquina trabaja en ciclo automático, el inicio del ciclo siguiente está ordenado por un interruptor de límite instalado en la unidad de moldes, o por medio de un temporizador cuando es necesario detener por pocos segundos la platina móvil en posición abierta para permitir que la pieza moldeada caiga libremente del molde, evitando que sea atrapada al cerrarse éste.

En las máquinas de moldeo por inyección más modernas se tiene una mayor difusión del uso de controles automáticos por microprocesadores, los cuales presentan la ventaja de una vida útil mayor con respecto a los controles electromecánicos tradicionales, gracias al hecho de que sus componentes no están sujetos a movimientos ni desgaste. En consecuencia, el mantenimiento requerido es prácticamente nulo.

Además, los controles de estado sólido tienen las respuestas o tiempos de reacción más rápidos y la precisión de los temporizadores electrónicos son superiores a los de tipo mecánico. Obviamente, el resultado es un incremento en la productividad de la máquina, en especial cuando se trabaja con ciclos rápidos.

III.6.2 Sistema eléctrico para el control del calentamiento del cilindro de plastificación.

Prácticamente el cilindro se calienta por medio de resistencias eléctricas tipo bandas colocadas sobre su superficie externa. Con relación a la longitud del cilindro de plastificación, los grupos de resistencias pueden variar de dos para las máquinas pequeñas, a ocho grupos para las máquinas más grandes. Cada grupo está controlado por un termostador. La conexión del sistema de calentamiento se efectúa por medio de un interruptor, el cual a su vez activa los contactores 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. Para este tipo de circuito también pueden emplearse controles de estado sólido, ciertamente más costosos pero que ofrecen algunas ventajas como son:

- ⇒ La conexión y desconexión de las resistencias de calentamiento se realiza en el instante en que la tensión de la red es igual a cero y por lo tanto se elimina cualquier tipo de disturbio.
- ⇒ Mayor vida de las resistencias porque reciben menos choques térmicos, gracias a que los intervalos de conexión y desconexión son más cortos.
- ⇒ Duración ilimitada de los componentes de potencia debido a que no tienen desgaste mecánico.

En las máquinas de moldeo por inyección, la bomba hidráulica está accionada por un motor controlado por un circuito eléctrico.

III.7 Especificaciones de las máquinas de moldeo por inyección.

Las especificaciones o características técnicas proporcionadas por el fabricante son aquellas correspondientes al funcionamiento o prestaciones de la máquina, la potencia eléctrica instalada y la cantidad de agua necesaria para el enfriamiento del sistema hidráulico. El manual de instrucciones de la máquina también contiene un dibujo con las dimensiones de las platinas portamoldes, la carrera de la platina móvil y datos relativos al mínimo y máximo espesor del molde, información indispensable para el diseño y construcción de los moldes.

Las características de una máquina de moldeo por inyección se mencionan enseguida junto con una breve explicación.

III.7.1 Especificaciones de la unidad de inyección.

a) Diámetro del husillo (mm)

Es el diámetro externo del husillo que plastifica e inyecta el material en el molde.

b) Relación L/D del husillo.

Es la relación entre la longitud (útil) del husillo (L) y su diámetro externo (D).

c) Máxima presión de inyección (bar o kgf/cm^2)

Es la máxima presión específica que se aplica sobre el material termoplástico para ser inyectado en el molde.

d) Volumen teórico de inyección (cm^3)

Es el volumen generado por el husillo durante su traslación en la fase de inyección.

e) Volumen efectivo de inyección (cm^3)

Es la cantidad real termoplástica que la máquina puede inyectar en el molde.

f) 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 por el peso específico del material que se utilice.

g) Capacidad de inyección (cm^3/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.

- h) Capacidad de plastificación (kg/h o 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 tipo de material termoplástico que utilice.
- i) Velocidad máxima de rotación del husillo**
Es la máxima velocidad de rotación que el husillo puede alcanzar durante la fase de plastificación.
- j) Potencia instalada de calentamiento en el cilindro de plastificación (kW)**
Es la potencia máxima de las resistencias instaladas sobre el cilindro de plastificación.
- k) Potencia del motor hidráulico (o eléctrico) que acciona el husillo (HP o kW)**
Es la potencia disponible para hacer girar el husillo en la fase de plastificación.
- l) Par máximo del husillo (Nm o Kgf-m)**
Es el momento de torsión máximo disponible en el husillo durante la rotación en la fase de plastificación.
- m) Fuerza de contacto de la boquilla sobre el molde (kN o Kgf)**
Es la fuerza que empuja la boquilla contra el molde durante la fase de inyección.
- n) Número de zonas de calentamiento del cilindro.**
Es el número de zonas sobre el cilindro de plastificación con control independiente de temperatura.

III.7.2 Especificaciones de la unidad de cierre de moldes.

- a) Fuerza de cierre del molde (kN o toneladas)**
Es la máxima fuerza con la cual se puede cerrar el molde.
- b) Carrera de la platina móvil (mm)**
Es la carrera máxima de la platina móvil. Corresponde a la carrera de apertura del molde.
- c) Distancia entre columnas (mm)**
Es la máxima distancia entre las columnas de deslizamiento de la platina móvil. Sirve para definir el máximo ancho del molde.
- d) Dimensiones de las platinas (mm)**
Son las dimensiones externas de las platinas portamoldes. Sirve para definir las dimensiones máximas del molde.

e) Máximo y mínimo espesor (altura) del molde (mm)

Indica el espesor mínimo y máximo del molde que puede montarse en las platinas de la máquina.

III.7.3 Especificaciones generales.

a) Potencia del motor eléctrico (kW o HP)

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

b) Potencia máxima instalada (kW)

Es la potencia máxima instalada sobre la máquina y corresponde a la suma de la potencia del motor eléctrico y la potencia de las resistencias eléctricas del cilindro de plastificación. Si la máquina está dotada con motor eléctrico para accionar el husillo, la potencia debe sumarse para el cálculo de la 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.

c) Ciclos en vacío (ciclos/min)

Este 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:

- ⇒ cierre y bloqueo del molde
- ⇒ acercamiento de la boquilla al molde
- ⇒ separación de la boquilla al molde
- ⇒ apertura del molde

El ciclo en vacío comprende también el tiempo entre ciclos.

III.7.4 Condiciones de operación de una máquina de moldeo por inyección.

En una máquina de moldeo por inyección, las fases de operación de un ciclo de producción se efectúan según el diagrama que se ve en la figura 3.14 y son:

- 1) Cierre del molde
- 2) Acercamiento de la boquilla al molde
- 3) Inyección del material termoplástico en el molde
- 4) Pospresión de inyección (presión de sostenimiento)
- 5) Solidificación del material inyectado en el molde
- 6) Retiro de la boquilla del molde
- 7) Plastificación (dosificación del material en la cámara de inyección)

8) Apertura del molde y expulsión de la pieza inyectada.

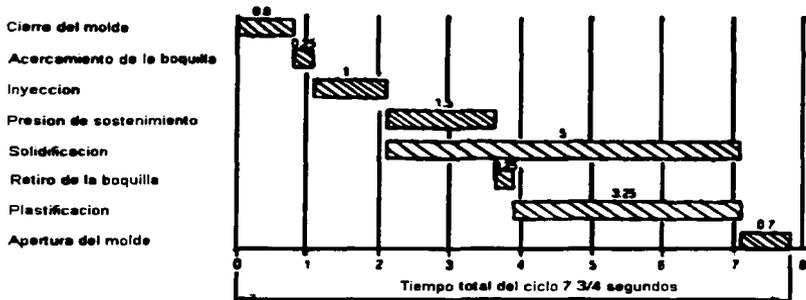


Fig. 3.14 Diagrama de las fases de operación y su tiempo para una máquina con ciclos de producción de piezas de poliestireno con peso de 22 gramos.

Si la máquina trabaja con la boquilla siempre en contacto con el molde, las fases 2 y 6 no se efectúan, y en tal caso la secuencia de las fases del ciclo corresponde al diagrama representado en la figura 3.15.

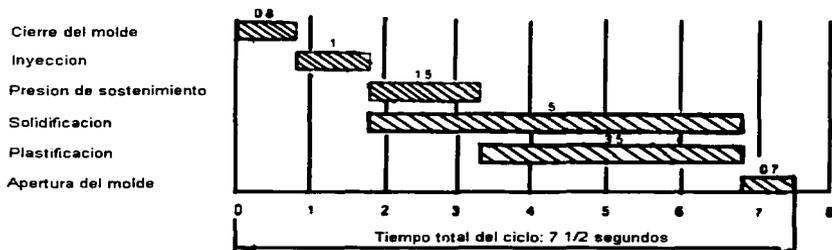


Fig. 3.15 Diagrama de las fases de operación y su tiempo para una máquina de moldeo por inyección con la boquilla siempre apoyada sobre el molde.

III.8 Regulación de los parámetros de moldeo.

En una máquina de moldeo por inyección todos los parámetros del ciclo de trabajo son variables con 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 termoplástico que se usa. Moldeando piezas que tienen el mismo peso, con el mismo material pero con formas y características diversas, se tendrán diferencias en las condiciones del ciclo de producción y por lo tanto diferencias en la regulación de los parámetros del mismo ciclo.

Los parámetros que deben regularse en una máquina por inyección en función del molde y del tipo de material por 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 las platinas)
- 6) Tiempo entre ciclos (reciclo)
- 7) Velocidad de inyección
- 8) Velocidad de plastificación (velocidad del husillo)
- 9) Carrera de inyección y espesor del "colchón"
- 10) 1ra. presión de inyección (presión de llenado)
- 11) 2da. presión de inyección (pospresión o 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 al 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 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 críticos son: carrera de inyección, velocidad de inyección, tiempo de inyección, presión de sostenimiento de inyección, velocidad del husillo, tiempo del ciclo.

Los dispositivos para la variación de los parámetros en máquinas antiguas se encuentran: si son con respecto al tiempo del ciclo y control de la secuencia, estarán en el gabinete de control eléctrico; si se trata de la velocidad y presión, se actúa sobre perillas colocadas normalmente en la bancada de la máquina, mientras que para la

Capítulo III Principios de Funcionamiento de las Máquinas de Inyección

regulación de la carrera de la platina móvil y de la carrera de inyección se efectúa desplazando los interruptores de límite colocados en los grupos correspondientes. Si la máquina está equipada con válvulas hidráulicas proporcionales, las presiones y velocidades se prefijan en el gabinete de control usando los preselectores digitales.

Para las máquinas equipadas con control con microprocesador y video, todos los parámetros del ciclo de moldeo se fijan directamente en el teclado del mismo video. Esto resulta muy práctico, ya que el operador no debe moverse alrededor de la máquina para accionar las válvulas hidráulicas y los interruptores de límite que controlan el movimiento de la máquina.

Además, cuando el ciclo de moldeo alcanza su operación adecuada, todos los parámetros pueden ser grabados en una cinta o en la memoria electrónica en pocos segundos. Cuando el mismo molde deba ser montado nuevamente en la máquina para una siguiente producción, todos los parámetros pueden ser rápidamente introducidos al control del microprocesador, teniendo así la autorregulación de la máquina también en pocos segundos.

CAPÍTULO IV

MÁQUINAS DE INYECCIÓN, TIPOS Y CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS.

IV.1 GENERALIDADES.

Para la elaboración de materiales termoplásticos por el procedimiento de inyección se dispone de una gran variedad de máquinas, que se diferencian no tanto por su concepción constructiva básica, condicionada por el proceso sino por variantes en el diseño de sus elementos de montaje , así como también por sus sistemas de accionamiento.

En este trabajo no es posible indicar todos los diseños que existen en el mercado o describirlos, por lo que en algunos ejemplos sólo tendremos algunas características técnicas de las máquinas y datos generales.

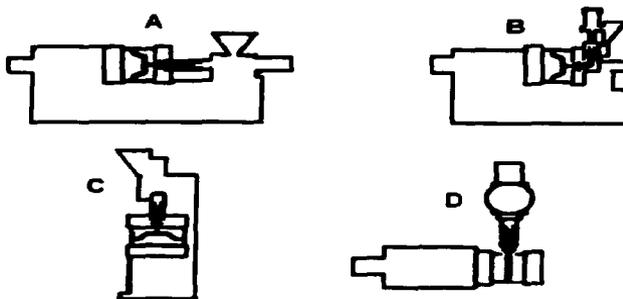


Fig. 4.1 Representación esquemática de las cuatro direcciones de trabajo de las unidades de cierre en máquinas de inyección de polímeros termoplásticos. (A) Trabajo horizontal. (B) Variante modificada de (A). (C) Trabajo Vertical. (D) Unidad inyectora en posición angular respecto a la unidad de cierre.

TESTS CON
FALLA DE ORIGEN

Capítulo IV Máquinas de Inyección, Tipos y Características Técnicas

Las máquinas de inyección se caracterizan por dos componentes principales: la unidad de inyección y la unidad de cierre. La unidad de inyección abarca el dispositivo de aportación de material, los elementos mecánicos para la plastificación del mismo y el accionamiento del husillo. La unidad de cierre efectúa los movimientos de apertura y cierre del molde de inyección.

IV.2 TIPOS CONSTRUCTIVOS.

El tipo de construcción mas corriente en las máquinas de inyección es el de tipo horizontal. En el las unidades de inyección y de cierre trabajan horizontalmente en alineación axial. En máquinas verticales, que se desarrollaron principalmente para funcionamiento manual (inserción de elementos metálicos y similares), se conserva el trabajo axial de las unidades de inyección y cierre. Sin embargo existen también variantes en las que la unidad de inyección está dispuesta perpendicularmente respecto al eje de la unidad de cierre; el desvío de la corriente del material hacia la boquilla alineada axialmente con la unidad de cierre se efectúa dentro del cilindro especial de plastificación. Construcciones especiales diferentes permiten una inyección de material en ángulo respecto al eje de la unidad de cierre en el plano de separación. Tales máquinas se construyeron en general para resolver determinadas finalidades de producción, por lo que pueden considerarse como construcciones especiales. Su participación en el mercado es relativamente pequeña en comparación con los tipos anteriores citados.

En la creciente tendencia a la construcción de máquinas con gran capacidad de inyección se realizan construcciones con forma ventajosa y ahorro de espacio en disposición vertical, considerando las alturas de montaje de los moldes, sus caminos de apertura y también el peso de la máquina.

Las modernas máquinas de inyección permiten un trabajo con tres formas de funcionamiento:

- ⇒ manual: en este tipo de trabajo todas las funciones son dirigidas por el personal de servicio u operadores.
- ⇒ semiautomático: un impulso de mando dispara el ciclo total de trabajo (al terminar un ciclo se detiene la máquina hasta recibir nueva orden); la duración de las diversas funciones queda determinada por impulsos de relés de conexión regulables.
- ⇒ automático: un impulso de mando introduce el ciclo de trabajo, que se repite automáticamente.

El cambio de una forma de trabajo a otra se efectúa generalmente mediante una instrucción en el gabinete de controles.

Capítulo IV Máquinas de Inyección, Tipos y Características Técnicas

Es un hecho de que, debido a la competencia entre los muchos fabricantes de productos termoplásticos se debe mantener en un mínimo los costos de producción. El funcionamiento automático permite el rentable manejo de varias máquinas por un solo operario, lo que significa en muchos sectores de la especialidad, la única solución lucrativa si se considera la fuerte competencia.

La unidad de inyección de una máquina tiene que ser tal que permita una adaptación de las funciones a las exigencias de la producción. La amplia escala de materiales termoplásticos disponibles y sus diversas propiedades de elaboración hacen problemático encontrar un diseño para una máquina universal, bajo el aspecto de las diversas tareas de producción a realizar.

Antes de realizar una adquisición, dentro de las planificaciones de inversión, debe tenerse una idea lo mas clara y exacta posible sobre las tareas de producción a realizar. Tras un análisis a fondo (capacidad de inyección, fuerza de cierre del molde, dimensiones de platinas, dimensiones de la máquina, precio, etcétera) se elegirá una máquina que con un mínimo costo trabaje rentablemente, decisión que contiene un aprovechamiento de posibilidades lucrativas, teniendo en cuenta la fuerte competencia del sector.

IV.3 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE MAQUINAS DE INYECCIÓN CON HUSILLO.

A continuación en la tabla 4.1 se enlistan algunos tipos de máquinas de inyección existentes en el mercado nacional e internacional, sus características técnicas y en algunos casos los precios actuales de dichas máquinas.

TABLA 4.1 MÁQUINAS DE INYECCIÓN PARA TERMOPLÁSTICOS.

Pais, casa comercial, tipo de máquina	Volumen de la carga de inyección, cm ³	Diámetro del husillo mm.	Presión de inyección MN/m ²	Capacidad plastificadora kg / h	Fuerza de cierre del molde tons.	Distancia entre las columnas de la máquina cm	Carrera del molde cm
Austria							
Engel							
ES10/20	24	22	110	10	17	22 x 10	17.5
ES 25/50	52	30	100	20	34 - 56	25 x 15	20
ES 50/100	100	40	100	40	85	32 x 15	25
ES 100/200	220	45	100	45	157	32 x 20	30
ES 200/400	400	55	100	55	225	37 x 23	40
ES 250/600	600	65	100	70	280	42 x 31	50
ES 300/800	800	70	100	75	337	42 x 42	60
ES 400/1200	1200	80	100	100	450	50 x 50	80
ES 500/1800	2000	95	100	125	562	65 x 65	100
ES 750/2500	2500	105	100	140	843	75 x 75	100
ES 900/4000	4000	120	100	190	1011	90 x 90	100
ES 1200/6000	6000	150	100	210	1350	100 x 110	100

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Pais, casa comercial, tipo de máquina	Volumen de la carga de inyección, cm ³	Diámetro del husillo mm.	Presión de inyección MN/m ²	Capacidad plastificadora Kg/h	Fuerza de cierre del molde tons.	Distancia entre las columnas de la máquina cm	Carrera del molde cm
Checoslovaquia							
TOS Rakovnik							
CSE 125							
CSE 250	125	45	100	32	112	45 x 45	40
CSE 500	250	56	80	30	225	73 x 73	35
CSE 1000	500	70	100	60	382	60 x 60	64
CSE 3150	1000	90	100	110	562	104x104	85
CSE 4000	3150	110	90	120	1125	---	80
CSE 8000	4000	140	104	180	1125	---	145
	8000	180	99	220	1800	---	190

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Pais, casa comercial, tipo de máquina	Volumen de la carga de inyección, cm ³	Diámetro del husillo mm.	Presión de inyección MN/m ²	Capacidad plastificadora Kg / h	Fuerza de cierre del molde tons.	Distancia entre las columnas de la máquina cm	Carrera del molde cm
Francia							
Billion							
HV-20	37	28	110	10	22	25	15
H 30	48	32	110	15	40	30	22
H 75	105	35	110	15	96	30 x 25	28
H140	160	40	120	20	146	36 x 30	30
H 260	270	45	110	30	225	40 x 35	40
H 360	380	52	120	45	281	46 x 37	46
H 500/600	540	60	100	50	433	50 x 45	60
H 2600	2660	100	100	120	674	82 x 82	110
Facon							
Viking 60/80	81	40	88	35	79	30 x 19	20
Viking 220/310	310	60	85	50	169	36 x 26	31
Viking 465/635	635	70	90	68	225	44 x 32	45
Monomatic 125	175	40	120	25	100	30 x 20	25
Monomatic 250	350	50	120	35	152	36 x 26	30
Monomatic 350	460	60	120	45	225	44 x 32	40
Monomatic 600	800	70	120	60	405	50 x 36	60
Monomatic 900	1200	85	120	65	562	56 x 44	70
Monomatic 1500	1950	100	100	70	821	66 x 52	80
Monomatic 3000	4150	180	100	105	1012	79 x 72	100
Monomatic 6000	8100	216	100	140	1236	96 x 78	120
Monomatic 1000	10000	248	100	250	2417	122 x 98	150

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Pais, casa comercia, tipo de máquina	Volumen de la carga de inyección, cm ³	Diámetro del husillo mm.	Presión de inyección MN/m ²	Capacidad plastificadora Kg / h	Fuerza de cierre del molde tons.	Distancia entre las columnas de la máquina cm	Carrera del molde cm
Alemania							
Stübbe							
SKM50/35	57	30	100	14	40	25 x 15	25
SKM50/45	76	36	90	18	51	25 x 15	25
SKM75/80	112	36	118	30	124	33 x 22	32
SKM150/235	260	55	90	30	197	38 x 22	32
SKM400/250	570	75	92	70	337	47 x 39	48
S550/725	900	88	77	62	393	64 x 45	60
S851/1200	1800	110	77	100	652	82 x 70	75
S852/2000	2000	110	110	140	652	82 x 70	90
YEB Freital							
K y ASY50x63	63	32	155	22	56	32 x 50	25
K y ASY100x125	125	40	110	28	112	36 x 25	32
K y ASY160x250	220	50	68	40	180	40 x 32	40
K y ASY250x500	450	63	74	63	281	50 x 40	50
EH33-400	1000	80	80	80	450	50 x 63	60
EH33-630	2000	100	80	125	708	64 x 80	70
EH33-1000	4000	125	80	160	1124	80 x 100	100

**TESIS CON
VALIA DE ORIGEN**

Pais, casa comercial, tipo de máquina	Volumen de la carga de inyección, cm ³	Diámetro del husillo mm.	Presión de inyección MN/m ²	Capacidad plastificadora kg / h	Fuerza de cierre del molde tons.	Distancia entre las columnas de la máquina cm	Carrera del molde cm
Inglaterra							
Bipel							
27/17	36	27	138	—	8	21 x 21	22
80/26	108	38	105	—	90	64	36
150/38	270	48	97	—	169	71	46
300/67	530	67	84	—	337	77	61
400/153	1020	86	121	—	450	93	61
600/225	2050	102	127	—	674	123	91
Gravens							
7-IX-5	120	38	105	27	84	48 x 32	33
200-IX-10	320	51	140	81	202	66 x 69	38
200-IX-15	440	63.5	140	91	202	66 x 69	38
350-IX-20	640	63.5	140	91	354	52 x 86	56
350-IX-35	1060	76	140	136	354	52 x 86	56
450-IX-55	1660	89	120	220	452	107 x 67	71
800-IX-100	3480	115	112	270	804	91 x 140	89
1500-IX-200	7080	152	140	450	1506	183 x 123	152
2000-IX-500	17200	184	140	635	1967	199 x 123	152
2500-IX-700	20000	—	140	—	2507	123 x 212	152

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Pais, casa comercial, tipo de máquina	Volumen de la carga de inyección, cm ³	Diámetro del husillo mm.	Presión de inyección MN/m ²	Capacidad plastificadora kg / h	Fuerza de cierre del molde tons.	Distancia entre las columnas de la máquina cm	Carrera del molde cm
Inglaterra							
Peco							
21MR	130	57	76	23	90	27 x 27	25
35MR	200	63.5	85	32	169	39 x 36	30
35MR	550	89	77	45	309	41 x 46	37
40/50MR	1440	102	81	91	393	48 x 53	58
50MR	1840	114	64	91	562	55 x 70	58
60MR	3540	127	90	160	843	94 x 102	81
12/80R	6430	127	84	180	1350	109 x 109	132
20/90R	18600	215	70	320	2250	127 x 127	183
30/100R	25000	215	70	---	3372	168 x 168	213
Windsor							
SP4	57	---	120	50	73	36 x 26	25
AP40	330	57	123	59	281	41 x 41	41
AP15/44	720	78	123	100	393	46 x 46	46
AP125	2130	---	123	136	618	66 x 61	66
AP195	3280	---	123	180	900	85 x 85	91
AP335/3000	5500	127	126	270	1517	122 x 102	107

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Pais, casa comercial, tipo de máquina	Volumen de la carga de inyección, cm ³	Diámetro del husillo mm.	Presión de inyección MN/m ²	Capacidad plastificadora kg / h	Fuerza de cierre del molde tons.	Distancia entre las columnas de la máquina cm	Carrera del molde cm
Italia							
Beloit Fimsai							
OF200/145	350	60	107	70	160	35 X 35	35
OF400/310	480	60	125	80	350	45 X 45	55
OF700/420	1200	90	105	110	472	50 X 50	60
OF1000/800	1600	90	100	127	889	65 X 65	70
OF2000/1050	3100	120	106	270	1070	76 X 76	80
OF4000/1500	5000	135	120	320	1590	90 X 90	110
OF6000/1700	8500	170	105	350	1910	124 X 124	130
OF10000/1700	12500	180	100	410	1910	124 X 124	130
Negri Bossi							
85-8FA	44	30	102	18	35	24	20
87-9FA	61	38	90	25	56	28 X 13	20
B9-12FAH	84	---	90	26	79	32 X 32	27
B15-23FA	140	---	97	36	112	39 X 29	35
B50-80FA	513	70	103	90	377	52 X 52	52
B70-100	703	70	100	90	281	54 X 54	62

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Pais, casa comercial, tipo de máquina	Volumen de la carga de inyección, cm ³	Diámetro del husillo mm.	Presión de inyección MN/m ²	Capacidad plastificadora kg / h	Fuerza de cierre del molde tons.	Distancia entre las columnas de la máquina cm	Carrera del molde cm
Italia							
Sandretto							
55V	55	40	115	12	48	28 X 21	28
100V	100	45	154	16	64	29 X 20	30
180V	180	50	156	26	108	38 X 26	35
320V	320	70	115	45	175	42 X 29	45
550V	550	70	114	58	303	57 X 41	55
1000V	1000	90	118	85	506	64 X 46	70
2000V	2000	105	115	145	730	89 X 70	90
3000V	3000	120	110	185	1034	93 X 83	100
6000V	6000	160	110	260	1573	106X86	145

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

País, casa comercial, tipo de máquina	Volumen de la carga de inyección, cm³	Diámetro del husillo mm.	Presión de inyección MN/m²	Capacidad plastificadora kg / h	Fuerza de cierre del molde tons.	Distancia entre las columnas de la máquina cm	Carrera del molde cm
Japón							
Meiki							
S125/35	66	30	123	16	40	26 X 21	122
S135/45	142	40	125	30	90	31 X 26	30
S145/55	260	50	129	70	157	36 X 28	40
S150/70A	400	60	125	77	225	42 X 34	45
S160/85A	655	70	148	105	338	52 X 42	57
S175/100A	1440	90	140	165	450	66 X 56	80
S190/130A	2900	110	140	270	900	100 X 90	120
S1120/170A	5820	140	154	340	1405	135 X 114	140
S1150/250	14700	200	115	450	2473	137 X 137	180
Toshiba							
1S80	150	40	137	18	90	36 X 25	32
1S125	290	50	143	28	140	43 X 30	38
1S200	510	60	140	42	225	49 X 36	45
1S300	770	70	103	80	354	53 X 53	56
1S500L	1000	90	100	115	562	71 X 71	90
1S800L	3030	105	100	200	900	100 X 90	112
1S1200	5700	135	101	200	1350	120 X 120	120

**TRABAJE CON
PAUSA DE ORIGEN**

Pais, casa comercial, tipo de máquina	Volumen de la carga de inyección, cm ³	Diámetro del husillo mm.	Presión de inyección MN/m ²	Capacidad plastificadora kg / h	Fuerza de cierre del molde tons.	Distancia entre las columnas de la máquina cm	Carrera del molde cm
Suecia							
Brödema-Akesson							
AS140	55	30	110	18	45	25 X 18	28
AS175	90	40	85	35	89	—	30
AS1100	150	45	80	40	112	35 X 25	50
AS1200	200	50	110	45	337	38 X 35	40
AS1550	580	65	85	75	309	42 X 38	60
AS11000	1100	70	80	75	562	59 X 39	67
AS13000	3400	120	100	150	900	100 X 80	150

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Pais, casa comercial, tipo de máquina	Volumen de la carga de inyección, cm ³	Diámetro del husillo mm.	Presión de inyección MN/m ²	Capacidad plastificadora kg / h	Fuerza de cierre del molde tons.	Distancia entre las columnas de la máquina cm	Carrera del molde cm
Suiza							
Netstal Neomat							
HV30/100	30	28	100	8	23	16 x 16	18
110/565	77	38	81	18	90	30.5	20
260/735	190	47	100	27	112	19 x 34	30
600/700	450	65	93	45	281	43 x 43	45
1400/1860	1400	90	86	160	450	59 x 59	60
Rotomat							
260/700	130-260	39; 45; 55	70 - 140	54	112	19 x 34	30
600/670	330-600	52; 60; 70	77 - 140	80	281	43 x 43	45
1400/860	860-1400	64; 82	86 - 140	160	450	59 x 59	60
1700/785	920-1700	70; 95	78 - 143	160	450	59 x 59	60

**TESIS CON
CALLA DE ORIGEN**

País, casa comercial, tipo de máquina	Volumen de la carga de inyección, cm³	Diámetro del husillo mm.	Presión de inyección MN/m²	Capacidad plastificadora kg / h	Fuerza de cierre del molde tons.	Distancia entre las columnas de la máquina cm	Carrera del molde cm
Estados Unidos							
HPM							
200-IX-5	155	44	140	36	225	43 x 43	38
200-IX-14	390	64	140	73	225	43 x 43	38
350-IX-24	655	64	140	90	393	52 x 52	56
450-IX-40	1130	76	140	135	506	69 x 69	71
650-IX-60	1640	89	140	230	730	77 x 77	89
1500-IX-140	3770	114	140	360	1686	123 x 123	152
1500-IX-220	6060	133	140	550	1686	123 x 123	152
2500-IX-300	9000	152	140	590	2810	123 x 123	152
Natco							
225E20	540	57	133	135	253	46 X 36	38
450E35	950	70	133	115	506	69 X 69	66
650E60	1640	89	126	225	730	79 X 79	89
850E100	3030	105	123	350	955	93 X 100	102
1200E180	4880	121	120	450	1350	113 X 123	127
2700ES265	7700	135	140	700	3035	140 X 140	165

**HECHO CON
MATERIA DE ORIGEN**

IV.4 MÁQUINAS DE INYECCIÓN PARA PREFORMAS¹¹

Máquina tipo: **BMB MC350/2VP7**

Especificaciones Principales:

- Año de fabricación: 1996
- Diseñada especialmente para preformas en PET.
- Diámetro del husillo: 95 + 95 mm.
- Relación L/D: 25 + 25
- Volumen de inyección: 800 + 800 cm³/seg.
- Capacidad de producción: 6,500,000 botes/ mes.
- Precio aproximado: 438,030 Euros = 392 869 dólares¹²

Máquina tipo: **CINCINNATI CM 225-1350**

Especificaciones Principales:

- Año de fabricación: 1983
- Diseñada especialmente para preformas en PET.
- 225 toneladas de cierre.
- Capacidad de inyección: 35 oz.
- Distancia entre barras: 559x559 mm.
- Diámetro del husillo: 75 mm .
- Precio aproximado: 140 000 Euros = 125 566 dólares

Máquina tipo: **CINCINNATI CM 335-2100**

Especificaciones Principales:

- Año de fabricación: 1985.
- Diseñada especialmente para preformas en PET.
- Diámetro del husillo: 82.5 mm.
- Distancia entre barras: 660 x 660 mm.
- Capacidad de inyección: 58 oz.
- Fuerza de cierre: 350 toneladas.
- Precio aproximado: 159 300 Euros = 142 876 dólares

¹¹ Datos tomados de la página: www.machinepoint.com

¹² La conversión está basada al precio actual (FEB-2002): 1 euro = 0.89690 dólares.

Capítulo IV Máquinas de Inyección, Tipos y Características Técnicas

Máquina tipo: **HUSKY XL300P**

Especificaciones Principales:

- Año de fabricación: 1988
- Diámetro del husillo: 85 mm.
- Distancia entre barras: 28.3 x 28.3 in.
- Capacidad de inyección: 34 oz.
- 330 toneladas de cierre.
- Precio aproximado: 122 250 dólares.

Máquina tipo: **HUSKY XL620P**

Especificaciones Principales:

- Año de fabricación: 1985
- Distancia entre barras: 620 x 620 mm.
- Capacidad de inyección: 77 oz.
- 240 toneladas de cierre.
- Peso 18 toneladas.
- Precio aproximado: 202 215 Euros = 181 366 dólares.

Máquina tipo: **HUSKY XL 720 P**

Especificaciones Principales:

- Año de fabricación: 1984
- 340 toneladas de cierre.
- Tamaño máximo del molde: 350 x 700 mm.
- Distancia entre barras: 720 x 720 mm.
- Diámetro del husillo: 100 mm.
- Capacidad de inyección: 77 oz.
- Precio aproximado: 90 655 dólares.

Máquina tipo: **HUSKY SX 600**

Especificaciones principales:

- Año de fabricación: 1994.
- 600 toneladas de cierre.
- Capacidad de inyección: 176 oz.
- Precio aproximado: 888 800 Euros = 797 164 dólares

Capítulo IV Máquinas de Inyección, Tipos y Características Técnicas

Máquina tipo: **HUSKY XL 225 P**

Especificaciones Principales:

- Año de fabricación 1987.
- Diámetro del husillo: 85 mm.
- Distancia entre barras: 620 x 620 mm.
- Capacidad de inyección: 52 oz.
- 225 toneladas de cierre.
- Precio aproximado: 231 235 Euros = 207 394 dólares.

Máquina tipo: **HUSKY 225 LX**

Especificaciones principales:

- Año de fabricación: 1988.
- Distancia entre barras: 620 x 620 mm.
- 225 toneladas de cierre.
- Capacidad de inyección: 52 oz.
- Precio aproximado: 254 555 Euros = 228 310 dólares.

Máquina tipo: **HUSKY XL300-P**

Especificaciones principales:

- Año de fabricación: 1986.
- Diámetro del husillo: 82 mm.
- Distancia entre barras: 720 x 720 mm.
- Capacidad de inyección: 63 oz.
- 300 toneladas de cierre.
- Precio aproximado: 378 925 Euros = 339 857 dólares.

Máquina tipo: **KRUPP P25**

Especificaciones principales:

- Año de fabricación: 1988.
- Diámetro del husillo: 80 mm.
- Distancia entre barras: 620 x 620 mm.
- Capacidad de inyección: 42 oz.
- 250 toneladas de cierre.
- Precio aproximado: 77 531 Euros = 69 537 dólares.

IV.6 PRENSAS DE INYECCIÓN DE 100 A 199 TONELADAS DE CIERRE.

Máquina tipo: LIEN YU UF 110

Especificaciones principales:

- Año de fabricación: 1996
- País de origen: Corea
- Diámetro del husillo: 38.1 mm
- Distancia entre barras: 355 mm x 355 mm
- Capacidad de inyección: 4.5 oz.
- 110 toneladas de cierre
- Precio aproximado: 34 000 dólares

Máquina tipo: ARBURG 420c 1000-250-4.2

Especificaciones principales:

- Año de fabricación 1995
- Distancia entre barras: 420 x 420 mm
- Capacidad de inyección: 4.27 oz.
- Tamaño de la platina: 570 x 570 mm
- 110 toneladas de cierre.
- Precio aproximado: 35 000 dólares.

Máquina tipo: ARBURG 470 C

Especificaciones principales:

- Año de fabricación : 1995
- Distancia entre barras: 470 x 470 mm
- Capacidad de inyección: 7.4 oz.
- Tamaño de la platina: 685 x 685 mm
- 143 toneladas de cierre
- Precio aproximado: 53 820 dólares.

Capítulo IV Máquinas de Inyección, Tipos y Características Técnicas

Máquina tipo: DEMAG D100-275

Especificaciones principales :

- Año de fabricación : 1985
- 110 toneladas de cierre.
- Capacidad de inyección: 3.45 oz.
- Tamaño de la platina: 540 x 540 mm
- Distancia entre barras: 380 x 380 mm
- Diámetro del husillo: 32 mm.
- Precio aproximado: 8 500 dólares.

Máquina tipo: KRAUSS MAFFEI 150-620B

Especificaciones principales :

- Año de fabricación : 1984
- 150 toneladas de cierre
- Capacidad de inyección: 12 oz.
- Tamaño de las platinas: 720 x 670 mm
- Distancia entre barras: 500 x 450 mm.
- Diámetro del husillo: 50 mm.
- Precio aproximado: 27 000 euros = 24 216 dólares.

Máquina tipo: METALMECANICA PENTATRON 135/355

Especificaciones principales:

- Año de fabricación: 1990
- Diámetro del husillo: 42 mm.
- Distancia entre barras: 400 x 400 mm.
- Capacidad de inyección: 9.5 oz.
- 135 toneladas de cierre.
- Precio aproximado: 33 545 euros = 30 086 dólares.

Máquina tipo: MIR RMP 190.

Especificaciones principales:

- Año de fabricación: 1985
- Diámetro del husillo: 55 mm.
- Distancia entre barras: 460 x 460 mm.
- Capacidad de inyección: 19 oz.
- Tamaño de las platinas: 725 x 725 mm.
- 190 toneladas de cierre.
- Precio aproximado: 14 585 euros = 13 081 dólares.

Capítulo IV Máquinas de Inyección, Tipos y Características Técnicas

Máquina tipo: NEGRI BOSSI NB 100 Dimicolor 200

Especificaciones principales:

- Año de fabricación: 1992.
- 100 toneladas de cierre.
- Capacidad de inyección: 7 oz.
- Distancia entre barras: 400 x 400 mm.
- Diámetro del husillo: 42 mm.
- Precio aproximado: 22 455 euros = 20 140 dólares.

Máquina tipo: NISSEI FS120S25ASE

Especificaciones principales:

- Año de fabricación: 1995.
- Diámetro del husillo: 45 mm.
- Distancia entre barras: 410 x 410 mm.
- Capacidad de inyección: 8 oz.
- 120 toneladas de cierre.
- Precio aproximado: 32 500 euros = 29 149 dólares.

Máquina tipo: SUMITOMO SH100A-C360-4

Especificaciones principales:

- Año de fabricación: 1995
- Diámetro del husillo: 1.26 in.
- Distancia entre barras: 410 x 410 mm
- Capacidad de inyección: 4.3 oz.
- Tamaño de platinas: 610 x 610 mm
- 100 toneladas de cierre.
- Precio aproximado: 45 325 dólares.

Máquina tipo: VAN DORN 150-9

Especificaciones principales:

- Año de fabricación: 1988
- Distancia entre barras: 463 x 463 mm
- Capacidad de inyección: 9 oz.
- Tamaño de platinas: 736 x 812 mm
- 150 toneladas de cierre.
- Precio aproximado: 13 590 dólares.

CAPÍTULO V

CASO PRÁCTICO.

V.1 DATOS GENERALES DEL PROBLEMA.

Una empresa en expansión quiere producir juguetes para niños por la gran demanda que existe en el mercado de estos artículos de buena calidad y a un mejor precio que las marcas de prestigio, el modelo que se tiene planeado lanzar a la venta es de un carro de volteo de un tamaño aproximado de 25cm. de largo x 20cm de ancho y 20cm. de alto, se quiere hacer el producto en un material termoplástico. Debido a que dicha empresa no puede disponer de las máquinas ya existentes en sus instalaciones es necesario la compra de una máquina. Para todo lo anterior es necesario hacer un análisis para la selección de una máquina que cumpla con el trabajo, se debe tener en consideración que se tiene un presupuesto de solo 38 000 dólares, lo cual limita la selección. Los pasos a seguir son: seleccionar una máquina, ¿qué tipo de proceso es el adecuado?, ¿en qué material se fabricará?, ¿cuántos moldes se requieren? y en consecuencia ¿qué volumen de producción se tendrá?.

Enseguida haremos el análisis detallado de cada uno de los puntos mencionados.

V.2 SELECCIÓN DEL PROCESO.

El proceso de inyección como ya se ha explicado en este trabajo consiste en calentar un material termoplástico en un cilindro de plastificación e inyectarlo en un molde el cual le dará la forma. Este proceso es el más adecuado para nuestro moldeo ya que presenta mayor sencillez que el de soplado o extrusión para lo que vamos a fabricar, además, de que el tipo de moldes a emplear y la maquinaria necesaria son mucho mas económicos que los antes mencionados. Es por esto que el proceso seleccionado es el de inyección.

V.3 HOJA DE SELECCIÓN DE MÁQUINA DE INYECCIÓN DE TERMOPLÁSTICOS.

Dentro de nuestra selección tenemos varias a elegir (ver prensas de inyección capítulo IV) de las cuales se van a ir eliminando algunas debido a su año de fabricación, fuerza de cierre, precio aproximado, capacidad de inyección o alguna otra característica innecesaria que incremente el costo.

TABLA 5.1 MÁQUINAS SELECCIONADAS

ESPECIFICACIONES PRINCIPALES ↓	MAQUINA TIPO →						
	ARBUG 42C	LIEN YU UF 110	DEBAG D100-75	ARBUG 470C	NEGRI BOSSI NB100	NISSER FS120	SUMITOMO SH100A
PAIS DE ORIGEN	ALEMANIA	COREA	ALEMANIA	ALEMANIA	ITALIA	JAPON	JAPON
AÑO DE FABRICACION	1995	1996	1985	1995	1992	1995	1995
DISTANCIA ENTRE BARRAS (mm)	420x420	355x355	380x380	470x470	400x400	410x410	610x610
DIAMETRO DEL HUSILLO (mm)	40	38.1	32	Sin dato	42	45	32
CAPACIDAD DE INYECCIÓN (oz.)	4.27	4.5	3.45	7.4	7	8	4.3
TONELADAS DE CIERRE	110	110	110	143	100	120	100
TAMAÑO DE PLATINAS (mm)	570x570	370x370	540x540	470x470	Sin dato	410x410	610x610
PRECIO APROXIMADO (DOLARES)	35 000	34 000	8 500	53 820	20 140	29 149	45 325

V.3.1 MÁQUINA SELECCIONADA.

Antes de hacer el análisis para la selección de una máquina se deben considerar algunos factores importantes que pueden repercutir en nuestra elección, estos son: los factores que determinan el deterioro y los factores que determinan la obsolescencia.

El deterioro puede definirse como la disminución de la eficiencia de ingeniería de un equipo en comparación con la que se tenía cuando el equipo era nuevo. Los gastos aumentarían debido a los aspectos siguientes de deterioro:

Capítulo V Caso Práctico

1. Aumento del consumo de energía eléctrica, como consecuencia de la disminución de eficiencia de la máquina.
2. Incremento de mantenimiento y reparaciones, como consecuencia de fallas de las piezas.
3. Mayor tiempo ocioso de la mano de obra, debido a una mayor frecuencia de interrupciones por fallas mecánicas.
4. Mas piezas echadas a perder y mayor desperdicios de materiales y mano de obra, debido a la poca confiabilidad.
5. Incremento de mano de obra, a causa de la disminución de la velocidad y la productividad más baja.
6. Incremento de costos de inspección, debido a la pérdida de confiabilidad.
7. Pérdida de ingresos por devoluciones o gastos mas elevados de ventas, si el producto es de baja calidad.
8. Aumento de gastos generales, debido al equipo poco confiable.

La obsolescencia puede definirse como la disminución de la eficiencia de ingeniería del equipo cuando todavía está nuevo, en comparación con la mejor eficiencia de ingeniería disponible en ese momento. La obsolescencia de la máquina se establece al comparar su costo de operación de nuevo con el costo de operación del último modelo. Debe observarse que se trata de una predicción de inferioridad tecnológica, no deterioro, y por tanto, como es de esperarse, la comparación se lleva entre máquinas nuevas. Se hace notar que el deterioro no toma parte en la inferioridad acumulada como causa de la obsolescencia.

La obsolescencia de una máquina da como resultado aumento de costos, en relación a la mejor máquina disponible de cada año. Los conceptos siguientes ilustran ciertas diferencias de costos, resultantes de la inferioridad tecnológica en el diseño.

1. Mayor consumo de energía eléctrica debido a la menor eficiencia de diseño.
2. Menor productividad, debido a las velocidades productivas más bajas.
3. Costos más elevados de mantenimiento y reparaciones, a causa de la planeación inferior de diseño.
4. Más descomposturas por fallas de diseño.
5. Menos confiabilidad, debido a cálculos de diseño más inexactos.
6. Más desperdicios debido al diseño menos exacto.
7. Más mano de obra y supervisión, debido a que el diseño es menos automático.
8. Más espacio de suelo por el diseño menos compacto.

La obsolescencia no es del todo una calle de un solo sentido; por ejemplo, un diseño más automático puede reducir considerablemente la mano de obra, la supervisión, los desperdicios y el espacio de suelo; pero puede hacer aumentar el consumo de energía eléctrica, la inspección, el mantenimiento y las reparaciones. Sin embargo, el efecto combinado del mejoramiento tecnológico es reducir los gastos totales de operación.

Capítulo V Caso Práctico

Observando la tabla 5.1, las máquinas que cumplen con el primer requisito que es un costo no mayor de 38 000 dólares son: Arburg 420c, Lien Yu UF110, Demag D100-275, Negri Bossi NB100, Nissei FS120.

Tomando en consideración los factores de deterioro y obsolescencia y analizando una a una las especificaciones principales tenemos que: en cuanto al año de fabricación las máquinas que deben considerarse son: Arburg 420c, Lien Yu UF 110 y Nissei FS120.

En la distancia entre barras se considera el tamaño de los moldes de las piezas a fabricar para que se pueda realizar el montaje y el desmontaje de éstos sin dificultad, para nuestro caso práctico el molde de mayor dimensión tiene 330 mm de ancho. Esta especificación todas las máquinas seleccionadas la cumplen.

El diámetro del husillo esta relacionado con la capacidad de inyección así que se considerará como un solo análisis. Las piezas inyectadas de mayor peso son de 3.66 oz. (en la hoja de proceso del punto V.7 se hizo la conversión a gramos). Por lo tanto las máquinas que realizan ésta especificación son: Arburg 420c y Lien Yu UF 110.

En cuanto a las toneladas de cierre todas las máquinas cumplen lo requerido para nuestro caso, no así en las dimensiones de platina ya que algunas resultan demasiado sobradas para los moldes que se utilizarán haciendo que se tenga más uso de suelo. Las máquinas seleccionadas aquí son: Lien Yu UF 110 y Nissei FS 120.

Haciendo el análisis de los datos obtenidos se puede apreciar que la máquina que desempeña todas las especificaciones requeridas es Lien Yu UF 110, por lo tanto, es la máquina seleccionada. Además presenta una ventaja de las otras: existe en nuestro país la importadora TIMEX que se encarga de proporcionar refacciones y mantenimiento especializado de ser necesario durante 10 años a partir de la fecha de fabricación.

V.4 HOJA DE SELECCIÓN DE MATERIAL A EMPLEAR.

Los materiales elegidos para la elaboración de dicho juguete están basados en sus características ya explicadas, en las propiedades generales de los termoplásticos del capítulo I de este trabajo. Los materiales elegidos enseguida se mencionan con sus principales características:

POLIMERO NOMBRE	VISCOSIDAD DEL MATERIAL FUNDIDO (ALTA, MEDIA, BAJA)	TEMPERATURA DE FUSIÓN ° C	CONTRACCIÓN POR MOLDEO %	DUREZA ROCKWELL R	PRECIO EN EL MERCADO ¹³ Centavos de dólar / Kg.
Poliétileno Baja Densidad PE	Depende del grado de fluidez	110	1 - 3	10	101.2
Polipropileno PP	Depende del grado de fluidez	165	1 - 2.5	90	72.6
Poliestireno PS	Depende del grado de fluidez	130-170	0.3 - 0.6	75	79.2
Poliestireno Alto Impacto SB	Depende del grado de fluidez	130-170	0.3 - 0.6	85	121
ABS	Depende del grado de fluidez	170-200	0.4 - 0.7	95	195.5
Poliétileno Alta Densidad PE	Depende del índice de fluidez	130	1.5 - 4	40	79.2

V.4.1 MATERIAL SELECCIONADO.

El material seleccionado es el polietileno de alta densidad (PE) debido a que presenta más ventajas para su proceso que los otros analizados, entre estas ventajas está el hecho de que es un material comercial en el mercado, fácil de adquirir, buen precio, fácil de moldear y no necesita mucho trabajo posterior al moldeo.

¹³ Precios E.U. Diciembre 2001, tomados de la revista "Tecnología del Plásticos" No. 122 Enero / Febrero 2002.

V.5 CONSTITUCIÓN Y FUNCIÓN DEL MOLDE.

A continuación se dará una breve explicación acerca de los moldes, se explicarán los puntos mas importantes debido a que el tema de moldes es muy extenso y este trabajo tiene como tema principal otros aspectos.

Según la cantidad de cavidades, se tienen moldes simples o múltiples. La determinación de la cantidad por molde depende técnicamente del peso de material por inyección , del rendimiento de plastificación y de la presión de cierre de la máquina.

Un molde en el caso más sencillo, pero también el más frecuente, consta de dos mitades que, por lo general se fijan directamente sobre las platinas de la máquina de inyección. Estos dos elementos básicos, la mitad del molde lado inyector y la mitad lado extractor, aparecen en todo molde, independientemente de su forma de construcción. Tras el proceso de llenado y solidificación el molde se abre por el plano de partición, quedando generalmente la pieza y la colada de alimentación adheridas a la mitad del molde extractor. Al continuar el proceso de apertura, la parte posterior entra en contacto con un perno fijo de la máquina, iniciando enseguida el proceso de desmoldeo. El tope del extractor acciona el mecanismo de expulsión, el cual desplaza la pieza y la colada de alimentación, separándolas del elemento posterior de moldeo. Sólo al iniciarse el cierre se produce la recuperación del mecanismo extractor mediante las llamadas espigas de retroceso o botadores recuperadores o también mediante un resorte antagónico puesto en la placa extractora. Finalizando el movimiento de cierre al estar el molde cerrado el mecanismo se encuentra en su posición final. Mediante una boquilla situada junto a la cavidad del molde se establece una conexión entre éste y el cilindro de inyección, con lo que puede empezar de nuevo el ciclo de llenado.

V.6 PARAMETROS DE MOLDEO.

Molde: **CABINA Y CHASIS.**

1. Velocidad de cierre del molde =	40 mm /s
2. Velocidad de apertura del molde =	30 mm /s
3. Carrera de la platina móvil =	350 mm
4. Fuerza de cierre del molde =	70 ton
5. Espesor del molde (distancia entre las platinas) =	290 mm
6. Tiempo entre ciclos (reciclo) =	33 seg.
7. Velocidad de inyección =	50 mm /s
8. Velocidad de plastificación (velocidad del husillo) =	80 mm /s
9. Carrera de inyección y espesor del "colchón" =	No necesario
10. 1ra. presión de inyección (presión de llenado) =	800 – 1200 bar
11. 2da. presión de inyección (pospresión o presión de sostenimiento) =	400 – 600 bar
12. Tiempo de sostenimiento (pospresión) =	3 – 5 seg.
13. Contrapresión sobre el husillo =	80 – 120 bar
14. Tiempo de solidificación del material inyectado en el molde =	15 seg.
15. Carrera de separación de la boquilla al molde =	No necesario
16. Temperatura del cilindro de plastificación =	170, 170, 180 ° C
17. Temperatura de la boquilla =	165 ° C
18. Temperatura del molde (medio molde fijo y móvil) =	30 ° C
19. Carrera de extracción =	650 mm
20. Velocidad de extracción =	30 mm /s
21. Fuerza de extracción =	25 ton

Molde: CAJA DE VOLTEO

1. Velocidad de cierre del molde =	40 mm /s
2. Velocidad de apertura del molde =	30 mm /s
3. Carrera de la platina móvil =	350 mm
4. Fuerza de cierre del molde =	70 ton
5. Espesor del molde (distancia entre las platinas) =	330 mm
6. Tiempo entre ciclos (reciclo) =	30 seg.
7. Velocidad de inyección =	60 mm /s
8. Velocidad de plastificación (velocidad del husillo) =	75 mm /s
9. Carrera de inyección y espesor del "colchón" =	No necesario
10. 1ra. presión de inyección (presión de llenado) =	800 – 1200 bar
11. 2da. presión de inyección (pospresión o presión de sostenimiento) =	400 – 600 bar
12. Tiempo de sostenimiento (pospresión) =	3 – 5 seg.
13. Contrapresión sobre el husillo =	80 – 120 bar
14. Tiempo de solidificación del material inyectado en el molde =	15 seg.
15. Carrera de separación de la boquilla al molde =	No necesario
16. Temperatura del cilindro de plastificación =	195, 195, 200 ° C
17. Temperatura de la boquilla =	190 ° C
18. Temperatura del molde (medio molde fijo y móvil) =	30 ° C
19. Carrera de extracción =	650 mm
20. Velocidad de extracción =	30 mm /s
21. Fuerza de extracción =	25 ton

Molde: **LLANTAS**

1. Velocidad de cierre del molde =	40 mm /s
2. Velocidad de apertura del molde =	30 mm /s
3. Carrera de la platina móvil =	350 mm
4. Fuerza de cierre del molde =	70 ton
5. Espesor del molde (distancia entre las platinas) =	270 mm
6. Tiempo entre ciclos (reciclo) =	33 seg.
7. Velocidad de inyección =	60 mm /s
8. Velocidad de plastificación (velocidad del husillo) =	60 mm /s
9. Carrera de inyección y espesor del "colchón" =	No necesario
10. 1ra. presión de inyección (presión de llenado) =	800 – 1200 bar
11. 2da. presión de inyección (pospresión o presión de sostenimiento) =	400 – 600 bar
12. Tiempo de sostenimiento (pospresión) =	3 – 5 seg.
13. Contrapresión sobre el husillo =	80 – 120 bar
14. Tiempo de solidificación del material inyectado en el molde =	9 seg.
15. Carrera de separación de la boquilla al molde =	No necesario
16. Temperatura del cilindro de plastificación =	175, 180, 190 ° C
17. Temperatura de la boquilla =	170 ° C
18. Temperatura del molde (medio molde fijo y móvil) =	30 ° C
19. Carrera de extracción =	650 mm
20. Velocidad de extracción =	30 mm /s
21. Fuerza de extracción =	25 ton

Molde: **RINES**

1. Velocidad de cierre del molde =	40 mm /s
2. Velocidad de apertura del molde =	30 mm /s
3. Carrera de la platina móvil =	350 mm
4. Fuerza de cierre del molde =	70 ton
5. Espesor del molde (distancia entre las platinas) =	290 mm
6. Tiempo entre ciclos (reciclo) =	33 seg.
7. Velocidad de inyección =	50 mm /s
8. Velocidad de plastificación (velocidad del husillo) =	80 mm /s
9. Carrera de inyección y espesor del "colchón" =	No necesario
10. 1ra. presión de inyección (presión de llenado) =	800 – 1200 bar
11. 2da. presión de inyección (pospresión o presión de sostenimiento) =	400 – 600 bar
12. Tiempo de sostenimiento (pospresión) =	3 – 5 seg.
13. Contrapresión sobre el husillo =	80 – 120 bar
14. Tiempo de solidificación del material inyectado en el molde =	15 seg.
15. Carrera de separación de la boquilla al molde =	No necesario
16. Temperatura del cilindro de plastificación =	170, 170, 180 ° C
17. Temperatura de la boquilla =	165 ° C
18. Temperatura del molde (medio molde fijo y móvil) =	30 ° C
19. Carrera de extracción =	650 mm
20. Velocidad de extracción =	30 mm /s
21. Fuerza de extracción =	25 ton

V.7 HOJA DE PROCESO.

Artículo: CABINA Y CHASIS

Material: PE alta densidad.

No. de cavidades molde: 1 cabina, 1 chasis, 1 frente cabina.

Aditivo: Pigmento Master Bach colores: rojo, azul, violeta, amarillo, verde, anaranjado.

Secado de material: no necesario

Tiempo montaje de molde: 10 min.

Tiempo desmontaje de molde: 5 min.

Peso de la pieza con rebaba: 84 gr.

Peso de la pieza sin rebaba: 74 gr.

Tiempo de ciclo: 33 seg.

Piezas x hora: 109 piezas.

Piezas x 8 horas: 872 piezas.

Artículo: CAJA DE VOLTEO

Material: PE alta densidad

No. de cavidades molde: 1

Aditivo: pigmento Master Bach colores : rojo, azul, violeta, amarillo, verde, anaranjado.

Secado de material: no necesario

Tiempo montaje de molde: 10 min.

Tiempo desmontaje de molde: 5min.

Peso de la pieza con rebaba: 65 gr.

Peso de la pieza sin rebaba: 62 gr.

Tiempo de ciclo: 30 seg.

Piezas x hora: 120

Piezas x 8 horas: 960

Capítulo V Caso Práctico

Artículo: **LLANTAS**

Material: PE alta densidad

No. de cavidades molde: 4

Aditivo: pigmento Master Bach colores: rojo, azul, verde ,amarillo, violeta, anaranjado.

Secado de material: no necesario

Tiempo montaje de molde: 10 min.

Tiempo desmontaje de molde: 5 min.

Peso de la pieza con rebaba: 104 gr.

Peso de la pieza sin rebaba: 98 gr.

Tiempo de ciclo: 33 seg.

Piezas x hora: 436

Piezas x 8 horas: 3490

Artículo: **RINES**

Material: PE alta densidad

No. de cavidades molde: 12

Aditivo: pigmento Master Bach colores rojo, azul, verde violeta, amarillo, anaranjado.

Secado de material: no necesario.

Tiempo montaje de molde: 10 min.

Tiempo desmontaje de molde: 5 min.

Peso de la pieza con rebaba: 48 gr.

Peso de la pieza sin rebaba: 34 gr.

Tiempo de ciclo: 33 seg.

Piezas x hora: 1309

Piezas x 8 horas: 10 472

V. 8 ACABADO DE LA PIEZA.

- ◆ Supervisión de la pieza elaborada: visual y tomando medidas.
- ◆ Corte de rebaba: manual o con navaja.
- ◆ Ensamble de las piezas: manual
- ◆ El eje utilizado para la unión de llantas es un alambre rígido.
- ◆ Presentación: envoltura de papel celofán y etiquetas con figuras. Además de una combinación de colores de cada parte que forman el juguete.
- ◆ Almacenamiento: en cajas de cartón.
- ◆ Precio individual: \$10.50
- ◆ Precio caja (24 piezas por caja): \$251.85

CONCLUSIONES

Debido a la poca información existente sobre la selección de máquinas de inyección se exponen en este trabajo los conocimientos básicos para conocer y seleccionar adecuadamente una de estas máquinas. La importancia en la selección radica en el costo de la misma, que cumpla con las características necesarias para satisfacer las necesidades de producción a la que va a ser destinada, de lo contrario repercutirá económicamente para la empresa que la adquiera.

Existen infinidad de polímeros termoplásticos por lo que sólo se mencionaron los de mayor importancia y uso actualmente en la industria. Debido a que en la actualidad es posible identificar por lo menos 15 tipos distintos de trabajo para los polímeros, incluyendo el moldeado por inyección, extrusión, soplado, termoformado, etcétera, también existen infinidad de máquinas, modelos y marcas para hacer estos trabajos, de ahí la importancia en tener los conocimientos necesarios para una correcta selección de maquinaria.

En lo que a maquinaria para inyección de polímeros se refiere éstas se vuelven más eficaces debido a que cada modelo reciente en el mercado supera en producción a la anterior, lo cual conduce a futuro a una automatización total del proceso.

El actual desarrollo de los polímeros en los diferentes laboratorios del mundo, da como resultado que se puedan obtenerlos con determinadas características como son: resistencia a altas temperaturas, determinada fluidez, ciclo de trabajo corto, estabilidad dimensional o una cierta apariencia, incluso pueden superar las propiedades de algunos materiales naturales, lo que hace pensar que estos materiales serán a futuro los sustitutos de los productos naturales, lo que lleva a una competencia industrial a producir mejores productos a un menor precio, es por eso necesario tener conocimientos de polímeros y maquinaria para presentar una competencia en la industria o mercado del ramo.

En este trabajo se dan los conocimientos necesarios para comprender el proceso desde la clasificación y propiedades de los polímeros, factores como la viscosidad, temperaturas, contracciones y aditivos que influyen en el moldeo de polímeros, las partes que conforman una máquina inyectora, especificaciones generales y

regulación de parámetros, así como también se enlistan un gran número de máquinas existentes en el mercado nacional e internacional para conocer, comparar y hacer una elección de una máquina. Se realiza el análisis de un caso práctico donde se aplican los conocimientos antes expuestos.

BIBLIOGRAFÍA

- **Inyección de Plásticos**
Walter Mink Spe
Ed. Gustavo Gilli
- **Moldes Para Inyección de Plásticos**
G. Menges, G. Mohren
Ed. Gustavo Gilli
- **Química y Tecnología de los Plásticos**
Walter E. Driver
Ed. Continental
- **Transformación de Plásticos**
V.K. Savgorodny
Ed. Gustavo Gilli
- **Moldes y Máquinas de Inyección Para
La Transformación de Plásticos**
Gianni Bodini, Franco Cacchi Pessani
Tomo I y II
Ed. Mc. Graw Hill
- **Materiales Plásticos, Propiedades y Aplicaciones**
Irvin I. Rubin
Ed. LIMUSA
- **Procesamiento de Plásticos**
D.H. Morton-Jones
Ed. LIMUSA
- **Los Plásticos en la Construcción**
H. Saechtling
Ed. Gustavo Gilli
- **Página de internet:**
www.machinepoint.com
- **Ingeniería Económica
Toma de Decisiones Económicas**
George A. Taylor
Ed. LIMUSA 2a. Ed.