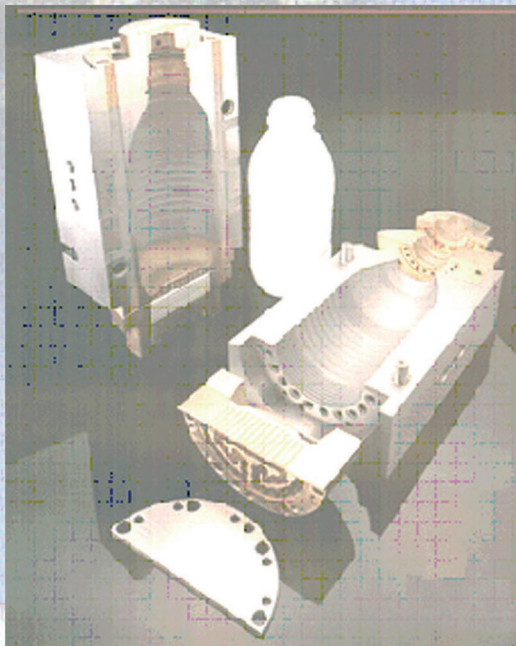


PROCESOS INDUSTRIALES para materiales no metálicos

2ª Edición



Vision Libros

Julián Rodríguez Montes
Lucas Castro Martínez
Juan Carlos del Real Romero

PROCESOS INDUSTRIALES PARA MATERIALES NO METÁLICOS

Julián Rodríguez Montes

Ingeniero Industrial

Lucas Castro Martínez

Dr. Ingeniero de Materiales

Juan Carlos del Real Romero

Ingeniero en Organización Industrial



Madrid, Enero de 2006

© PROCESOS INDUSTRIALES PARA MATERIALES NO METÁLICOS.

2ª Edición

© Autores:

Julián Rodríguez Montes

Lucas Castro Martínez

Juan Carlos del Real Romero

© EDITORIAL VISION LIBROS

C/ San Benito 21 Local.

28029 Madrid (España)

Tel: 0034 91 3117696

url:www.visionlibros.com

Registro Propiedad Intelectual

ISBN: 978-84-9011-765-1

Diseño Portada: © Autor

Distribuye y Produce: Distribuidora de publicaciones

C/ Magnolias 35 Bis. 28029 Madrid (España) Tel.- 91 733 93 01

Impreso en España.

Reservados todos los derechos. Esta publicación no puede ser transmitida por un sistema de recuperación de información, de ninguna forma ni por ningún medio, sea mecánico, fotoquímico, electrónico, magnético o por fotocopia, o cualquier otro sin el permiso previo por escrito de los autores.

ÍNDICE GENERAL

PARTE I: PROCESOS SOBRE NO METALES

1 Conformado de polímeros	1
1.1 Introducción	4
1.2 Extrusión	6
1.2.1 Extrusoras	6
1.2.2 Recubrimientos de cables	8
1.2.3 Extrusión de laminas y films	9
1.3 Moldeo por inyección	10
1.3.1 Máquina de inyección	11
1.3.2 Sistema de moldes	13
1.4 Moldeo por Soplado	16
1.4.1 Moldeo por soplado, preforma por extrusión	16
1.4.2 Moldeo por soplado, preforma por inyección	17
1.4.3 Soplado de films	19
1.5 Calandrado	22
1.6 Moldeo rotacional	24
1.7 Moldeo por compresión	25
1.8 Moldeo por transferencia de resina	27
1.9 Termoconformado	27
1.9.1 Introducción	27
1.9.2 Métodos de termoformado	29
1.9.2.1 Métodos de un paso	29
1.9.2.2 Métodos multipaso	31
1.9.3 Grado de estiramiento	34
1.9.3.1 Grado de estiramiento superficial medio	34
1.9.3.2 Grado de estiramiento lineal medio	35
1.10 Ejercicios propuestos	38
1.11 Bibliografía	40
2 Procesos en vidrio	41
2.1 Introducción	44
2.2 Composición del vidrio	44
2.3 Materias primas	46
2.4 Hornos	46
2.5 Fabricación	48
2.5.1 Objetos huecos: Moldeo por soplado	49
2.5.2 Vidrio plano	51
2.5.2.1 Vidrio estirado	51
2.5.2.2 Vidrio flotado	52
2.5.3 Fibra de vidrio	52
2.5.3.1 Estirado	53
2.5.3.2 Aspersión centrífuga	54
2.5.4 Fibras ópticas	55
2.5.5 Vidrios fotocromicos	56
2.6 Revenido y templado	56
2.7 Ejercicios propuestos	58
2.8 Bibliografía	60

3	Procesado de cerámicos	61
3.1	Introducción	64
3.2	Materias primas y aditivos	65
3.3	Preconsolidación	66
3.4	Conformado.....	68
3.4.1	Prensado	68
3.4.1.1	Prensado uniaxial	68
3.4.1.2	Compactación isostática en frío.....	71
3.4.1.3	Prensado uniaxial en caliente	71
3.4.1.4	prensado isostático en caliente	72
3.4.2	Colada.....	73
3.4.2.1	Slip casting	73
3.4.3	Conformado plástico	74
3.4.3.1	Terrajado	75
3.4.3.2	Moldeo por inyección.....	75
3.4.3.3	Moldeo por compresión y por transferencia.....	76
3.4.3.4	Extrusión	76
3.4.3.5	Otras técnicas	76
3.5	Sinterización	77
3.6	Acabado	80
3.7	Cerámica tradicional (alfarería).....	81
3.7.1	Métodos de conformado	81
3.7.2	Tipos de cerámica.....	83
3.7.3	Fabricación de ladrillos y baldosas.....	84
3.8	Ejercicios propuestos	85
3.9	Bibliografía	88
4	Materiales compuestos	89
4.1	Introducción	92
4.2	Refuerzos	93
4.2.1	Fibras de vidrio.....	93
4.2.2	Fibras de boro	94
4.2.3	Fibras de carbono	95
4.2.4	Fibras Orgánicas	98
4.3	Arquitectura del refuerzo	98
4.4	Procesos de conformado.....	101
4.4.1	Deposición por proyección.....	101
4.4.2	Impregnación mediante resina líquida manual	102
4.4.3	Arrollamiento de filamentos o “filament winding”	103
4.4.4	Pultrusión.....	103
4.4.5	Moldeo por transferencia de resina	104
4.4.6	Consolidación de pre-preg.....	105
4.5	Ejercicios propuestos	107
4.6	Bibliografía	108

PARTE II: PROCESOS DE UNIÓN

5	Procesos de soldadura.....	109
5.1	Introducción	112
5.1.1	Clasificación de los procesos de soldadura	112
5.1.2	Generalidades	113
5.1.2.1	Partes en la zona de soldadura.....	113
5.1.2.2	Tipos de preparación	115
5.1.2.3	Tipos de uniones y posición de soldadura	115

	5.1.2.4	Defectos en las soldaduras.....	117
5.2		Soldadura por fusión.....	120
	5.2.1	Por oxigas: Oxiacetilénica.....	120
	5.2.2	Por arco eléctrico:.....	122
	5.2.2.1	Formación del plasma y tipos de tensión.....	122
	5.2.2.2	Tipos de electrodos. Cálculo intensidad y tensión.....	123
	5.2.2.3	Tipos y funciones de la protección.....	127
	5.2.2.4	Soldadura manual con electrodo revestido.....	128
	5.2.2.5	Arco sumergido.....	129
	5.2.2.6	TIG.....	131
	5.2.2.7	MIG y MAG.....	133
	5.2.3	Bajo electroescoria.....	137
	5.2.4	Aluminotérmica.....	138
	5.2.5	Por resistencia.....	138
	5.2.6	Por partículas de alta energía.....	142
5.3		Soldadura sin fusión.....	143
5.4		Soldadura fuerte y blanda.....	145
	5.4.1	Generalidades.....	145
	5.4.2	Soldadura fuerte.....	146
	5.4.3	Soldadura blanda.....	148
5.5		Ejercicios propuestos.....	150
5.6		Bibliografía.....	152

6 Uniones adhesivas.....153

6.1		Introducción.....	156
	6.1.1	Ventajas e inconvenientes de las uniones adhesivas.....	157
	6.1.2	Definición de adhesivo, adhesión y cohesión.....	159
6.2		Fundamentos de la adhesión.....	161
	6.2.1	Teorías de la adhesión.....	161
	6.2.1.1	Anclaje mecánico.....	161
	6.2.1.2	Difusión.....	162
	6.2.1.3	teoría electrostática.....	162
	6.2.1.4	teoría adsorción termodinámica.....	163
	6.2.2	Selección del adhesivo.....	164
6.3		Tipos de adhesivos.....	166
	6.3.1	Familias de adhesivos.....	167
	6.3.1.1	Epoxys.....	167
	6.3.1.2	Anaeróbicos.....	167
	6.3.1.3	Cianoacrilatos.....	167
	6.3.1.4	Acrílicos.....	168
	6.3.1.5	Adhesivos elásticos.....	168
6.4		Tratamientos superficiales.....	169
	6.4.1	Finalidad y selección del tratamiento superficial.....	170
	6.4.2	Tipos de tratamientos superficiales.....	171
	6.4.2.1	Abrasión.....	171
	6.4.2.2	Limpieza superficial.....	171
	6.4.2.3	Tratamientos químicos.....	172
	6.4.2.4	Imprimaciones.....	172
	6.4.2.5	Otros tratamientos.....	173
	6.4.3	Tratamientos superficiales de metales.....	173
6.5		Solicitaciones de las uniones.....	174
	6.5.1	Esfuerzos de tracción y de compresión.....	174
	6.5.2	Esfuerzos de cortadura o cizalla.....	175
	6.5.3	Esfuerzos de desgarro.....	175
	6.5.4	Esfuerzos de pelado.....	176
6.6		Diseño de uniones adhesivas.....	178

6.6.1	Uniones a solape.....	180
6.6.2	Uniones a tope- Uniones tubulares.....	182
6.6.3	Uniones en T.....	183
6.6.4	Uniones en esquina.....	184
6.6.5	Evaluación de las uniones adhesivas.....	186
6.7	Ejercicios propuestos.....	190
6.8	Bibliografía.....	192

PARTE III: OTROS PROCESOS

7	Recubrimientos	193
7.1	Preparación de superficies	196
7.1.1	Limpieza química	196
7.1.1.1	Disolventes orgánicos.....	196
7.1.1.2	Disolventes inorgánicos.....	196
7.1.2	Limpieza a la llama	198
7.1.3	Limpieza por chorreado.....	198
7.2	Tratamientos de conversión.....	199
7.2.1	Fosfatado o fosfatación.....	199
7.2.2	Cromatado o cromatación.....	200
7.3	Anodizado	200
7.3.1	Formación de la capa.....	201
7.3.2	Sellado	203
7.4	Recubrimientos metálicos por electrolisis.....	204
7.4.1	Electrodepósito de metales nobles.....	205
7.4.1.1	Oro y Plata.....	206
7.4.1.2	Estaño.....	206
7.4.1.3	Níquel.....	209
7.4.1.4	Cobre.....	210
7.4.2	Electrodepósito de cinc, cadmio y cromo.....	211
7.4.2.1	Cinc.....	211
7.4.2.2	Cadmio	212
7.4.2.3	Cromo.....	212
7.5	Recubrimientos por inmersión.....	212
7.5.1	Recubrimiento de aluminio	213
7.5.2	Recubrimiento de Cinc “galvanizado”	213
7.6	Ejercicios propuestos	216
7.7	Bibliografía	216

PARTE IV: PRÁCTICAS

P1	Materiales compuestos.....	217
1.1	Objetivo de la práctica	219
1.2	Equipo necesario	220
1.3	Introducción a los materiales compuestos	220
1.3.1	Tipos de materiales compuestos	220
1.3.2	Fabricación de piezas de material compuesto	221

1.3.3	Resina de poliéster.....	221
1.3.4	Tipos de refuerzo.....	221
1.4	Operativa	222
1.4.1	Fabricación del molde de escayola.....	222
1.4.2	Fabricación de la pieza	223
1.5	Cuestiones propuestas.....	226
1.5.1	Esquema de la pieza	226
1.5.2	Fabricación del molde	227
1.5.3	Fabricación de la pieza	228
1.5.4	Defectos, posibles causas y soluciones	229
1.5.5	Presupuesto para la fabricación	230
P2 Soldadura.....		231
2.1	Objetivo de la práctica.....	233
2.2	Equipo necesario	234
2.3	Descripción del equipo	234
2.4	Operativa	237
2.4.1	Soldadura con electrodo revestido (SMAW)	237
2.4.2	Soldadura TIG	238
2.4.3	Defectos de los cordones de soldadura.....	239
2.5	Cuestiones propuestas.....	242
2.5.1	Soldadura SMAW:	242
2.5.2	Soldadura TIG	243
2.5.3	Comparar los cordones de soldadura y sus dimensiones.....	244
2.5.4	Defectos de los cordones de soldadura.....	244
2.5.5	Esquema de las piezas soldadas con SMAW	245
2.5.6	Esquema de las piezas soldadas con TIG	246
P3 Uniones adhesivas.....		247
3.1	Objetivo de la práctica.....	249
3.2	Equipo necesario	250
3.3	Operativa	250
3.3.1	Principios básicos de la adhesión	250
3.3.2	Efecto del tratamiento superficial.....	251
3.4	Cuestiones propuestas.....	254
3.4.1	Principios básicos de adhesión	254
3.4.2	Efecto del tratamiento superficial.....	256

Capítulo 1

Conformado de polímeros.

Conformado de polímeros.....	3
1.1 Introducción.....	4
1.2 Extrusión	6
1.2.1 Extrusoras	6
1.2.2 Recubrimientos de cables	8
1.2.3 Extrusión de laminas y films.....	9
1.3 Moldeo por inyección	10
1.3.1 Máquina de inyección	11
1.3.2 Sistema de moldes	13
1.4 Moldeo por Soplado	16
1.4.1 Moldeo por soplado, preforma por extrusión.....	16
1.4.2 Moldeo por soplado, preforma por inyección	17
1.4.3 Soplado de films	19
1.5 Calandrado	22
1.6 Moldeo rotacional.....	24
1.7 Moldeo por compresión	25
1.8 Moldeo por transferencia de resina	27
1.9 Termoconformado.....	27
1.9.1 Introducción	27
1.9.2 Métodos de termoformado	29
1.9.2.1 Métodos de un paso	29
1.9.2.2 Métodos multipaso	31
1.9.3 Grado de estiramiento	34
1.9.3.1 Grado de estiramiento superficial medio.....	34
1.9.3.2 Grado de estiramiento lineal medio.....	35
1.10 Ejercicios propuestos	38
1.11 Bibliografía	40

Capítulo 1.

Conformado de polímeros

La tecnología de procesamiento de polímeros tiene como finalidad obtener piezas y componentes cuyo comportamiento sea adecuado a las aplicaciones a las que sean destinados. Una de las grandes ventajas que presentan los polímeros es la gran facilidad y economía con que se obtienen los productos finales a partir de las materias primas convenientemente preparadas, a las que se han añadido pigmentos, cargas y los aditivos necesarios para la aplicación a que se destinan.

1.1 *Introducción*

La tecnología de procesamiento de polímeros tiene como finalidad obtener piezas y componentes cuyo comportamiento sea adecuado a las aplicaciones a las que sean destinados. Una de las grandes ventajas que presentan los polímeros es la gran facilidad y economía con que se obtienen los productos finales a partir de las materias primas convenientemente preparadas, a las que se han añadido pigmentos, cargas y los aditivos necesarios para la aplicación a la que se destinan.

Los **polímeros termoplásticos** suelen conformarse previamente fundidos o reblandecidos por acción simultánea de calor, presión y esfuerzos de cizalla. Los procesos más utilizados son:

- *Moldeo por inyección*: el material plastificado fluye a través de unas boquillas que les comunican con uno o varios moldes. Este método es discontinuo por la necesidad de enfriar, abrir los moldes y extraer las piezas.
- *Extrusión*: el material plastificado fluye a través de una boquilla que lo conforma y lo enfría a la salida de la misma, en contacto con aire, agua o una superficie fría. Este método es continuo y se pueden obtener perfiles macizos o huecos, de sección constante.
- *Calandrado*: Se obtiene láminas continuas de pequeño espesor recurriendo a un proceso similar al de laminación de metales, mediante calandrias de rodillos al principio calientes y luego fríos.
- *Termoconformado*: Se parte de láminas o films obtenidas normalmente por calandrado, que son ablandados por calentamiento siendo obligadas a adaptarse a un molde mediante presión, vacío o con ayuda de un empujador.
- *Hilado*: Para la obtención de fibras sintéticas. Se hace pasar el polímero fundido a través de una hilera. A veces y para evitar que el polímero se degrade con la alta temperatura se recurre a disolver el polímero en un disolvente que se elimina al salir por la hilera.
- *Soplado*: Sobre un molde se procede a soplar el polímero para que se adapte a una forma determinada. También se puede soplar sin molde para la obtención de films.

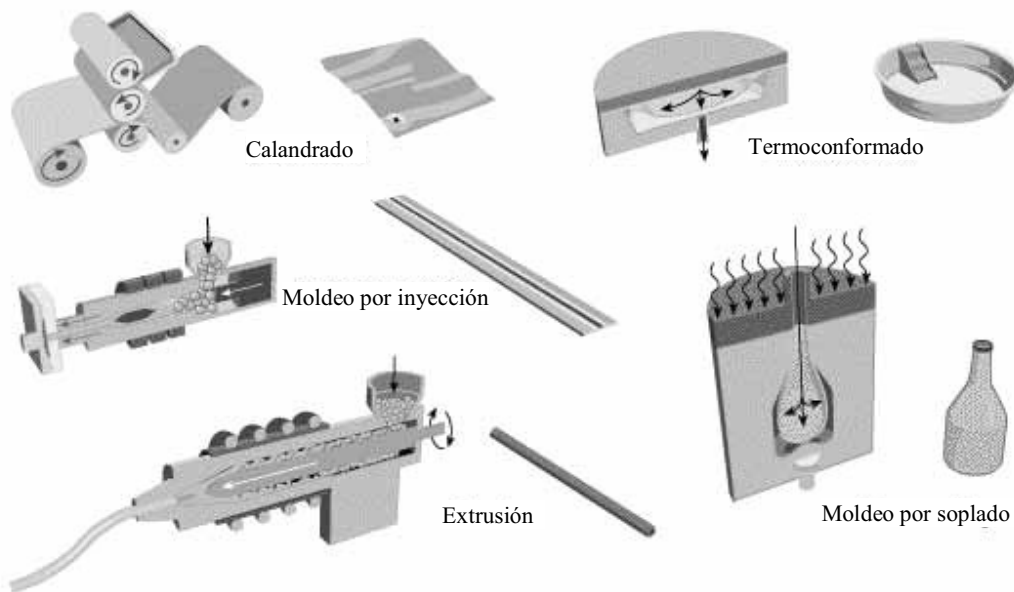


Figura 1. 1. Procesos más comunes de conformado de termoplásticos

Los **polímeros termoendurecibles y elastómeros** se conforman, en general, por *moldeo por compresión* o por *moldeo por transferencia*, son procesos en los que se carga con la resina, el catalizador o agente de curado y los aditivos y se les aplica calor para facilitar las reacciones de curado. También se pueden utilizar las técnicas de los polímeros termoplásticos siempre y cuando las reacciones de polimerización o vulcanización sean lo suficientemente lentas como para que la reacción se produzca cuando se desea.

Sea cual sea el método de procesamiento que se utilice, las piezas deben ser enfriadas convenientemente para que su forma permanezca estable. La velocidad de enfriamiento es casi siempre un parámetro crítico que influye en las propiedades y comportamiento del material, sobre todo cuando el material ha sido sometido a esfuerzos de tracción o de cortadura, que provocan que las cadenas del polímero deslicen unas sobre otras y se orienten en determinadas direcciones. Cuando los esfuerzos cesan las macromoléculas tienden a adoptar la posición correspondiente a la mínima energía, mientras la temperatura sea elevada.

La velocidad de enfriamiento también afecta a los polímeros termoendurecibles y elastómeros, un enfriamiento lento proporciona un mayor tiempo para que se produzca una mayor reticulación, que a su vez contribuye a dar una mayor rigidez, así como también afecta a otras características del producto final.

1.2 Extrusión

La extrusión se emplea normalmente para producir varillas, láminas, tubos, recubrimientos de cables, filmes, etc., a partir de granza o polvo de material termoplástico que es forzado a fluir continuamente en estado fundido a través de una hilera o boquilla, al aplicarle presión y calor. Cuando el material sale ya conformado es recogido por un sistema de arrastre de velocidad regulable, que le proporciona las dimensiones finales mientras se enfría y adquiere la consistencia necesaria para poder ser manipulado.

1.2.1 Extrusoras

Las máquinas que más se utilizan en la práctica industrial son las extrusoras de husillo único que, al girar en el interior de una carcasa cilíndrica, extrae el material de la tolva de alimentación, lo hace avanzar a lo largo del cilindro, lo somete a importantes esfuerzos de cizalla a la vez que lo comprimen y lo dosifican a través de un plato rompedor hasta la boquilla.

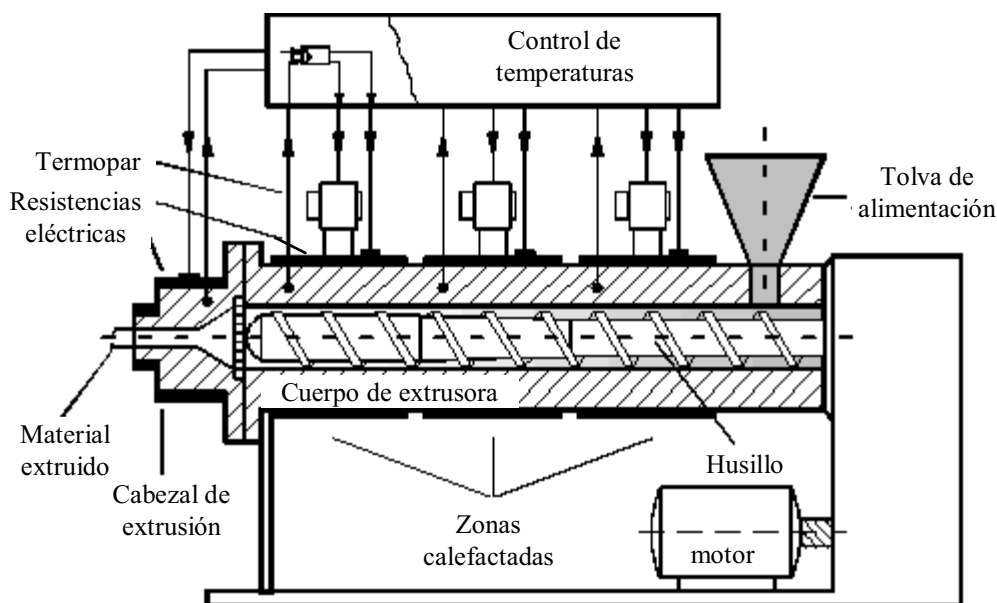


Figura 1. 2 Extrusora monohusillo

Otro tipo de extrusoras de utilización más restringida son las extrusoras de dos husillos gemelos, que giran engranados en el interior de un cilindro o barril de sección bilobular. Una de las principales aplicaciones es la extrusión de tuberías de PVC.

En su recorrido a lo largo del interior del cilindro y debido al movimiento relativo entre las superficies del rotor y de la carcasa, el material se mezcla íntimamente, se calienta por efecto no sólo del calor aplicado a la carcasa, sino, sobre todo, por la energía disipada por los esfuerzos cortantes, hasta llegar a plastificarse.

Los husillos de las extrusoras están divididos en zonas que cumplen misiones diferentes, generalmente tres: alimentación, compresión o plastificación y dosificación.

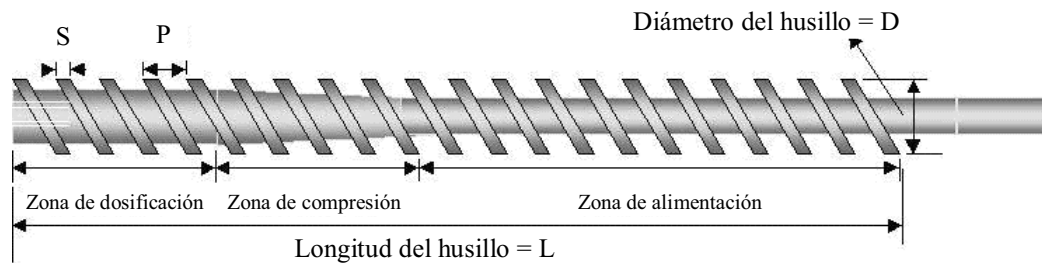


Figura 1.3 Geometría del husillo.

En la zona de alimentación el núcleo del husillo es cilíndrico, mientras que en la zona de compresión es tronco-cónico, disminuyendo la altura de los filetes, con lo que se produce una compresión y cizalladura del material. En la zona de dosificación el husillo es de nuevo cilíndrico. La longitud total es de 20 a 35 veces el diámetro interno del cilindro D (normalmente entre 25 y 150 mm), de la que de 4 a 6 veces corresponde a la zona de alimentación, de 10 a 14 veces a la compresión y de 6 a 10 veces a la dosificación. La relación de compresión suele ser de 3 a 5. La velocidad de giro suele variar entre 50 y 150 rpm.

Los elementos de calefacción pueden ser resistencias eléctricas blindadas que se encuentran alojadas en cada una de las zonas del cilindro. Otras veces se utiliza aceite caliente que se hace circular mediante una bomba a través de taladros practicados en el cilindro. En cualquier caso, la regulación de la temperatura debe hacerse independientemente por tramos, para conseguir el perfil de temperatura más adecuado. La superficie interna de los cilindros debe ser resistente a la abrasión ya la corrosión (posibilidad de formación de HCl con el PVC, por ejemplo), realizándose en aceros nitrurados o revestidos de aleaciones de alto contenido de plomo mediante fundición centrífuga.

El plato rompedor está formado por varias placas perforadas entre las que se disponen tamices metálicos. Sirve para transformar el flujo helicoidal del material en flujo paralelo más regular, homogeneizar más su temperatura, retener cualquier cuerpo extraño o granza parcialmente fundida, y crear una contrapresión, regularizando así el flujo del material por la hilera.

La forma y disposición de la hilera es función de la forma deseada del producto. Si ésta es hueca, se dispone de un núcleo central (torpedo o mandril) que deriva el flujo del material a una corona circular de diámetro interno mayor que el del cilindro de la extrusora, soportado por una serie de aletas, normalmente tres, llamadas patas de araña. El material fluye a su alrededor del torpedo, bordeando las aletas de sujeción,

y convergiendo hasta alcanzar la hilera, que debe estar suficientemente alejada de las aletas para que el flujo vuelva a ser uniforme, se elimine la distorsión del mismo originada por éstas, soldándose sus líneas de flujo convenientemente. En la boquilla o hilera el material asoma al exterior enfriándose uniformemente. Este extremo de la extrusora se denomina cabezal.

La tolva de alimentación debe disponer de algún sistema de calefacción y/o secado, para cuando se trabaje con materiales higroscópicos, tales como las poliamidas y el polietileno con negro de humo. Un método sencillo de secado consiste en hacer pasar una corriente de aire o gas inerte caliente a través de los gránulos en la tolva de alimentación.

Elementos importantes de las extrusoras son los rodamientos, especialmente los axiales, que están sometidos a esfuerzos muy considerables por lo que deben ser muy robustos y, la mayoría de las veces, limitan la capacidad de la máquina. La capacidad de las extrusoras comerciales de husillo único varía generalmente entre 10 y 2000 kg/h de material extruido, con consumos de potencia del orden de 0.1 a 0.25 kWh/kg.



Figura 1. 4. Extrusora de husillos gemelos

1.2.2 Recubrimientos de cables

Los cables metálicos, monofilamento o trenzados, se recubren con materiales termoplásticos para conseguir su aislamiento eléctrico y protección frente a la corrosión. Las hileras usadas para tal fin disponen de un torpedo o mandril perforado por el eje, por el que pasa el cable desnudo, dispuesto casi siempre perpendicularmente al eje del husillo de la extrusora.

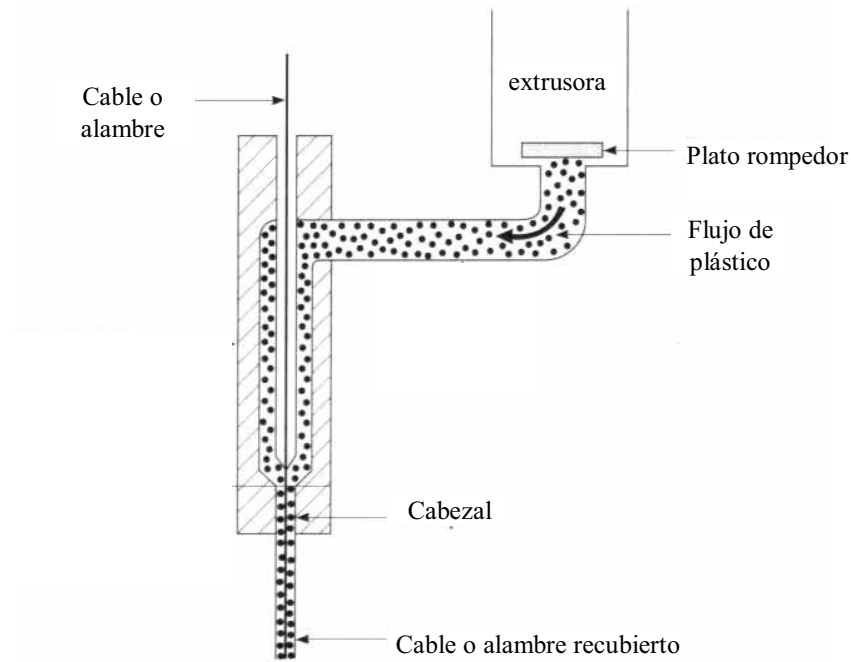


Figura 1. 5. Proceso para recubrimiento de cables

Para mejorar la adherencia del recubrimiento plástico al cable se hace converger el flujo del material fundido en la parte central de la hilera, apretándolo contra el cable (revestimiento a presión), de modo que la velocidad a la salida de ambos sea la misma. Para evitar la inclusión de aire se puede hacer el vacío en el conducto que atraviesa axialmente el mandril, por donde llega el cable.

Para el enfriamiento y calibración del revestimiento se usan baños extremadamente largos, debido a que la velocidad del extruido en las máquinas comerciales llega a ser del orden de 1 km/min.

1.2.3 Extrusión de laminas y films

Laminas y films también se pueden obtener por medio de extrusión. La diferencia entre un film y una lámina está en el espesor. Las láminas tienen espesores superiores a 0,1mm mientras que los films tienen espesores inferiores.

Para la obtención es necesario tener una boquilla que provoque el aumento de una de las direcciones de la sección transversal de la boquilla. Cuando las láminas tienen que tener una gran anchura, a veces es necesario disponer de más de una extrusora con sus correspondientes boquillas, que se unen para dar una lámina con un ancho mayor.

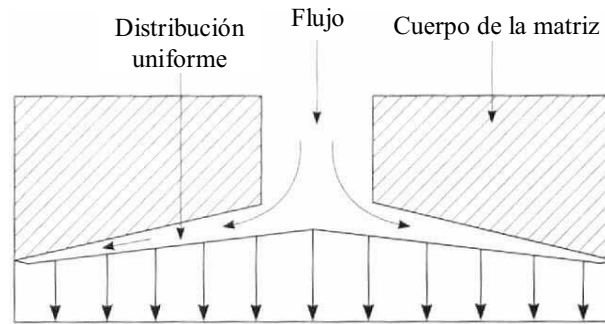


Figura 1. 6. Boquilla para la extrusión de láminas.

1.3 Moldeo por inyección

Actualmente, el 32% de todos los plásticos es moldeado por inyección debido a la capacidad de producir en grandes cantidades partes complicadas de un modo preciso. Es casi imposible encontrar un conjunto sin que se hayan utilizado partes moldeadas por inyección. Se utilizan en un gran número de aplicaciones como son piezas del interior de automóviles, bastidores electrónicos, artículos para el hogar, equipamiento médico, compact-discs, etc.

El proceso de moldeo por inyección requiere de la fundición del plástico en una extrusora y de la utilización del tornillo de la extrusora para inyectar el plástico en un molde, donde es enfriado. La velocidad y la consistencia son factores fundamentales para llevar a cabo con éxito una operación de moldeo por inyección. Los parámetros a controlar son:

Velocidad

Cuando se plantea una pieza para ser fabricada por inyección se intentará maximizar la producción, minimizando la duración del ciclo, que es el tiempo que se necesita para derretir el plástico, inyectarlo en el molde, enfriarlo y obtener una pieza terminada. Mediante la utilización de moldes más grandes que producen más de una pieza por inyección, la máquina desarrolla un ciclo que también puede incrementar la producción. A estos moldes se los conoce con el nombre de moldes de cavidades múltiples, ya que la sección del molde donde se forma la pieza se denomina cavidad.

Consistencia

La consistencia está relacionada con la viscosidad del polímero y es muy importante para una buena producción. Un gran número de variables entra en juego, pero el proceso con mayor probabilidad de éxito se produce cuando se comprende y se controlan la *temperatura* del plástico, la *presión* del plástico cuando se llena el molde, la *velocidad* en que el plástico llena el molde y las condiciones de *enfriamiento*. Estas cuatro variables primarias de moldeo no son independientes, pero sirven para comprender los cambios del proceso y solucionar problemas.

Las cuatro variables son aplicables para casi todos los procesos de moldeo por inyección, pero el proceso será medianamente diferente en cada caso, dependiendo en la aplicación, el plástico utilizado y las preferencias del moldeador.

Índice de llenado

El moldeo por inyección en aplicaciones de paredes delgadas, requiere que el material sea inyectado lo más rápido posible para evitar que el plástico solidifique antes de que la pieza haya sido completamente rellena. Las nuevas resinas y la última tecnología en maquinarias para este campo casi siempre se concentran en rellenados más fáciles y rápidos. Además de minimizar la duración del ciclo mediante una mejor capacidad de llenado, el moldeador puede ahorrar resina a través del llenado de moldes más delgados u obtener una mayor producción, utilizando moldes más grandes y con más cavidades. El moldeo de pared delgada se realiza con máquinas que pueden inyectar el material en menos de un segundo, y son bastante grandes para alojar grandes moldes de cavidad múltiple. Dado que las tapas y los envases de pared delgada tienden a ser pequeños, algunos moldes se utilizan para moldear más de 100 tapas de una sola vez.

Ventajas del moldeo por inyección:

- Se puede producir fácilmente formas complejas y piezas con pequeño espesor debido a las grandes presiones que se pueden aplicar.
- Los tiempos de operación son relativamente cortos, y muchas piezas pueden fabricarse en un molde sencillo, con lo que se pueden producir grandes series (millones de piezas anuales).
- El moldeo por inyección está generalmente muy automatizado. Muchas de las máquinas pueden operar con un solo operador.

Las desventajas del moldeo por inyección son:

- Muchas piezas de bajo precio no pueden ser producidas (como botellas).
- Los moldes tienen un coste elevado, así que pequeñas series de producción no se suelen fabricar (series inferiores a 1000 piezas se consideran pequeñas; la mayoría de las producciones son superiores a 10.000 piezas por año).

1.3.1 Máquina de inyección

Ya se han comentado con anterioridad las máquinas de extrusión y son básicamente iguales a las de inyección. Las partes de la máquina de inyección se muestran en la Figura 1. 7 y son las siguientes:

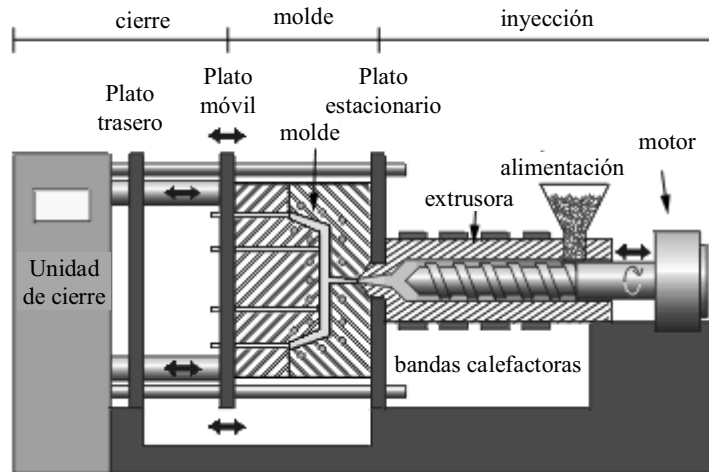


Figura 1. 7. Esquema general de una máquina de inyección

Boquilla

La boquilla une la extrusora con el bebedero del molde y forma un cierre entre la extrusora y el molde. La temperatura de la boquilla debería estar a la temperatura de fusión del polímero o justo un poco por debajo, dependiendo de las recomendaciones del suministrador. Cuando la extrusora está trabajando la boquilla está en contacto con el asiento cóncavo del molde de inyección. Cuando el sistema deja de inyectar la boquilla se retira del bebedero del molde y así se puede proceder a la extracción de la pieza.

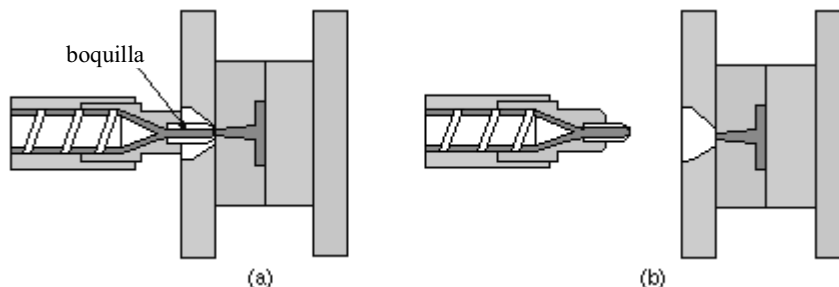


Figura 1. 8. a) Boquilla con extrusora en posición de proceso b) Boquilla en etapa de purga.

Sistema hidráulico

El sistema hidráulico de las máquinas de inyección permite abrir y cerrar los moldes, mantenerlos cerrados durante la operación de inyección, girar el husillo de la extrusora, abrir y cerrar la boquilla de la extrusora, mover los extractores de las piezas y mover los insertos de los moldes.

Sistema de control

La unidad de control proporciona la repetibilidad de las operaciones de la máquina. Controla todos los parámetros de proceso, temperatura, presión, velocidad de

inyección, velocidad y posición del husillo, etc. Es muy importante ya que de ello depende la calidad de las piezas finales y por tanto la economía del proceso.

Sistema de alimentación

El sistema para el moldeo por inyección consiste en un sistema de alimentación así como de las piezas. En la Figura 1. 9 se puede apreciar las partes del sistema de alimentación para la producción de cuatro piezas iguales. Normalmente consta de bebedero, mazarota, canal principal, canales secundarios, las puertas y las piezas. El diseño del sistema de alimentación tiene una influencia fundamental en los parámetros de llenado del molde y en la calidad final de las piezas inyectadas. Un mal diseño de los canales de alimentación puede producir llenados incompletos de las cavidades de los moldes que dan lugar a piezas defectuosas.

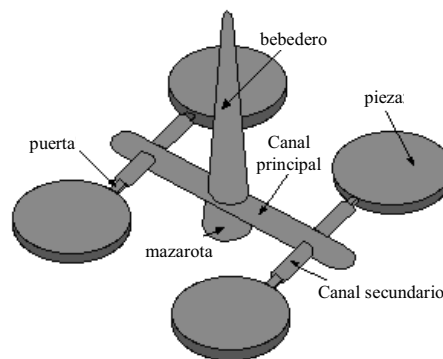


Figura 1. 9. Sistema de alimentación para cuatro piezas.

1.3.2 Sistema de moldes

El sistema de moldes consiste en las barras de sujeción, en los platos móvil e inmóvil, así como en los platos de moldeo que alojan la cavidad, bebedero y canales de alimentación, los eyectores y los canales de refrigeración como se muestra en la Figura 1. 10. El molde es esencialmente un intercambiador de calor en el que el polímero termoplástico fundido solidifica con la forma deseada y las dimensiones definidas por la cavidad del molde.

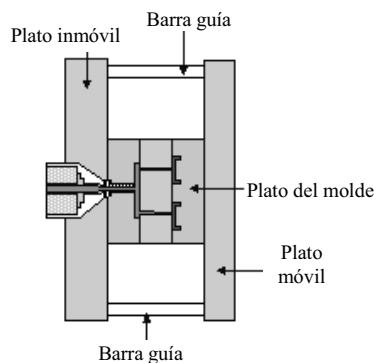


Figura 1. 10. Típico molde de tres platos.

El sistema de moldes es un montaje de platos normalmente fabricados de acero de herramientas. El sistema de moldes da forma al plástico en el interior de la cavidad del molde y se extrae la pieza una vez moldeada. El plato inmóvil es sujetado a la extrusora y se conecta al plato móvil a través de las barras guías. A través del plato móvil pasan los eyectores o expulsores, que son unas pequeñas barras que cuando se abre el molde provocan la expulsión de la pieza ya terminada.

Moldes de dos platos

La gran mayoría de los moldes consisten fundamentalmente en dos mitades como se muestra en la Figura 1. 11 izquierda. Este tipo de moldes se usa para piezas que son inyectadas lateralmente al eje de la pieza, con el canal de alimentación situado en el mismo plato en el que esta situada la cavidad.

Moldes de tres platos

Los moldes de tres platos se usan típicamente para piezas que son inyectadas a través de su eje central. El canal de alimentación está situado en un plato intermedio, separado de la cavidad como se puede apreciar en la Figura 1. 11 derecha. La ventaja de estos moldes radica en que se puede colocar el canal de alimentación en cualquier lugar de la pieza.

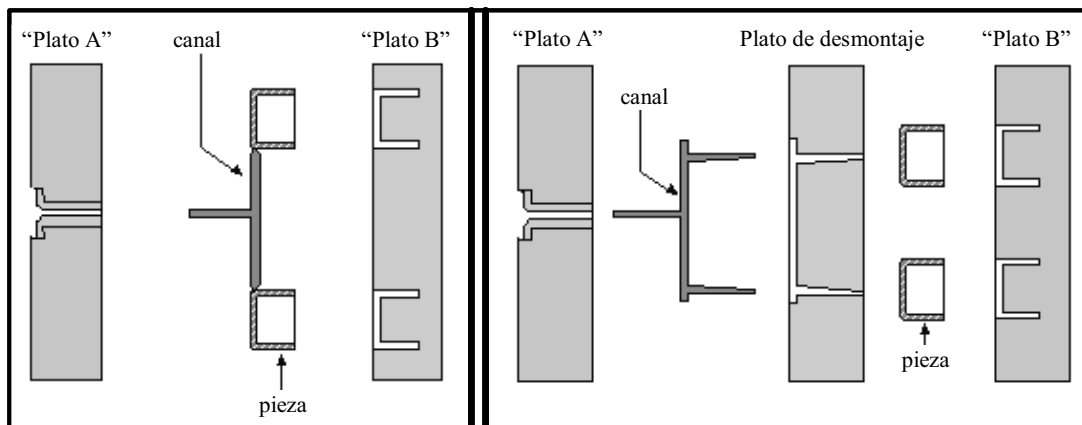


Figura 1. 11. *Izquierda:* molde de dos platos. *Derecha:* molde de tres platos

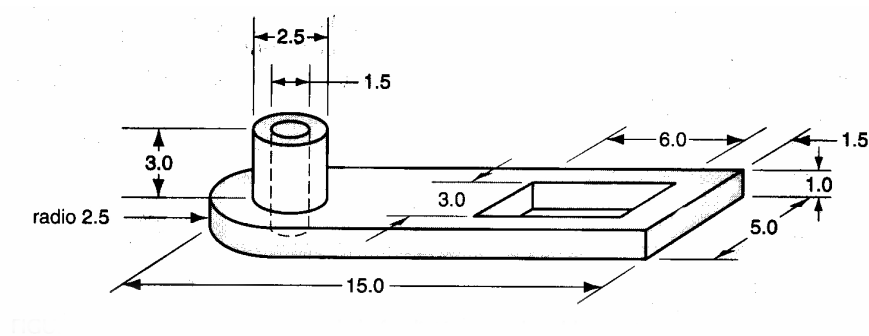
Sistema de refrigeración

Los canales de refrigeración son pasillos situados en el cuerpo del molde a través de los cuales circula un líquido de refrigeración (normalmente agua, vapor o aceite). Su función es la regulación de la temperatura del molde. Los canales de refrigeración también se pueden combinar con otros sistemas de control de temperatura.

Ejercicio 1. 1 Moldeo por inyección

Indicar el proceso fabricación y el proceso para la realización de la pieza de la siguiente figura, sabiendo:

- Material: Polipropileno PP. Material termoplástico con alta tenacidad y buena resistencia al calor 125 °C, mezclado con polvos de sílice como aditivo de relleno.
- Número de piezas: Serie muy grande
- Características: Precisión media-alta

**Solución**

MOLDEO POR INYECCIÓN, por ser pieza de geometría compleja y precisa, incluidos huecos interiores, y un gran número de unidades.

Pasos del moldeo por inyección:

1º Material de partida: Granza (polímero + aditivos)

2º Moldeo por inyección:

2.1. Calentar la granza, hasta temperatura de transición vítrea

2.2. Llenado del molde

2.3. Presión del cilindro inyector (para compensar contracción)

2.4. Enfriar el molde

2.5. Abrir molde y expulsar pieza con expulsores

2.6. Cerrar molde

1.4 Moldeo por Soplado

El moldeo por soplado es el proceso a través del cual se realizan productos huecos mediante la expansión de un plástico caliente (derretido) denominado "parison" o "macarrón", contra las superficies internas de un molde. Aproximadamente el 75% de los procesos son moldeo por soplado por extrusión, y el 25% restante son de moldeo soplado por inyección. Los distintos procesos de moldeo por soplado brindan diferentes ventajas en cuanto a la producción de diversos productos, teniendo en cuenta el material utilizado, el rendimiento requerido, el volumen de producción y los costos. Productos como el polietileno, polipropileno, poliuretano, PVC y PET pueden ser moldeados por soplado sin ningún tipo de problemas.

Esencialmente las piezas que se fabrican a través de este proceso son: pequeñas botellas para productos del hogar y cuidado personal, productos lácteos y bebidas carbonadas, pequeños contenedores para materiales peligrosos o químicos, tanques de combustible, pots, grandes tanques, cilindros, tableros para automóviles, etc.

1.4.1 Moldeo por soplado, preforma por extrusión

En el proceso continuo, una extrusora estática plastifica y empuja el polímero fundido a través de la cabeza para formar un parison. Una vez que se ha obtenido se introduce en un molde que cierra la parte inferior del parison y se produce el soplado sobre las paredes del molde.

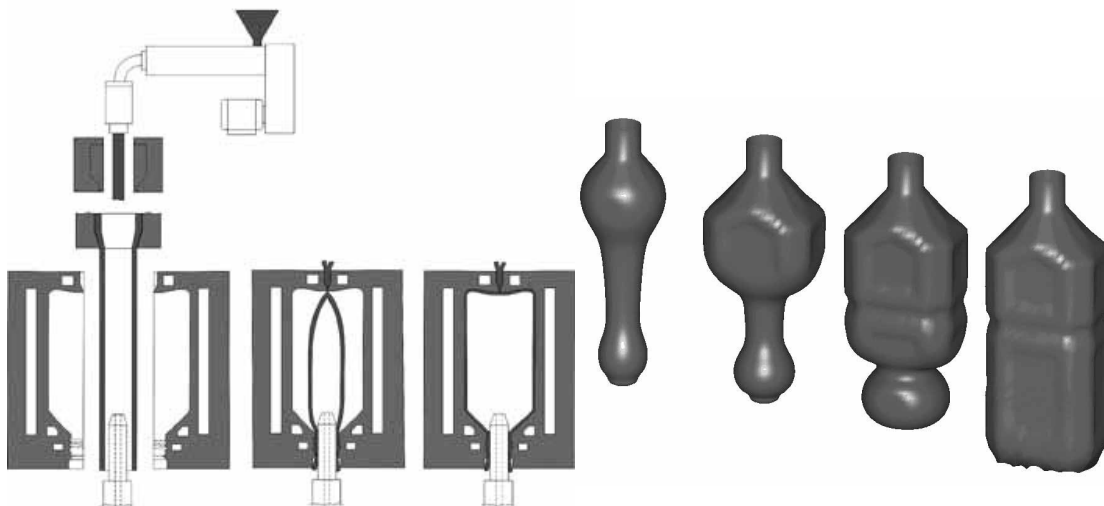


Figura 1. 12. Etapas del moldeo por soplado por extrusión (con parison)

Moldeo por soplado, preforma por coextrusión

El moldeo soplado por coextrusión permite combinar materiales con diferentes propiedades para crear un producto terminado destinado para una aplicación particular. Con este proceso se puede fabricar productos que contengan varias capas

en sus estructuras de pared. Asimismo, las distintas partes de la estructura se pueden optimizar para obtener un mejor balance entre las propiedades y coste.

1.4.2 Moldeo por soplado, preforma por inyección

El moldeo soplado por inyección comienza con el moldeo por inyección de una preforma, la cual es calentada posteriormente y soplada hasta obtener su forma final en un molde. Este proceso es muy utilizado en plantas de embotellado, ya que estas embotelladoras compran las preformas y es allí donde se da la forma final antes del llenado. Esto conlleva un gran ahorro de costes, ya que si hubiese que transportar el envase final, sería muy costoso debido a su gran volumen.

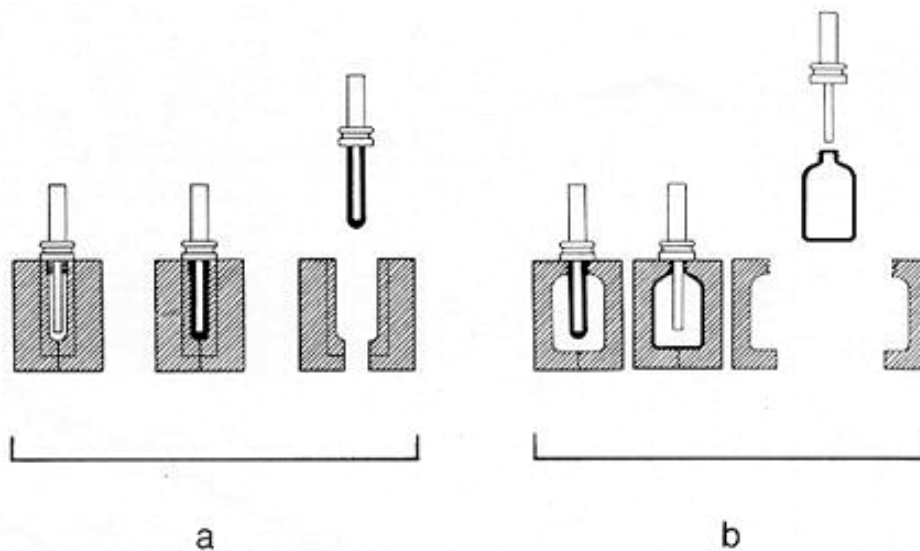


Figura 1. 13. Moldeo soplado por inyección. a) etapa de inyección b) etapa de soplado

Moldeo por soplado, preforma por inyección con estiramiento

El moldeo soplado con estiramiento por inyección es similar al proceso anterior, comienza con el moldeo por inyección de una preforma, que también es calentada, pero es estirada con una clavija o empujador, al mismo tiempo en que es soplada en el molde. Este es el típico proceso de conversión para producir botellas de PET. Este proceso es muy utilizado en plantas de embotellado, ya que estas fabricas compran las preformas y en la embotelladora es donde se da la forma final antes del llenado. Esto conlleva un gran ahorro de costes, ya que si hubiese que transportar el envase final, sería muy costoso debido a su gran volumen.