

### 2.3.6 MOLDEO POR COMPRESIÓN Y TRANSFERENCIA

En esta sección se estudiarán dos técnicas de moldeo ampliamente usadas para polímeros termofijos y elastómeros. Excepto para aplicaciones muy especiales, estas técnicas no pueden igualar la eficiencia del moldeo por inyección para termoplásticos.

#### 2.3.6.1 Moldeo por compresión

El moldeo por compresión es un proceso antiguo y muy utilizado para plásticos termofijos. Se aplica también a discos fonográficos termoplásticos, llantas de hule y varios compuestos en matriz de polímero.

El proceso, ilustrado en la figura 2.50, para un plástico termofijo es el siguiente: 1) se coloca en el fondo de un molde calentado, una cantidad fija de compuesto de moldeo llamada carga; 2) se unen las mitades del molde para comprimir la carga y forzarla a tomar la forma de la cavidad; 3) se calienta la carga a través del molde para que polimerice y cure el material, transformándose en una pieza sólida y 4) se abre el molde y se retira la parte de la cavidad.

La carga inicial del compuesto de moldeo puede estar en forma de polvos, pelets, líquido, o partes preformadas. La cantidad de polímero debe controlarse con toda precisión para obtener una consistencia uniforme en el producto moldeado. Se ha vuelto una práctica común precalentar la carga antes de colocarla en el molde; esto suaviza el polímero y acorta la duración del ciclo de producción. Los métodos de precalentamiento incluyen calentadores infrarrojos, calentamiento por convección en estufa y el uso de tornillos giratorios dentro de un cilindro calentado. Esta última técnica (tomada del moldeo por inyección) se usa también para medir la cantidad de la carga.

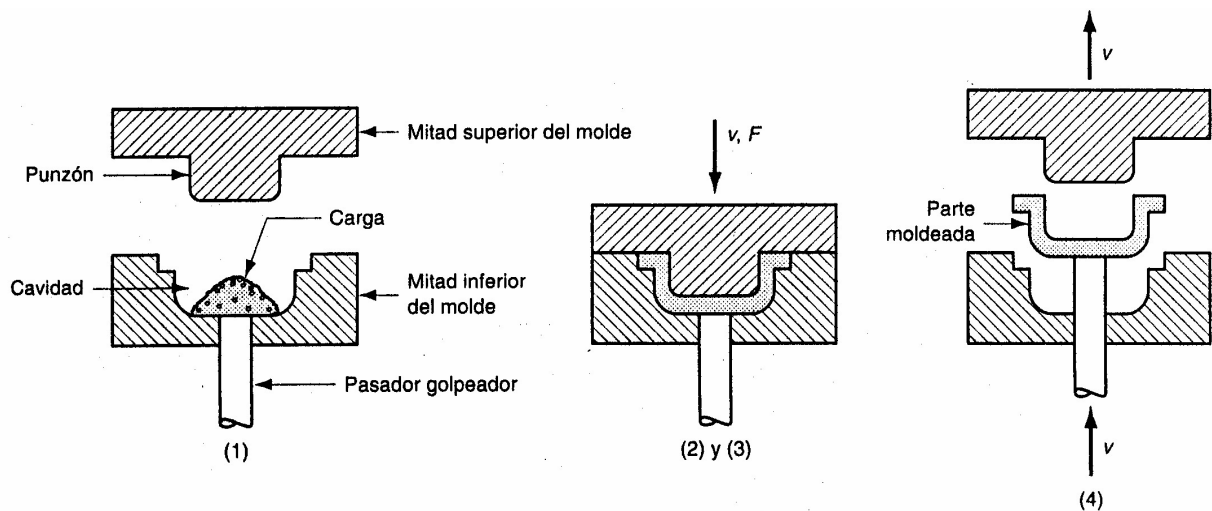


FIGURA 2.50 Moldeo por compresión para plásticos termofijos: (1) se pone la carga, (2) y (3) la carga se comprime y cura, y (4) la parte se expulsa y se retira (se omiten algunos detalles).

Las prensas de moldeo por compresión están orientadas verticalmente y contienen dos placas a las cuales se sujetan las mitades del molde. El proceso involucra dos tipos de actuación: 1) carrera ascendente de la placa del fondo o 2) carrera descendente de la placa superior, pero esta última es la configuración más común. Un cilindro hidráulico acciona generalmente las placas, el cual puede diseñarse para suministrar fuerzas de sujeción de hasta varios cientos de toneladas.

Los moldes para este proceso son generalmente más simples que los de su contraparte, el moldeo por inyección. No hay vertederos o sistemas de alimentación en un molde por compresión y se procesan partes de formas más simples debido a que los materiales termofijos poseen una capacidad de flujo más baja. Sin embargo, se necesitan accesorios para calentar el molde que puede hacerse mediante resistencia eléctrica, vapor o circulación de aceite caliente. Los moldes de compresión pueden clasificarse en *moldes manuales* usados para corridas de ensayo; *semiautomáticos*, en los cuales a la etapa de prensado le sigue un ciclo programado, pero el operador carga y descarga manualmente la prensa; y automático el cual opera bajo ciclos de prensado completamente automático (incluyendo la carga y la descarga automática).

Las resinas fenólicas, melamina, urea formaldehído, epóxicos, uretanos y elastómeros son materiales para moldeo por compresión. Las piezas típicas moldeadas con plástico termofijo incluyen contactos eléctricos, portalámparas, mangos de sartenes y vajillas de plástico. Son notables las ventajas del moldeo por compresión para estas aplicaciones ya que es más simple, menos costoso y requiere bajo mantenimiento genera poco desperdicio y deja bajos esfuerzos residuales en las partes moldeadas (este proceso se prefiere para partes delgadas y planas como los discos fonográficos). La principal desventaja es la mayor duración del ciclo y, por tanto, la velocidad de producción es más baja que la del moldeo por inyección.

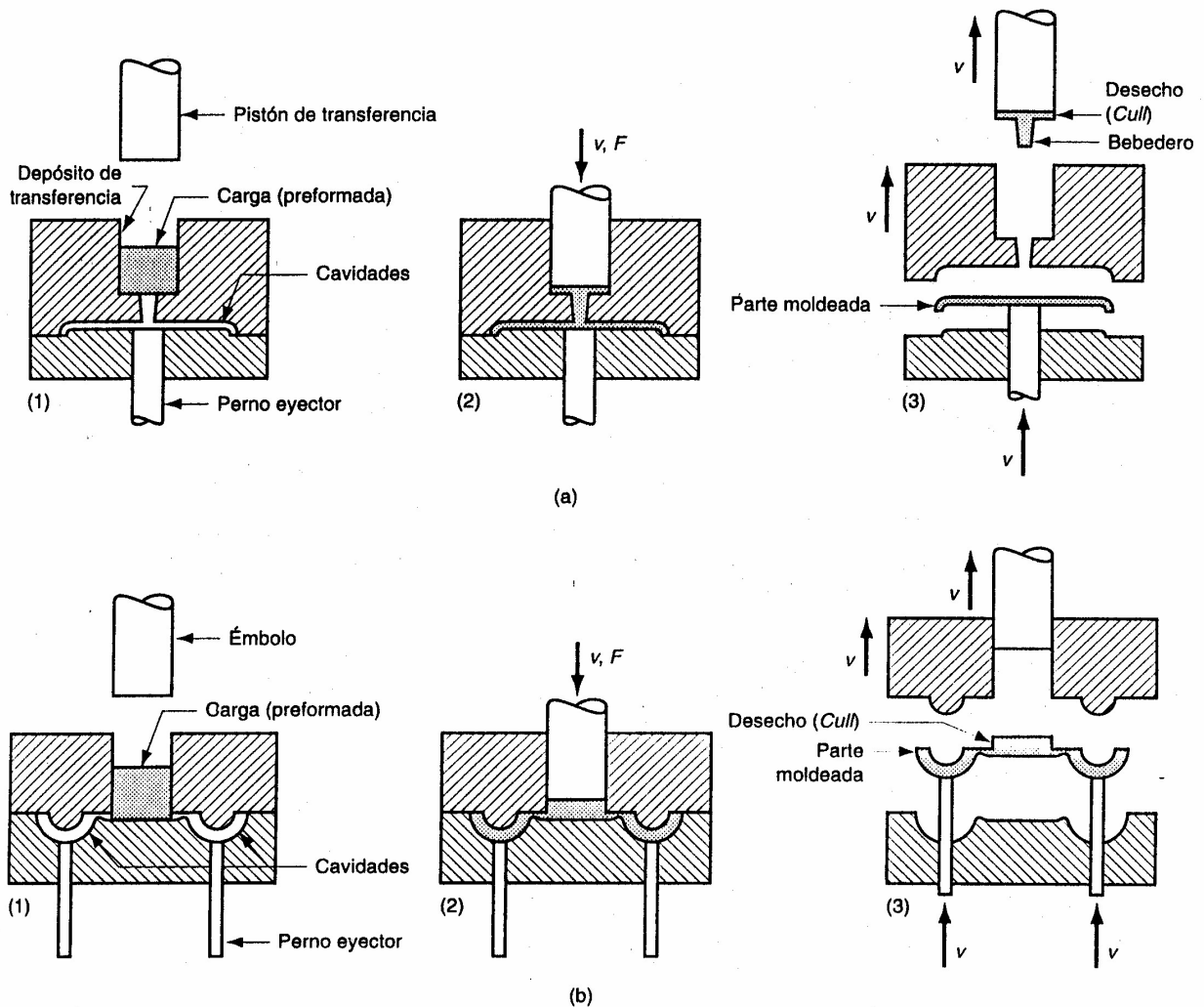


FIGURA 2.51 (a) Moldeo con depósito de transferencia y (b) moldeo con émbolo de transferencia. El ciclo en ambos procesos es: (1) se coloca la carga en el depósito, (2) el polímero ablandado se prensa en la cavidad M molde y se cura y (3) se expulsa la parte moldeada.

### 2.3.6.2 Moldeo por transferencia

En este proceso, se carga un termofijo (preformado) en una cámara inmediata a la cavidad del molde, donde se calienta; se aplica entonces presión para forzar al polímero suavizado a fluir dentro del molde caliente, donde el polímero se cura. Las dos variantes de este proceso se ilustran en la figura 2.51: (a) *moldeo con recipiente de transferencia*, en el cual la carga se inyecta de un recipiente a través de un canal vertical en la cavidad; y (b) *moldeo con émbolo de transferencia*, en el cual se inyecta la carga en la cavidad del molde por medio de un émbolo desde un depósito que se calienta a través de los canales laterales. En ambos casos se produce material de desperdicio en cada ciclo por la pieza desechada que se queda en la base del depósito y en *los canales laterales* (que en inglés se denominan *cull*). Además, el

vertedero del recipiente de transferencia es también material de desecho. Este desecho no puede recuperarse debido a que los polímeros son termofijos.

El moldeo por transferencia está relacionado estrechamente con el moldeo por compresión, debido a que utiliza el mismo tipo de polímeros (termofijos y elastómeros). Existen similitudes con el moldeo por inyección, ya que la carga se precalienta en una cámara separada, y luego se inyecta en el molde. En el moldeo por transferencia se pueden moldear formas de partes más intrincadas que en el moldeo por compresión pero no tan intrincadas como las del moldeo por inyección. El moldeo por transferencia también se presta para usar insertos de metal o de cerámica que se colocan en la cavidad antes de la inyección, el plástico calentado se adhiere al inserto durante el moldeo,

### 2.3.7 MOLDEO POR SOPLADO Y MOLDEO ROTACIONAL

Los procesos de moldeo por soplado y moldeo rotacional se usan para hacer partes huecas sin costura a partir de polímeros termoplásticos. El moldeo rotacional se puede usar también para termofijos. Las piezas varían en tamaño, desde pequeñas botellas plásticas de unas cuantas onzas hasta grandes tambores de almacenamiento de 38000 litros de capacidad. Aunque los dos procesos compiten en ciertos casos, generalmente tienen sus propios nichos. El moldeo por soplado es más apropiado para la producción en masa de recipientes pequeños desechables, mientras que el moldeo rotacional se adapta mejor a grandes formas huecas

#### 2.3.7.1 Moldeo por soplado

El *moldeo por soplado* es un proceso que usa presión de aire para hacer formas huecas inflando plástico suave dentro de la cavidad de un molde. Es un proceso industrial importante para hacer partes de plástico huecas de una sola pieza con paredes delgadas, tales como botellas y envases similares. Como la mayoría de estos artículos se usan para bebidas consumibles en mercados masivos, la producción involucra grandes volúmenes. La tecnología está tomada de la industria del vidrio, con la cual compiten los plásticos en el mercado de los envases desechables.

El moldeo por soplado se realiza en dos pasos: 1) fabricación de un tubo inicial de plástico fundido, llamado un *parison* (igual que en el vidrio soplado) y 2) soplado del tubo a la forma final deseada. La formación del parison se realiza por cualquiera de los dos procesos: extrusión o moldeo por inyección.

**Moldeo por soplado y extrusión** Esta variante del moldeo por soplado funciona según el ciclo ilustrado en la figura 2.52. En la mayoría de los casos el proceso se diseña como una operación de producción a muy alta velocidad. La secuencia está automatizada y usualmente integrada con operaciones posteriores como el llenado de los envases y el etiquetado.

Es un requerimiento usual que el recipiente soplado sea rígido y la rigidez depende entre otros factores del espesor de las paredes. Podemos relacionar el espesor de las paredes del envase soplado con el parison extruido inicial, asumiendo una forma cilíndrica para el producto final.

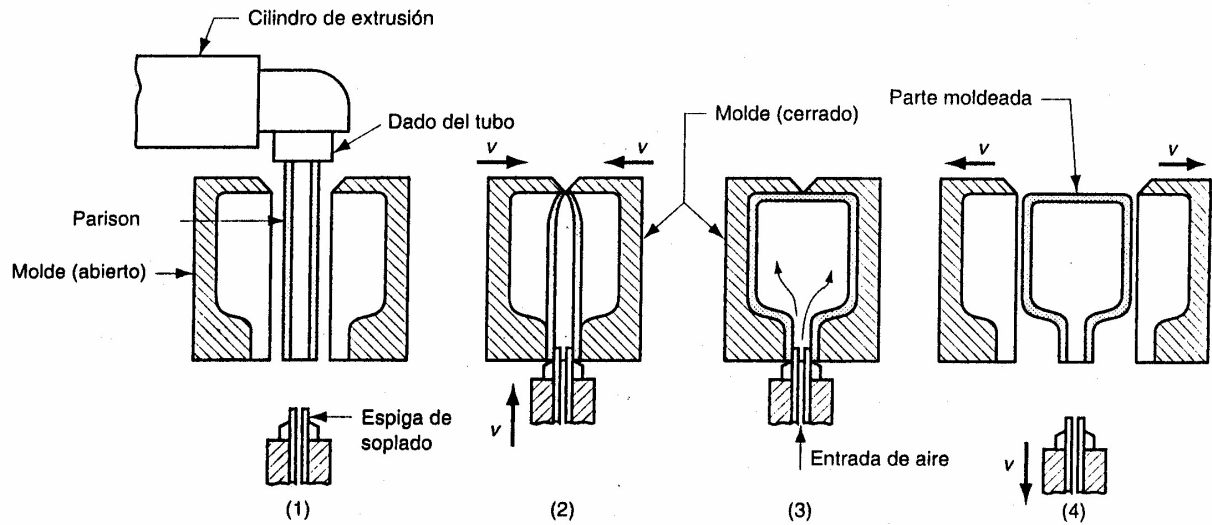


FIGURA 2.52 Moldeo por soplado y extrusión: (1) extrusión del parison; (2) cuando se cierran las dos mitades del molde, el parison se oprime en la parte superior y se sella en la parte inferior alrededor de una espiga de soplado; (3) el tubo se sopla y torna la forma (le la cavidad del molde y (4) se abre el molde para retirar la parte solidificada.

El efecto de la dilatación en el dado del parison se muestra en la figura 2.53. El diámetro medio del tubo que sale del dado se determina por la media del diámetro del dado  $D_d$ . La dilatación en el dado causa la expansión a un diámetro medio del parison  $D_p$ . Al mismo tiempo, el espesor de la pared se dilata de  $t_d$  a  $t_p$ . La relación de dilatación de diámetro del parison está dada por:

$$r_{sd} = \frac{D_p}{D_d} \quad (2.32)$$

Donde la relación de dilatación para el espesor de la pared es:

$$r_{st} = \frac{t_p}{t_d} \quad (2.33)$$

La dilatación del espesor de la pared es proporcional al cuadrado del diámetro (le dilatación; esto es

$$r_{st} = r_{sd}^2 \quad (2.34)$$

Y por tanto:

$$t_p = r_{sd}^2 t_d \quad (2.35)$$

Cuando se infla el parison al diámetro del molde  $D_m$  con la correspondiente reducción del espesor de la pared a  $T_m$ , y suponiendo un volumen constante de la sección transversal tenemos:

$$\pi D_p t_p = \pi D_m T_m \quad (2.36)$$

Al resolver para  $T_m$ , obtenemos:

$$t_m = \frac{D_p t_p}{D_m}$$

Sustituyendo la ecuación 2.32 y 2.35 en esta ecuación, obtenemos:

$$t_m = \frac{r_{sd}^3 t_d D_d}{D_m} \quad (2.37)$$

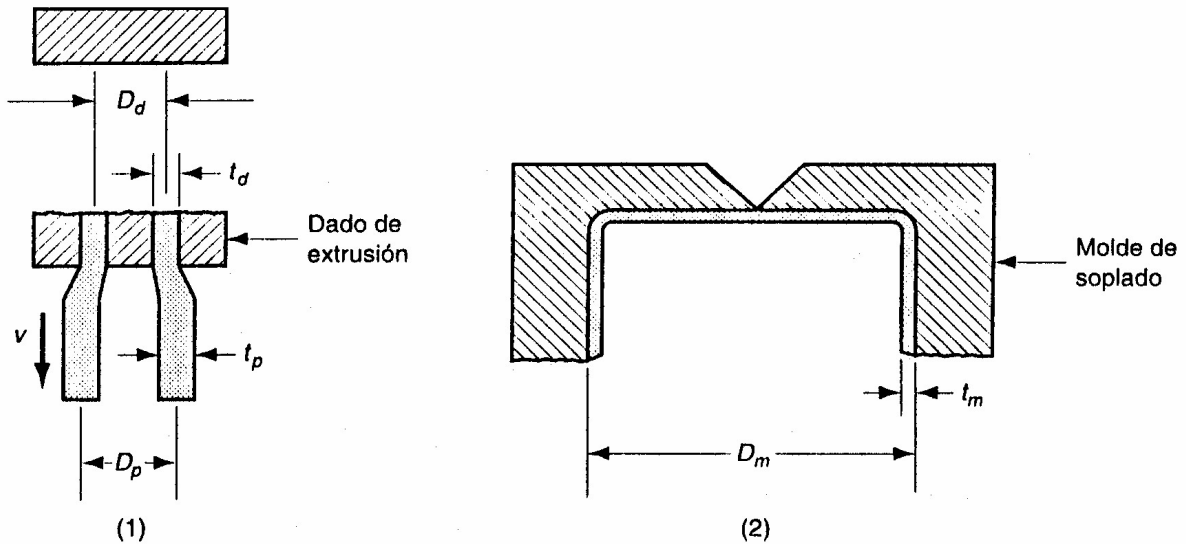


FIGURA 2.53 (1) Dimensiones del (lacio de extrusión mostrando el parison después de la dilatación en el dado y (2) envase final moldeado por soplado y extrusión.

La magnitud de la dilatación en el dado, en el proceso de extrusión inicial, se puede medir por observación directa, y las dimensiones del dado son conocidas. Entonces podremos determinar el espesor de la pared en el envase moldeado por soplado.

Con el espesor de la pared del recipiente moldeado se puede desarrollar una expresión para la presión máxima de aire, la cual evitará que el parison se reviente durante el soplado. Una ecuación tomada de la resistencia de materiales relaciona los esfuerzos con la presión interna  $p$  en un tubo, dado su diámetro  $D$  y el espesor de su pared  $t$ :

$$\sigma = \frac{pD}{2t} \quad (2.38)$$

Suponiendo que el máximo esfuerzo ocurre justamente antes de que se expanda el parison al tamaño del diámetro del molde (esto es, cuando  $D$  sea máximo y  $t$  sea mínimo) y reemplazando en la ecuación (2.38) para resolver  $p$  obtenemos:

$$p = \frac{2\sigma_m}{D_m} \quad (2.39)$$

Donde:

$p$  = presión de aire durante el moldeo por soplado, en Pa

$\sigma$  = esfuerzo a la tensión máxima permisible en el polímero durante el soplado, Pa  
 $t_m$  y  $D_m$  son espesor de la pared y diámetro respectivamente del molde, mm.

La dificultad para usar esta fórmula es la determinación del esfuerzo permisible, ya que el polímero está caliente y en una condición altamente plástica. En una operación industrial los parámetros del proceso se afinan por prueba y error.

**Moldeo por inyección y soplado** En este proceso el paríson inicial se moldea por inyección en lugar de extrusión. Una secuencia simplificada se puede apreciar en la figura 2.54. Comparado con su competidor basado en extrusión, el moldeo por inyección y soplado tiene una velocidad de producción más baja lo cual explica por qué no es tan ampliamente usado.

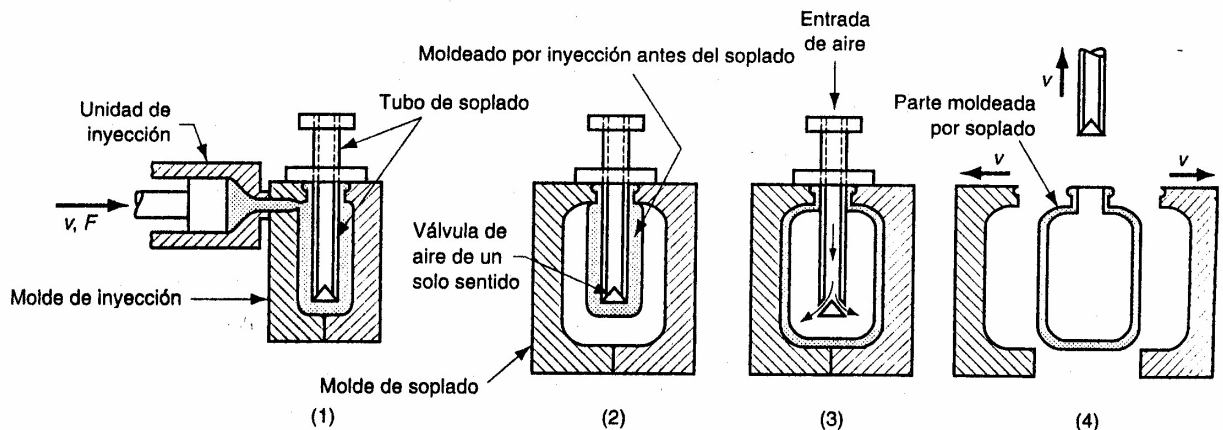


FIGURA 2.54 Moldeo por inyección y soplado: (1) el paríson se moldea por inyección alrededor (le un tubo de soplado; (2) se abre el molde de inyección y el paríson se transfiere a un molde de soplado (3) el polímero suave se infla para que tome la forma del molde de soplado y (4) se abre el molde y se retira la pieza.

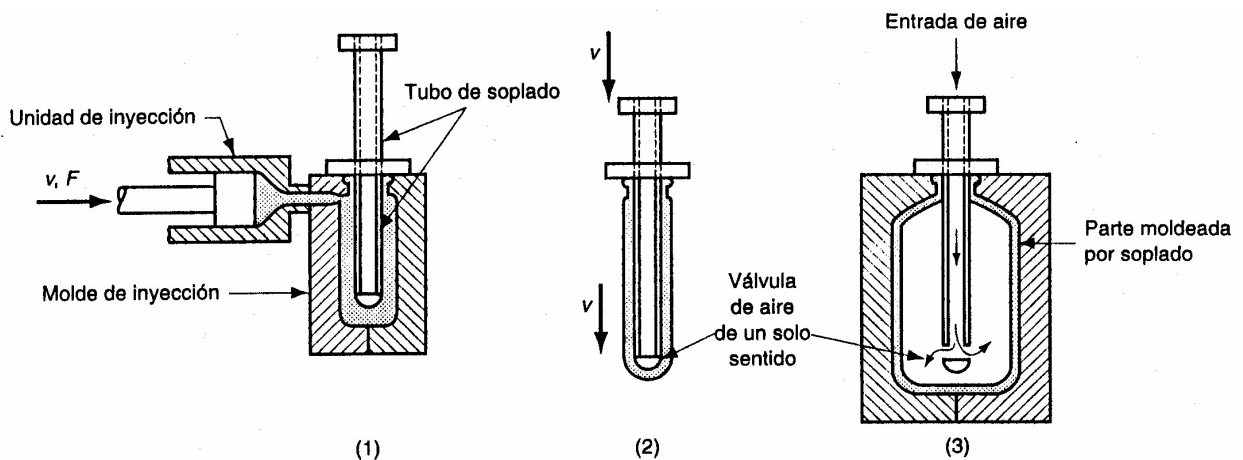


FIGURA 2.55 Moldeo por extensión y soplado: (1) moldeo por inyección del paríson, (2) extendido y (3) soplado.

En una variante del moldeo por inyección y soplado, llamado *moldeo por extensión y soplado* (figura 2.55), el tubo de soplado se extiende hacia abajo dentro del parison moldeado por inyección, el plástico suave se alarga y se crea un esfuerzo más favorable en el polímero, que en el moldeo por inyección y soplado convencional, o que en el moldeo por extrusión y soplado. La estructura resultante es más rígida, con mayor transparencia y mayor resistencia al impacto. El material que se usa más ampliamente en el moldeo por extensión y soplado es el tereftalato de polietileno, TPE (en inglés PET), un poliéster que tiene una permeabilidad muy baja y se fortalece por el proceso de moldeo por extensión y soplado. Su combinación de propiedades lo hace ideal para envase de bebidas carbonatadas.

**Materiales y productos** El moldeo por soplado se limita a los termoplásticos. El polímero más común para moldeo por soplado es el polietileno, en particular, el de alta densidad y alto peso molecular, PEAD y PEAPM (en inglés HDPE y HMWPE, respectivamente). Al comparar sus propiedades con las del polietileno de baja densidad, y además los requerimientos establecidos de rigidez del producto final, resulta más económico usar estos materiales que si bien son más costosos porque las paredes del recipiente pueden hacerse más delgadas. Se hacen otras piezas por soplado de polipropileno (PP), cloruro de polivinilo (PVC), y tereftalato de polietileno (PET).

Los envases desechables para envasar líquidos de consumo constituyen la mayor parte de los productos hechos por soplado; pero no son los únicos. También se fabrican grandes tambores para embarcar líquidos y polvos (cuya capacidad alcanza los 250 litros), grandes tanques de almacenamiento (con capacidad para 9000 litros), tanques para gasolina de automóviles juguetes y cascos para veleros y botes pequeños. En este último caso, se hacen dos cascos de bote en un solo molde de soplado y después se cortan en dos cascos abiertos.

### 2.3.7.2 Moldeo rotacional

El moldeo rotacional usa la gravedad dentro de un molde giratorio para hacer formas huecas. El proceso, también llamado *rotamoldeo*, es un moldeo alternativo del soplado para hacer formas huecas grandes, se usa principalmente para polímeros termoplásticos, aunque las aplicaciones para los termofijos y elastómeros se han hecho más comunes. El rotamoldeo se adapta mejor a formas externas más complejas, partes más grandes y cantidades de producción más bajas que el moldeo por soplado. El proceso consiste en los siguientes pasos: 1) se introduce una cantidad predeterminada de polvo de polímero en la cavidad de un molde hendido 2) el molde se calienta y gira simultáneamente sobre dos ejes perpendiculares, de manera que el polvo choca contra todas las superficies internas del molde y forma gradualmente una capa fundida de espesor uniforme; 3) mientras está girando todavía, el molde se enfría de manera que la capa de plástico se solidifica; y 4) se abre el molde y se retira la parte. Las velocidades de rotación que se usan en el proceso son relativamente bajas. Es la gravedad, mas no la fuerza centrífuga, la que provoca un recubrimiento uniforme de las superficies del molde.



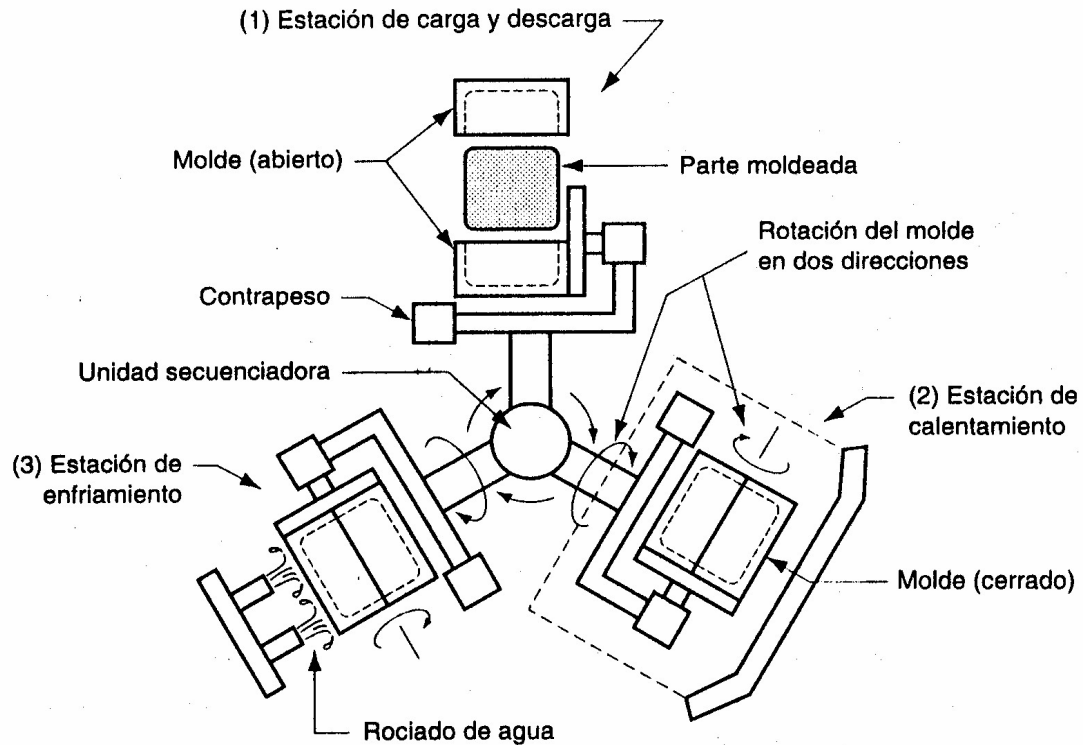


FIGURA 2.56 Ciclo de moldeo rotacional realizado en una máquina secuenciadora de tres estaciones: (1) estación de carga y descarga, (2) calentamiento y rotación del molde y (3) enfriamiento del molde.

Los moldes para el moldeo rotacional son más simples y menos costosos que los del moldeo por soplado o por inyección, pero el ciclo de producción es mucho más largo, su duración es de diez minutos en adelante. Para balancear estas ventajas y desventajas en la producción, el moldeo rotacional se realiza frecuentemente en una máquina secuenciadora con múltiples cavidades, como la máquina de tres estaciones que se muestra en la figura 2.56. La máquina está diseñada de manera que se puedan seleccionar tres moldes en secuencia a través de tres estaciones de trabajo. Así los tres moldes trabajan simultáneamente.

La primera estación de trabajo realiza los procesos de carga y descarga, donde la parte terminada se retira del molde y se carga dentro de la cavidad el polvo para la siguiente pieza. La segunda estación consiste en una cámara donde se calienta el molde por convección de aire, mientras gira simultáneamente. Las temperaturas dentro de la cámara son aproximadas a los 375 °C, dependiendo del polímero y del artículo que se moldea. La tercera estación enfría el molde con aire forzado o aspersión de agua, para solidificar la parte de plástico dentro del molde.

Con el moldeo rotacional se manufactura una fascinante variedad de artículos. La lista incluye juguetes huecos como caballitos, pelotas de playa, cascos para canoas y botes, cajas de arena y albercas pequeñas, boyas y otros dispositivos flotantes, partes para carrocería de camiones tableros de instrumentos para automóviles y tanques de gasolina, piezas de equipaje, muebles y cestos de basura, maniqués, grandes barriles industriales, contenedores y tanques de almacenamiento casas portátiles y

fosas sépticas. El material más popular para moldeo es el polietileno, especialmente HDPE. Otros plásticos incluyen polipropileno, ABS y poliestireno de alto impacto.