

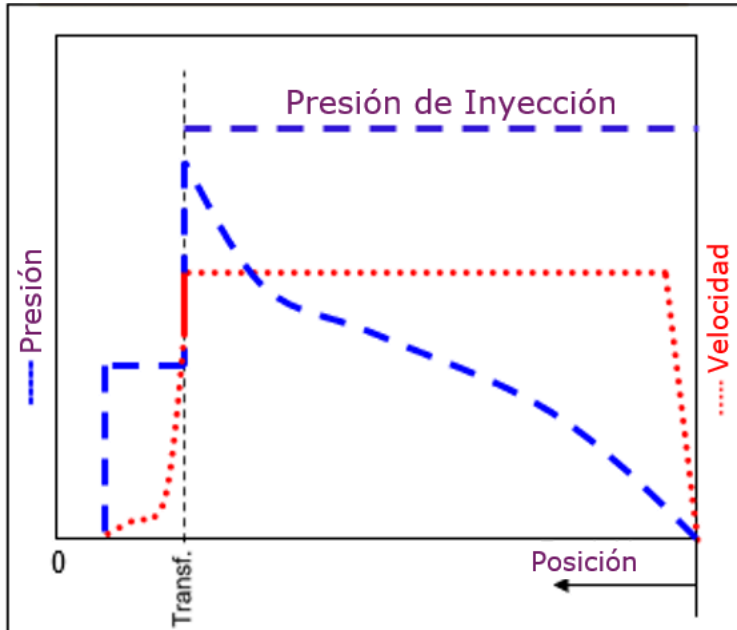
## **III. Gráficas del Proceso**

- **Moldeo con Gráficas**
- **Diagramas PVT**

## Moldeo con Gráficas

Si su máquina provee gráficas de inyección, aprenda a utilizarlas. Las gráficas varían de acuerdo con el fabricante del equipo, ahora por lo regular todas proveen la misma información.

Las gráficas de inyección describen el comportamiento del fundido durante la etapa del llenado del molde.



### III-1. Gráfica de inyección ideal

La coordenada horizontal describe el desplazamiento del tornillo de inyección. La posición máxima representa la posición de plastificación más la descompresión. La posición de transferencia (Transf.) es donde termina la inyección e inicia el empaque. La posición mínima "0" es cuando el tornillo está totalmente al frente, o cero cojín.

La coordenada vertical derecha representa la velocidad de inyección. La coordenada vertical izquierda representa la presión de inyección.

Una vez se inicia la inyección, el tornillo se acelera desde la posición máxima hasta alcanzar la velocidad de inyección ajustada y mantendrá esa velocidad hasta la posición de transferencia, donde culmina la etapa de inyección.

Después de la transferencia se observará una velocidad mínima. Recuerde que después de la posición de transferencia se llenará un remanente de cerca del 5%, y consecuentemente se observará una velocidad mínima.

Note que durante la etapa de inyección la presión aumenta continuamente. Durante el llenado, el fundido buscará alojarse sobre superficies estáticas, ya sea sobre las paredes del molde o sobre plástico estacionado en el molde, oponiéndose al flujo. Siendo la presión el resultado de la oposición al flujo, la presión aumentará con el incremento de material en el molde.

Si la presión disminuye, podría ser a consecuencia de que la velocidad (flujo) de inyección fue disminuida. Anteriormente se estableció que los moldeadores **Universales** utilizan una sola velocidad, con mínimas excepciones. Bajo condiciones normales, la presión debería aumentar siempre hasta la posición de transferencia, posición hasta donde tratará de llenar cerca de un 95% del molde. No intente sobre llenar el molde durante la etapa de inyección, 95% del llenado será suficiente. No trate de maximizar el volumen en la etapa de inyección, no ganará ningún beneficio.

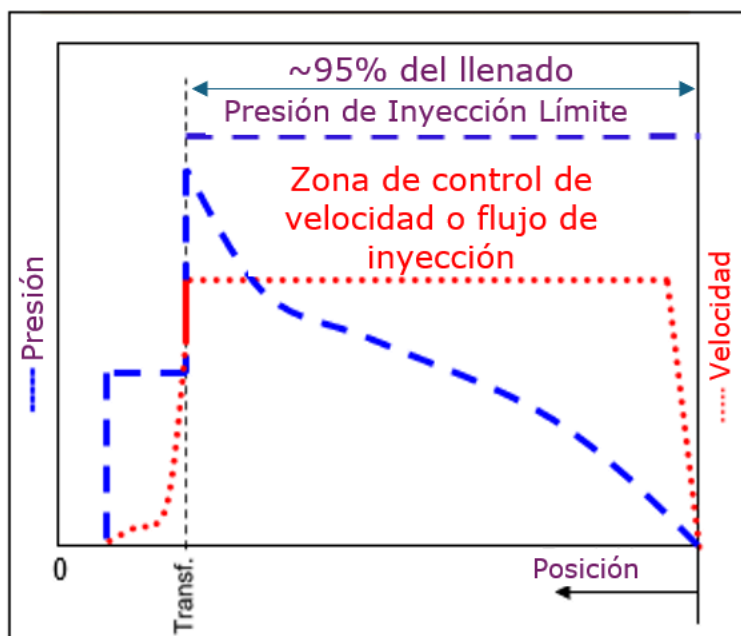
Algunos moldes presentan una extrema dificultad de llenado; por ejemplo, las amarras de nailon que son largas y delgadas, o las aplicaciones de micromoldeo con espacios estrechos e incómodos para el llenado. En estos casos, es posible que se requiera un porcentaje de llenado superior al 95%.

Además, recuerde que la presión límite de inyección debe ser siempre algo mayor que la presión de inyección. Programe la presión límite de inyección de 5 a 10% sobre la presión en la etapa de inyección.

Es importante saber que algunos controladores proveen más de una presión límite de inyección, una por cada velocidad de inyección. Recuerde que los moldeadores **Universales** tratan de moldear con una

sola velocidad de inyección. Ahora, si su control requiere más de una presión límite, prográmelas todas de 5% a 10% sobre sus correspondientes presiones de inyección.

Por ejemplo, si la presión de inyección alcanza la presión límite de inyección a consecuencia de un bebedero de cavidad bloqueado con material solidificado; aun así, el tornillo tratará de llegar hasta la posición de transferencia. Si el límite no está ajustado apropiadamente, la presión continuaría aumentando y el exceso de fundido, correspondiente a la cavidad bloqueada, podría vencer la fuerza de cierre y abrir el molde.



### III-2. Gráfica de zona de control de velocidad o flujo de inyección

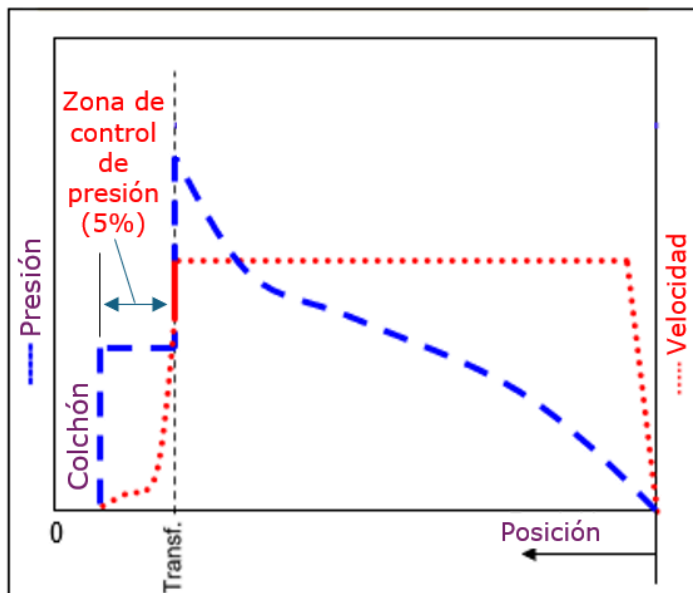
En resumen:

- Durante la etapa de inyección se llena sobre un 95% del volumen del molde, cavidades y colada.
- Durante la etapa de inyección se programa la presión límite de inyección, la cual nunca debe ser alcanzada ya que su único propósito es proteger la máquina y el molde.

- La presión es el resultado de la oposición al flujo; mientras más fundido entra al molde, mayor será la oposición. Asumiendo que es una sola velocidad de inyección, entonces la presión incrementará hasta la posición de transferencia.
- La presión límite de inyección debe ser programada de 5 a 10% sobre la presión en la etapa de inyección.
- La posición del colchón debería ser menor que la posición de transferencia.

En algunos procesos con la etapa de empaque apagada (donde la presión de empaque se ajusta a cero) o con una presión de empaque muy baja (5% de la presión al momento de la transferencia), podría ocurrir que la posición del colchón sea mayor que la posición de transferencia. Este fenómeno se ha observado en unidades de inyección servoeléctricas, donde el control del servo intenta reducir la presión de empaque (programada en cero o muy baja) retrocediendo el tornillo. Como resultado, la posición del colchón podría quedar por encima de la posición de transferencia, incluso si la inyección se ajustó al 95% del llenado total. Además, este efecto también se ha observado en unidades de inyección hidráulicas. En este caso, la presión de empaque es significativamente menor que la presión en el momento de la transferencia, lo que empuja el tornillo a una posición superior a la de transferencia. Este fenómeno se intensifica en unidades hidráulicas cuando se intenta llenar más allá del 95% del llenado.

Después de la transferencia se inicia la zona de empaque. En esta etapa controlamos la presión, y la velocidad será el resultado. Las cavidades son empacadas y sostenidas hasta que solidifican los bebederos (“*gates*”).



### III-3. Gráfica de zona de empaque o control de presión

Podemos ver que la presión está siendo controlada y la velocidad, aunque mínima, mostrará movimiento.

No es normal que la presión de empaque sea mayor a la presión al momento de la transferencia. Nos hemos encontrado con procesos donde la presión de empaque es mayor, y descubrimos que estaban llenando mucho menos del 95% del llenado en la etapa de inyección. Una vez la posición de transferencia y de plastificación fueron ajustadas adecuadamente, la presión de empaque fue menor que la presión de transferencia. ¿Cuánto menor será la presión de empaque a la presión de transferencia? Esto dependerá de las dimensiones de masa.

Estas gráficas deberían ser similares con moldes con coladas calientes (“hot runners”). La diferencia entre una colada fría y una colada caliente es el objetivo de reducir consumo de material, ya que la colada caliente nunca se endurece. El material fundido en la colada será parte del próximo llenado de cavidades, aún con coladas calientes habrá que inyectar, empaquetar y sostener hasta que los bebederos se solidifiquen.

Existen algunos moldes de coladas calientes que adicionan válvulas en cada bebedero. Estas válvulas (“*gate valves*”) accionan, creando el efecto de endurecimiento de bebederos. El funcionamiento de estas válvulas es simple; una vez las cavidades son empacadas, las válvulas en cada bebedero son accionadas, sellando el paso del fundido. La señal de cerrar las válvulas provendría de la señal correspondiente al tiempo de empaque. Una vez completan su función se abren, permitiendo el llenado como cualquier otro bebedero.

El objetivo de estas válvulas es una mejor estética en el punto de llenado en las partes moldeadas y reducción en el tiempo de empaque, ya que no se tiene que esperar a que se solidifiquen los bebederos.

En resumen:

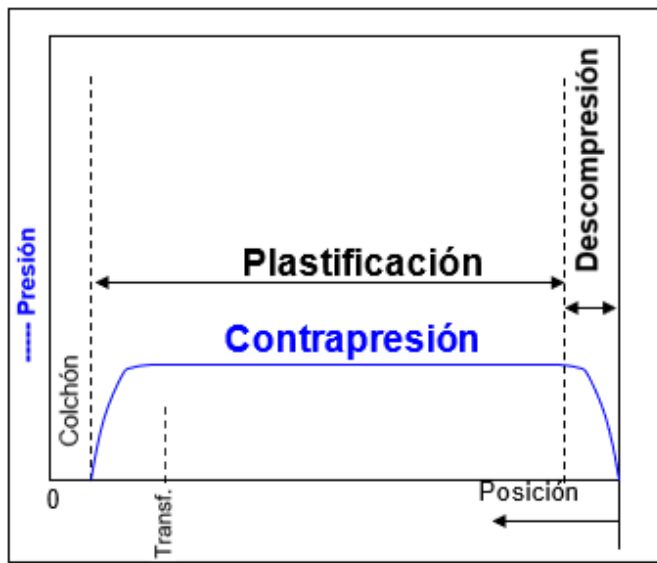
- Durante el empaque la velocidad es el resultado de controlar la presión, y su magnitud será insignificante.
- Durante la etapa de empaque se llena el remanente de las cavidades que no se llenó durante la etapa de inyección.
- La presión de empaque es mantenida hasta que los bebederos se solidifiquen.
- Aquí se considera únicamente el llenado de las cavidades; el efecto que buscamos es dimensiones de masa de las piezas en las cavidades. Recuerde que nosotros moldeamos piezas y no coladas.
- La última posición, que nunca debe ser igual a cero, se conoce como el cojín o colchón. Si alcanza la posición cero, el proceso estaría fuera de control. Una anilla (“*check ring*”) defectuosa, ya sea rayada o desgastada, que no sella apropiadamente contra el tornillo, podría ser la raíz del problema.

Identifique cada zona de control:

- Inyección: zona de control de velocidad o flujo de inyección
- Empaque: zona de control presión y tiempo de empaque
- Enfriamiento: zona de control de temperatura del molde y tiempo de enfriamiento.

Durante la etapa de enfriamiento también sucede la plastificación y la descompresión.

La plastificación es cuando el tornillo rota y carga material en el barril para el próximo ciclo. La gráfica de plastificación ilustra la presión durante la plastificación, que debería ser igual a la contrapresión ajustada. Una vez el tornillo carga el volumen requerido, este descomprime el material plastificado para evitar el babeo durante el desmolde.

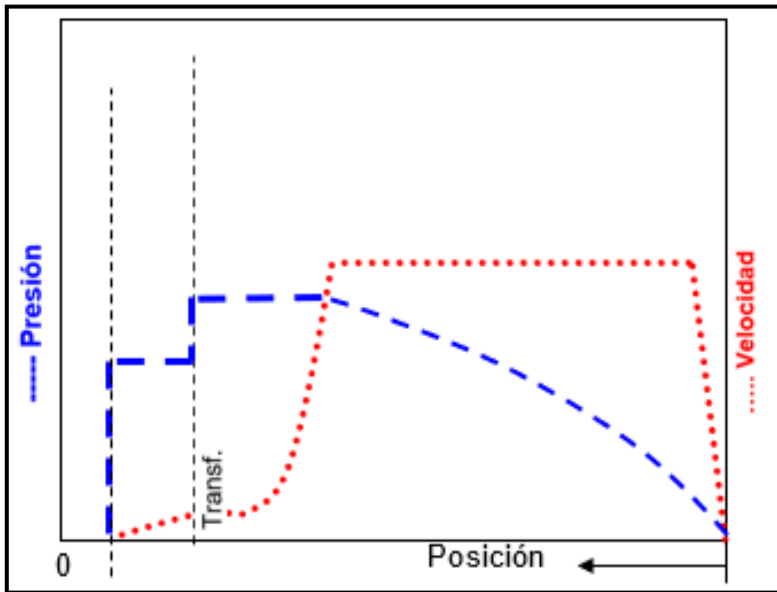


#### III-4. Gráfica de zona de plastificación

Una de las ventajas que nos trae el moldeo por gráficas es que con una simple mirada se puede determinar si el proceso está dentro o fuera de control, aún personas que no sean necesariamente moldeadores podrían interpretar el comportamiento de las gráficas en cada etapa.



La gráfica a continuación representa un proceso defectuoso a consecuencia de presión limitada.

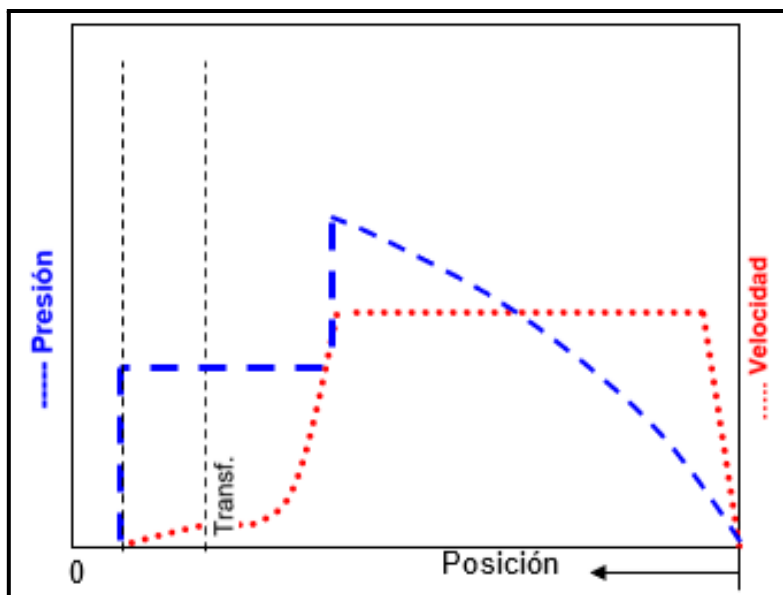


### III-5. Gráfica de presión limitada

Con claridad se observa que la velocidad de inyección se descontroló a consecuencia de que la presión límite de inyección se ajustó muy baja. La presión límite de inyección se ajusta de 5% a 10% por encima de la presión requerida para llenar el molde, controlando la velocidad.

Limitar la presión de inyección es una práctica utilizada con moldes defectuosos, con problemas de rebaba. Si su industria le permite operar moldes bajo esa situación y usted se ve obligado a moldear bajo esa condición, considere disminuir la velocidad de inyección. Aunque no es el mejor escenario, estará controlando la velocidad. Entienda que la presión de inyección disminuye cuando se reduce la velocidad de inyección.

La gráfica a continuación representa un proceso defectuoso a consecuencia de transferencia prematura.

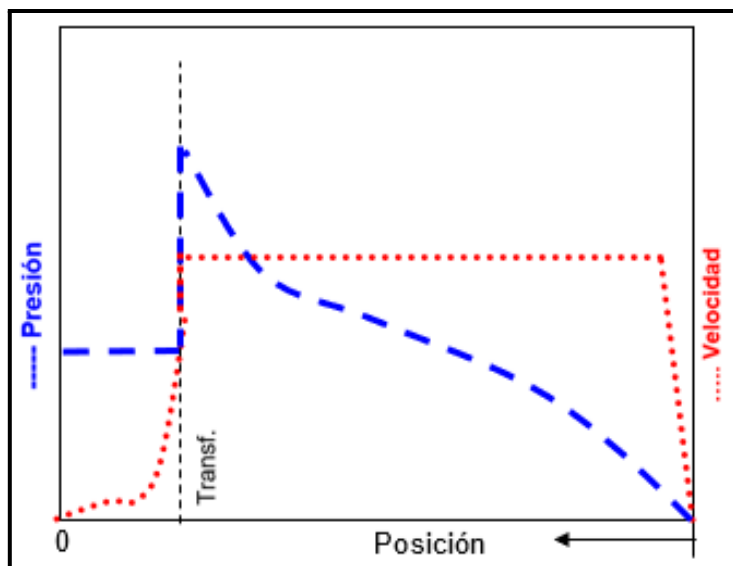


### III-6. Gráfica de transferencia prematura

Por alguna razón, la transferencia ocurrió prematuramente. Esto podría deberse a la programación de dos métodos de transferencia. Por ejemplo, si se programaron tanto la transferencia por posición como la transferencia por presión, la que ocurra primero se ejecutará. En este caso, parece que la transferencia se realizó por presión en lugar de por posición.

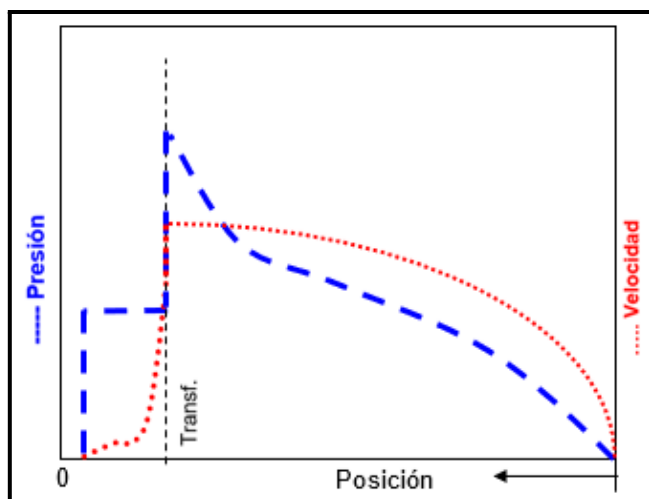
La gráfica a continuación representa un proceso defectuoso como resultado de un cojín igual a cero. En ella, se muestra claramente que el tornillo se movió completamente hacia adelante, vaciando el barril por completo. No existe el cojín, y no se controla las dimensiones de masa. Este problema podría haber ocurrido debido al desgaste de una anilla (“check ring”).

Es importante recordar que la posición del cojín siempre debe ser menor que la posición de transferencia y nunca debe ser igual a cero.



*III-7. Gráfica de proceso defectuoso con cojín igual a cero*

La gráfica a continuación representa un proceso defectuoso a consecuencia de velocidad limitada. Aquí el operador no se percató de que la velocidad programada no se está alcanzando o no se ocupó de verificar las gráficas del llenado. Este proceso está fuera de control y el tiempo de inyección, valor altamente significativo, podría fluctuar descontroladamente. Como regla general, no programe valores de proceso que no podrá alcanzar.

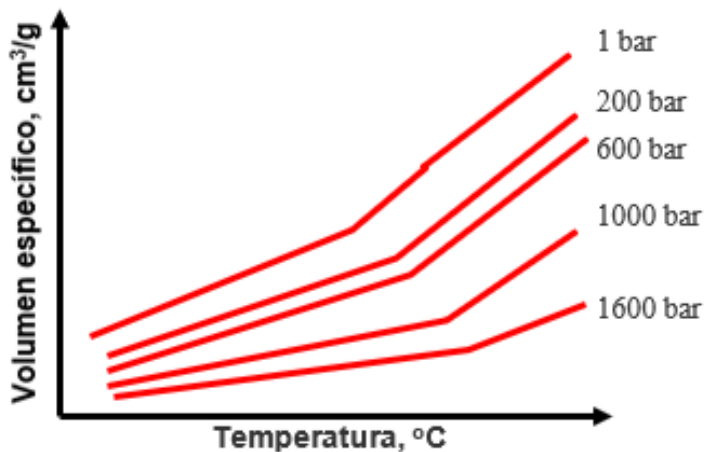


III-8. Gráfica de velocidad programada no fue alcanzada

Moldear por medio de gráficas es una poderosa herramienta. Entienda su equipo y busque maximizar la utilización de las gráficas. Copie y amplíe estas gráficas, rotule su cuarto de moldeo con ellas, y va a disfrutar de este beneficio.

## Diagramas PVT

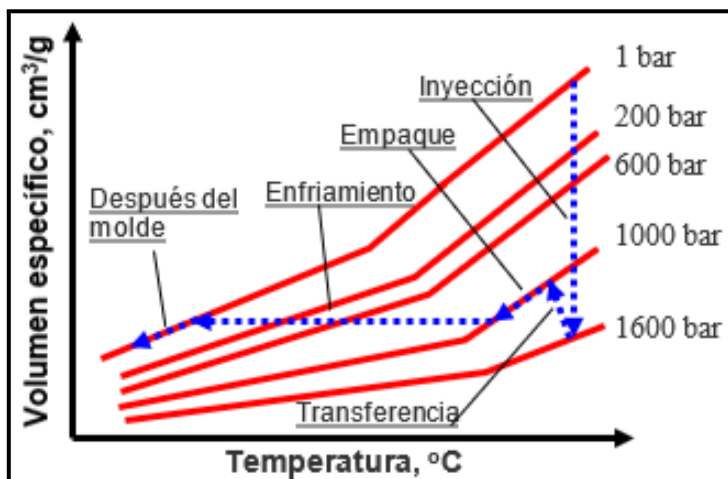
Para el beneficio de moldeadores que utilizan sensores de presión y temperatura en las cavidades, transportemos estos conceptos al diagrama de PVT (Presión, Volumen Específico y Temperatura).



### III-9. Diagrama de PVT (Presión, Volumen y Temperatura)

La coordenada vertical representa el volumen específico, el inverso de la densidad:  $\text{volumen específico} = \text{volumen}/\text{masa}$ . La coordenada horizontal representa la temperatura del fundido. Las gráficas con líneas sólidas representan líneas de presión constante, desde 1 bar hasta 1600 bares. Note que el valor de la presión aumenta cuando se baja a la próxima línea. El movimiento dentro de una línea de presión constante representará un volumen específico y una temperatura del fundido única.

Si se fija en el diagrama de PVT, las líneas entrecortadas indican las etapas del moldeo.



### *III-10. Diagrama de PVT con etapas de moldeo*

Antes de la inyección, el material se descomprime. Una vez se inicia la inyección la presión aumentará, compactando el material a una temperatura relativamente constante.

Una vez se llega a la posición de transferencia se inicia la zona de control de presión, normalmente a una presión menor a la presión de transferencia.

Las cavidades son empacadas a una presión constante; consecuentemente habrá mayor material por unidad de volumen, ocasionando una reducción en el volumen específico. Durante el empaque el fundido pierde calor, y como es de esperarse, la gráfica mostrará una reducción en temperatura.

Una vez se solidifican los bebederos, culmina la etapa de empaque y se inicia la etapa de enfriamiento. Las partes quedan presurizadas y restringidas dentro de las cavidades mientras son enfriadas. El calor es rápidamente removido con mínima reducción en el volumen específico. El fundido comprimido se solidifica, y la presión disminuye.

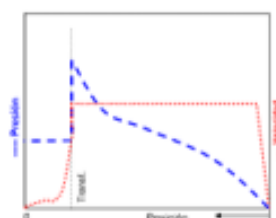
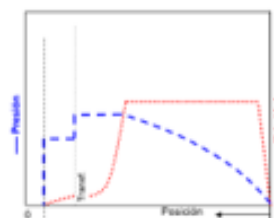
Una vez expira el tiempo de enfriamiento, las piezas son desmoldadas al ambiente donde continuarán enfriándose y encogiéndose a una presión constante.

Una vez más, moldeo por gráficas es una poderosa herramienta; utilícela. Es una rápida y efectiva manera de verificar los procesos aun cuando usted no sea moldeador.

### **Preguntas**

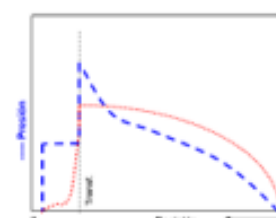
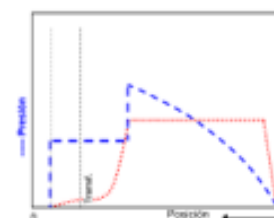
- 1) Durante la etapa de inyección controlamos la presión de inyección.
  - a. Cierto, controlamos la presión y la temperatura.
  - b. Falso, controlamos la velocidad de inyección.
- 2) Podemos llenar un 100% de las cavidades en la etapa de inyección.
  - a. Cierto, el 100% se completa en la transferencia.
  - b. Falso, el 100% se completa durante el empaque.
- 3) La etapa de inyección debe ser terminada cuando

- a. el tiempo de inyección expira.
  - b. la presión alcanza la presión límite.
  - c. se llega a la posición de transferencia.
- 4) En la etapa de empaque conseguimos
- a. dimensiones térmicas.
  - b. dimensiones de masa.
  - c. velocidad constante.
  - d. un fundido homogéneo.
- 5) En la etapa de empaque controlamos
- a. la contrapresión.
  - b. la velocidad de llenado.
  - c. la presión de empaque y el tiempo de empaque.
- 6) El empaque debe terminar
- a. cuando los bebederos se congelan.
  - b. por posición.
  - c. por presión.
- 7) En la etapa de enfriamiento controlamos
- a. el tiempo de llenado y la presión límite.
  - b. el flujo de aceite al cilindro hidráulico.
  - c. el tiempo de enfriamiento y la temperatura del molde.
- 8) En la etapa de enfriamiento buscamos
- a. desmoldar las partes con unas dimensiones de masa adecuadas.
  - b. las dimensiones exteriores.
  - c. desmoldar las partes con unas dimensiones térmicas adecuadas.
- 9) El cojín puede ser igual a cero.
- a. Cierto, así controlamos dimensiones de masa.
  - b. Falso, no podríamos controlar dimensiones de masa.
- 10) Aparee las gráficas, de procesos fuera de control, con sus correspondientes desperfectos.



a. cero cojín

b. velocidad programada no fue alcanzada



c. transferencia prematura

d. presión limitada