

VI. Moldeo Desde el Escritorio

- **Cálculos de la Prensa**
- **Cálculos de la Unidad de Inyección**

Antes de hacer un laboratorio de moldeo debe haber determinado varios factores como:

- fuerza de cierre
- espacio entre barras de la platina
- apertura máxima y mínima del molde
- punta de boquilla y casquillo
- posición de transferencia a empaque/sostén
- temperatura del barril
- tamaño de la unidad inyección
- contrapresión
- posición de plastificación
- razón de intensificación

Los cálculos iniciales (Moldeo Desde el Escritorio) le dan un punto de partida y le economiza tiempo durante el arranque. Evite errores cuantiosos determinado estos parámetros iniciales.

Cálculos de la Prensa

Su objetivo debe ser identificar las necesidades de su proceso y atender esas necesidades con soluciones bien pensadas. Por esto:

- Antes de moldear, o hacer algún tipo de ajustes en la máquina de inyección, se deben efectuar algunos cálculos iniciales.
- A estos cálculos iniciales le llamamos “Moldeo Desde el Escritorio”.
- Recuerde que está trabajando con equipos costosos; no apresure el trabajo.

En esta sección se cubrirá:

- fundamentos en la fuerza de cierre
- área proyectada
- cálculo de pared fina
- fuerzas resultantes de mecanismos que accionan lateralmente
- moldes de tres platos
- molde doble (“*stack mold*”)
- espacio de la prensa en máquinas con barras
- espacio de la prensa en máquinas sin barras
- apertura mínima y máxima de la prensa
- patrón de expulsores

Fundamentos de la fuerza de cierre

Existe una diferencia entre la fuerza de cierre capaz de la prensa moldeadora y la fuerza requerida para mantener el molde cerrado. El material fundido que fluye a los espacios dentro del molde entra a altas presiones, y la prensa debe generar la fuerza necesaria para vencer esa presión.

La fuerza se mide por lo regular en toneladas US (2000 lbf) y en tonelada métrica en Kilo-Newton (kN).

$$\text{tonelada US} = \mathbf{8.90 \text{ kilo-Newton (kN)}}$$

$$\text{tonelada métrica} = \text{tonelada US} \times 1.10 = \mathbf{9.81 \text{ kilo-Newton (kN)}}$$

La determinación de la fuerza de cierre se efectúa con la ecuación:

$$\text{Fuerza} = \text{presión} \times \text{área}$$

La presión del fundido varía con el tipo de material. Por ejemplo, cada material tiene un factor de presión en unidades de fuerza/área.

Algunos de estos factores de presión son:

Material	US ton/in ²		kN/cm ²	
Polipropileno	1.5	3.5	2.1	4.8
Polietileno alta densidad	1.5	2.5	2.1	3.5
Polietileno baja densidad	1.0	2.0	1.4	2.8
Nilón 66	3.0	5.0	4.1	6.9
Policarbonato	3.0	5.0	4.1	6.9
PVC flexible	1.5	2.5	2.1	3.5
PVC Rígido	2.0	3.0	2.8	4.1
Poliestireno	2.0	4.0	2.8	5.5

VI-1. Tabla de factores de presión para algunos materiales

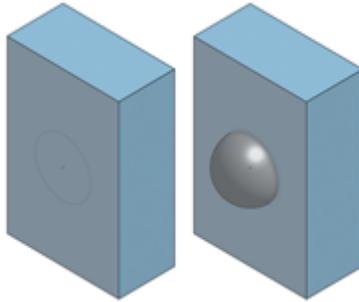
La tabla es una referencia; corrobore las especificaciones de la resina con el fabricante de esta.

Área Proyectada

El área proyectada es el plano o superficie que se vería en la partición del molde (“*parting line*”). Ejemplos:

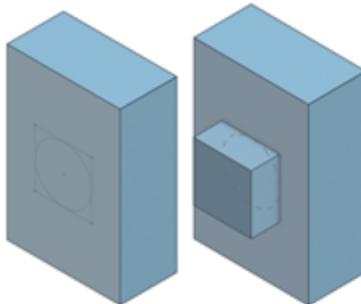
- El área proyectada de una esfera se vería como un plano circular; el área sería igual a:

$$\text{diámetro}^2 \times 3.1416 / 4$$



VI-2. Área proyectada de una esfera

- El área proyectada de un cubo se vería como un plano cuadrado o rectangular. El área sería el múltiplo de alto por ancho.



VI-3. Área proyectada de un cubo

- Considere un vaso donde el diámetro mayor está en la partición del molde; el área sería igual a:

$$\text{diámetro mayor}^2 \times 3.1416/4$$



VI-4. Área proyectada de un vaso

Es simple; si el área proyectada aumenta, también aumentará la fuerza de cierre requerida. Durante la determinación del área proyectada, ignore la profundidad de la cavidad.

Existen varios aspectos que se deben considerar al determinar la fuerza de cierre:

- material y sus características
- entender el flujo del fundido llenando las cavidades
- área proyectada de todas las cavidades
- área proyectada de la colada
- tipo de molde, tres platos o molde doble (“*stack*”)
- resortes en la partición del molde que actúan contra la fuerza de cierre
- actuadores con acción lateral que adicionan carga a la fuerza de cierre
- que la fuerza de cierre capaz de la prensa debería ser siempre mayor que la fuerza requerida por el molde

No ajuste la fuerza de cierre al máximo; la fuerza excesiva podría dañar las cavidades con el tiempo, en especial las ventosas. Recuerde que los gases dentro de las cavidades y la colada son expulsados por el fundido durante el llenado. Espacios muy pequeños (ventosas) permiten la salida de estos gases. Si la fuerza de cierre es excesiva las ventosas se podrían estrangular. Cuando las ventosas se estrangulan se dificulta la salida de los gases. Parte de estos gases provienen del fundido, gases que a altas presiones podrían hacer una combustión que se le conoce como “*dieseling*”. Las piezas moldeadas mostrarán una quemadura al final del llenado o cerca de donde están las ventosas estranguladas.

Ejemplo (cortesía de Peter Paul Electric):

Rodillos de nilón son moldeados en un molde de 12 cavidades.

Rodillo de Nylon



Vista Superior



Vista Lateral



Colada con las partes



Colada sin partes

VI-5. Rodillos de nilón y coladas con y sin partes

En este ejemplo la fuerza de cierre será el resultado del:

- área proyectada de todas las cavidades
- área proyectada de la colada
- actuadores laterales

El área proyectada corresponde a 12 círculos con un agujero en el centro más el área de la colada. El cálculo del área proyectada de un círculo con un agujero se obtiene restando el área del diámetro mayor (interior) menos el área del diámetro menor (exterior):

$$\text{Área de las partes} = \frac{D_{\text{exterior}}^2 - D_{\text{interior}}^2}{4} \pi$$



$$\text{Área} = (2.21^2 - 1.07^2) \times 3.1416 / 4 = \mathbf{2.94 \text{ cm}^2 (0.46 \text{ in}^2)}$$

Área proyectada de la colada:



VI-6. Área proyectada de uno de los 12 rodillos y su colada

El área proyectada de la colada se puede simplificar con una simple aproximación de rectángulos y un círculo. Consideremos la mitad de la colada compuesta de dos rectángulos (con un área de alto por ancho) y un círculo (con área de $\text{diámetro}^2 \times \pi / 4$).

El área de la colada sería la suma de cuatro rectángulos y un círculo.



VI-7. Área de la colada

$$\text{Área proyectada de la colada} = 35.29 \text{ cm}^2 (5.47 \text{ pulg}^2)$$

Note que por conveniencia no se consideró el área correspondiente a los bebederos; se asumió que es despreciable.

Con geometrías irregulares, donde el cálculo del área no se puede efectuar por medio de ecuaciones convencionales, el papel cuadriculado es una buena opción. Trace el componente sobre el papel, cuente los cuadros dentro del dibujo (si es posible considere 1/2 y 1/3 de cuadrados), y multiplíquelo por el área de cada cuadro.

Otra alternativa es utilizar la función de área en programas de dibujos computadorizados (CAD); note que necesitará el dibujo del componente en forma digital.

Finalmente se suman todas las áreas:

$$\begin{aligned}\text{Área total} &= \text{área de la colada} + (12 \times \text{área rodillo}) \\ &= 35.29 + (12 \times 2.94) = \mathbf{71 \text{ cm}^2} \\ &= 5.47 + (12 \times 0.46) = \mathbf{11 \text{ pulg}^2}\end{aligned}$$

Del manufacturero de la resina, XYZ, se obtuvo un factor de fuerza de cierre para nilón de 4.1 a 6.9 kN/cm² (3 a 5 USton/pulg²).

Si utilizamos el factor de presión de 4.1 kN/cm² (3 USton/pulg²) se requeriría una fuerza de:

$$\begin{aligned}71 \text{ cm}^2 \times 4.1 \text{ kN/cm}^2 &= \mathbf{291 \text{ kN}} \\ (11 \text{ pulg}^2 \times 3 \text{ ton/pulg}^2) &= \mathbf{33 \text{ USton}}\end{aligned}$$

Si utilizamos el factor de presión de 6.9 kN/cm² (5 USton/pulg²) se requeriría una fuerza de:

$$\begin{aligned}71 \text{ cm}^2 \times 6.9 \text{ kN/cm}^2 &= \mathbf{490 \text{ kN}} \\ (11 \text{ pulg}^2 \times 5 \text{ ton/pulg}^2) &= \mathbf{55 \text{ USton}}\end{aligned}$$

Se debería estar preguntando; ¿Qué factor de presión utilizamos, 4.1 o 6.9 kN/cm²? El factor de presión dependerá de la dificultad de llenado del molde.

Por ejemplo, si consideramos que:

- paredes delgadas requerirán mayores presiones de llenado que paredes gruesas
- largos recorridos de llenado requerirán mayores presiones de llenado que cortos recorridos

El factor de presión dependerá del *cálculo de pared fina*, un valor que considera la distancia del llenado y el grosor de los espacios.

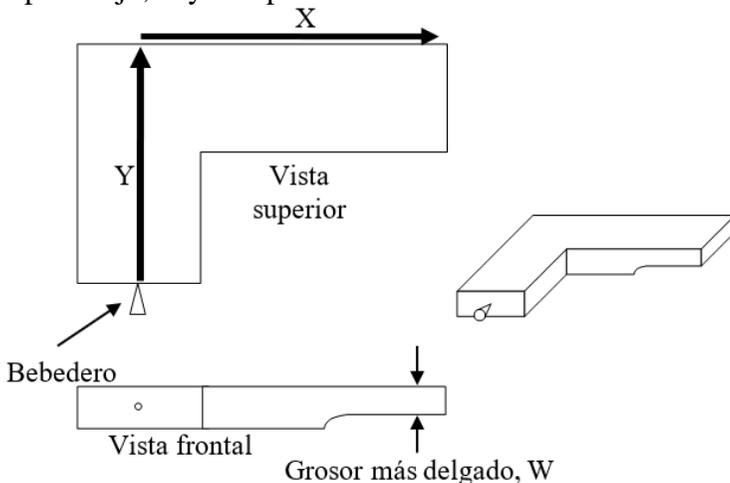
Cálculo de Pared Fina

El cálculo de pared fina es un factor que representa la dificultad del llenado. Este factor considera la distancia que el fundido tiene que viajar y que tan estrechos son esos pasajes. Ese factor es representado por la siguiente ecuación:

$$\text{Cálculo de pared fina} = \frac{\text{trayecto del flujo más distante}}{\text{pared más fina de ese trayecto}}$$

- Cálculo de pared fina: un valor que representa la dificultad del llenado. la dificultad aumenta cuando este valor aumenta
- el trayecto del flujo más distante: el recorrido del fundido desde el bebedero (“gate”) hasta el punto llenado más distante
- pared más fina del trayecto: el grosor de pared más delgado en el trayecto seleccionado

En el ejemplo abajo, hay una pieza en forma de L.

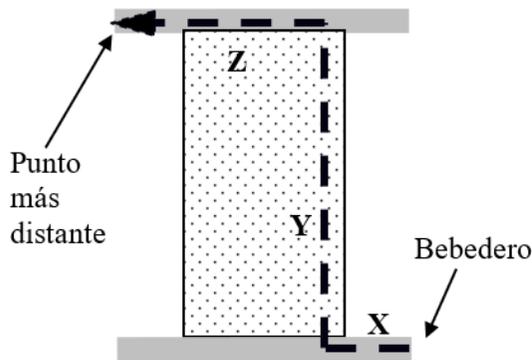


VI-8. Ejemplo de una pieza en forma de L

El trayecto del flujo más distante se podría aproximar por la suma de X más Y . La pared más fina del trayecto es W . Entonces:

$$\text{Cálculo de pared fina} = (X + Y) / W$$

Continuemos con el cálculo de pared fina del rodillo. El trayecto desde el bebedero al punto más distante seleccionado es señalado por la línea entrecortada.



VI-9. Trayecto del flujo de un rodillo

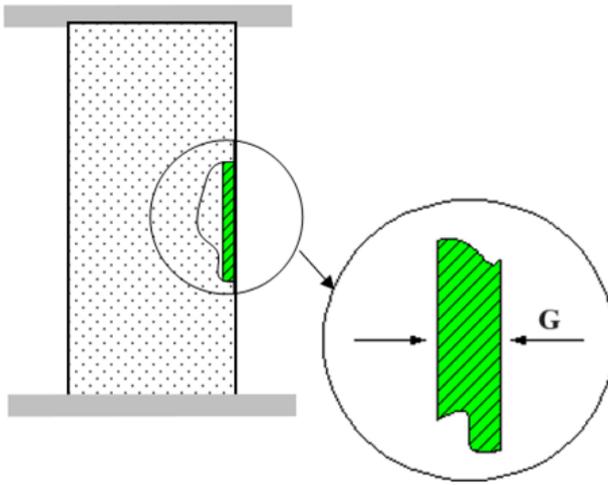
El trayecto del flujo más distante sería la suma de X , Y y Z .

Usted se debe estar preguntando. Si el rodillo es una pieza cilíndrica con un agujero en el centro, ¿cómo es que se representa el trayecto con recorridos lineales?

Buena pregunta, el fundido fluirá por el camino de menor restricción, y es probable que el recorrido Y sea diagonal y alrededor de la circunferencia. Si posee un programa de análisis numéricos de flujo, excelente; utilícelo. Ahora les recuerdo que estamos moldeando desde el escritorio; no trate de complicarse la vida con cálculos que no necesariamente le darán mejores resultados.

$$\text{El trayecto más distante} = X + Y + Z = \mathbf{50 \text{ mm (1.97 in)}}$$

Ahora veamos la pared más fina del trayecto escogido en el dibujo ilustrado, donde se encontró que la pared más delgada era la pared central del rodillo y se le denominó grosor G .



VI-10. El grosor (G)

$$G = 1.22 \text{ mm (0.048 in)}$$

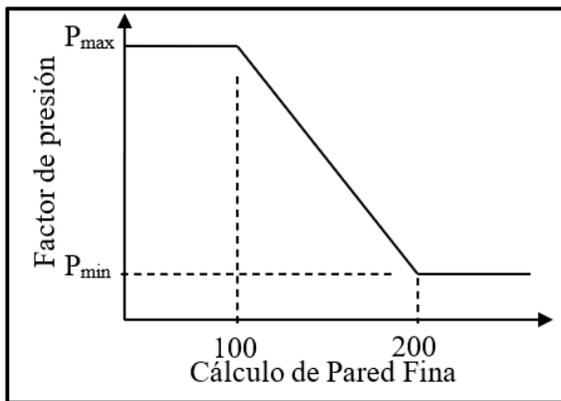
Seleccione el grosor dentro del trayecto escogido. Recuerde que es una relación entre el recorrido del flujo y el grosor de las paredes. Si lo desea, puede hacer varios cálculos de pared finas con distintos trayectos. Utilice el mayor ya que representará la peor condición. Una vez más seleccione el grosor más delgado dentro del trayecto escogido.

$$\begin{aligned} \text{Cálculo de pared fina (PF) del rodillo} &= 50 \text{ mm} / 1.22 \text{ mm} \\ &= 41 \end{aligned}$$

PF	Criterio
≥ 200	Utilice el factor de presión mayor. Fuerza = (área proyectada) x (factor de presión mayor)
≤ 100	Utilice el factor de presión menor. Fuerza = (área proyectada) x (factor de presión menor)
entre 100 y 200	Interpole entre los factores de presión. Fuerza = (área proyectada) x (factor de presión interpolado)

VI-11. Tabla de criterio de pared fina

El factor de presión interpolado se obtiene con interpolación lineal.



VI-12. Interpolación lineal del factor de presión

$$\text{Factor de presión} = \frac{(PF - 100) * (P_{max} - P_{min})}{100} + P_{min}$$

Con el ejemplo del rodillo tenemos un factor de presión de nilón de 4.1 a 6.9 kN/cm² (3 a 5 USton/pulg²) y se obtuvo un valor de pared fina igual a 41. De acuerdo con el criterio indicado, si es menor de 100, utilizaremos el factor de presión menor, 4.1 kN/cm² (3 USton/pulg²).

Entonces la fuerza de cierre normal a consecuencia del área proyectada y el factor de presión es:

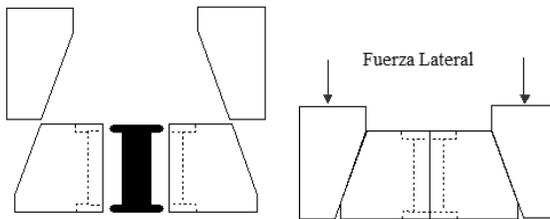
$$\begin{aligned} \text{Fuerza normal} &= \text{presión} \times \text{área} \\ &= 71 \text{ cm}^2 \times 4.1 \text{ kN/cm}^2 = \mathbf{291 \text{ kN}} \\ &= 11 \text{ pulg}^2 \times 3 \text{ ton/pulg}^2 = \mathbf{33 \text{ USton}} \end{aligned}$$

Fuerzas resultantes de mecanismos que accionan lateralmente

Uno de los motivos de haber seleccionado el ejemplo del carrito es porque este incluye más que un simple cálculo de fuerza a consecuencia del área proyectada en la partición del molde. La fuerza de cierre puede ser afectada por fuerzas resultantes de mecanismos que accionan lateralmente.

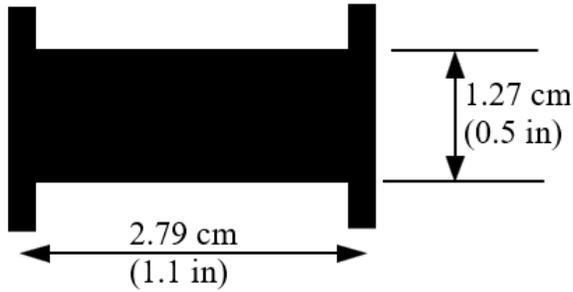
Estos mecanismos son parte de las cavidades del molde, y se mantienen en posición mientras el molde está cerrado. Después que el molde abre los mecanismos se mueven, liberando las piezas moldeadas. Estas fuerzas laterales se reflejan en la fuerza de cierre dado que es la prensa quien mantiene los actuadores en posición.

Fíjese en la ilustración como la cavidad se separa para librar la parte moldeada.



VI-13. Actuadores accionados por la fuerza de cierre

Cada cavidad se parte en la mitad por medio de dos actuadores que experimentarán una fuerza como resultado de la presión del fundido. Esta fuerza será el resultado de la presión del fundido (4.1 kN/cm^2) multiplicada por el área proyectada en la partición de la cavidad. Con el área en la partición se puede asumir que las extremidades del rodillo tienen un área despreciable y consideramos el área de un rectángulo.



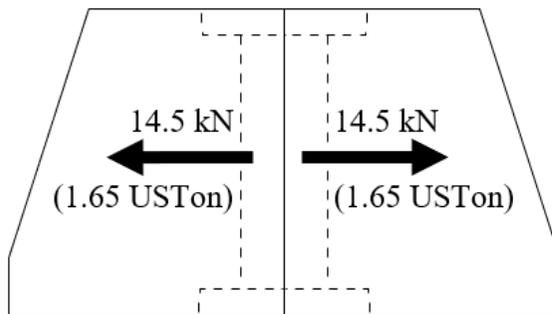
VI-14. Medidas para calcular el área proyectada

$$\begin{aligned} \text{Área proyectada lateral} &= \\ 1.27 \text{ cm} \times 2.79 \text{ cm} &= \mathbf{3.54 \text{ cm}^2} \\ (0.5 \text{ in} \times 1.1 \text{ in}) &= \mathbf{0.55 \text{ pulg}^2} \end{aligned}$$

Entonces:

$$\begin{aligned} \text{Fuerza lateral por actuador} &= \\ \text{área proyectada lateral} \times \text{factor de presión} &= \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3.54 \text{ mm}^2 \times 4.1 \text{ kN/cm}^2 &= \mathbf{14.5 \text{ kN / actuador}} \\ (0.55 \text{ pulg}^2 \times 3 \text{ USton/pulg}^2) &= \mathbf{1.65 \text{ USton / actuador}} \end{aligned}$$



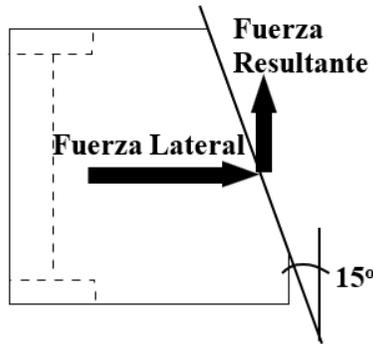
VI-15. Fuerza lateral por actuador

De acuerdo con este número, cada mitad de la cavidad verá una fuerza de 14.5 kN (1.65 USton) intentando apartar los actuadores.

Considerando que son 12 cavidades y que cada cavidad es mantenida cerrada por medio de cuñas, el efecto lateral total se podría determinar:

$$\begin{aligned} \text{Fuerza lateral} &= \\ \text{fuerza por actuador} \times 2 \text{ actuadores} \times 12 \text{ cavidades} &= \\ 14.5 \text{ kN} \times 2 \times 12 &= \mathbf{348 \text{ kN}} \\ (1.65 \text{ USton} \times 2 \times 12) &= \mathbf{40 \text{ USton}} \end{aligned}$$

Este número de 348 kN (40 USton) es la fuerza total que el fundido ejercería lateralmente contra las cuñas.



VI-16. Fuerza resultante

Estas cuñas son fabricadas con un ángulo, en este caso es 15°, y solo una fracción de esta fuerza lateral se reflejará en la dirección del cierre de la cuña.

Esa fuerza resultante en dirección de la prensa se determina multiplicando la fuerza lateral por la tangente del ángulo de la cuña:

$$\begin{aligned} \text{Fuerza de resultante de la acción lateral} &= \\ \text{fuerza lateral} \times \tan(15^\circ) &= \\ = 348 \text{ kN} \times 0.27 \text{ (40 USton} \times 0.27) &= \\ = \mathbf{94 \text{ kN (10.8 ton)}} & \end{aligned}$$

La fuerza de cierre total requerida por el molde sería la suma de la fuerza resultante del fundido en la partición del molde más la fuerza de acción lateral de las cavidades.

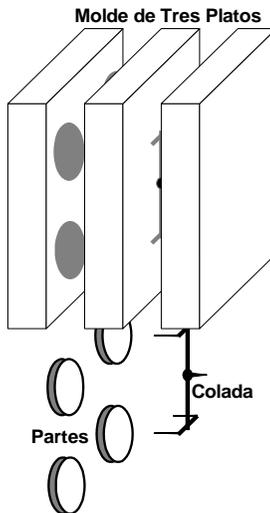
$$\begin{aligned} \text{Fuerza final} &= \text{fuerza normal} + \text{fuerza de la acción lateral} \\ &= 291 \text{ kN} + 94 \text{ kN} = \mathbf{385 \text{ kN}} \\ (33 \text{ USton} + 10.8 \text{ USton}) &= \mathbf{43.8 \text{ USton}} \end{aligned}$$

El “*Moldeo Desde el Escritorio*” es un ejercicio que todos debemos efectuar antes de intentar ajustar la prensa; aun cuando el fabricante del molde recomendó una fuerza de cierre, debería corroborarse.

Lo más fácil e incorrecto sería ajustar la fuerza de cierre de la prensa al máximo. Fuerza excesiva podría eventualmente dañar el molde, como deformar las pequeñas ventosas en las cavidades. Si las ventosas se bloquean, entonces gases (aire más vapores del mismo fundido) dentro de las cavidades podrían experimentar el efecto “*diesel*”; una combustión a consecuencia de estos gases expuestos a altas presiones. La próxima vez que encuentre quemaduras cerca de las ventosas en las piezas moldeadas, verifique la fuerza de cierre antes de intentar reparar el molde.

Otros factores que debe considerar son los resortes. Si su molde utiliza resortes en la partición del molde, y son comprimidos con el cierre de la prensa, súmele la fuerza por cada resorte. El factor de fuerza de los resortes lo puede conseguir con el fabricante de estos.

Moldes de tres platos



VI-17. Molde de tres platos

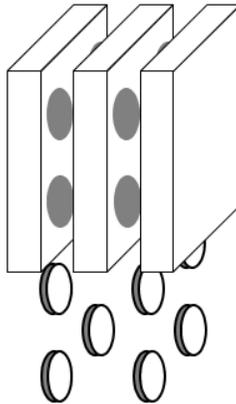
Este tipo de molde moldea en dos particiones distintas las piezas y la colada. El molde se parte en tres, entre una partición moldea las piezas y en la otra partición la colada. El propósito de este tipo de diseño es para

cuando la pieza moldeada requiera ser inyectada en el centro, como piezas redondas.

El cálculo de fuerza de cierre del molde de tres platos se efectúa dos veces, en la partición donde se moldea las piezas y en la partición donde se forma la colada. Luego se selecciona el mayor de los dos. Lo común es que la fuerza de las piezas moldeadas sea mayor que la fuerza de la colada, pero no es el 100% de los casos. Haga el cálculo y seleccione el mayor.

Molde doble (“*stack mold*”)

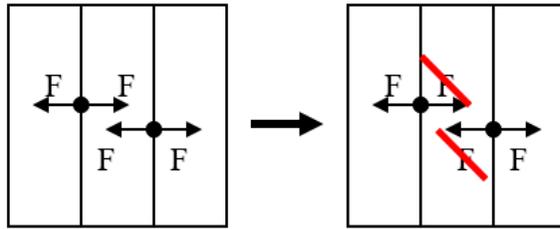
El molde doble (“*stack*”) moldea el mismo número de piezas en cada partición del molde.



*VI-18. Molde doble (“*stack*”)*

Si un mismo número de piezas idénticas salen de cada lado, la fuerza de cierre de cada lado será igual. Es por esto por lo que se considera el cálculo de fuerza de cierre de un solo lado.

Se debe estar preguntando, ¿Cómo es que se considera una sola mitad y no se multiplica por dos? Ese es el atractivo del diseño *stack*, se produce el doble de piezas sin duplicar la fuerza de cierre. Fíjese en la ilustración con los vectores de fuerza.



VI-19. Vectores de fuerza del molde doble

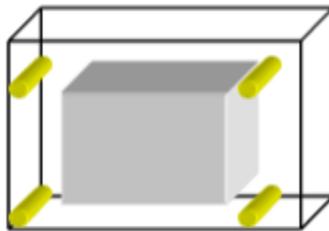
Fuerzas de igual magnitud en direcciones opuestas tratarán de abrir cada cara del molde. Los vectores del centro se cancelarían, resultando en el equivalente de un solo lado.

Además de la fuerza de cierre, se debe corroborar que el molde quepa en la prensa y que el patrón de expulsores de la prensa coincida con el del molde.

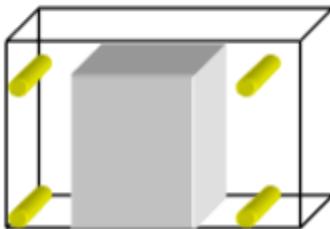
Espacio de la prensa en máquinas con barras (“tie bars”)

Si la prensa es con barras, verifique que el molde quepa entre ellas. Este puede acomodarse dentro de las cuatro barras, verticalmente entre las barras y horizontalmente entre las barras.

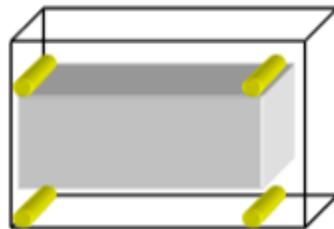
Entre barras



Vertical

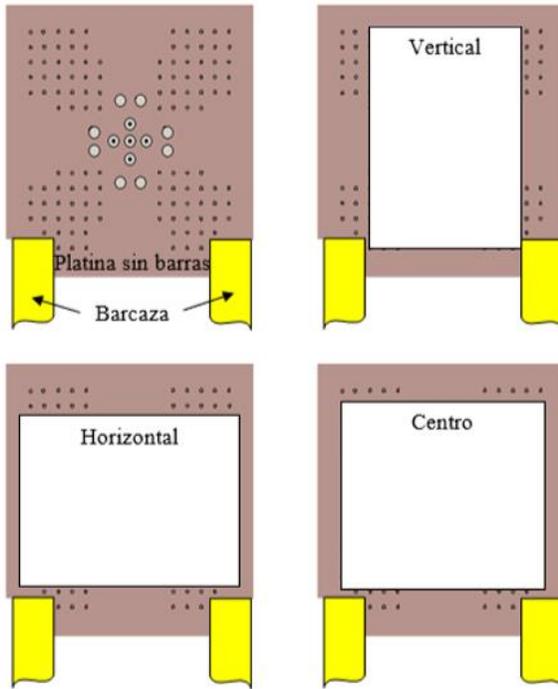


Horizontal



VI-20. Espacios en platina con barras

Espacio de la prensa en máquinas sin barras (“*tiebarless*”)

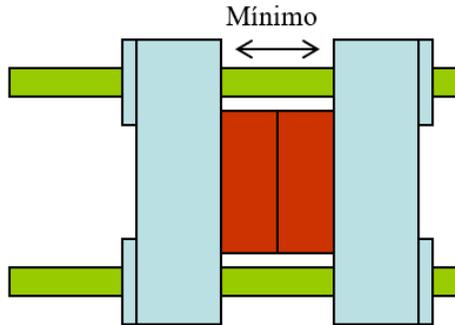


VI-21. Espacios en platina sin barras

Las prensas sin barras proveen mayor flexibilidad de acomode de moldes, aun así, se necesita verificar el espacio disponible.

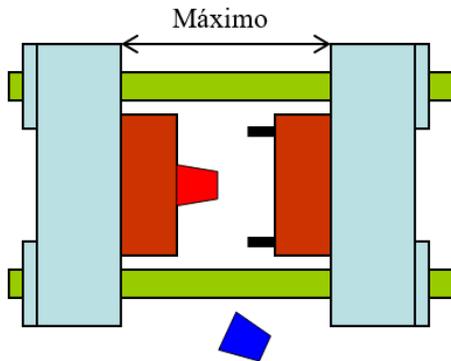
Apertura máxima y mínima

Verifique que la apertura mínima de la prensa sea lo suficiente como para prensar el molde.



VI-22. Apertura mínima de la prensa

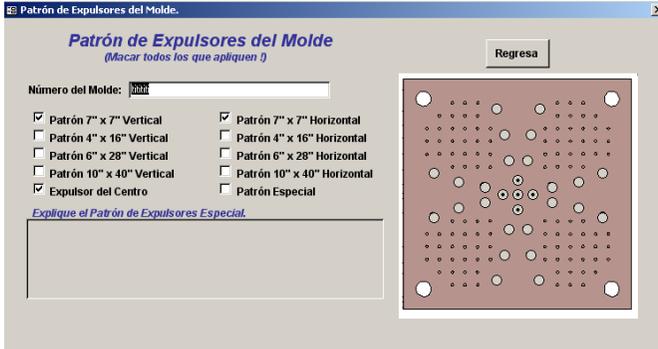
Además, verifique que el molde abre lo suficiente y se pueda hacer el desmolde de las piezas moldeadas.



VI-23. Apertura máxima de la prensa

Patrón de expulsores

Verifique que su máquina tenga disponible el patrón de expulsores requerido por el molde.



VI-24. Patrón de expulsores

Aunque la mayoría de estas verificaciones aparenten ser simples y obvias, haga su trabajo y verifique. Aquellos que han presenciado una transferencia de molde a una prensa equivocada entienden este consejo y, a los que no lo han presenciado, evítese el mal rato haciendo estos cálculos.

Preguntas

- 1) La fuerza de cierre debe ser
 - a. la fuerza máxima capaz de la prensa.
 - b. la fuerza de cierre requerida por el molde.
 - c. la capacidad máxima de la bomba hidráulica.

- 2) Existe un molde para 16 discos con un diámetro de 0.5 pulgadas. El área proyectada de cada disco es 0.2 pulg^2 . El área proyectada de la colada es 1 pulg^2 . El cálculo de pared fina (PF) nos da un valor de 50. El material es poliestireno con un factor de presión de 1.5 a 3 ton/pulg^2 .
 - 2a) ¿Cuál es el área proyectada total?
 - a. $16 \text{ cavidades} \times 0.2 = 3.2 \text{ pulg}^2$
 - b. $16 \text{ cavidades} \times 0.2 + 1 \text{ de la colada} = 4.2 \text{ pulg}^2$
 - c. 0.2 pulg^2
 - d. 1 pulg^2

 - 2b) De acuerdo con el cálculo de pared fina ($PF = 50$), el factor de poliestireno es
 - a. 1.5 ton/pulg^2 , ya que PF es menor de 100.
 - b. 3 ton/pulg^2 , ya que PF es mayor de 200.
 - c. 2.5 ton/pulg^2 , ya que PF está entre 100 y 200.

 - 2c) Para un factor de 1.5 ton/pulg^2 , la fuerza de cierre calculada es
 - a. $1.5 \times 4.2 \text{ pulg}^2 = 6.3 \text{ ton}$.
 - b. $3 \times 4.2 \text{ pulg}^2 = 12.6 \text{ ton}$.
 - c. 1.5 ton .

- 3) Fuerza excesiva de cierre estrangula la ventilación del molde. Esto puede ocasionar una combustión interna ya que los gases no encuentran por donde fugarse. Esto se resuelve
 - a. aumentando la fuerza de cierre.
 - b. agrandando las ventosas (“vents”).
 - c. limpiando las ventosas y aumentando la fuerza de cierre.
 - d. ajustando la prensa con la fuerza de cierre requerida y limpiando las ventosas.

Cálculos de la Unidad de Inyección

En esta sección se hablará de:

- tamaño de la unidad de inyección
- punta de la boquilla (“*nozzle tip*”) y el casquillo (“*sprue bushing*”)
- efecto fuente
- densidad y densidad específica
- velocidad de inyección y flujo de inyección
- utilización del barril
- posición de plastificación
- tiempo de residencia
- posición de transferencia
- perfil de temperaturas
- razón de intensificación
- rotulación de maquinaria

Tamaño de la unidad de inyección

El volumen de la unidad de inyección representa la cantidad máxima de material que es capaz de plastificar la unidad de inyección.



VI-25. Plastificación máxima

Es importante saber que la cantidad capaz de plastificación es mayor que la cantidad requerida por el molde, en general se dice qué:

La plastificación máxima > 30% adicional de la requerida por el molde

Ustedes se preguntarán por qué más de un 30% sobre lo requerido. Es por múltiples razones, como: para garantizar un colchón (“*cushion*”) después de la etapa de empaque, para compensar por la compresibilidad del fundido termoplástico, para compensar por el fundido que se retorna al otro lado de la anilla del barril de inyección, etc.

Los factores que determinan cuanto más grande debe ser el barril son:

- tiempo de plastificación disponible
- si el material es fácil o difícil de fundir
- si el material se degrada o resiste largos tiempos de residencia en el barril

La capacidad de la unidad de inyección se mide en volumen; no utilice unidades de masa. Si el tamaño de la unidad de inyección viene en unidad masa (ej: oz o g), debe saber que éste es generalmente basado en la densidad de poliestireno ($\rho = 0.94 \text{ g/cc}$ o 0.54 oz/pulg^3).

Notas:

- Cuando especifica una unidad de inyección, utilice valores de volumen, no utilice valores de masa.
- Durante sus cálculos procure conseguir la densidad específica del material fundido expuesto a la temperatura y presión de plastificación, y no la del material a temperatura y presión ambiental.

Ejemplo:

La densidad de un policarbonato, PC
= 0.95 g/cm^3 (fundido)
= 1.2 g/cm^3 (sólido)
= 1.04 g/cm^3 (plastificado)

Utilice la densidad de plastificación, la densidad del material fundido expuesto a las condiciones de la plastificación. Recuerde que los fundidos termoplásticos son compresibles. Algunos fabricantes de máquinas le llaman a esta densidad de plastificación “*discharge factor*”.

Ejemplo:

Un policarbonato con una densidad de plastificación de 1.04 gr/cm^3 llenará un molde con un peso total, piezas más colada, de 125 gr. De acuerdo con el fabricante del PC, la utilización del barril debe estar entre 45% a 60%. ¿Cuáles serían las especificaciones volumétricas del barril?

$$\begin{aligned} \text{Volumen de inyección requerido por el molde} &= \\ &= \frac{\text{peso}}{\text{densidad}} \\ &= (125 \text{ g}) / (1.04 \text{ g/cm}^3) = \mathbf{120.19 \text{ cm}^3} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Volumen de utilización a 45\%} &= 120.19 \text{ cm}^3 / 0.45 \\ &= \mathbf{267.09 \text{ cm}^3}\end{aligned}$$

El barril debe ser menor de 267.09 cm³.

$$\begin{aligned}\text{Volumen de utilización a 60\%} &= 120.19 \text{ cm}^3 / 0.6 \\ &= \mathbf{200.32 \text{ cm}^3}\end{aligned}$$

El barril debe ser mayor de 200.32 cm³.

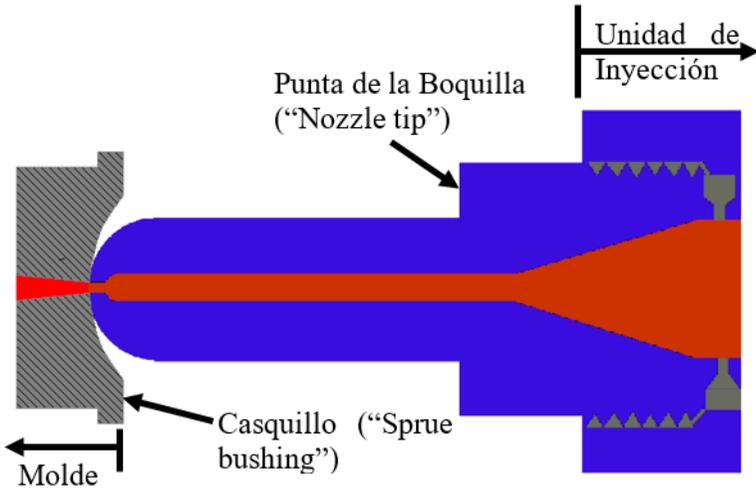
Entonces, para cumplir con el requerimiento de ese PC, el volumen de la unidad de inyección debería estar entre 200.32 cm³ y 267.09 cm³.

Es probable que no consiga la densidad del material bajo las condiciones de plastificación, y se vea obligado a utilizar una densidad genérica o a utilizar la densidad a temperatura y presión ambiente.

Recuerde que está trabajando con termoplásticos, materiales con propiedades que son función de tiempo, temperatura, y presión. Si a esto le agregamos el gran número de tipos de unidades de inyección, concluimos que aun con la densidad adecuada algún error en los cálculos existirá.

Punta de la boquilla (“*nozzle tip*”) y el casquillo (“*sprue bushing*”)

La punta de la boquilla está instalada en la unidad de inyección y el casquillo en el molde. La unidad de inyección genera la fuerza requerida para mantenerlas unidas y acopladas. Si se despegan durante el llenado del molde, el fundido se filtraría entre ellas. Como regla general, piense que la boquilla es parte del molde.



VI-26. La punta de la boquilla (“nozzle tip”) y el casquillo (“sprue bushing”)

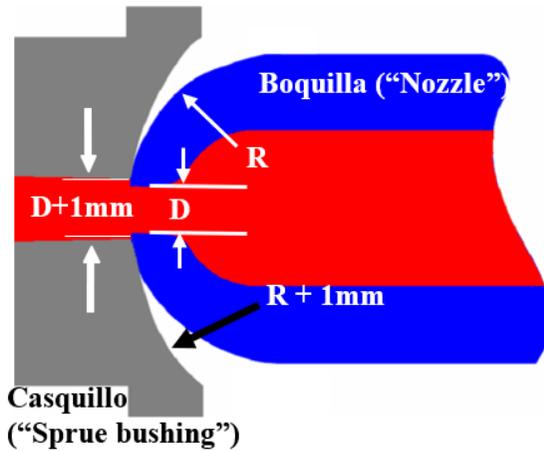
La punta de la boquilla es un importante componente, por esto debe ser el apropiado y mantenerse a una temperatura específica. Esta tiene efectos más significativos con materiales semi-cristalinos que con materiales amorfos.

Por ejemplo, con un material amorfo X, si la temperatura está 50°F sobre el valor requerido la boquilla podría crear el efecto babeo e hilos podrán ser vistos durante la expulsión del palo (“*sprue*”). Si la temperatura está 50°F por debajo del valor requerido, la boquilla podría taparse o crear pedazos fríos (“*cold slugs*”) que podrían migrar al molde.

Ahora con un material semi-cristalino Y, si la temperatura está solamente 5°F sobre el valor requerido la boquilla podría crear el efecto babeo e hilos podrán ser vistos durante la expulsión del palo (“*sprue*”). Si la temperatura está solamente 5°F por debajo del valor requerido, la boquilla podría taparse o crear pedazos fríos (“*cold slugs*”) que podrían migrar al molde.

Diámetro de los agujeros y radios de contacto

Fijémonos en el diámetro D y en el radio R de la punta de la boquilla en la ilustración.

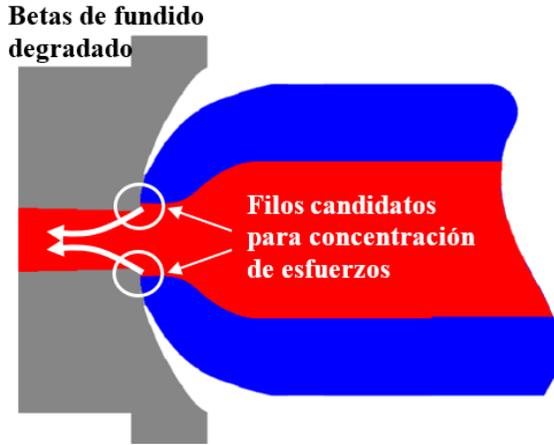


VI-27. Diámetros y radios de la punta de la boquilla y del casquillo

El diámetro del agujero del casquillo es 1 milímetro mayor que el diámetro D del agujero en la punta de la boquilla. El radio de contacto del casquillo es 1 milímetro mayor que el radio R en la punta de la boquilla.

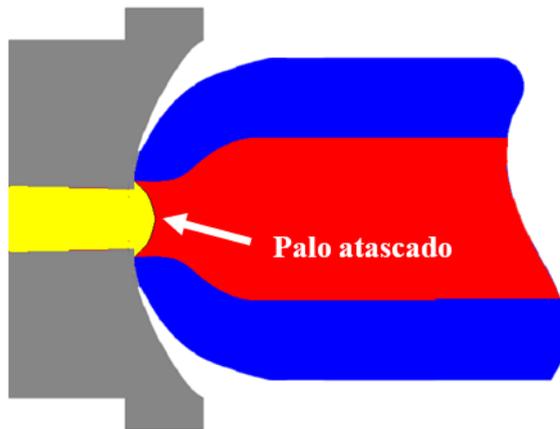
Antes de efectuar un laboratorio de *Moldeo UniversalTM* debe verificar que la punta de la boquilla es adecuada. Si está incorrecta, cámbiela antes de efectuar el laboratorio.

Imagínese qué sucedería si el diámetro del agujero de la boquilla es mayor que el del casquillo. Podrían suceder un par de defectos. Uno de ellos podría ser degradación del material a consecuencia de concentración de esfuerzo en los filos. Esa concentración en forma de fricción creará betas de fundido degradado que podrían terminar en las piezas moldeadas.



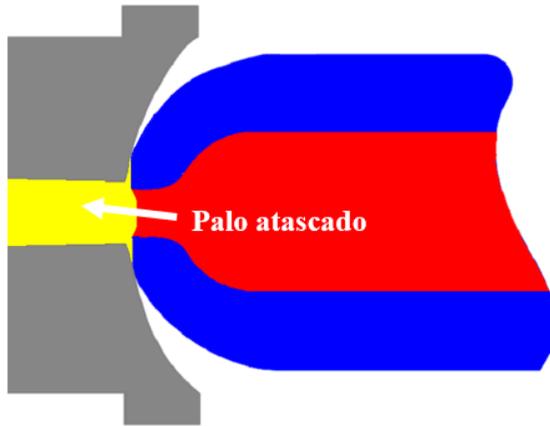
VI-28. Defecto causado por concentración de esfuerzo en los filos de la boquilla

Otro defecto visto en moldes con colada fría es que el palo (“*sprue*”) se quede atascado en la boquilla. Recuerde que el palo es parte de la colada y debe ser expulsado durante el desmolde. El plástico solidificado forma como la cabeza de un remache que se sostiene impidiendo la expulsión del palo.



VI-29. Defecto causado por un palo atascado en la boquilla

Ahora imagínese qué sucedería si el radio de la punta de la boquilla es mayor que el del casquillo. Podría suceder que el fundido se acumulará dentro de los espacios y podría ocasionar que el palo se atascara.



VI-30. Otro defecto causado por un palo atascado en la boquilla

No siempre que se queda el palo atascado es a consecuencia de inadecuado acoplamiento entre el casquillo y la boquilla. Aunque es muchas veces el caso, no es la única razón. Por ejemplo, a veces se queda atascado porque la superficie interior del casquillo fue pulida en la dirección perpendicular a la expulsión del palo. Si es ese el caso hable con el departamento de mantenimiento de moldes y verifiquen el acabado interior del casquillo.

Es por esto que preferimos decir que la punta de la boquilla (“*nozzle*”) es parte del molde, aunque se instale en la unidad de inyección. Algunas empresas, cuando remueven el molde para almacenamiento, también remueven la boquilla y la amarran al molde.

Programa de purgar la boquilla

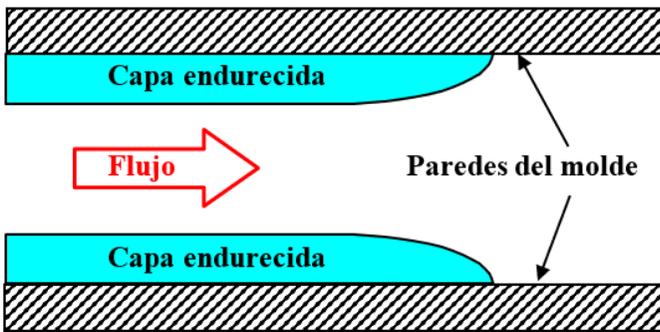
Algunos procesos requieren de programas especiales de limpieza de la boquilla. Esto es más visto en el moldeo de uniones para tubería en PVC rígida. Este material tiende a ser sensible al calor y se degrada con facilidad. Después de cada moldeo la unidad de inyección se retira, botando el poco de plástico que sobró en la boquilla.

Esto lo hace con el propósito de eliminar el material sobrante del ciclo anterior. Esta función se utilizaría con moldes de una sola cavidad, normalmente conectores grandes. Si el molde es de múltiples cavidades, el material degradado se quedará en la colada y no necesitará el programa.

Nunca comience un laboratorio de *Moldeo Universal™* sin antes instalar la combinación correcta de boquilla y casquillo.

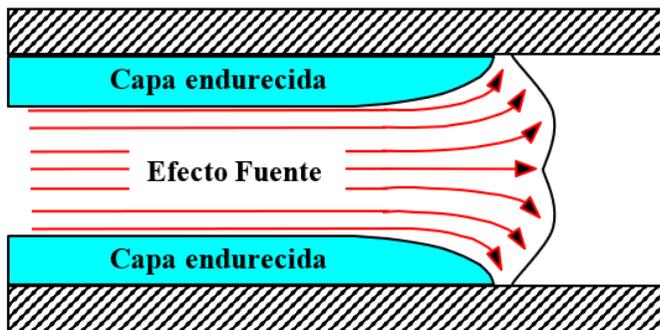
Efecto fuente

El efecto fuente describe el flujo de un fundido termoplástico. El fundido termoplástico es compresible, se opone al movimiento, y busca alojarse en la primera superficie estática que encuentra. Esa oposición al flujo es la responsable del efecto fuente. Imaginemos el flujo de un fundido entre las paredes de un molde. El fundido cerca al metal buscará agarrarse de él y del material ya estacionado sobre la superficie. Ese material sentado sobre el metal frío crea una capa de material endurecida.



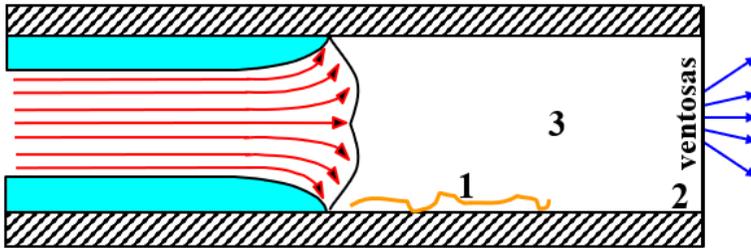
VI-31. El flujo de fundido termoplástico en un molde

La tendencia sería fluir por el centro en busca de la oportunidad de alojarse en la próxima superficie estática disponible. Es ese comportamiento el responsable del efecto fuente que se observará en el frente del flujo. Esto significa que el primer fundido que entra se queda al principio del molde.



VI-32. El efecto fuente

Ejemplo: un pedazo de servilleta húmeda es pegada sobre la superficie de la cavidad. La humedad es lo único que la sostiene. Una vez el molde cierra es llenado con un fundido en la dirección indicada.



VI-33. Ejemplo de efecto fuente utilizando un pedazo de servilleta

Después del llenado, ¿dónde terminará la servilleta de papel, posición 1, 2, o 3?

Se quedará perfectamente plana sobre la superficie donde se colocó (posición 1). Gracias a este efecto, existe la tecnología de etiquetado en el molde.

Densidad y densidad específica

$$\text{Densidad} = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}}$$

$$\text{Densidad específica} = \frac{\text{densidad del material}}{\text{densidad agua}}$$

donde la densidad del agua es **1 g/cm³** a temperatura y presión ambiental.

Al dividirlos se cancelan las unidades, así que si algún día encuentra una densidad específica sin unidades asuma que es en g/cm³. Si desea trabajar con otras unidades, consiga la densidad del agua con las unidades de preferencia y multiplíquela por la densidad específica.

Velocidad de inyección y flujo de inyección

Hoy día es común ver más moldeadores utilizando parámetros *Universales*. Se están prefiriendo ya que estos representan lo que el molde ve. Una cavidad representa un espacio o volumen definido y es llenada en

un tiempo ideal. Desde el punto de vista del molde, el tiempo de llenado es Universal y se debe mantener. El escenario donde se esté obligado a llenar una cavidad menos, esta fue bloqueada temporariamente por razones de mantenimiento. Aparte de tener que reducir el volumen del llenado, además tendría que manipular la velocidad de inyección para garantizar el mismo tiempo de inyección.

Hoy día es común ver máquinas nuevas provistas con parámetros *Universales* como flujo de inyección en vez de velocidad de inyección.

$$\text{Velocidad de inyección} = \frac{\text{distancia}}{\text{tiempo}}$$

$$\text{Flujo de inyección} = \frac{\text{volumen}}{\text{tiempo}}$$

El flujo (volumen/tiempo) es también *Universal*. La relación entre volumen de inyección, área y diámetro del tornillo es:

$$\text{Volumen inyección} = (\text{área del tornillo}) \times (\text{desplazamiento})$$

$$\text{Área del tornillo} = (\text{diámetro del tornillo})^2 * \pi/4$$

Sustituimos en la ecuación de flujo llegamos a:

$$\text{Flujo de inyección} =$$

$$\frac{(\text{diámetro del tornillo})^2 * \pi/4 * (\text{desplazamiento})}{\text{tiempo}}$$

o

$$= (\text{diámetro del tornillo})^2 * \pi/4 * (\text{velocidad de inyección})$$

Estas simples ecuaciones son usadas por los controladores de las máquinas para cambiar de parámetros de máquina a *Universales*. Si su máquina no es capaz de trabajar con parámetros *Universales*, utilice estas ecuaciones y haga usted mismo la determinación.

Utilización del barril

La utilización del barril (% U) es una comparación entre la capacidad máxima de la unidad de inyección y la capacidad requerida para llenar el molde.

$$\%U = \% \text{ de utilización}$$

$$\%U = \frac{(\text{volumen utilizado})}{(\text{volumen capaz del barril})} * 100\%$$

Donde:

volumen utilizado = la plastificación programada de acuerdo con lo requerido por el molde

volumen capaz del barril = lo máximo que puede plastificar el tornillo

Ejemplos:

Un barril con un tornillo de 35 mm, con un volumen de plastificación máximo de 134 cm³, necesita plastificar 62 cm³. Dado a que el control de la máquina no es Universal, ¿cuál sería su desplazamiento de plastificación?

Conociendo que:

$$\begin{aligned} \text{Área del tornillo} &= (\text{diámetro del tornillo})^2 * \pi/4 \\ &= (3.5 \text{ cm})^2 * \pi/4 = \mathbf{9.62 \text{ cm}^2} \end{aligned}$$

Además, sabiendo que:

$$\begin{aligned} \text{Volumen inyección} &= (\text{área del tornillo}) * \text{desplazamiento} \\ \text{Desplazamiento} &= (\text{volumen inyección}) / (\text{área del tornillo}) \end{aligned}$$

$$= (62 \text{ cm}^3) / (9.62 \text{ cm}^2) = \mathbf{6.44 \text{ cm} \text{ o } 64.4 \text{ mm}}$$

De acuerdo con este cálculo la plastificación debería desplazarse 64.4 mm (2.54 in).

¿Cuánto sería el porcentaje de utilización?

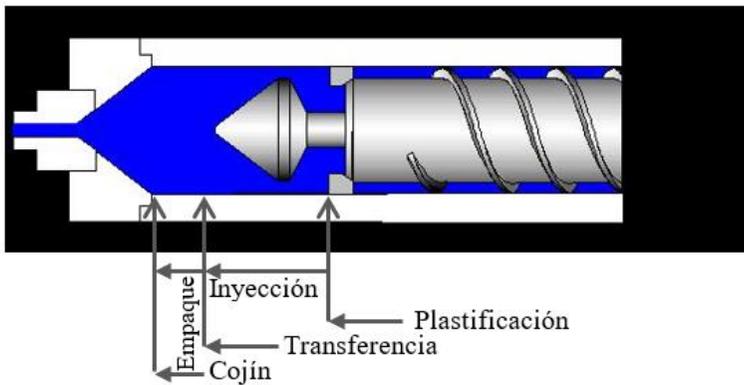
$$\%U = \frac{(\text{volumen utilizado})}{(\text{volumen capaz del barril})} * 100\%$$

$$\%U = \frac{62\text{cm}^3}{134\text{cm}^3} * 100\% = 46\%$$

De acuerdo con este cálculo, el porcentaje de utilización es igual a 46%.

¿Son estos cálculos de ajustes de plastificación confiables? Son una referencia ya que el ajuste final se verá afectado por la temperatura del fundido, la contrapresión, filtraciones en la anilla (“*check ring*”) y por el tiempo que le tome a la anilla accionar.

Repasemos:



VI-34. Posiciones del llenado

Durante la plastificación el tornillo gira forzando el fundido al frente de la anilla, empujando el tornillo atrás, y se detendrá cuando alcance la posición de plastificación deseada. Una vez la señal de permiso de inyectar llega, el tornillo inyectará rápidamente hasta la posición de transferencia. Después de la posición de transferencia se inicia la etapa de empaque, aquí el fundido es compactado hasta completar el llenado de todas las cavidades. La posición final del tornillo se le llama el colchón.

En la etapa de plastificación buscamos cargar el barril con un fundido homogéneo. Esta sucede, normalmente, durante la etapa de enfriamiento. Los parámetros de control son: el tiempo o velocidad de plastificación y la contrapresión. El tiempo de plastificación nunca excede el tiempo de enfriamiento; esto aplica a inyectoras no provista con una válvula de cierre en la boquilla.

La contrapresión se puede apreciar como una fuerza que se opone al movimiento libre del tornillo durante la plastificación. Con el aumento de contrapresión, aumenta la cantidad de masa. Aunque el volumen de plastificación sea el mismo, y dado a que el fundido es compresible, la cantidad de material aumentara. Además, aumenta el mezclado, la fricción, el tiempo de plastificación y la degradación del material.

La contrapresión tiene un significativo efecto en el fundido. Es por esto por lo que una vez se optimiza, no se debería cambiar.

Se recomienda que la contrapresión se mantenga lo más baja posible. Se aumenta únicamente cuando se requiera fundir más o se necesite mejorar el mezclado. Un ajuste de contrapresión inicial o de referencia es 750 psi (5 MPa) de presión plástica. Recuerde que la presión plástica es la presión que el fundido ve.

Una vez más, enfatizamos si se incrementa la contrapresión la cantidad de material plastificada aumentará también.

Posición de plastificación

La posición de plastificación es el lugar hasta donde debe cargar el tornillo para llenar el molde. Esta es el resultado combinado del cojín, desplazamiento del empaque, y desplazamiento de inyección. Además:

$$\text{Posición de plastificación} = \text{posición de transferencia} + \text{desplazamiento de inyección}$$

En esta ecuación el cojín se considera dentro de la posición de transferencia. Más adelante se hablará de la determinación de la posición de transferencia.

Combinando las ecuaciones de peso, densidad, y volumen resumimos:

$$\text{Desplazamiento de inyección} = \frac{1.27W}{\rho D^2}$$

$$\text{Posición de plastificación} = \text{posición de transferencia} + \frac{1.27W}{\rho D^2}$$

Donde:

ρ = densidad específica del fundido (gr/cm³)

W = peso de las partes con la colada (gr)

$D = \text{diámetro del tornillo de inyección (cm)}$

Este desplazamiento es la distancia entre la posición de plastificación y la posición de transferencia. Note que esta ecuación no considera que, durante la inyección, se llena alrededor de un 95% del molde. Este exceso se desprecia a consecuencia de que, durante la etapa de inyección, algún material siempre se cuela al otro lado de la anilla, ya sea durante el cierre de la anilla y a consecuencia de filtraciones entre la anilla y el barril.

Es imperativo entender claramente el efecto de la densidad del fundido durante la determinación de las posiciones. Durante el “moldeo desde el escritorio”, se establecen las posiciones iniciales del tornillo, las cuales probablemente cambiarán durante los laboratorios de optimización de proceso. El valor de densidad proporcionado por el proveedor de materia prima puede variar más del 20%, ya que los fundidos termoplásticos son compresibles y su densidad está influenciada por la presión y la temperatura del fundido. Durante la plastificación, parámetros como la contrapresión y las temperaturas en las zonas del barril afectan esta densidad. Además, la determinación de las posiciones de plastificación se complica si parte del fundido pasa al otro lado de la anilla (“*check ring*”) durante la inyección. Por esta razón, durante los laboratorios de optimización los moldeadores *Universales* determinan lo que nosotros llamamos la densidad de descarga y se corrigen estas posiciones.

Densidad de descarga

La densidad de descarga es más precisa para determinar las posiciones de plastificación, ya que considera varios factores:

- masa
- volumen
- temperatura del fundido
- contra presión
- fugas de fundido a través de la anilla (“*check ring*”) durante la inyección

Esta densidad se calcula en un proceso existente, midiendo el volumen inyectado y el peso total inyectado. El volumen inyectado se determina mediante la ecuación del cilindro:

$$\text{Volumen} = \text{área} \times \text{largo}$$

Donde:

$$\text{Area} = (\text{diámetro del tornillo})^2 * \pi/4$$
$$\text{Largo} = \text{posición de plastificación} - \text{posición del colchón}$$

Para obtener estos datos en un proceso existente:

- La posición de plastificación y la posición del colchón se pueden obtener navegando por las páginas del control.
- El peso de inyección se obtiene pesando las partes moldeadas más la colada (si existe).
- Finalmente, se calcula la densidad de descarga dividiendo la masa entre el volumen:

$$\text{Densidad de descarga} = \frac{\text{peso total de inyección}}{((\text{diámetro del tornillo})^2 \times \pi/4) \times (\text{posición de plastificación} - \text{posición del colchón})}$$

Si se sabe la densidad de descarga, la ecuación de desplazamiento de inyección se vería así:

$$\text{Desplazamiento de inyección}_{95} = 95\% \frac{1.27W}{\rho_d D^2}$$

$$\text{Posición de plastificación} = \text{posición de transferencia} + 95\% * \frac{1.27W}{\rho_d D^2}$$

Donde:

ρ_d = densidad de descarga (gr/cm³)

W = peso de las partes con la colada (gr)

D = diámetro del tornillo de inyección (cm)

Ejemplos:

Un proceso que desmolda 17.5 gramos (piezas más colada) con posiciones de plastificación de 50.3mm y de colchón de 4.5 mm y la unidad de inyección tiene un tornillo de 25 mm; ¿cuánto es la densidad de descarga y el desplazamiento de inyección₉₅?

Densidad de descarga (g/cm^3) =

$$\frac{\text{peso total de inyección}}{\left[D^2 \times \frac{\pi}{4}\right] \times [\text{Pos. de plastificación} - \text{Pos. del colchón}]}$$
$$= \frac{17.5 \text{ g}}{\left[(2.5\text{cm})^2 \times \frac{\pi}{4}\right] \times [5.03\text{cm} - 0.45\text{cm}]} = \mathbf{0.78 \text{ g}/\text{cm}^3}$$

$$\text{Desplazamiento de inyección}_{95} = 95\% \frac{1.27W}{\rho_d D^2}$$
$$= 0.95 \frac{1.27 \times 17.5 \text{ g}}{0.78 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times (2.5 \text{ cm})^2} = 4.33 \text{ cm} = \mathbf{43.3 \text{ mm}}$$

Note:

Si conoce la densidad de descarga, ρ_d , entonces;

$$\text{Posición de plastificación} = \text{posición de transferencia} + 95\% \frac{1.27W}{\rho_d D^2}$$

Ya que la densidad de descarga sí considera las filtraciones del fundido durante la inyección.

Velocidad de plastificación

La velocidad de plastificación es un parámetro que debemos determinar durante el moldeo desde el escritorio. Actualmente se puede ajustar de dos maneras:

1. revoluciones por minuto (rpm)
2. velocidad tangencial (mm/s), la cual representa la velocidad lineal del tornillo en su circunferencia.

La relación entre estas dos se define como:

Velocidad tangencial = rpm x circunferencia

Circunferencia = $3.1416 \times D$

D = diámetro del tornillo de inyección (mm)

Se debe ajustar la velocidad de plastificación para que la plastificación se complete antes del final del tiempo de enfriamiento esperado. Como norma general, la plastificación debe ocurrir en el 90% del tiempo total de enfriamiento. Sin embargo, esta velocidad debe determinarse

empíricamente durante el proceso, ya que la determinación de rpm o velocidad tangencial por sí solas no son suficientes para garantizar que la plastificación termine antes del enfriamiento.

Un enfoque más útil podría ser calcular el flujo de plastificación, que se refiere al volumen plastificado por unidad de tiempo. Si conocemos el volumen necesario para llenar la cavidad y el tiempo estimado de enfriamiento, podemos calcular el flujo requerido para completar la plastificación con un margen del 10% antes del enfriamiento, utilizando la siguiente fórmula:

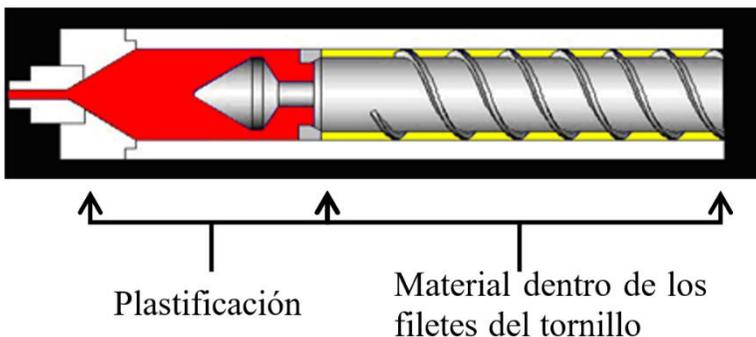
$$\text{Flujo de plastificación} = \frac{\text{volumen de plastificación}}{0.9 \times \text{tiempo de enfriamiento}}$$

Lamentablemente, numerosos fabricantes de equipos subestiman la importancia de este parámetro y no lo incorporan en los sistemas de control de sus máquinas.

Tiempo de residencia

El tiempo de residencia se define como el tiempo desde que el material entró a la unidad de inyección hasta ser inyectado al molde. En adición, si el molde posee coladas calientes se debe considerar el tiempo que el fundido reside en el “manifold”.

Otra definición es la del volumen de residencia, la cantidad de material máxima que reside dentro del barril. El volumen de residencia es un volumen mayor que el de la plastificación máxima, ya que este además considera el volumen de material situado entre los filetes del tornillo.



VI-35. Volumen de residencia

Para determinar el tiempo de residencia se debe calcular el volumen de material que reside en los filetes del tornillo, V_r . Determinar el volumen que existe entre la compleja geometría entre los filetes del tornillo podría ser complicado. Ahora, existe una simplificada manera de estimar V_r , asumiendo que es 40% mayor que la capacidad de plastificación máxima del tornillo, V_{max} .

$$V_r = V_{max} \times 1.4$$

Ejemplo:

¿Qué cantidad de material reside en los filetes del tornillo de un barril de 40mm con una capacidad máxima de inyección de 250.5 cc?

$$V_r = V_{max} \times 1.4 = 250.5 \text{ cc} \times 1.4 = \mathbf{350.7 \text{ cc}}$$

El tiempo de residencia T_r se mide en ciclos y se determina redondeando al próximo entero de:

$$T_r = 1.4V_{max}/V_{req}$$

Donde:

V_{max} = volumen máximo de inyección

V_{req} = volumen requerido por el molde

El resultado de la ecuación de T_r se redondea al próximo entero, ya que los decimales representan la fracción de fundido no inyectado que residirá un ciclo adicional y no una fracción del ciclo.

La unidad de tiempo es ciclos, ya que estamos moldeando desde el escritorio y descosemos la duración final del ciclo. Una vez se complete el molde y sepamos la duración del ciclo optimizado, lo podría convertir en segundos.

Otro método con igual resultado es utilizar el % de utilización (%U).

$$T_r = 140 / \%U \text{ redondeado al próximo entero}$$

$$\text{Donde: } \%U = [V_{requerido} / V_{max}]100\%$$

Ejemplo:

Un barril de 250.5cc se utiliza para moldear dos moldes. Uno requiere 150cc, el otro 35cc. ¿Cuál sería la residencia T_r para cada molde?

$T_r = 1.4V_{max}/V_{requerido}$	=	Próximo entero de T_r
$1.4(250.5) / 150$	2.3	= 3 ciclos
$1.4(250.5) / 35$	10.02	= 11 ciclos

VI-36. Tabla de residencia T_r (ejemplo)

O simplemente utilice la tabla a continuación.

%U	T_r (# ciclos)
1%	140
2%	70
3%	47
4%	35
5%	28
6%	24
7%	20
8%	18
9%	16
10%	14
11%	13
12%	12
13%	11
14% - 15%	10
16% - 17%	9
18% - 19%	8
20% - 23%	7
24% - 27%	6
28% - 34%	5
35% - 46%	4
47% - 69%	3
>70%	2

VI-37. Tabla de tiempo de residencia de acuerdo con el % de utilización

%U basado en el tipo industria	Min	Max
Moldeo General	10%	80%
Precisión	20%	65%
Aplicaciones Ópticas	20%	80%
Alta Velocidad	15%	40%
Reforzado con Fibras	20%	65%
PVC Rígido	20%	85%

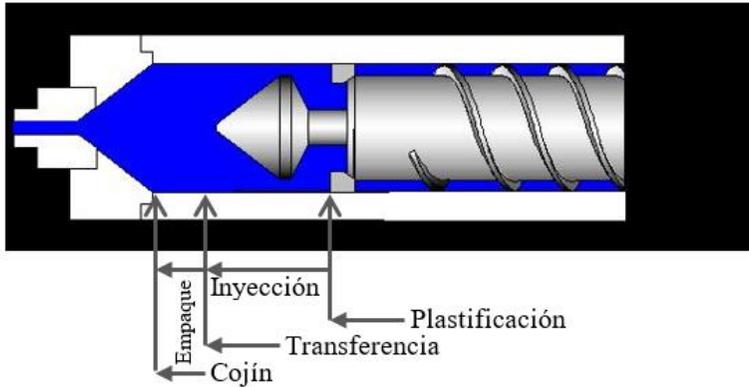
VI-38. Tabla de % de utilización de acuerdo con el tipo de industria

Ejemplos:

- La industria de alta velocidad típicamente tiene tiempos limitados de plastificación. Consecuentemente requerirá bajos %U (entre 15% a 40%), o lo que sería igual decir alta residencia del fundido (4 a 10 ciclos), de manera que el plástico tenga suficiente tiempo para fundirse.
- La industria de materiales sensitivos al calor, como algunos compuestos de PVC rígido, demanda del altos %U, o lo que sería igual decir bajos tiempos de residencia, para evitar degradación del material.
- Si el %U es muy bajo podría tener problemas controlando el colchón, ya que no tendría suficiente desplazamiento de inyección para cerrar la anilla (“*check valve*”) del tornillo.

Posición de transferencia

La posición de transferencia es la posición donde termina la inyección e inicia el empaque. Recuerde que la transferencia es una posición del tornillo que corresponde a cerca de un 95% del molde lleno de un fundido compresible.



VI-39. Posición de transferencia

Datos importantes:

- Si la posición de transferencia es muy prematura, el tornillo podría crear el efecto rebote.
- Si la posición de transferencia es muy tarde, el tornillo puede llegar hasta el fondo, o mejor dicho cero colchón, y podría crear piezas cortas.
- Quien detiene el tornillo después de la transferencia es el fundido en frente de la anilla.
- Desde el punto de vista del barril, cuando se alcanza la posición de transferencia el volumen de inyección está cerca del 95%. Ahora, desde el punto de vista del molde, el preciso instante cuando el tornillo alcanza la posición de transferencia el volumen ocupado dentro del molde es menos del inyectado. Recuerde que el fundido es compresible, y su expansión elástica es paulatina.

Después de examinar decenas de procesos, entrevistar múltiples moldeadores y revisar varios manuales de diversas máquinas de inyección, el criterio de determinación de la posición de transferencia se obtuvo por medio de experimentación.

Con máquinas menores de 400 toneladas métricas

% Utilización	35% ó menor	65% ó mayor	Entre 35% y 65%
Transferencia	6 mm (0.25 in)	12 mm (0.5 in)	Interpole

Con máquinas mayores de 400 toneladas métricas

% Utilización	35% ó menor	65% ó mayor	Entre 35% y 65%
Transferencia	12 mm (0.5 in)	25 mm (1.0 in)	Interpole

VI-40. Tablas con criterio para la posición de transferencia

Una vez obtenida la posición de transferencia, conviértala a volumen (unidad Universal);

$$\begin{aligned} \text{Volumen de transferencia} &= \\ & \text{posición transferencia} \times \text{área del tornillo} \\ &= \text{posición transferencia} \times (\text{diámetro tornillo}^2 \times 3.142 / 4) \end{aligned}$$

El cambio debe ocurrir de manera que la posición final del tornillo sea mayor de cero y menor que la posición de transferencia.

En el evento de un molde defectuoso requiera de una posición de transferencia distinta a la calculada:

- si la reparación es económicamente viable repare el molde, y
- si no lo es tendrá que hacer los cambios necesarios y documentar el cambio.

Ejemplos:

1. Un molde instalado en una prensa de 160 toneladas requiere un volumen de llenado de 120cc, y el barril es capaz de llenar 160cc.

$$\text{Porcentaje de utilización} = (120/160) \times 100\% = \mathbf{75\%}$$

Dado a que el porcentaje de utilización es mayor de 65% y la prensa es menor de 400 toneladas, la posición de transferencia calculada sería 12mm.

- Un molde utiliza 50% del barril en una prensa de 200 toneladas. Para obtener la posición de transferencia habría que interpolar entre 6 y 12mm.
- La posición de transferencia recomendada para un molde que utiliza 30% del barril sería 6 mm si la prensa es menor de 400 toneladas y 12 mm si es mayor de 400 toneladas.

Resumen

Las posiciones del tornillo se determinan:

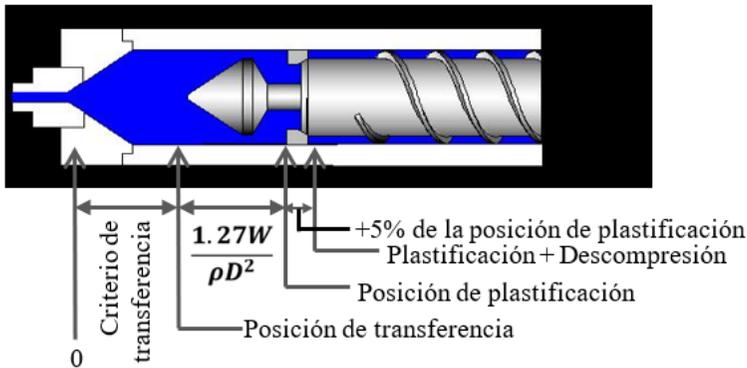
Posición de transferencia = utilice el criterio de %U

Posición de plastificación = posición de transferencia + $\frac{1.27W}{\rho D^2}$

o si conoce la densidad de descarga use:

Posición de plastificación = posición de transferencia + $0.95 \frac{1.27W}{\rho_d D^2}$

Plastificación + Descompresión = súmele 5% de la plastificación



VI-41. Posiciones del tornillo

Recuerde que está moldeando desde el escritorio, determinando valores que se verificarán una vez que se realice el laboratorio de **Universal Molding™**.

Perfiles de temperatura

Cuando hablamos de perfiles de temperatura nos referimos a las zonas de calor del barril. Las zonas de calor son frontal, central y trasera.



VI-42. Las zonas de calor del barril

Cada una de estas temperaturas mide la temperatura del acero.

El objetivo principal es determinar las temperaturas antes de iniciar la producción para garantizar una plastificación óptima y obtener la temperatura más significativa: la del fundido.

Los proveedores de resinas suelen recomendar los rangos de temperatura (límites alto y bajo) para cada zona del barril y del fundido.

Para establecer estas temperaturas, consideramos tres criterios:

1. Pared fina (*PF*):

La pared fina representa la dificultad del llenado. Se calcula como:

$$PF = (\text{trayecto del flujo más distante}) / (\text{pared más fina en ese trayecto})$$

2. % de Utilización (*%U*):

Compara la capacidad máxima del barril con la capacidad requerida para llenar el molde:

$$\%U = (\text{volumen utilizado} / \text{volumen capaz del barril}) \times 100\%$$

3. Duración del Ciclo:

Es el tiempo entre desmolde de piezas. Ciclos largos son comunes en procesos de sobre moldeo (“*over molding*”), donde el ciclo se extiende a consecuencia de la remoción de las partes moldeadas y la colocación de un nuevo inserto, extendiendo el tiempo de la residencia del fundido en el barril y la colada caliente.

El criterio más común es:

- Si $\%U \leq 35\%$, usar el límite inferior de cada zona.
- Si $\%U \geq 65\%$, usar el límite superior de cada zona.

- Si $35\% < \%U < 65\%$, interpolar entre los límites.

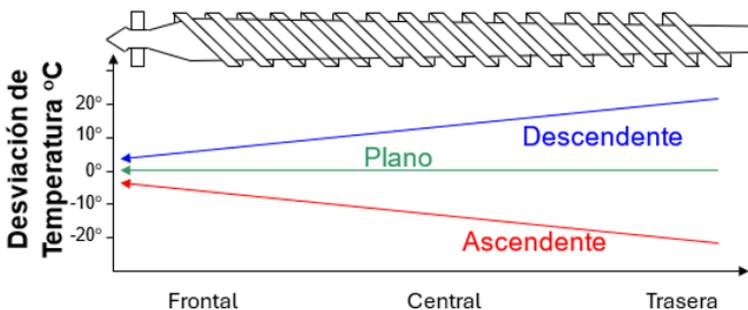
Es crucial recordar que la temperatura del fundido es la más significativa. Si $PF \leq 100$, la temperatura del fundido depende solamente del $\%U$. Si $PF \geq 200$, la temperatura del fundido se incrementa para compensar la dificultad del llenado. Si el ciclo se extiende debido a la remoción de piezas y la colocación de insertos, será necesario reducir la temperatura para corregir alta residencia del fundido.

Ejemplos:

- $\%U$ bajo ($\leq 35\%$): moldeo de tapas.
- Pared fina alta ($PF \geq 200$): moldeo de amarras (“*tie wraps*”), piezas delgadas y extremadamente largas.
- Ciclos largos: En el caso del moldeo de piezas con más de una resina, como los cepillos para dientes, donde el mango está hecho de poliestireno con secciones que contienen un elastómero, los ciclos pueden extenderse durante el cambio automático entre los diferentes componentes.

En conclusión, debemos ser cautelosos al determinar las temperaturas por zona del barril, priorizando siempre la temperatura del fundido.

El perfil de temperatura, por lo regular, lo recomienda el manufacturero del material. Existen tres perfiles de temperatura básicos: descendente, ascendente y plano.



VI-42. Perfil de temperaturas

La coordenada vertical corresponde a la desviación de la temperatura, mientras la coordenada horizontal corresponde a las zonas de calor.

Perfil ascendente - Las temperaturas son de bajas a altas, y es regularmente utilizado en situaciones donde el tiempo de residencia del plástico es extremadamente alto (% utilización menor de 30%), evitando calentamiento prematuro o extendido del material.

Perfil descendente – Las temperaturas son de altas a bajas, y es recomendado para materiales cargados de aditivos y materiales difíciles de fundir. Es también recomendado en operaciones donde el tiempo de residencia es pequeño, con un porcentaje de utilización mayor de un 65%.

Perfil plano – Aquí todas las temperaturas se ajustan igual. Este puede ser utilizado con materiales sin relleno o sin aditivos en donde la residencia del plástico es moderada.

Recuerde que esto es una referencia, consulte con su suplidor de resina el perfil más adecuado para su material. Otra fuente de información podría ser el suplidor del tornillo y barril. Por ejemplo, tornillos con barrera (“*barrier screws*”) son comúnmente utilizados con materiales altamente semi-cristalinos y se recomienda un perfil descendente.

Dado a la alta variedad en tipos y tamaños de tornillos, es típico que los fabricantes de resinas provean rangos de temperatura para cada zona de calor del barril.

Durante el proceso de moldeo desde el escritorio, predefinimos las temperaturas para cada zona de calor. Consideramos los factores mencionados anteriormente, así como las particularidades del material. Esto incluye aspectos como aditivos, sensibilidad a la fricción, dificultad para fundir y sensibilidad a altas residencias.

Importante:

- Los termopares en las zonas de temperatura del barril toman la lectura del acero.
- La temperatura más significativa es la temperatura del fundido.
- Corrobore las temperaturas con el suplidor de resina o el fabricante del tornillo y barril.

Procedimiento para medir la temperatura del fundido

1. Asegúrate de que el proceso haya operado normalmente durante al menos diez ciclos.

2. Precalienta el instrumento de mediación a 25°C por debajo de la temperatura deseada. Los “mini-blowers” digitales son una opción económica para precalentar.
3. Ajusta el instrumento para mantener la temperatura más alta registrada. Esto elimina la subjetividad al buscar la temperatura de estabilización del fundido.
4. Detén el proceso (por ejemplo, cambiando al modo semi-automático). Una vez que el molde se abre, retira la unidad de inyección y purga el material fundido. Puedes hacerlo sobre una superficie removible para facilitar el acceso.
5. Sumerge el instrumento en el fundido y agítelo. Cuando notes que la temperatura comienza a disminuir, retira el instrumento y anota la temperatura pico obtenida.

Nota:

- Utiliza equipos de seguridad como uniformes, guantes y gafas.
- Adapta este protocolo a tus procesos y asegúrate de que todos midan la temperatura del fundido de la misma manera.

La contrapresión (“back pressure”)

La contrapresión se aplica para contrarrestar el movimiento libre del tornillo durante la plastificación, generando así una presión adicional en el material fundido. Este incremento de presión se manifiesta como fricción, lo que a su vez produce calor. Como resultado, las bandas de calor tendrán menos demanda debido a que la fricción contribuye significativamente al calentamiento del material. Sin embargo, es crucial moderar la contrapresión ya que un exceso de fricción puede provocar la degradación térmica de la resina en ciertos materiales.

Es importante ser juicioso, un cambio futuro en contrapresión tiene múltiples consecuencias. Por ejemplo, cuando se aumenta:

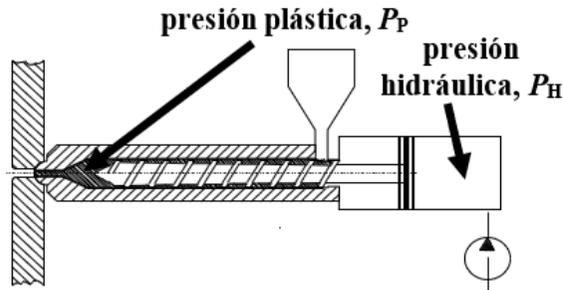
1. **Mejora en la mezcla:** Aumentar la contrapresión puede mejorar la homogeneización de los aditivos en el material fundido.
2. **Degradación y ruptura:** Materiales sensibles pueden degradarse y las fibras pueden romperse debido al aumento de la fricción y el calor.
3. **Desgaste del equipo:** El incremento en contrapresión puede acelerar el desgaste del tornillo y del barril.

4. **Contribución de calor:** Con más contrapresión, la fricción genera más calor, lo que puede reducir la necesidad de calor proveniente de las bandas calefactoras (“heater bands”).
5. **Aumento de masa fundida:** Los termoplásticos fundidos son compresibles; por lo tanto, un aumento en contrapresión permite plastificar más material en el mismo volumen. En otras palabras, se transferirá más material al molde durante la etapa de inyección.

Es crucial entender estos efectos, ya que los ajustes en la contrapresión pueden tener consecuencias significativas.

Razón de intensificación (R_i)

Es imperativo que se entienda la relación entre la presión hidráulica y la presión plástica. La presión plástica es intensificada a una razón de cerca de 10 veces la presión hidráulica.



VI-43. Razón de intensificación

La razón de intensificación (R_i) es la relación entre la presión hidráulica (P_H) y la presión plástica (P_P).

$$R_i = P_P / P_H$$

Otras definiciones son:

$$R_i = \frac{P_P}{P_H} = \frac{A_H}{A_P} = \frac{D_H^2}{D_P^2}$$

Donde:

A_H = área del pistón hidráulico

A_P = área del barril de inyección

D_H = diámetro del pistón hidráulico

D_P = diámetro del barril de inyección

Importante: antes de moldear, o hacer algún tipo de ajustes en la máquina de inyección, se debe efectuar los cálculos iniciales.

Rotulación de maquinaria

Rotule sus equipos con valores que representen las capacidades de sus equipos. Este concepto facilita el entendimiento y la utilización de su fábrica *Universal*.

Máquina moldeadora:

- fuerza de cierre máxima (US-ton, tonelada métrica, kN, ...)
- capacidad de la unidad de inyección (pulg³, cm³, litros, ...)
- apertura máxima (in, mm, cm, ...)
- apertura mínima (in, mm, cm, ...)
- espacio entre las barras, horizontal (in, mm, cm, ...)
- espacio entre las barras, vertical (in, mm, cm, ...)
- patrón de los expulsos en la platina (2x16in horizontal)

Secadora:

- flujo de aire (CFM, litros/min, m³/min, ...)
- volumen de tolva secadora (pies³, litros, M³, ...)

Circuladora de agua:

- flujo de agua (gpm @ psi, litros/min @ kPa, ...)

Preguntas

- 1) El agujero de la boquilla (“*nozzle*”) es
 - a. mayor que el diámetro del agujero del casquillo (“*sprue bushing*”).
 - b. menor que el diámetro del agujero del casquillo.
 - c. igual que el diámetro del agujero del casquillo.

- 2) El radio de contacto de la boquilla (“*nozzle*”) es
 - a. menor que el radio de contacto del casquillo (“*sprue bushing*”).
 - b. mayor que el radio de contacto del casquillo.
 - c. igual que el radio de contacto del casquillo.

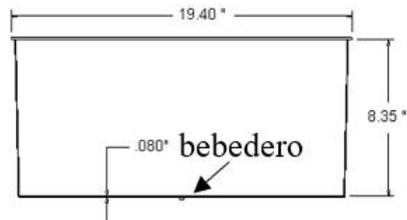
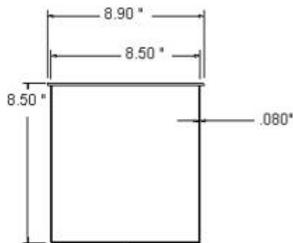
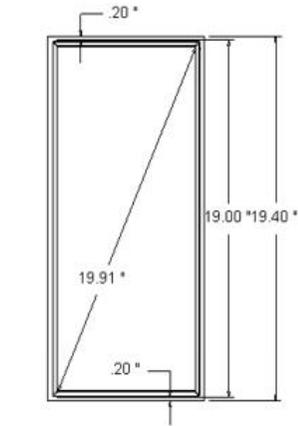
- 3) Un material que se degrada con facilidad se va a inyectar con un barril más grande de lo recomendado. Dado a que no hay una unidad de inyección más pequeña, ¿cuál sería el perfil recomendado?
 - a. ascendente
 - b. descendente o plano

- 4) Se sabe que un proceso rápido es aquel que es menor de 6 segundos. Para un proceso rápido con un material que no se degrada con facilidad, se recomienda
 - a. un perfil descendente o plano con un barril más grande de lo normal.
 - b. un perfil ascendente con un 70% de utilización del barril.
 - c. un perfil plano con un 70% de utilización.

- 5) ¿Cuál sería la posición del cambio, de inyección a empaque, recomendado para un molde que utiliza 50% del barril en una prensa de 150 toneladas?
 - a. Interpolando nos daría un número entre 6 y 12mm.
 - b. un número menor de 6mm
 - c. un número mayor de 12mm
 - d. 6mm

- 6) ¿Cuál sería la posición de transferencia a empaque recomendada para un molde que utiliza 30% del barril?
 - a. Interpolando nos daría un número entre 6 y 12mm.
 - b. si la prensa es menor de 400 toneladas métricas, 12mm
 - c. 6mm si la prensa es menor de 400 toneladas métricas, y 12mm si es mayor de 400 toneladas métricas
 - d. 6mm

- 7) ¿Cuál sería la posición del cambio recomendado para un molde que utiliza 50% del barril en una prensa de 150 toneladas?
- Interpolando nos daría un número entre 6 y 12mm.
 - un número menor de 6mm
 - un número mayor de 12mm
 - 6mm
- 8) Un ABS con densidad de 0.97 g/cc plastificado a 270°C y a 50 bar, llenará un molde con un peso total de 147 gr. De acuerdo con el fabricante del ABS, recomienda una utilización del barril de 40 a 60%. ¿Cuál sería el barril más apropiado?
- $147\text{gr}/(0.97\text{gr/cc})$
 - $147\text{gr}/(0.97\text{gr/cc}) \times 52\%$
 - $147\text{gr}/(0.97\text{gr/cc}) \times 40\%$
 - entre $147\text{gr}/(0.97\text{gr/cc})/60\%$ y $147\text{gr}/(0.97\text{gr/cc})/40\%$
- 9) En un moldeo desde el escritorio, una gaveta de nevera en poliestireno de alto impacto, de una sola cavidad con boquilla caliente (“*hot sprue bushing*”) con:
- peso del tiro total = 1100 gr
 - máquina de inyección es de 500 toneladas US con una unidad de inyección de 90mm (2480cm³)
 - material es poliestireno (PS) de alto impacto con una densidad del fundido de 0.92 gr/cc
 - factor de enfriamiento de PS = 50lb/h/ton de enfriamiento
 - ciclo total esperado = 50 segundos
 - tiempo de enfriamiento estimado = 15 segundos
 - datos de secado: 100% virgen
 - tiempo de secado = 2 horas a 190°F
 - densidad granel = 35lb/pies³
 - factor de flujo = 0.75 cfm/(lb/h)
 - factor de fuerza de cierre = de 1.5 a 2.5 USton/pulg²



- 9a. Determine el área proyectada en pulg^2 .
- 9b. Determine el valor de pared fina y el factor de fuerza.
- 9c. Determine la fuerza de cierre requerida.
- 9d. Determine el consumo total de material en lb/h .
- 9e. Determine el volumen requerido por la pieza en cm^3 .
- 9f. Determine el porcentaje de utilización del barril, $\%U$.
- 9g. Determine las toneladas de enfriamiento.
- 9h. Determine los gpm de agua requerida del *chiller*, asuma un Delta de 3°F .
- 9i. Determine la posición de transferencia.
- 9j. Determine la posición de plastificación.
- 9k. Recomiende una contrapresión plástica en psi .
- 9l. Recomiende una descompresión.
- 9m. ¿Cuál es la temperatura, en $^\circ\text{F}$, del fundido recomendada?
- 9n. Recomiende un perfil de temperaturas para las zonas de calor del barril.
- 9o. Determine el tiempo de residencia en ciclos y en segundos.
- 9p. Determine el volumen de la tolva secadora.
- 9q. Determine el flujo requerido de la secadora en cfm .

10) Un proceso desmolda con un peso total (piezas más colada) de 18 gramos, una posición de plastificación de 54.3mm, un colchón de 5mm, una transferencia de 6mm y una unidad de inyección con un tornillo de 25mm; ¿cuánto es la densidad de descarga (ρ_d), el desplazamiento de inyección₉₅ y la posición de plastificación?

$$a. \rho_d = \frac{18 \text{ g}}{\left[(2.5\text{cm})^2 \times \frac{\pi}{4}\right] \times [54.3\text{cm} - 0.5\text{cm}]}$$

$$\text{Desplazamiento de inyección}_{95} = \frac{1.27 \times 18\text{g}}{\rho_d \times (2.5 \text{ cm})^2}$$

$$\text{Posición de plastificación} = 6\text{mm} + 0.95 \times \text{desplazamiento de inyección}_{95}$$

$$b. \rho_d = \frac{18 \text{ g}}{\left[(2.5\text{cm})^2 \times \frac{\pi}{4}\right] \times [54.3\text{cm} - 0.5\text{cm}]}$$

$$\text{Desplazamiento de inyección}_{95} = 0.95 \times \rho_d$$

$$\text{Posición de plastificación} = 6\text{mm} + 0.95 \times \rho_d$$

$$c. \rho_d = \frac{18 \text{ g}}{\left[(2.5\text{cm})^2 \times \frac{\pi}{4}\right] \times [54.3\text{cm} - 0.5\text{cm}]}$$

$$\text{Desplazamiento de inyección}_{95} = 0.95 \frac{1.27 \times 18\text{g}}{\rho_d \times (2.5 \text{ cm})^2}$$

$$\text{Posición de plastificación} = 6\text{mm} + \text{desplazamiento de inyección}_{95}$$