

IV. Morfología de Plásticos

- **Tipos de Plásticos**
- **Propiedades Mecánicas**
- **Materiales Comunes y Sus Características**
- **Algunos Experimentos**

Tipos de Plásticos

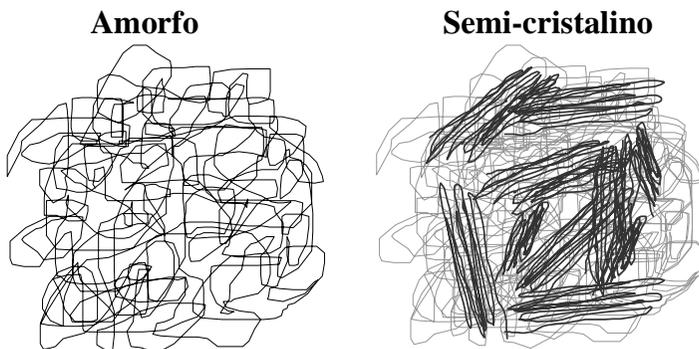
Básicamente existen dos tipos de plásticos, termoestables y termoplásticos.

Los materiales termoestables son materiales que pueden ser moldeados una sola vez. El moldeo por inyección de los termoestables es algo distinto al moldeo de los termoplásticos. Por lo tanto, *Moldeo UniversalTM* para termoestables, tales como silicón líquido, compuestos de poliéster (BMC), epoxi, caucho, melamina, etc., no se discutirán en este texto.

Los materiales termoplásticos son materiales que pueden ser fundidos varias veces, y consecuentemente pueden ser triturados y moldeados múltiples veces. Su organización molecular se denomina en dos grupos, amorfos y semi-cristalinos.

Materiales amorfos son termoplásticos que no ofrecen ningún tipo de organización molecular; en otras palabras, sus moléculas están totalmente al azar, como espaguetis.

Materiales semi-cristalinos son la combinación de segmentos organizados (cristales) rodeados por segmentos desorganizados (amorfo).

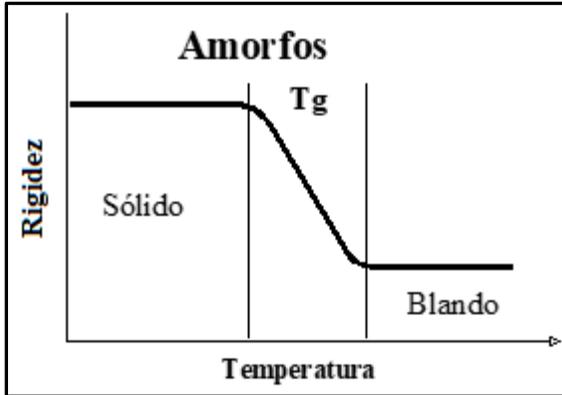


IV-1. Ilustración representando organización de moléculas amorfas y semi-cristalinas

La estructura molecular de los semi-cristalinos incluye grupos organizados con algún tipo de orientación, conocidos como cristales. Estos cristales están rodeados por una estructura de moléculas desorganizadas (amorfa). Esta organización parcial o mezcla entre amorfo y cristales le da el nombre de semi-cristalino.

Propiedades Mecánicas

La orientación molecular trae consigo propiedades mecánicas que afectan el proceso de moldeo por inyección. Las características mecánicas de estos materiales se pueden ilustrar con una gráfica de rigidez contra temperatura. Fíjese en la gráfica a continuación.

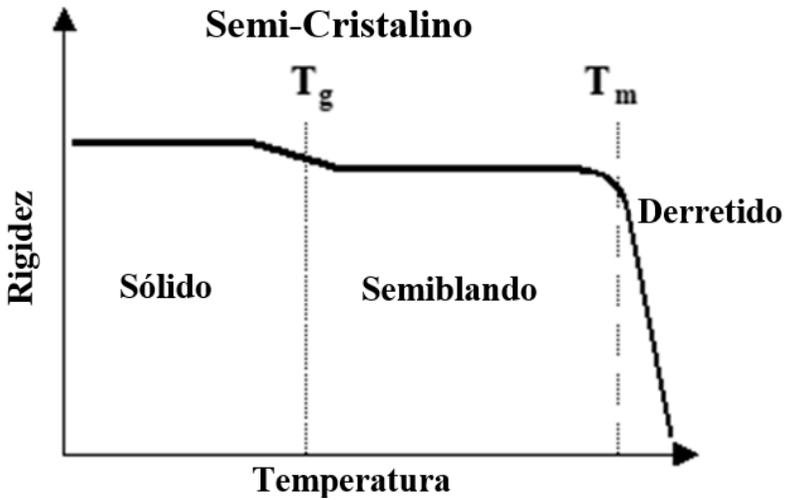


IV-2. Gráfica ilustrativa de rigidez contra temperatura en materiales amorfos

La coordenada vertical indica la rigidez, donde el origen representa un material blando o fundido y su incremento representa aumento en rigidez. La coordenada horizontal indica la temperatura del material, donde el origen representa un material a temperatura ambiental y su incremento representa aumento en temperatura.

El perfil de la gráfica de los materiales amorfos mostrará que a ciertas temperaturas bajas el material se mantendrá en un estado sólido. Con el aumento de temperatura el material alcanzará una temperatura vítrea T_g . Después de esta temperatura vítrea, el material entrará en una zona de transición que se conoce como la zona de transición vítrea, donde gradualmente perderá su rigidez. Si se continúa aumentando la temperatura se obtendrá un material totalmente blando. Piense en un fundido elástico o gomoso; no es un líquido. Es en este estado blando donde se inyectan los materiales amorfos.

La gráfica de los materiales semi-cristalinos ofrece un panorama distinto.



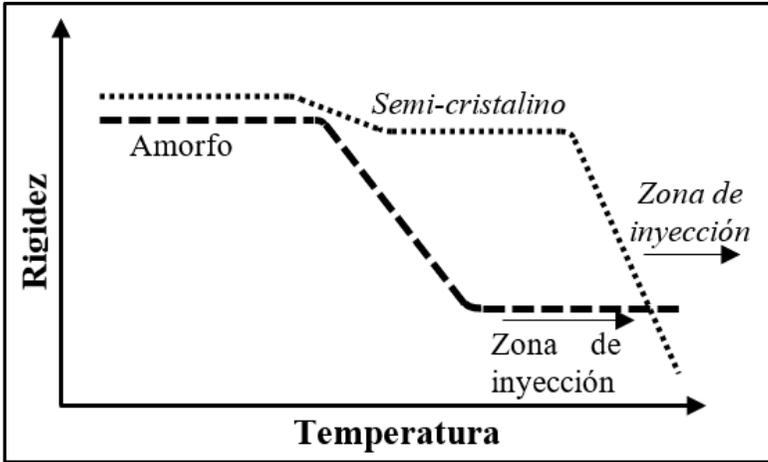
IV-3. Gráfica ilustrativa de rigidez contra temperatura en materiales semi-cristalinos

El perfil de la gráfica de los materiales semi-cristalinos mostrará que, igual a los polímeros amorfos, el material se mantendrá en un estado sólido a ciertas temperaturas bajas, y llega a una zona vítrea a una temperatura T_g con aumento en temperatura. Con los semi-cristalinos, la zona vítrea es insignificante y corresponde a la parte amorfa del material. Cuando se habla de materiales semi-cristalinos, no es común utilizar el término T_g .

Si se continúa aumentando la temperatura más allá de la zona vítrea, el material perderá algo de rigidez. Aun así, continuará estando sólido.

Si se continúa aumentando la temperatura, se alcanzará la temperatura de fundido (o derretido) T_m . A temperaturas mayores de T_m los materiales semi-cristalinos se derretirán. Después de T_m se obtiene un material líquido, y por esto se dice que los materiales semi-cristalinos se derriten y no se ablandan como los amorfos. Es después de T_m donde se inyectan los materiales semi-cristalinos.

Note que los materiales semi-cristalinos no gozan de una zona de inyección amplia como los amorfos; esto los hace más difíciles de fundir. Los semi-cristalinos retornan de fundido a sólido más repentinamente que los amorfos.



IV-4. Gráficas sobrepuestas de rigidez contra temperatura de materiales semi-cristalinos y amorfos

Una vez ha identificado el tipo de material, haga los ajustes del proceso de moldeo por inyección, considerando que los amorfos se ablandan y los semi-cristalinos se derriten.

Materiales Comunes y Sus Características

Amorfos	Semi-cristalinos
ABS	PA (nilón)
Poliestireno	Acetato
Acrílico	Polietileno
PVC	Poliéster
Policarbonato	Polipropileno

IV-5. Materiales amorfos y semi-cristalinos comunes

Los semi-cristalinos son opacos solamente en su estado sólido, ya que en su estado fundido los cristales se desorganizan como un amorfo y sí permiten el paso de la luz. Si algún día tiene la oportunidad de observar una purga de un fundido semi-cristalino, por ejemplo, polietileno sin

aditivos, podrá apreciar cómo cambia de traslúcido a opaco según se enfría y solidifica.

No todo material fundido tiene morfología amorfa, existen materiales que en su estado líquido forman cristales. A estos les llaman *polímeros con cristales líquidos*.

La formación de cristales en los materiales semi-cristalinos pueden ser controladas con el ajuste del proceso. En otras palabras, usted como moldeador puede controlar la cantidad de cristales durante la etapa de enfriamiento. El poder controlar la cantidad de cristales con ajustes en el proceso del moldeo es una oportunidad. Por ejemplo:

- Con el objetivo de maximizar la claridad en la fabricación de preformas de PET, que luego serán estiradas para formar botellas, se busca reducir la formación de cristales al máximo. Si algún día tiene la oportunidad de ver resina de PET verá que es totalmente blanca y opaca, ya que está cristalizada al máximo. Recuerde que los cristales bloquean el paso de la luz. Es por esto que durante el enfriamiento se les da un choque termal, molde súper frío, con el objetivo de detener la formación de cristales.
- La soldadura ultrasónica de termoplásticos puede ser atenuada por la estructura cristalina. Es esta otra razón por la que algunos moldeadores controlan la formación de cristales.
- Cuando se necesita controlar propiedades mecánicas como la flexibilidad y tenacidad en productos moldeados con resinas semi-cristalinas, como las amarras de nailon para atar cables (“*tie wraps*”), es importante considerar la estructura cristalina del material. Esta estructura cristalina tiende a hacer que el material sea más rígido e inflexible. Por esta razón, algunos moldeadores implementan estrategias para controlar la formación de cristales durante el proceso de moldeo.

Conozca el tipo de material antes de intentar moldear un producto, e identifique las propiedades mecánicas que más afectan su producto.

Recuerde que la presión de empaque y la temperatura de enfriamiento se combinan, afectando las dimensiones del producto moldeado. La temperatura de enfriamiento tiene un efecto en las dimensiones térmicas, y la presión de empaque tiene un efecto en las dimensiones de masa.

Inclusive la temperatura y la presión podrían crear un efecto combinado; es donde la temperatura y la presión coinciden, dentro de un rango, creando un efecto particular en las dimensiones. Aunque la contribución combinada es difícil de visualizar, existe. Por ejemplo, el tiempo de endurecimiento de bebederos corresponde a la etapa de empaque y podría verse afectado por la temperatura del molde, un parámetro de la etapa de enfriamiento.

Amorfos	Semi-cristalinos
<p><u>Se ablandan</u> Cuando se inyecta un fundido amorfo se hace con un fluido pastoso o gomoso. Una purga de este fundido se amontonaría como una pasta con poca intención de fluir.</p>	<p><u>Se derriten</u> Cuando se inyecta un fundido semi-cristalino se hace con un fluido líquido. O sea, una purga de este fundido chorrearía como un líquido.</p>
<p><u>Son menos resistentes a ataques químicos</u> Cuando los amorfos se exponen a químicos como solventes se podrían descomponer. Aun cuando el policarbonato es utilizado para vidrios blindados, un envase de policarbonato se descompondría si se llena de gasolina.</p>	<p><u>Son más resistentes a los ataques químicos</u> Los semi-cristalinos tienen mejor resistencia a solventes. Por ejemplo, un envase de HDPE podría almacenar gasolina.</p>
<p><u>Transparentes</u> Los materiales amorfos, fundidos o sólidos y sin aditivos son traslucidos o claros. Nota: Cuidado con confundir la propiedad “claridad del material” con el término “morfología cristalina”.</p>	<p><u>Opacos</u> Los materiales semi-cristalinos en su estado sólido tienen segmentos organizados (cristales), que reflexionan el paso de la luz y por esto son opacos.</p>
<p><u>Bajo encogimiento</u> Los amorfos encogen menos ya que las moléculas desorganizadas ocupan más espacio. Nota: Se dice que las dimensiones de masa son más significativas con los materiales amorfos.</p>	<p><u>Alto encogimiento</u> Los cristales en los semi-cristalinos son grupos de moléculas organizadas que tienden a ocupar menos espacio. Por esto encogen más durante el enfriamiento y la formación de cristales. Nota: Se dice que las dimensiones térmicas son más significativas con los materiales semi-cristalinos.</p>

IV-6. Listado con características mecánicas de materiales amorfos y semi-cristalinos.

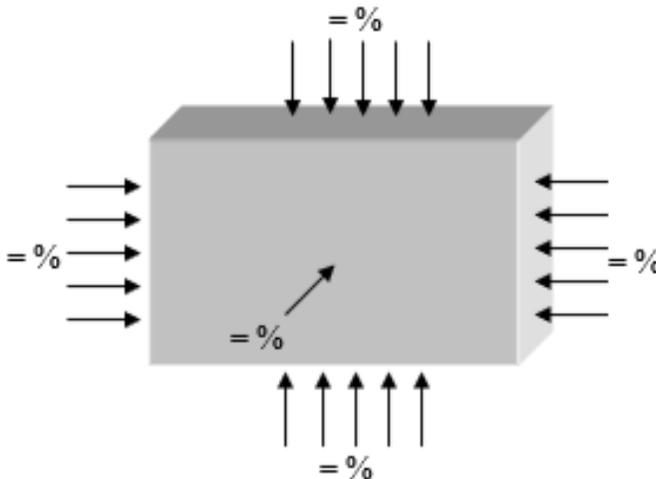
La contribución a la dimensión de cada una de estas características dependerá del tipo de material. Por esto, entienda sus materiales antes de tratar de corregir dimensiones o cualquier atributo.

Amorfos	Semi-cristalinos
Problemas de sobre empaque dado a que tienen bajo encogimiento	Problemas de empaque incompleto dado a que tiene alto encogimiento
Problemas con rebaba (“flash”) a consecuencia de sobre empaque	Hundimientos a consecuencia del alto encogimiento
Rotura de piezas durante el desmolde, ya que encogen poco y se agarran más a la cavidad	Fácil desmolde, ya que el encogimiento ayuda a que las piezas se separen de las paredes de la cavidad

IV-7. Listado de características del proceso con materiales amorfos y semi-cristalinos

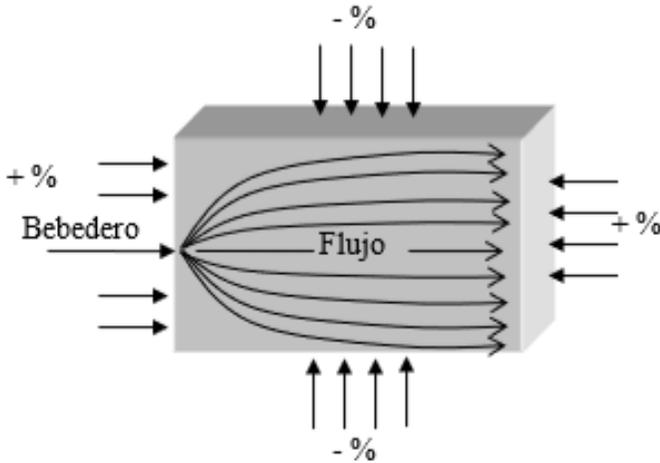
Encogimiento

Los materiales amorfos, para efectos prácticos, encogen proporcionalmente igual en todas sus direcciones.



IV-8. El encogimiento de materiales amorfos

Los materiales semi-cristalinos encogen más en la dirección del flujo de inyección que en la dirección transversal al flujo de inyección.



IV-9. El encogimiento de materiales semi-cristalinos

Durante la inyección las cadenas poliméricas se orientan en la dirección del flujo y son forzadas a mantener algo de orientación, inclusive de cristales, una vez solidificadas. Durante el encogimiento estas moléculas buscan conformarse en una posición menos incómoda, y es por esto por lo que el encogimiento será mayor en la dirección del flujo.

Cuando un semi-cristalino es reforzado con fibras de vidrio su encogimiento será inverso, menor en la dirección del flujo de inyección que en la dirección transversal al flujo. Esto es a consecuencia de que las fibras se orientarán en la dirección del flujo y durante el encogimiento las fibras se comportarán como varillas de acero en el hormigón y se opondrán al encogimiento en la dirección de su orientación.

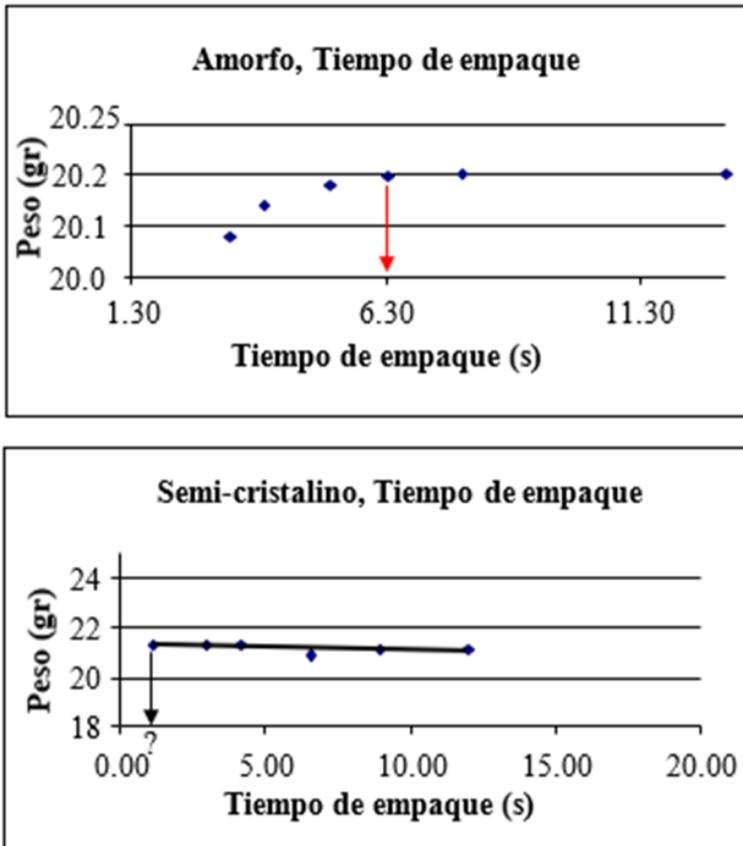
Algunos Experimentos

Veamos alguna experimentación efectuada por estudiantes de *Moldeo UniversalTM*.

Experimento #1:

Con un mismo molde, máquina de inyección, y equipos auxiliares se experimentó el efecto en el tiempo de endurecimiento de los bebederos. Se

examinaron dos materiales, uno amorfo (poliestireno) y el otro semi-cristalino (nilón).



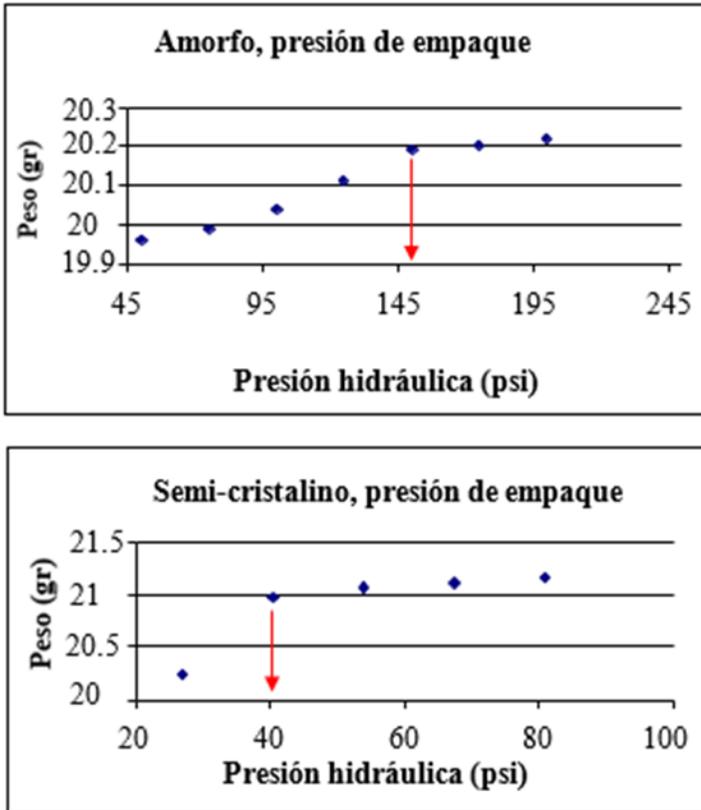
IV-10. Efecto del tiempo de endurecimiento de los bebederos en materiales amorfos y semi-cristalinos

Las gráficas de peso de piezas contra tiempo de empaque revelan que el material amorfo solidificó los bebederos cerca de 6 segundos, y consecuentemente el peso dejó de aumentar. Con el material semi-cristalino los estudiantes detuvieron el ejercicio en 1 segundo de empaque y el bebedero se mantuvo sólido, revelando que la solidificación del bebedero sucederá en menor tiempo con el material semi-cristalino.

Esto es de esperarse ya que los semi-cristalinos cambian de sólido a líquido y viceversa repentinamente, contrario a los amorfos que permanecen en estado pastoso en un amplio margen de temperatura.

Experimento #2:

Con el mismo molde, máquina de inyección, y equipos auxiliares se experimentó el efecto de la presión de empaque en el peso de las piezas. Se examinaron dos materiales, uno amorfo (poliestireno) y el otro semi-cristalino (nilón).



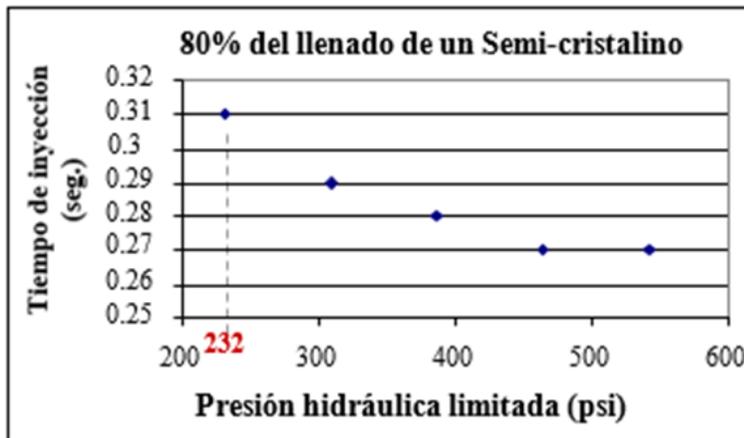
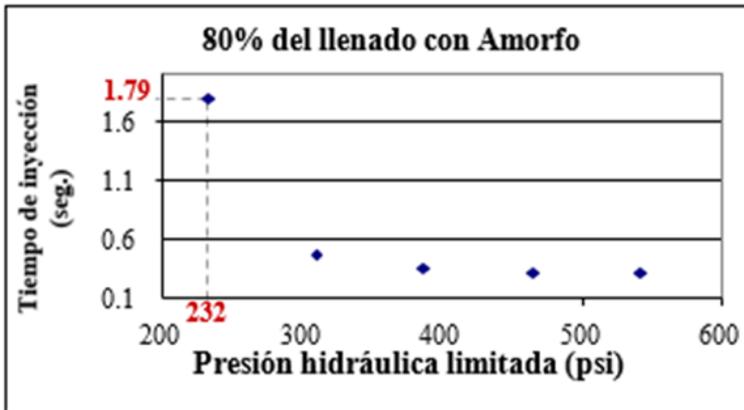
IV-11. Efecto del empaque en el peso de las piezas en materiales amorfos y semi-cristalinos

El material amorfo reveló que el peso de las piezas dejó de incrementar significativamente después de una presión de empaque de cerca de 150 psi. El semi-cristalino mostró que el peso de las piezas dejó de aumentar significativamente a una presión de empaque de cerca de 40 psi.

Este diferencial en las presiones de empaque se podría atribuir a que el fundido amorfo es pastoso y no líquido como el semi-cristalino, o al rápido endurecimiento de los bebederos de los semi-cristalinos.

Experimento 3:

Con el mismo molde, máquina de inyección, y equipos auxiliares se experimentó el efecto de la presión de llenado en el tiempo de llenado de un 80% del molde. Se examinaron dos materiales, uno amorfo (poliestireno) y el otro semi-cristalino (nilón).



IV-12. Efecto de la presión de inyección en el tiempo de inyección en materiales amorfos y semi-cristalinos

El material semi-cristalino, al ser más líquido, requirió menores presiones. Por ejemplo, a una presión limitada de 232 psi, el tiempo de llenado del semi-cristalino fue 0.31 segundos comparado con 1.79 segundos con el amorfo.

Preguntas

- 1) ¿Cuánto es el número de veces que se puede derretir un termoestable ya moldeado?
 - a. Una vez, ya que fue moldeado una vez.
 - b. Ninguna, ya que fue moldeado una vez.
 - c. 4 a 7 veces.
 - d. Depende del tipo de termoestable.

- 2) En la etapa de plastificación
 - a. los amorfos se derriten.
 - b. los semi-cristalinos se ablandan.
 - c. los semi-cristalinos se derriten y los amorfos se ablandan.

- 3) En el ensamble por ultrasonido de piezas semi-cristalinas buscamos reducir los cristales. Por eso,
 - a. calentamos el molde para reducir los cristales.
 - b. enfriamos el molde para aumentar los cristales.
 - c. congelamos las moléculas lo más pronto posible, reduciendo la formación de cristales.

- 4) Una pieza se arquea después de desmoldada. Se sabe que, con temperaturas distintas de caras del molde, se elimina el doblado.



La solución es

- a. poner la temperatura del lado 1 mayor al lado 2.
 - b. poner la temperatura del lado 2 mayor al lado 1.
 - c. poner ambas temperaturas iguales.
-
- 5) Con un material amorfo controlamos el encogimiento
 - a. aumentando la temperatura de molde conseguimos paredes más gruesas.

- b. calentando el molde detenemos el encogimiento.
 - c. considerando que moldes calientes nos dan más encogimiento y moldes fríos menos encogimiento.
 - d. Ninguna de las anteriores. Los materiales amorfos no encogen.
- 6) El encogimiento de materiales semi-cristalinos
- a. es igual en todas las direcciones.
 - b. es menor en la dirección del flujo.
 - c. es mayor en la dirección del flujo siempre y cuando no esté reforzado con fibras de vidrio.
- 7) Dado a que el encogimiento de los amorfos es menor que los semi-cristalinos,
- a. los amorfos dan mayor problema de hundimientos.
 - b. los semi-cristalinos dan mayor problema de desmolde.
 - c. los semi-cristalinos dan más problemas de hundimiento que los amorfos.