

Moldeo Universal™

Método Sistemático de Optimización de Moldeo por Inyección

Héctor Dilán
h_dilan@outlook.com

Héctor Dilán cuidadosamente preparó este libro y entiende que está correcto. El libro y la disciplina de ***Moldeo UniversalTM*** son una guía general sin garantía alguna. Héctor Dilán no da garantías y no se hace responsable por daños, perdidas y accidentes como consecuencia del uso de esta disciplina y el contenido del libro.

La reproducción de cualquier parte de este libro sin la autorización del autor está prohibida.

*Héctor Dilán carefully prepared this book, and it is believed to be correct. The book and the ***Universal MoldingTM*** discipline provide general guidance with no warranties of any kind. Hector Dilan makes no warranties and disclaims any responsibility or liability of any kind for any loss or damage as a consequence of the use of or reliance upon such information.*

Any reproduction of any part of this book without the written permission of Héctor Dilán is prohibited.

Edición 5
Copyright Héctor Dilán, 2024

Dedicatoria

Le dedico este libro a mi esposa, Susan, por ser el pilar que fortalece cada día de mi vida, por ayudarme con la edición y por prestarme nuestro tiempo familiar para la escritura del mismo.

Agradecimiento

Este libro fue escrito gracias a la motivación de amigos de la industria del plástico. Algunos de estos amigos y colaboradores son: Luis de Jesús, Carlos López, Iván Baigés, Gregorio Vélez, Runny Hernández, William Torres, Wally Cruz y Félix Colón. Amigos, gracias por la colaboración y por compartir sus conocimientos conmigo.

Tabla de Contenido

Figuras	8
Prefacio	13
Prólogo.....	14
I. Introducción.....	15
¿Qué es Moldeo Universal TM ?.....	16
Fundamentos del Proceso de Inyección	18
II. Parámetros del Proceso de Inyección.....	27
Parámetros de Máquina y Universales	28
Parámetros de Inyección	29
Parámetros de Transferencia.....	30
Parámetros de Empaque (“Hold”)......	31
Endurecimiento de Bebederos.....	32
Parámetros de Enfriamiento	34
Parámetros de Plastificación	35
Movimientos de la Prensa	38
Preguntas	40
III. Gráficas del Proceso.....	43
Moldeo con Gráficas	44
Diagramas PVT.....	54
Preguntas	56
IV. Morfología de Plásticos	58
Tipos de Plásticos	59
Propiedades Mecánicas	60
Materiales Comunes y Sus Características.....	62
Encogimiento	65
Algunos Experimentos	66
Preguntas	70
V. Equipos Auxiliares	72
Secado de Materiales	73
Aire extremadamente seco	74
Temperatura de secado.....	74
Flujo de secado.....	75
Tiempo de secado.....	76
Componentes del equipo de secado.....	76
Tolva secadora	77
Tamaño de la tolva secadora	78
Tiempo de secado	79
Densidad granel.....	79
Cargador de resina.....	81
Secadora	81
El filtro	82
Bomba (“blower”).	82
Recámara secante	83
Resistencia de calor.....	84

Regeneración.....	85
Configuración de sistemas de secado.....	87
Preguntas.....	96
Dosificación y Manejo de Materiales	100
Centro de mezclado.....	106
Preguntas.....	107
Control de Temperatura de Agua al Molde.....	108
Consumo de Material	108
Calor removido	109
Flujo de agua.....	111
Tiempo de Enfriamiento Estimado	116
Control de Temperaturas (TCU)	118
TCU con enfriamiento directo	119
TCU con enfriamiento y calentamiento directo	120
Preguntas	125
VI. Moldeo Desde el Escritorio.....	126
Cálculos de la Prensa	127
Fundamentos de la fuerza de cierre.....	128
Área Proyectada	129
Cálculo de Pared Fina	134
Fuerzas resultantes de mecanismos que accionan lateralmente	138
Moldes de tres platos.....	141
Molde doble (“stack mold”)	142
Espacio de la prensa en máquinas con barras (“tie bars”)	143
Espacio de la prensa en máquinas sin barras (“tiebarless”)	144
Apertura máxima y mínima	145
Patrón de expulsores	146
Preguntas	147
Cálculos de la Unidad de Inyección.....	148
Tamaño de la unidad de inyección.....	148
Punta de la boquilla (“nozzle tip”) y el casquillo (“sprue bushing”)	150
Densidad y densidad específica.....	156
Velocidad de inyección y flujo de inyección	156
Utilización del barril	158
Posición de plastificación.....	160
Densidad de descarga.....	161
Velocidad de plastificación	163
Tiempo de residencia	164
Posición de transferencia.....	167
Resumen.....	170
Perfiles de temperatura.....	171
Procedimiento para medir la temperatura del fundido	173
La contrapresión (“back pressure”)	174
Razón de intensificación (R_i)	175
Rotulación de maquinaria	176
Preguntas	177
VII. Reología en Máquina.....	181
Flujo de Plástico Fundido	182

Esfuerzo Cortante, Viscosidad y Velocidad Cambiante	182
Reología en Máquina por Potencia	186
Reología en Máquina por Viscosidad	188
Reología Aproximada	192
Ecuación de Predicción del Tiempo de Inyección	199
Preguntas	203
VIII. Determinación de la Velocidad de Inyección	205
Laboratorio I – Entienda el Llenado y sus Limitaciones, Determine el Tiempo de Inyección Mínimo y la Presión Límite de Inyección	208
Procedimiento para Determinar el Tiempo de Inyección Mínimo y la Presión Límite de Inyección.....	209
Laboratorio II – Determinación del Tiempo de Inyección y la Velocidad de Inyección	215
Laboratorio III – Gráfica de Reología y Determinación del Tiempo y Velocidad de Inyección Ideal.....	220
Laboratorio IV – Gráfica Aproximada.....	221
Laboratorio V – Predicción del Tiempo de Inyección	223
Preguntas	228
IX. Verificación del Balance del Llenado.....	230
Efecto del Tiempo de Inyección en el Balance del Llenado	232
Laboratorio - Balanceo del Llenado.....	235
Desbalance Termal.....	237
Desbalance en Moldes con Coladas Frías	238
Preguntas	240
X. Determinación de Parámetros en la Etapa de Empaque	242
Laboratorio I - Determinación de la Presión de Empaque	244
Verificación del % volumétrico inyectado basado en las posiciones del tornillo:	248
Laboratorio II - Determinación del Tiempo de Empaque	252
Empaque de Moldes con Colada Caliente y Válvulas en los Bebederos	254
Preguntas	256
XI. Determinación de Parámetros en la Etapa de Enfriamiento	260
Entienda su Producto	261
Tiempo de Enfriamiento	262
Optimización con la Temperatura del Molde.....	263
Procedimiento para medir la temperatura del fundido:	263
Otros Parámetros que Afectan el Enfriamiento.....	270
¿Cómo se Organiza un Experimento de Enfriamiento?	272
Preguntas	274
XII. Límites del Proceso	277
¿Qué causaría que se alcanzara el límite de presión máxima de inyección y cuáles podrían ser sus consecuencias?	278
¿Qué causaría que se alcanzara el límite bajo del colchón y cuáles podrían ser sus consecuencias?	278
¿Qué causaría que se alcanzara el Límite Alto del Colchón y cuáles podrían ser sus consecuencias?	279

¿Qué causaría que se alcanzara el tiempo límite de plastificación y cuáles podrían ser sus consecuencias?.....	279
¿Cuál es un límite superior e inferior adecuado para la contra presión?.....	279
Preguntas	282
Apéndices.....	284
I - Causas y Efectos	285
II - Datos Universales del Molde	292
III - Ecuaciones de <i>Moldeo UniversalTM</i>	293
IV - Procedimiento General para <i>Moldeo UniversalTM</i>	303
V - Términos en Inglés al Español.....	307
VI - Términos en Español al Ingles	309
VII - Costos Operacionales.....	311
Bibliografía	313
Contestaciones	314
Índice	319
Opiniones de Expertos	322

Figuras

I-1. Gráfica de reología en máquina inyectora	17
I-2. Gráfica de reología completa y aproximada.....	18
I-3. Etapa de inyección.....	21
I-4. Los espacios que el plástico ocupa en un molde	22
I-5. La anilla (“check ring”)	23
I-6. La posición de la anilla durante la plastificación.....	24
I-7. La etapa de plastificación	26
II-1. Posiciones y etapas de inyección.....	29
II-2. Pared con moldes fríos y tiempos de enfriamiento extendidos	35
II-2a. Pared con moldes calientes y tiempos de enfriamiento cortos	35
II-3. La contrapresión (“back pressure”)...	36
II-4. La descompresión	37
III-1. Gráfica de inyección ideal.....	44
III-2. Gráfica de zona de control de velocidad o flujo de inyección	46
III-3. Gráfica de zona de empaque o control de presión	48
III-4. Gráfica de zona de plastificación.....	50
III-5. Gráfica de presión limitada.....	51
III-6. Gráfica de transferencia prematura.....	52
III-7. Gráfica de proceso defectuoso con cojín igual a cero	53
III-8. Gráfica de velocidad programada no fue alcanzada	53
III-9. Diagrama de PVT (Presión, Volumen y Temperatura)	54
III-10. Diagrama de PVT con etapas de moldeo	55
IV-1. Ilustración representando organización de moléculas amorfas y semi-cristalinas	59
IV-2. Gráfica ilustrativa de rigidez contra temperatura en materiales amorfos	60
IV-3. Gráfica ilustrativa de rigidez contra temperatura en materiales semi-cristalinos	61
IV-4. Gráficas sobreuestas de rigidez contra temperatura de materiales semi-cristalinos y amorfos.....	62
IV-5. Materiales amorfos y semi-cristalinos comunes.....	62
IV-6. Listado con características mecánicas de materiales amorfos y semi-cristalinos.	64
IV-7. Listado de características del proceso con materiales amorfos y semi-cristalinos	65
IV-8. El encogimiento de materiales amorfos.....	65
IV-9. El encogimiento de materiales semi-cristalinos	66
IV-10. Efecto del tiempo de endurecimiento de los bebederos en materiales amorfos y semi-cristalinos	67
IV-11. Efecto del empaque en el peso de las piezas en materiales amorfos y semi-cristalinos.....	68
IV-12. Efecto de la presión de inyección en el tiempo de inyección en materiales amorfos y semi-cristalinos	69
V-1. Mecánica del secado de termoplástico	75
V-2. TOLVA de secado y secadora	77
V-3. TOLVA secadora.....	78
V-4. Volumen/tiempo de residencia	79

V-5. Circuito de secado	82
V-6. Circuito de regeneración	85
V-7. Unidad portátil	87
V-8. Trolva sobre la extrusora	88
V-9. Unidad integrada	89
V-10. Secadora central	89
V-11. Tabla de materiales y sus parámetros de secado	91
V-12. Tabla de materiales y sus densidades granel	93
V-12a. Tabla de materiales y sus densidades granel (cont.)	94
V-13. Flujo de aire seco requerido por cada lb/h de consumo de material	95
V-14. Dosificador	101
V-15. Gráfica de ajuste vs. dosificación	102
V-16. Montura de dos dosificadores en un mismo sistema	103
V-17. Sistema gravimétrico	104
V-18. Válvula proporcional neumática	105
V-19. Centro de mezclado	106
V-20. Tabla de energía requerida por algunos materiales	109
V-21. Tabla termal para algunos materiales	110
V-22. Flujo de agua por los pasajes del molde y Delta T	112
V-23. Conexión de las mangueras de agua al molde en serie y en paralelo	112
V-24. Temperatura entre las cavidades	113
V-25. Tabla de constantes para ecuación de tiempos de enfriamiento	118
V-26. Temperatura y presión del agua entrando y saliendo	119
V-27. Diagrama de los componentes de enfriamiento directo	120
V-28. Diagrama de los componentes de enfriamiento y calentamiento directo	121
V-29. Tres máquinas compartiendo un chiller	123
V-30. Tres máquinas compartiendo un chiller, con una máquina detenida	124
VI-1. Tabla de factores de presión para algunos materiales	128
VI-2. Área proyectada de una esfera	129
VI-3. Área proyectada de un cubo	129
VI-4. Área proyectada de un vaso	130
VI-5. Rodillos de nilón y coladas con y sin partes	131
VI-6. Área proyectada de uno de los 12 rodillos y su colada	132
VI-7. Área de la colada	132
VI-8. Ejemplo de una pieza en forma de L	134
VI-9. Trayecto del flujo de un rodillo	135
VI-10. El grosor (G)	136
VI-11. Tabla de criterio de pared fina	137
VI-12. Interpolación lineal del factor de presión	137
VI-13. Actuadores accionados por la fuerza de cierre	138
VI-14. Medidas para calcular el área proyectada	139
VI-15. Fuerza lateral por actuador	139
VI-16. Fuerza resultante	140
VI-17. Molde de tres platos	141
VI-18. Molde doble ("stack")	142
VI-19. Vectores de fuerza del molde doble	143
VI-20. Espacios en platina con barras	143
VI-21. Espacios en platina sin barras	144
VI-22. Apertura mínima de la prensa	145

<i>VI-23. Apertura máxima de la prensa</i>	145
<i>VI-24. Patrón de expulsores</i>	146
<i>VI-25. Plastificación máxima</i>	148
<i>VI-26. La punta de la boquilla ("nozzle tip") y el casquillo ("sprue bushing")</i>	151
<i>VI-27. Diámetros y radios de la punta de la boquilla y del casquillo</i>	152
<i>VI-28. Defecto causado por concentración de esfuerzo en los filos de la boquilla</i>	153
<i>VI-29. Defecto causado por un palo atascado en la boquilla</i>	153
<i>VI-30. Otro defecto causado por un palo atascado en la boquilla</i>	154
<i>VI-31. El flujo de fundido termoplástico en un molde</i>	155
<i>VI-32. El efecto fuente</i>	155
<i>VI-33. Ejemplo de efecto fuente utilizando un pedazo de servilleta</i>	156
<i>VI-34. Posiciones del llenado</i>	159
<i>VI-35. Volumen de residencia</i>	164
<i>VI-36. Tabla de residencia T_r(ejemplo)</i>	166
<i>VI-37. Tabla de tiempo de residencia de acuerdo con el % de utilización</i>	166
<i>VI-38. Tabla de % de utilización de acuerdo con el tipo de industria</i>	167
<i>VI-39. Posición de transferencia</i>	168
<i>VI-40. Tablas con criterio para la posición de transferencia</i>	169
<i>VI-41. Posiciones del tornillo</i>	170
<i>VI-42. Las zonas de calor del barril</i>	171
<i>VI-42. Perfil de temperaturas</i>	172
<i>VI-43. Razón de intensificación</i>	175
<i>VII-1. Orientación de moléculas en un flujo de fundido</i>	182
<i>VII-2. Esfuerzo cortante</i>	183
<i>VII-3. La mitad del flujo de fundido</i>	183
<i>VII-4. Vectores de velocidad en un flujo de fundido</i>	184
<i>VII-5. Flujo de fundido Newtoniano y seudoplástico</i>	185
<i>VII-6. Gráfica de reología en máquina por potencia</i>	187
<i>VII-7. Gráfica de tiempo de inyección contra potencia pico</i>	187
<i>VII-8. Zona en donde el cambio en tiempo de inyección es mínimo o la potencia dejó de contribuir</i>	188
<i>VII-9. Zona en donde el cambio en viscosidad relativa es mínimo</i>	191
<i>VII-10. Lecturas de presión de transferencia y tiempo de inyección</i>	192
<i>VII-11. Gráfica de comportamiento lineal entre flujo de inyección y potencia pico</i>	193
<i>VII-12. Gráfica de comportamiento lineal entre viscosidad relativa y tiempo de inyección</i>	193
<i>VII-13. Ejemplo de tiempos de inyección y presiones de transferencia</i>	194
<i>VII-14. Ejemplos de valores de reología</i>	195
<i>VII-15. Gráfica del efecto lineal entre flujo promedio y potencia pico de inyección</i>	195
<i>VII-16. Gráfica del efecto lineal entre viscosidad relativa y tiempo de inyección</i>	196
<i>VII-17. Tabla incluyendo 8 tiempos de inyección equidistantes</i>	197
<i>VII-18. Gráfica aproximada entre tiempo de inyección y potencia pico de inyección</i>	197

VII-19. Gráfica aproximada entre viscosidad relativa y velocidad cambiante relativa.....	198
VII-20. Gráficas de reología sobreuestas, completa y aproximada	198
VII-21. Gráfica de reología normalizada en %.....	199
VII-22. Tiempo de inyección para industrias de moldeo convencional.....	200
VII-23. Tiempo de inyección para industrias que moldean materiales sensitivos a la fricción.....	201
VII-24. Tiempo de inyección para industrias de alto volumen de inyección	201
VIII-1. Flujo de eventos de <i>Moldeo UniversalTM</i>	206
VIII-2. Tablas para seleccionar la posición de transferencia de inyección a empaque.....	210
VIII-3. Determinación del tiempo mínimo y la presión máxima de inyección (ejemplo).....	212
VIII-5. Encabezado de la tabla de reología.....	217
VIII-6. Tabla de reología aproximada por potencia	218
VIII-7. Tabla de reología completa por potencia	218
VIII-9. Ejemplo de tabla de reología aproximada por potencia.....	221
VIII-10. Gráfica con ecuación lineal entre potencia pico y flujo promedio de inyección.....	222
VIII-11. Tabla y gráfica de reología completa y aproximada por potencia	223
VIII-12. Tabla de reología por potencia aproximada.....	224
VIII-13. Gráfica de reología indicando tiempos de inyección por industria....	225
IX-1. Molde de múltiples cavidades con llenado desbalanceado	231
IX-2. Gráfica del efecto de la velocidad de inyección en el llenado de piezas incompletas.....	232
IX-3. Llenado rápido y lento.....	232
IX-4. Ejemplo de secuencia del llenado de coladas	233
IX-5. Ejemplo de llenado lento	234
IX-6. Ejemplo de llenado rápido	234
IX-7. Ejemplo de llenado incompleto	235
IX-8. Piezas separadas de la colada.....	236
IX-9. Tabla con pesos de cavidades incompletas y sus correspondientes desviaciones del llenado	237
X-1. Gráfica del efecto de la presión de empaque en el peso de las partes.....	243
X-2. Tiempo de enfriamiento extendido	244
X-3. Tabla del efecto de la presión de empaque en el peso de las partes.....	246
X-4. Gráfica del efecto de la presión de empaque en el peso de las partes.....	246
X-5. Gráfica indicando el rango de presión de empaque	247
X-6. Determinación de la presión de empaque con la posición del colchón....	248
X-7. Gráfica indicando presión de empaque excesiva.....	250
X-8. Corrección cuando el colchón es cero.....	251
X-9. Tiempo de enfriamiento extendido	252
X-10. Tabla de peso de partes y sus respectivos tiempos de empaque y de enfriamiento.....	253
X-11. Gráfica del efecto del tiempo de empaque en el peso de las partes.....	254
X-12. Características mecánicas de los materiales que deben considerar durante el empaque	255
XI-1. Tabla de experimento de optimización de la temperatura del molde	264
XI-2. Ejemplo de piezas de un molde de dos cavidades.....	266

<i>XI-3. Tabla con resultados de temperatura del molde en medida crítica</i>	267
<i>XI-4. Gráfica del efecto de la temperatura de molde en medidas críticas.....</i>	268
<i>XI-5. Gráfica de ecuaciones lineales de temperaturas de molde en medida crítica de dos piezas.....</i>	269
<i>XI-6. Tabla con límites de temperaturas de molde en medida crítica de dos piezas</i>	269
<i>XI-7. Tabla de parámetros (temperatura y tiempo de enfriamiento), con sus combinaciones y sus repeticiones</i>	272

Prefacio

Moldear por inyección fue por muchos años un espacio ocupado por los experimentados maestros de la industria del plástico. Afortunadamente hoy existen varias técnicas que aceleran el aprendizaje y el dominio de moldeo por inyección.

Nosotros hemos experimentado con numerosos moldeadores de todo calibre. Entre todos nunca hemos encontrado dos que utilicen técnicas de moldeo idénticas. No solo las técnicas de moldeo son distintas, sino que tampoco es igual el lenguaje, el orden de ejecución, las definiciones, el uso de parámetros, la identificación de equipos, los procedimientos y la comunicación. Son esas las razones que motivan la escritura de este libro.

Moldeo Universal™ (abreviado **MU™**) tiene como objetivo unificar estilos de moldeo, utilizar definiciones válidas del proceso, utilizar un lenguaje Universal y estandarizar procedimientos claros y representativos de todas las etapas del moldeo por inyección.

Este libro no se limita únicamente a los novatos de la industria; también se recomienda a los moldeadores experimentados que deseen estandarizar y aumentar la cantidad de moldeadores competentes en su sector. **Moldeo Universal™: Método Sistemático de Optimización de Moldeo por Inyección (MU™)** es para cualquier persona que desee aprender sistemáticamente y de manera efectiva sobre el moldeo por inyección.

MU™ guía al moldeador para determinar los parámetros **Universales** característicos del molde, independientemente de la máquina de inyección utilizada. Existe una preocupación que afecta a una minoría en la industria del plástico, la inteligencia artificial. Nosotros lo vemos como una herramienta que ayudará a resolver la falta de estandarización y las aproximaciones empíricas en la optimización de parámetros del proceso. La integración de la inteligencia artificial (IA) en **MU™** considera los principios fundamentales de estandarización, aprendizaje rápido, procesos eficientes y beneficios significativos. Todos debemos esforzarnos por mejorar, aceptar y aprender nuevas metodologías y tecnologías que fortalezcan el crecimiento continuo en **MU™**.

Prólogo

¿Cuál es la definición de un proceso de moldeo de polímeros por inyección ‘óptimo’? En la realidad, no establecemos un proceso óptimo, sino que definimos una ventana operacional óptima alrededor de los valores de ciertos parámetros de moldeo que un laboratorio de optimización nos lleva a establecer y definir como ‘nominal’. Utilizando las herramientas que provee la internet podemos encontrar un sinnúmero de definiciones y/o métodos sobre lo que es un proceso óptimo, cómo establecerlo, e incluso cómo monitorearle. Esas definiciones, en síntesis, establecen que un proceso de moldeo de polímeros óptimo es “*el resultado de una combinación particular de valores de parámetros de moldeo... dentro de una ventana operacional... capaz de consistentemente producir una pieza plástica que cumpla con todos los requisitos cosméticos, dimensionales y funcionales de diseño... en el menor tiempo de máquina posible*”. Esto, para cualquier combinación de material prima, diseño de molde y celda de moldeo (i.e. máquina de inyección, secadora, controles de temperatura, etc.). De igual manera, ese proceso óptimo *no puede serlo* si el mismo atenta contra la habilidad del molde o, incluso de la máquina de moldeo, para repetir el mismo ciclo de comportamiento de manera infinita.

El autor del libro ha dedicado gran parte de su vida profesional a identificar, de manera sistemática, dos cosas. Primero, en cómo alcanzar a establecer esa ventana operacional óptima en un proceso de moldeo; y segundo, en cómo lograr que esa ventana óptima de proceso para cualquier combinación de materia prima, molde y equipo de moldeo sea la misma independientemente de quién ejecute o dónde se lleve a cabo el laboratorio de optimización. Por eso lo de “*Universal*” en el título que lleva este ejemplar. Es la intención del autor, con las herramientas presentadas en este, su libro, lograr que el Ingeniero de Proceso sea capaz de identificar los requisitos mínimos con los que debe cumplir cada uno de los equipos y utilidades que componen la celda de moldeo. Una vez seleccionado correctamente el equipo, provee las herramientas para que los equipos seleccionados se conviertan en los cimientos sobre los cuales, de manera cabal, el ingeniero procesador pueda desarrollar el laboratorio y establecer los experimentos de diseño que darán forma a esa combinación de parámetros ‘nominal’ alrededor de la cual definirá los límites de esa ventana óptima de operación a validar. Esto... *en el menor tiempo de máquina posible*.

Felix Colón Ortiz
Injection Molding Process & Tooling Engineering Professional

I. Introducción

- ¿Qué es *Moldeo UniversalTM (MUTTM)*?
- Fundamentos del Proceso de Inyección

En esta primera parte, el objetivo es familiarizar al lector con la terminología, haciendo hincapié en los parámetros significativos del proceso y estableciendo el lenguaje que se utilizará en el libro. Para evitar confusiones con términos regionales, el Apéndice III traduce algunos términos al inglés.

¿Qué es Moldeo UniversalTM?

Moldeo UniversalTM (MUTTM) es una *disciplina de optimización de procesos de moldeo por inyección*. Esta se desarrolló con la colaboración de la industria plástica caribeña y la academia (UPR Mayagüez, Puerto Rico).

MUTM es una *disciplina* que enfatiza la maximización de recursos y se enfoca en la calidad del producto, utilizando metodologías de optimización de procesos comprobadas mediante técnicas de moldeo organizadas y científicamente respaldadas. Con ese trasfondo técnico-científico se aumenta las eficiencias, se disminuyen los costos de los productos y se reducen los ciclos de manufactura.

MUTM es un *lenguaje común* para los moldeadores que elimina la confusión de términos. Los equipos son rotulados con un lenguaje que representa sus capacidades. Es un lenguaje de parámetros **Universales** de proceso que simplifica la transferencia de procesos entre máquinas. Es un lenguaje que define el producto y su utilización.

MUTM es un *comité organizador* (o comité **Universal**). Es un grupo escogido que promueve la disciplina. Es un comité Universal representado por todos los departamentos de la fábrica Universal. Representa los departamentos de Producción, Control de Calidad, Mantenimiento de Equipos, Mantenimiento de Moldes, Ingeniería y Ventas.

MUTM es una *disciplina interminable* que nunca deja de crecer ni de mejorar. El comité **Universal** tiene la responsabilidad de evaluar y unánimemente adoptar procedimientos que mejoren los existentes.

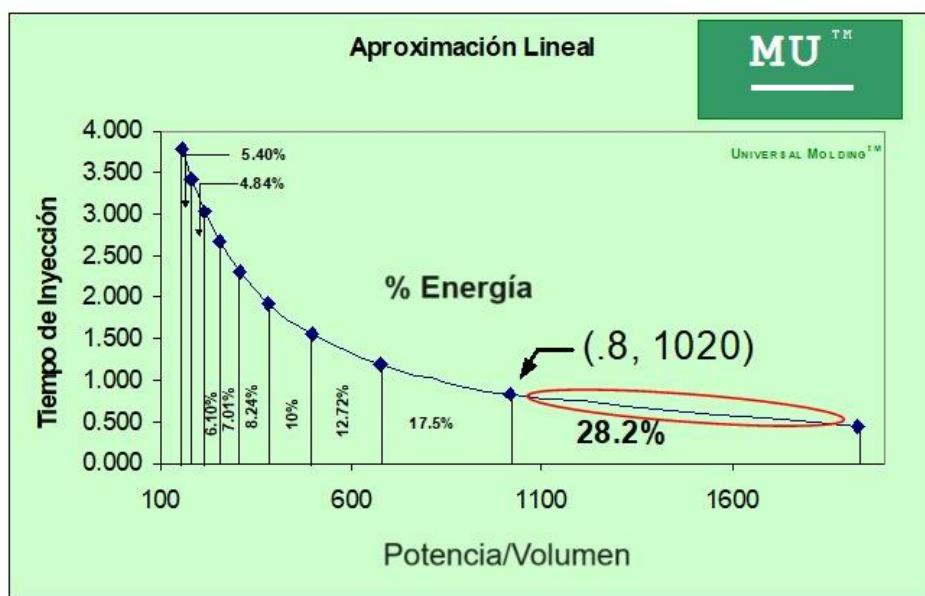
MUTM se basa en procedimientos precisos y representativos del proceso. En cada etapa, se sigue un procedimiento para determinar los parámetros, ya sea mediante ecuaciones lineales y en muchos casos con un componente no lineal que será generado por la inteligencia artificial (IA).

MUTM es maximizar la utilización de maquinaria. Es el determinar la maquinaria apropiada y de sus parámetros óptimos de proceso.

Algunas de las técnicas trabajadas son:

1- Reología en máquina inyectora. Esta técnica es efectiva y comprobada en la determinación del tiempo de inyección. Por medio de una gráfica se muestra el efecto del tiempo de inyección en la potencia por unidad de volumen.

En la gráfica el área bajo la curva representa el porcentaje de energía consumido por cada decremento en el tiempo de inyección.



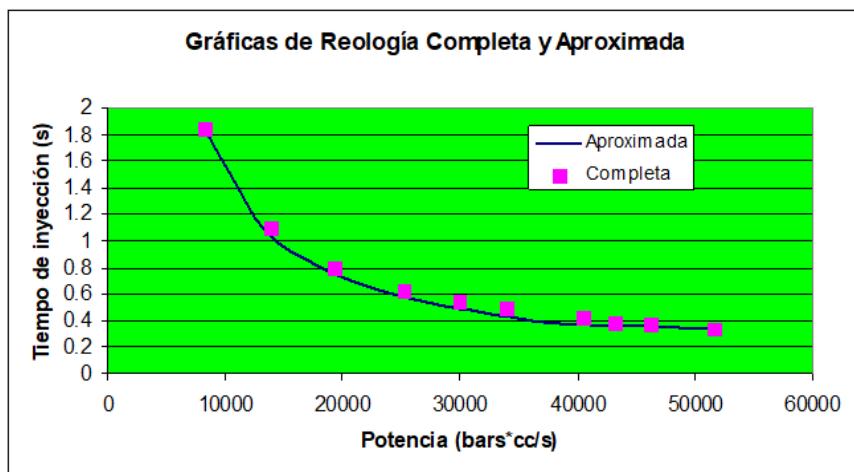
I-1. Gráfica de reología en máquina inyectora

Note que la potencia aumenta cuando se disminuye el tiempo de inyección. Esta gráfica revela que la potencia requerida a altos flujos de inyección es considerablemente alta o la energía consumida por la unidad inyección es más significante a bajos tiempos de inyección. La idea es seleccionar un tiempo de inyección en la zona donde el tiempo deja de contribuir con aumento en potencia.

Más adelante se explicará cómo desarrollar y utilizar esta gráfica de reología en máquina de inyección.

2- Reología aproximada. El desarrollo de un laboratorio de reología en una máquina de inyección consume tiempo y recursos. Con la reología aproximada, una técnica matemática de predicción, el laboratorio se efectúa en menos de una 3ra parte del tiempo.

Las gráficas del tiempo de inyección contra potencia por unidad de volumen comparan los dos métodos; reología en máquina completa y el método aproximado.



I-2. Gráfica de reología completa y aproximada

Ahora ambos métodos, completo o aproximado, funcionan conceptualmente igual. La diferencia está en que el aproximado consume menos tiempo y recursos.

Una vez más, el desarrollo y uso de estas gráficas serán explicadas más adelante.

Fundamentos del Proceso de Inyección

Las etapas del proceso de inyección son los siguientes:

- inyección
- transferencia

- empaque
- endurecimiento de bebederos
- enfriamiento
- plastificación

Cada etapa tiene una función y un resultado determinado. Entienda a cabalidad cada una de estas etapas ya que se hará referencia continua a estas definiciones.

Inyección - En esta etapa se llena el molde (cavidades y colada) cerca de un 95%, y el tornillo trabaja como un pistón que transfiere el fundido desde la unidad de inyección al molde. Aquí se programa una velocidad o un flujo de inyección que garantice las mejores propiedades del llenado. Estas propiedades podrían ser sin quemaduras, no líneas de flujo, no degradación, mínima concentración de esfuerzos, etc. Cuando el fundido caliente entra al molde se encuentra con las paredes frías y rápidamente se densifica hasta solidificarse. El llenado lento aumenta la densificación o la viscosidad y, consecuentemente, podría dificultar el llenado y hasta solidificar el fundido prematuramente antes de que se complete el llenado. En esta etapa el tiempo de inyección, al igual que la presión de inyección, son resultados y no parámetros de control. No los confunda con la *presión límite de inyección* ni con el *tiempo límite de inyección*, estos son límites que se programan para proteger el herramiental y la máquina. Esta etapa se conoce como la etapa de control de velocidad de inyección.

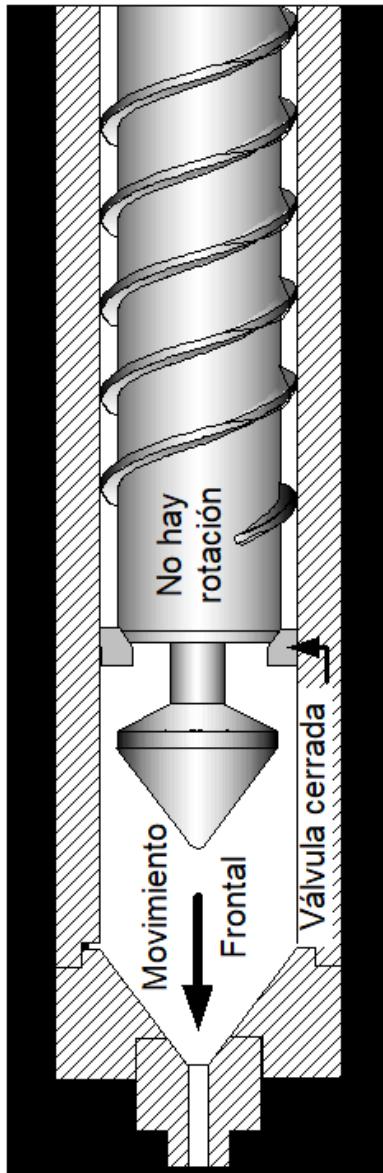
Transferencia – Esta es quien termina la etapa de inyección. Una vez la unidad de inyección llena **cerca del 95%**, termina la etapa de llenado por inyección e inicia la próxima etapa, empaque. La unidad de inyección viene provista con un medidor de posición que mide el desplazamiento del tornillo, y es así como la unidad de inyección sabe que llenó cerca de un 95% del molde. Evite tratar de llenar el 100% del molde en la etapa de inyección. Veamos algunas razones:

- Podría crear rebaba en las piezas moldeadas. Quien frena al tornillo es el fundido en frente de la unidad de inyección y tratar de frenarlo exactamente al 100% sin abrir el molde sería difícil.
- A alta velocidad tratar de llenar el 100% podría crear el efecto rebote del tornillo. El plástico fundido es compresible y durante la inyección es comprimido. Este fluido comprimido querrá crecer, como un resorte comprimido, empujando la unidad de

inyección hacia atrás ocasionando que parte del fundido que entró se regrese, efecto rechuepe.

- Otra razón por el cual no podría es por el encogimiento del material. El material fundido ocupa más espacio que el material solidificado. Una vez que el fundido entra al molde se enfriá, encogiendo gradualmente y dejando espacios para más material.

Nota: Algunos moldes presentan una extrema dificultad de llenado; por ejemplo, las amarras de nilón (“*tie wraps*”) que son largas y delgadas, o las aplicaciones de micromoldeo con espacios estrechos e incómodos para el llenado. En estos casos, es posible que se requiera un porcentaje de llenado superior al 95%.



I-3. Etapa de inyección

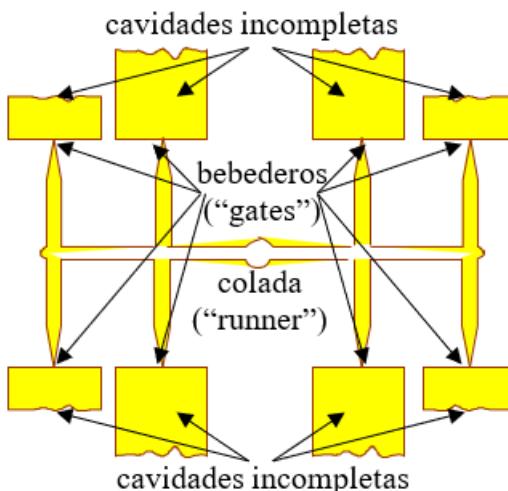
Empaque (“hold”) - En esta etapa el tornillo continúa actuando como un pistón, comprimiendo las cavidades hasta llenar el remanente que no pudo llenar en la etapa de inyección. Sin abrir el molde la unidad de inyección comprime el fundido, entrando más material al molde hasta completar el

Durante la etapa de inyección el tornillo se comporta como un pistón inyectando un fluido. El fundido se mantiene al frente del tornillo y la válvula impide que el fundido retorne al tornillo. El desplazamiento del tornillo comienza desde la posición de plastificación y continua hasta la posición donde transiere a empaque.

llenado de las cavidades. Aquí el moldeador manipula la presión de compactación.

Durante el empaque se consigue el peso adecuado de las piezas moldeas o lo que los moldeadores *Universales* llamamos “dimensiones de masa”. Las dimensiones de masa son aquellas que son únicamente función de la cantidad de material y no se deben confundir con las dimensiones que son efecto del encogimiento. El encogimiento se controla durante la etapa de enfriamiento. Como se indicó anteriormente, durante el empaque controlamos únicamente las dimensiones de masa, las dimensiones que son función de la cantidad de material.

Endurecimiento de bebederos - Durante el empaque las piezas son presurizadas hasta que el material en los bebederos se solidifica, creando un sello que retiene el fundido dentro de las cavidades. Veamos los espacios que el plástico ocupa en el molde.



I-4. Los espacios que el plástico ocupa en un molde

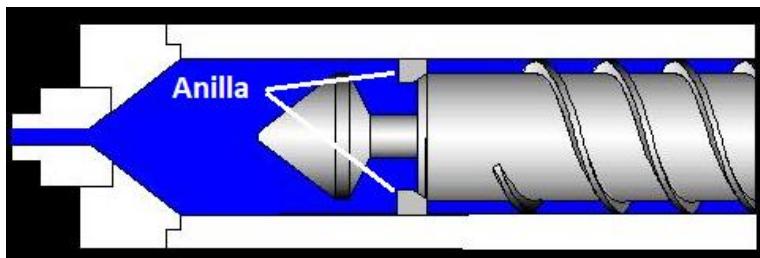
Un bebedero (“gate”) es el agujero por donde entra el fundido a las cavidades. El fundido entra por un bebedero (palo o “sprue”) y viaja por la colada (“runner”) hasta llegar a los bebederos en las cavidades. Lo normal es que los bebederos sean considerablemente más pequeños que la colada. El fundido es forzado a colarse por el estrecho espacio de los bebederos hasta llenar las cavidades. El plástico es sostenido dentro las cavidades hasta que los bebederos se solidifiquen. Es importante entender:

- Si se remueve la presión de empaque prematuramente, el fundido retornará a la colada y posiblemente a la unidad de inyección.
- Si se empaca por un tiempo mucho mayor de lo requerido, el moldeador estará “moldeando coladas”.

En algunos moldes con coladas calientes (“*hot runners*”), el fundido nunca se solidifica y se integra como parte del llenado de las próximas piezas. El objetivo de este tipo de molde es reducir el desperdicio de material de la colada. Sin embargo, incluso en este caso, los puntos de inyección hacia las cavidades deben solidificarse antes de liberar la presión de empaque.

En otros moldes, además de ser de colada caliente, se integran válvulas en los bebederos (“*gate valves*”). Estas válvulas permanecen abiertas durante el llenado y se cierran cuando se completa el empaque.

El tornillo se comporta como un pistón gracias a la anilla (“*check ring*”) que flota entre la punta del tornillo y el tornillo. Durante la inyección, la anilla se mueve contra el tornillo sellando y evitando que el fundido se regrese al tornillo.



I-5. La anilla (“*check ring*”)

Durante la inyección la presión en frente de la anilla es mayor que en el lado del tornillo obligando la anilla a moverse contra el tornillo, creando el sello.

Existen tornillos que no tienen la anilla de sellado. El compuesto de PVC rígido es muy sensitivo a la fricción del fundido contra la anilla, y es común ver que no utilicen la anilla. Ahora, el tornillo viene provisto con un mecanismo de antirrotación para que no rote a consecuencia de la excesiva presión del fundido.

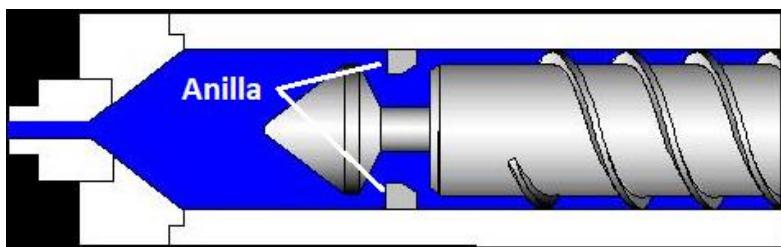
Enfriamiento - En esta etapa removemos calor de las partes, hasta obtener piezas que sean desmoldables con unas dimensiones térmicas aceptables. Dimensiones térmicas son dimensiones que son función del encogimiento y no de la cantidad de masa empacada. Las moléculas de un fundido termoplástico están en continuo movimiento; cuando se enfrian buscan conformidad y se acomodan, ocupando menos espacio. La idea es paralizar la actividad molecular y manipular el encogimiento a nuestra conveniencia.

Veamos:

- Moldes fríos y tiempos de enfriamiento extendidos dan paredes anchas.
- Moldes calientes y tiempos de enfriamiento cortos dan paredes delgadas.

Las dimensiones térmicas y también algunas propiedades mecánicas son una función de la rapidez con que se remueve el calor. Estas propiedades mecánicas podrían ser rigidez, translucencia, cristalinidad, etc. Más adelante explicaremos como estas dimensiones térmicas son función del tiempo de enfriamiento y la temperatura del molde.

Plastificación - En esta etapa, el tornillo carga material para el próximo tiro. El mayor objetivo es consistentemente producir un fundido homogéneo. Durante la plastificación la anilla se retira del tornillo, permitiendo el paso del fundido hacia el frente del tornillo en rotación.



I-6. La posición de la anilla durante la plastificación

El material fundido que se acumula en frente del tornillo es el que empuja el tornillo hacia atrás.

La plastificación sucede al mismo tiempo que la etapa de enfriamiento. Bajo condiciones normales la plastificación termina antes que el enfriamiento termine y, si el enfriamiento termina antes, el permiso para

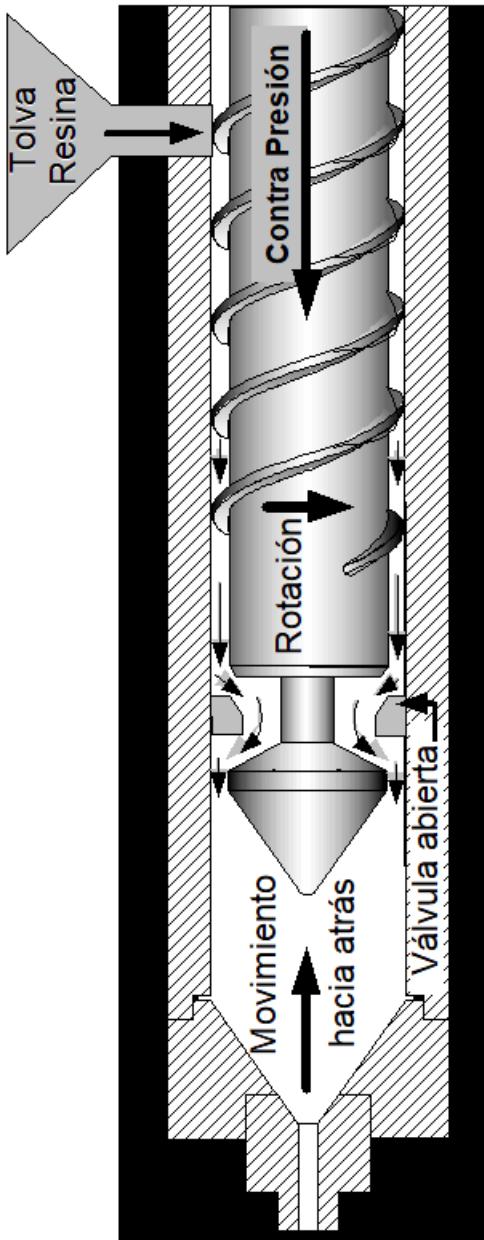
abrir el molde será denegado por el control. Bajo este evento, donde el permiso de abrir el molde sea denegado y además no existan alarmas que detengan el proceso, se extendería el tiempo de enfriamiento, alterando las dimensiones térmicas.

Imagínese qué sucedería si el molde abre durante la plastificación. El fundido se vaciaría por el molde. Durante la plastificación, el plástico está presurizado y quien retine el fundido en la unidad de inyección es el molde lleno. Como regla general, la plastificación debe terminar cerca de un segundo antes que el enfriamiento. Permiso de abrir el molde durante la plastificación puede únicamente suceder cuando la unidad de inyección está provista con una válvula en la boquilla (“*nozzle*”).

Es importante saber que la unidad de inyección utiliza dos fuentes de calor para fundir el plástico, las bandas de calor y la fricción. Una regla general es que un 50% del calor proviene de las bandas de calor y un 50% del calor proviene de la fricción.

Más adelante se hablará de los parámetros que gobiernan la plastificación. Estos son velocidad de plastificación, posición de plastificación, contrapresión, descompresión y temperatura del fundido.

Movimientos del molde - Durante esta etapa se consigue el desmolde de partes. Una vez concluida la etapa enfriamiento, la secuencia es: el molde abre, si existieran los noyos (“cores”) salen librando las partes, las partes son expulsadas, los noyos entran, el molde inicia el cierre, la protección del molde se activa, y si la protección del molde no detecta inconvenientes, la prensa alcanza la fuerza de cierre y comienza un nuevo ciclo.



En la etapa de plastificación el tornillo gira, llevando el fundido hacia el frente del barril. La válvula se mueve, permitiendo el flujo del material y el mismo fundido que se acumula al frente empuja el tornillo hacia atrás. La contrapresión crea una carga que se opone al movimiento libre del tornillo. Esta contra presión se refleja como esfuerzo o fricción en el material, lo que genera calor y contribuye al proceso de fundido.

I-7. La etapa de plastificación

II. Parámetros del Proceso de Inyección

- **Parámetros de Máquinas y Universales**
- **Parámetros de Inyección**
- **Posición de Transferencia**
- **Parámetros de Empaque (“Hold”)**
- **Endurecimiento de Bebederos**
- **Parámetros de Enfriamiento**
- **Parámetros de Plastificación**
- **Movimientos de la Prensa**

Parámetros de Máquina y Universales

Los parámetros de máquina son aquellas entradas programables en el control de la máquina. Estos no describen necesariamente con exactitud la dinámica del fundido antes de entrar al molde. Estos podrían ser:

- velocidad de inyección
- posición del tornillo,
- presión hidráulica de inyección y
- revoluciones por minuto durante la plastificación.

Parámetros ***Universales*** son aquellos valores que el fundido ve antes de entrar al molde. Estos podrían ser:

- tiempo de inyección
- volumen del fundido
- presión de inyección plástica (o del fundido)
- tiempo de plastificación

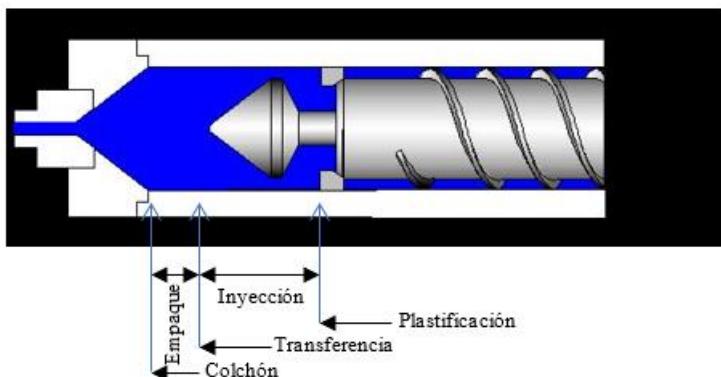
Ambos parámetros, ***Universales*** y de máquina, deben ser entendidos; ahora, el que más debería tener sentido para los moldeadores ***Universales*** es el ***Universal***. El parámetro ***Universal*** describe mejor la función física del llenado del molde. Veamos algunos ejemplos:

- El tiempo de llenado ideal del molde es independiente del diámetro de la unidad de inyección y de su correspondiente velocidad de inyección.
- La presión de inyección hidráulica es distinta y menor a la presión del fundido o a la presión plástica.
- La posición del tornillo representa una cantidad cúbica de material fundido que ocupará un espacio dentro del molde después de ser inyectado. Este volumen de fundido podría ser únicamente relacionado a la posición cuando el diámetro del tornillo de inyección es provisto.

No todos los controles de las máquinas utilizan parámetros ***Universales***; aun así, muchos manufactureros han reconocido la necesidad y han iniciado la conversión. En algunas máquinas modernas es común ver el control con la opción de trabajar con valores ***Universales*** (algunos le llaman “absolutos”) o de máquinas.

Parámetros de Inyección

Anteriormente se mencionó que durante la etapa de inyección buscamos llenar el molde cerca de un 95% de su volumen total.



II-1. Posiciones y etapas de inyección

En esta etapa el llenado se efectúa con un flujo rápido de inyección que nos dé las mejores propiedades del llenado.

El parámetro de inyección de máquina es:

- velocidad de inyección (pulg/s o mm/s)

Los parámetros de inyección **Universales** son:

- tiempo de inyección (segundos)
- flujo de inyección (pulg³/s o mm³/s)

Los moldeadores **Universales** utilizamos una sola velocidad de inyección; ahora hay moldes que requieren perfiles de velocidad. Por ejemplo, hay moldes con flujos de llenado desbalanceados como los moldes de familia, moldes que moldean distintas piezas a la vez. Recuerde que un gran número de los moldes existentes fueron fabricados muchos años atrás y es probable que no estén en su mejor condición.

Nos hemos encontrado con moldeadores con la costumbre de utilizar una velocidad lenta al final de la inyección con el objetivo de evitar el rebote del tornillo. Esto se ha corregido, ajustando una posición de transferencia

y una posición de plastificación apropiadas. En presentaciones futuras se hablará de cómo determinar estas posiciones.

Repetimos, no controlamos presión y ni tiempo en la etapa de inyección. No se controlan, ahora sí programamos *límites* de presión y tiempo en la etapa de inyección. Estos límites no deben ser alcanzados durante la etapa de inyección ya que su propósito es proteger el molde y la máquina.

Recuerde:

- La etapa de inyección es conocida como la etapa de control de velocidad.
- No trate de llenar el 100% del molde durante la etapa de inyección; llenar cerca del 95% es la meta.
- Durante la inyección, el tornillo se comporta como un pistón.
- Durante la inyección, la anilla (“*check ring*”) se mueve contra un asiento en el tornillo, sellando y evitando que el fundido regrese al tornillo.

Parámetros de Transferencia

La transferencia es quien termina la etapa de inyección. Una vez la unidad de inyección llena cerca del 95%, termina la etapa de inyección y se inicia la próxima etapa, empaque.

Las máquinas de inyección podrían transferir de cuatro maneras:

- tiempo
- posición
- presión
- sensor en la cavidad

Veamos cada uno de estos individualmente:

- Transferir por tiempo mide el tiempo desde que se inició la inyección hasta que alcanza el tiempo de transferencia entrado.
- La transferencia por posición mide el desplazamiento desde el inicio de la inyección hasta alcanzar la posición de transferencia entrada.
- La transferencia por presión monitorea la presión actual hasta que iguala la presión de transferencia entrada.

- Transferencia por medio de un sensor de temperatura o presión colocado cerca del final del llenado de la cavidad o cavidades en el molde. Cuando el fundido entra a la cavidad y alcanza la posición donde está colocado, el sensor retroalimenta una señal al control de la máquina indicando que transfiera.

Los moldeadores ***Universales*** preferimos transferir por posición, ya que es quien mejor garantiza el volumen de inyección requerido por el molde.

Algunos moldeadores entienden que el más confiable de los métodos de transferencia es por sensor de cavidad. Ahora comprenda que muy pocos moldes poseen esta tecnología. Es por esto que recomendamos la transferencia por posición. Este tipo de tecnología, aunque ganó algo de popularidad, no justifica la inversión en mucha de las aplicaciones. Si su molde está equipado con ellos entonces transfiera por sensor de cavidad.

Parámetro de transferencia de máquina:

- posición de transferencia (pulgadas o milímetros)

Parámetros de transferencia Universal:

- volumen de transferencia (pulg³ o mm³)
- transferir por sensor de cavidad (temperatura o presión)

Parámetros de Empaque (“Hold”)

En esta etapa el tornillo continúa actuando como un pistón, comprimiendo el fundido en las cavidades hasta llenar el remanente que no pudo llenar en la etapa de inyección.

La etapa de empaque es conocida como la etapa de control de presión. Durante el empaque controlamos la presión para conseguir el peso adecuado de las piezas moldeadas o lo que los moldeadores ***Universales*** llamamos “dimensiones de masa”. Recuerde que las dimensiones de masa son únicamente función de la cantidad de material y no se deben confundir con las dimensiones que son efecto del encogimiento. El objetivo es manipular la presión de empaque para garantizar las dimensiones que son función de cantidad de material.

Parámetro de empaque de máquina:

- Presión de empaque hidráulica (psi o bares)

Parámetro de empaque *Universal*:

- Presión de empaque plástica (psi o bares)

Recuerde:

- Presión en la cavidad es también un parámetro *Universal*.
- El encogimiento se controlará mayormente durante la etapa de enfriamiento.
- Durante el empaque controlamos únicamente las dimensiones de masa, las dimensiones que son función de la cantidad de material.

Endurecimiento de Bebederos

Una vez las piezas son empacadas el fundido se sostiene hasta que el material en los bebederos se solidifica, creando un tapón que retiene el fundido dentro de las cavidades.

En algunos moldes con coladas calientes (“*hot runners*”), se integran válvulas en los bebederos (“*gate valves*”). Estas válvulas permanecen abiertas durante el llenado y se cierran cuando se completa el empaque. La señal que correspondería al tiempo de empaque es la que activa el cierre de la válvula. El objetivo principal de estas válvulas es lograr un acabado estético en el punto de llenado de las cavidades. Sin embargo, aunque este tipo de válvulas suele reducir el tiempo de empaque, no necesariamente mejora el ciclo total del proceso. Esto se debe a que el tiempo ahorrado en el empaque se compensa con un mayor tiempo de enfriamiento. Además, es importante tener precaución, ya que tiempos de empaques excesivos podrían provocar que el material solidificado en el punto de llenado dañe el asiento de la válvula.

El parámetro que controla el endurecimiento de los bebederos es el tiempo de empaque, y sus unidades son segundos. Tiempo de empaque es ambos, parámetros de máquina y *Universal*.

Es posible encontrar controladores que dividen el empaque en dos, empaque y sostén (“*pack and hold*”). Estos separan la etapa de empaque

en dos, la de control de presión y el endurecimiento de los bebederos. En adición a la presión y la del tiempo consideran la velocidad de empaque.

En **Moldeo Universal™** no dividimos esta etapa en dos partes. Creemos que el tiempo de empaque se inicia cuando termina la inyección y culmina cuando se solidifican los bebederos.

En **Moldeo Universal™** no consideramos la velocidad de empaque. Para los moldeadores **Universales**, el empaque es la etapa de control de presión y la velocidad es un resultado, ya que es imposible simultáneamente controlar ambos presión y velocidad del fundido. Uno será resultado del otro:

- si controlas presión, la velocidad del fundido será el resultado y
- si controlas velocidad, la presión del fundido será el resultado.

En el evento de encontrarse con máquinas que llegaron provistas con ambas, empaque y sostén, si es posible, apáguele una de ellas o ajuste el tiempo de esa etapa secundaria igual a cero.

Nosotros recomendamos una sola presión, ahora hay moldes viejos que requieren de una segunda presión, por ejemplo, una primera presión de empaque para garantizar dimensiones de masa y una segunda presión para garantizar el desmolde de la colada. Por lo regular la última parte que se solidifica en el molde es la colada y, aunque nosotros no moldeamos colada, es posible que se requiera empacarlas para garantizar su desmolde.

El colchón (“cushion”)

El colchón o cojín es el poquito de plástico que siempre sobra en frente del tornillo después del empaque y nunca debe ser igual a cero. Si la posición llega a cero inutilizaría la etapa de empaque y, consecuentemente, no tendrá control de las dimensiones de masa. El colchón debe siempre existir.

Recuerde:

- Si se remueve la presión de empaque prematuramente, el fundido retornará la colada y hasta la unidad de inyección.
- Si el tiempo de empaque es muy extendido, el moldeador estará “moldeando coladas”.
- Durante el empaque, la anilla (“check ring”) se mantiene contra el asiento del tornillo, sellando y evitando que el fundido regrese al tornillo.

Enfriamiento

En esta etapa removemos calor de las partes hasta obtener piezas que sean desmoldables con unas dimensiones térmicas aceptables. La idea es manipular la remoción del calor del fundido con el objetivo de controlar las dimensiones térmicas. Recuerde que la remoción de calor rápido nos da paredes más gruesas que la remoción de calor lento.

Parámetros de Enfriamiento

- temperatura del molde ($^{\circ}\text{F}$ o $^{\circ}\text{C}$)
- tiempo de enfriamiento (segundos)

Ambos son parámetros de máquina y *Universales*.

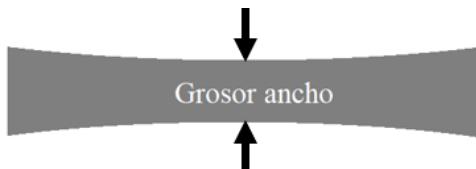
Familiarícese con el control de su máquina ya que algunos controles incluyen el tiempo de empaque dentro del tiempo de inyección.

Cautela en esta etapa, tiempos de enfriamiento extendido resulta en procesos costosos. La idea es manipular ambos parámetros, temperatura y tiempo de enfriamiento, para obtener dimensiones térmicas óptimas. Además, un cambio en la temperatura del molde podría afectar el tiempo de empaque, ya que cualquier cambio en la remoción de calor del fundido tendrá un efecto en el tiempo de solidificación de los bebederos.

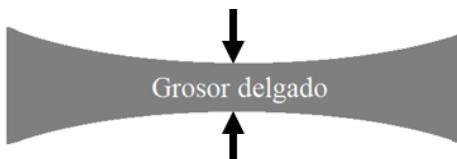
La temperatura del molde se controla cambiando la temperatura del agua que enfriá las cavidades del molde y en ocasiones se modifica el caudal del agua. Es importante aclarar que la temperatura del agua entrando al molde y la temperatura del acero son distintas.

Recuerde:

- Moldes fríos y tiempos de enfriamiento extendidos dan paredes anchas.
- Moldes calientes y tiempos de enfriamientos cortos dan paredes delgadas.



II-2. Pared con moldes fríos y tiempos de enfriamiento extendidos



II-2a. Pared con moldes calientes y tiempos de enfriamiento cortos

- Algunas propiedades mecánicas, como la rigidez, translucencia y la cristalinidad, pueden ser también función de la rapidez con que se remueve el calor.
- Las dimensiones térmicas son función del encogimiento y no de la cantidad de masa empacada.

Parámetros de Plastificación

El mayor objetivo de la plastificación es consistentemente producir un fundido homogéneo. Durante la plastificación la anilla (“*check ring*”) se mueve hacia el frente, permitiendo el paso del fundido delante del tornillo.

Recuerde que la plastificación sucede al mismo tiempo que la etapa de enfriamiento. Bajo condiciones normales la plastificación termina antes que el enfriamiento y, si el enfriamiento termina antes, el permiso para abrir el molde será denegado por el control. Esta condición extendería el tiempo de enfriamiento y, consecuentemente, afectaría las dimensiones térmicas.

Parámetros de plastificación de máquina:

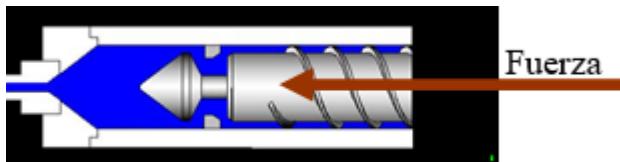
- velocidad de plastificación (rpm)
- contrapresión hidráulica (psi o bares)
- perfil de temperaturas del barril ($^{\circ}$ F o $^{\circ}$ C)
- posición de plastificación del tornillo (pulg o mm)
- descompresión (pulg o mm)

Parámetros de plastificación *Universales*:

- tiempo de plastificación (segundos)
- contrapresión plástica (psi o bares)
- temperatura del fundido ($^{\circ}\text{F}$ o $^{\circ}\text{C}$)
- volumen de plastificación (pulg 3 o mm 3)
- descompresión (pulg 3 o mm 3)

La contrapresión (“back pressure”)

El objetivo de la contrapresión es crear una fuerza que se oponga al libre desplazamiento del tornillo durante la plastificación. Esta fuerza se reflejará en forma de presión en el fundido.



II-3. La contrapresión (“back pressure”)

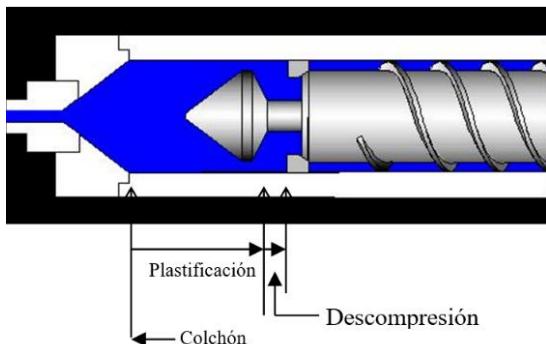
Aumento en contrapresión resulta en aumento en fricción y aumento en la capacidad de mezclado.

Aumento en la velocidad de plastificación resulta en aumento en fricción y reducción en el tiempo de plastificación.

Los fundidos termoplásticos son compresibles; algunos materiales pueden ser comprimidos sobre un 20%. Consecuentemente, aumento en contrapresión también resulta en aumento en la cantidad de material de inyección, ya que más plástico será compactado en el mismo volumen en la unidad de inyección.

La descompresión después de la plastificación

La descompresión reduce la presión del fundido después de la plastificación. Esto lo hace con un pequeño desplazamiento del tornillo en la dirección de la plastificación.



II-4. La descompresión

Durante la plastificación el molde está cerrado y lleno de material, y es ese material quien mantiene el fundido dentro de la unidad de inyección. Después de la plastificación el fundido está comprimido y, si el molde abre y desmolda las partes moldeadas, el fundido podría crear un babeo de material dentro del molde abierto. Por esta razón existe la descompresión después de la plastificación. La única excepción sería cuando el molde incluye válvulas en los bebederos, o la unidad de inyección incluye una válvula en la boquilla; en este caso, la descompresión después de la plastificación se podría ajustar una pequeña cantidad.

También existe la descompresión antes de la plastificación. Aunque no es tan común, ya que el barril de inyección está prácticamente vacío, este movimiento ayuda con la remoción de la colada y facilita el cierre de válvulas de bebederos (“valve gates”) en moldes con colada caliente.

Recuerden:

- Si el molde abre durante la plastificación y ni la unidad de inyección ni el molde están provisto con algún sistema de válvulas de cierre, el plástico se chorreará dentro del molde.
- Como regla general, la plastificación debe terminar cerca de un segundo antes que el enfriamiento.
- Es importante saber que la unidad de inyección utiliza dos fuentes de calor para fundir el plástico, las bandas de calor y la fricción.
- Aunque el operador programa las zonas de calor del barril, la temperatura del fundido es el factor más significativo.

Movimientos de la Prensa

Los movimientos de la prensa son simples; ahora, debe ser cauteloso durante su ajuste o roturas cuantiosas podrían surgir. Cada máquina posee una programación única, y usted es responsable de aprender y entender la operación del control antes de utilizarlo.

Veamos una secuencia simple:

- El molde abre.
- Los noyos (“cores”), si existen, abren.
- Las partes moldeadas son expulsadas.
- Los noyos (si existen) regresan a su lugar.
- Se inicia el cierre.
- Se inicia la etapa de protección del molde.
- Se completa la fuerza de cierre.

Molde abre

Permiso de abrir la prensa sucede después que termina el enfriamiento y, en adición, en la mayoría de los moldes, terminó la plastificación. Los parámetros más significativos son el perfil de velocidad y la posición de apertura.

Remover noyos (“cores”)

No todo molde necesita de esta opción. Los noyos son mayormente utilizados con moldes donde la cavidad se tiene que abrir o desarmar para que las partes puedan ser expulsadas. Este tipo de desarme es operado por un mecanismo externo, ya sea hidráulico o electromecánico. Esta operación puede suceder mientras el molde abre.

Expulsión de las partes

Normalmente las partes moldeadas y la colada se quedan atrapadas por el molde, y su remoción depende de mecanismos de expulsión. Las partes son expulsadas del molde por medio de botadores (“*ejector pins*”), platos de expulsión (“*ejector plates*”), etc. Esta operación puede suceder mientras el molde abre (“*ejecting-on-the-fly*”) o una vez esté totalmente abierto. Es común ver brazos mecánicos (“*robots*”) remover los componentes moldeados. Los parámetros más significativos son la velocidad y el desplazamiento de expulsión.

Relocalización de los noyos

Aquellos moldes que traen esta opción requieren que los noyos regresen a su posición antes de cerrar. Es importante alambrar toda señal que garantice el ensamble completo de los noyos. Un cierre del molde con los noyos desarmados podría ocasionar roturas en el molde.

Cierre del molde

Una vez se arman los noyos y los platos expulsores regresan a su posición, el molde inicia el cierre. Los parámetros más significativos de esta etapa son el perfil de velocidad y sus posiciones.

Protección del molde

La protección del molde es de extrema importancia y se ajusta de manera que detecte la dificultad de cierre, a consecuencia de algún objeto atrapado, sin dañificar el molde. Algunos de los parámetros más significativos en la zona de protección son el tiempo límite y la fuerza límite. Por ejemplo, si durante la zona de protección el tiempo límite o la fuerza límite son alcanzados, la prensa interrumpe el cierre.

Fuerza de cierre

Una vez pasa la etapa de protección del molde, entonces la prensa continúa el cierre hasta alcanzar la fuerza de cierre ajustada. La fuerza de cierre se ajusta de acuerdo con los requerimientos del molde.

Nunca se puede ser demasiado cauteloso; entienda su molde y el control de la máquina antes de tratar de operarla. Siga todas las reglas de seguridad provistas por el manufacturero del equipo y las establecidas por su empresa.

Preguntas

- 1) Algunos parámetros ***Universales*** son
 - a. velocidad de inyección, posición del tornillo, presión hidráulica de inyección y revoluciones por minuto.
 - b. tiempo de inyección, volumen del fundido, presión de inyección plástica y tiempo de plastificación.
- 2) Seleccione la oración correcta:
 - a. Los parámetros de máquina son aquellos valores que el fundido ve antes de entrar al molde.
 - b. Parámetros ***Universales*** son aquellos valores que el fundido ve antes de entrar al molde.
- 3) Los parámetros ***Universales*** de la etapa de inyección son
 - a. presión de inyección.
 - b. velocidad de inyección.
 - c. tiempo y flujo de inyección.
- 4) Seleccione todas las oraciones correctas:
 - a. La velocidad de inyección es un parámetro ***Universal***.
 - b. Flujo es la división entre el volumen de inyección y el tiempo de inyección.
 - c. Durante la etapa de inyección buscamos llenar el molde cerca de un 95% de su volumen total.
 - d. Las unidades de velocidad de inyección son milímetros cúbicos/segundo.
- 5) ¿Cuántas velocidades recomendamos durante la etapa de inyección?
 - a. Solo una, siempre y cuando la posición de transferencia sea ajustada adecuadamente.
 - b. Dos, con la última lenta.
 - c. Tres, iniciar lento, continuar rápido y terminar lento.
- 6) ¿Controlamos presión y tiempo de inyección en la etapa de inyección?
 - a. Sí, se controlan con el propósito de garantizar una velocidad de inyección.
 - b. No, los limitamos con el objetivo de proteger el molde y la máquina.
- 7) Seleccione todas las oraciones correctas:

- a. Transferencia por tiempo mide el desplazamiento desde el inicio de la inyección hasta alcanzar la posición de transferencia entrada.
 - b. La transferencia por posición mide el desplazamiento desde el inicio de la inyección hasta alcanzar la posición de transferencia entrada.
 - c. La transferencia por presión monitorea el tiempo desde que se inició la inyección hasta que expira el tiempo de transferencia entrado.
 - d. Los moldeadores **Universales** preferimos transferir por posición.
- 8) Seleccione todas las oraciones correctas:
- a. La posición de transferencia termina la etapa de inyección e inicia la etapa de empaque.
 - b. La transferencia por posición es un parámetro Universal.
 - c. Las unidades de volumen de transferencia son pulgadas o milímetros.
 - d. Los moldeadores **Universales** preferimos transferir por posición, y si la máquina es capaz de transferir por volumen, entonces por volumen.
- 9) Seleccione todas las oraciones correctas:
- a. La etapa de empaque es conocida como la etapa de control de presión.
 - b. Se puede llenar un 100% del molde en la etapa de inyección.
 - c. La etapa de empaque se conoce como la etapa de control de velocidad.
 - d. Debemos siempre utilizar múltiples presiones de empaque.
- 10) ¿Puede el colchón ser igual a cero?
- a. Si, así tendrá control de las dimensiones de masa.
 - b. No, el colchón debe siempre existir para que el empaque funcione.
- 11) Seleccione todas las oraciones correctas:
- a. En la etapa de enfriamiento podemos corregir dimensiones de masa.
 - b. La temperatura del agua entrando al molde y la del acero del molde son iguales.
 - c. Los parámetros de control en la etapa de enfriamiento son la temperatura del molde y el tiempo de enfriamiento.
 - d. Ambos, temperatura del molde y tiempo de enfriamiento, son parámetros de máquina y **Universales**.
- 12) Seleccione todas las oraciones correctas:
- a. En la etapa de plastificación podemos corregir dimensiones de masa.
 - b. Las zonas de calor del barril miden las temperaturas del acero y no la del fundido.
 - c. La temperatura del fundido es un parámetro Universal.

- d. La temperatura del fundido es más significativa que las zonas de calor del barril.
- 13) Los parámetros ***Universales*** de la plastificación son
- tiempo de plastificación, contrapresión plástica, temperatura del fundido y volumen de plastificación.
 - velocidad de plastificación, contrapresión hidráulica, perfil de temperaturas y posición de plastificación.
- 14) Aumento en contrapresión resulta en
- aumento en fricción y reducción en el tiempo de plastificación.
 - aumento en fricción y aumento en la capacidad de mezclado.
- 15) La descompresión después de la plastificación
- reduce la presión del fundido antes de la plastificación.
 - reduce la presión del fundido después de la plastificación.
 - asiste al sellado de la anilla contra el tornillo, impidiendo el paso del fundido al frente del tornillo.
- 16) Aumento en contrapresión implica aumento en
- la cantidad de fundido en la plastificación, fricción y velocidad (rpm).
 - la cantidad de fundido en la plastificación, la fricción y la capacidad de mezclado.
- 17) Los fundidos termoplásticos son compresibles.
- Cierto, es por lo que la cantidad del fundido aumenta con la contrapresión.
 - Falso, no son compresibles, y la cantidad del fundido disminuye con la contrapresión.
- 18) Seleccione todas las oraciones correctas:
- La descompresión aumenta la cantidad de fundido.
 - La descompresión al final de la plastificación reduce la presión del fundido después de la plastificación.
 - Existe también la descompresión antes de la plastificación.
 - Durante la plastificación el molde está cerrado y lleno de material, y es ese material quien mantiene el fundido dentro de la unidad de inyección.

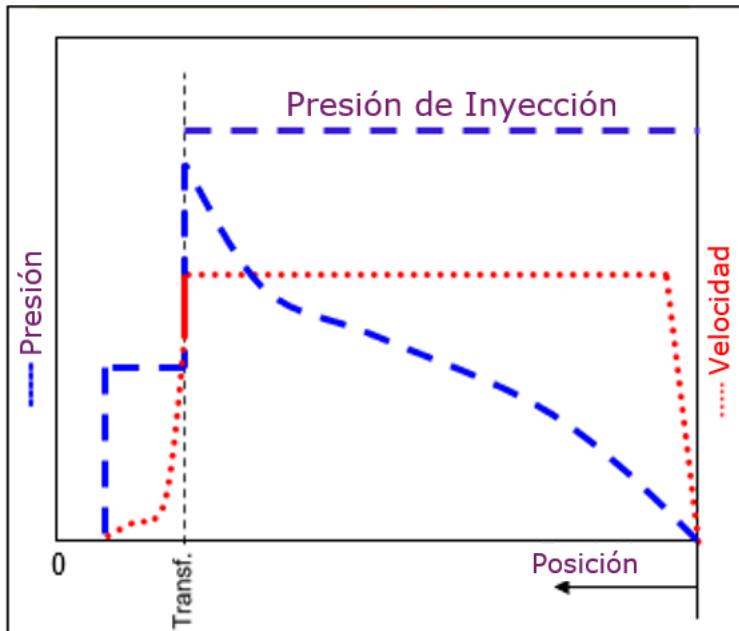
III. Gráficas del Proceso

- Moldeo con Gráficas
- Diagramas PVT

Moldeo con Gráficas

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

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



III-1. Gráfica de inyección ideal

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

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

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

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

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

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

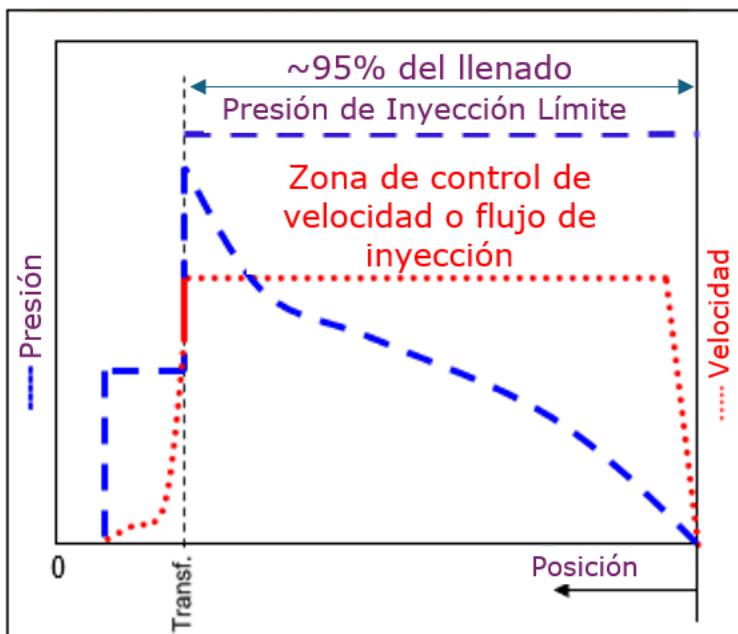
Algunos moldes presentan una extrema dificultad de llenado; por ejemplo, las amarras de nailon que son largas y delgadas, o las aplicaciones de micromoldeo con espacios estrechos e incómodos para el llenado. En estos casos, es posible que se requiera un porcentaje de llenado superior al 95%.

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

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

programelas todas de 5% a 10% sobre sus correspondientes presiones de inyección.

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



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

En resumen:

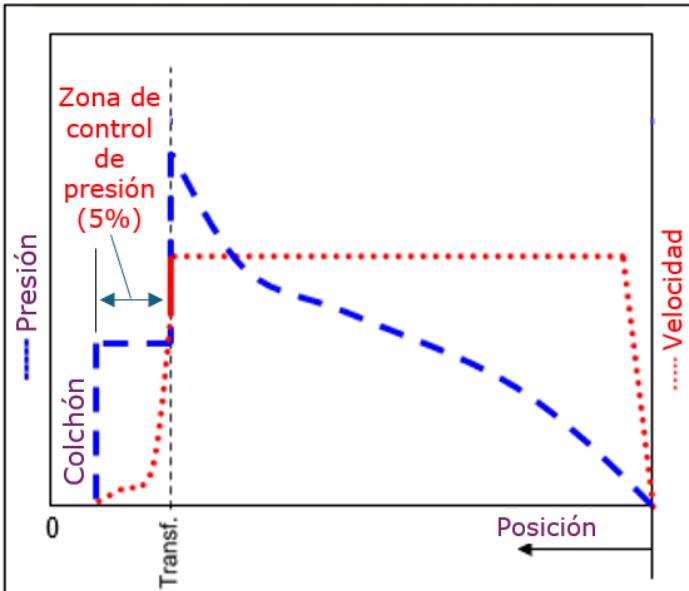
- Durante la etapa de inyección se llena sobre un 95% del volumen del molde, cavidades y colada.
- Durante la etapa de inyección se programa la presión límite de inyección, la cual nunca debe ser alcanzada ya que su único propósito es proteger la máquina y el molde.
- La presión es el resultado de la oposición al flujo; mientras más fundido entra al molde, mayor será la oposición. Asumiendo que

es una sola velocidad de inyección, entonces la presión incrementará hasta la posición de transferencia.

- La presión límite de inyección debe ser programada de 5 a 10% sobre la presión en la etapa de inyección.
- La posición del colchón debería ser menor que la posición de transferencia.

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

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



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

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

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

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

Existen algunos moldes de coladas calientes que adicionan válvulas en cada bebedero. Estas válvulas (“*gate valves*”) accionan, creando el efecto

de endurecimiento de bebederos. El funcionamiento de estas válvulas es simple; una vez las cavidades son empacadas, las válvulas en cada bebedero son accionadas, sellando el paso del fundido. La señal de cerrar las válvulas provendría de la señal correspondiente al tiempo de empaque. Una vez completan su función se abren, permitiendo el llenado como cualquier otro bebedero.

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

En resumen:

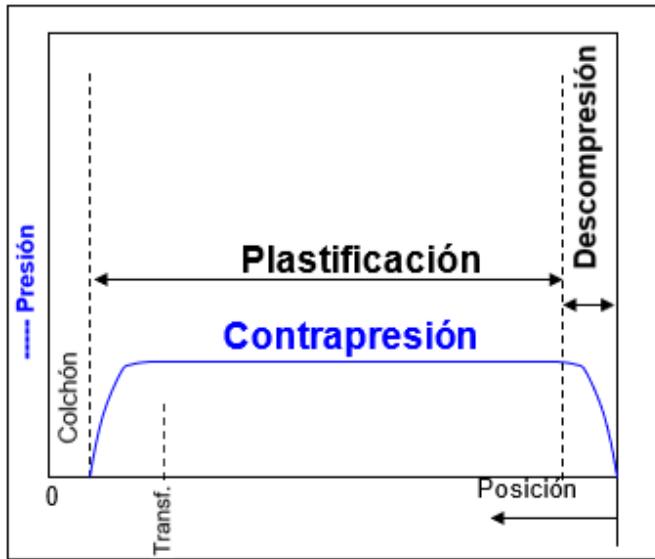
- Durante el empaque la velocidad es el resultado de controlar la presión, y su magnitud será insignificante.
- Durante la etapa de empaque se llena el remanente de las cavidades que no se llenó durante la etapa de inyección.
- La presión de empaque es mantenida hasta que los bebederos se solidifiquen.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

Identifique cada zona de control:

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

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

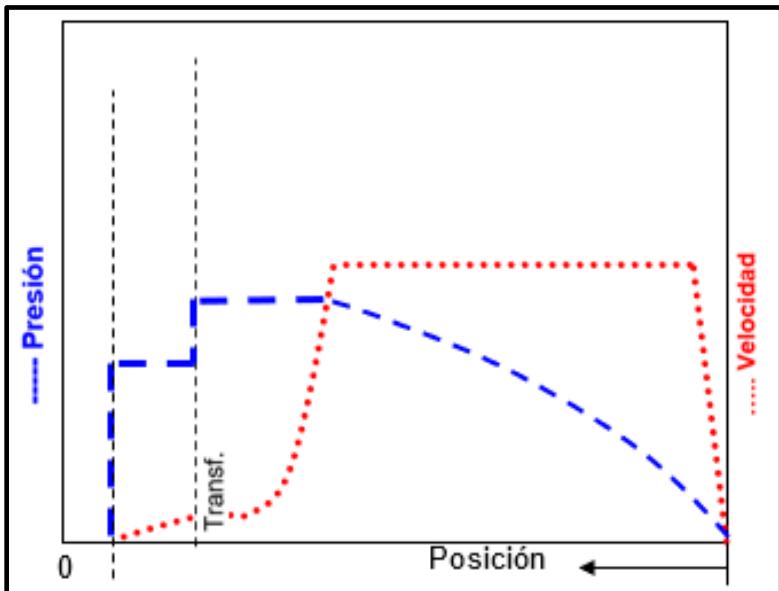
La plastificación es cuando el tornillo rota y carga material en el barril para el próximo ciclo. La gráfica de plastificación ilustra la presión durante la plastificación, que debería ser igual a la contrapresión ajustada. Una vez el tornillo carga el volumen requerido, este descomprime el material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



III-4. Gráfica de zona de plastificación

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

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

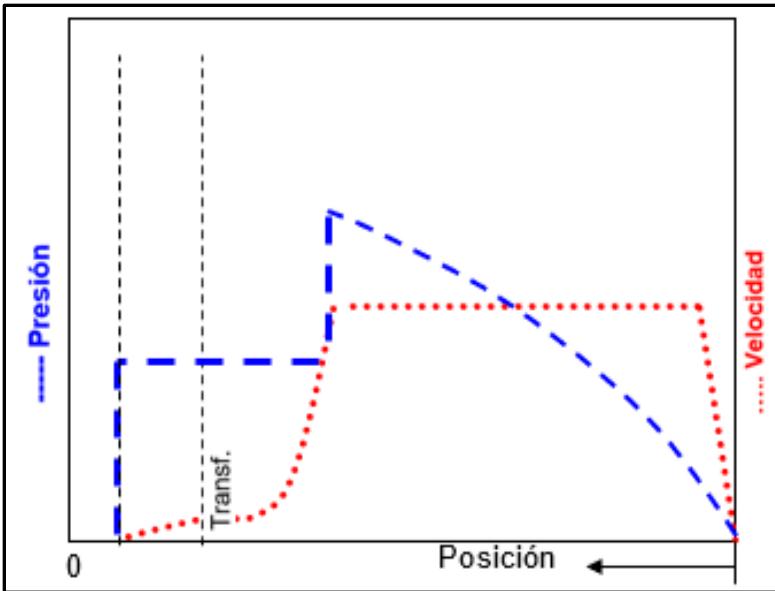


III-5. Gráfica de presión limitada

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

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

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

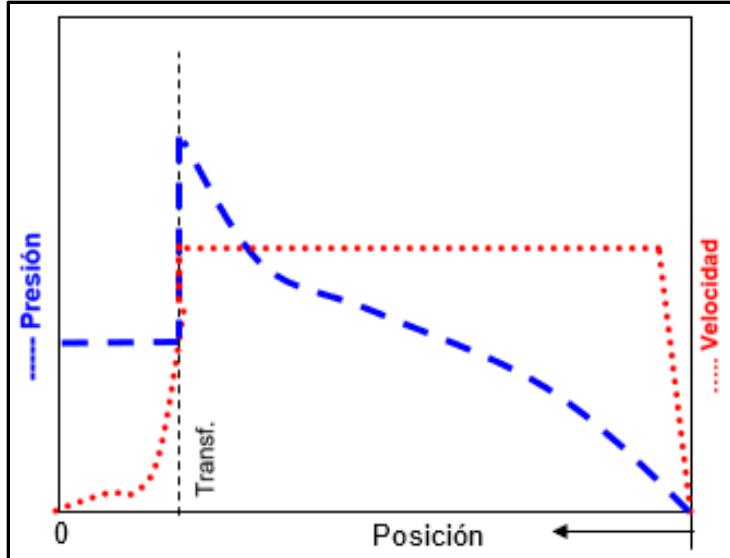


III-6. Gráfica de transferencia prematura

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

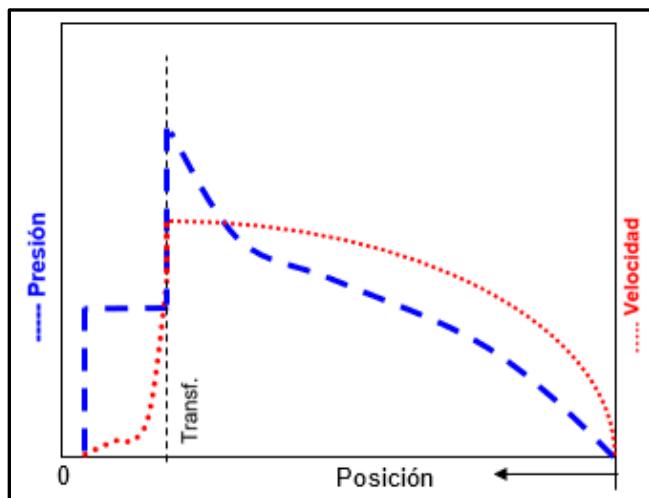
La gráfica a continuación representa un proceso defectuoso como resultado de un cojín igual a cero. En ella, se muestra claramente que el tornillo se movió completamente hacia adelante, vaciando el barril por completo. No existe el cojín, y no se controla las dimensiones de masa. Este problema podría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

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



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

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

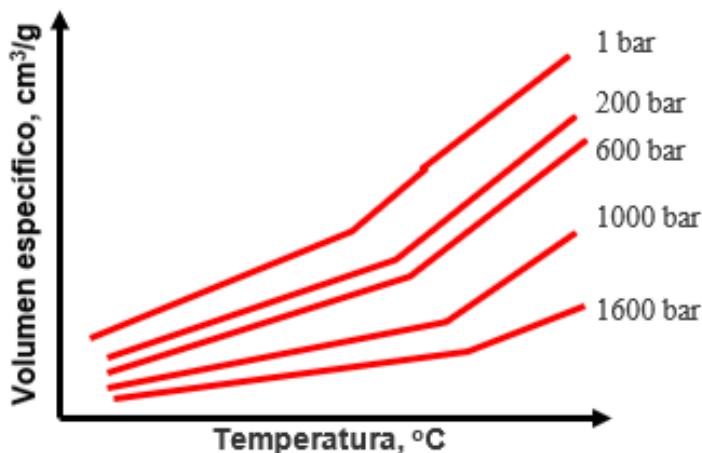


III-8. Gráfica de velocidad programada no fue alcanzada

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

Diagramas PVT

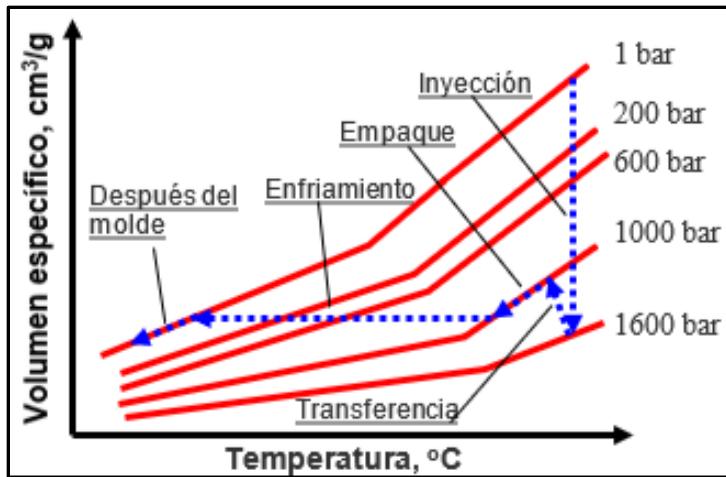
Para el beneficio de moldeadores que utilizan sensores de presión y temperatura en las cavidades, transportemos estos conceptos al diagrama de PVT (Presión, Volumen Específico y Temperatura).



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

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

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



III-10. Diagrama de PVT con etapas de moldeo

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

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

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

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

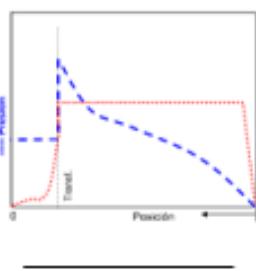
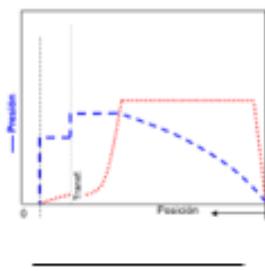
Una vez expira el tiempo de enfriamiento, las piezas son desmoldadas al ambiente donde continuarán enfriándose y encogiendo a una presión constante.

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

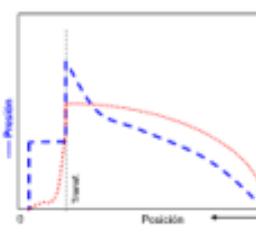
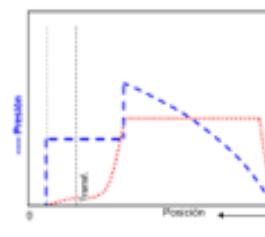
Preguntas

- 1) Durante la etapa de inyección controlamos la presión de inyección.
 - a. Cierto, controlamos la presión y la temperatura.
 - b. Falso, controlamos la velocidad de inyección.
- 2) Podemos llenar un 100% de las cavidades en la etapa de inyección.
 - a. Cierto, el 100% se completa en la transferencia.
 - b. Falso, el 100% se completa durante el empaque.
- 3) La etapa de inyección debe ser terminada cuando
 - a. el tiempo de inyección expira.
 - b. la presión alcanza la presión límite.
 - c. se llega a la posición de transferencia.
- 4) En la etapa de empaque conseguimos
 - a. dimensiones térmicas.
 - b. dimensiones de masa.
 - c. velocidad constante.
 - d. un fundido homogéneo.
- 5) En la etapa de empaque controlamos
 - a. la contrapresión.
 - b. la velocidad de llenado.
 - c. la presión de empaque y el tiempo de empaque.
- 6) El empaque debe terminar
 - a. cuando los bebederos se congelan.
 - b. por posición.
 - c. por presión.
- 7) En la etapa de enfriamiento controlamos
 - a. el tiempo de llenado y la presión límite.
 - b. el flujo de aceite al cilindro hidráulico.
 - c. el tiempo de enfriamiento y la temperatura del molde.
- 8) En la etapa de enfriamiento buscamos
 - a. desmoldar las partes con unas dimensiones de masa adecuadas.
 - b. las dimensiones exteriores.
 - c. desmoldar las partes con unas dimensiones térmicas adecuadas.

- 9) El cojín puede ser igual a cero.
- Cierto, así controlamos dimensiones de masa.
 - Falso, no podríamos controlar dimensiones de masa.
- 10) Aparee las gráficas, de procesos fuera de control, con sus correspondientes desperfectos.



- a. cero cojín
- b. velocidad programada no fue alcanzada
- c. transferencia prematura
- d. presión limitada



IV. Morfología de Plásticos

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

Tipos de Plásticos

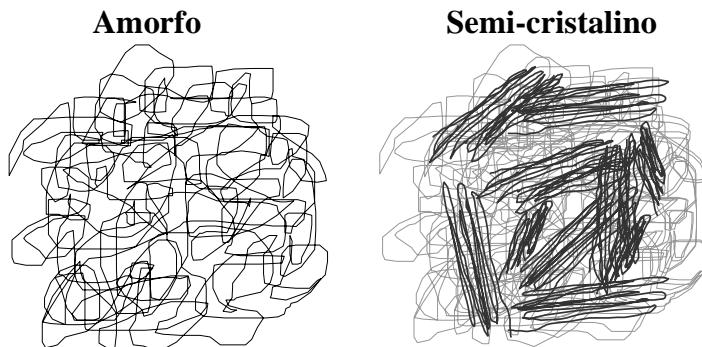
Básicamente existen dos tipos de plásticos, termoestables y termoplásticos.

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 Universal™** 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 (amorfos).

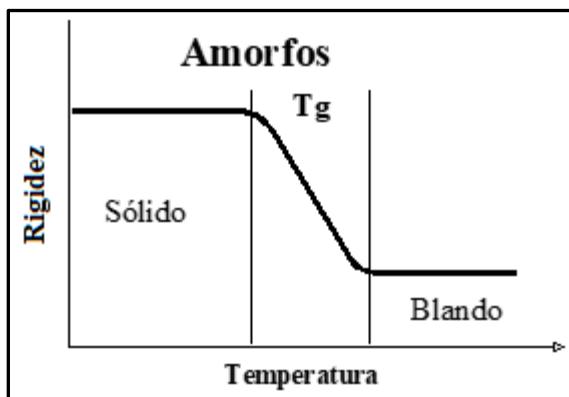


IV-1. Ilustración representando organización de moléculas amorfas y semi-cristalinas

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.

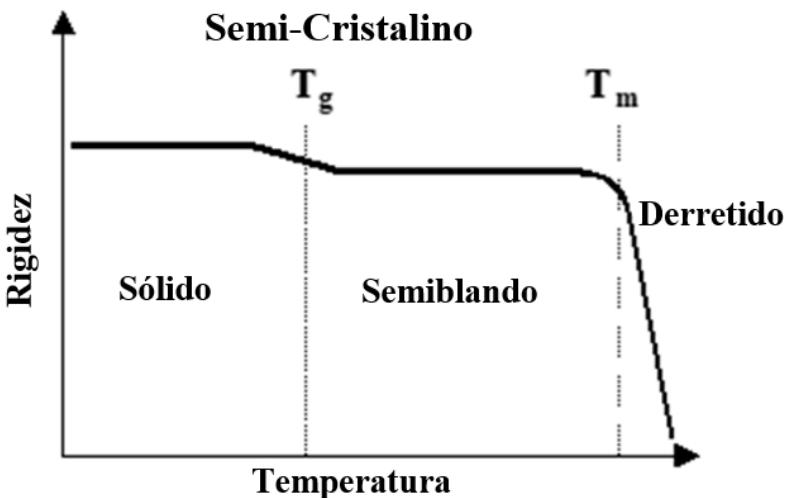


IV-2. Gráfica ilustrativa de rigidez contra temperatura en materiales amorfos

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 vítreo, 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.



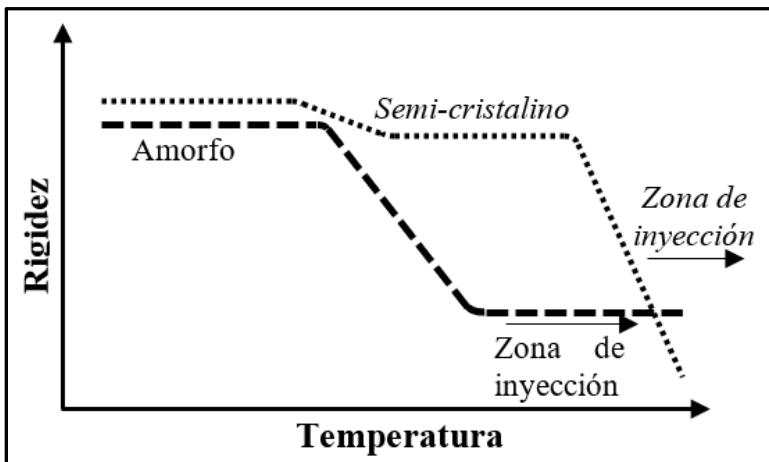
IV-3. Gráfica ilustrativa de rigidez contra temperatura en materiales semi-cristalinos

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 amorfá 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 sobreuestas 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 amorfos 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 translúcido a opaco según se enfriá 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
<u>Se ablandan</u> Cuando se inyecta un fundido amorfos se hace con un fluido pastoso o gomoso. Una purga de este fundido se amontonaría como una pasta con poca intención de fluir.	<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.
<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.	<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.
<u>Transparentes</u> Los materiales amorfos, fundidos o sólidos y sin aditivos son translúcidos o claros. Nota: Cuidado con confundir la propiedad “claridad del material” con el término “morfología cristalina”.	<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.
<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.	<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.

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

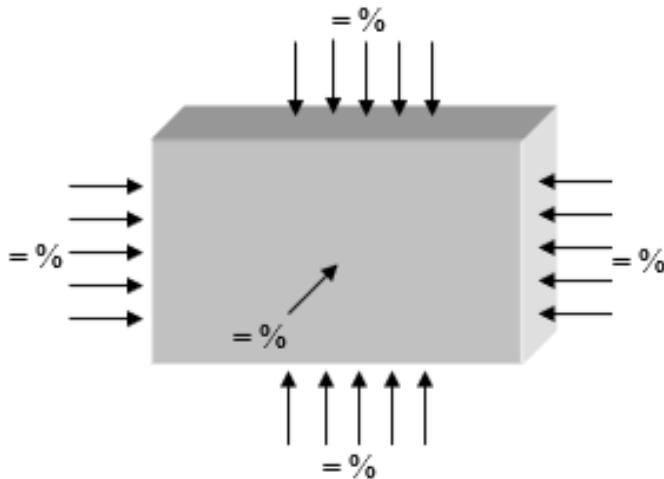
La contribución a la dimensión de cada una de estas características dependerá del tipo de material. Por esto, entienda sus materiales antes de tratar de corregir dimensiones o cualquier atributo.

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

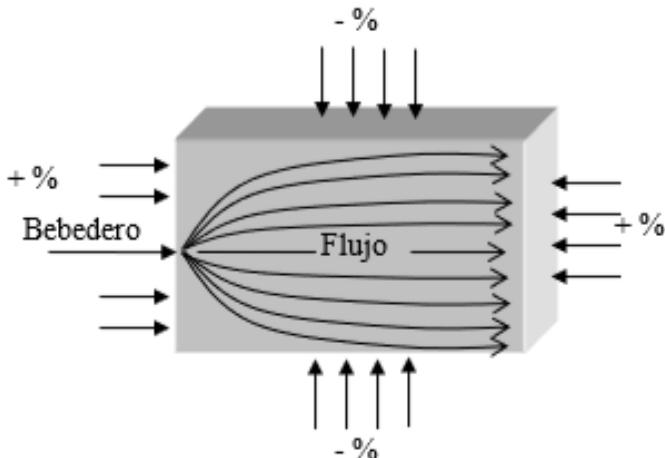
Encogimiento

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.

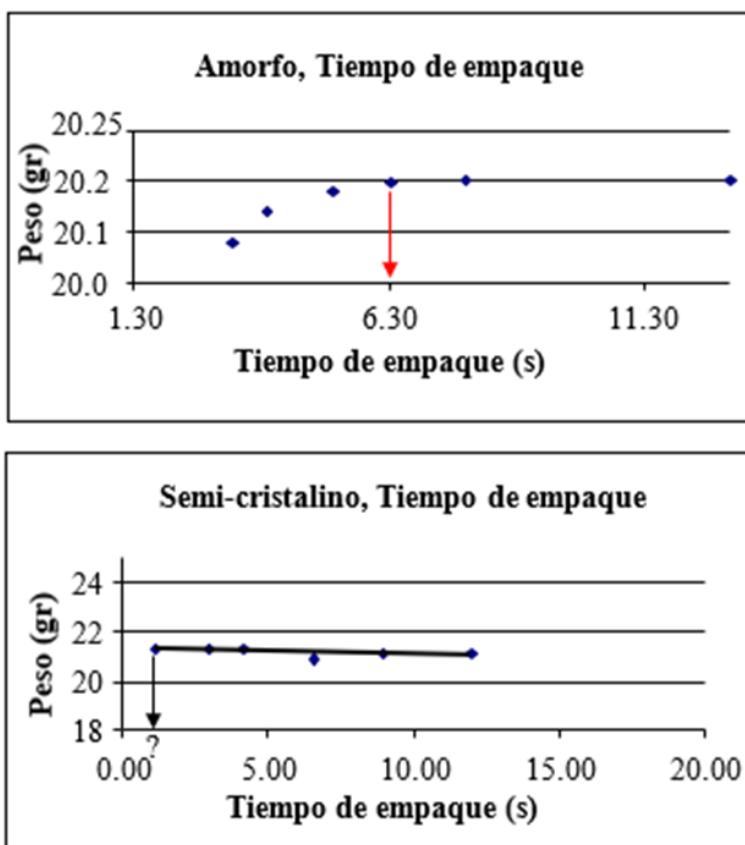
Algunos Experimentos

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 amorfó (poliestireno) y el otro semi-crystalino (nilón).



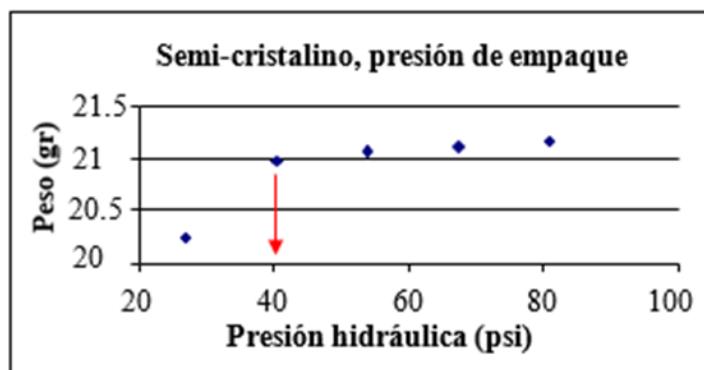
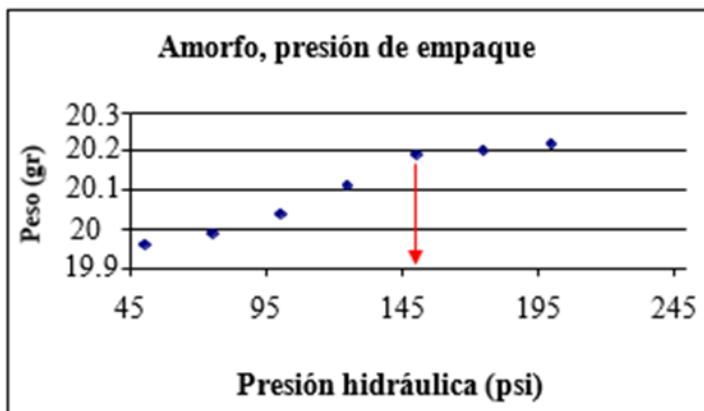
IV-10. Efecto del tiempo de endurecimiento de los bebederos en materiales amorfos y semi-crystalinos

Las gráficas de peso de piezas contra tiempo de empaque revelan que el material amorfó solidificó los bebederos cerca de 6 segundos, y consecuentemente el peso dejó de aumentar. Con el material semi-crystalino 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-crystalino.

Esto es de esperarse ya que los semi-crystalinos 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 amorfos (poliestireno) y el otro semi-cristalino (nilón).



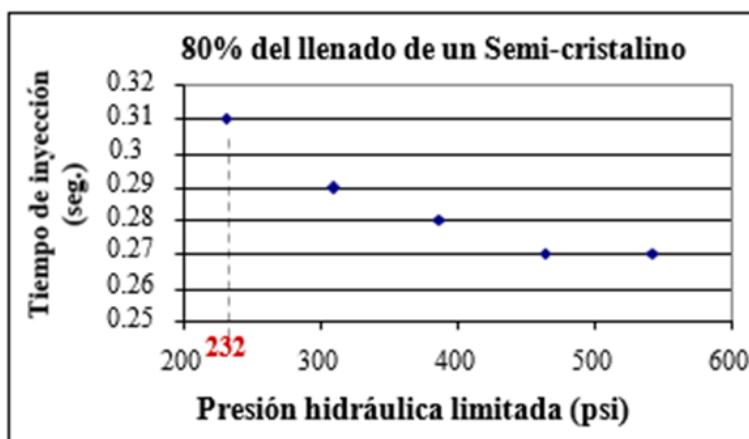
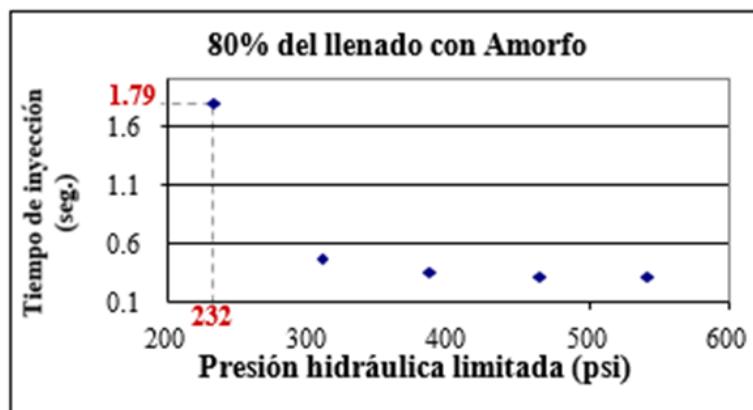
IV-11. Efecto del empaque en el peso de las piezas en materiales amorfos y semi-cristalinos

El material amorfos 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 amorfos 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 amorfos (poliestireno) y el otro semi-crystalino (nilón).

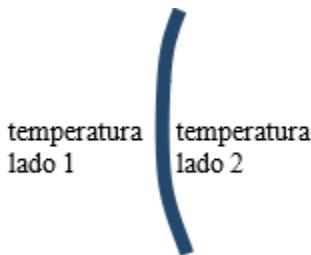


IV-12. Efecto de la presión de inyección en el tiempo de inyección en materiales amorfos y semi-crystalinos

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

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.

V. Equipos Auxiliares

- **Secado de Materiales**
- **Dosificación y Manejo de Materiales**
- **Control de Temperatura de Agua al Molde**

La experiencia nos ha enseñado que un gran número de moldeadores le prestan más importancia a la máquina moldeadora y al molde, menospreciando los equipos auxiliares. Antes de iniciar el moldeo se debe tener completa seguridad de que los equipos auxiliares adjuntos al proceso son los adecuados y están ajustados apropiadamente. Entienda sus equipos y utilícelos adecuadamente, los equipos auxiliares como la secadora de materiales y las manejadoras de resinas son parte integral del proceso.

Secado de Materiales

Existen materiales poliméricos que necesitan ser secados antes de ser procesados. Estos materiales se conocen como materiales higroscópicos, y por la naturaleza de su química tienden a absorber el agua del ambiente. Las moléculas de agua se alojan dentro del polímero ocasionando imperfecciones en las partes moldeadas. Materiales higroscópicos comunes son PA, policarbonato, PET, ABS, etc.

El material obtiene la humedad del ambiente. Molecularmente hablando, las moléculas de los materiales higroscópicos prefieren ser acompañadas por moléculas de agua. Durante la fabricación del plástico a altas temperaturas y presiones, el material libera agua. Una vez polimerizado y llevado a condiciones ambientales, el material quiere el agua de vuelta.

Las imperfecciones de secado más comunes son el veteado y las burbujas. El veteado, al igual que las burbujas, son regularmente perceptibles a la simple vista. El veteado se presenta en forma de vetas descoloradas en la dirección del flujo. Las burbujas son el producto del agua en forma de vapor que termina siendo atrapado en las piezas moldeadas. Un método utilizado para identificar este tipo de burbujas es calentando las piezas moldeadas, ya que las burbujas, a consecuencia de la humedad, tienen la particularidad de expandir o crecer cuando se calienta la pieza a temperaturas cerca de la deformación del plástico.

Las burbujas debilitan las piezas moldeadas, estas se convierten en puntos de concentración de esfuerzos que podrían convertirse en fracturas una vez la pieza moldeada es expuesta a pruebas de funcionalidad.

Existen materiales no higroscópicos que requieren ser secados, por ejemplo, piezas que demandan alta claridad. La resina es a veces secada

con el propósito de maximizar la translucencia. Ahora este tipo de humedad se remueve con calor, ya que la humedad en el material es superficial.

La mecánica del secado se basa en cuatro factores:

- aire extremadamente seco
- temperatura de secado
- flujo de secado
- tiempo de secado

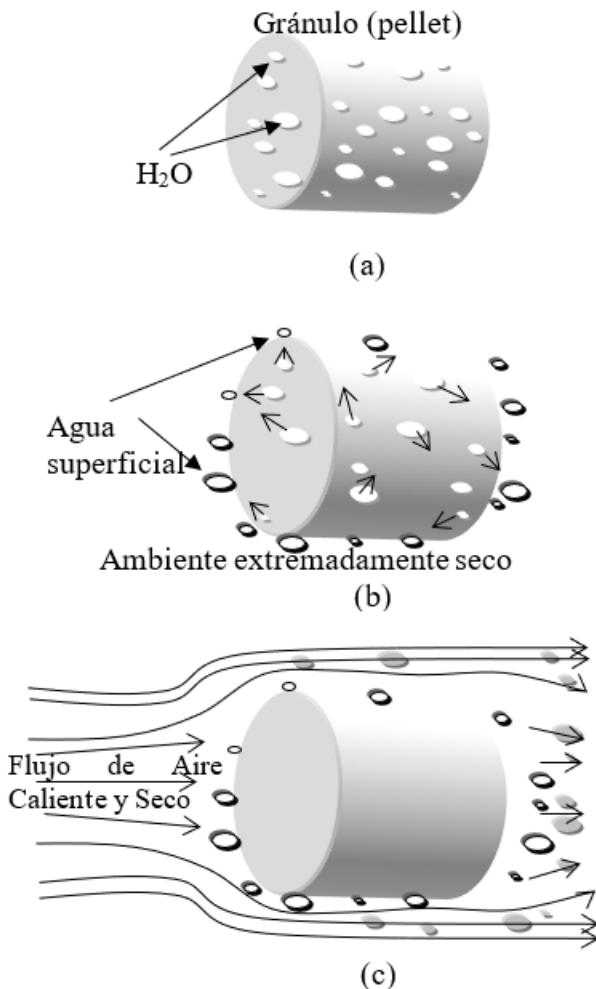
Aire extremadamente seco

Se debe crear un ambiente con aire extremadamente seco. El agua es forzada a salir a la superficie del plástico por medio de un aire sediento en búsqueda de humedad. Este aire es tan seco que ningún ser humano podría vivir en él. Esto se consigue manteniendo una temperatura de condensación (temperatura de rocío o “dew point”) menor de -30°C (-20°F). La temperatura de condensación es el punto en que el vapor de agua que existe en el aire se condensa. Por ejemplo, el rocío de la mañana es consecuencia de la condensación de agua ocasionada por la caída de temperatura nocturna.

Temperatura de secado

La secadora, además de un aire súper seco, requiere de un aire caliente que ayude a extraer el agua a la superficie y que sea capaz de evaporar el agua. Esta temperatura del aire se conoce como temperatura de secado y depende del material. Por ejemplo, el policarbonato requiere una temperatura de secado de alrededor de 121°C (250°F).

Flujo de secado



V-1. Mecánica del secado de termoplástico

- gránulo ("pellet") de termoplástico con humedad alojada dentro del plástico.
- Un ambiente extremadamente seco fuerza las moléculas de agua a salir a la superficie.
- Un flujo de aire seco y caliente evapora el agua superficial y la remueve en forma de vapor.

Se necesita suficiente flujo de aire para remover el vapor de agua de la tolva de secado. Este flujo de aire súper seco y caliente es el responsable de transportar el vapor de agua fuera del material.

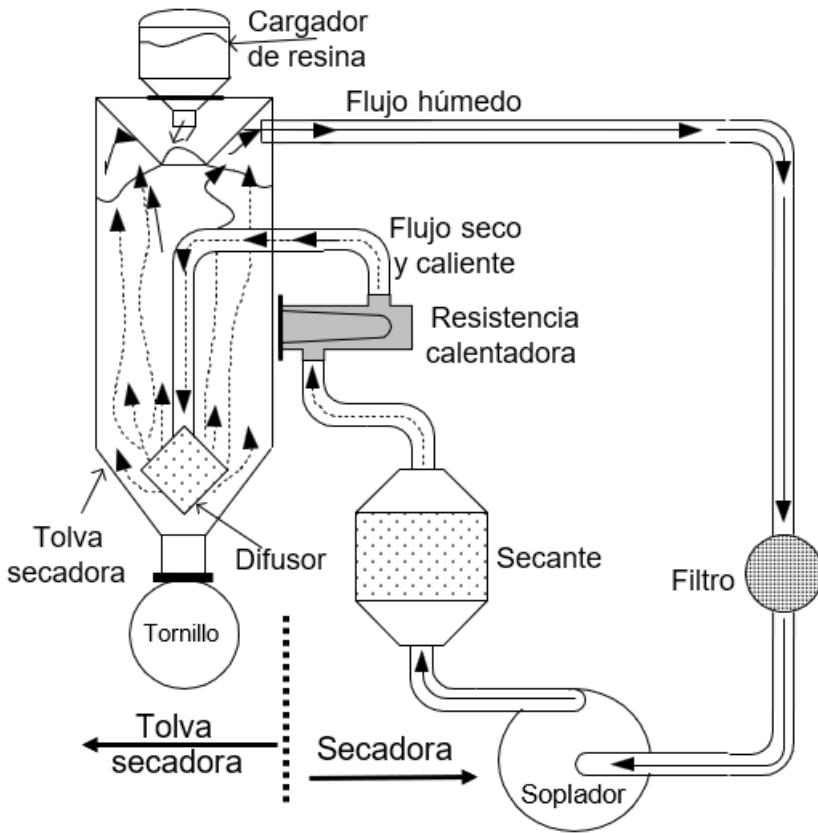
Las unidades del flujo más comunes son: metros cúbicos por minuto (m^3/min) y pies cúbicos por minuto (cfm). Este flujo depende del tipo de material y del consumo de material. Por ejemplo, PA (nilón) necesita un flujo de aire seco de 25 litros/min (0.90 cfm) por cada 1 kg/h (1 lb/h) de material.

Tiempo de secado

El proceso de secado es paulatino y requiere de suficiente tiempo de secado para completar la remoción de humedad. En otras palabras, desde que el material entra a la secadora tiene que transcurrir un tiempo definido para que la resina sea expuesta a un flujo de aire seco y caliente hasta que se complete el proceso de secado. El tiempo de secado depende del material; por ejemplo, policarbonato necesita 4 horas de secado. Existen muchos textos que resumen los valores de tiempo, flujo, y temperatura de secado. Aun así, corroboren con la ficha técnica que provee el manufacturero de la resina.

Componentes del equipo de secado

Los componentes principales del circuito de secado son la tolva de secado (“*drying hopper*”) y la secadora.



V-2. Tolva de secado y secadora

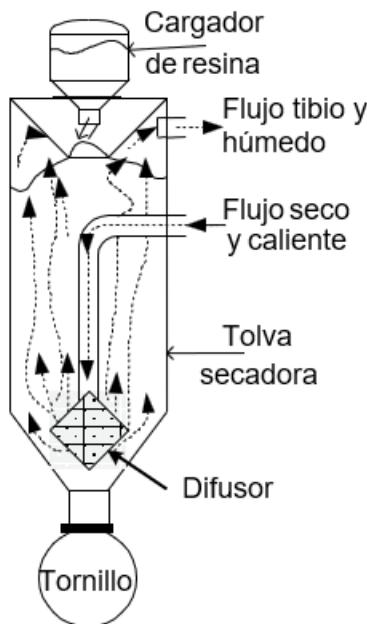
Tolva secadora

La tolva secadora se constituye de el cargador de resina, la entrada de aire caliente y súper seco, el difusor de aire caliente y súper seco, el retorno de aire húmedo y tibio, y la descarga a la extrusora.

La resina plástica reside en la tolva secadora mientras la humedad es removida. Aire caliente y extremadamente seco es forzado en la tolva y distribuido a través de la resina plástica por un difusor. El aire caliente y seco remueve la humedad y la transporta fuera de la tolva. El flujo de aire húmedo y tibio retorna a la secadora.

Se presume que durante el secado se pierden unos 56°C (100°F) de temperatura. Esta información será utilizada más adelante.

Una vez removida la humedad, el material está listo para ser inyectado.



V-3. Tolva secadora

Tamaño de la tolva secadora

El tamaño de la tolva tiene que ser de un tamaño adecuado para garantizar el tiempo de secado. Por ejemplo, un proceso de alto consumo demanda de una tolva secadora de mayor volumen que un proceso de bajo consumo con el mismo material.

Las tolvas de secado se identifican por su volumen; aunque algunos manufactureros utilizan la unidad lb o kg para identificar las tolvas, la forma apropiada es volumen, como pies³ o litros.

Para determinar el tamaño de la tolva secadora se requiere saber:

- el consumo de material, en lb/h o en kg/h

$$\begin{aligned} &\text{Consumo de material} \\ &= (\text{cantidad de material por ciclo}) / (\text{duración del ciclo}) \end{aligned}$$

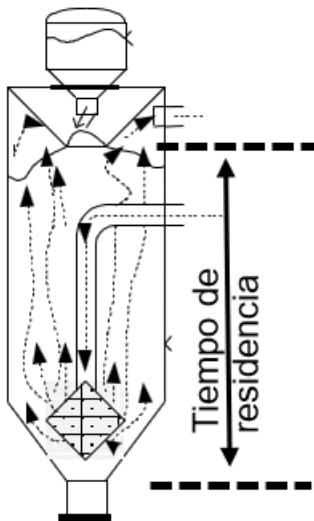
- el tiempo de secado en horas de secado, y
- la densidad granel de la resina plástica, en lb/pies³ o en kg/m³.

El consumo de material proviene del proceso. Por ejemplo, una moldeadora que inyecta partes y coladas, con un peso total de 53 gramos, cada 14 segundos nos da un consumo de:

$$\text{Consumo} = 53\text{g} / 14\text{s} = 3.79 \text{ gr/s} = \mathbf{13.6 \text{ kg/h}} = \mathbf{30 \text{ lb/h}}$$

Tiempo de secado

El tiempo de secado lo dicta el material que se va a secar. Por ejemplo, un policarbonato donde el fabricante especifica 4 horas de secado significa que el material debe residir más de cuatro horas dentro de la tolva secadora antes de ser moldeado. En otras palabras, el material que entra por la parte superior se debe demorar 4 horas antes de ser inyectado. El tiempo de secado considera el tiempo que reside el material dentro de la tolva secadora.



V-4. Volumen/tiempo de residencia

Densidad granel

Este valor lo provee el suplidor de la resina y representa el espacio que ocupa la resina en su estado granular. No la confunda con la densidad del material después de moldeado; recuerde que la densidad granular considera los espacios vacíos entre los granos de la resina. Las unidades más comunes de la densidad granel son kg/m^3 o en lb/pies^3 . Por ejemplo, un policarbonato con una densidad de 52 lb/pies^3 (833 kg/m^3) en un envase de

unos pies (metro) cúbico, lleno de resina, ocuparía 52 lb (833 kg) de ese policarbonato.

Ejemplo:

Una inyectora consume 30 lb/h (13.5 kg/h) de policarbonato con una densidad granular de 52 lb/pies³ (833 kg/m³) que requiere ser secado por 4 horas.

Utilizando la ecuación y sustituyendo:

$$\text{Volumen} = \text{consumo} * \frac{\text{tiempo de secado}}{\text{densidad granel}}$$

$$V = 30(\text{lb/h})4(\text{h}) / 52(\text{lb/pies}^3) = 2.3 \text{ pies}^3$$

Obtenemos que este proceso requiere de una tolva secadora igual o un poco mayor de 2.3 pies³ (65 litros).

Si el proceso utiliza material reprocessado o molido habría que considerar que parte de ese material es de otra densidad granel, ya que no es de forma granular como el material virgen. En adición a la densidad granel del molido se necesitaría la proporción de material virgen/molido.

Consideremos el ejemplo anterior con 20% de material molido:

- consumo = 30 lb/h, 80% virgen y 20% molido
- densidad material virgen = 52 lb/pies³
- densidad material molido = 36 lb/pies³
- tiempo de secado = 4 horas

Utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Volume} = T * C * \left(\frac{\%V}{D_{virgen}} + \frac{\%M}{D_{molido}} \right)$$

Donde:

T = tiempo de secado (horas)

C = consumo de resina (lb/h o kg/h)

D_{virgen} = densidad del virgen (lb/pies³ o kg/m³)

D_{molido} = densidad del molido (lb/pies³ o kg/m³)

$\%V$ = % del virgen

$\%M$ = % del molido

Sustituyendo los valores:

$$\begin{aligned}\text{Volumen} &= 4 \text{ horas} \times 30 \text{ lb/h} [0.8 \div 52 \text{ lb/pies}^3 + 0.2 \div 36 \text{ lb/pies}^3] \\ &= \mathbf{2.51 \text{ pies}^3}\end{aligned}$$

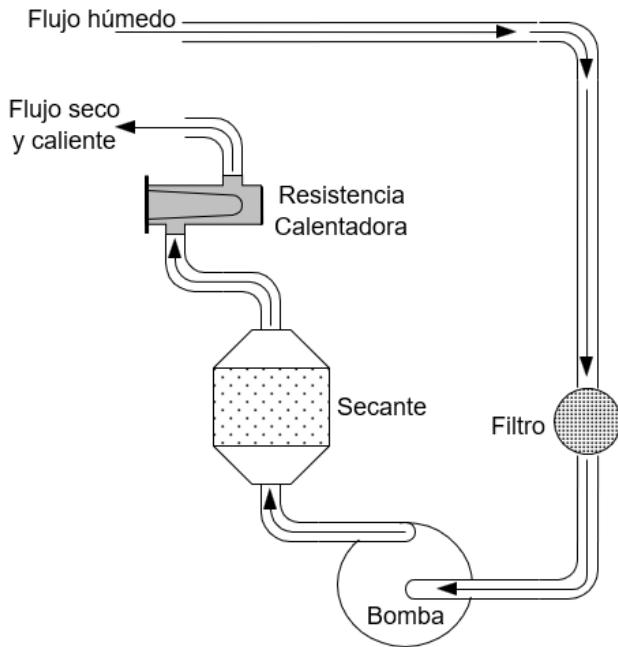
Obtendríamos una necesidad de una tolva igual o un poco mayor de 2.51 pies³. Este volumen es más grande que del ejemplo con 100% resina virgen (2.3 pies³). Esto es de esperarse ya que el material molido ocupa más espacio que el material virgen. Recuerden que la forma del material molido es una mezcla de hojuelas, tiras y polvo y el material virgen es de granos compactos.

Cargador de resina

El propósito del cargador de resina es mantener la tolva de secado llena de material. La tolva secadora debe estar siempre llena de resina. Si la tolva se vacía accidentalmente, por ejemplo, hasta la mitad, y luego es llenada es probable que el material que se llenó no esté completamente seco al momento de ser moldeado, ya que no residió en la secadora el tiempo de secado requerido por el material.

Secadora

La secadora la constituye el filtro, la bomba (“*blower*”), la recámara con material secante, y la resistencia de calor en el circuito de secado.



V-5. Circuito de secado

La secadora garantiza un flujo de aire seco y caliente. El flujo de aire húmedo que retorna de la tolva secadora es secado y calentado antes de ser devuelto a la tolva secadora.

El filtro

El flujo húmedo que retorna de la tolva secadora pasa por un filtro, evitando que polvo de plástico contamine el material secante. Es de extrema importancia que se examine el elemento filtrante, que se mantenga limpio y que se reemplace según las especificaciones del fabricante. Un filtro tupido obstruye el flujo del aire, y consecuentemente reduce la capacidad de secado de la secadora. Además, un filtro perforado permite el paso de partículas de plástico hasta el material secante y lo dañaría.

Bomba (“blower”)

El aire húmedo, tibio y filtrado llega hasta la bomba. La bomba es la responsable de mantener un flujo constante a través del sistema. Recuerden que cada proceso requiere un flujo específico y es una función del tipo de material y del consumo de resina.

El factor de flujo máximo es:

$$1 \text{ cfm} \rightarrow 1 \text{ lb/h de material}$$
$$63 \text{ litro/min} \rightarrow 1 \text{ kg/h de material}$$

Este factor de flujo es el máximo, consulte al suplidor de la resina y obtenga el valor real.

Por ejemplo:

Un policarbonato marca X se utiliza en un proceso que consume 50 lb/h.

$$\text{Flujo} = \text{factor flujo del material} \times \text{consumo}$$

Si no tenemos el factor de flujo del fabricante, asumimos un factor de 1 cfm/lb/h y calculamos:

$$\text{Flujo} = (1 \text{ cfm/lb/h}) \times (50 \text{ lb/h}) = \mathbf{50 \text{ cfm}}$$

Ahora si conocemos el factor de flujo, asumamos que es 0.95 cfm/lb/h obtendríamos:

$$\text{Flujo} = (0.95 \text{ cfm/lb/h}) \times (50 \text{ lb/h}) = \mathbf{47.5 \text{ cfm}}$$

El factor de flujo máximo es más seguro, pero no es real. Si está corroborando un proceso existente y quiere un valor de corroboración rápido, utilice el factor máximo. Si durante su rápida verificación el flujo calculado es menor que el flujo capaz de la secadora existente, entonces la secadora es adecuada. Ahora, si está seleccionando una secadora para un proceso, haga sus cálculos con el factor de flujo real.

Recámara secante

La recámara contiene un material secante que remueve la humedad del aire. Esta recámara o recámaras vienen instaladas en la secadora de un tamaño adecuado. El equipo llega con la recámara secante adecuada para ese equipo.

Ahora, es importante asegurarse de que el aire húmedo que entra a la recámara secante esté a una temperatura menor de 65°C (150°F), ya que si el retorno de aire húmedo que proviene de la tolva secadora está por encima de 65°C (150°F) el secante **NO** funcionará. En el evento de que el aire

húmedo retorno a la secadora por encima de 65°C (150°F) un intercambiador de calor debe ser agregado al sistema para reducir la temperatura del aire de retorno.

Si está seleccionando una secadora, verifique si necesita o no un intercambiador de calor en el retorno de aire húmedo de la secadora. Se mencionó anteriormente que se asume que durante el secado se pierden unos 56°C (100°F) de temperatura. De acuerdo con esta información seleccione el material con mayor temperatura de secado que usted considera utilizar en esa secadora, y réstele 56°C (100°F). Así sabrá si el retorno de aire húmedo está por encima de los 65°C (150°F).

Por ejemplo: con un PET de marca XY, el manufacturero especifica que se debe secar a 160°C (320°F). ¿Necesita o no el intercambiador de calor? Si le restamos a la temperatura de secado 56°C, obtenemos:

$$\text{Temperatura de retorno} = 160^\circ\text{C} - 56^\circ\text{C} = \mathbf{104^\circ\text{C}}$$

Entonces 104°C es mayor que 65°C, consecuentemente requerirá de un intercambiador de calor.

Si ha notado que 100°F no es igual 56°C, no es un error, estamos hablando de cambio en temperatura Delta. Por esto cuando se convierte un cambio Delta de Fahrenheit a Celsius se hace multiplicando el cambio en Fahrenheit por 5/9. Si el cambio de temperatura es de Celsius a Fahrenheit se multiplica el cambio en Celsius por 9/5. Únicamente aplique esta conversión cuando se trata de un Delta en temperatura.

Resistencia de calor

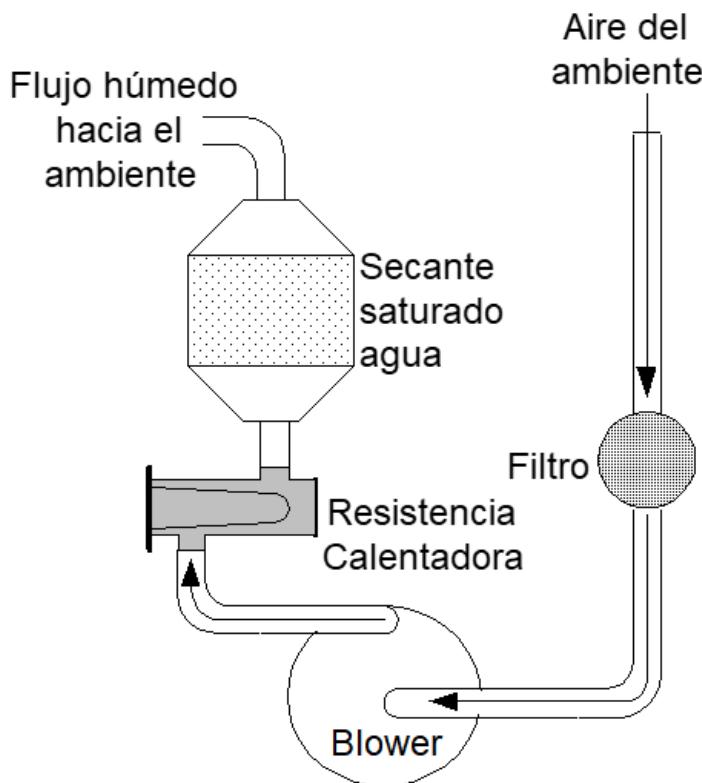
Finalmente, el aire seco que sale de la secante es calentado a una temperatura requerida por el material y enviado a la tolva de secado. La resistencia de calor encenderá automáticamente, manteniendo la temperatura ajustada por el técnico del equipo. No hay que hacer cálculos para determinar el tamaño de la resistencia de calor, afortunadamente el equipo llega con la resistencia de calor adecuada para esa secadora.

Una vez el material secante se satura de agua, este se lleva a un circuito de regeneración.

Regeneración

El secante no puede estar removiendo humedad perpetuamente, eventualmente se va a saturar de agua. En la etapa de regeneración, la recámara saturada es cambiada automáticamente por una seca y la saturada cambia a una etapa de secado.

Los componentes del circuito de regeneración son la entrada de aire del ambiente, el filtro de partículas, la bomba (“*blower*”), la resistencia de regeneración, la recámara con secante saturado de agua, y la descarga al ambiente.



V-6. Circuito de regeneración

En esta etapa de regeneración aire caliente, sobre 200°C (400°F), es forzado a través del material secante, removiendo la humedad y descargándola al ambiente. Es por esto por lo que los filtros se deben mantener siempre limpios y sin perforaciones, impidiendo que el polvo de plástico llegue al material secante. Ese aire de regeneración es tan caliente que puede fundir

la mayoría de los plásticos, y ese fundido cubriría el secante dañándolo. Una vez secada, la recámara entrara a una etapa de enfriamiento, esperando por el relevo de otra recámara saturada.

Aunque el equipo efectúa esta operación automáticamente, el método depende del manufacturero del equipo. Algunos lo hacen por un tiempo fijado en el control del sistema. Otros controladores lo hacen midiendo la temperatura de descarga al ambiente; cuando la temperatura de descarga sube a cierto nivel indica que el flujo de aire caliente dejó de remover humedad.

El manufacturero del equipo es quien recomienda la frecuencia con que se cambia el material secante. Muchos recomiendan que se cambie anual, otros recomiendan que se reemplace únicamente cuando la temperatura de condensación (“*dew point*”) del flujo excede -30°C (-20°F).

Aunque un medidor de temperatura de condensación es una excelente herramienta, es opcional en mucho de los equipos. Si sus secadoras no están provistas de un medidor de temperatura de condensación, considere adquirir una unidad portátil.

El cambio a regeneración de las cámaras secantes varía con el tipo de secadora. Puede ser por medio de válvulas que cambian la dirección del flujo, por medio de recámaras secantes que rotan en un carrusel, por medio de una rueda secante sólida que rota continuamente, etc.

Un equipo operando con una temperatura de condensación de -40°C (-40°F) significa que el aire que fluye por la secadora está súper seco. Aun así, no es una garantía de que el material esté listo para ser moldeado.

Existen equipos que miden el contenido de agua en la resina. Estos básicamente operan comparando el peso de la resina antes y después de evaporar el contenido de agua por medio de calor.

Además, existen secadoras que no utilizan material secante y únicamente operan con calor, estas están limitadas a materiales no higroscópicos. Otras operan combinando aire caliente y presiones negativas. Me explico; disminuyendo la presión en un recipiente sellado se consigue disminuir la temperatura de evaporación del agua y mejorar la extracción de la humedad

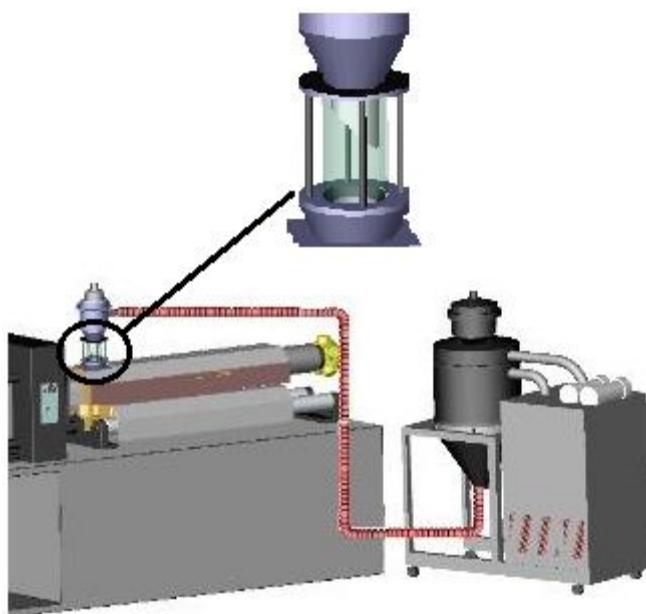
del material. Verifique con su suplidor de resina; ¿Cuál es la mejor secadora para su aplicación?

Configuración de sistemas de secado

Existen distintas configuraciones: unidad portátil, tolva sobre extrusora, unidad integrada y secado central.

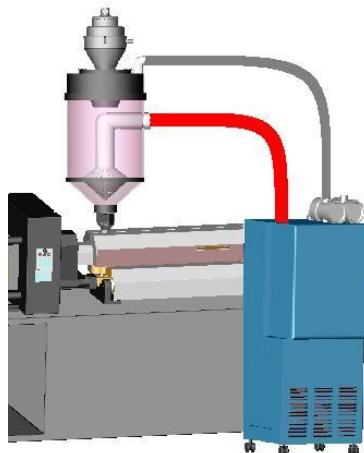
Unidad portátil

La unidad portátil ofrece la ventaja de que su uso no tiene que estar necesariamente dedicada a una extrusora. El cargador que transporta el material hasta la inyectora succiona con una cantidad restringida de material seco. Recuerden que una vez el material es removido de la secadora, el material está expuesto a absorber humedad.



V-7. Unidad portátil

Tolva sobre extrusora

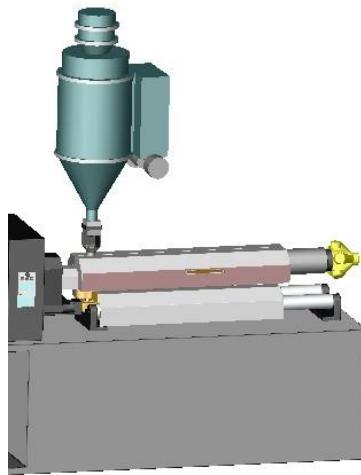


V-8. Tolva sobre la extrusora

La tolva sobre la extrusora reduce el riesgo de que el material obtenga humedad del ambiente, ya que el material seco va directamente de la tolva de secado a la extrusora.

Unidad integrada

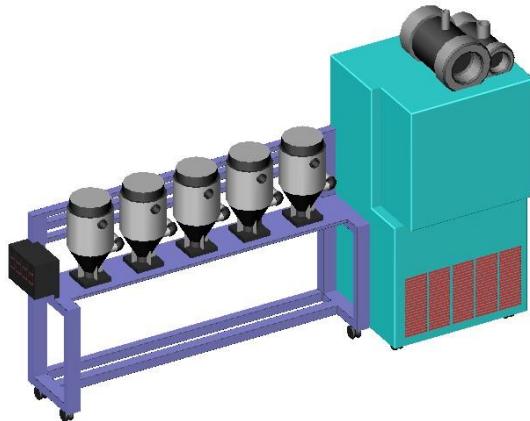
La unidad integrada es donde la secadora y la tolva secadora están ensambladas juntas. Este sistema se monta sobre la unidad de inyección y, al igual que la tolva sobre la extrusora, reduce el riesgo de que el material obtenga humedad del ambiente. Su mayor atractivo es que no ocupa espacio en el piso de la fábrica.



V-9. Unidad integrada

Secadora central

La secadora central conecta múltiples tolvas de secado a un secador común.



V-10. Secadora central

El mayor atractivo es que localiza y centraliza el secado en un lugar común para múltiples máquinas. Este sistema facilita el cambio de materiales, ocupa poco espacio y confina el área de secado a un lugar específico.

Para cada molde que utiliza termoplástico higroscópico se le debe determinar el equipo secador correspondiente. Vea el ejercicio a continuación.

Ejemplo:

material → Policarbonato

consumo → 50 lb/h, 80% virgen y 20% molido

Utilice las tablas a continuación de:

- *Materiales y sus parámetros de secado*
- *Materiales y sus densidades a granel*
- *Flujo de aire seco requerido*

densidad ρ material virgen = 40 lb/pies³

densidad ρ material molido = 36 lb/pies³

$T = 250^{\circ}\text{F}$ a 270°F

$t_s = 4 \text{ h}$

razón de flujo = 0.95 (pies³/min) /(lb/h)

(Siempre consulte el fabricante del material)

Determinando la tolva secadora:

$$\begin{aligned} \text{Volumen} &= t_s \times \text{consumo} (\% \text{virgen} / \rho_{\text{virgen}} + \% \text{molido} / \rho_{\text{molido}}) \\ &= 4 \times 50(0.8 / 40 + 0.2 / 36) = \mathbf{5.1 \text{ pies}^3} \end{aligned}$$

Tamaño secador:

$$\text{Flujo} = \text{razón} \times \text{consumo} = 0.95 \times 50 = \mathbf{47.5 \text{ pies}^3/\text{min}}$$

Sistema recomendado:

- secadora con un flujo mínimo de 47.5 pies³/min
- tolva secadora con un tamaño mínimo de 5.1 pies³
- temperatura de secado de 250°F
- intercambiador de calor para reducir temperatura de retorno

Nombre Común	Descripción	Higroscópico	Horas de Secado	Temperatura de Secado °F
ABS/PVC	ABS/PVC Alloy	Si	2-3	160 - 170
ABS (Molding Grade)	Acrylonitrile-Butadiene-Styrene Thermopolymer	Si	2-4	190 - 220
ABS/PC	ABS/Polycarbonate Alloy	Si	4-5	220 - 230
Acetal (copolymer)	Acetal Resin	Si	2-3	200 - 220
Acetal (homopolymer)	Acetal Resin	No	1-2	200 - 220
Acrylic	Methyl Methacrylate	Si	2-3	170 - 190
CA (Acetate)	Cellulose Acetate	Si	2-3	160 - 180
CAB (Butyrate)	Cellulose Acetate/Butyrate	Si	2-3	160 - 180
CAP (Propionate)	Cellulose Acetate/Propionate	Si	2-3	160 - 180
EVOH	Ethylene-Vinyl Alcohol Copolymer	Si	2-3	195 - 225
HDPE	High Density (Linear) Polyethylene	No	1-2	160 - 180
HDPE w/max 3% black	High Density (Linear) Polyethylene	Si	3-4	160 - 180
HDPE w/max 4% black	High Density (Linear) Polyethylene	Si	4-5	160 - 180
Ionomer	Ionomer Resin	Si	7-8	150 - 160
LCP	Liquid Crystal Polymer (Aromatic Polyester)	Si	3-4	300 - 310
LDPE	Low Density (Conventional Polyethylene)	No	1-2	160 - 180
LDPE w/max 3% black	Low Density (Conventional Polyethylene)	Si	3-4	160 - 180
LDPE w/max 40% black	Low Density (Conventional Polyethylene)	Si	4-5	160 - 180
Nitrile	Acrylonitrile Terpolymer	Si	5-6	160 - 180
Nylon 6, 6/6, 6/12	Crystalline Nylon (Caprolactan)	Si	5-6	160 - 180
Nylon (Amorphous)	Super Tough Nylon	Si	4-5	180 - 190
Nylon (Transparent)	Transparent Nylon	Si	4-5	180 - 190
OSA	Olefin-Modified Styrene-Acrylonitrile Copolymer	Si	2-3	180 - 190
PBT	Polybutylene-Terephthalate Copolymer	Si	2-3	250 - 270
PBT/PET	PBT/PET Alloy	Si	4-5	350 - 370
PC	Polycarbonate	Si	3-4	250 - 270

V-11. Tabla de materiales y sus parámetros de secado

Nombre Común	Descripción	Higroscópico	Horas de Secado	Temperatura de Secado °F
PC/PBT/E	Polycarbonate/PBT/ Elastomer Alloy	Si	3-4	220-230
PCS	Polycarbonate-Styrene Copolymer	Si	2-3	220-230
PCTA	Cyclohexane-Terephthalate Copolymer	Si	3-4	160-180
PEEK	Polyetheretherketone	Si	3-4	300-320
PEM	Polyetherimide	Si	6-7	300-310
PES	Polyethersulfone	Si	3-4	300-320
PET (Molding Grade)	Polyethylene-Terephthalate (Polyester)	Si	2-4	250-270
PETG	Amorphous PET Copolymer	Si	3-4	140-150
Polarylate	Amorphous Aromatic Polyester	Si	5-6	250-260
Polysulfone	Polyether, Polyarylsulfone	Si	4-5	250-260
Polyurethane	Polyurethane Elastomer	Si	2-3	180-200
PP	Polypropylene	No	1-2	170-190
PPA	Polyphthalamide	Si	6-7	175-180
PPC	Polyphthalate Carbonate	Si	3-4	260-270
PPO	Polyphenylene	Si	2-4	200-250
PPS	Polyphenylene Sulfide	Si	3-4	280-290
PPS (40% Glass)	Polyphenylene Sulfide	Si	3-4	300-320
PS (Styrene)	Polystyrene	No	1-2	180-190
PTMT	Polytetramethylene-Terephthalate	Si	2-3	210-220
PVC (Flexible)	Polyvinyl-Chloride	No	1-2	160-180
PVC (Rigid)	Polyvinyl-Chloride	No	1-2	160-180
SAN	Styrene-Acrylonitrile	Si	3-4	180-190
SAN (Modified)	Styrene-Acrylonitrile (with Olefin Elastomer)	Si	3-6	160-180
SMA	Styrene-Maleic Anhydride	Si	2-3	200-210
TPE	Thermoplastics Polyester	Si	2-3	210-220
TPR	Thermoplastic Rubber	Si	2-3	150-170
XT	Impact-Modified Acrylic Resin	Si	3-4	170-190

V-11a. Tabla de materiales y sus parámetros de secado (cont.)

Nota: Estos valores son una guía, siempre consulte con el fabricante del material.

Nombre Común	Descripción	Densidad lbs/ft ³ Virgen	Densidad lbs/ft ³ Molido
ABS/PVC	ABS/PVC ALLOY	45	35
ABS (Molding Grade)	Acrylonitrile-Butadiene-Styrene Termopolímer	42	32
ABS/PC	ABS/Polycarbonate Alloy	40	32
Acetal (copolymer)	Acetal Resin	40	35
Acetal (Homopolymer)	Acetal Resin	40	32
Acrylic	Methyl Methacrylate	42	36
CA (Acetate)	Cellulose Acetate	38	32
CAB (Butyrate)	Cellulose Acetate/Butyrate	39	33
CAP (Propionate)	Cellulose Acetate / Propionate	40	34
EVOH	Ethylene-Vinyl Alcohol Copolymer	36	32
HDPE	High Density (Linear) Polyethylene	35	28
HDPE w/max 3% black	High Density (Linear) Polyethylene	34	26
HDPE w/max 40% black	High Density (Linear) Polyethylene	34	26
Ionomer	Ionomer Resin	44	36
LCP	Liquid Crystal Polymer (Aromatic Polyester)	50	46
LDPE	Low Density (Conventional) Polyethylene	32	24
LDPE w/max 3% black	Low density (Conventional) Polyethylene	32	24
LDPE w/max 40% black	Low Density (Conventional) Polyethylene	32	24
Nitrile	Acrylonitrile Terpolymer	40	32
Nylon 6, 6/6, 6/12	Crystalline Nylon (Caprolactan)	41	35
Nylon (Amorphous)	Super Tough Nylon	42	36
Nylon (Transparent)	Transparent Nylon	41	35
OSA	Olefin-Modified Styrene-Acrylonitrile Copolymer	42	36
PBT	Polybutylene-Terephthalate Copolymer	52	44
PBT/PET	PBT/PET Alloy	50	44
PC	Polycarbonate	40	36

V-12. Tabla de materiales y sus densidades granel

Nombre Común	Descripción	Densidad lbs/ft ³ Virgen	Densidad lbs/ft ³ Molido
PC/PBT/E	Polycarbonate/PBT/Elastomer Alloy	42	38
PCS	Polycarbonate-Styrene Copolymer	38	34
PCTA	Cyclohexane-Terephthalate Copolymer	52	44
PEEK	Polyetheretherketone	52	44
PEM	Polyetherimide	52	46
PES	Polyethersulfone	52	46
PET (Molding Grade)	Polyethylene-Terephthalate(Polyester)	54	46
PETG	Amorphous PET Copolymer	50	40
Polyarylate	Amorphous Aromatic Polyester	50	44
Polysulfone	Polyether, Polyarylsulfone	50	44
Polyurethane	Polyurethane Elastomer	48	42
PP	Polypropylene	33	27
PPA	Polyphthalamide	48	40
PPC	Polyphthalate Carbonate	50	44
PPO	Polyphenylene	50	44
PPS	Polyphenylene Sulfide	50	44
PPS (40% Glass)	Polyphenylene Sulfide	50	44
PS (Styrene)	Polystyrene	35	27
PTMT	Polytetramethylene-Terephthalate	50	44
PVC (Flexible)	Polyvinyl-Chloride	48	34
PVC (Rigid)	Polyvinyl- Chloride	50	32
SAN	Styrene-Acrylonitrile	40	34
SAN (Modified)	Styrene-Acrylonitrile(with Olefin Elastomer)	42	36
SMA	Styrene-Maleic Anhydride	38	32
TPE	Thermoplastics Polyester	48	42
TPR	Thermoplastic Rubber	48	42
XT	Impact-Modified Acrylic Resin	40	36

V-12a. Tabla de materiales y sus densidades granel (cont.)

Nota: Estos valores son una guía, siempre consulte con el fabricante del material.

Material	pies³/minutos por lb/h
ABS	0.75
Acetal	0.80
Acrílico	0.95
PA (Nilón)	0.90
PBT	0.80
PC	0.95
PET	1.00
PPO	0.80
SAN	0.80
TPE	0.80
Acetal (homopolímero)	0.75
HDPE	0.75
LDPE	0.75
Polipropileno	0.75
Poliestireno	0.75
PVC	0.75

V-13. *Flujo de aire seco requerido por cada lb/h de consumo de material*

Nota: Estos valores son una guía, siempre consulte con el fabricante del material.

Preguntas

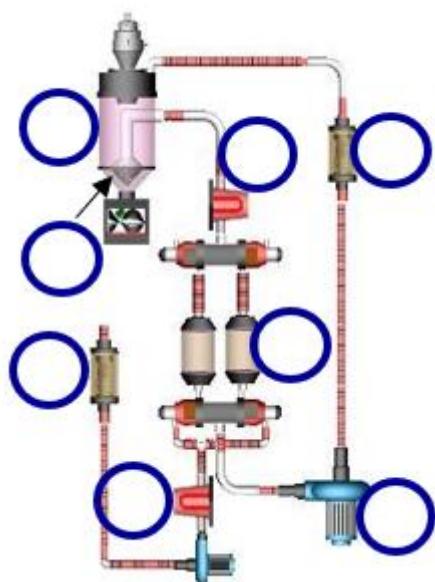
- 1) ¿Cuáles son los cuatro factores que gobiernan el secado?
 - a. tiempo de secado, presión del aceite, flujo de aire y temperatura de secado
 - b. tiempo de secado, aire súper seco, flujo de aire y temperatura de secado
 - c. tiempo de secado, aire húmedo, flujo de aire y temperatura de secado
- 2) En el secado de materiales higroscópicos la temperatura de condensación es
 - a. la temperatura a la que se seca el material.
 - b. la temperatura del ambiente.
 - c. la temperatura a la que el agua, que existe en el flujo de secado, se condensa.
- 3) Marque todas las oraciones correctas:
 - a. La temperatura de secado es específica para un tipo de material.
 - b. La temperatura de secado es la temperatura a la que el vapor de agua se condensa.
 - c. El nombre anglosajón de la temperatura de condensación es temperatura “dew point”.
 - d. El flujo de secado es fijado a 15 cfm para todo tipo de secadora comercial.
 - e. El manufacturero del material especifica variables tales como temperatura, tiempo y flujo de secado.
- 4) Se secan únicamente los materiales higroscópicos.
 - a. Cierto, únicamente higroscópicos que requieren alta claridad son secados.
 - b. Falso, algunos materiales que requieren alta claridad son secados con el propósito de mantener su translucidez.
- 5) La densidad granel considera los huecos o vacíos entre los granos (“pellets”).
 - a. Cierto
 - b. Falso, el espacio es despreciable.

- 6) Un material requiere ser secado por 4 horas a una temperatura de 265°F a un consumo de 50 lb/h. La densidad granel del material es 40lb/pies³. La secadora debe tener un volumen mínimo de:
- $40 \text{ lb/h} \times 4 = 160 \text{ pies}^3$
 - $50 \text{ lb/h} \times 4 \text{ horas} / 40 \text{ lb/pies}^3 = 5 \text{ pies}^3$
 - 265 pies^3
- 7) Un material requiere ser secado por 4 horas en un proceso de 30 lb/h, la densidad granel del material virgen es 40 lb/pies³. Considerando que 20% es material molido con una densidad granel de 36 lb/pies³, determine el volumen mínimo de la tolva secadora.
- volumen = 4 horas x 30 lb/h x 36 lb/pies³
 - volumen = 4 horas x 30 lb/h x 40 lb/pies³
 - volumen = 4 horas x 30 lb/h [$0.8 \div 40 \text{ lb/pies}^3 + 0.2 \div 36 \text{ lb/pies}^3$]
- 8) Un material que demanda una temperatura de secado de 260°F no requiere del uso de un intercambiador de calor en la línea de retorno de aire.
- Cierto, si le restamos la perdida de 100°F durante el secado, tendríamos un retorno de 160°F y no requeriría un intercambiador.
 - Falso, si le restamos la perdida de 100°F durante el secado, tendríamos un retorno a 160°F ($>150^{\circ}\text{F}$) y sí requeriría un intercambiador.
- 9) Si la tolva secadora es muy pequeña, se recomienda aumentar la temperatura de secado por encima de la temperatura de secado recomendada.
- Cierto, esto es una buena práctica.
 - Falso, esto es una práctica no recomendada.
- 10) Bajo condiciones normales, la tolva secadora debe ser mantenida llena de material.
- Cierto.
 - Falso.
- 11) Para determinar la necesidad de adquirir un intercambiador de calor en el retorno de la secadora, ¿cuánto le resta a la temperatura de secado?
- 100°F ó 56°C .
 - 38°F .
 - 56°F ó 100°C .

- 12) Para determinar el tamaño de la secadora se requiere saber
- el flujo de aire seco, la temperatura de secado y la densidad granel de la resina plástica.
 - el consumo de material, el tiempo de secado y la densidad granel de la resina plástica.
 - el flujo de aire seco, la temperatura de retorno y el tamaño de la resistencia de calor.
- 13) Es de extrema importancia que se examinen los elementos filtrantes y se limpien
- cada dos meses.
 - de acuerdo con las especificaciones de mantenimiento indicadas por el fabricante del equipo.
- 14) Un termoplástico higroscópico con una razón de flujo de 0.8 cfm/lb/h se debe secar en un proceso de 50 lb/h. Determine el flujo de la secadora.
- flujo mínimo = $50 \text{ lb/h} \times 0.8 \text{ cfm/lb/h}$
 - flujo mínimo = 50 cfm
 - flujo mínimo = 50 litros por minuto

15) Escriba el número de cada descripción a su correspondiente lugar en el dibujo.

1. tolva de secado
2. difusor
3. bomba del circuito secado
4. filtro del circuito secado
5. recámaras secantes
6. resistencia de regeneración



Dosificación y Manejo de Materiales

El mezclado y dosificación automático de resinas plásticas es una necesidad. Los elevados costos de las resinas, de los aditivos y la mano de obra hacen de la automatización una opción económicamente viable. Si a esto le suma las pérdidas a consecuencia del manejo manual, la inversión en la automatización podría tener un repago en menos de un año.

Algunas de estas deficiencias son:

- Exceso en dosificación manual de resina virgen y pigmento podría resultar en un exceso de 0.5%. Esto puede exceder el costo de un dosificador automático en un mes.
- El manejo de material premezclado manual incrementa los costos del almacenamiento.
- Pérdidas a consecuencia de la contaminación de resinas durante el mezclado manual.
- El manejo manual ocupa mayor espacio en el piso de producción.

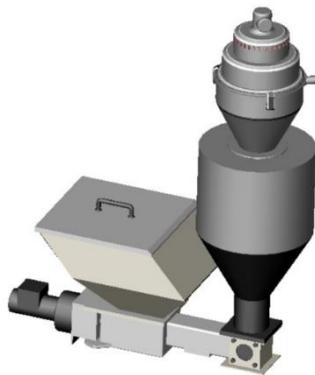
Tipos de dosificadores:

- dosificación directa y volumétrica
- dosificación gravimétrica
- válvula proporcional neumática

Dosificación directa y volumétrica

Este tipo de dosificación se efectúa en la garganta del barril. Los componentes de un dosificador son la tolva del ingrediente, el motor, y el tornillo dosificador. El diseño más popular es por medio de un tornillo sin fin (“*auger*”). El tornillo rota dosificando la dosis directamente al flujo de resina. Esta dosificación es además conocida como dosificación volumétrica.

El dosificador se instala entre la tolva de resina y la garganta del extrusor. El flujo de la resina sin pigmentar baja por gravedad. La dosificación es una función de las revoluciones por minutos (rpm). La proporción de dosificación depende del tipo de ingrediente que se está agregando. Por ejemplo, la dosificación de pigmento granular fluctúa desde 0.25% a 6%.



V-14. Dosificador

Es importante adquirir el equipo del tamaño adecuado, por esto tenga a la mano:

- consumo total del proceso, en kg/h o en lb/h
- tipo de materiales
- proporción del aditivo
- tiempo de plastificación
- si fluyen con facilidad o se aglomeran

La dosificación continua es normalmente para extrusión y la dosificación periódica es para equipos de inyección. El de dosificación periódica alimenta únicamente durante la plastificación. Recuerde que la unidad de inyección toma material únicamente durante la etapa de plastificación; el resto del tiempo no está consumiendo material.

Cálculo de consumo en dosificación periódica:

Piense en una aplicación donde se desea pigmentar a una razón de 2.5% en un proceso de inyección. El peso de inyección total (piezas más colada) es de 0.12 kg y la plastificación tiene una duración de 3 segundos. Recuerde que la dosificación sucede durante el periodo de plastificación.

$$\begin{aligned} \text{Consumo de plastificación} &= \\ (\text{peso del tiro de inyección}) / (\text{tiempo de plastificación}) &= (0.12 \text{ kg}) / (3 \text{ s}) = 0.04 \text{ kg/s} = \mathbf{144 \text{ kg/h (317 lb/h)}} \end{aligned}$$

Entonces el consumo de dosificación sería:

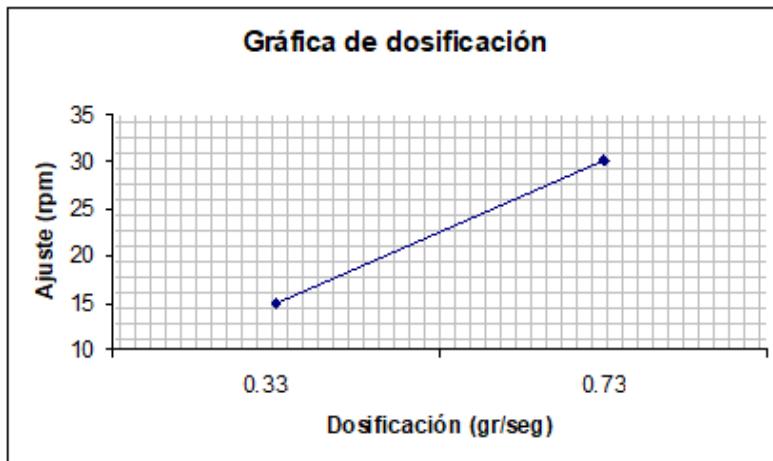
$$\begin{aligned} &= (\text{consumo total}) * (\text{razón de dosificación}) \\ &= 144 \text{ kg/h} \times 0.025 \\ &= \mathbf{3.6 \text{ kg/h (7.9 lb/h)}} \end{aligned}$$

Aunque parezca simple, es común ver especificar un dosificador para inyección utilizando el tiempo del ciclo total, cuando debería utilizar el tiempo de plastificación.

Estos equipos proveen una toma de muestreo por donde se toman muestras a distintas velocidades de dosificación a un tiempo definido, luego se pesan y se calcula:

$$\text{Dosificación} = (\text{peso de la muestra}) / (\text{tiempo de dosificación})$$

Y se crea una gráfica de ajuste de velocidad contra dosificación.

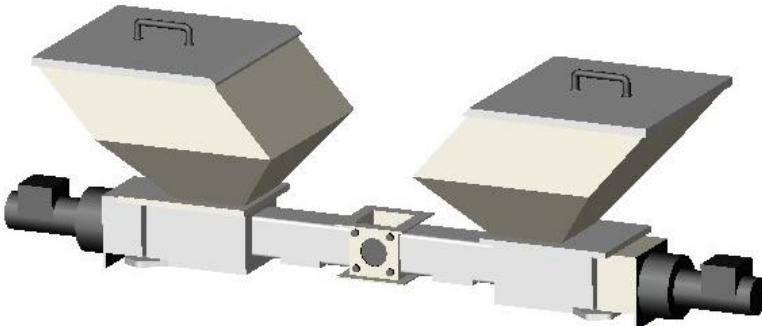


V-15. Gráfica de ajuste vs. dosificación

Esta gráfica se podría afectar con el tamaño y geometría del grano. Además, debe crear una tabla de calibración para cada pigmento.

Estos sistemas podrían tener una desviación de hasta $\pm 0.2\%$. Ahora si desea mejor exactitud debería considerar los sistemas de dosificación gravimétricos.

Si se desea dosificar más de un ingrediente pueden acomodar más de un dosificador en un mismo sistema; por ejemplo, uno para dosificar pigmento y el otro para dosificar material molido.



V-16. Montura de dos dosificadores en un mismo sistema

Ahora dosificación de tres o más aditivos es más visto con sistemas de dosificación gravimétricos.

Existen materiales que no fluyen con facilidad y necesitan ser manejados por equipos de dosificación especiales. Por ejemplo, un molido demasiado liviano podría requerir de un agitador para que facilite su fluidez. Consulte a su suplidor de equipos o envíeles muestra de su material si usted entiende que su material no fluye con facilidad.

Dosificación gravimétrica

Estos sistemas se distinguen por su capacidad de poder pesar los ingredientes. Esto los hace más precisos y se consiguen con múltiples funciones, tales como: pesado de ingredientes, mezclado, recetas programables, control de inventario y dosificación de múltiples ingredientes.

Existen productos que requieren múltiples aditivos; estos pueden ser molido, reciclado, colorante, blandidores, clarificadores, lubricantes, fibras, etc.

Un sistema gravimétrico se compone normalmente de las tolvas de material, el sistema de dosificación, la báscula de pesaje, el mezclador, y la descarga.



V-17. Sistema gravimétrico

Aunque su operación varía de acuerdo con el manufacturero, conceptualmente funcionan de forma similar. Cada tolva está llena de un ingrediente, digamos virgen, molido, o pigmento granulado. Por medio de una guillotina o tornillo se alimenta sucesivamente los ingredientes a la báscula de pesaje. Una vez la proporción adecuada es pesada es descargada al mezclador. Después de ser agitados es descargado al tanque de descarga para luego ser procesado.

Para determinar el equipo adecuado se requiere saber el consumo total de materiales, en kg/h o en lb/h, el tipo de materiales, la proporción de cada aditivo, y si los materiales fluyen con facilidad o si se aglomeran.

Ejemplo, hay una aplicación donde se desea mezclar 3 ingredientes, virgen, molido y pigmento a una proporción de 77.5%, 20% y 2.5% respectivamente. Este proceso requiere 1 kg por minuto. El consumo total es de $1 \text{ kg/min} = 60 \text{ kg/h}$ (132 lb/h). Entonces el consumo de dosificación de cada ingrediente sería:

$$\text{Virgen} = 60 \text{ kg/h} \times 0.775 = \mathbf{46.5 \text{ kg/h (102.51 lb/h)}}$$

$$\text{Molido} = 60 \text{ kg/h} \times 0.2 = \mathbf{12 \text{ kg/h (26.46 lb/h)}}$$

$$\text{Pigmento} = 60 \text{ kg/h} \times 0.025 = \mathbf{1.5 \text{ kg/h (3.3 lb/h)}}$$

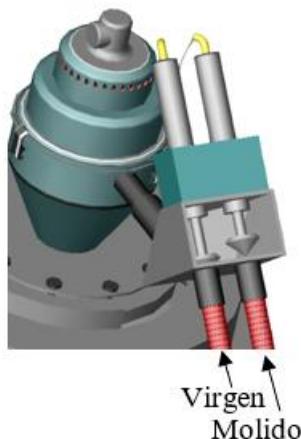
Estos cálculos no son necesariamente requeridos en los equipos modernos, con solamente proveer el porcentaje sería suficiente. Ahora si está adquiriendo un equipo nuevo los cálculos son necesarios para la configuración del equipo. Hable con el suplidor del equipo; ellos harán el cálculo por usted.

Repite, es importante que indique si el o los materiales no fluyen con facilidad. Consúltale a su suplidor de equipos o envíele muestra de su material si usted entiende que su material no fluye con facilidad.

Válvula proporcional neumática

El más simple de los mezcladores es la válvula proporcional neumática. Este se utiliza mayormente en el mezclado de virgen con molido y donde variaciones en proporción de hasta 5% son aceptables.

Este funciona por medio de válvulas con tapones de hule que controlan la succión de un material a la vez.



V-18. Válvula proporcional neumática

La válvula proporcional es montada en la tolva cargadora; mientras la tolva succiona material, la válvula controla el paso de los materiales proporcionalmente. Esto lo hace por medio de cilindros neumáticos que controlan la apertura de los tapones.

Por ejemplo, un mezclado de materiales A y B a una proporción de 30% y 70% respectivamente en una succionadora ajustada a que succione por 40 segundos. Los tiempos ajustados podrían ser:

Tiempo material A = **3 segundos**

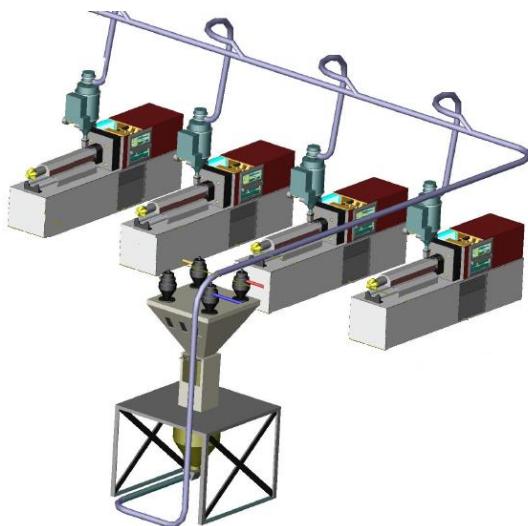
Tiempo material B = **7 segundos**

Ajustada adecuadamente esta crearía 8 capas alternadas entre los materiales A y B.

Las ventajas de la válvula proporcional es que son económicas y fáciles de instalar. Su mayor desventaja es que no son proporcionalmente precisas. Por esto no es recomendado en mezclados donde la desviación de la dosificación requerida sea menor de un 5%, como lo sería el caso de pigmento.

Centro de mezclado

Este tipo de dosificado y mezclado se utiliza cuando el equipo es compartido con varios procesos. Antes de adquirir un sistema de mezclado automático consulte a un especialista diseñador de sistemas automáticos de mezclado y dosificación.



V-19. Centro de mezclado

Preguntas

- 1) ¿Qué información se debe saber antes de adquirir un equipo dosificador de pigmento?
 - a. color del pigmento, el correo electrónico del manufacturero del pigmento y el consumo de material en kg/h
 - b. consumo total del proceso (en kg/h o en lb/h), tipo de material, fluye con facilidad o se aglomera, proporción del aditivo y tipo de dosificación (continua o periódica)
 - c. el costo del dosificador

- 2) En un proceso de inyección se desea pigmentar con una razón de 2%. El peso de inyección total (piezas más colada) es de 0.12 kg, la plastificación tiene una duración de 3 segundos, y el proceso produce piezas cada 18 segundos. Determine el consumo de dosificación.
 - a. Consumo = $(0.12 \text{ kg}/3\text{s}) \times 0.02$
 - b. Consumo = $(0.12 \text{ kg}/18\text{s}) \times 0.02$
 - c. Deje que el suplidor del pigmento lo calcule por usted.

Control de Temperatura de Agua al Molde

Es importante 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 ajustes iniciales le llamamos “moldeo desde el escritorio”.
- Recuerde que está trabajando con equipos costosos; no apresure el trabajo.

En esta parte se hablará sobre el consumo de material, el calor removido, el flujo de agua, el tiempo de enfriamiento, y el control de temperaturas.

Consumo de Material

Para determinar el consumo de material por un molde en particular se debería saber el ciclo aproximado del proceso de moldeo en segundos y la cantidad de material requerida por el molde en gramos o en la unidad de su preferencia.

La duración del ciclo de moldeo y el consumo de material la puede obtener del diseñador del producto o del fabricante del molde. El consumo de material se obtiene con:

$$\text{Consumo de material} = \frac{\text{cantidad de material por ciclo}}{\text{duración del ciclo}}$$

Por ejemplo:

Con un molde que moldea componentes en policarbonato, el peso total requerido para llenar el molde es 275 gramos y el ciclo de moldeo esperado es 9 segundos.

$$\text{Consumo de material} = 275 \text{ gramos} / 9 \text{ segundos} = \mathbf{30.6 \text{ gr/s}}$$

Esto significa que este proceso consumirá cerca de 31 gramos/segundo (246 lb/h o 112 kg/h).

Calor removido

El calor removido es la cantidad de calor removido por unidad de masa en un termoplástico en particular. Este se mide normalmente en unidades de BTU/h, kW y toneladas de enfriamiento, donde:

- kW = 3415.18 BTU/h
- tonelada de enfriamiento por refrigeración = 12,000 BTU/h
- tonelada de enfriamiento por torre = 15,000 BTU/h

$$\text{Calor removido} = \frac{(\text{cantidad de material total}) * (\text{energía requerida por el material})}{(\text{tiempo del ciclo de proceso})}$$

donde la cantidad de material que toma llenar el molde es en gramos, la energía requerida por el material es en julios/gramos y el ciclo del proceso es en segundos. La tabla a continuación muestra la energía requerida por ciertos materiales.

Material	Energía requerida por el material	
	julios/gramo	BTU/lb
PC	368	158
ABS	369	159
PS	394	169
LDPE	572	246
HDPE	801	344
PVC	434	187
PA66	615	264
PP	670	288
PET	283	122

V-20. Tabla de energía requerida por algunos materiales

Los valores provistos en esta tabla son una referencia; obtenga los valores reales de su suplidor de resina.

Ejemplo:

Un molde moldeando componentes en policarbonato, con un peso total requerido para llenar el molde de 275 gramos y con un ciclo esperado de 9 segundos. ¿Cuánto calor consumiría?

De la tabla anterior leemos que policarbonato precisa una energía de 368 julios/gr.

$$\frac{\text{Calor removido} = \\ (\text{cantidad de material total}) * (\text{energía requerida por el material})}{(\text{tiempo del ciclo de proceso})}$$

$$= 11244 \text{ watts} = 11.24 \text{ kW} = \mathbf{38400 \text{ BTU/h}}$$

$$= \frac{(275 \text{ g}) \times (368 \text{ julios/g})}{9 \text{ s}} = \mathbf{11244 \text{ j/s}}$$

Esto significa que para enfriar este molde necesitará consumir de su sistema de enfriamiento 11.24 kW o 38400 BTU/h.

Otro método utilizado es el uso de tablas provistas por los manufactureros de equipos de enfriamiento.

Material	kg/h/ton	lb/h/ton
HDPE	14	30
LDPE	16	35
PP	16	35
NILON/PA	18	40
PET	18	40
PS	23	50
ABS	23	50
PVC	30	65
PC	30	65
PETG	11.5	25

V-21. Tabla termal para algunos materiales

Este método es el más utilizado ya que es más simple y funciona.

Hagamos el ejemplo anterior donde un molde de componentes de policarbonato con un peso total de 275 gramos y un ciclo esperado de 9 segundos.

De acuerdo con la tabla, el factor de energía de PC es 30 kg/h/ton o 65 lb/h/ton.

Consumo de material =
cantidad de material total / tiempo del ciclo de proceso

$$= 275 \text{ g/9s} = \mathbf{30.6 \text{ g/s}}$$
$$= 110 \text{ kg/h} = \mathbf{242 \text{ lb/hr}}$$

$$\text{Calor removido} = \frac{\text{consumo de material}}{\text{carga termal del material}}$$

$$= \frac{110 \frac{\text{kg}}{\text{hr}}}{30 \frac{\text{kg}}{\text{hr/ton}}} = \mathbf{3.7 \text{ ton de refrigeración}}$$

ó

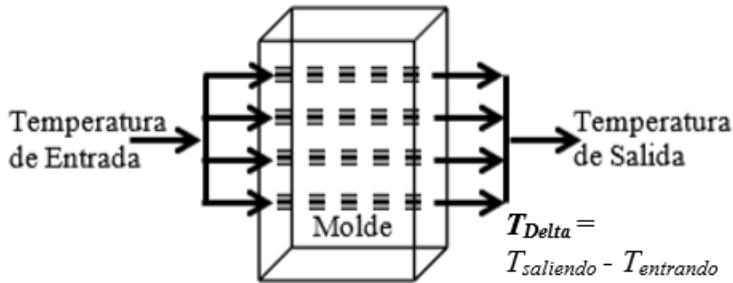
$$= \frac{242 \frac{\text{lbs}}{\text{hr}}}{65 \frac{\text{lbs}}{\text{hr/ton}}} = \mathbf{3.7 \text{ ton de refrigeración}}$$

De acuerdo con estos cálculos el equipo de refrigeración (“chiller”) verá una carga de 3.7 toneladas.

Note que la carga obtenida en este ejemplo es algo distinta de la calculada en el ejemplo anterior. Son metodologías distintas, la primera se obtuvo de la academia y la segunda de ecuaciones empíricas desarrolladas por la industria. Utilice el método que prefiera, asegurándose de que las constantes provengan de fuentes confiables, como del manufacturero de su resina.

Flujo de agua

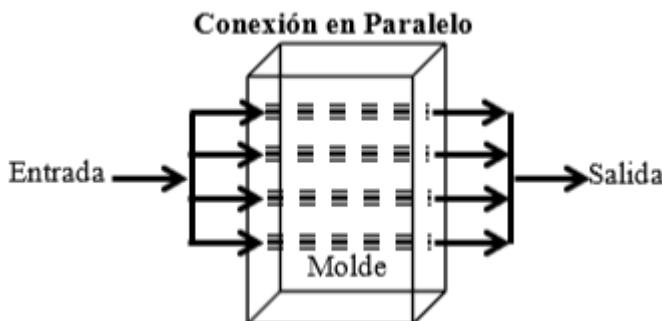
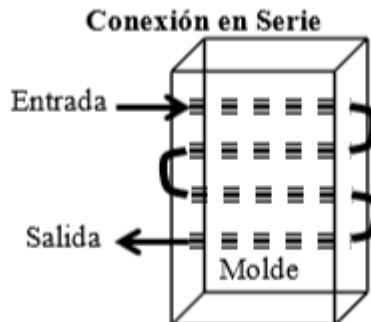
El flujo de agua por los pasajes del molde remueve el calor del material fundido dentro del molde. Consecuentemente el agua observará un incremento de temperatura; este incremento se le llama Delta T .



V-22. Flujo de agua por los pasajes del molde y Delta T

La conexión de las mangueras de agua al molde se hace en paralelo y no en serie. La conexión en serie no garantiza igual remoción de calor a través de todas las cavidades del molde.

En otras palabras, las cavidades al principio del flujo verán una remoción de calor distinta a las cavidades a la salida del agua. Aun cuando la conexión en serie sea más fácil, haga las conexiones en paralelo.

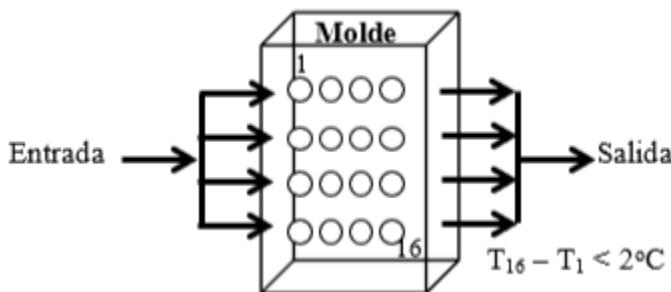


V-23. Conexión de las mangueras de agua al molde en serie y en paralelo

La conexión en paralelo garantizará:

- uniforme remoción de calor y
- uniforme distribución de temperatura en las cavidades

La temperatura entre las cavidades debe ser menor de 2°C (4°F).



V-24. Temperatura entre las cavidades

Consúltale al diseñador del molde cuál es el diferencial de temperatura entre cavidades más adecuado para su molde. Aclaramos, nos referimos a la temperatura del metal en las cavidades. Aunque el agua es quien hace el trabajo de remoción de calor, las temperaturas en el metal de las cavidades son las más significativas.

Otro efecto que debe saber es que el flujo de agua a través del molde debe ser turbulento y no laminar. El flujo turbulento es más eficiente removiendo calor que el laminar.

La turbulencia se consigue aumentando el caudal de agua entrando al molde. El caudal debe ser lo suficiente para garantizar un factor, llamado número Reynolds, que indica si el flujo es turbulento o es laminar. Este factor es función del flujo y de la geometría de los conductos.

Una simple manera de garantizar turbulencia es reduciendo el Delta T del agua a través del molde.

Por ejemplo:

- Procesos rápidos, menos de 10 segundos, Delta $T \sim 1^{\circ}\text{C}$ (2°F)

- Procesos lentos, mayores de 30 segundos, Delta $T \sim 2^{\circ}\text{C}$ (4°F)
- Procesos intermedios, Delta $T \sim 1.7^{\circ}\text{C}$ (3°F)

Consúltale al diseñador del molde cuál es el caudal (flujo de agua), la temperatura del agua, y el Delta T del agua más adecuado para su molde.

El flujo de agua lo determina con la siguiente ecuación:

$$\text{Flujo de agua} = \frac{\text{calor removido del plástico por ciclo}}{(\text{calor específico del agua}) * (\Delta T)}$$

El calor específico (C_p) podría ser el de simple agua, procesos extremadamente calientes podría ser el C_p de un aceite, y procesos muy fríos podría ser el C_p de una mezcla entre agua y anticongelante. Obtenga el valor de C_p que corresponda al líquido de transferencia de calor utilizado.

El calor específico del agua a 13°C (55°F) = **4.196 (kJ/(kg°C))** ó **1.003BTU/(lb°F)**

Ejemplo: Un proceso consume 190 gramos de polipropileno cada 12 segundos. La temperatura del agua entrando al molde es 13°C (55°F) y dado a que es un ciclo promedio se asumió un Delta T de 1.7°C (3°F). ¿Cuál sería el consumo de calor y el flujo de agua requerido?

- La energía requerida del PP es **670 J/gr**, según la tabla de energía requerida por el material.
- El calor específico del agua a 13°C (55°F) = **4.196 kJ/(kg °C)**
- Densidad del agua = **1kg/litro**

$$\text{Calor removido} =$$

$$\frac{(\text{cantidad de material total}) * (\text{energía requerida por el material})}{(\text{tiempo del ciclo de proceso})}$$

$$= \frac{190\text{gr} * \frac{670\text{J}}{\text{gr}}}{12\text{s}}$$

$$= 10608 \text{ J/s} = \mathbf{10.61 \text{ kJ/s}}$$

$$\text{Flujo de Agua} = \frac{\text{calor removido del plástico por ciclo}}{(\text{calor específico del agua}) * (\Delta T)}$$

$$= \frac{\frac{10.61\text{kJ}}{\text{s}}}{\left(4.196 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}}\right) * (2^{\circ}\text{C})}$$

$$= 1.264 \text{ kg/s} = 1.264 \text{ litros/s} = 75.85 \text{ litros/min}$$

= 20.1 gpm

Este proceso requerirá un flujo de agua de 75.9 litros/min o 20.1 gpm.

Una forma simplificada de determinar el flujo del agua de *chiller* requerido por un proceso es con la ecuación empíricas:

$$\text{gpm} = \frac{24 * (\text{toneladas de } \textit{chiller})}{\Delta T}$$

Donde:

- gpm = galones por minuto de agua
- tonelada de *chiller* = toneladas de *chiller* requeridas para enfriar el molde
- Delta *T* = temperatura saliendo del molde – temperatura entrando (°F)

Seleccione el Delta *T* que más se ajusta a su aplicación:

- procesos rápidos, menos de 10 segundos, Delta *T* ~1°C (2°F)
- procesos lentos, mayores de 30 segundos, Delta *T* ~2°C (4°F)
- procesos intermedios, Delta *T* ~ 1.7°C (3°F)

$$\Delta T (\text{°F}) = 9/5 \times \Delta T (\text{°C})$$

En el ejemplo anterior, el proceso consume 190 gramos de polipropileno cada 12 segundos con un Delta *T* de 1.7°C (3°F). ¿Cuál sería el consumo de calor y el flujo agua requerido?

$$\begin{aligned} \text{Consumo de material} &= \\ \text{cantidad de material total / ciclo del proceso} &= \\ 190\text{g}/12\text{s} &= 15.8 \text{ g/s} = \mathbf{125 \text{ lb/h}} \end{aligned}$$

De la tabla antes mostrada, “Carga Termal para Refrigeración”, obtenemos que polipropileno (PP) demanda 35 lb/h/ton.

La carga en toneladas la obtenemos con:

$$\text{Calor por ciclo} = \frac{\text{consumo de material}}{\text{carga termal del material}}$$

Sustituyendo, obtenemos:

$$\begin{aligned}\text{Calor requerido} &= (125 \text{ lb/h}) / (35 \text{ lb/h/ton}) \\ &= \mathbf{3.6 \text{ ton de chiller}}\end{aligned}$$

El flujo del agua de *chiller* requerido por un proceso se obtiene de la ecuación:

$$\begin{aligned}\text{gpm} &= \frac{24 * (\text{toneladas de chiller})}{\Delta T} \\ &= 24 \times (3.6 \text{ ton de chiller}) / (3^\circ\text{F}) = \mathbf{28.8 \text{ gpm}}\end{aligned}$$

De acuerdo a este método el *chiller* verá una carga de 28.8 gpm con un Delta T de 3°F. Una vez más el resultado obtenido es algo distinto al método anterior ya que esta ecuación es una aproximación empírica y las constantes provienen de fuentes distintas.

Tiempo de Enfriamiento Estimado

El tiempo de enfriamiento es un parámetro de control *Universal* que puede afectar el resultado dimensional de las partes moldeadas y también puede afectar la etapa de plastificación. El tiempo de enfriamiento, por si solo o combinado con la temperatura del molde, puede afectar las dimensiones térmicas del producto.

Un valor inicial del tiempo de enfriamiento se debe determinar antes de efectuar un laboratorio de optimización de proceso. Inicialmente el tiempo de enfriamiento es ajustado con un valor excesivo y se optimiza al final de un laboratorio de moldeo. Este se ajusta más grande de lo requerido para evitar que entorpezca la determinación de otros parámetros que se ajustarán antes de optimizar el tiempo de enfriamiento.

Este valor extendido de tiempo de enfriamiento se puede obtener de una forma simple o calculada.

La forma simple es preguntándole al manufacturero del molde o a alguien de confianza que ha moldeado con un molde similar. Tome el tiempo de enfriamiento recomendado y súmelo un 30%.

$$\begin{aligned} \text{Tiempo de enfriamiento extendido} \\ = \text{tiempo de enfriamiento recomendado} \times 1.3 \end{aligned}$$

El método calculado es por medio de la ecuación:

$$E = -\frac{G^2}{2\pi\alpha} \ln\left(\frac{\pi(T_x - T_M)}{4(T_m - T_M)}\right)$$

T_x = temperatura de deflexión

T_M = temperatura del molde

T_m = temperatura del fundido

G = grosor de la pieza

α = difusividad térmica

El resultado de esta ecuación puede tener un 30% de error, aun así, para nuestro propósito resulta ser una buena herramienta.

Material	α	T_m (°F)	T_M (°F)	T_x (°F)
ABS	0.000185	475	135	203
CA, CAP	0.000181	400	110	192
CAB	0.0002	400	110	201
HIPS	0.000059	440	85	185
IONOM	0.000148	440	85	125
LDPE	0.000176	390	75	113
MDPE	0.000194	340	75	155
HDPE	0.000217	480	75	186
PA 6, 6/6	0.000109	530	150	356
PC	0.000132	560	180	280
PET	0.000138	540	120	153
PP	0.000077	470	105	204
PP/OPS	0.000144	530	185	234
PPS	0.000166	630	210	210
PS g.p.	0.000087	420	85	180
PSU	0.000149	700	250	345
PVC	0.000107	380	85	156
PVC rig	0.000123	380	85	174
SAN	0.000088	450	150	225

V-25. Tabla de constantes para ecuación de tiempos de enfriamiento

Dado a que el valor buscado debe ser mayor al valor calculado, le sumaremos un 40%.

$$\text{Tiempo de enfriamiento extendido} = E \times 1.4$$

Control de Temperaturas (TCU)

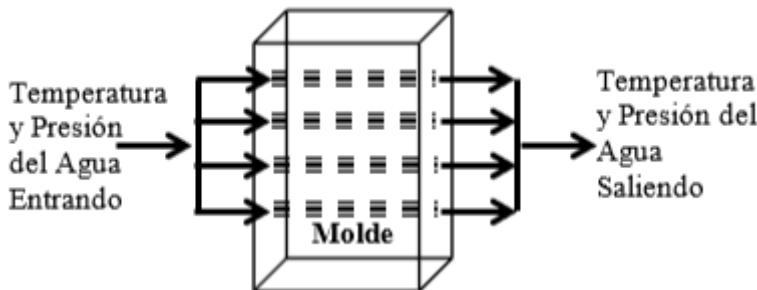
El controlador de temperatura (llamado TCU por sus siglas en inglés) es el responsable de mantener un flujo y una temperatura constante.

Durante el moldeo, la remoción de calor del molde es quien dicta las dimensiones térmicas. Recuerda, éstas son las dimensiones que son función del encogimiento. El flujo del agua al igual que la temperatura del agua son los factores que debemos controlar durante la remoción del calor.

Otros parámetros que debemos entender son la pérdida de presión (Delta P) y la pérdida de temperatura (Delta T) del agua.

$$\text{Delta } P = \\ \text{presión del agua entrando} - \text{presión del agua saliendo}$$

$$\text{Delta } T = \\ \text{temperatura del agua saliendo} - \text{temperatura del agua entrando}$$



V-26. Temperatura y presión del agua entrando y saliendo

Durante el proceso el Delta T y el Delta P se deben mantener. El cambio en estas podría conducir a variación en las dimensiones térmicas en las piezas moldeadas.

La variación en Delta T podría ser a consecuencia de:

- pasajes sucios
- cambios en el proceso
- cambios en el flujo de agua
- cambio en la temperatura del fundido

La variación en Delta P podría ser a consecuencia de:

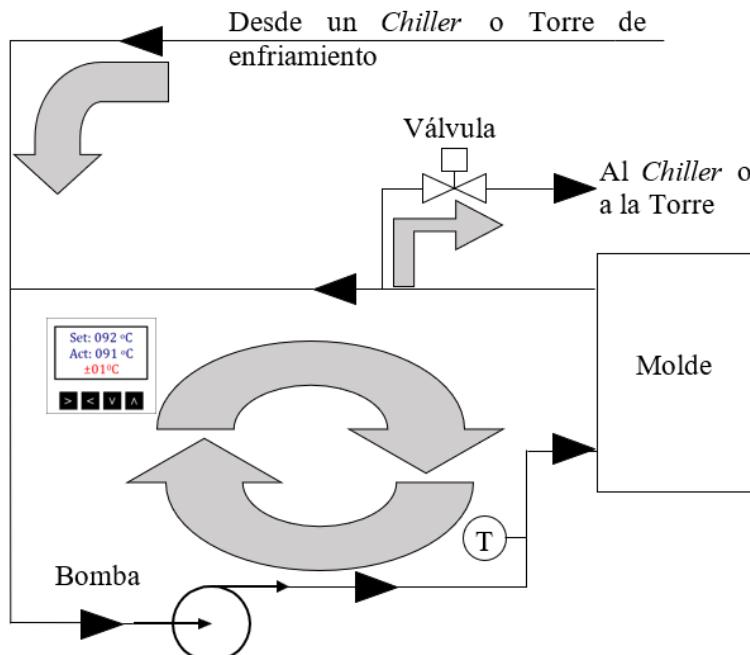
- conductos sucios
- conductos bloqueados por un objeto
- conexión incorrecta
- tubería de menor diámetro

TCU con enfriamiento directo

Por medio de una bomba y una válvula se mantienen una temperatura y un flujo de agua constante. La fuente de enfriamiento proviene de un *chiller* o una torre de enfriamiento.

Los componentes principales son:

- bomba: encargada de garantizar el flujo de agua a través del molde
- toma de agua fría: permite que agua fría de *chiller* o torre entre al TCU
- válvula de enfriamiento: esta descarga agua caliente desde el TCU al *chiller* o la torre
- termopar: mide la temperatura del agua hacia el molde.
- control: es el cerebro del TCU y controla parámetros como la temperatura del agua al molde.

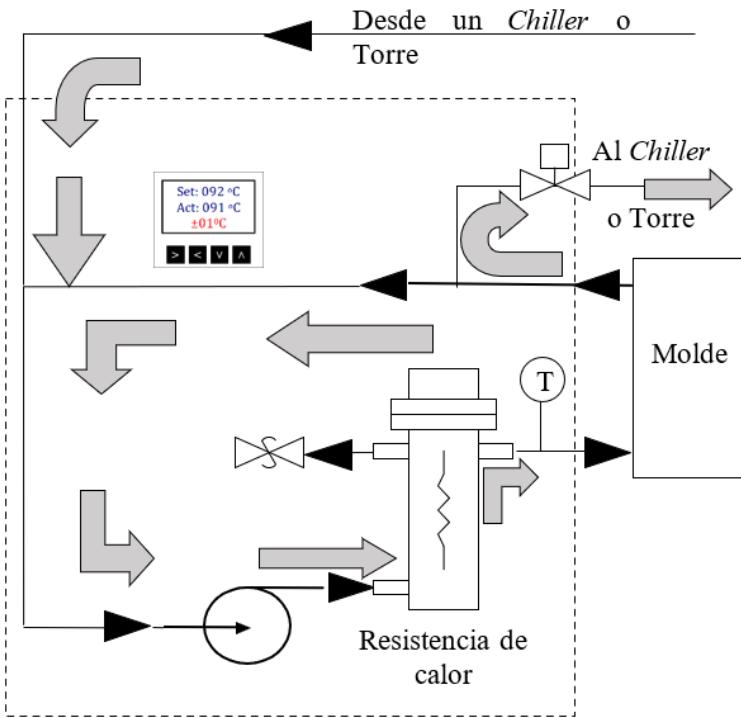


V-27. Diagrama de los componentes de enfriamiento directo

TCU con enfriamiento y calentamiento directo

Esta unidad es similar al el TCU de enfriamiento directo. Por medio de una bomba, una válvula y una resistencia de calor se mantiene un flujo de agua constante y una temperatura constante. La fuente de enfriamiento proviene de un *chiller* o una torre de enfriamiento. Además, posee una resistencia de calor para asistir la incrementación de temperatura.

La mayor diferencia es que adicionan una resistencia de calor. La resistencia de calor únicamente enciende para asistir aumento de temperatura del agua efectivamente.



V-28. Diagrama de los componentes de enfriamiento y calentamiento directo

Veamos este funcionamiento con más detalle:

La bomba es la encargada de garantizar el flujo de agua entre el TCU y el molde. Cuando el control detecta que la temperatura hacia el molde quiere aumentar abre la válvula, permitiendo que esa agua caliente retorne al chiller o a la torre. Entonces, agua fresca entra al TCU por el lado de succión de la bomba. La resistencia de calor solo encendería para incrementar la temperatura del agua cuando el proceso así lo requiera.

Desde el punto de vista costo energético, la resistencia de calor aparece ser ineficiente, pero no necesariamente. La resistencia enciende únicamente cuando se requiere. Digamos que durante el arranque de un molde se requiera incrementar 10°C, le tomaría bastante tiempo alcanzar ese incremento de temperatura si se dependiera de la fricción y el calor del

molde. Otro escenario, durante la optimización de dimensiones térmicas, donde varias temperaturas del agua deben ser evaluadas para estudiar un efecto, habría que esperar demasiado entre cada incremento de temperatura.

Existen moldes que requieran ser conectados a más de un TCU. Esto podría ser para mejorar el desmolde de las partes, para corregir dobladuras, para garantizar alguna característica mecánica de la pieza moldeada como la formación de cristales en una parte del producto moldeado, etc.

Existen otros estilos de TCUs:

- *flujo negativo* - Por medio de succión se consigue una presión de agua negativa en el molde, resolviendo problemas de filtración.
- *circuito cerrado* - Este separa el agua de molde del agua de proceso, con el objetivo de minimizar depósitos de contaminantes y minerales en el molde.
- *por aceite* - El fluido de transferencia son aceites que permiten rangos de temperatura altos, 175°C a 290°C (~350°F a 550°F).
- *chiller y TCU integrados* – Este no necesita de una fuente de enfriamiento externa.

Cada proveedor de TCU ofrece múltiples opciones. Considere:

- La purga de agua de moldes, dispositivo que le permite vaciar el agua del molde, evitando el derrame de agua durante el cambio de moldes o durante el mantenimiento.
- Dispositivos de protección, como alarmas programables de presión y temperatura.
- Alarmas preajustadas por el fabricante, como temperatura máxima operacional del sistema y presión mínima permitida de su fuente de enfriamiento, *chiller* o torre. Estas alarmas son principalmente para proteger el equipo.

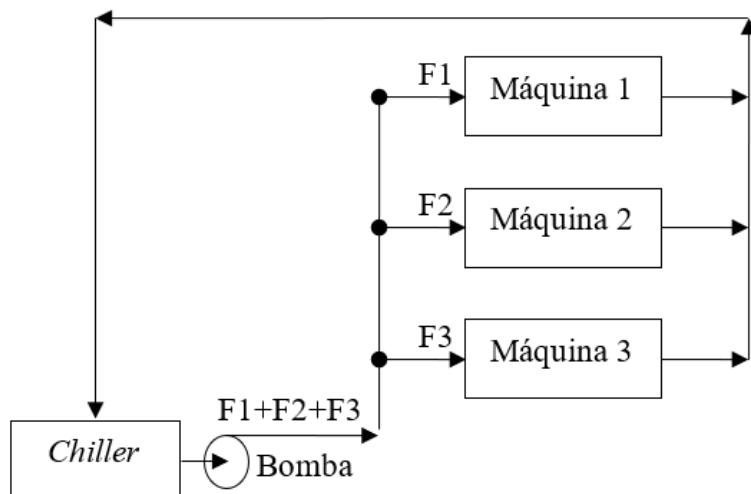
Es importante no deshabilitar esas alarmas incluidas por el fabricante. Por ejemplo, la alarma de presión mínima del agua que proviene de la fuente de enfriamiento, típicamente preajustada a sobre un 1 bar, impide que la bomba se dañe a consecuencia de cavitación.

También importante: la fuente de enfriamiento, *chiller* o torre, debe estar por lo menos 5°C (10°F) más fría que la temperatura que usted desea ajustar en el TCU. Esto se hace para compensar por las pérdidas de calor a consecuencia de la fricción y el calor que proviene del molde. De lo contrario es probable que no logre bajar a la temperatura ajustada.

Si la torre de enfriamiento provee agua a 30°C, conecte los TCUs que requieran operar a 35°C o más. Todo molde que requiera menos de 35°C se debe conectar al *chiller*.

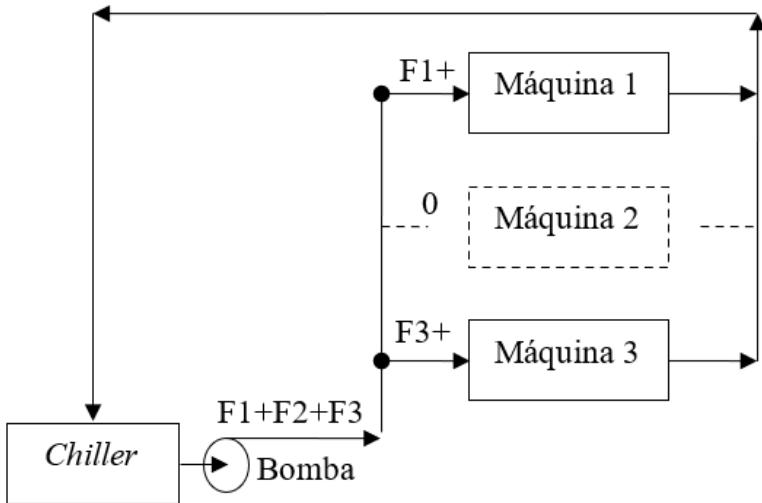
Un significativo beneficio de los TCUs es que, independientemente de lo que suceda en el resto de la fábrica, la bomba garantiza un flujo constante entre el TCU y el molde. En otras palabras, si el TCU no existiera y el enfriamiento fuese directo desde un *chiller* centralizado, o compartido con otros procesos, el molde estaría sujeto a lo que suceda en esa tubería de agua compartida.

Por ejemplo, tres máquinas con moldes similares que comparten un *chiller*. Bajo una operación ideal el flujo de agua de *chiller* es compartido entre las tres máquinas.



V-29. Tres máquinas compartiendo un chiller

En el evento de que una de las máquinas se detenga para mantenimiento del molde, el flujo de agua de *chiller* que antes llegaba a ese molde será compartido con los otros dos moldes.



V-30. Tres máquinas compartiendo un chiller, con una máquina detenida

Consecuentemente podría afectar las dimensiones térmicas de las piezas moldeadas. De igual manera sucede un lunes cuando todas las máquinas se arrancan después de haber estado todas detenidas. Según se van añadiendo maquinas se afectarán las que ya están en operación. Un escenario bastante complicado.

Resumen:

- Parte del calor transmitido al agua, circulando entre el TCU y el molde, proviene de la fricción.
- Las conexiones de las mangueras deben ser en paralelo.
- El flujo de agua debe ser turbulento.
- El Delta T del agua debe ser menor de 2°C (4°F).
- La temperatura del metal de las cavidades debe ser uniforme, un diferencial menor de 2°C (4°F).
- La pérdida de presión (Delta P) a través del molde se debe mantener.
- La pérdida de temperatura (Delta T) a través del molde se debe mantener.
- En sistemas centralizados el TCU independiza el flujo de agua al molde.
- La fuente de enfriamiento, *chiller* o torre, debe estar por lo menos 5°C (10°F) más fría que la temperatura ajustada en el TCU.

Preguntas

- 1) Un molde requiere agua a una temperatura de 32°C, el *chiller* provee agua a 12°C (~55°F) y la torre a 30°F (~85°F). ¿Dónde conecta el TCU?
 - a. a la torre, porque el agua de torre debe estar por lo menos 1°C más frío que la temperatura deseada
 - b. al *chiller*, ya que el agua de la torre está a solo 2°C más frío y no a 27 °C (32 °C – 5°C) según es requerido
- 2) Para PA (nilón), ¿cuántas toneladas de enfriamiento se necesitan para un consumo de 40 lb/h?
 - a. 2 toneladas de enfriamiento
 - b. 1 tonelada de enfriamiento
 - c. ½ tonelada de enfriamiento
- 3) Un molde que moldea componentes en nilón consume 275 gramos por ciclo, y el ciclo esperado es 9 segundos. ¿Cuánto es el consumo por hora?
 - a. Consumo de material = 275 g/h
 - b. Consumo de material = (275/9) = 39 lb/h
 - c. Consumo de material = (275g/9s) x (3600 s/h) x (kg/1000g) = 110 kg/h
- 4) Las conexiones del distribuidor (“*manifold*”) al molde se hacen
 - a. en paralelo, y las mangueras son del mismo diámetro de las conexiones del molde.
 - b. en serie, y las mangueras son de un diámetro menor que las conexiones del molde.
- 5) La temperatura del molde es igual a la temperatura del agua.
 - a. Ciento, la temperatura del metal es algo más fría.
 - b. Falso, la temperatura del agua y la del metal suelen ser distintas.
- 6) Un proceso con polipropileno (PP) demanda 3.6 toneladas de *chiller* a un Delta *T* de 2°C (4°F). ¿Qué flujo de agua de *chiller* necesitaría?
 - a. 24 x (3.6 ton de *chiller*)/(4°F)
 - b. 30 x (3.6 ton de *chiller*)/(4°F)
 - c. 24 x (3.6 ton de *chiller*)/(2°C)

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 determinando 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
Polietileno alta densidad	1.5	2.5	2.1
Polietileno baja densidad	1.0	2.0	1.4
Nilón 66	3.0	5.0	4.1
Policarbonato	3.0	5.0	4.1
PVC flexible	1.5	2.5	2.1
PVC Rígido	2.0	3.0	2.8
Poliestireno	2.0	4.0	2.8
			5.5

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

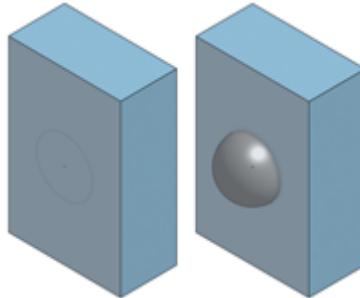
La tabla es una referencia; corrobore las especificaciones de la resina con el fabricante de esta.

Área Proyectada

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

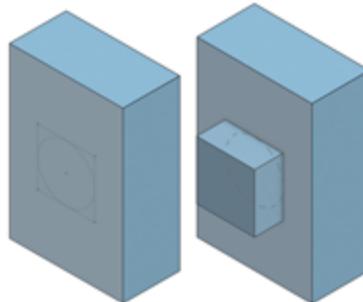
- El área proyectada de una esfera se vería como un plano circular; el área sería igual a:

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



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:

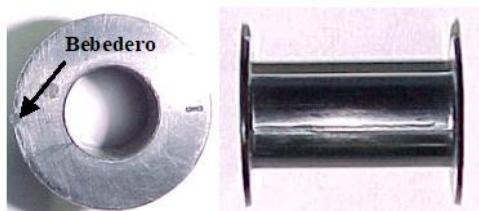
- material y sus características
- entender el flujo del fundido llenando las cavidades
- área proyectada de todas las cavidades
- área proyectada de la colada
- tipo de molde, tres platos o molde doble (“stack”)
- resortes en la partición del molde que actúan contra la fuerza de cierre
- actuadores 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

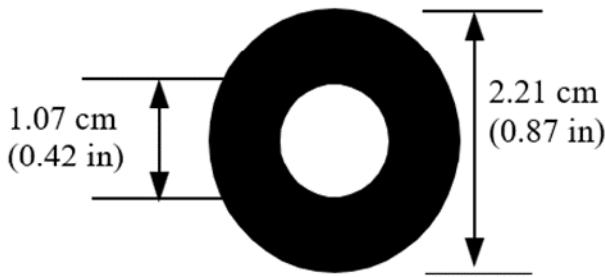
VI-5. Rodillos de nilón y coladas con y sin partes

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):

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



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

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. Consideraremos la mitad de la colada compuesta de dos rectángulos (con un área de alto por ancho) y un círculo (con área de diámetro² x π / 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.

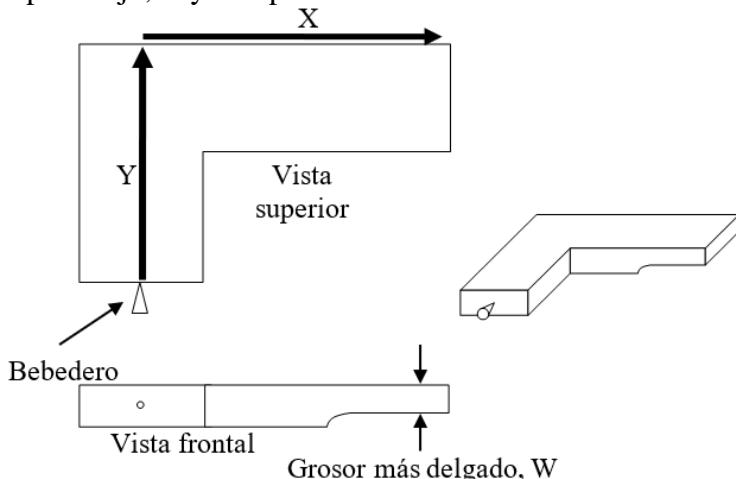
Cálculo de Pared Fina

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.

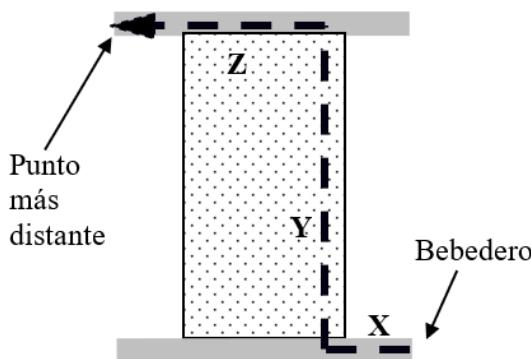


VI-8. Ejemplo de una pieza en forma de L

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

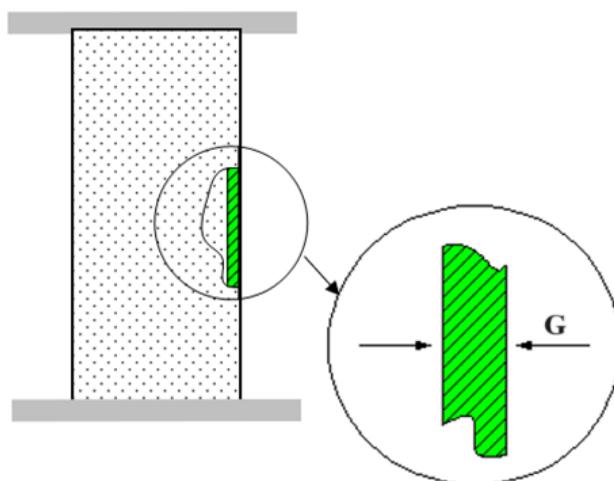
El trayecto del flujo más distante sería la suma de X , Y y Z .

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)

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

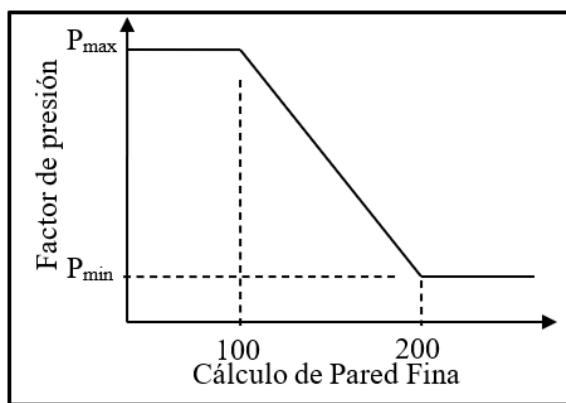
Seleccione el grosor dentro del trayecto escogido. Recuerde que es una relación entre el recorrido del flujo y el grosor de las paredes. Si lo desea, puede hacer varios cálculos de pared finas con distintos trayectos. Utilice el mayor ya que representará la peor condición. Una vez más seleccione el grosor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

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

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/cm^2 (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/cm^2 (3 USton/pulg²).

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

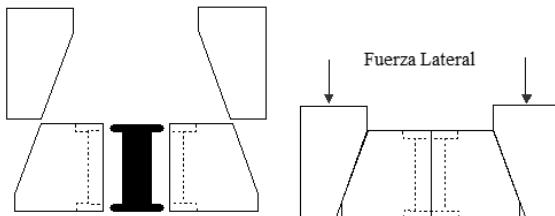
$$\begin{aligned}\text{Fuerza normal} &= \text{presión} \times \text{área} \\ &= 71 \text{ cm}^2 \times 4.1 \text{ kN/cm}^2 = 291 \text{ kN} \\ &(= 11 \text{ pulg}^2 \times 3 \text{ ton/pulg}^2 = 33 \text{ USton})\end{aligned}$$

Fuerzas resultantes de mecanismos que accionan lateralmente

Uno de los motivos de haber seleccionado el ejemplo del carrete 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.

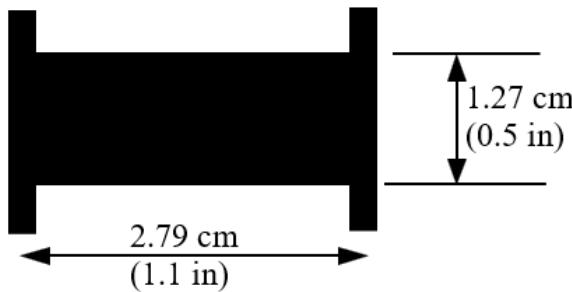
Estos mecanismos son parte de las cavidades del molde, y se mantienen en posición mientras el molde está cerrado. Después que el molde abre los mecanismos se mueven, liberando las piezas moldeadas. Estas fuerzas laterales se reflejan en la fuerza de cierre dado que es la prensa quien mantiene los actuadores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

Fíjese en la ilustración como la cavidad se separa para liberar 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 consideraremos el área de un rectángulo.



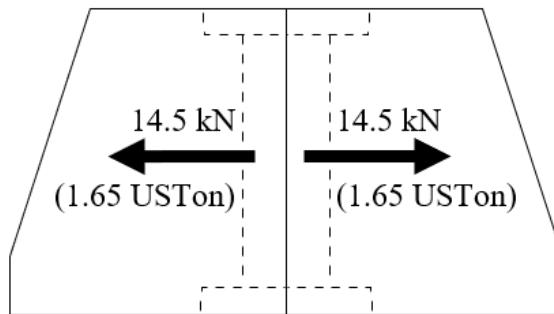
VI-14. Medidas para calcular el área proyectada

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

Entonces:

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

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



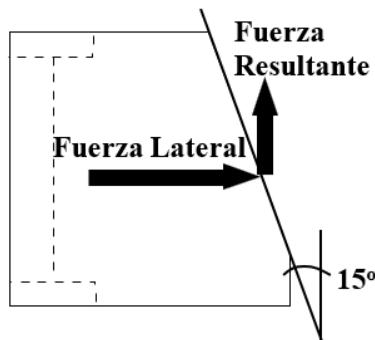
VI-15. Fuerza lateral por actuador

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:

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

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.

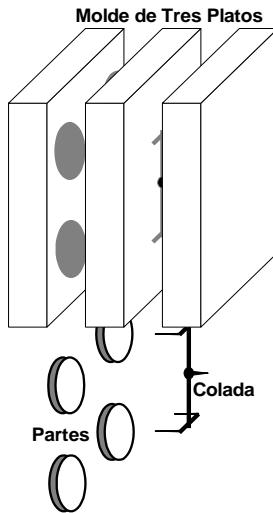
$$\begin{aligned}
 \text{Fuerza final} &= \text{fuerza normal} + \text{fuerza de la acción lateral} \\
 &= 291 \text{ kN} + 94 \text{ kN} = \mathbf{385 \text{ kN}} \\
 (33 \text{ USton} + 10.8 \text{ USton}) &= \mathbf{43.8 \text{ USton}}
 \end{aligned}$$

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, súmelo 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

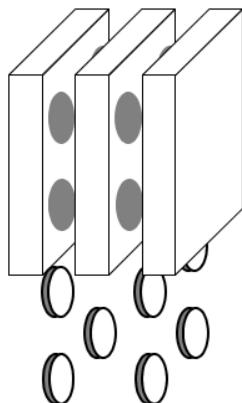
Este tipo de molde moldea en dos particiones distintas las piezas y la colada. El molde se parte en tres, entre una partición moldea las piezas y en la otra partición la colada. El propósito de este tipo de diseño es para

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”)

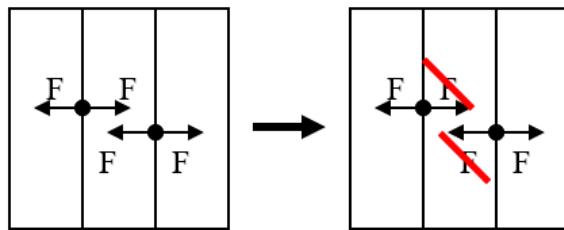
El molde doble (“stack”) moldea el mismo número de piezas en cada partición del molde.



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.



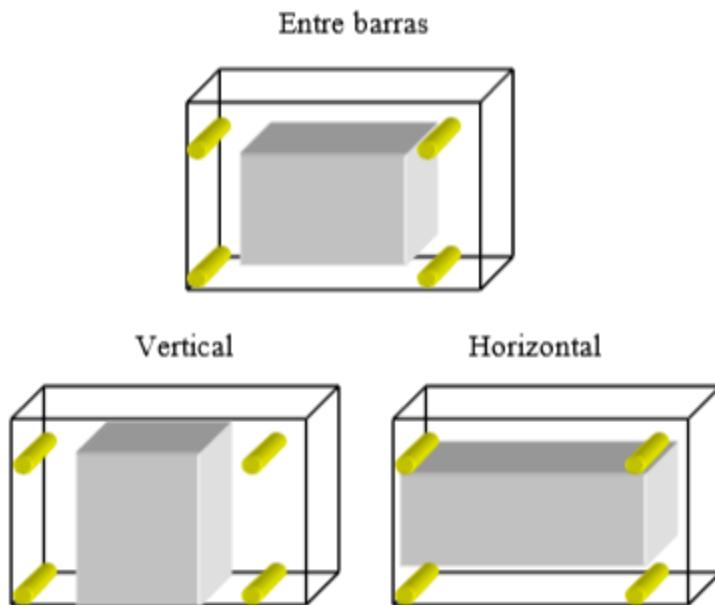
VI-19. Vectores de fuerza del molde doble

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.

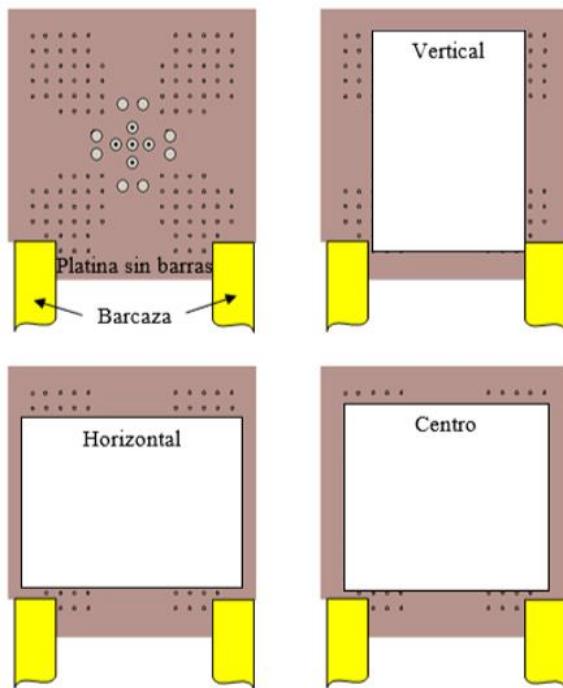
Espacio de la prensa en máquinas con barras (“tie bars”)

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.



VI-20. Espacios en platina con barras

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

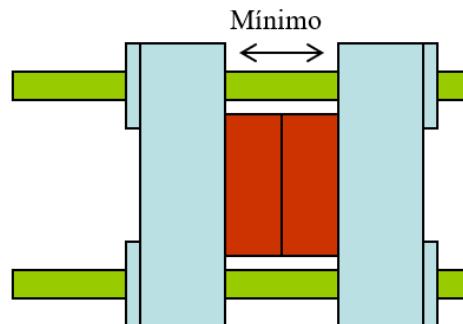


VI-21. Espacios en platina sin barras

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

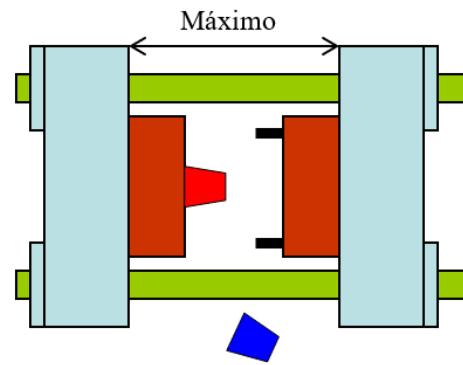
Apertura máxima y mínima

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



VI-22. Apertura mínima de la prensa

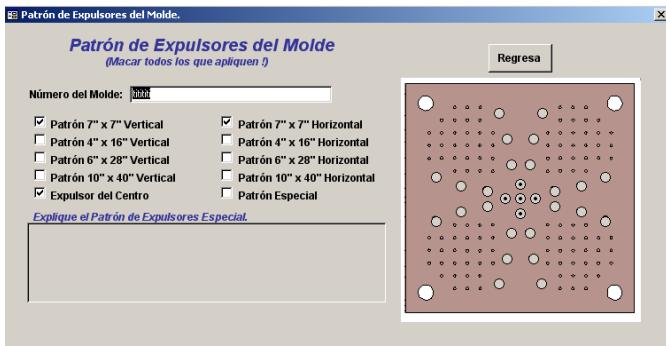
Además, verifique que el molde abre lo suficiente y se pueda hacer el desmolde de las piezas moldeadas.



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 cavidades $\times 0.2 = 3.2 \text{ pulg}^2$
 - b. 16 cavidades $\times 0.2 + 1$ 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 cuánto 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 manufacturero del PC, la utilización del barril debe estar entre 45% a 60%. ¿Cuáles serían las especificaciones volumétricas del barril?

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

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

El barril debe ser menor de 267.09 cm³.

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

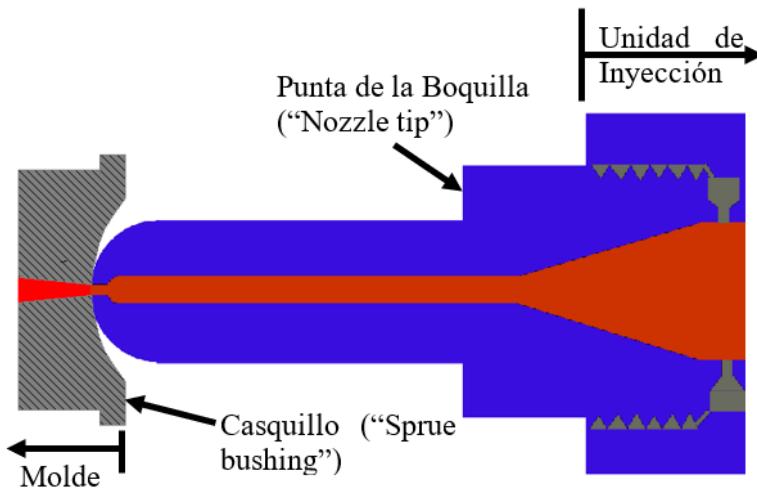
El barril debe ser mayor de 200.32 cm³.

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”)

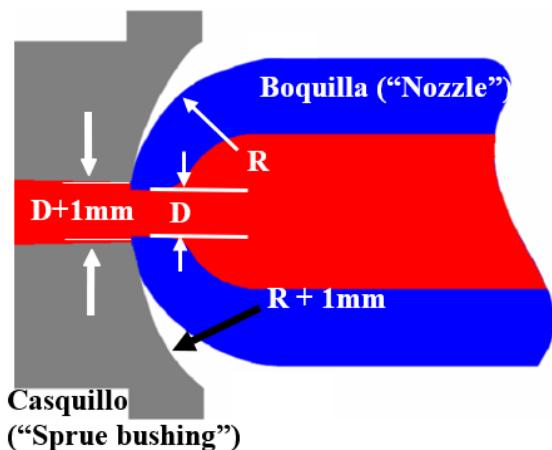
La punta de la boquilla es un importante componente, por esto debe ser el apropiado y mantenerse a una temperatura específica. Esta tiene efectos más significativos con materiales semi-cristalinos que con materiales amorfos.

Por ejemplo, con un material amorfó 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.

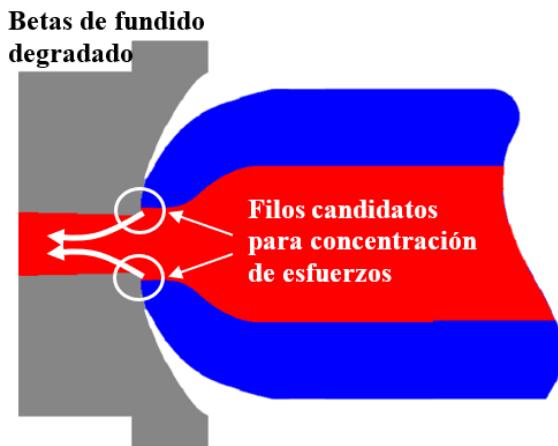


VI-27. Diámetros y radios de la punta de la boquilla y del casquillo

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.

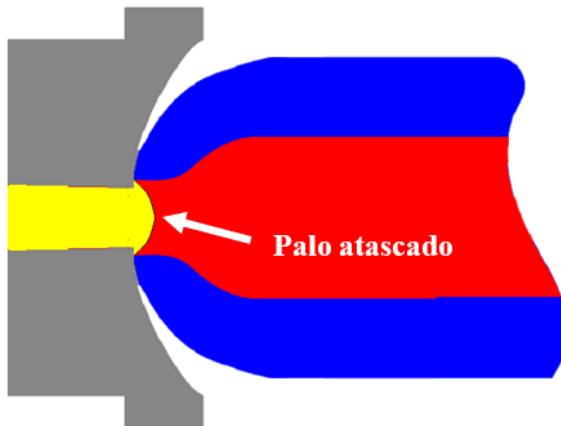
Antes de efectuar un laboratorio de **Moldeo UniversalTM** debe verificar que la punta de la boquilla es adecuada. Si está incorrecta, cámbiela antes de efectuar el laboratorio.

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.



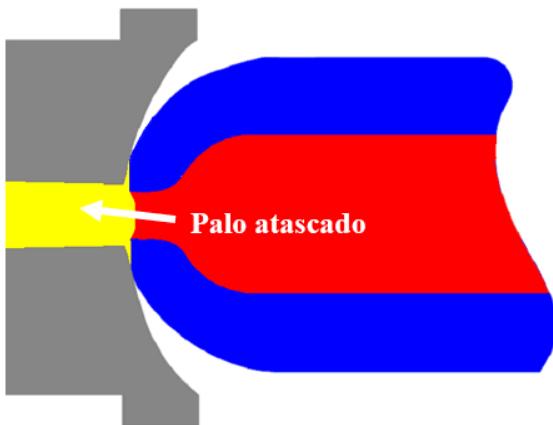
VI-28. Defecto causado por concentración de esfuerzo en los filos de la boquilla

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 qué 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

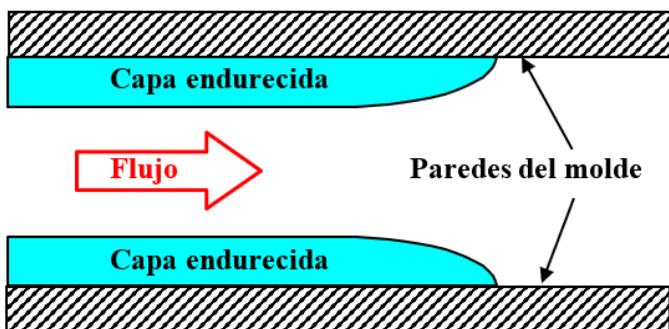
Algunos procesos requieren de programas especiales de limpieza de la boquilla. Esto es más visto en el moldeo de uniones para tubería en PVC rígida. Este material tiende a ser sensible al calor y se degrada con facilidad. Después de cada moldeo la unidad de inyección se retira, botando el poco de plástico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

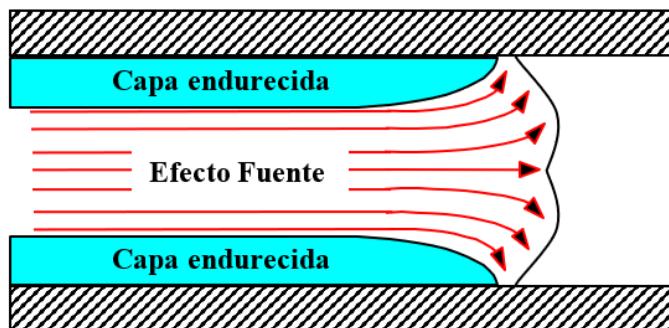
Efecto fuente

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.



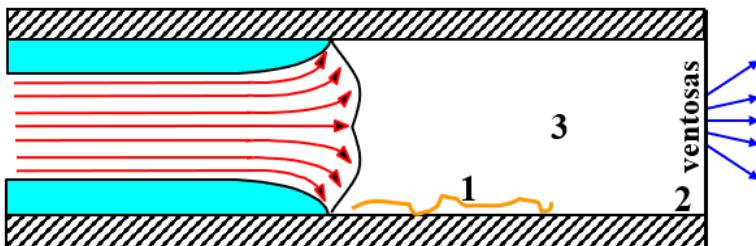
VI-31. El flujo de fundido termoplástico en un molde

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 temporeramente 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:

Volumen inyección = (área del tornillo) x desplazamiento

Desplazamiento = (volumen inyección) / (área del tornillo)

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

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

¿Cuánto sería el porcentaje de utilización?

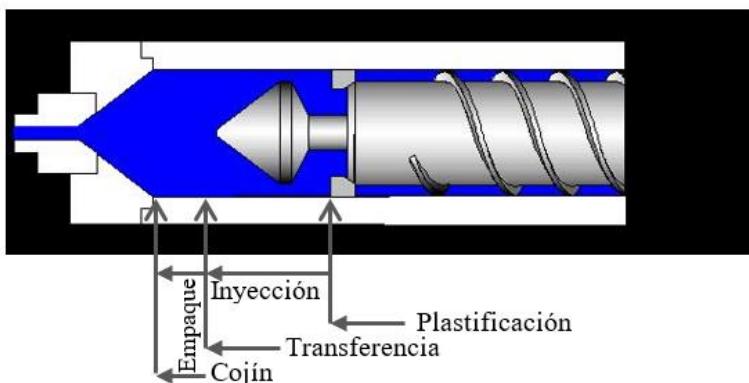
$$\%U = \frac{(\text{volumen utilizado})}{(\text{volumen capaz del barril})} * 100\%$$

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

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 plastificado 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:

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

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:

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

$$\text{Largo} = \text{posición de plastificación} - \text{posición del colchón}$$

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:

Densidad de descarga

=

peso total de inyección

$$((\text{diámetro del tornillo})^2 \times \frac{\pi}{4}) \times (\text{posición de plastificación} - \text{posición del colchón})$$

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

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

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/cm³) =

$$\frac{\text{peso total de inyección}}{\left[D^2 \times \frac{\pi}{4}\right] \times [\text{Pos. de plastificación} - \text{Pos. del colchón}]}$$

$$= \frac{17.5 \text{ g}}{\left[(2.5\text{cm})^2 \times \frac{\pi}{4}\right] \times [5.03\text{cm} - 0.45\text{cm}]} = 0.78 \text{ g/cm}^3$$

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

$$= 0.95 \frac{1.27 \times 17.5 \text{ g}}{0.78 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times (2.5 \text{ cm})^2} = 4.33 \text{ cm} = 43.3 \text{ mm}$$

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:

$$\text{Velocidad tangencial} = \text{rpm} \times \text{circunferencia}$$

$$\text{Circunferencia} = 3.1416 \times D$$

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

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:

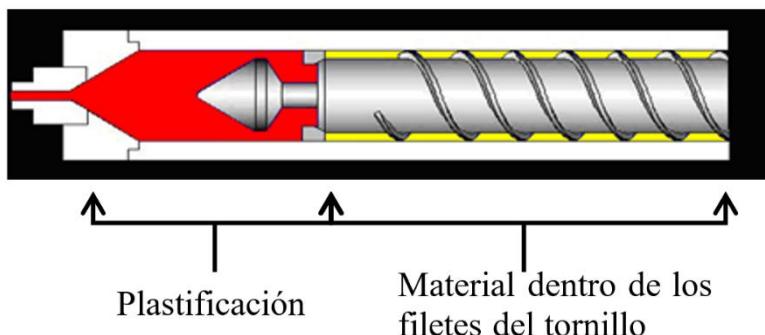
$$\text{Flujo de plastificación} = \frac{\text{volumen de plastificación}}{0.9 \times \text{tiempo de enfriamiento}}$$

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 máximo 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 podrías 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 moldeo y sepamos la duración del ciclo optimizado, lo podría convertir en segundos.

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

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

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%

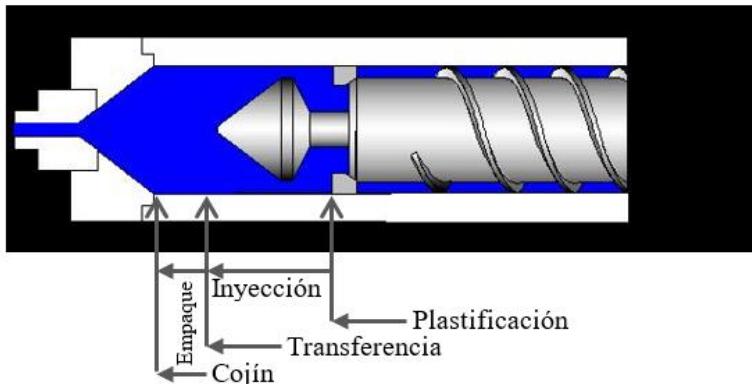
VI-38. Tabla de % de utilización de acuerdo con el tipo de industria

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.

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

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.

2. 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.
3. 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:

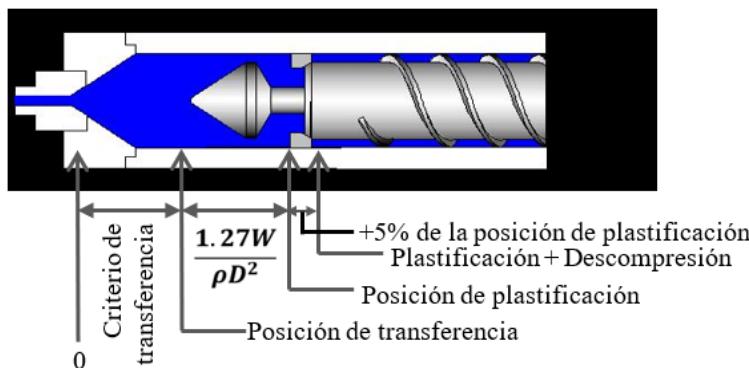
Posición de transferencia = utilice el criterio de $\%U$

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

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, consideraremos 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 desmoldeo 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.

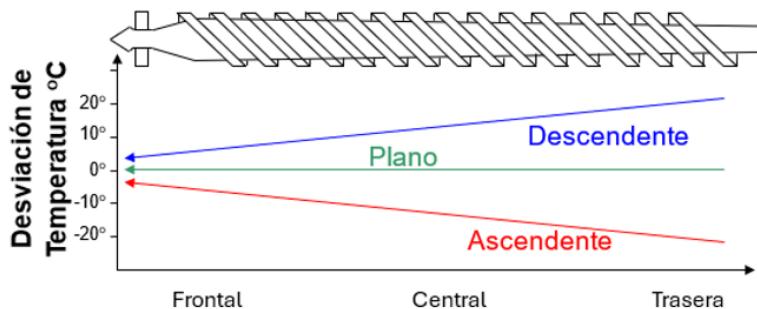
Es crucial recordar que la temperatura del fundido es la más significativa. Si $PF \leq 100$, la temperatura del fundido depende solamente del $\%U$. Si $PF \geq 200$, la temperatura del fundido se incrementa para compensar la dificultad del llenado. Si el ciclo se extiende debido a la remoción de piezas 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) (≥ 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 manufactureros 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:

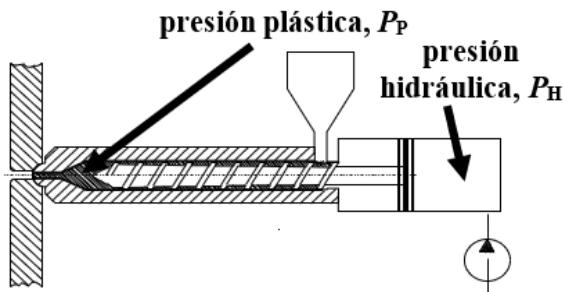
1. **Mejora en la mezcla:** Aumentar la contrapresión puede mejorar la homogeneización de los aditivos en el material fundido.
2. **Degradación y ruptura:** Materiales sensibles pueden degradarse y las fibras pueden romperse debido al aumento de la fricción y el calor.
3. **Desgaste del equipo:** El 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 expulsores en la platina (2x16in horizontal)

Secadora:

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

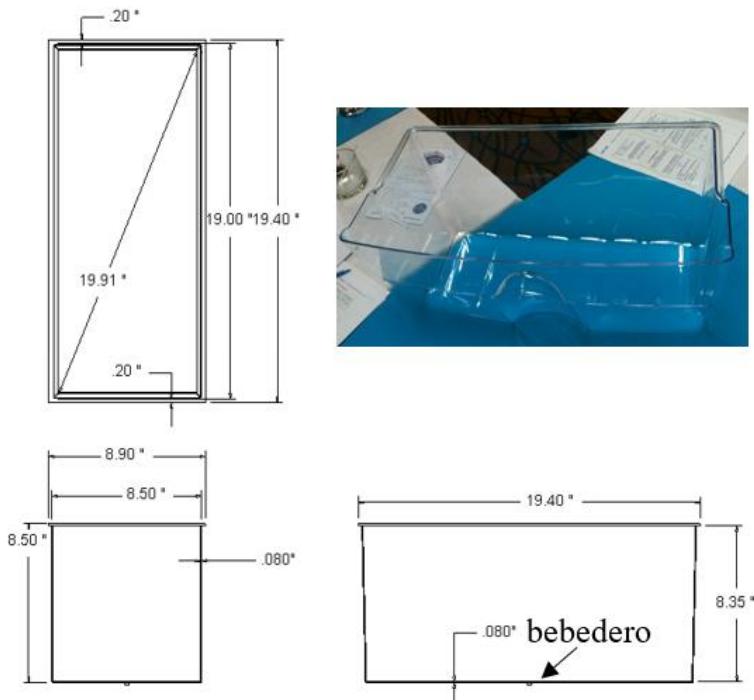
Circuladora de agua:

- 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 manufacturero del ABS, recomienda una utilización del barril de 40 a 60%. ¿Cuál sería el barril más apropiado?
- 147gr/(0.97gr/cc)
 - 147gr/(0.97gr/cc) x 52%
 - 147gr/(0.97gr/cc) x 40%
 - entre 147gr/(0.97gr/cc)/60% y 147gr/(0.97gr/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:
 - 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 pulg².
- 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 cm³.
- 9f. Determine el porcento 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 °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. $\rho_d = \frac{18 \text{ g}}{\left[(2.5 \text{ cm})^2 \times \frac{\pi}{4}\right] \times [54.3 \text{ cm} - 0.5 \text{ cm}]}$

Desplazamiento de inyección₉₅ = $\frac{1.27 \times 18 \text{ g}}{\rho_d \times (2.5 \text{ cm})^2}$

Posición de plastificación = 6mm + 0.95 x desplazamiento de inyección₉₅

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

Desplazamiento de inyección₉₅ = 0.95 x ρ_d

Posición de plastificación = 6mm + 0.95 x ρ_d

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

Desplazamiento de inyección₉₅ = 0.95 $\frac{1.27 \times 18 \text{ g}}{\rho_d \times (2.5 \text{ cm})^2}$

Posición de plastificación = 6mm + desplazamiento de inyección₉₅

VII. Reología en Máquina

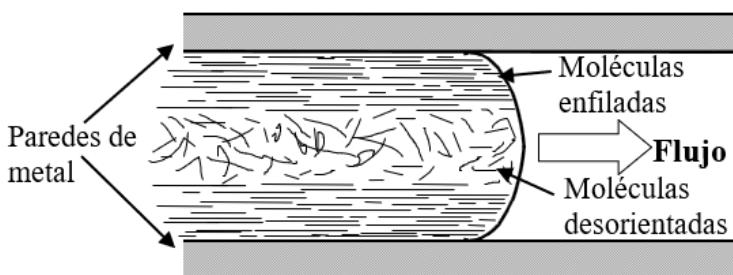
- **Flujo de Plástico Fundido**
- **Esfuerzo Cortante, Viscosidad y Velocidad Cambiante**
- **Reología en Máquina por Potencia**
- **Reología en Máquina por Viscosidad**
- **Reología Aproximada**
- **Ecuación de Predicción del Tiempo de Inyección**

Flujo de Plástico Fundido

El paso de material por las cavidades o las coladas (“runners”) de un molde es mejor visualizado si se imagina el flujo de hilos cortos y finos suspendidos en un fundido. Estos hilos son cadenas de polímeros que flotan libremente, y su orientación depende de la dirección del flujo. Estos hilos son moléculas que se conforman en una orientación determinada por el flujo una vez que el material se solidifica en el molde.

Moléculas enfiladas

La ilustración muestra el flujo del plástico fundido a través de dos caras fijas de metal.



VII-1. Orientación de moléculas en un flujo de fundido

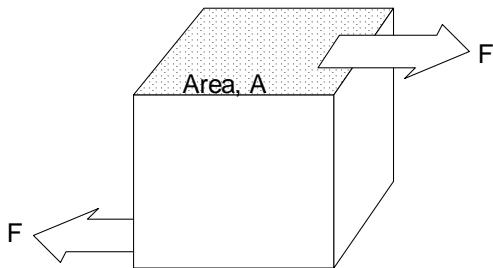
Las moléculas en contacto con el metal tienden a enfilarse, y gran parte se conforman en esa dirección después de solidificadas. Las moléculas que fluyen en el centro de la pieza están desorientadas y permanecen de esta forma una vez solidificadas.

El número de moléculas que permanecerán orientadas depende del enfriamiento y el peso molecular del polímero. Mientras más largas son las moléculas o cadenas, más alto es el peso molecular. Mientras más largas sean estas moléculas más difíciles son de orientar y, por consecuencia, ofrecen más restricción al flujo.

Esfuerzo Cortante, Viscosidad y Velocidad Cambiante

La restricción al flujo es mejor conocida como viscosidad. Antes de definir viscosidad se debe definir otros términos como el esfuerzo cortante (“shear stress”).

El esfuerzo cortante se define como una fuerza cizallante por unidad de área. Imagínese un cubo con caras de área A , donde dos fuerzas opuestas, de magnitud F , tratan de desgarrar el cubo.



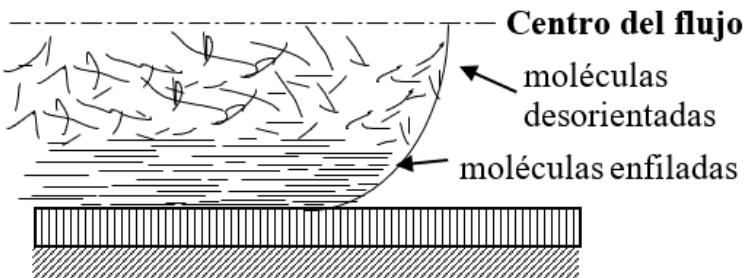
VII-2. Esfuerzo cortante

Este efecto se define como esfuerzo cortante, τ .

$$\tau = \frac{F}{A}$$

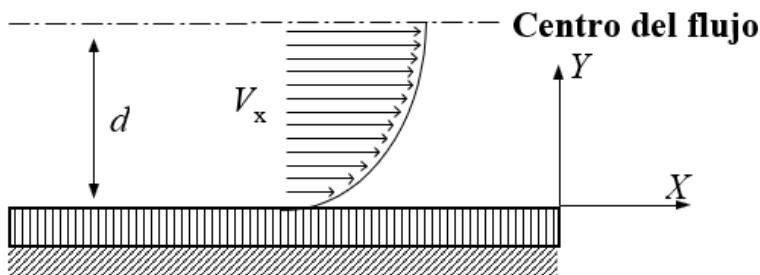
Ahora trate de imaginarse que el cubo es una pequeña masa de un fundido termoplástico expuesto a dos opuestas fuerzas, de magnitud F .

Se mencionó anteriormente que el fundido termoplástico se rehusa a fluir y que se agarrará de la primera superficie estática que encuentre en el camino. Es ese comportamiento el causante del efecto cortante del fundido. Con el propósito de simplificar esta explicación, consideraremos solamente la mitad del flujo.



VII-3. La mitad del flujo de fundido

De igual manera el fundido contra la placa de metal experimentará un esfuerzo que se opone al movimiento del fundido. Este esfuerzo es el resultado de las moléculas desorientadas oponiéndose a ser orientadas. Ahora pongamos coordenadas; X es en la dirección del flujo y Y es perpendicular al flujo.



VII-4. Vectores de velocidad en un flujo de fundido

Las moléculas cerca a la placa se mueven a una velocidad distinta a las que están al centro del flujo. El perfil de velocidad V_x , en dirección de X , ilustra una velocidad máxima cuando $Y = d$ (centro del flujo).

Si se pudiera ver, microscópicamente, estas moléculas en movimiento, se vería un cambio de velocidad gradual entre ambos extremos. Este gradiente de velocidad en la dirección vertical se define como velocidad cambiante (“shear rate”).

Este cambio de velocidad V_x en la dirección Y se define como:

$$\text{Velocidad cambiante} = \dot{\delta} = \frac{\text{cambio de velocidad}}{\text{distancia}} = \frac{\Delta V_x}{\Delta Y}$$

Para describir la velocidad cambiante imaginemos autos en la autopista, uno a velocidad normal (60 km/h) siendo rebasado por otros autos a una velocidad exagerada (100 km/h). Dos escenarios, un auto rebasa a una separación de un carril y un segundo auto a una separación de dos carriles. En ambos casos, el cambio de velocidad (ΔV_x) es igual a 40 km/h. Ahora cuando consideramos la distancia (ΔY) el efecto ventolera del auto rebasando a una separación de un carril será más notable. La relación entre el esfuerzo cortante y el cambio constante es la viscosidad, μ ;

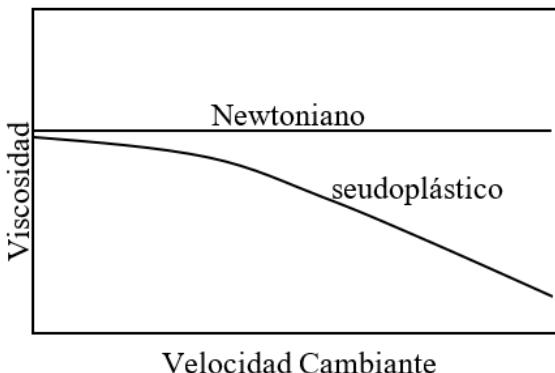
$$\text{Esfuerzo cortante} = \text{viscosidad} \times \text{velocidad cambiante}$$

$$\tau = \mu \times \dot{\delta}$$

La viscosidad (μ) se puede visualizar como la oposición al flujo. Explico; si la viscosidad aumenta, incrementa la oposición al flujo o el esfuerzo (τ).

Definición; un flujo Newtoniano es aquel donde la viscosidad es constante e independiente de la velocidad cambiante. Lo opuesto sería un flujo no Newtoniano, donde la viscosidad es una función de la velocidad cambiante. Desafortunadamente, el flujo de plástico fundido es no Newtoniano y por eso la viscosidad cambia con la velocidad cambiante. En forma simplificada, *la viscosidad cambia con la velocidad de inyección*.

Experimentalmente se ha demostrado que la viscosidad disminuye cuando se aumenta el flujo o la velocidad de inyección. A este comportamiento se le llama flujo seudoplástico, distinto al flujo Newtoniano donde la viscosidad no se ve afectada por la velocidad cambiante.



VII-5. Flujo de fundido Newtoniano y seudoplástico

A este efecto se le llama “*shear thinning*”, licuar por fricción. Durante el proceso de inyección el fundido cerca de las paredes se va a endurecer, como resultado del intercambio de calor entre el fundido y el metal.

El caudal en contacto con la capa endurecida va a experimentar una oposición al flujo, resultando en un aumento en fricción. Si esa fricción se refleja en forma de calor, entonces podemos decir lo siguiente: si la

velocidad aumenta, el calor aumenta también y consecuentemente disminuye la viscosidad.

Reología en Máquina por Potencia

La industria plástica utiliza la reología en máquina para obtener el tiempo de inyección ideal. Nosotros los moldeadores *Universales* utilizamos la reología en máquina por medio de potencia, donde se grafica el tiempo de inyección y la potencia pico de inyección.

Definiciones:

Potencia pico – La potencia máxima alcanzada por la unidad de inyección, normalmente al momento de la transferencia (cambio de inyección a empaque). Esta se obtiene multiplicando el flujo de inyección promedio por la presión al momento de la transferencia.

$$\text{Potencia pico} =$$

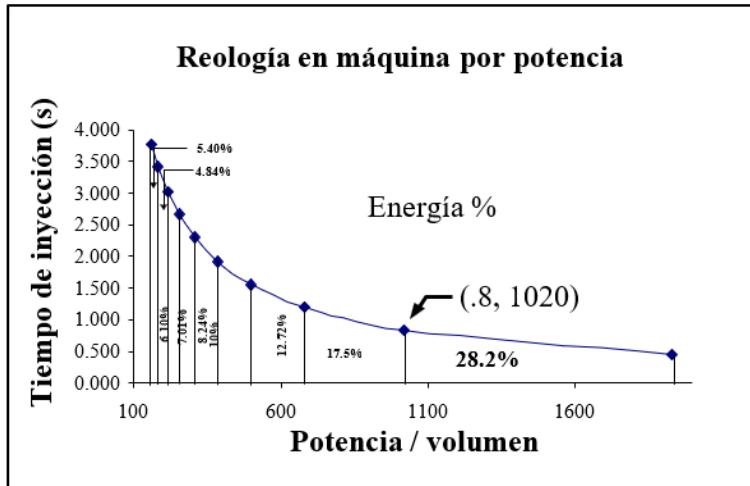
flujo de inyección promedio x presión al momento de la transferencia

Flujo de inyección promedio – Este flujo es una función del volumen inyectado durante la etapa de inyección y del tiempo de inyección.

$$\text{Flujo de inyección promedio} = \\ \text{volumen de inyección / tiempo de inyección}$$

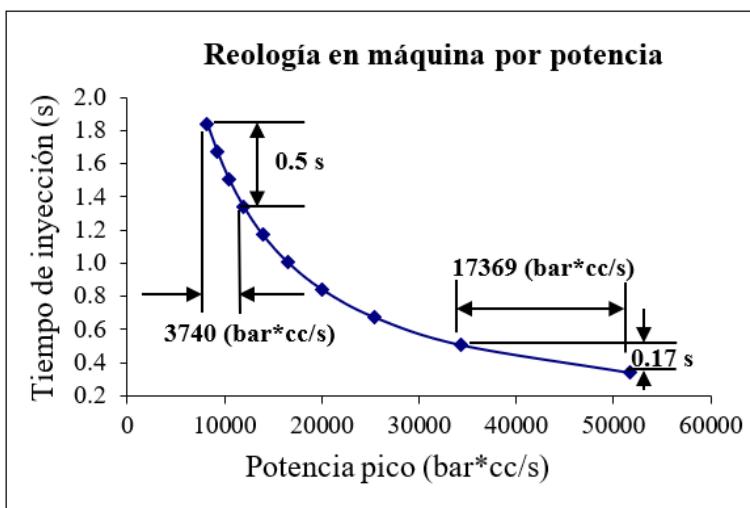
Volumen de inyección – Representa el volumen inyectado desde la posición de plastificación hasta la posición de transferencia.

Tiempo de inyección – Es el tiempo que toma inyectar desde la posición de plastificación hasta la posición de transferencia. El tiempo de inyección disminuye con aumento en velocidad de inyección.



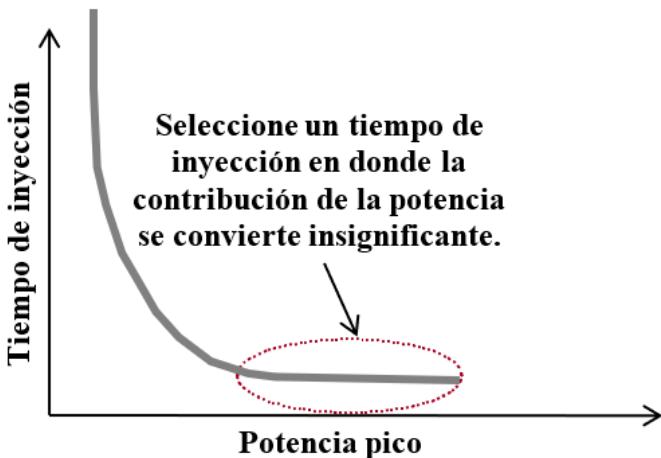
VII-6. Gráfica de reología en máquina por potencia

La gráfica muestra el efecto del tiempo de inyección en la potencia, donde el área bajo la curva representa el porcentaje de energía consumido por cada decremento en el tiempo de inyección. Esta gráfica revela que la potencia aumenta cuando se disminuye el tiempo de inyección, o cuando se aumenta la velocidad de inyección. Además, revela que la energía consumida por la unidad inyección es más significante a bajos tiempos de inyección.



VII-7. Gráfica de tiempo de inyección contra potencia pico

En la gráfica anterior, con una inyección lenta, reducir el tiempo de inyección 0.5 segundos consumió una potencia de 3740 bar*cc/s. Ahora con una inyección rápida, reducir el tiempo de inyección 0.17 segundos consumió 17369 bar*cc/s de potencia, 4.6 veces más de potencia para una insignificante reducción en el tiempo de inyección.



VII-8. Zona en donde el cambio en tiempo de inyección es mínimo o la potencia dejó de contribuir

El objetivo de esta gráfica es seleccionar un punto donde la variación del tiempo de inyección es mínima o, mejor dicho, un punto en donde la contribución de la potencia pico se convierte insignificante.

Reología en Máquina por Viscosidad

La industria plástica además utiliza la reología por viscosidad para obtener el tiempo de inyección ideal, utilizando las ecuaciones antes definidas con algunas adjudicaciones.

$$\text{Esfuerzo cortante} = \text{viscosidad} \times \text{velocidad cambiante}$$

$$(\tau = \mu \times \dot{\delta})$$

$$\text{Razón de intensificación, } R_i =$$

$$\text{presión plástica, } P_p / \text{presión hidráulica, } P_H$$

La razón de intensificación fue descrita anteriormente y establece la relación entre la presión que el fundido ve en la unidad inyección con la presión hidráulica de la unidad de inyección. Estas son relacionadas por una constante llamada razón de intensificación, R_i .

La presión plástica (P_P) es el resultado de los esfuerzos que se oponen a la inyección. Partiendo de esta premisa se puede decir que la presión plástica P_P es relativamente igual a la suma de todos los esfuerzos que se oponen al flujo del fundido entrando al molde. Es esta la razón por la cual la industria plástica asumió:

$$\text{Presión plástica } (P_P) = \text{esfuerzo cortante relativa, } (\tau_R)$$

Sustituyendo la ecuación de la razón de intensificación obtenemos:

$$\begin{aligned} \text{Esfuerzo cortante relativa} &= \\ \text{presión hidráulica} \times \text{razón de intensificación} \\ \tau_R &= P_H \times R_i \end{aligned}$$

Otro efecto asumido fue igualar la velocidad cambiante ($\dot{\delta}$) al recíproco del tiempo de inyección (T) la cual se le llamó velocidad cambiante relativa $\dot{\delta}_R$.

$$\dot{\delta}_R = \frac{1}{T}$$

Note que $\dot{\delta}_R$ y $\dot{\delta}$ no son iguales, aun cuando ambas tienen las mismas unidades (1/segundos). La simplificación de la industria es basada en la cancelación de unidades, explico.

$$\text{Velocidad cambiante} = \dot{\delta} = \frac{\text{cambio de velocidad}}{\text{distancia}} = \frac{\Delta V_x}{\Delta Y}$$

Si sustituimos unidades, por ejemplo, mm y segundos en la ecuación de velocidad cambiante y cancelamos estas unidades, obtenemos:

$$\frac{\frac{\text{mm}}{\text{segundo}}}{\frac{\text{mm}}{\text{segundo}}} = \frac{1}{\text{segundo}}$$

Hasta ahora estamos correcto, lo incorrecto sería decir que de acuerdo con este resultado (1/segundo) la ecuación se reduzca a 1/tiempo. El componente de distancia del numerador es en dirección de X y el componente de distancia del denominador es en dirección de Y , y no pueden ser cancelados. Por esto ellos utilizan la palabra “relativo” y advertimos que no debe utilizar los valores de $\dot{\delta}_R$ en ninguna otra formulación que no sea de reología en máquina por inyección. Es esta la razón por la cual nosotros, los moldeadores ***Universales***, preferimos la reología por potencia.

Si se substituye la definición de esfuerzo relativo ($\tau_R = P_H \times R_i$) y la velocidad cambiante relativa ($\dot{\delta}_R = 1/T$) en la ecuación de viscosidad ($\tau = \mu \times \dot{\delta}$) y despejamos, obtenemos:

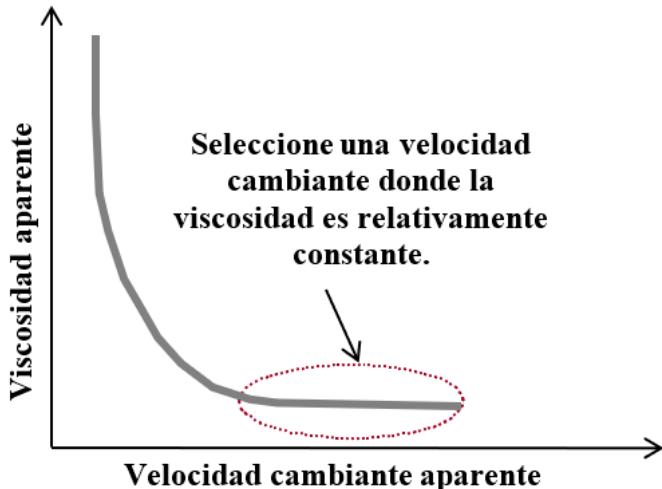
$$\mu_R = P_H R_i T$$

De acuerdo con esta ecuación la viscosidad relativa μ_R es simplemente determinada leyendo la presión hidráulica y el tiempo de inyección; luego son todos multiplicados por la razón de intensificación.

Recuerde que, si la unidad de inyección lee presiones plásticas y no las del aceite hidráulico, la ecuación sería:

$$\mu_R = P_P T$$

Luego cree una gráfica de viscosidad contra velocidad cambiante, y seleccione una velocidad cambiante donde la correspondiente viscosidad es relativamente constante.



VII-9. Zona en donde el cambio en viscosidad relativa es mínimo

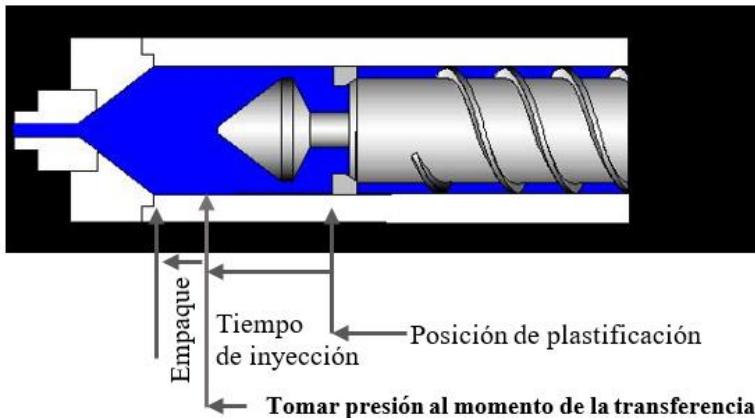
La idea es seleccionar un tiempo de inyección en el cual el fundido está a su menor viscosidad y relativamente constante. Mientras más baja es la viscosidad más fácil fluye el plástico y, por consecuencia, más eficiente es el llenado.

Notas:

- Estas ecuaciones de viscosidad y velocidad cambiante deben ser únicamente utilizadas en reología en máquinas inyectoras. No utilice estos valores para otros cálculos ni otros trabajos científicos.
- Si la unidad de inyección provee la presión del fundido, el esfuerzo cortante τ_R es igual a la lectura de presión del plástico fundido, o $R_i = 1.0$.
- Aunque estas ecuaciones no representan los efectos de viscosidad y velocidad cambiante, han estandarizado la determinación del tiempo de inyección. Si no se siente cómodo con estas ecuaciones, utilice la reología por potencia.

Lectura de valores

La presión la lee al momento de transferencia (cambio de inyección a empaque), y el tiempo es igual de la duración de la etapa de inyección.



VII-10. Lecturas de presión de transferencia y tiempo de inyección

Utilizamos la presión en la transferencia por conveniencia. La presión promedio sería más representativa; ahora muy pocas máquinas proveen esa lectura.

Estas gráficas tradicionalmente se crean inyectando a varias velocidades de inyección. Para cada velocidad de inyección, se toma la lectura del tiempo de inyección y la presión al momento de la transferencia. Luego se calculan sus correspondientes coordenadas.

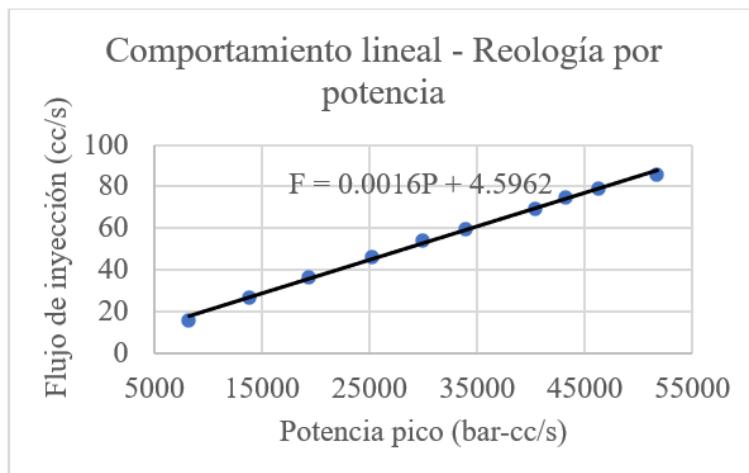
Durante el desarrollo de **Moldeo UniversalTM** se estableció que la determinación de los parámetros del proceso de inyección tendrá procedimientos estandarizados y ecuaciones corroboradas. En el próximo capítulo se discutirá en detalle los procedimientos recomendados.

Desarrollar estas gráficas consume tiempo y recursos. Nosotros hemos desarrollado métodos más eficientes y le llamamos “reología aproximada”. Estudiantes de la Universidad de Puerto Rico en el recinto de Mayagüez, bajo la supervisión del Dr. Iván Baigés fueron los que iniciaron esta simple técnica.

Reología Aproximada

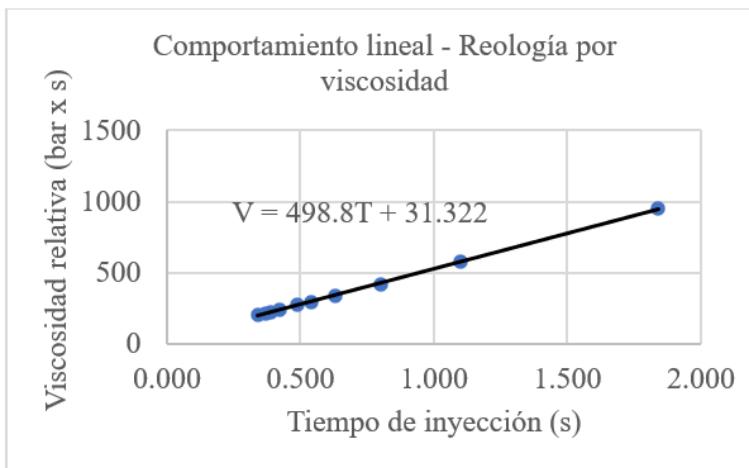
El desarrollo de un laboratorio de reología en una máquina de inyección consume tiempo y recursos. Con la reología aproximada, una técnica matemática de predicción, el laboratorio se efectúa en menos de una 3ra parte del tiempo. Veamos a continuación.

Si trabaja con reología por potencia notará que existe una relación relativamente lineal entre flujo de inyección y potencia pico.



VII-11. Gráfica de comportamiento lineal entre flujo de inyección y potencia pico

Si trabaja con la reología por viscosidad, existe una relación lineal entre la viscosidad relativa y el tiempo de inyección.



VII-12. Gráfica de comportamiento lineal entre viscosidad relativa y tiempo de inyección

Ambas gráficas revelan que los puntos intermedios en la gráfica se aproximan con la simple función de la ecuación de una línea, $Y = Y_o + MX$. Explico, con saber la pendiente M y el intercepto Y_o en el eje de Y , podemos predecir puntos entremedios.

Ejemplo:

En la optimización de un proceso inyectando un volumen de 29.17cc, se obtuvo las lecturas de tiempo de inyección y presión de transferencia a dos velocidades de inyección:

Vel (mm/s)	T_{iny} (s)	P_{tran} (bar)
193	0.34	602.7
19	1.84	518.5

VII-13. Ejemplo de tiempos de inyección y presiones de transferencia

Utilizando las ecuaciones antes descritas:

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

$$\text{Potencia pico} = \text{flujo de inyección promedio} \times \text{presión al momento de la transferencia}$$

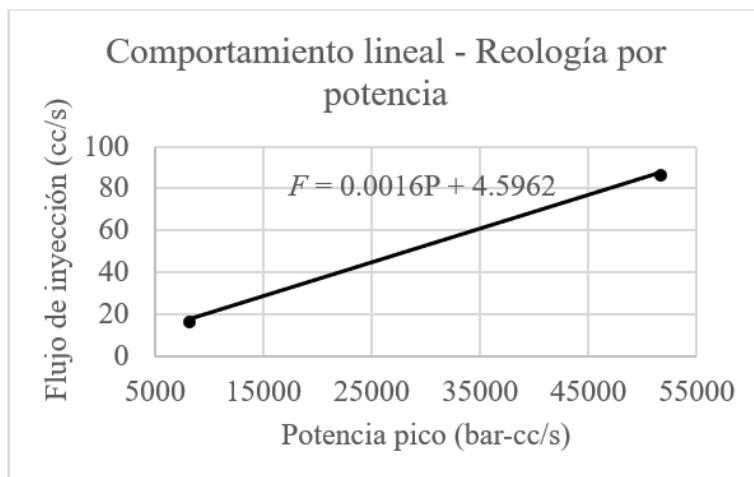
$$\text{Viscosidad relativa} = \text{presión plástica} \times \text{tiempo de inyección}$$

$$\text{Velocidad cambiante relativa} = \frac{1}{\text{tiempo de inyección}}$$

Calculamos y añadimos los valores en la siguiente tabla:

Vol. Iny. = 29.17 cc			Reo. por Potencia		Reo. por Viscosidad	
Vel. (mm/s)	T _{iny} (s)	P _{Tran} (bar)	Flujo (cc/s)	Pot. (bar*cc/s)	V _{camb.} (1/s)	Vis. (bar*s)
193	0.34	602.7	85.79	51708	2.94	204.9
19	1.84	518.5	15.85	8220	0.54	954.0

VII-14. Ejemplos de valores de reología



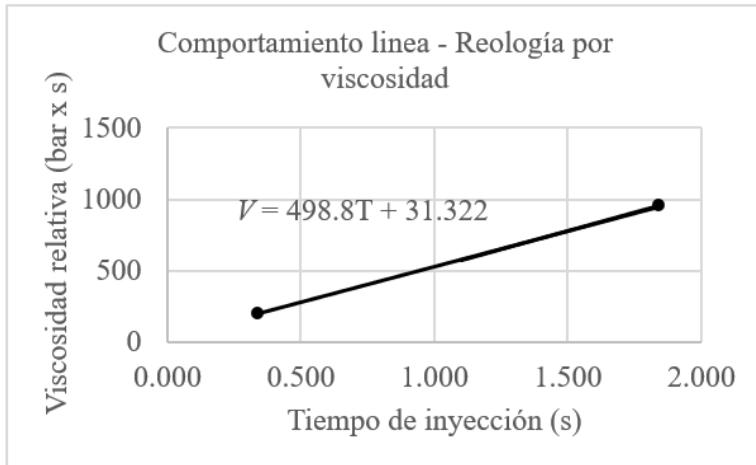
VII-15. Gráfica del efecto lineal entre flujo promedio y potencia pico de inyección

La ecuación lineal de la reología por potencia sería:

$$\text{Flujo} = (0.0016 \times \text{potencia}) + 4.5962$$

$$\text{Potencia} = (\text{flujo} - 4.5962) / 0.0016$$

Veamos ahora la ecuación lineal de la reología por viscosidad:



VII-16. Gráfica del efecto lineal entre viscosidad relativa y tiempo de inyección

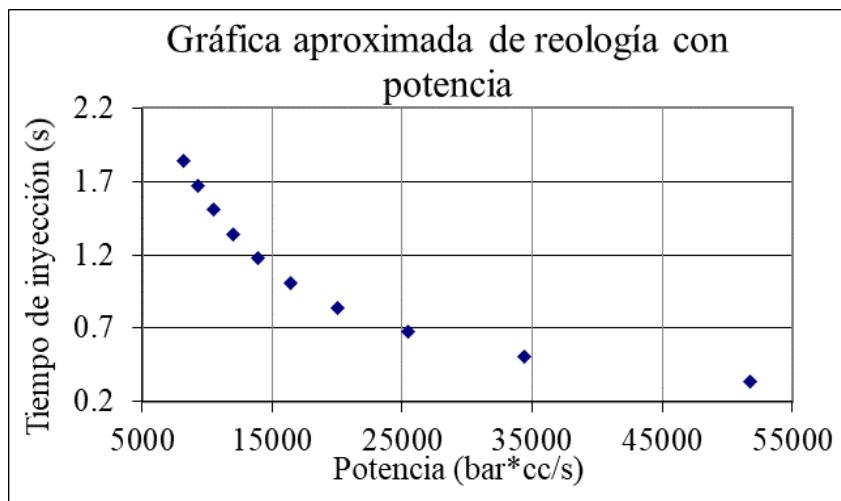
La ecuación sería:

$$\text{Viscosidad} = (498.8 \times \text{tiempo de inyección}) + 31.322$$

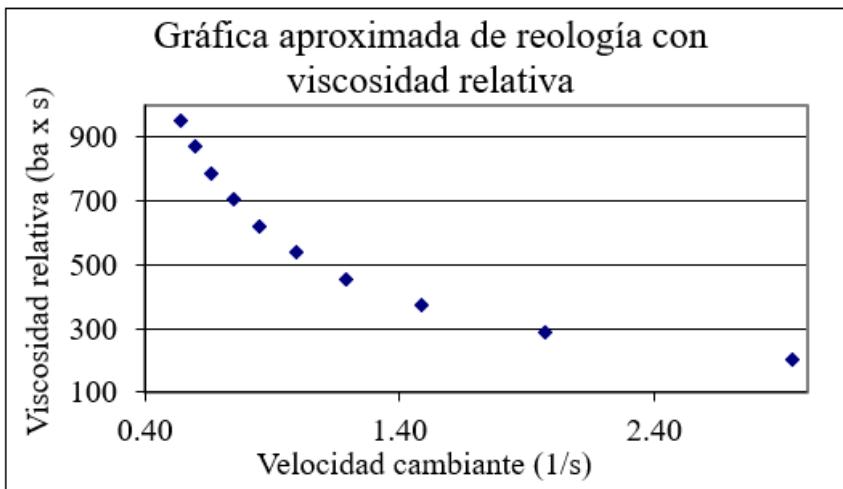
El próximo paso es determinar ocho tiempos de inyección equidistantes entre los existentes tiempos, T_{iny} . Luego complete el cálculo del correspondiente flujo de inyección promedio y velocidad cambiante para cada tiempo de inyección añadido.

Vol. Iny. = 29.17 cc			Reo. por potencia		Reo. por viscosidad	
Vel (mm/s)	T_{iny} (s)	P_{Tran} (bar)	Flujo (cc/s)	Pot. (bar*cc/s)	$V_{camb.}$ (1/s)	Vis. (bar*s)
193	0.34	602.7	85.79	51708	2.94	204.9
	0.51		57.57	34337	1.97	284.0
	0.67		43.32	25430	1.49	367.2
	0.84		34.73	20058	1.19	450.3
	1.01		28.98	16465	0.99	533.4
	1.17		24.86	13892	0.85	616.6
	1.34		21.77	11960	0.75	699.7
	1.51		19.36	10455	0.66	782.8
	1.67		17.43	9249	0.60	866.0
19	1.84	518.5	15.85	8220	0.54	954.0

VII-17. Tabla incluyendo 8 tiempos de inyección equidistantes

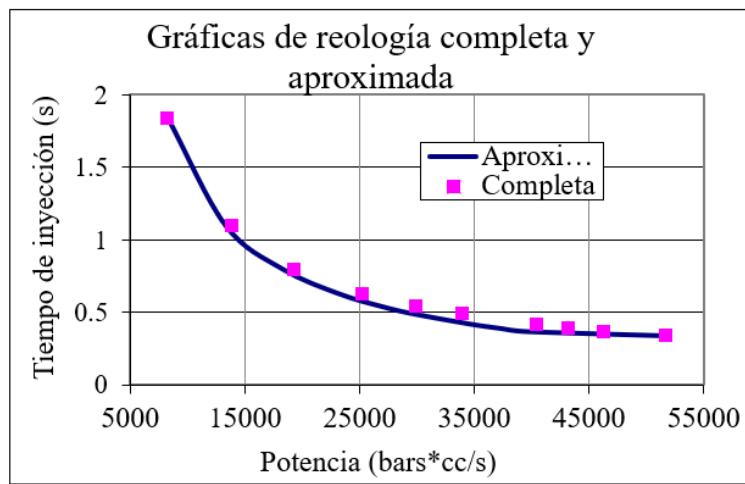


VII-18. Gráfica aproximada entre tiempo de inyección y potencia pico de inyección



VII-19. Gráfica aproximada entre viscosidad relativa y velocidad cambiante relativa

Veamos ahora dos gráficas sobreuestas de reología aproximada con dos puntos y reología completa de diez puntos.



VII-20. Gráficas de reología sobreuestas, completa y aproximada

Este gráfico muestra que la reología aproximada está muy cerca de la reología completa (de diez puntos), lo que la convierte en una opción beneficiosa que ahorra tiempo.

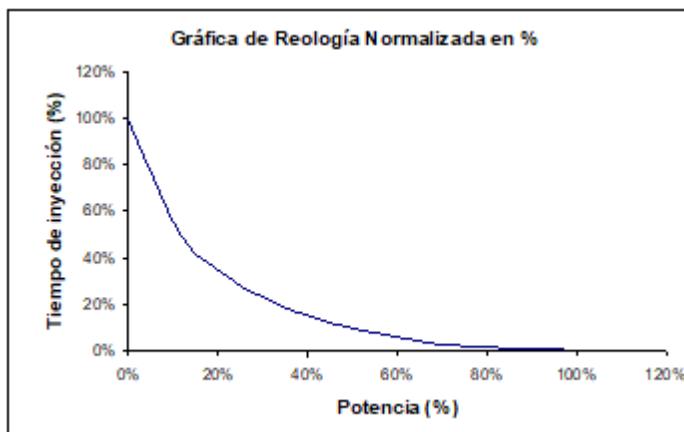
Repetimos, nosotros los moldeadores *Universales* preferimos la reología por potencia ya que las definiciones describen el efecto con más convicción. Ahora usted utilice el método con que usted se sienta más cómodo; ambas reologías le llevan a un buen resultado.

Ecuación de Predicción del Tiempo de Inyección

Durante el desarrollo de **MUTM** se estableció que todo parámetro debe ser determinado por medio de procedimientos y ecuaciones claras. Esto se estableció con el propósito de garantizar resultados similares entre moldeadores.

Si la selección del tiempo de inyección dependiera del criterio individual, entonces se imposibilitaría el poder obtener resultados similares entre moldeadores. Utilizando el criterio de múltiples moldeadores, con un claro entendimiento de la reología en máquina, se pudo resolver esta situación. Con gráficas de reología con sus coordenadas normalizadas en % y simple estadística se determinó la tendencia de selección de algunos moldeadores *Universales*.

Con varias gráficas como la ilustrada, se formuló la siguiente pregunta: ¿En dónde se inicia la meseta en las gráficas?



VII-21. Gráfica de reología normalizada en %

El promedio de toda esta población se evaluó y se obtuvo la siguiente formula.

$$T_{meseta} = T_{min} + (T_{max} - T_{min}) / 9$$

Donde:

- T_{min} = tiempo de inyección correspondiente a la velocidad máxima de inyección
- T_{max} = tiempo de inyección correspondiente a la velocidad mínima de inyección
- T_{meseta} = tiempo de inyección donde se inicia la meseta en la gráfica

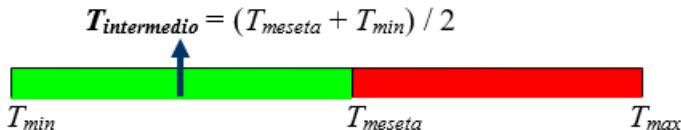
Con esta ecuación se calcula el tiempo de inyección, donde la curva de reología comienza relativamente constante. Basado en este simple cálculo, determinamos que el tiempo de inyección ideal debe ser menor que el obtenido por la ecuación.

$$T_{ideal} < T_{min} + (T_{max} - T_{min}) / 9$$

El tiempo de inyección ideal dependerá del tipo de industria. Industrias de moldeo convencional deberían seleccionar un tiempo de inyección ideal en el centro de la meseta. Industrias que moldean materiales sensitivos a la fricción a consecuencia altas velocidades de inyección, como es la industria de conectores de PVC rígido, deberían estar cerca de T_{meseta} . Industrias de alto volumen de inyección, como los fabricantes de tapas, deberían estar cerca de T_{min} .

Veamos con más detalle:

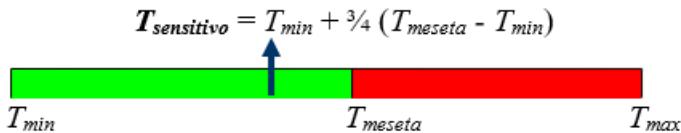
Industrias de moldeo convencional: Seleccionar un tiempo de inyección ideal entre T_{meseta} y T_{min} .



VII-22. Tiempo de inyección para industrias de moldeo convencional

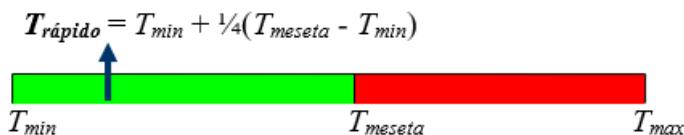
Industrias que moldean materiales sensitivos a la fricción (como fabricantes de los conectores de PVC rígido): Para materiales que a altas

velocidades se degradan, seleccionar un tiempo de inyección ideal cerca de T_{meseta} .



VII-23. Tiempo de inyección para industrias que moldean materiales sensitivos a la fricción

Industrias de alto volumen de producción (como los fabricantes de tapas): Seleccionar un tiempo de inyección ideal cerca de T_{min} .



VII-24. Tiempo de inyección para industrias de alto volumen de inyección

$T_{rápido}$ es además utilizado con piezas con alta dificultad de llenado, como en micromoldeo.

Si sustituimos la definición del tiempo meseta anteriormente definida ($T_{meseta} = T_{min} + (T_{max} - T_{min}) / 9$) dentro de cada una de las tres ecuaciones anteriores y simplificamos, obtenemos:

Industrias de moldeo convencional

$$T_{intermedio} = T_{min} + (T_{max} - T_{min}) / 18$$

Industrias que moldean materiales sensitivos

$$T_{sensitivo} = T_{min} + (T_{max} - T_{min}) / 12$$

Industrias de alto volumen de inyección

$$T_{rápido} = T_{min} + (T_{max} - T_{min}) / 36$$

Después de seleccionar el tipo de aplicación, seleccione la ecuación correspondiente, sustituya los valores de T_{min} y T_{max} , y determine el tiempo de inyección ideal.

Ejemplo: Utilizando la reología calculada, para $T_{min} = 0.24$ segundos y $T_{max} = 1.58$ segundos, los correspondientes tiempos de inyección serían:

Aplicación promedio:

$$T_{intermedio} = T_{min} + (T_{max} - T_{min}) / 18 = 0.24 + (1.58 - 0.24) / 18 \\ = \mathbf{0.31 \text{ segundos}}$$

Aplicación de material sensitivo:

$$T_{sensitivo} = T_{min} + (T_{max} - T_{min}) / 12 = 0.24 + (1.58 - 0.24) / 12 \\ = \mathbf{0.35 \text{ segundos}}$$

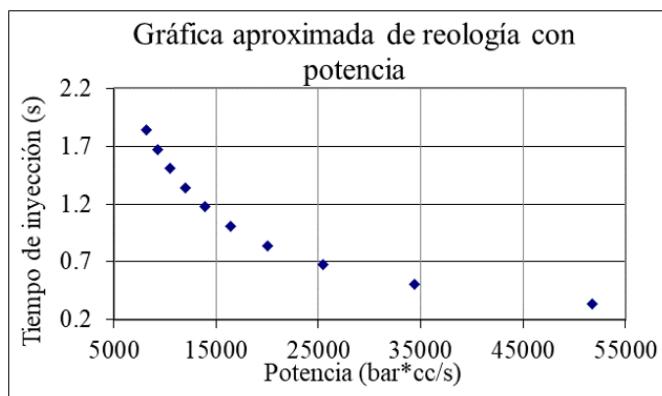
Aplicación de alto volumen:

$$T_{rápido} = T_{min} + (T_{max} - T_{min}) / 36 = 0.24 + (1.58 - 0.24) / 36 \\ = \mathbf{0.28 \text{ segundos}}$$

Más adelante se hablará sobre los procedimientos para obtener estos tiempos mínimos y máximos de inyección.

Preguntas

- 1) Utilizando la reología calculada se puede aproximar el tiempo de inyección ideal sin tener que crear una gráfica. Por ejemplo, dependiendo del tipo de industria el tiempo de inyección debería ser menor de $T_{min} + (T_{max} - T_{min})/9$. Para un $T_{min} = 0.24$ segundos y un $T_{max} = 1.58$ segundos, el tiempo ideal de inyección debería ser
 - a. Velocidad cambiante = $0.24 + (1.58 - 0.24)/9$
 - b. $T_{ideal} < 0.24 + (1.58 - 0.24)/9$
 - c. 4 segundos.
- 2) Para un proceso con un ciclo total de 3.5 segundos, utilizamos la ecuación de reología aproximada:
 - a. $T_{intermedio} = T_{min} + (T_{max} - T_{min})/18$
 - b. $T_{sensitivo} = T_{min} + (T_{max} - T_{min})/12$
 - c. $T_{rápido} = T_{min} + (T_{max} - T_{min})/36$
- 3) En la gráfica aproximada de reología por potencia mostrada, se determinó un tiempo de inyección ideal de:
 - a. 1 segundo.
 - b. mayor de 1 segundo.
 - c. 0.4 segundo.

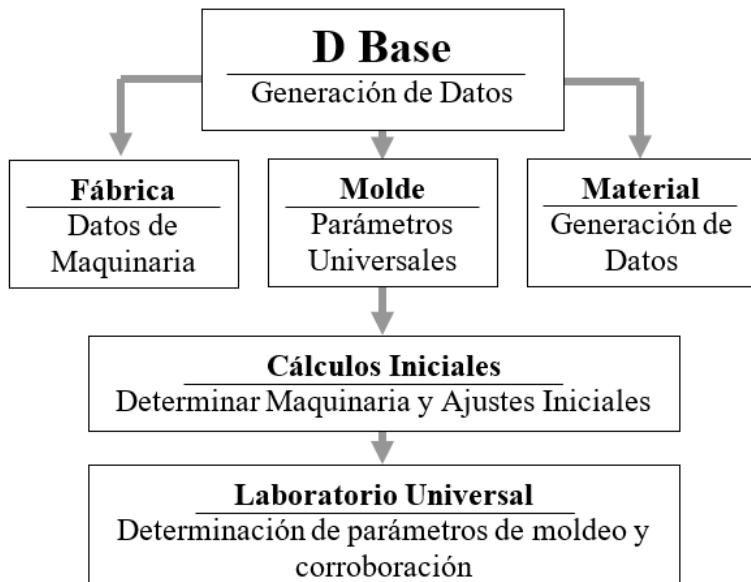


- 4) Los moldeadores ***Universales*** preferimos la reología en máquina por medio de potencia
- porque se grafica velocidad cambiante contra potencia de inyección.
 - porque en esta se grafica con parámetros que verdaderamente describen el efecto que se está midiendo, el tiempo de inyección contra la potencia pico de inyección.
 - porque aquí se grafica viscosidad contra potencia de inyección.
- 5) La potencia pico
- se obtiene multiplicando el tiempo de inyección promedio por la presión al momento de la transferencia.
 - es la presión plástica máxima alcanzada por la unidad de inyección, normalmente al momento de la transferencia.
 - se obtiene multiplicando el flujo de inyección promedio por la presión al momento de la transferencia.
- 6) El flujo de inyección promedio
- es una función del tiempo de inyección y el volumen de fundido llenado en la etapa de inyección.
 - es la presión plástica máxima alcanzada por la unidad de inyección, normalmente al momento de la transferencia.
 - se obtiene multiplicando el flujo de inyección promedio por la presión al momento de la transferencia.
- 7) El volumen de inyección representa el volumen llenado desde la posición de plastificación hasta la posición de transferencia.
- Cierto
 - Falso

VIII. Determinación de la Velocidad de Inyección

- **Laboratorio I – Entienda el Llenado y sus Limitaciones, Determine el Tiempo de Inyección Mínimo y la Presión Límite de Inyección**
- **Laboratorio II - Procedimiento para Determinar el Tiempo de Inyección Mínimo y la Presión Límite de Inyección**
- **Laboratorio III – Determinación del Tiempo de Inyección y la Velocidad de Inyección**
- **Laboratorio IV – Gráfica de Reología y Determinación del Tiempo y Velocidad de Inyección Ideal**
- **Laboratorio V – Gráfica Aproximada**
- **Laboratorio VI – Predicción del Tiempo de Inyección**

Con el propósito de garantizar el aprovechamiento de esta disciplina de moldeo, se debe tener un claro entendimiento de los fundamentos de **Moldeo Universal™** y del “Moldeo Desde el Escritorio”. Entienda e identifique las necesidades de su proceso, y atienda esas necesidades con soluciones bien pensadas. **Moldeo Universal™** es una disciplina que promueve una estructura de eventos organizados.



VIII-1. Flujo de eventos de **Moldeo Universal™**

Copile toda la información, organice una base de datos y haga que esa información esté accesible para toda la población de su fábrica de moldeo. Incluya:

Datos de las máquinas de moldeo:

- fuerza de cierre máxima y mínima
- patrón de expulsores
- espacio entre las barras
- ancho máximo y mínimo de moldes
- peso máximo de molde
- volumen de inyección
- presión máxima de inyección
- razón de intensificación
- opciones especiales como noyos, válvula en la boquilla, etc.

Datos de equipos auxiliares:

- secadora (flujo de secado, volumen de la tolva, ...)
- TCU (flujo, presión, ...)
- dosificador
- molinos
- robots
- bandas transportadoras (“*conveyors*”)
- control de coladas calientes, etc.

Datos del molde:

- patrón de expulsores
- dimensiones y apertura
- peso
- volumen de llenado
- colada caliente
- límites operacionales
- material o materiales por moldear
- temperaturas del molde
- flujos de agua y caída de presión
- diámetro y radio del casquillo (“*sprue bushing*”), etc.

Datos de los materiales utilizados:

- nombre del material y sus distribuidores
- densidad específica del fundido
- densidad específica a condiciones ambientales
- densidad granel de la resina
- si es higroscópico, el tiempo y la temperatura de secado
- temperatura de fundido
- perfil de temperaturas del barril sugerido
- temperatura del molde sugerida
- semi-cristalino o amorfo
- presión de inyección plástica sugerida, etc.

Una vez posea todos los datos de su proceso haga el “Moldeo Desde el Escritorio”, efectuando los cálculos de secado, de la prensa, de la unidad de inyección, del enfriamiento, etc.

Por último, determine los parámetros óptimos de moldeo efectuando los procedimientos de **Moldeo Universal™**.

Una vez más recuerde que antes de hacer un laboratorio de **Moldeo UniversalTM**:

- Debe efectuar el “Moldeo Desde el Escritorio”.
- Todo equipo auxiliar debe estar propiamente instalados y operando.
- Las temperaturas ya se alcanzaron, tales como temperatura del agua, perfil de temperatura del barril de inyección y su correspondiente temperatura del fundido, las zonas de calor de la colada caliente (si existen), etc.
- Los ajustes del barril han sido programados, como posición de plastificación y transferencia, descompresión, velocidad de plastificación, etc.
- La punta de la boquilla (“*nozzle tip*”) adecuada fue instalada.
- La fuerza de cierre requerida fue ajustada.
- La apertura de las platinas, sus movimientos, velocidades y la protección del molde fueron cuidadosa y precisamente ajustados.
- El tiempo de enfriamiento extendido fue programado. Recuerde que éste se ajusta más grande de lo requerido. Para evitar que entorpezca la determinación de otros parámetros previamente determinados, éste será optimizado al final.

Importante: Solamente personal cualificado que se ha leído los manuales operacionales de los equipos y entiende la funcionalidad del equipo debe operar y/o hacer ajustes a los mismos.

Laboratorio I – Entienda el Llenado y sus Limitaciones, Determine el Tiempo de Inyección Mínimo y la Presión Límite de Inyección

El objetivo de este laboratorio es entender el comportamiento del llenado, determinando qué tan rápido se puede llenar el molde sin defectos. Aquí se determina la velocidad máxima, se obtiene su correspondiente presión de inyección máxima, y se identifican posibles limitaciones del llenado. Estas limitaciones del llenado podrían ser:

- Degradación o quemaduras del material a consecuencia de exceso de velocidad. Por ejemplo, PVC tiende a quemarse si la velocidad de inyección es alta.

- Problema de ventosas (“vents”), las quemaduras a consecuencia de combustión de gases (“dieseling”). Este defecto podría ser corregido limpiando las ventosas o, en el peor de los casos, reparando o modificando el molde.
- Limitaciones del equipo, como unidad de inyección incapaz de alcanzar altas velocidades de inyección, limitación que podría ser a consecuencia de que la unidad de inyección existente sea inadecuada para el molde, etc.

La idea es identificar con anticipación cualquier defecto o limitación que pueda surgir. Si durante el incremento de velocidad de inyección surge cualquiera de estos, deberá decidir si la modificación es simple o complicada. Si el remedio es simple, hágalo. Ahora si la modificación o el cambio no es viable, o es económicamente insostenible, se verá obligado a efectuar el laboratorio con la condición. Lo ideal sería corregir la situación antes de continuar, desafortunadamente no siempre es posible. Por ejemplo, en el caso de velocidad de inyección limitada, lo ideal sería cambiar a una unidad de inyección apropiada, ahora si es económicamente prohibitivo se verán obligados a trabajar con una velocidad de inyección limitada.

Es importante entender que no todo parámetro programado en el control del equipo puede ser alcanzado; por lo tanto, usted debe asegurarse de que el valor entrado se está logrando.

La velocidad programada podría estar limitada por una unidad de inyección inadecuada, a consecuencia de un % de utilización bajo. Por ejemplo, una utilización de 5% podría no tener el desplazamiento de aceleración requerido por la velocidad entrada. Verifique que siempre la velocidad entrada está siendo alcanzada.

Procedimiento para Determinar el Tiempo de Inyección Mínimo y la Presión Límite de Inyección

- a) Verifique que la posición de transferencia de inyección a empaque fue entrada. ¿Se recuerda cómo? Este procedimiento se explicó en la sección “Cálculos de la Unidad de Inyección”.

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

VIII-2. Tablas para seleccionar la posición de transferencia de inyección a empaque

- b) Apague la etapa de empaque para que no entorpezca la determinación del tiempo de inyección mínimo. Esto podría hacerlo ajustando la presión de empaque a cero. Algunas máquinas de inyección vienen con la etapa de empaque dividida en dos, empaque y sostén (“pack and hold”). Apague una de ellas.
- c) Ajuste la unidad de inyección a que produzca piezas 20% incompletas. Esto es para evitar daños al molde y a la máquina.

$$\text{Posición de plastificación} = \\ \text{posición de transferencia} + 80\% \text{ del desplazamiento de inyección}$$

Notas:

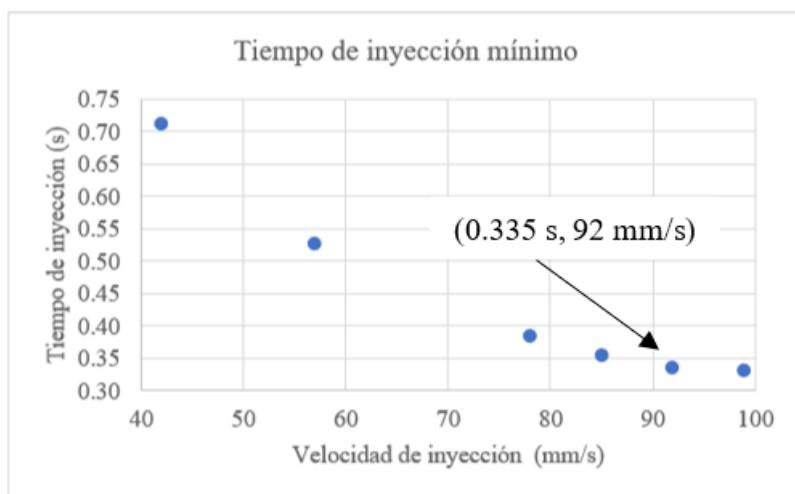
- Es importante mantener un tiempo de enfriamiento mayor del requerido durante la determinación del tiempo de inyección mínimo.
 - Además esté siempre pendiente durante el cierre del molde, para evitar que el molde cierre con piezas atascadas.
 - Apague alarmas que entorpezcan el laboratorio, como lo es el tiempo límite máximo de inyección. Cautela, nunca apague la protección del cierre del molde (“mold protect”).
- d) Encuentre el tiempo de inyección mínimo y la velocidad de inyección máxima con ese molde. La idea es aumentar la velocidad de inyección hasta que el tiempo de inyección deje de disminuir. Un método seguro

y práctico es incrementar la velocidad de inyección y la presión límite de inyección en conjunto, hasta que el tiempo de inyección deje de disminuir. Sea precavido y, aunque sea más fácil, no ajuste la presión límite al máximo. Podría ocasionar una rotura.

Durante el experimento:

- Verifique que las piezas no se queden atascadas en las cavidades. Es probable que tenga que efectuar este paso con el control en semiautomático.
- Si apagó la etapa de empaque ajustando el tiempo de empaque igual a cero, verifique el desmolde. Si las piezas desmoldan muy caliente, increméntele el tiempo de enfriamiento hasta que las piezas desmolden a menor temperatura.

Es recomendable efectuar este experimento con una gráfica de tiempo de inyección contra velocidad de inyección; le ayudará a determinar el tiempo mínimo de inyección. Veamos.



Presión (mPa)	Tiempo Inj. (s)	Vel (mm/s)
-----	-----	7
-----	-----	14
-----	-----	21
-----	-----	28
-----	-----	35
151	0.711	42
-----	-----	50
166	0.526	57
-----	-----	64
-----	-----	71
189	0.384	78
196	0.354	85
204	0.335	92
211	0.330	99

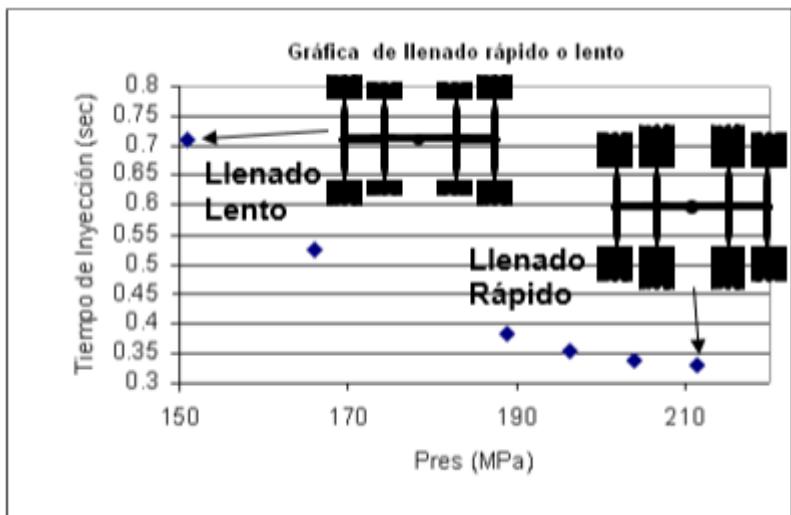
VIII-3. Determinación del tiempo mínimo y la presión máxima de inyección (ejemplo)

La gráfica de tiempo de inyección contra velocidad de inyección ilustra como, a una presión 204 mPa y a 92mm/segundo, el tiempo dejó de disminuir significativamente.

- e) Inspeccione las piezas. Aunque estarán incompletas, asegúrese de obtener piezas libres de defectos por degradación.

Si el defecto requiere de una reparación de molde simple, hágala y repita el ejercicio. Ahora si la reparación no es viable, la velocidad a la que el defecto apareció será su velocidad máxima.

Observación: el llenado de las piezas aumenta con aumento en velocidad de inyección.



VIII-4. Efecto del tiempo de inyección en el llenado de las piezas

Es un efecto normal que en nada afecta el experimento; llenados lentos producen piezas incompletas y llenados rápidos producirán piezas que podrían aparentar estar totalmente llenas. Aun cuando la posición de plastificación se ajustó a un 80% del llenado, piezas más colada, las piezas podrían llenar más del 80% con llenados rápidos.

Recuerden que al final de la inyección, posición de transferencia, quien detiene al tornillo es el plástico en frente de la anilla (“check ring”). El tornillo, al igual que el plástico, continuarán viajando con su propia energía cinética. En otras palabras, el fundido continuará llenando el molde hasta que consuma toda esa energía en forma de velocidad. Es por lo que, a mayor velocidad de inyección mayor es la energía al momento de transferencia y, consecuentemente, mayor será el volumen del llenado.

Continuando con la determinación del tiempo mínimo de inyección.

f) Anote la presión máxima y la velocidad máxima obtenida.

$$V_{max} = \text{velocidad máxima}$$

$$PH_{max} = \text{presión hidráulica máxima}$$

Si está trabajando con parámetros **Universales** sería:

$$F_{max} = \text{flujo máximo}$$
$$PP_{max} = \text{presión plástica máxima}$$

Resumen de los pasos:

- a) Ajuste la posición de transferencia de inyección a empaque.
- b) Apague la etapa de empaque para que no entorpezca la determinación del tiempo de inyección.
- c) Ajuste la unidad de inyección a que produzca piezas 20% incompletas.

$$\begin{aligned}\text{Posición de plastificación} = \\ \text{posición de transferencia} + 80\% \text{ del desplazamiento de inyección}\end{aligned}$$

- d) Encuentre el tiempo de inyección mínimo y la velocidad de inyección máxima con ese molde.
- e) Aunque las piezas estarán incompletas, asegúrese de obtener piezas libres de defectos por degradación.
- f) Anote la presión máxima y la velocidad máxima obtenida.

$$V_{max} = \text{velocidad máxima} \quad o \quad F_{max} = \text{flujo máximo}$$
$$PH_{max} = \text{presión hidráulica máxima} \quad o$$
$$PP_{max} = \text{presión plástica máxima}$$

Notas:

- Desactivar la etapa de empaque ajustando la presión o el tiempo a cero puede ser complicado en algunas máquinas, ya que estas no permiten valores exactamente iguales a cero. Además, algunas máquinas pueden volverse inestables si la presión de empaque se establece en cero. Es importante comprender claramente el control de su máquina o consultar con el fabricante si tiene alguna duda.
- Si surge alguna limitación del equipo o defecto, evalúe la situación, y si la limitación requiere de una modificación o un simple cambio de equipo, hágalo. Ahora si la modificación o el cambio no es viables se verá obligado a efectuar el laboratorio con lo que tiene.
- La velocidad de inyección programada podría no ser alcanzada por la unidad de inyección, asegúrese que la está alcanzando.
- Este laboratorio se efectúa con la etapa de empaque apagada. Podría hacerlo ajustando la presión o el tiempo de empaque igual a cero.

- Con el objetivo de evitar daños al molde y a la máquina, este laboratorio se efectúa ajustando la unidad de inyección a que produzca piezas 20% incompletas.
- El peso de las piezas aumenta con el aumento en velocidad o flujo de inyección.

Laboratorio II – Determinación del Tiempo de Inyección y la Velocidad de Inyección

- a) Ajuste la velocidad o las velocidades de inyección a un 95% de la velocidad máxima V_{max} encontrada y llámela V_{95} .

$$V_{95} = 0.95 \times V_{max}$$

Utilice una sola velocidad de llenado. En capítulos anteriores se explicó que, si las posiciones de plastificación y de transferencia son ajustadas correctamente, la mayoría de los moldes podrán ser llenados con una sola velocidad de inyección. Moldes de familia, con cavidades de distintos volúmenes y distintas geometrías, podrían requerir más de una velocidad. Ahora, la mayoría de los moldes pueden ser llenados con una sola velocidad de inyección. No utilice un perfil de velocidades si no lo necesita.

- b) Ajuste la presión límite igual a P_{max} .
- c) Utilizando la velocidad V_{95} , ajuste la posición de plastificación para que el molde (incluyendo las piezas y la colada) se llene aproximadamente al 95% de su peso total.

A simple vista, las piezas parecerán estar completamente llenas, dado a que los fundidos termoplásticos son compresibles y se expandirán ocupando una gran parte del volumen, aun así, les falta material.

Aun cuando la velocidad se redujo 5%, es posible que se alcance la presión límite ajustada, ya que P_{Max} se logró con un llenado incompleto (alrededor de 80%). Siempre verifique que la presión límite nunca se alcance; manténgala entre un 5% y un 10% por encima de la presión requerida.

Algunos moldes presentan dificultades significativas de llenado. Por ejemplo, en el micromoldeo o en piezas largas y delgadas (valores de

pared fina superiores a 250), es necesario alcanzar un llenado sobre el 95% durante la etapa de inyección. Para lograrlo en esos espacios distantes e incómodos, es crucial que el material fundido tenga la menor viscosidad posible y fluya rápidamente al final del llenado.

Notas:

- No trate de maximizar el llenado durante la etapa de inyección; solo garantice cerca de 95%. Tratar de llegar al máximo puede resultar en problemas de rebaba y rebote del tornillo.
- Asegúrese de producir partes sin rebaba.
- Garantice que la presión durante la inyección se mantenga por lo menos 5% menor a la presión límite ajustada.

d) Sin cambiar la posición de transferencia y continuando con la etapa de empaque apagada (tiempo de empaque = 0 o presión de empaque = 0), haga una tabla de reología a distintas velocidades de inyección.

Recuerde que este laboratorio se puede efectuar:

- Con reología en máquina por potencia o por viscosidad.
- Con reología completa o aproximada.

Nosotros los moldeadores ***Universales*** preferimos y recomendamos la reología por potencia aproximada, ya que las ecuaciones representan los efectos evaluados.

En el encabezado escriba:

- Para parámetros de máquina: velocidad de inyección, tiempo de llenado, presión de transferencia hidráulica y presión de transferencia plástica.
- Para reología por potencia: flujo y potencia.
- Para reología convencional: velocidad cambiante y viscosidad.

Recuerde escribir las unidades correspondientes.

Parámetros de máquina				Reo. Por Potencia		Por Viscosidad	
Vel (mm/s)	T _{iny} (s)	P _{Tran hid} (bar)	P _{Tran plas} (bar)	Flujo (cc/s)	Pot. (bar*cc/s)	V _{camb.} (1/s)	Vis. (bar*s)

VIII-5. Encabezado de la tabla de reología

Con la reología por potencia, utilice las siguientes ecuaciones:

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

$$\text{Volumen de inyección} = \text{área tornillo } (D^2\pi/4) \times \text{desplazamiento de inyección}$$

$$\text{Potencia pico} = \text{flujo de inyección promedio} \times \text{presión al momento de la transferencia}$$

$$\text{Presión plástica} = \text{presión hidráulica} \times \text{razón de intensificación}$$

En el capítulo “Reología en Máquina” se explicó en detalle cada una de estas ecuaciones.

Con la reología por potencia aproximada, efectúe el laboratorio con la primera y última línea. La primera velocidad será igual a un 95% de la velocidad máxima encontrada en el laboratorio anterior ($V_{95} = 0.95 \times V_{max}$).

La segunda y última velocidad será igual a 10% de la velocidad V_{95} .

$$= 0.1 \times V_{95}$$

Vel (mm/s)	T_{iny} (s)	$P_{Tran\ hid}$ (bar)	$P_{Tran\ plas}$ (bar)	Flujo (cc/s)	Pot. (bar*cc/s)
V_{95}					
$0.1V_{95}$					

VIII-6. Tabla de reología aproximada por potencia

Si trabaja con la reología completa, calcule y escriba 10 valores de velocidad en forma descendente, la primera igual a la velocidad V_{95} , y las próximas 9 en decrementos de $0.1 \times V_{95}$.

Reología por potencia					
Vel (in/s)	T_{iny} (s)	$P_{Hidráulica}$ (psi)	$P_{Plástica}$ (psi)	Flujo (in³/s)	Potencia (psi * in³/s)
V_{95}					
$0.9 \times V_{95}$					
$0.8 \times V_{95}$					
$0.7 \times V_{95}$					
$0.6 \times V_{95}$					
$0.5 \times V_{95}$					
$0.4 \times V_{95}$					
$0.3 \times V_{95}$					
$0.2 \times V_{95}$					
$0.1 \times V_{95}$					

VIII-7. Tabla de reología completa por potencia

- e) Sin encender la etapa de empaque y sin cambiar la posición de transferencia, inyecte a las distintas velocidades de inyección tomando las lecturas de:
- Presión hidráulica máxima: Tome la lectura en la posición donde termina la inyección. Si la máquina da lecturas de presión plástica, entonces elimine o deje los espacios de presión hidráulica en blanco.
 - Tiempo de llenado: Tome la lectura del tiempo que toma desde que comienza la inyección hasta la posición de transferencia.

- f) Calcule y llene la tabla con sus correspondientes valores. Recuerde que la presión plástica máxima = $P_{hidráulica} \times R_i$. Si la máquina da la lectura de presión plástica, ignore este cálculo o asuma que $R_i = 1$.

Resumen de los pasos:

- a) Ajuste la velocidad o las velocidades de inyección a un 95% de la velocidad máxima V_{max} encontrada y llámela V_{95} .

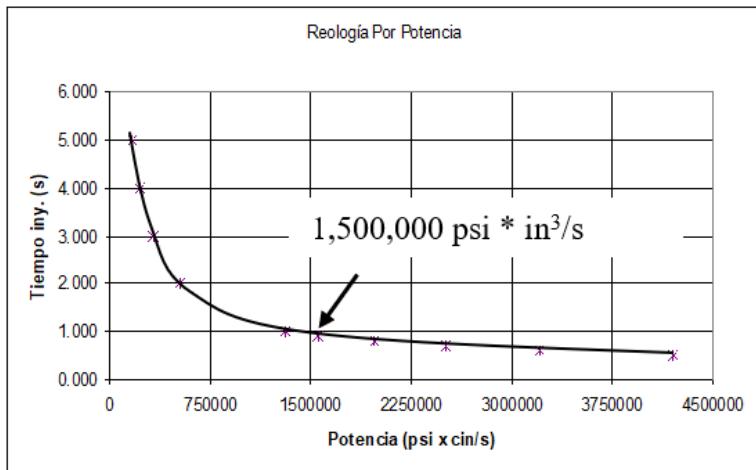
$$V_{95} = 0.95 \times V_{max}$$

- b) Ajuste la presión límite igual a P_{max} .
- c) Con la velocidad V_{95} , ajuste la posición de plastificación para que llene el molde (piezas más colada) cerca de un 95% de su peso total. Garantice que la presión límite ajustada sea por lo menos 5% mayor que la presión de inyección máxima.
- d) Sin cambiar la posición de transferencia y continuando con la etapa de empaque apagada, haga una tabla de reología a distintas velocidades de inyección.
- e) Sin encender la etapa de empaque y sin cambiar la posición de transferencia, inyecte a las distintas velocidades de inyección tomando las lecturas de:
- Presión hidráulica máxima: Tome la lectura en la posición donde termina la inyección. Si la máquina da lecturas de presión plástica, entonces elimine o deje los espacios de presión hidráulica en blanco.
 - Tiempo de llenado: Tome la lectura del tiempo que toma desde que comienza la inyección hasta la posición de transferencia.
- f) Calcule y llene la tabla con sus correspondientes valores. Recuerde que la presión plástica máxima = $P_{hidráulica} \times R_i$. Si la máquina da la lectura de presión plástica, ignore este cálculo o asuma que $R_i = 1$.

Laboratorio III – Gráfica de Reología y Determinación del Tiempo y Velocidad de Inyección Ideal

Utilizando la tabla de reología ya completada, haga la gráfica de reología. Si trabaja con reología por potencia, su tabla reológica se vería algo así:

Reología por Potencia, $R_i = 6.41$, Vol = 273 in ³					
Vel. (in/s)	T_{iny} (s)	$P_{Hidráulica}$ (psi)	$P_{Plástica}$ (psi)	Flujo (in ³ /s)	Potencia (psi * in ³ /s)
3.2	0.50	1200	7692	546	4199832
2.9	0.60	1100	7051	455	3208205
2.6	0.70	1000	6410	390	2499900
2.3	0.80	900	5769	341	1968671
1.9	0.90	800	5128	303	1555493
1.6	1.00	750	4808	273	1312448
1.3	2.00	600	3846	137	524979
1.0	3.00	550	3526	91	320821
0.6	4.00	500	3205	68	218741
0.3	5.00	461	2955	55	161344



VIII-8. Ejemplo de tabla y gráfica de reología completa por potencia

De acuerdo con esta gráfica, la potencia deja de contribuir significativamente al tiempo de inyección después de una potencia mayor de 1,500,000 psi * pulg³/s.

Laboratorio IV – Gráfica Aproximada

Según se explicó en el capítulo anterior, el desarrollo de un laboratorio de reología en una máquina de inyección consume tiempo y recursos. Con la reología aproximada, una técnica matemática de predicción, el laboratorio se efectúa en menos de una 3ra parte del tiempo.

En el ejemplo anterior, se obtuvo las lecturas del tiempo de inyección y la presión al momento de la transferencia con las velocidades V_{95} y 10% de V_{95} . Si se trabaja con reología por potencia, notará que existe una relación relativamente lineal entre flujo promedio de inyección y la potencia pico de inyección. Utilizando la ecuación de la línea, $Y = Y_o + MX$, donde Y es la potencia pico, Y_o es el intercepto en la ordenada de la potencia pico, M es la pendiente, y X es el flujo promedio.

El valor de estas constantes las puede encontrar con simple matemática o con Excel.

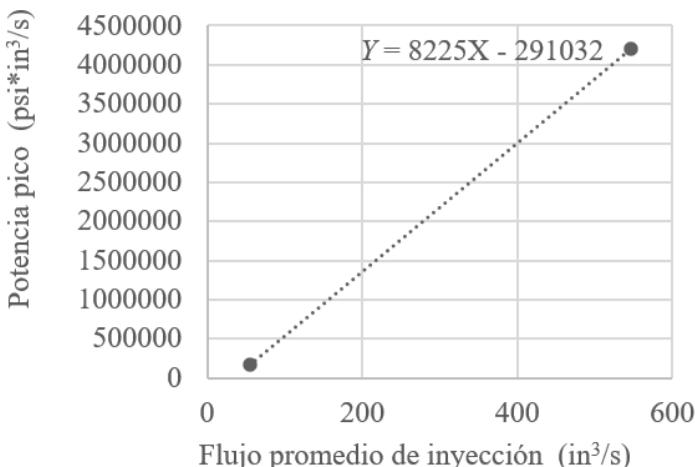
Utilizando los valores de la velocidad más rápida y la velocidad más lenta del ejemplo anterior, obtenemos:

Reología por Potencia, $R_i = 6.41$, Vol = 273 in ³					
Vel (in/s)	T_{iny} (s)	$P_{Hidráulica}$ (psi)	$P_{Plástica}$ (psi)	Flujo (in ³ /s)	Potencia (psi * in ³ /s)
3.2	0.50	1200	7692	546	4199832
0.3	5.00	461	2955	55	161344

VIII-9. Ejemplo de tabla de reología aproximada por potencia

Con la herramienta de Gráficas en Excel encontramos la ecuación lineal entre los puntos máximo y mínimo.

Efecto lineal entre Potencia Pico y Flujo Promedio



VIII-10. Gráfica con ecuación lineal entre potencia pico y flujo promedio de inyección

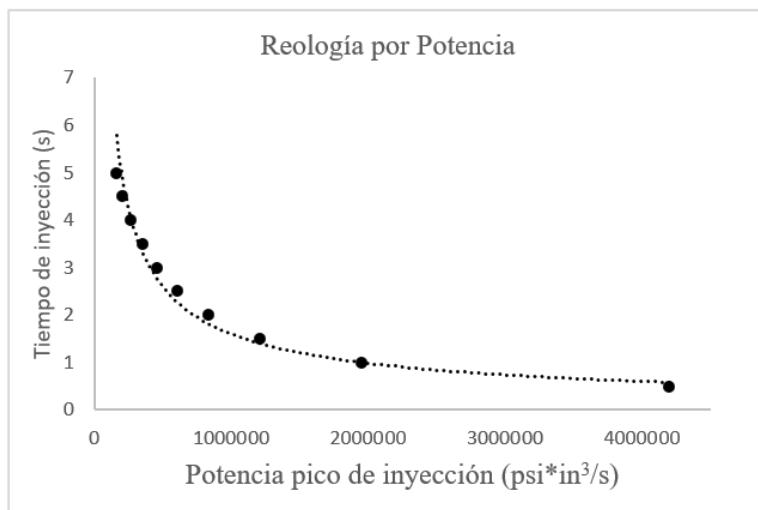
$$\text{Potencia pico} = (8225 \times \text{flujo promedio}) - 291032$$

Sabiendo que el volumen de inyección requerido es 273 pulg³ y utilizando la ecuación del flujo promedio (volumen requerido/tiempo de inyección), obtenemos:

$$\text{Flujo promedio} = 273 \text{ pulg}^3 / \text{tiempo de inyección}$$

Con estas dos ecuaciones ya se puede aproximar los valores intermedios de la gráfica. Con diez tiempos de inyección equidistantes, entre los tiempos mínimo y máximo de inyección, calculamos sus correspondientes flujos promedio y potencias pico de inyección.

T_{iny} (s)	Flujo (in ³ /s)	Potencia (psi * in ³ /s)
0.5	546.0	4199832
1	273.0	1954393
1.5	182.0	1205918
2	136.5	831681
2.5	109.2	607138
3	91.0	457443
3.5	78.0	350518
4	68.3	270324
4.5	60.7	207951
5	55	161344



VIII-11. Tabla y gráfica de reología completa y aproximada por potencia

Laboratorio V – Predicción del Tiempo de Inyección

En el capítulo de reología en máquina se estableció que el tiempo de inyección ideal dependerá del tipo de industria.

Industrias de moldeo convencional, donde se encuentra gran parte de la industria:

$$T_{intermedio} = T_{min} + (T_{max} - T_{min}) / 18$$

Industrias que moldean materiales sensitivos, como la de PVC rígido:

$$T_{mat. sensitivo} = T_{min} + (T_{max} - T_{min}) / 12$$

Industrias de alto volumen de inyección, como la de tapas y el micromoldeo:

$$T_{rápido} = T_{min} + (T_{max} - T_{min}) / 36$$

Además, se definió el T_{meseta} como tiempo en donde la contribución de la potencia al tiempo de inyección comienza a ser insignificante.

$$T_{meseta} = T_{min} + (T_{max} - T_{min}) / 9$$

Donde:

T_{min} = tiempo de inyección correspondiente a la velocidad máxima de inyección

T_{max} = tiempo de inyección correspondiente a la velocidad mínima de inyección

Utilizando el ejemplo anterior obtenemos que T_{min} , es 0.5 segundos, que corresponde a la velocidad de 3.2 in/s (V_{95}) y T_{max} es 5.0 segundos, que corresponde a la velocidad de 0.3 in/s (10% de V_{95}).

Reología por Potencia, $R_i = 6.41$, Vol = 273 in ³					
Vel (in/s)	T_{iny} (s)	$P_{Hidráulica}$ (psi)	$P_{Plástica}$ (psi)	Flujo (in ³ /s)	Potencia (psi * in ³ /s)
3.2	0.50	1200	7692	546	4199832
0.3	5.00	461	2955	55	161344

VIII-12. Tabla de reología por potencia aproximada

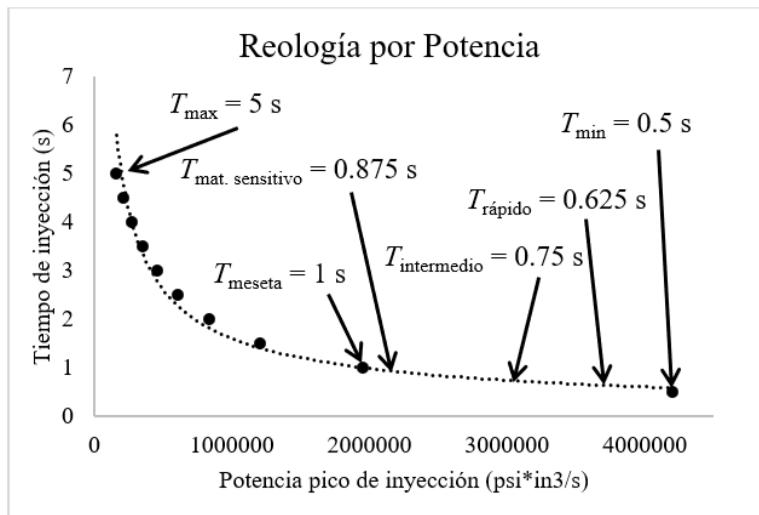
- a) Despues de identificar el tipo de industria, seleccione la ecuación correspondiente, sustituya los valores de T_{min} y T_{max} y determine el tiempo de inyección ideal.

$$\begin{aligned} T_{intermedio} &= T_{min} + (T_{max} - T_{min}) / 18 \\ &= 0.5s + (5s - 0.5s) / 18 = 0.75 \text{ segundos} \end{aligned}$$

$$T_{mat. sensitivo} = T_{min} + (T_{max} - T_{min}) / 12 \\ = 0.5s + (5s - 0.5s) / 12 = 0.875 \text{ segundos}$$

$$T_{rápido} = T_{min} + (T_{max} - T_{min}) / 36 \\ = 0.5s + (5s - 0.5s) / 36 = 0.625 \text{ segundos}$$

$$T_{meseta} = T_{min} + (T_{max} - T_{min}) / 9 \\ = 0.5s + (5s - 0.5s) / 9 = 1.0 \text{ segundos}$$



VIII-13. Gráfica de reología indicando tiempos de inyección por industria

Estas ecuaciones ayudan a estandarizar la selección del tiempo de inyección, aun así, son una referencia.

c) Determine la velocidad de inyección ideal.

Una vez haya determinado el tiempo de inyección, encuentre la velocidad de inyección correspondiente. Esto lo hace ajustando la velocidad de inyección hasta aproximadamente igualar el tiempo de inyección ideal encontrado.

Con la velocidad ideal encontrada, verifique que el molde (piezas más colada) llena **cerca de un 95%** de su peso o su volumen total. De no ser así, reajuste la posición de plastificación hasta que ambos, el tiempo de

inyección ideal y un llenado cerca de un 95%, se consigan. Tenga en cuenta que una vez que se optimice la etapa de empaque, la posición final podría acercarse a cero si el volumen de inyección es muy inferior al 95%.

Recuerde que no todo molde se puede llenar cerca de un 95%, algunos por condición de diseño y otros porque necesitan ser reparados. Por ejemplo, en los moldes con dificultades de llenado, como en el micromoldeo o en piezas largas y delgadas, es necesario alcanzar un llenado sobre el 95% durante la etapa de inyección. Para lograr esos espacios distantes e incómodos, es crucial que el material fundido tenga la menor viscosidad posible y fluya rápidamente al final del llenado.

La velocidad de inyección podría ocasionar defectos. Hay varios escenarios:

- Quemaduras al final del llenado - es probable que las ventosas estén tapadas o defectuosas.
- Quemaduras alrededor de orillas o esquinas - podrían ser a consecuencia de un filo o rebaba de metal en el molde.
- Quemadura en forma de vetas que se extienden a lo largo del llenado, o desde el bebedero - es probable que el material se esté degradando por fricción, etc.

Consulte al departamento de mantenimiento de moldes y es probable que le recomiende algún tipo de mantenimiento o reparación. Haga lo recomendado y vuelva a llenar el molde a la velocidad de inyección determinada.

Desafortunadamente no todo material, molde, y equipo de moldeo están en su mejor condición de diseño. Lo que es peor, por la razón que sea, es verse obligado a moldear con esas deficiencias.

En el evento de no poder hacer la reología a consecuencia de limitaciones del material (ej. degradación) o limitación de equipo (ej. incapacidad de inyección rápida) y se tenga que moldear piezas bajo esas condiciones, siga este simple procedimiento:

- Inyecte incrementando la velocidad hasta que alcance la limitación específica.

- Luego redúzcale 5% a la velocidad máxima encontrada e inyecte con esta nueva velocidad, y si el defecto desaparece esta será su velocidad o tiempo de inyección.

d) Anote los valores encontrados de:

- tiempo de inyección
- velocidad de inyección y flujo de inyección correspondiente
- posición de transferencia y volumen de transferencia correspondiente
- presión límite plástica y la presión límite hidráulica (si aplica)
- posición de plastificación y volumen de plastificación correspondiente

Resumen de los pasos:

- a) Utilizando la tabla de reología ya completada, haga la gráfica de reología.
- b) Seleccione el tiempo de inyección ideal para su aplicación.
- c) Determine la velocidad de inyección ideal que corresponde al tiempo de inyección encontrado.
- d) Anote los valores encontrados de:
 - tiempo de inyección
 - flujo de inyección correspondiente
 - volumen de transferencia correspondiente
 - presión límite plástica
 - volumen de plastificación correspondiente

Notas:

- No trate de maximizar el llenado, solo garantice algo cerca de un 95%. Tratar de llegar al máximo puede resultar en problemas con rebaba.
- Asegúrese de producir partes sin rebaba.
- Garantice que la presión durante la inyección se mantenga por lo menos 5% menor a la presión límite ajustada.
- Existe una relación relativamente lineal entre el flujo de inyección y la potencia pico.
- Recuerde que está trabajando con equipos costosos, no apresure el trabajo, siga las reglas de seguridad establecidas por su fábrica y las agencias gubernamentales.

Preguntas

- 1) Durante un laboratorio de **Moldeo UniversalTM**, ¿qué se hace si alguna limitación del equipo o defecto aparece, como velocidad de inyección limitada?
 - a. Si la limitación requiere de una modificación o un simple cambio de equipo, hágalo. Si la modificación o el cambio no es viable, o es económicamente insostenible, se verá obligado a efectuar el laboratorio con lo que tiene.
 - b. Si la limitación requiere de una modificación, hágala. El laboratorio se debe efectuar con condiciones ideales.
- 2) Toda velocidad de inyección programada, lenta o rápida, es siempre alcanzada por la unidad de inyección.
 - a. Cierto.
 - b. Falso, la velocidad programada podría estar limitada por una unidad de inyección inadecuada.
- 3) Durante la determinación de la velocidad de inyección, el empaque se ajusta a una presión promedio.
 - a. Cierto, el empaque se utiliza durante la determinación del tiempo de inyección.
 - b. Falso, el empaque se apaga para que no entorpezca la determinación de la velocidad de inyección.
- 4) Durante la determinación del tiempo mínimo de inyección, la unidad de inyección se ajusta a que produzca piezas 20% incompletas.
 - a. Cierto, esto es para evitar daños al molde, a la máquina, o a ambos.
 - b. Falso, es necesario llenar el volumen total.
- 5) Con el llenado de piezas incompletas, por ejemplo 80%, notará que el peso de las piezas disminuye con aumento en la velocidad de inyección.
 - a. Cierto.
 - b. Falso, el peso de las piezas aumenta con aumento en velocidad de inyección.
- 6) Seleccione todas las correctas:
 - a. La velocidad más rápida utilizada en la tabla de reología es 95% de la velocidad máxima (V_{max}) encontrada durante la determinación del tiempo de inyección mínimo.

- b. La tabla de reología se efectúa inyectando a distintas velocidades y todas con un llenado incompleto de un 80%.
 - c. Garantice que la presión durante la inyección se mantenga por lo menos 5% menor a la presión límite ajustada.
- 7) Seleccione la correcta:
- a. La gráfica de reología por potencia tiene coordenadas de viscosidad contra velocidad cambiante.
 - b. La gráfica de reología por potencia tiene coordenadas de tiempo de inyección contra potencia pico.
 - c. La gráfica de reología convencional tiene coordenadas de flujo de llenado contra potencia pico.
- 8) Seleccione todas las correctas:
- a. Existe una relación relativamente lineal entre la viscosidad y el flujo de inyección.
 - b. Existe una relación relativamente lineal entre flujo de inyección y potencia.
 - c. Con la reología por potencia aproximada se utiliza la ecuación de la línea, $Y = Y_o + MX$, donde Y es el flujo, Y_o es el intercepto en la coordenada de flujo de inyección, M es la pendiente y X es la potencia pico de inyección.
- 9) Materiales sensitivos a la velocidad de inyección como el PVC rígido se seleccionaría un tiempo de inyección:
- a. entre T_{meseta} y T_{min} .
 - b. cerca de T_{min} .
 - c. cerca de T_{meseta} .
- 10) Una vez haya determinado el tiempo de inyección ideal, encuentre la velocidad de inyección correspondiente.
- a. Además, verifique que el molde (piezas más colada) llena cerca de un 80% de su peso total.
 - b. Hasta esta parte del laboratorio el empaque continúa apagado.
 - c. Garantice que la presión durante la inyección se mantenga por lo menos 5% menor a la presión límite ajustada.
 - d. Todas las anteriores están correctas.

IX. Verificación del Balance del Llenado

- **Efecto del Tiempo de Inyección en el Balance del Llenado**
- **Laboratorio - Balanceo del Llenado**
- **Desbalance Termal**
- **Desbalance en Moldes con Coladas Frías**

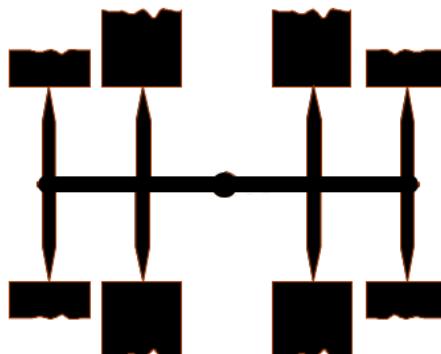
Una vez más, recuerde que antes de continuar con este laboratorio de **Moldeo Universal™**:

- Los equipos auxiliares están propiamente instalados y operando.
- Las temperaturas continúan propiamente ajustadas.
- Los ajustes del barril continúan propiamente programados.
- La fuerza de cierre continúa propiamente ajustada.
- La apertura de las platinas, sus movimientos, velocidades, y la protección del molde continúan propiamente ajustadas.
- El tiempo de enfriamiento es más grande de lo requerido, evitando que entorpezca la determinación de otros parámetros.
- La velocidad de inyección ideal ha sido determinada, ajustada y se está llenando alrededor de un 95% del llenado requerido por el molde.
- La presión límite de inyección ha sido determinada y ajustada.
- La etapa de empaque continúa apagada.

Importante, solamente personal cualificado que se han leído los manuales operacionales de los equipos y entienden la funcionalidad del equipo debe operar y/o hacer ajustes a los mismos.

Moldes con múltiples cavidades aumentan la productividad, ahora, su fabricación al igual que la operación se complica; el paso del fundido requiere ser balanceado y su enfriamiento es más elaborado.

Imagine un molde de múltiples cavidades con tiempos de llenado distintos por cavidad, o unas cavidades que se llenan antes que otras.

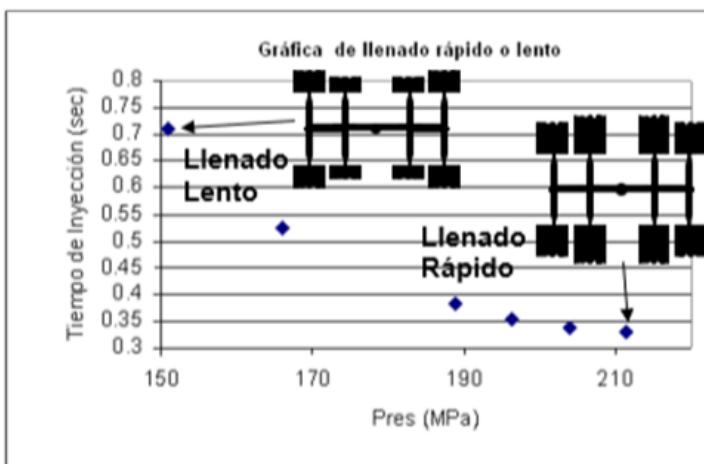


IX-1. Molde de múltiples cavidades con llenado desbalanceado

Esta situación rompe el objetivo de mantener flujo y viscosidad constante por cavidad; es como aceptar el moldeo de piezas distintas por cavidad.

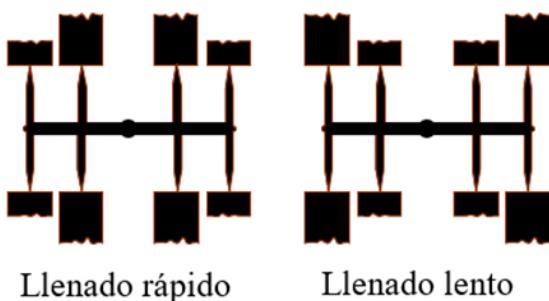
Efecto del Tiempo de Inyección en el Balance del Llenado

En el capítulo “Determinación de la Velocidad de Inyección” se mencionaron los múltiples efectos del tiempo de inyección en el llenado. En la etapa de inyección, el volumen de fundido en las piezas aumenta con el aumento en velocidad de inyección. Fíjese en la ilustración.



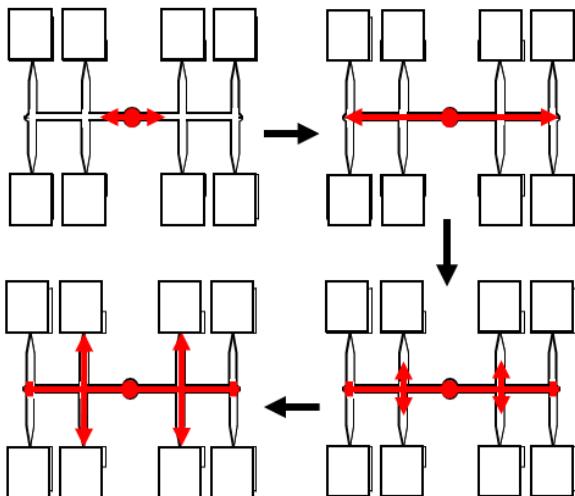
IX-2. Gráfica del efecto de la velocidad de inyección en el llenado de piezas incompletas

Además, se observará que con llenados lentos se llenarán las cavidades interiores antes que las exteriores.



IX-3. Llenado rápido y lento

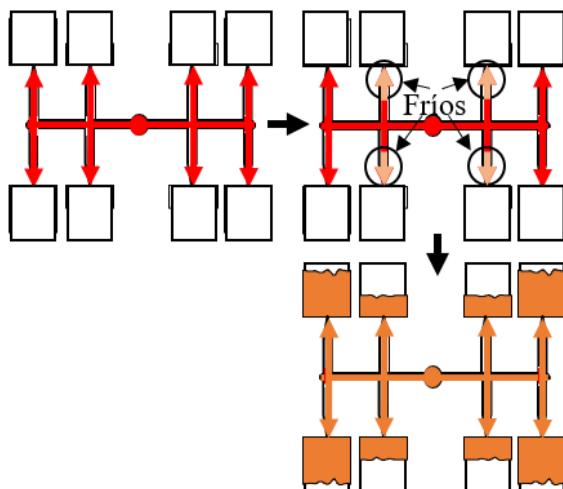
Veamos porqué; durante el inicio del llenado, el flujo se divide en ambos lados del bebedero (“sprue”). El flujo preferirá siempre el paso de menor restricción, por esto elegirá continuar en línea recta y no virar en las intersecciones donde se ramifica la colada. Una vez llega al final del ramal y el flujo se vea obligado a virar, preferirá llenar la ramificación anterior, ya que la presión del fundido en la intersección anterior será mayor.



IX-4. Ejemplo de secuencia del llenado de coladas

Ahora, una vez llega el fundido a los bebederos (“gates”) interiores se encontrará con la restricción de los pequeños orificios. Entonces, el flujo preferirá continuar llenando al final de la colada, ya que la dificultad será menor, hasta que se encuentra con la misma dificultad, la restricción de los pequeños bebederos del exterior.

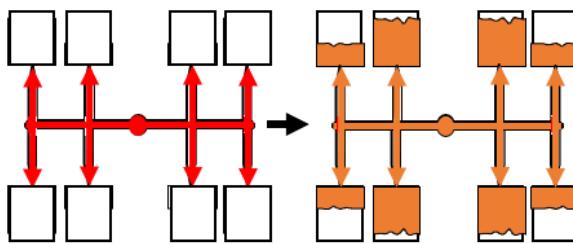
Asumamos que el llenado es lento. El fundido en estos bebederos exteriores está aún caliente y con menor viscosidad que los bebederos interiores, ya que llevan sentados en el metal frío por mayor tiempo.



IX-5. Ejemplo de llenado lento

Consecuentemente, llenará las cavidades exteriores primero. Durante la inyección, el fundido en contacto con el metal frío es el primero en endurecerse, y el grueso de esta capa endurecida dependerá del tiempo que esté en contacto con el metal frío. Cuando la inyección es lenta, la capa endurecida es más gruesa y, por consecuencia, el paso al flujo es más estrecho.

Ahora hagamos el mismo ejercicio, pero esta vez hágalo asumiendo que el llenado es rápido. Inicialmente el llenado de la colada será igual. La diferencia está en que el tiempo que esperó el fundido sentado, en esos primeros bebederos, será menor.



IX-6. Ejemplo de llenado rápido

Consecuentemente su viscosidad continuará estando baja y el fundido preferirá llenar las cavidades interiores ya que la presión requerida será menor.

El tiempo de inyección tiene mucho que ver con el balance de flujos, y es por esto que se debe haber determinado y ajustado la velocidad de inyección antes de hacer un estudio de balance de flujos.

Otras situaciones ocasionadas por el desbalance:

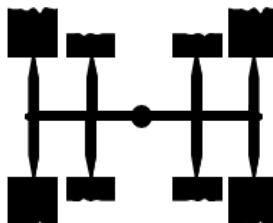
1. Atasco o dificultad en la extracción:
 - Algunas cavidades pueden hacer que las piezas se queden atascadas o presenten dificultades al extraer. Estas cavidades probablemente se llenen primero.
 - Por otro lado, las piezas que se desprenden por sí solas (con un esfuerzo mínimo o ninguno de los expulsores) son probablemente las últimas en llenarse.
2. Formación de rebaba (flash):
 - Las cavidades que con frecuencia muestran rebaba son, con alta probabilidad, las primeras en llenarse.
3. Mayor peso en las piezas:
 - Las piezas que revelan un mayor peso también tienen probabilidad de llenarse primero.

Es esencial entender estos escenarios, ya que pueden afectar el proceso de moldeo en general.

Laboratorio - Balanceo del Llenado

En esta sección se presentará el procedimiento de verificar el desbalance del flujo:

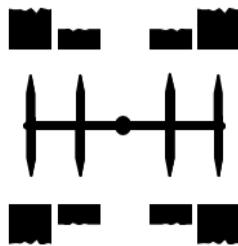
1. Ajuste la unidad de inyección a que produzca piezas incompletas y asegúrese de que el empaque continúa apagado.



IX-7. Ejemplo de llenado incompleto

Este experimento se efectúa con llenados incompletos de manera que podamos evaluar el llenado individual de cada cavidad. Si más de una cavidad completa el llenado de inyección imposibilitará la determinación de dificultad de llenado entre esas cavidades. Trate un 80% del llenado, luego verifique que cada cavidad esté incompleta, de no ser así reduzca aún más el volumen de plastificación y verifique nuevamente.

2. En el caso de que las piezas estén adjuntas a la colada, sepárelas.



IX-8. Piezas separadas de la colada

3. Pese las piezas por separado e identifíquelas con W_i ($i = 1$ a # de cavidades). Sume todos los pesos W_i y llámelo W_T .

$$W_T = \sum_{\# \text{ cav.}}^1 W_i$$

4. Determine la desviación del volumen, Vd_i , por cada cavidad.

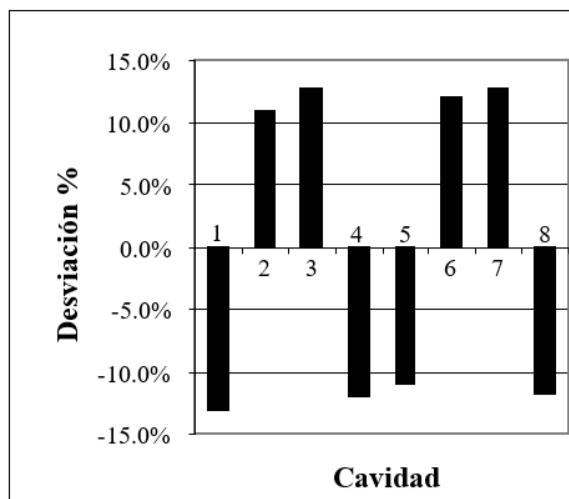
$$Vd_i = \left[\frac{W_i}{(W_T / \# \text{ cavities})} - 1 \right] 100\%, \quad i = 1 \text{ a } \# \text{ of cavidades}$$

Si el porcentaje determinado es cero, el flujo es ideal; si es positivo, el flujo está por encima de lo ideal; si es negativo, está por debajo de lo ideal. Por lo regular se busca mantener este porcentaje dentro de $\pm 10\%$. Verifique con su empresa cuál sería el porcentaje de desviación permitido. Ejemplo:

Cavidad	Muestra 1	Muestra 2	Promedio	Desviación
1	3.42	3.42	3.42	-13.1%
2	4.36	4.37	4.365	10.9%
3	4.42	4.44	4.43	12.5%
4	3.46	3.47	3.465	-12.0%
5	3.5	3.5	3.5	-11.1%
6	4.4	4.41	4.405	11.9%
7	4.43	4.44	4.435	12.7%
8	3.47	3.47	3.47	-11.8%

IX-9. Tabla con pesos de cavidades incompletas y sus correspondientes desviaciones del llenado

La data muestra una desviación negativa en las cavidades 1, 4, 5, y 8 indicando que son las últimas en llenarse, y una desviación positiva para las cavidades 2, 3, 6, y 7 indicando que son las primeras que se llenan. Observe la gráfica de columnas con los resultados.



IX-10. Gráfica de columnas con el % de desviación del llenado por cavidad

Desbalance Termal

Es bueno tener y conocer los diagramas de flujos de agua de enfriamiento del molde. Cavidades más frías tienden a endurecer el plástico más rápido y, por consecuencia, hacen que el fundido sea más viscoso.

Algunas compañías utilizan sistemas infrarrojos para determinar la distribución térmica del molde. Recuerden que las temperaturas del metal, del plástico, y del agua por lo regular son distintas. Aun así, están relacionadas.

En el caso de coladas calientes (“*hot runners*”) se puede compensar el flujo por zona, cambiando la temperatura en las puntas calientes (“*hot drops*”) del sistema de coladas.

Por ejemplo:

- En el caso donde Vd_i es negativa, la temperatura de esa punta caliente debe ser aumentada. Cuidado, evite sobrecalentar el plástico en las puntas.
- En el caso opuesto donde el valor Vd_i es positivo, la temperatura de la punta caliente debe ser bajada. Cuidado, evite solidificar plástico en las puntas.

Es crucial comprender que al modificar el flujo en una zona, las demás también se verán afectadas. Por esta razón, se recomienda realizar un cambio a la vez e inyectar nuevas piezas. Además, considere comenzar enfriando las zonas de las cavidades que se llenan primero, lo que le proporcionará resultados más rápidos.

Es importante entender que una vez que se cambia el flujo de una zona, las otras zonas se verán afectadas. Por lo tanto, se recomienda hacer un cambio a la vez e inyectar nuevas partes incompletas.

Este procedimiento funciona con sistemas de coladas calientes con válvulas en los bebederos (“*gate valves*”). Asegúrese de que las válvulas se mantengan abiertas durante la etapa de inyección.

Cuando el desbalance es tal que no se puede corregir térmicamente, la corrección es del herramiental.

Desbalance en Moldes con Coladas Frías

En el caso de coladas frías la corrección no es tan simple. El desbalance podría ser a consecuencia de flujo y temperatura del agua por cavidad, podría ser que los conductos de agua están sucios, o podría ser un problema de diseño de molde.

Por ejemplo:

- Cavidades con el valor Vd_i positivo podrían estar recibiendo menos enfriamiento. Posiblemente hay una obstrucción en los conductos de agua.
- Cavidades con el valor Vd_i negativo podrían estar recibiendo mayor remoción de calor. Podría ser que los conductos de agua estén mal conectados.

Coladas que distribuyen el fundido a las cavidades con Vd_i negativo podrían ser agrandadas para facilitar el paso a estas cavidades. ¡Importante!, esta práctica debe ser únicamente desempeñada por técnicos herramientistas experimentados y conocedores de las técnicas.

Preguntas

- 1) Antes de verificar el balance del llenado,
 - a. se ajusta la velocidad de inyección igual a V_{95} , plastificación se ajusta a un llenado completo del molde, y el empaque se ajusta a una presión mínima.
 - b. la velocidad se ajusta a un 80% del requerido, la presión límite ha sido determinada y ajustada, y el empaque se ajusta a una presión promedio.
 - c. la velocidad de inyección ideal y la presión límite de inyección han sido determinadas y ajustadas y la etapa de empaque continúa apagada.
- 2) Escoja la correcta:
 - a. La verificación del balance del llenado se efectúa con un llenado algo mayor de un 95% del molde.
 - b. La verificación del balance del llenado se efectúa con un llenado incompleto, por ejemplo un 20% incompleto.
 - c. La verificación del balance del llenado se efectúa después de haber ajustado una posición de transferencia a empaque mínima.
- 3) El tiempo de inyección tiene mucho que ver con el balance de flujos y es por esto que se debe haber determinado y ajustado la velocidad de inyección antes de hacer un estudio de balance de flujos.
 - a. Cierto
 - b. Falso
- 4) En un análisis de balance de flujos, si el porcentaje determinado por medio de la ecuación de desviación de volumen es cero, el flujo es ideal.

$$(Vd_i = \left[\frac{W_i}{\left(W_T / \# \text{cavidades} \right)} - 1 \right] 100\% , i = 1 \text{ a } \# \text{ de cavidades})$$

- a. Cierto
- b. Falso

- 5) En un análisis de balance de flujos, si el porcentaje determinado por medio de la ecuación de desviación de volumen es
- positivo, el flujo está por encima de lo ideal.
 - negativo, el flujo está por debajo de lo ideal.
 - cero, el flujo es ideal.
 - todas las anteriores.
- 6) En un análisis de balance de flujos, se obtuvo:

Cavidad	Muestra 1	Muestra 2	Promedio	Desviación
1	3.42	3.42	3.42	-13.1%
2	4.36	4.37	4.365	10.9%
3	4.43	4.44	4.435	12.7%
4	3.47	3.47	3.47	-11.8%

- El resultado muestra una desviación negativa en las cavidades 1 y 4, indicando que son las primeras en llenarse.
 - El resultado muestra una desviación positiva en las cavidades 2 y 3, indicando que son las primeras en llenarse.
- 7) En un análisis de balance de flujos con coladas calientes (“hot runners”):
- Se puede compensar el flujo por zona cambiando la temperatura en las puntas calientes (“hot drops”) del sistema de coladas.
 - En el caso donde la desviación del volumen sea negativa, la temperatura de la punta caliente de esa cavidad debe ser disminuida.
 - En el caso donde la desviación es positiva, la temperatura de la punta caliente de esa cavidad debe ser aumentada.
- 8) Corregir el balance de flujos en moldes con coladas frías no es tan simple, ya que controlar el flujo de agua y sus temperaturas podría ser un problema de diseño de molde.
- Coladas y bebederos que distribuyen el fundido a las cavidades con una desviación de volumen positivo deben ser agrandadas para facilitar el paso a estas cavidades.
 - Coladas que distribuyen el fundido a las cavidades con una desviación de volumen negativo podrían requerir ser agrandadas para facilitar el paso a estas cavidades; únicamente efectuado por técnicos herramientistas experimentados y conocedores de las técnicas.

X. Determinación de Parámetros en la Etapa de Empaque

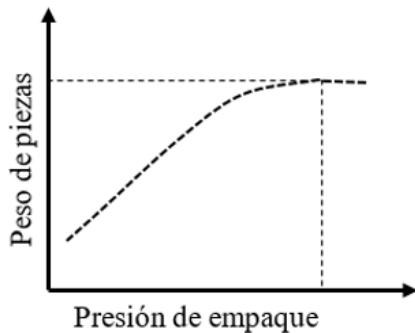
- **Laboratorio I - Determinación de la Presión de Empaque**
- **Laboratorio II - Determinación del Tiempo de Empaque**
- **Empaque de Moldes con Colada Caliente y Válvulas en los Bebederos**

Una vez más, recuerde que antes de continuar con estos laboratorios de **Moldeo UniversalTM**:

- Los equipos auxiliares están propiamente instalados y operando.
- Las temperaturas continúan propiamente ajustadas.
- Los ajustes del barril continúan propiamente programados.
- La fuerza de cierre continúa propiamente ajustada.
- La apertura de las platinas, sus movimientos, velocidades, y la protección del molde continúan propiamente ajustadas.
- El tiempo de enfriamiento es más grande de lo requerido, evitando que entorpezca la determinación de otros parámetros.
- La velocidad de inyección ideal ha sido determinada, ajustada y se está llenando alrededor de un 95% del llenado requerido por el molde.
- La presión límite de inyección ha sido determinada y ajustada.
- La etapa de empaque continúa apagada.
- Ha verificado y corregido el balance del llenado.

Importante -- solamente personal cualificado que se han leído los manuales operacionales de los equipos y entienden la funcionalidad del equipo debe operar y/o hacer ajustes a los mismos.

La presión de empaque se determina, aumentando la presión de empaque hidráulica o del fundido, hasta que las cavidades estén completamente llenas o al peso deseado.



X-1. Gráfica del efecto de la presión de empaque en el peso de las partes

Notas:

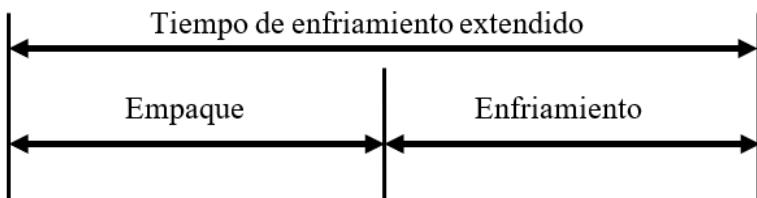
En este laboratorio, solo se pesan las piezas sin coladas.

Existen piezas que no pueden ser pesadas, como el sobre moldeo de terminales con cables largos y piezas que se deben desmoldar junto con la colada. En caso de que no sea posible pesar las piezas, considera lo siguiente:

- Alguna dimensión, como el grosor de alguna pared en una o múltiples cavidades. Si la presión de empaque aumenta, el grosor de esa pared también aumentará.
- La posición del colchón o la posición mínima del tornillo después del empaque. Si la presión de empaque aumenta, el colchón se reducirá.

Laboratorio I - Determinación de la Presión de Empaque

1. Ajuste el tiempo de empaque a un valor mayor al requerido. Por ejemplo, considere la mitad del tiempo de enfriamiento extendido que ha utilizado en los laboratorios anteriores. El objetivo es garantizar endurecimiento de bebederos (“*gate freeze*”), más adelante se optimiza el tiempo de empaque.
2. Anote un tiempo de enfriamiento igual a la diferencia entre tiempo de enfriamiento extendido y tiempo de empaque. Note que la suma entre el tiempo de empaque y el tiempo de enfriamiento será igual a tiempo de enfriamiento extendido.



X-2. Tiempo de enfriamiento extendido

Por ejemplo, en un laboratorio donde el tiempo de enfriamiento extendido es igual a 12 segundos, para garantizar endurecimiento de bebederos se consideró utilizar la mitad del tiempo de enfriamiento extendido.

Resultado:

$$\begin{aligned}\text{Tiempo de empaque} &= 6 \text{ segundos} \\ \text{Tiempo de enfriamiento} &= 6 \text{ segundos}\end{aligned}$$

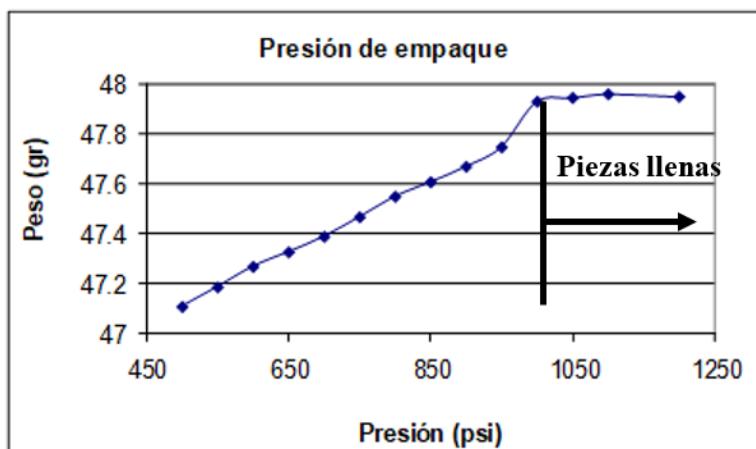
Importante, siempre garantice que el tiempo de enfriamiento sea mayor que el tiempo de plastificación. Se explicó en capítulos anteriores que, cuando expira el tiempo de enfriamiento, el permiso de abrir el molde será únicamente permitido si la plastificación terminó. En otras palabras, el molde se quedará cerrado hasta que se complete la plastificación, sin importar que expire el tiempo de enfriamiento. Consecuentemente el tiempo de enfriamiento se extenderá y, dependiendo de la inyectora, es posible que usted no se entere.

3. Haga un estudio de peso de piezas a distintas presiones de empaque. Inicie el experimento con una presión menor de la requerida. Por ejemplo, comience con un 10% de la presión de inyección adquirida al momento de la transferencia; luego incremente la presión hasta que consiga piezas completamente llenas o al peso deseado. Tome dos o tres muestras por presión y promedie el peso total de las partes. Tabule la data y grafique el peso de partes contra la presión de empaque. Solo pese las partes moldeadas sin la colada.

Presión (psi)	Peso promedio (gr)
500	47.11
550	47.19
600	47.27
650	47.33
700	47.39
750	47.47
800	47.55
850	47.61
900	47.67
950	47.75
1000	47.93
1050	47.95
1100	47.96
1200	47.95

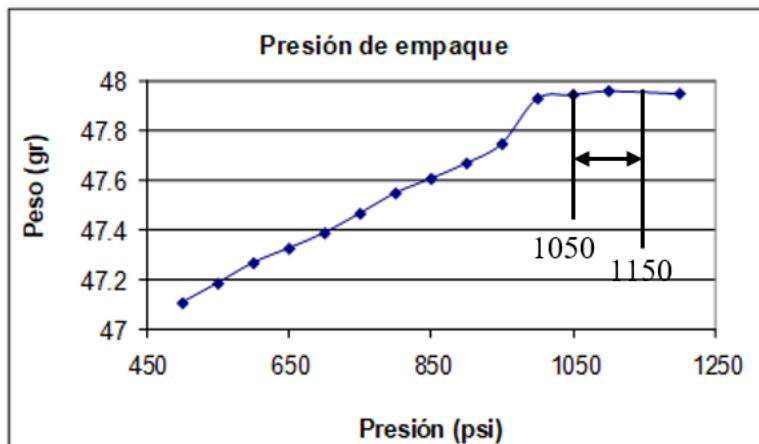
X-3. Tabla del efecto de la presión de empaque en el peso de las partes

En la gráfica a continuación, se revela que la presión dejó de contribuir al peso de las partes después de 1000 psi de presión de empaque.



X-4. Gráfica del efecto de la presión de empaque en el peso de las partes

4. Seleccione una presión donde el peso sea relativamente constante. En este ejemplo se seleccionó una presión de empaque mínima de 1050 psi hidráulico, parámetro de máquina. Lo normal sería seleccionar un rango de presión, por ejemplo de 1050 a 1150 psi.

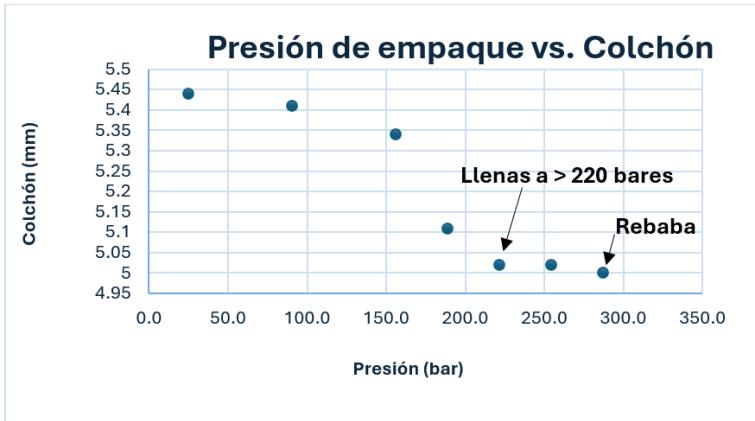


X-5. Gráfica indicando el rango de presión de empaque

5. Una vez que seleccione su rango de presión de empaque, conviértalo a parámetros **Universales**.

Ejemplo:

En un proceso de sobre moldeo, donde las piezas no poden ser pesadas, se decidió utilizar el efecto de la presión de empaque en la posición del colchón, ver la gráfica a continuación. La gráfica revela que el colchón dejó de contribuir al llenado cuando con una presión de empaque mayor de 220 bares y además mostró que presiones mayores de 260 bares generó rebaba.



X-6. Determinación de la presión de empaque con la posición del colchón

6. Después de seleccionar la presión de empaque, es esencial verificar el porcentaje del volumen inyectado durante la etapa de inyección, basado en la posición. Aunque el porcentaje inyectado por peso debería haberse comprobado durante la fase de determinación del tiempo de inyección ideal, es recomendable confirmarlo con un segundo método: por posición. Este es un método de verificación sencillo y efectivo que todos los procesadores de inyección deberían utilizar.

Verificación del % volumétrico inyectado basado en las posiciones del tornillo:

La fórmula para calcular este porcentaje es la siguiente:

$$\frac{\% \text{ volumen en la etapa de inyección} = \\ \text{posición de plastificación} - \text{posición de transferencia}}{\text{posición de plastificación} - \text{posición del colchón}} * 100\%$$

En caso de que esté utilizando un control con parámetros **Universales** y trabaje con volumen en lugar de posición, aplique esta fórmula:

$$\frac{\% \text{ volumen en la etapa de inyección} = \\ \text{volumen de plastificación} - \text{volumen de transferencia}}{\text{volumen de plastificación} - \text{volumen del colchón}} * 100\%$$

Ejemplo:

Determine el porcentaje de llenado durante la etapa de empaque en un proceso donde la posición de plastificación es $PP = 32\text{mm}$, la posición de transferencia es $PT = 6\text{mm}$ y una posición del colchón de $PC = 4\text{mm}$.

$$\frac{\% \text{ volumen en la etapa de empaque} =}{(PT-PC) \times 100\%} = \frac{(6\text{mm}-4\text{mm}) \times 100\%}{(32\text{mm}-4\text{mm})} = 7\%$$

Esta ecuación se puede simplificar:

$$\begin{aligned}\% \text{ de volumen en la etapa de empaque} &= \\ 100\% - \% \text{ de volumen en la etapa de inyección}\end{aligned}$$

Posteriormente, si es necesario, realice los ajustes incrementando o disminuyendo la posición de plastificación. Es importante tener en cuenta que si se modifica esta posición, es muy probable que tanto el tiempo de inyección como la presión máxima de inyección cambien. Si el ajuste es significativo, modifique la velocidad de inyección para que coincida con el tiempo de inyección ideal previamente determinado y ajuste la presión límite de inyección entre un 5% y un 10% por encima de la nueva presión máxima de inyección.

Finalmente, actualice su documentación técnica con las nuevas posiciones de plastificación y de colchón, las nuevas presiones de inyección máxima e inyección límite, y la velocidad de inyección ideal ajustada.

En este ejemplo la unidad de inyección utilizada tenía una razón de intensificación (R_i) de 12.2, y sus parámetros **Universales** correspondientes son:

Presión de empaque **Universal** = presión hidráulica $\times R_i$

Presión mínima = 1050 psi \times 12.2 = **12810 psi**

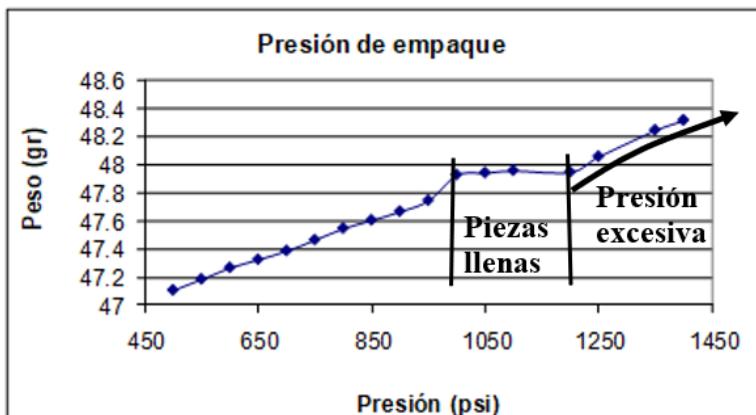
Presión máxima = 1150 psi \times 12.2 = **14030 psi**

Presión promedio = 1100 psi \times 12.2 = **13420 psi**

Notas:

- Aunque el objetivo sea dimensiones y no el peso, en estos momentos se debe trabajar con el peso de las piezas. Después del desmolde, las piezas experimentarán múltiples cambios de dimensiones por encogimiento.
- Solo pese las partes moldeadas sin la colada.

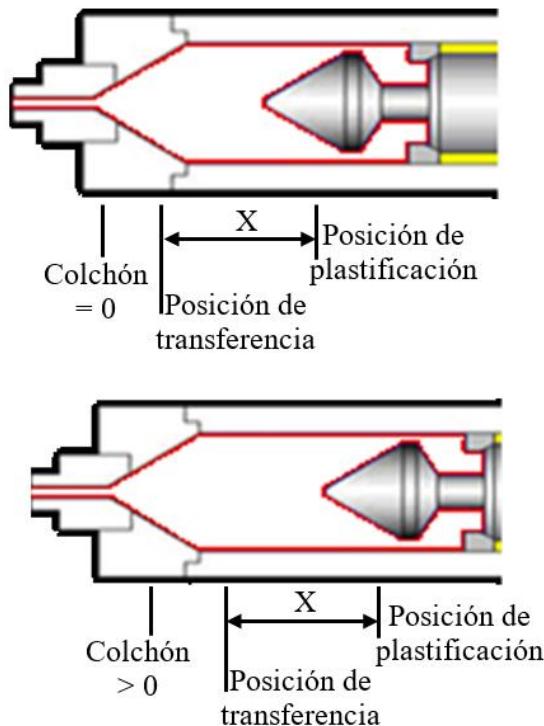
- Evite abrir el molde o forzar el fundido a que se cuele a espacios indeseados a consecuencia de presión excesiva. Una forma fácil de descubrir si la presión es excesiva es fijándose en la gráfica de presión contra peso de partes.



X-7. Gráfica indicando presión de empaque excesiva

En la gráfica, después de los 1,200 psi se inició una nueva tendencia, indicando que las cavidades se están abriendo o plástico se está colando.

- El colchón debe ser mayor de cero. Si alcanza a ser cero tendrá que aumentar el volumen de inyección. Esto pudo haber sucedido a consecuencia de un volumen de llenado muy por debajo del 95% en la etapa de inyección. Asumiendo que no hay defectos en la unidad de inyección, como la anilla (“check ring”) filtrando, incremente la posición de plastificación y la posición de transferencia la misma cantidad hasta que la posición final, después del empaque, sea mayor de cero. Si deseas realizar este ajuste sin detener el proceso, primero aumente la posición del colchón y luego la posición de plastificación. De lo contrario, podría terminar con exceso de material, lo que podría dañar algunos moldes.



X-8. Corrección cuando el colchón es cero

Si el colchón alcanza a ser cero a consecuencia de una unidad de inyección defectuosa, como anilla filtrando, hable con el departamento de mantenimiento para que le repare el defecto.

Notas:

La posición final del colchón siempre es mayor de cero y menor que la posición de transferencia.

Si la posición del colchón termina siendo mayor que la posición de transferencia, existen dos escenarios posibles:

1. Presiones de empaque pequeñas: En algunas máquinas, cuando se programan presiones de empaque demasiado bajas, la posición del colchón puede moverse por encima de la posición de transferencia. Esta situación se resuelve al programar la presión de empaque adecuada.
2. Volumen excesivo en la etapa de inyección: Otra razón común es cuando se programan posiciones que resultan en un volumen de

llenado superior al 95% durante la etapa de inyección. La solución consiste en reducir ese porcentaje de llenado en dicha etapa.

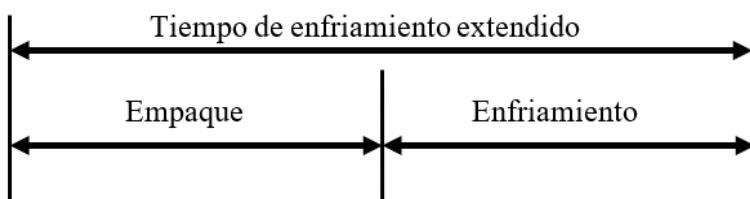
Estos cambios de posición afectarán la presión y el tiempo de inyección. Realice los ajustes necesarios.

Laboratorio II - Determinación del Tiempo de Empaque

El tiempo de empaque se determina con la prueba de endurecimiento de bebederos (“gate freeze”). Mientras el bebedero esté líquido, la presión de empaque mantiene el fundido en la cavidad. Una vez que el bebedero se endurece, el fundido no puede escaparse aun cuando la presión de empaque sea eliminada.

1. Ajuste la presión de empaque encontrada.
2. Sin cambiar la presión de empaque encontrada, disminuya el tiempo de empaque en intervalos hasta que el peso de las piezas comience a disminuir a causa de bebederos blandos, incapaces de retener el fundido comprimido dentro de las cavidades.

Con el propósito de mantener un ciclo total constante, la suma del tiempo de enfriamiento y el tiempo de empaque debe mantenerse constante. Por cada intervalo que se le resta al tiempo de empaque, se le debe sumar la misma cantidad al tiempo de enfriamiento.



X-9. Tiempo de enfriamiento extendido

3. Tabule los tiempos con sus correspondientes pesos totales de las partes obtenidas, y haga una gráfica de peso de las partes contra tiempo de empaque.

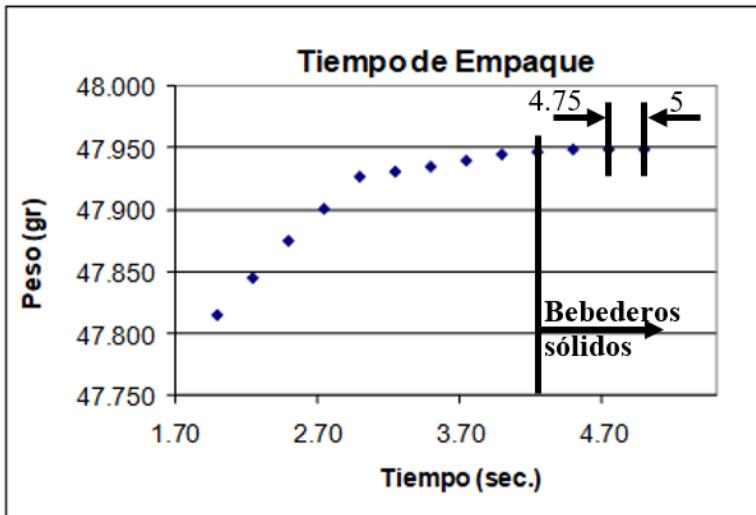
Tiempo empaque (s)	Peso promedio (gr)	Tiempo enfriamiento (s)
5.00	47.949	23.00
4.75	47.949	23.25
4.50	47.949	23.50
4.25	47.947	23.75
4.00	47.945	24.00
3.75	47.940	24.25
3.50	47.935	24.50
3.25	47.931	24.75
3.00	47.927	25.00
2.75	47.901	25.25
2.50	47.875	25.50
2.25	47.845	25.75
2.00	47.815	26.00
1.75	23.908	26.25

X-10. Tabla de peso de partes y sus respectivos tiempos de empaque y de enfriamiento

Aunque la columna de tiempo de enfriamiento no es graficada, inclúyala. Le ayudará durante la entrada de tiempos durante el experimento.

Notas:

- Por cada ajuste de tiempo de empaque, tome de dos a tres muestras y promedie el peso total de las piezas.
 - Solamente tome el peso de las partes moldeadas sin la colada.
 - Siempre garantice que el tiempo de enfriamiento sea mayor que el tiempo de plastificación.
4. En la gráfica, encuentre el tiempo donde el peso de las partes empezó a disminuir. Claramente se observa que se requerirán tiempos de empaque mayores de 4.5 segundos para garantizar endurecimiento de bebederos.



X-11. Gráfica del efecto del tiempo de empaque en el peso de las partes

El rango de tiempo de empaque seleccionado en este ejemplo es de 4.75 a 5 segundos.

Resumen de parámetros

Una vez completada la determinación de parámetros del empaque, resúmalos:

- tiempo de empaque determinado y su rango operacional
- presión de empaque (parámetro Universal y de máquina) determinada y su rango operacional
- tiempo de enfriamiento extendido remanente
- volumen y posición de plastificación
- colchón o posición final del tornillo después del empaque y su rango operacional.

Finalmente verifique que se ha programado el control de la máquina con los parámetros de empaque determinados.

Empaque de Moldes con Colada Caliente y Válvulas en los Bebederos

Con moldes con colada caliente, el procedimiento es similar; tendrá que garantizar endurecimiento de los bebederos.

Ahora si el molde además incluye válvulas de cierre en los bebederos (“*valve gates*”), las válvulas harán la función de endurecimiento de bebederos. Estas se programan de manera que el cierre de las válvulas ocurra cuando se cumpla el tiempo de empaque entrado. Estas válvulas, además de un buen acabado en el punto de inyección, reducen el tiempo de empaque, ya que no se tiene que esperar a que los bebederos se solidifiquen.

Notas:

- Si las válvulas cierran prematuramente es probable que termine con piezas incompletas.
- Si las válvulas cierran muy tarde podrían encontrarse con material endurecido en el asiento de las válvulas, que podrían dañar los bebederos en las cavidades. Consecuente, el defecto se reflejaría en el punto de inyección de las piezas.

Durante la etapa de empaque, garantizamos las medidas que son función de masa. No trate de corregir medidas térmicas en el laboratorio de empaque.

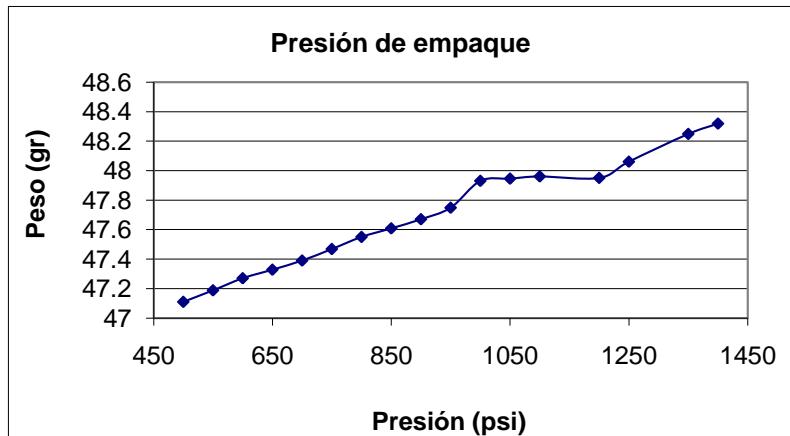
Amorfos	Semi-cristalinos
Problemas de sobre empaque dado a que tiene bajo encogimiento	Problemas de empaque incompleto dado a que tiene alto encogimiento
Problemas con rebaba	Hundimientos y huecos
Roturas durante el desmolde	Desmolde fácil
La transición de fundido-pastoso a sólido es paulatino	La transición de fundido líquido a sólido es repentina

X-12. Características mecánicas de los materiales que deben considerar durante el empaque

Preguntas

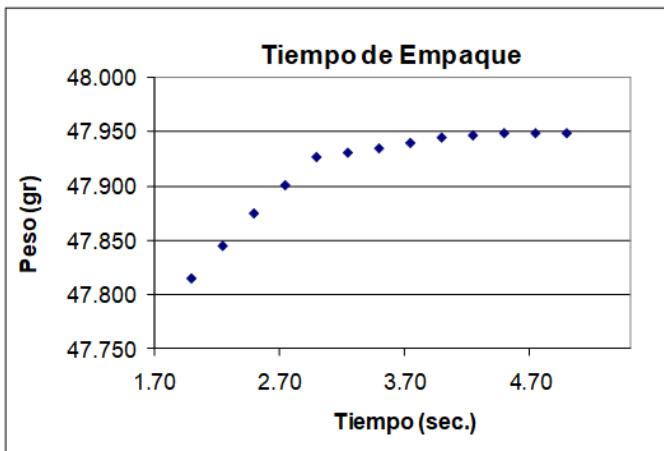
- 1) Aumentando la presión de empaque, se aumenta el peso de las piezas.
Asumiendo que el molde no se abra, eventualmente se alcanza una presión donde el peso de las partes dejará de aumentar.
 - a. Cierto
 - b. Falso
- 2) Cuando se crea la gráfica de presión de empaque, se utilizan las presiones de empaque y los pesos totales de las piezas con la colada.
 - a. Cierto, se utiliza el peso de las partes y la colada.
 - b. Falso, solo se utiliza el peso de las partes sin la colada.
- 3) En la determinación de la presión de empaque se evalúan las dimensiones que son efecto del encogimiento.
 - a. Cierto, en el empaque se consideramos las dimensiones de masa.
 - b. Falso, en el empaque solo consideramos las dimensiones de masa y no el encogimiento.
- 4) El tiempo de empaque se utiliza para
 - a. determinar las dimensiones térmicas.
 - b. mejorar el ciclo de operación.
 - c. determinar el endurecimiento de los bebederos.
- 5) En un proceso se encontró un tiempo de empaque de 6 segundos. El tiempo de empaque ***Universal*** correspondiente sería
 - a. 6 segundos.
 - b. 6 segundos ÷ razón de intensificación.
 - c. 6 segundos x razón de intensificación.

6) Utilizando la gráfica ilustrada seleccione todas las correctas.



- a. En la gráfica, después de los 1,200 psi se inició una nueva tendencia, indicando que el molde se está abriendo o plástico se está colando a consecuencia de presión excesiva.
- b. En la gráfica, a una presión de empaque de 850 psi obtenemos piezas completas.
- c. En la gráfica, la selección de 1050 psi es una presión de empaque adecuada.

7) Utilizando la gráfica ilustrada seleccione la frase correcta:

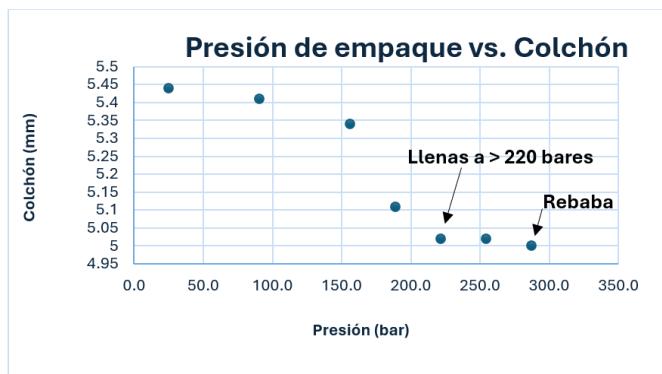


- a. Con un tiempo de empaque de 2 segundos conseguimos endurecimiento de los bebederos.
 - b. Se observa que se requerirán tiempos de empaque mayores de 4.5 segundos para garantizar endurecimiento de bebederos.
- 8) Determine el porcentaje de llenado durante la etapa de empaque en un proceso donde la posición de plastificación es PP , la posición de transferencia es PT y la posición del colchón es PC .
- a) % volumen en la etapa de empaque = $\frac{(PT-PC)x100\%}{(PP-PC)}$
 - b) % volumen en la etapa de empaque = $\frac{(PP-PC)x100\%}{(PP-PC)}$
 - c) % volumen en la etapa de empaque = $\frac{(PP-PT)x100\%}{(PP-PC)}$
- 9) Determine el porcentaje de llenado durante las etapas de inyección y de empaque en un proceso donde la posición de plastificación es PP , la posición de transferencia es PT y la posición del colchón es PC .
- a) % volumen en la etapa de inyección = $\frac{(PP-PC)x100\%}{(PP-PT)}$
 $\% \text{ volumen en la etapa de empaque} =$
 $100\% - \% \text{ volumen en la etapa de inyección}$
 - b) % volumen en la etapa de inyección = $\frac{(PT-PC)x100\%}{(PP-PC)}$
 $\% \text{ volumen en la etapa de empaque} =$
 $100\% - \% \text{ volumen en la etapa de inyección}$

c) % volumen en la etapa de inyección = $\frac{(PP-PT) \times 100\%}{(PP-PC)}$

% volumen en la etapa de empaque =
100% - % volumen en la etapa de inyección

10) ¿A qué presión de empaque se llenaron las cavidades?



- a) entre 220 y 250 bares
- b) 200 bares
- c) 300 bares

XI. Determinación de Parámetros en la Etapa de Enfriamiento

- Entienda su Producto
- Tiempo de Enfriamiento
- Optimización con la Temperatura del Molde
- Otros Parámetros que Afectan el Enfriamiento
- ¿Cómo se Organiza un Experimento?
- Resumen

Moldeo Universal™ es una disciplina que promueve una estructura de eventos organizados.

- Los equipos auxiliares están propiamente instalados y operando.
- Las temperaturas continúan propiamente ajustadas.
- Los ajustes del barril continúan propiamente programados.
- La fuerza de cierre continúa propiamente ajustada.
- La apertura de las platinas, sus movimientos, velocidades y la protección del molde continúan propiamente ajustadas.
- El tiempo de enfriamiento es más grande de lo requerido, evitando que entorpezca la determinación de otros parámetros.
- La velocidad de inyección ideal ha sido determinada, ajustada y se está llenando cerca de un 95% del llenado requerido por el molde.
- La presión límite de inyección ha sido determinada y ajustada.
- Ha verificado y corregido el balance del llenado.
- La presión y el tiempo de empaque han sido determinadas y ajustadas.
- El tiempo de enfriamiento remanente fue ajustado.

Importante -- solamente personal cualificado que se han leído los manuales operacionales de los equipos y entienden la funcionalidad del equipo debe operar y/o hacer ajustes a los mismos.

Entienda su Producto

La optimización de la etapa de enfriamiento dependerá del tipo de producto. Antes de decidir, hágase las siguientes preguntas:

1. ¿Cuáles efectos busco optimizar en la etapa del enfriamiento?
2. ¿El encogimiento es significativo en el producto?
3. ¿Qué factores o parámetros podrían contribuir al efecto o los efectos térmicos que debo evaluar?

Básicamente hay dos parámetros que optimizar, tiempo y temperatura de enfriamiento. También existen otros parámetros que podrían afectar la remoción de calor y, consecuentemente, las dimensiones térmicas y las propiedades del producto moldeado. Un ejemplo es la temperatura del fundido; fundido caliente requerirá mayor remoción de calor durante el enfriamiento que un fundido más frío.

La temperatura del fundido recomendada por el fabricante de la resina podría requerir una desviación. Moldes con dificultad de llenado podrían requerir incrementar la temperatura del fundido. Recuerde que cambio en la temperatura del fundido significa cambio en la viscosidad. El llenado de cavidades con paredes delgadas podría requerir mayor energía y menor viscosidad que cavidades con paredes gruesas, aun cuando ambos son llenados con el mismo termoplástico.

Entienda su producto antes de decidir qué parámetros podrían ser significativos en la etapa de enfriamiento. El efecto térmico que busca optimizar podría ser una función de un factor (temperatura del molde), de dos factores (temperatura del molde y el tiempo de enfriamiento) o de tres factores (temperatura del molde, tiempo de enfriamiento, y la temperatura del fundido).

Tiempo de Enfriamiento

Sabemos que ciclos operacionales largos podrían ser costosos, consecuentemente el tiempo de enfriamiento debe reducirse al máximo permitido. Para reducir el tiempo de enfriamiento se recomienda disminuirlo cuidadosamente hasta conseguir el tiempo mínimo capaz de desmoldar unas piezas visualmente aceptables.

Extrema cautela se debe tener durante este proceso; piezas atrapadas dentro del molde pueden ocasionar roturas cuantiosas.

En moldes con colada fría, al momento del desmolde, la colada se podría utilizar de referencia. Normalmente la colada es más gruesa que las partes moldeadas y su desmolde se podría utilizar como referencia para reducir el tiempo de enfriamiento.

Reducir el tiempo de enfriamiento es el primer paso; esto no significa que concluimos su determinación. Es probable que se tenga que modificar para garantizar alguna dimensión o propiedad de las partes moldeadas, inclusive hasta combinarlo con otros parámetros para lograr la optimización del enfriamiento.

Optimización con la Temperatura del Molde

Este procedimiento es el más simple y probablemente por donde todos deberíamos comenzar.

1. Determine el tiempo de enfriamiento mínimo.

Cuidadosamente y sin alcanzar el tiempo de plastificación, reduzca el tiempo de enfriamiento hasta conseguir el menor tiempo capaz de desmoldar unas piezas visualmente aceptables.

En el evento de que el tiempo de enfriamiento alcance el tiempo de plastificación y el molde/material permitan bajar aún más el tiempo de enfriamiento, deberá tratar de reducir el tiempo de plastificación. Asumiendo que el proceso le permita reducir el tiempo de plastificación aumentando la velocidad de plastificación, hágalo. Después, verifique la temperatura del fundido; es probable que aumentó.

Procedimiento para medir la temperatura del fundido:

1. Asegúrate de que el proceso haya operado normalmente durante al menos diez ciclos.
2. Precalienta un instrumento a 25°C por debajo de la temperatura deseada. Los “mini-blower” 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 semiautomático). Una vez que el molde se abre, retira la unidad de inyección y purga el fundido. Puedes hacerlo sobre una superficie removible para facilitar el acceso.
5. Sumerge el instrumento en el fundido y agítalo. Cuando notes que la temperatura comienza a disminuir, retira el instrumento y anota la temperatura pico obtenida. Sigue todas las reglas de seguridad.

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.

Al aumentar la velocidad de plastificación también se aumenta la fricción, resultando en aumento de temperatura y disminución en la viscosidad del fundido. Dos factores que podrían afectar la reología son los parámetros de empaque y el balance del llenado. En otras palabras, afectaría todos los laboratorios efectuados hasta el momento; es por lo que después de aumentar la velocidad de plastificación se debe medir la temperatura del fundido. Si cambió deberá manipular las zonas de calor del barril hasta igualar la temperatura del fundido anterior.

Nuevamente, evite el cierre del molde con piezas dentro; podría ocasionar roturas cuantiosas.

2. Organice y tabule su experimento.

Seleccione un rango de experimentación, por ejemplo, $70 \pm 4^{\circ}\text{F}$. Este rango se puede obtener de la ficha técnica del material, del fabricante del molde, o de un moldeador de confianza que haya moldeado con este material o con un producto similar. Decida el número de veces que repetirá cada experimento. No sobrecargue el experimento, de tres a cinco repeticiones debería ser suficiente.

En forma de tabla escriba:

- los dos niveles de temperatura
- el número de repeticiones, tres por temperatura
- incluya espacios para el orden aleatorio o al azar que se efectuará cada experimento
- espacios para las dimensiones o el atributo de las partes moldeadas que está examinando
- incluya espacios para el promedio de las medidas.

Temp.	Repetición	Orden al azar	Medida	Promedio
T_{baja}	1	4	M_4	$\frac{M_4 + M_1 + M_6}{3}$
	2	1	M_1	
	3	6	M_6	
T_{alta}	1	3	M_3	$\frac{M_3 + M_2 + M_5}{3}$
	2	2	M_2	
	3	5	M_5	

Si el atributo que está midiendo es un efecto visual y subjetivo, establezca una escala de apreciación. Por ejemplo, seleccione a una persona que sabe al dedillo como evaluar el efecto que se está midiendo y pídale que evalúe el efecto del 1 al 4, donde:

- 1 = sin defecto
- 2 = defecto insignificante
- 3 = defecto notable
- 4 = defecto inaceptable

Aunque le parezca extraño, efectuar los cambios de un experimento al azar es más representativo de la realidad que cambios de temperatura ordenados. Cambios aleatorios disminuyen los errores a consecuencia de la conveniencia humana.

3. Escriba un protocolo de cómo efectuar el laboratorio.

Reducza cualquier objetividad escribiendo procedimientos específicos que todos deben seguir.

Ejemplo de un simple protocolo:

- a) Verifique que la fuente del agua de enfriamiento (*chiller* o torre de enfriamiento) que suple al control de temperatura de agua del molde esté por lo menos 5°C más fría que la temperatura más baja que espera programar.
- b) Determine límites de temperatura de agua que correspondan a los límites de temperatura del molde. Recuerde que la temperatura del agua al molde es normalmente distinta a la temperatura del metal en las cavidades.
- c) Entre experimentos, detenga la máquina hasta alcanzar la temperatura ajustada.
- d) Una vez la temperatura es alcanzada y la máquina está operando normal, espere 10 ciclos para tomar la muestra.
- e) Las medidas serán efectuadas por una misma persona en el laboratorio de metrología con un instrumento calibrado.
- f) Las medidas serán efectuadas en orden, por ejemplo, dos horas después del desmolde.

4. Efectúe el laboratorio y complete la tabla con los resultados.

Siguiendo los procedimientos del protocolo aprobado efectúe sus experimentos, complete la tabla, y calcule los promedios correspondientes.

5. Evalúe los resultados.

Evalúe los resultados, y seleccione un rango de temperatura que garantice las medidas de las piezas o el efecto que anda buscando.

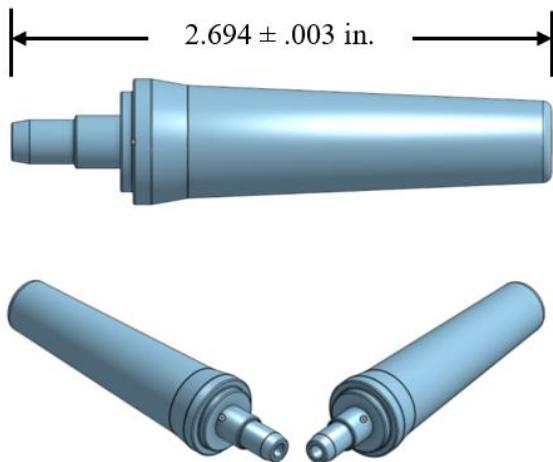
6. Corrobore los rangos de temperatura escogidos.

Tome múltiples muestras, a distintos períodos, dentro de los límites de temperatura seleccionados y corrobore que los resultados cumplen con la predicción del efecto siendo estudiado.

Ejemplo:

Este ejercicio fue efectuado por estudiantes de la Universidad de Puerto Rico, recinto de Mayagüez. El material utilizado es polietileno de baja densidad (LDPE) con un molde de dos cavidades.

El laboratorio se efectuó con el propósito de medir el efecto de la temperatura del molde en el encogimiento. Los estudiantes declararon medida crítica:



XI-2. Ejemplo de piezas de un molde de dos cavidades

La ficha técnica del manufacturero de la resina especificaba un rango de temperatura de molde entre 70°F y 90°F.

Protocolo del experimento:

- Hay dos niveles de temperatura, 70°F y 90°F.
- Hay tres repeticiones por nivel de temperatura.
- Cada experimento se hará al azar.
- El tiempo de enfriamiento se fijará a 18 segundos.
- Entre experimentos se detendrá la maquina hasta alcanzar la temperatura ajustada.
- Una vez operando se tomará la muestra después del ciclo 10.
- Las medidas se efectuarán en orden dos horas después del desmolde.
- Una misma persona tomará las medidas seleccionadas.
- Un operador permanecerá fijamente atento evitando el cierre del molde con piezas atascadas en las cavidades durante todo el experimento.

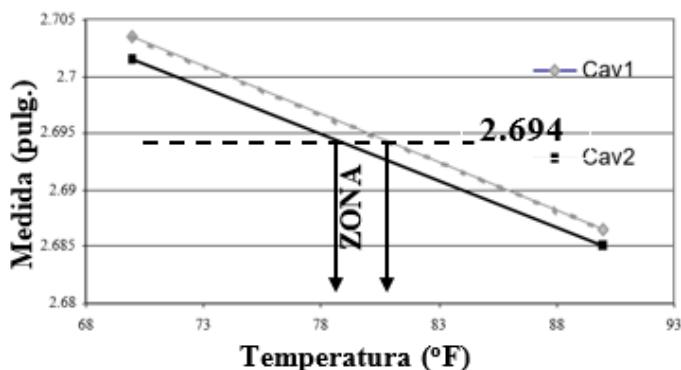
Resultados del experimento:

Temperatura de molde (°F)	Largo promedio (pulgadas)	
	Cavidad 1	Cavidad 2
70	2.7035	2.7015
90	2.6865	2.6850

XI-3. Tabla con resultados de temperatura del molde en medida crítica

Para entender el efecto, gráficas de temperatura contra dimensión son creadas, una por cada cavidad.

Efecto de la temperatura en dos cavidades

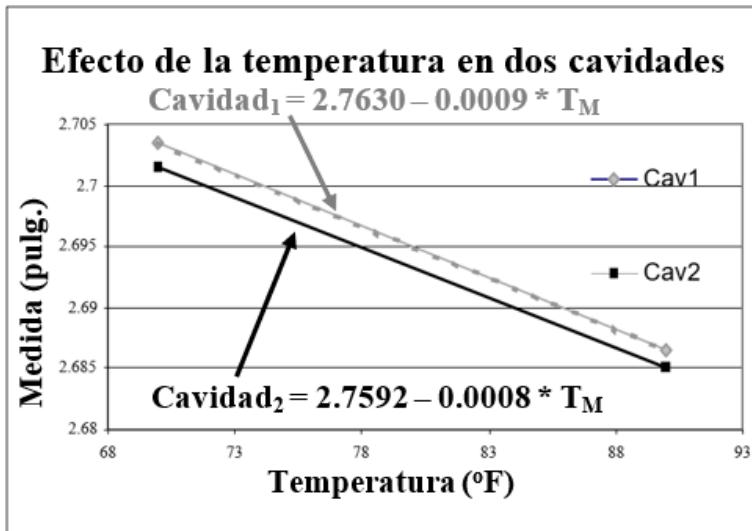


XI-4. Gráfica del efecto de la temperatura de molde en medidas críticas

La gráfica de largo contra temperatura revela un claro efecto de la temperatura en el largo de las piezas. Trazando una línea al largo promedio de 2.694 pulgadas, podemos predecir que la Cavidad 2 debería estar algo sobre 78°F, y la Cavidad 1 debería estar algo cerca de 80°F para garantizar el largo promedio.

Con una ecuación de predicción por cavidad se puede simplificar la selección de un rango de temperatura aceptable. En este ejemplo la ecuación es simple, ya que es la ecuación de una línea, $Y = Y_o + MX$, donde Y es la medida de la pieza, Y_o es el intercepto en la coordenada de medición, M es la pendiente y X es la temperatura del molde. El valor de estas constantes se puede encontrar usando matemáticas simples o con Excel.

Por lo regular dos puntos son suficiente, pero si se sospecha que el resultado no es lineal, se pueden utilizar puntos intermedios.



XI-5. Gráfica de ecuaciones lineales de temperaturas de molde en medida crítica de dos piezas

Resolviendo las ecuaciones por la temperatura, obtenemos:

$$T_{M1} = (2.7630 - \text{largo cavidad}_1) / 0.0009$$

$$T_{M2} = (2.7592 - \text{largo cavidad}_2) / 0.0008$$

Sustituyendo los límites de distancia (2.694 ± 0.003) de 2.697 pulgadas y 2.691 pulgadas en ambas ecuaciones, obtenemos:

	Dimensión alta 2.697 pulg.	Dimensión baja 2.691 pulg.
Temperatura cavidad 1	73 °F	80 °F
Temperatura cavidad 2	78 °F	85 °F
Rango	78 °F	80 °F

XI-6. Tabla con límites de temperaturas de molde en medida crítica de dos piezas

Evaluemos los resultados: si la temperatura del molde se ajusta a 73°F se saca de dimensiones a la cavidad 2, ya que su mínimo es 78°F; si la

temperatura es ajustada a 85°F se saca de dimensiones la cavidad 1 ya que máximo es 80°F. El rango operacional entonces sería entre 78°F y 80°F.

Otros Parámetros que Afectan el Enfriamiento

Aunque los parámetros de control durante la etapa de enfriamiento son el tiempo de enfriamiento y la temperatura del molde, hay que reconocer que la temperatura del fundido contribuye de igual manera.

Imaginemos un producto donde, después de haber efectuado el laboratorio de temperatura de molde anterior, se necesite de un control de dimensiones térmicas más controlado. Se decide optimizar estas dimensiones térmicas, evaluando la contribución de tres factores:

T_M = temperatura del molde

t = tiempo de enfriamiento

T_F = temperatura del fundido

Las dimensiones críticas se podrían representar con la siguiente ecuación lineal:

Dimensión crítica, D_C =

$$\bar{D}_C + \beta_0 T_M + \beta_1 t + \beta_2 T_F + \beta_3 T_M t + \beta_4 T_M T_F + \beta_5 t T_F + \beta_6 T_M T_F t$$

donde:

\bar{D}_C = promedio de las medidas

$\beta_0 T_M$ = efecto de la temperatura del molde

$\beta_1 t$ = efecto del tiempo de enfriamiento

$\beta_2 T_F$ = efecto de la temperatura del fundido

$\beta_3 T_M t \dots \beta_6 T_M T_F t$ = efectos combinados
y los símbolos β_0 a β_6 son constantes.

En este tipo de ejercicios se presume que el comportamiento es lineal. Si el laboratorio de **Moldeo Universal™** es efectuado en el orden recomendado, los ejecutantes quienes tienen un buen entendimiento de la morfología de termoplásticos, de las dimensiones térmicas, y de las dimensiones de masa podrán seleccionar rangos experimentales razonables para cada factor.

Si los rangos de experimentación son muy grandes, por ejemplo $\pm 10^{\circ}\text{F}$ de temperatura del fundido, con seguridad los resultados serían no lineales y se requeriría de una ecuación más compleja.

La selección de los factores es importante, adjudicar un efecto a múltiples factores, como por ejemplo temperatura del molde, tiempo de enfriamiento, temperatura del fundido, y presión de empaque, sin fundamentos complicaría y encarecería el laboratorio. La mayoría de los efectos se corrigen experimentando con un solo parámetro. Por ejemplo, una dimensión crítica en un material semi-cristalino es probable que se pueda controlar con la temperatura del molde. Evite complicar el laboratorio de enfriamiento.

Veamos otro ejemplo donde se sospecha que la presión de empaque tiene un efecto significativo en las dimensiones del producto. En este laboratorio se presume que las dimensiones críticas, además de ser función térmica, son función de cantidad de material (dimensiones de masa) y se consideran dos factores:

T_M = temperatura del molde

P = presión de empaque

$$\text{Dimensión crítica, } D_C = \bar{D}_C + \beta_0 T_M + \beta_1 P + \beta_2 T_M P$$

Donde:

\bar{D}_C = promedio de las medidas

$\beta_0 T_M$ = efecto de la temperatura del molde

$\beta_1 P$ = efecto de la presión de empaque

$\beta_2 T_M P$ = efecto combinado

El efecto combinado es cuando dos o más factores, o parámetros, se combinan afectando el efecto que se está evaluando. Un ejemplo hipotético: dos empleados trabajan por separado, efectuando la misma labor. Su trabajo es empacar productos moldeados en cajas, y cada uno empaca 50 cajas al día. Un día deciden trabajar en equipo; uno arma las cajas y las llena de producto, el otro las sella y las estiba. Al final del día, empacaron 120 cajas. El efecto combinado fue empacar 20 cajas más por día. De igual manera sucede cuando dos parámetros se combinan, creando un efecto en el producto moldeado.

¿Cómo se Organiza un Experimento de Enfriamiento?

1. Establezca el objetivo y el, o los efectos, que se van a medir.
2. Identificar cuáles factores (parámetros) se presume tienen algún efecto y cómo están relacionados con el efecto que se va a examinar. La selección de factores es probablemente la parte más delicada del proceso. Incluya únicamente factores con alta probabilidad de afectar el efecto evaluado en el producto moldeado. Un ejercicio de más de un parámetro o factor consume tiempo y recursos; sea cuidadoso con su diseño o podría terminar con resultados inconclusos. La mayoría de los laboratorios de enfriamiento se efectúan con un solo factor, temperatura del molde.
3. Seleccione los límites, o rangos, de cada factor. Aquí se debe ser bastante juicioso; un rango demasiado grande podría crear resultados no lineales, crear resultados inconclusos y complicar el experimento. Un rango muy pequeño podría revelar no contribución al efecto y sí podría existir.
4. Tabule el experimento; escriba espacios para las variables de los efectos y sus combinaciones, espacios para los números de repeticiones, y números del experimento.

Factores del proceso		Repeticiones		
		I	II	III
1	20	4	1	2
2	20	12	4	5
3	25	4	7	8
4	25	12	10	11
				12

XI-7. Tabla de parámetros (temperatura y tiempo de enfriamiento), con sus combinaciones y sus repeticiones

5. Escriba un protocolo de cómo efectuar el laboratorio.

6. Efectúe el laboratorio, y tome sus muestras según es indicado en el protocolo escrito.
7. Evalúe los datos y obtenga resultados. Si el laboratorio es de dos factores (ej. tiempo de enfriamiento y temperatura de molde) con un molde de pocas cavidades (4 o menos), el análisis de la data se podría hacer con Excel. Ahora, cuando hay más de dos variables y más de 4 cavidades, utilice un programa estadístico.

Los resultados deben revelar los factores significativos y no significativos, las interacciones significativas y no significativas.

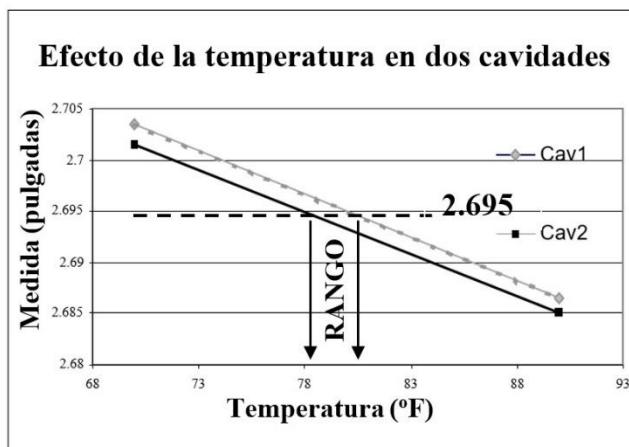
Resumen

- Inicie la optimización de la etapa de enfriamiento encontrando el tiempo de enfriamiento mínimo que produce piezas desmoldables y visualmente aceptables.
- El primer laboratorio que se debe efectuar es únicamente con la temperatura del molde.
- Se considerará un segundo factor solamente cuando no consiguió optimizar la etapa de enfriamiento con la temperatura del molde.
- Cuando el efecto es un atributo, por ejemplo, un defecto visual o físico, seleccione a una sola persona que sepa evaluar el efecto y establezca algún sistema numérico de evaluación que represente el criterio de aceptación.
- Reduzca la objetividad del laboratorio escribiendo un protocolo de cómo efectuar el mismo.
- Laboratorio de dos factores (ej. tiempo de enfriamiento y temperatura de molde) con un molde de pocas cavidades (4 o menos), el análisis de la data se podría hacer con Excel. Si hay más de dos factores y más de 4 cavidades, utilice un programa estadístico.

Preguntas

- 1) Durante la optimización de la etapa de enfriamiento,
 - a. el tiempo de enfriamiento se ajusta igual al tiempo de empaque.
 - b. la presión y el tiempo de empaque han sido determinadas y ajustadas.
 - c. la temperatura del fundido, dado a que no afecta la remoción de calor y ni las dimensiones térmicas, se mantiene fija.
- 2) Cuando se organiza un experimento de optimización de temperatura del molde, incluya más de diez repeticiones por experimento y obtendrá resultados más certeros.
 - a. Ciento, el experimento mejora cuando se incrementan el número de repeticiones.
 - b. Falso, no sobrecargue el experimento; de tres a cinco repeticiones debería ser suficiente.
- 3) Seleccione todas las correctas. Durante la optimización de la etapa de enfriamiento,
 - a. ciclos operacionales largos podrían ser costosos, consecuentemente el tiempo de enfriamiento debe reducirse al mínimo, garantizando desmolde y calidad de pieza.
 - b. se debe tener extrema cautela durante la optimización de la etapa de enfriamiento, piezas atrapadas dentro del molde pueden ocasionar roturas cuantiosas.
 - c. durante la optimización del tiempo de enfriamiento, en un moldeo convencional, garantice que este sea siempre mayor que el tiempo de plastificación.
 - d. todas las anteriores.
- 4) En un experimento de optimización de enfriamiento, los ajustes de parámetros durante la compilación de datos se efectúan al azar (aleatorios).
 - a. Cierto, ya que cambios aleatorios disminuyen los errores a consecuencia de la conveniencia humana.
 - b. Falso, ya que cambios aleatorios complican el laboratorio y no contribuyen al experimento.
- 5) Seleccione todas las correctas. En un experimento de optimización de enfriamiento:

- a. la fuente del agua de enfriamiento (“*chiller*” o torre de enfriamiento) que suple al control de temperatura de agua del molde debe estar por lo menos 5°C (9°F) más fría que la temperatura más baja que espera programar.
 - b. la temperatura del agua al molde es normalmente igual a la temperatura del metal en las cavidades.
 - c. corrobore los resultados, con valores fuera de los rangos operacionales obtenidos del experimento.
- 6) La gráfica muestra el efecto de la temperatura de molde en una dimensión de las piezas moldeadas. Para una dimensión de 2.695 pulgadas, ¿cuál sería la temperatura más recomendada?



- a. 80°F
 - b. 83°F
 - c. 73°F
- 7) Si se decide optimizar dimensiones evaluando la contribución de tres factores,
- a. un laboratorio de tres parámetros o factores consume tiempo y recursos, sea cuidadoso en su diseño o podría terminar con resultados inconclusos.
 - b. cuando uno de los factores es la presión de empaque, se presume que la dimensión evaluada es función de dimensiones de masa.
 - c. cuando uno de los factores es la temperatura del fundido, se presume que la dimensión evaluada es función de dimensiones de masa.
 - d. Las selecciones a y b son correctas.

- 8) En un experimento de dos factores, temperatura del molde (T_M) y temperatura del fundido (T_F):

$$\text{Dimensión crítica, } D_C = \overline{D}_C + \beta_0 T_M + \beta_1 T_F + \beta_3 T_M T_F$$

Se descubrió que la temperatura del molde (T_M) y la temperatura del fundido (T_F) son significativas y el efecto combinado no era significativo. Entonces la ecuación se reduciría a:

- a. $D_C = \overline{D}_C + \beta_1 T_F + \beta_3 T_M T_F$
- b. $D_C = \overline{D}_C + \beta_0 T_M + \beta_1 T_F$
- c. $D_C = \beta_0 T_M + \beta_1 T_F$

- 9) En un experimento con tres factores, temperatura del molde (T_M), temperatura del fundido (T_F) y tiempo de enfriamiento (t), se utiliza la siguiente ecuación lineal:

$$\text{Dimensión crítica, } D_C = \overline{D}_C + \beta_0 T_M + \beta_1 t + \beta_2 T_F + \beta_3 T_M t + \beta_4 T_M T_F + \beta_5 t T_F + \beta_6 T_M T_F t$$

() () () () ()

Escriba el número de cada definición debajo de su correspondiente componente de la ecuación.

1. promedio de las medidas
2. efecto del tiempo de enfriamiento
3. efectos combinados
4. efecto de la temperatura del fundido
5. efecto de la temperatura del molde

XII. Límites del Proceso

- **Límite de Presión Máxima de Inyección**
- **Límite Bajo del Colchón**
- **Límite Alto del Colchón**
- **Tiempo Límite de Plastificación**
- **Límites de Contra Presión**

Los límites del proceso de moldeo por inyección son alarmas necesarias y siempre deben configurarse.

Hemos observado que muchos en la industria del moldeo por inyección ignoran los límites del proceso. Algunos de estos límites son el límite de presión máxima de inyección, los límites alto y bajo del colchón (“*cushion upper and lower limits*”) y el tiempo límite de plastificación (“*recovery time limit*”). Estas alarmas protegen el equipo y la calidad de las piezas moldeadas.

¿Por qué son ignorados? Aunque algunos lo hacen por dejadez, la mayoría de los operadores los ignoran porque no conocen sus beneficios. Las consecuencias son muchas; utilice estos límites de manera adecuada y disfrutará de sus beneficios y ahorros.

¿Qué causaría que se alcanzara el límite de presión máxima de inyección y cuáles podrían ser sus consecuencias?

Alcanzar el límite de presión máxima de inyección podría ser el resultado de una cavidad bloqueada, ya sea porque una parte se quedó atrapada en la cavidad o un bebedero (“*gate*”) se tapó. Si por alguna razón una cavidad está obstruida, el control no tiene forma de saberlo y continuará inyectando, causando altas presiones de inyección. Estas presiones podrían causar rebaba en las piezas, fugas de fundido en el sistema de coladas caliente o fugas de fundido entre el casquillo del molde (“*sprue bushing*”) y la punta de la boquilla (“*nozzle tip*”). Otra posibilidad podría ser que la posición de plastificación se incrementó, provocando un llenado excesivo en la etapa de inyección, superando considerablemente el 95% del llenado del molde.

¿Qué causaría que se alcanzara el límite bajo del colchón y cuáles podrían ser sus consecuencias?

Alcanzar el límite bajo del colchón es un indicador de que el fundido se está filtrando a alguna parte; por lo general, es el resultado de una anilla (“*check ring*”) sucia o defectuosa, además podría ser que el fundido se esté filtrando entre el casquillo (“*sprue bushing*”) y la punta de la boquilla (“*nozzle tip*”). Esta situación de fuga de fundido, si se ignora durante tiempos prolongados, podría hacer que la masa fundida alcance algunas de las bandas del calentador del barril, podría alcanzar el cableado del sistema de coladas caliente (“*hot runner*”), colarse entre actuadores del molde dañando el molde, en general causar daños sustanciales. Además, si la

posición del colchón alcanza cero, unidad de inyección totalmente vacía, anulará la etapa de empaque y cambios en las dimensiones de las piezas podrían surgir.

¿Qué causaría que se alcanzara el Límite Alto del Colchón y cuáles podrían ser sus consecuencias?

Alcanzar el límite alto del cojín es un indicador de una cavidad bloqueada o un bebedero obstruido. Además, si se trata de un molde con colada caliente, podría ser que una punta caliente esté obstruida o dañada. Las consecuencias podrían ser el sobre empaque de alguna de las piezas, causando atascamiento de piezas en las cavidades.

¿Qué causaría que se alcanzara el tiempo límite de plastificación y cuáles podrían ser sus consecuencias?

Alcanzar el límite de tiempo de plastificación podría deberse a la falta de material. La masa fundida delante de la anilla (“*check ring*”) es la que empuja el tornillo hacia la posición de plastificación y si se interrumpe la alimentación de resina, el tiempo de recuperación se extenderá. Los sistemas que integran dosificación de pigmento en la garganta de la unidad de inyección podrían observar variaciones en el color de las piezas. No olvide que, si el tiempo de plastificación alcanza el tiempo de enfriamiento, en algunas máquinas se dispararía una alarma.

El flujo de resina inconsistente puede deberse a que el calor del barril está afectando la garganta de alimentación, lo que provoca la aglomeración del material. Este problema puede surgir por varias razones, como una temperatura del barril demasiado alta o pobre enfriamiento de la garganta de alimentación.

¿Cuál es un límite superior e inferior adecuado para la contra presión?

Antes de opinar, debería dar una descripción general. Durante la plastificación, el tornillo gira y el fundido se bombea a través de la válvula antirretorno (“*check valve*”) hacia al frente del tornillo. La masa fundida que se acumula en la parte delantera del tornillo es quien lo empuja hasta a la posición de plastificación. La contrapresión (*CP*) es el resultado de una fuerza, controlada, opuesta a ese desplazamiento. El propósito del *CP* es asegurar un fundido consistentemente homogéneo (o mejorar la dispersión

de aditivos en el fundido) y aumentar o disminuir la fricción (“*shear rate*”) durante la carga.

Cambiar la contrapresión tiene múltiples consecuencias. Por ejemplo, cuando se aumenta:

1. Se aumenta la capacidad de mezcla de los aditivos.
2. La degradación de materiales sensitivos y la ruptura de las fibras aumenta.
3. Se aumenta el desgaste del tornillo y del cañón (barril).
4. La contribución de calor por fricción aumenta o la contribución de calor por las bandas (“*heater bands*”) disminuye.
5. La cantidad de masa fundida aumenta; dado que los termoplásticos fundidos son compresibles, más plástico puede plastificarse en el mismo volumen. En consecuencia, se transferirá más material al molde durante la etapa de inyección.
6. La viscosidad del fundido se reduce, en la mayoría de los casos, a consecuencia del calor en forma de fricción. Consecuentemente, los valores de reología en máquina cambiarán.

Hay tres opciones típicas para los límites de *CP*:

1. Fijar *CP* sin límite superior o inferior.
2. Establecer límites de *CP* con un rango validado.
3. Sin restricciones, permitiendo que el moldeador decida su manipulación.

La industria controlada (médica) normalmente utiliza una o dos resinas validadas y en muchos casos no se permite el molido, y por eso se justifica fijar un valor para *CP* sin límite superior e inferior. Si por alguna razón tienen que utilizar límites de *CP*, por el uso de molido, establezca límites cerrados y validados de *CP* y fije una repetitiva razón de virgen y molido.

Eso no significa que la industria no controlada deba tener ajustes abiertos de *CP*, o que su ajuste deba dejarse a la discreción del operador. La industria no controlada, que utiliza múltiples marcas de resina para el mismo producto y la relación virgen / triturado no está controlada, no tiene sentido establecer un estrecho límite superior e inferior de *CP*.

Comprenda su material antes de establecer límites superiores e inferiores de *CP*. Pregúntese:

1. ¿El material, está cargado de fibras?
2. ¿Se degrada fácilmente?
3. ¿El proveedor de materiales cambia con el precio del mercado?
4. ¿Se dosificarán aditivos, como pigmentos o ablandantes?
5. ¿La relación virgen/triturado cambia con las limitaciones del almacén?

Para la industria no controlada, la práctica de dejar que el operador manipule la contrapresión no debería ser la opción. Aunque el índice de fluides cambia con el proveedor de material y con la relación virgen / molido, se debe establecer un límite superior e inferior restringido y revisarlo de acuerdo con el cambio de material.

Preguntas

1. Un proceso, llenando 97% en la etapa de inyección, está creando rebaba. El procedimiento para verificar y resolver la situación es:
 - a) Despues de apagar la etapa de empaque, la rebaba continua, identificando que demasiado material se está llenando en la etapa de inyección. Gradualmente reduzca la posición de plastificación hasta que el defecto de rebaba desaparezca. Para evitar que se repita la situación, ajuste un alto límite de plastificación.
 - b) Despues de apagar la etapa de empaque, la rebaba continua, identificando que demasiado material se está llenando en la etapa de inyección. Gradualmente reduzca la posición de transferencia hasta que el defecto desaparezca.
2. En un proceso se disparó la alarma de presión de inyección máxima. La razón pudo haber sido
 - a) una cavidad bloqueada o la etapa de inyección se ajustó para llenar muy poco, menos del 95%.
 - b) una cavidad bloqueada o la etapa de inyección se ajustó para llenar demasiado, más del 95%.
3. ¿Qué causaría que se alcanzara el límite bajo del colchón?
 - a) Anilla (“check ring”) sucia o defectuosa, fundido fugándose entre el casquillo (“sprue bushing”) y la punta de la boquilla (“nozzle tip”), el fundido se está colando en el molde ya sea como rebaba, o filtración entre actuadores o dentro del sistema de colada caliente.
 - b) Se ajustó la posición de plastificación alta, provocando más del 95% de llenado en la etapa de inyección, o se ajustó la posición de transferencia muy alta, provocando más del 5% de llenado en la etapa de empaque.
4. ¿Qué causaría que se alcanzara el límite alto del colchón?
 - a) Cavidad bloqueada o un bebedero obstruido y si se trata de un molde con colada caliente, podría ser que una punta caliente esté obstruida o dañada.
 - b) Anilla (“check ring”) sucia o defectuosa, fundido fugándose entre el casquillo (“sprue bushing”) y la punta de la boquilla (“nozzle tip”), o el fundido se está colando en el molde.

5. ¿Qué causaría que se alcanzara el tiempo límite de plastificación?

- a) Fundido fugándose entre el casquillo (“*sprue bushing*”) y la punta de la boquilla (“*nozzle tip*”).
- b) Flujo de resina inconsistente a consecuencia que se está quedando sin resina la tolva de alimentación. Además, podría deberse a que el calor del barril está afectando la garganta de alimentación, lo que provoca la aglomeración del material.

Apéndices

I – Causas y Efectos

II - Datos Universales del Molde

III - Ecuaciones de *Moldeo UniversalTM*

IV - Procedimiento General para *Moldeo UniversalTM*

V - Términos en Inglés al Español

VI - Términos en Español al Inglés

VII - Costos Operacionales

I - Causas y Efectos

Durante la solución de un problema la experiencia juega un factor importante. En el evento de tener problemas que no pueda resolver, busque ayuda. No sacrifique producción ni calidad; pregunte. Este listado es una referencia; utilícelo juiciosamente.

Partes quebradizas - Las partes se quiebran o se rompen

<i>Posibles Causas</i>	<i>Remedios</i>
1. Resina demasiada fría	1.a. Aumente contrapresión. 1.b. Aumente temperaturas del fundido.
2. Degradación del material en el barril	2.a. Reduzca temperaturas del fundido. 2.b. Reduzca la contra presión. 2.c. Reduzca la velocidad de inyección. 2.d. Purgue si es necesario.
3. Contaminación del material	3.a. Verifique material en la tolva. 3.b. Purgue si es necesario.
4. Material degradado durante el proceso de secado	4. Disminuya tiempo y/o temperatura de secadora.
5. Humedad en el material	5. Verifique contenido de humedad, seque adecuadamente.

Burbujas (vacíos) - Aire atrapado dentro de la parte

<i>Posibles Causas</i>	<i>Remedios</i>
1. Humedad en el material	1. Verifique contenido de humedad, seque adecuadamente.
2. Material demasiado caliente	2. Disminuya la temperatura del fundido, ajustando un perfil de temperaturas adecuado del barril.
3. Ventosas inadecuadas	3. Asegure que el molde tiene ventilaciones adecuadas y limpias.
4. Burbujas internas ocasionadas por encogimiento	4.a. Aumente la contrapresión y/o la presión de empaque 4.b. Disminuya la temperatura del fundido.

Unión de flujos - Raya en la pieza formada por el encuentro de dos o más flujos de fundido

<i>Posibles Causas</i>	<i>Remedios</i>
1. Temperatura del molde baja	1. Aumente temperatura de molde.
2. Material demasiado frió	2. Aumente temperaturas del fundido.
3. Velocidad de inyección baja	3. Aumente la velocidad. El tiempo de inyección debe reducir significativamente.
4. Resina húmeda	4. Seque material adecuadamente.

Descoloramiento - Color inadecuado

<i>Posibles Causas</i>	<i>Remedios</i>
1. Material degradado en el barril	1. Purgue el barril.
2. Temperatura de fundido alta	2. Disminuya temperatura del fundido, ajustando un perfil de temperaturas adecuado del barril.
3. Material contaminado	3. Verifique el material.
4. Ventilaciones inadecuadas	4. Limpie las ventosas existentes o ventile molde adecuadamente.

Quemaduras - Marcas en la pieza por degradación

<i>Posibles Causas</i>	<i>Remedios</i>
1. Velocidad de inyección alta	1. Disminuya velocidad de inyección.
2. Contrapresión alta	2. Disminuya contrapresión.
3. Ventosas inadecuadas	3.a. Asegure que hay ventosas. 3.b. Limpie ventosas.
4. Problemas en diseño del molde (material sufre fricción, ocasionando degradación)	4.a. Cambie ubicación del bebedero. 4.b. Asegure que la parte tiene radios generosos (sin esquinas agudas).
5. Orificio de boquilla demasiado pequeño u obstruido	5. Cambie o limpie la boquilla.
6. Rotación rápida del tornillo	6. Disminuya las revoluciones del tornillo.
7. Temperatura del fundido alta	7. Disminuya la temperatura del fundido, ajustando un perfil de temperaturas adecuado del barril.

Nebulosidad - Aspecto nublado en las piezas (más perceptibles en piezas claras)

<i>Posibles Causas</i>	<i>Remedios</i>
1. Contaminación del material	1.Verifique material y cambie si es necesario. 1.b. Aumente temperatura del fundido.
2. Gases o humedad en la resina	2.a. Seque material adecuadamente. 2.b. Ventile molde adecuadamente.
3. Material demasiado frío	3. Aumente la temperatura del fundido.
4. Molde demasiado frío	4. Aumente las temperaturas del molde.
5. Líquido desmoldante	5. Elimine el uso de líquido desmoldante.

Rebabia - Exceso de plástico alrededor de la pieza en líneas de partición

<i>Posibles Causas</i>	<i>Remedios</i>
1. Presión de empaque alta	1. Disminuya presión de empaque.
2. Molde demasiado caliente	2. Disminuya temperatura del molde.
3. Fuerza de cierre inadecuada	3. Aumente tonelaje.
4. Temperatura del derretido alta	4. Baje la temperatura del derretido.
5. Posición de transferencia a empaque tardía	5. Ajuste una posición de transferencia adecuada y compense la misma distancia en la posición de plastificación.
6. Material con humedad	6. Mejore el secado.

Líneas de flujo - Marcas en la dirección del flujo del fundido

<i>Posibles Causas</i>	<i>Remedios</i>
1. Temperatura del molde baja	1. Aumente la temperatura de molde.
2. Material demasiado frió	2. Aumente la temperatura del fundido.
3. Colada / bebedero inadecuado	3. Verifique el tamaño de bebederos y coladas, y solicite un rediseño.
4. Velocidad de inyección alta	4. Disminuya velocidad de inyección.
5. Resina humedad	5. Seque material adecuadamente.

Chorro ("jetting") en forma de gusano en la superficie de la pieza

<i>Posibles Causas</i>	<i>Remedios</i>
1. Bebederos demasiado pequeños	1. Verifique y solicite un rediseño de bebedero.
2. Bebedero mal localizado	2. Solicite un rediseño.
3. Velocidad de inyección demasiado alta	3. Disminuya la velocidad de inyección.
4. Orificio de boquilla pequeño	4. Cambie boquilla.

Delaminación de la superficie - Capas en la superficie de las piezas se despegan

<i>Posibles Causas</i>	<i>Remedios</i>
1. Material contaminado	1. Verifique el material, y reemplácelo si es necesario.
2. Temperatura del fundido baja	2. Ajuste un perfil de temperaturas del barril adecuado.
3. Mezcla del fundido no es uniforme	3. Aumente contrapresión.
4. Temperatura de molde baja	4. Aumente temperatura de molde.
5. Velocidad de inyección baja	5. Aumente la velocidad y corrobore. El tiempo de inyección debe reducir significativamente.

Tiro incompleto - Piezas no quedan completamente llenas

<i>Posibles Causas</i>	<i>Remedios</i>
1. Presión de empaque baja	1. Aumente presión de empaque.
2. Tiempo de empaque corto	2. Aumente tiempo de empaque.
3. Cavidades no balanceadas	3. Balancee el llenado, y rediseñe el molde si es necesario.
4. Temperatura del fundido baja	4. Aumente la temperatura del fundido, ajustando un perfil de temperaturas adecuado.
5. Coladas / bebederos pequeños	5. Solicite un rediseño de colada y/o bebedero.
6. Temperatura de molde baja	6. Aumente temperatura de molde.
7. Posición de plastificación bajo	7. Verifique que la posición de transferencia sea adecuada, y luego aumente la posición de plastificación.

Hundimientos - Depresiones o hundimientos en secciones de la pieza

<i>Posibles Causas</i>	<i>Remedios</i>
1. Velocidad de inyección baja	1. Aumente la velocidad y corrobore. El tiempo de inyección debe reducir significativamente.
2. Diseño inadecuado del molde y/o pieza	2. Rediseñe pieza (se necesitan espesores uniformes de pared).
3. Temperatura del fundido baja	3. Aumente temperatura del fundido con un perfil de temperatura adecuado.
4. Gas atrapado en el molde	4. Ventile molde adecuadamente.
5. Presión de empaque baja	5. Aumente presión de empaque.
6. Temperatura del molde demasiado alta ocasiona encogimiento	6. Baje la temperatura del molde.
7. Tiempo de empaque bajo	7. Aumente tiempo de empaque
8. Temperatura del molde baja ocasionando congelamientos prematuros de bebederos	8. Aumente la temperatura del molde.

Las partes se pegan a la cavidad

<i>Posibles Causas</i>	<i>Remedios</i>
1. Cavidad rayada	1. Pulir en dirección del desmolde.
2. Estática	2. Desmagnetice la cavidad.
3. Presión de empaque alta	3. Disminuya la presión de empaque.
4. Tiempo de enfriamiento corto	4. Aumente el tiempo de enfriamiento.
5. Encogimiento en la dirección incorrecta	5. Ajuste la temperatura del noyo (core) mayor a la temperatura de la cavidad.
6. Insuficiente socavo y/o ángulo de desprendimiento	6. Considere cambios en diseño de piezas y/o molde.

Las partes se pegan al noyo (“core”)

<i>Posibles Causas</i>	<i>Remedios</i>
1. Presión de empaque alta	1. Disminuya la presión de empaque.
2. Temperatura del noyo (“core”) alta	2. Ajuste temperatura de molde.
3. Temperatura del fundido alta	3. Baje la temperatura del fundido con un perfil de temperaturas adecuado.
4. Insuficiente socavo o ángulo de desprendimiento	4. Considere reparación o rediseño del molde.
5. Estática	5. Desmagnetice la cavidad.

Gasificación (líneas plateadas) - imperfecciones en la superficie de la pieza

<i>Posibles Causas</i>	<i>Remedios</i>
1. Humedad en la resina	1. Seque el material adecuadamente.
2. Obstrucción en la boquilla	2. Limpie la boquilla.
3. Velocidad de inyección alta	3. Disminuya velocidad de inyección.
4. Temperatura del fundido alta	4. Disminuya la temperatura del fundido con un perfil de temperaturas de barril adecuado.
5. Boquilla demasiado caliente	5. Disminuya temperatura de la boquilla.
6. Resina contaminada	6. Verifique el material; reemplácelo si es necesario.
7. Bebederos demasiado pequeños	7. Aumente tamaño del bebedero.

Pandeamiento - Torcimiento o encovado de las partes debido a encogimiento desigual

<i>Posibles Causas</i>	<i>Remedios</i>
1. Partes calientes al expulsar	1. Baje la temperatura del molde, y aumente el tiempo de enfriamiento.
2. Enfriamiento de parte desiguales	2. Ajuste temperatura de las caras del molde.
3. Espesor de paredes no uniforme	3. Rediseñe la pieza.
4. Partes sobre empacadas	4. Disminuya la presión de empaque.

Alarma de límite de presión máxima de inyección

<i>Posibles Causas</i>	<i>Remedios</i>
1. Cavidad bloqueada	1. Detenga la máquina. Revise y limpie el molde.
2. Etapa de inyección ajustada para llenar demasiado.	2. Reduzca la posición de plastificación hasta cerca de un 95% del molde.

Alarma de límite bajo del colchón

<i>Posibles Causas</i>	<i>Remedios</i>
1. Anilla (check ring) sucia o defectuosa	1. Verificar y limpiar o reemplazar.
2. Fundido fugándose entre el casquillo (sprue bushing) y la punta de la boquilla (nozzle tip)	2. Verificar si cualquiera de los componentes está rayado y/o machacado, o si los diámetros de los agujeros son incorrectos, o si los radios de contacto son incorrectos. Si es así, reemplácelos.
3. El fundido se está colando en el molde, ya sea como rebaba, filtración entre actuadores, o dentro del sistema de colada caliente.	3. Verifique, y si es así, haga la reparación o corrección lo más pronto posible. De lo contrario, podrían surgir daños cuantiosos en el molde.

Alarma de límite alto del colchón

<i>Posibles Causas</i>	<i>Remedios</i>
1. Cavidad bloqueada o un bebedero obstruido.	1. Verificar y limpiar.
2. Si se trata de un molde con colada caliente, podría ser que una punta caliente esté obstruida o dañada.	2. Verificar, limpiar o reemplazar.

Alarma de tiempo límite de plastificación

<i>Posibles Causas</i>	<i>Remedios</i>
1. Flujo de resina inconsistente, que puede deberse a que el calor del barril está afectando la garganta de alimentación, lo que provoca la aglomeración del material.	1a. Reduzca la temperatura de la zona de calor próxima a la garganta del barril. 1b. Verifique el flujo de agua en la garganta del barril. Si está obstruido, corríjalo. 1c. Verifique la temperatura del agua en la garganta del barril y redúzcala si está muy alta.
2. Se está quedando sin resina la tolva de alimentación.	2. Verifique y corrija el suministro de material.

II - Datos Universales del Molde

Recuerde que estos parámetros son del molde y el plástico. Para ser utilizados deben ser transferidos o convertidos a parámetros de la máquina de inyección.

1. nombre del molde y número
2. nombre y tipo de material
3. tiempo de llenado T para conseguir cerca de un 95% del llenado
4. peso de las piezas al momento de transferencia, con el empaque apagado
5. presión plástica al momento de la transferencia
6. ciclo total
7. tiempo de empaque
8. presión de empaque
9. peso total o volumen total de inyección
10. tiempo de enfriamiento
11. temperaturas del molde
12. flujos y de agua al molde
13. temperaturas del agua entrando al molde
14. temperaturas del agua saliendo del molde
15. presiones del agua entrando al molde
16. presiones del agua saliendo del molde
17. temperatura del fundido entrando al molde
18. tiempo en abrir el molde y expulsar las piezas
19. tiempo en cerrar totalmente el molde
20. volumen de plastificación

III - Ecuaciones de Moldeo Universal™

1- Secado

Volumen de la tolva secadora:

Para determinar el tamaño de la tolva secadora se requiere saber:

- el consumo de material en lb/h o en kg/h
- el tiempo de secado en horas
- la densidad granel de la resina plástica en lb/pies³ o en kg/m³.

I. Con material virgen:

$$\text{Volumen} = \text{consumo} * \frac{\text{tiempo de secado}}{\text{densidad granel}}$$

II. Con material virgen y molido:

$$\text{Volume} = T * C * \left(\frac{\%V}{D_{virgen}} + \frac{\%M}{D_{molido}} \right)$$

Donde:

T = tiempo de secado (horas)

C = consumo de resina (lb/h o kg/h)

D_{virgen} = densidad del virgen (lb/pies³ o kg/m³)

D_{molido} = densidad del molido (lb/pies³ o kg/m³)

$\%V$ = % del virgen

$\%M$ = % del molido

Flujo de aire seco de la secadora:

$$\text{Flujo} = \text{factor flujo del material} * \text{consumo}$$

$$\begin{aligned} &\text{Factor de material máximo} \\ &= 1 \text{ cfm} / (1\text{lb de material/h}) \\ &= (63 \text{ litro/min}) / (1 \text{ kg de material/h}) \end{aligned}$$

Temperatura Delta:

$$\Delta T_{Fahrenheit} = 9/5 * \Delta T_{Celsius}$$

$$\Delta T_{Celsius} = 5/9 * \Delta T_{Fahrenheit}$$

Consumo de plastificación:

$$\text{Consumo de plastificación} = \\ (\text{peso del tiro de inyección}) / (\text{tiempo de plastificación})$$

Consumo de material:

$$\text{Consumo de material} = \\ (\text{cantidad de material por ciclo}) / (\text{duración del ciclo})$$

2- Enfriamiento

Calor removido:

$$\text{Calor removido} = \\ \frac{(\text{cantidad de material total}) * (\text{energía requerida por el material})}{(\text{ciclo del proceso})}$$

Ecuación empírica para determinar el flujo del agua requerido del chiller:

$$\text{gpm} = \frac{24 * (\text{toneladas de chiller})}{\Delta T}$$

Donde:

- gpm = galones por minuto de agua
- tonelada de chiller = toneladas de chiller requeridas para enfriar el molde
- Delta T = temperatura saliendo del molde – temperatura entrando ($^{\circ}\text{F}$)

Tiempo de enfriamiento extendido:

$$\text{Tiempo de enfriamiento extendido} = \\ \text{tiempo de enfriamiento recomendado} \times 1.3$$

Método calculado para determinar el tiempo de enfriamiento (E):

$$E = -\frac{G^2}{2\pi\alpha} \ln \left(\frac{\pi (T_x - T_M)}{4 (T_m - T_M)} \right)$$

Donde:

T_x = temperatura de deflexión

T_M = temperatura del molde

T_m = temperatura del fundido

G = grosor de la pieza

α = difusividad térmica

Material	α	T_m (°F)	T_M (°F)	T_x (°F)
ABS	0.000185	475	135	203
CA, CAP	0.000181	400	110	192
CAB	0.0002	400	110	201
HIPS	0.000059	440	85	185
IONOM	0.000148	440	85	125
LDPE	0.000176	390	75	113
MDPE	0.000194	340	75	155
HDPE	0.000217	480	75	186
PA 6, 6/6	0.000109	530	150	356
PC	0.000132	560	180	280
PET	0.000138	540	120	153
PP	0.000077	470	105	204
PPO/PS	0.000144	530	185	234
PPS	0.000166	630	210	210
PS g.p.	0.000087	420	85	180
PSU	0.000149	700	250	345
PVC	0.000107	380	85	156
PVCrig	0.000123	380	85	174
SAN	0.000088	450	150	225

Pérdida de presión (Delta P) y la pérdida de temperatura del agua (Delta T):

$$\text{Delta } P =$$

presión del agua entrando – presión del agua saliendo

$$\text{Delta } T =$$

temperatura del agua saliendo – temperatura del agua entrando

3- Prensa

Fuerza de cierre:

Fuerza de cierre = (factor de presión del fundido) x (área proyectada)

tonelada USA = 2000 lbf

tonelada métrica = 1.10 x tonelada USA

tonelada USA = 8.90 kilo-Newtons (kN)

tonelada métrica = 9.81 kilo-Newtons (kN)

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

Cálculo de pared fina, PF:

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:

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

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)

Fuerza de cierre adicional resultante de la acción lateral:

Estas cuñas son fabricadas con un ángulo, ϕ , 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 prensa:

$$\text{Fuerza de resultante de la acción lateral} = \text{fuerza lateral} \times \tan(\phi)$$

4- Unidad de inyección

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 = 1 g/cm³ a temperatura ambiente.

Velocidad y flujo de inyección:

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

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

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

Utilización del barril:

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

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

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

Posición de plastificación:

La posición de plastificación es el lugar hasta donde debe cargar el tornillo para llenar el molde.

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

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/cm^3)

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

D = diámetro del tornillo de inyección (cm)

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 o a consecuencia de filtraciones entre la anilla y el barril.

Densidad de descarga:

Esta densidad 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.

La densidad de descarga 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:

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

Donde:

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

$$\text{Largo} = \text{posición de plastificación} - \text{posición del colchón}$$

El peso de inyección se obtiene pesando las partes moldeadas más la colada (si existe).

$$\text{Densidad de descarga} =$$

$$\frac{\text{peso total de inyección}}{((\text{diámetro del tornillo})^2 * \pi/4) * (\text{pos. de plastificación} - \text{pos. del colchón})}$$

Si se sabe la densidad de descarga, las ecuaciones de desplazamiento de inyección y la posición de inyección se verían así:

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

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

Donde:

ρ_d = densidad de descarga (g/cm^3)

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

D = diámetro del tornillo de inyección (cm)

Reología por potencia:

Potencia pico – la potencia máxima alcanzada por la unidad de inyección, normalmente al momento de la transferencia (cambio de inyección a empaque).

Potencia pico =

flujo de inyección promedio x presión al momento de la transferencia

Flujo de inyección promedio – Este flujo es una función del volumen inyectado durante la etapa de inyección y del tiempo de inyección.

Flujo de inyección promedio =
volumen de inyección / tiempo de inyección

Reología por viscosidad:

Cambio de velocidad V_x en la dirección Y ;

Velocidad cambiante = $\dot{\delta} = \frac{\text{cambio de velocidad}}{\text{distancia}} = \frac{\Delta V_x}{\Delta y}$

Esfuerzo cortante = viscosidad x velocidad cambiante
 $\tau = \mu \times \dot{\delta}$

Viscosidad aparente = presión plástica x tiempo de inyección

Velocidad cambiante aparente = $\frac{1}{\text{tiempo de inyección}}$

Razón de intensificación, R_i =
presión plástica, P_p / presión hidráulica, P_H

$$\begin{aligned}\mu_R &= P_H R_i T \\ \mu_R &= P_p T\end{aligned}$$

Reología aproximada:

Inicio de meseta de tiempo de inyección

$$T_{meseta} = T_{min} + (T_{max} - T_{min}) / 9$$

Industrias de moldeo convencional

$$T_{intermedio} = T_{min} + (T_{max} - T_{min}) / 18$$

Industrias que moldean materiales sensitivos

$$T_{mat. sensitivo} = T_{min} + (T_{max} - T_{min}) / 12$$

Industrias de alto volumen de inyección

$$T_{rápido} = T_{min} + (T_{max} - T_{min}) / 36$$

Donde:

T_{min} = tiempo de inyección correspondiente a la velocidad máxima de inyección

T_{max} = tiempo de inyección correspondiente a la velocidad mínima de inyección

T_{meseta} = tiempo de inyección donde se inicia la meseta en la gráfica

Balance del llenado:

Suma del peso de todas las cavidades:

$$W_T = \sum_{\# cav.}^1 W_i, i = 1 \text{ a } \# \text{ cavidades}$$

Desviación del volumen por cada cavidad, Vd_i

$$Vd_i = \left[\frac{W_i}{(W_T / \# cavities)} - 1 \right] 100\%, i = 1 \text{ a } \# \text{ cavidades}$$

% volumen inyectado por etapa:

$$\frac{\% \text{ volumen en la etapa de inyección} = \\ \text{posición de plastificación} - \text{posición de transferencia}}{\text{posición de plastificación} - \text{posición del colchón}} * 100\%$$

En caso de que esté utilizando un control con parámetros **Universales** y trabaje con volumen en lugar de posición, aplique esta fórmula:

$$\frac{\% \text{ volumen en la etapa de inyección} = \\ \text{volumen de plastificación} - \text{volumen de transferencia}}{\text{volumen de plastificación} - \text{volumen del colchón}} * 100\%$$

$$\% \text{ volumen en la etapa de empaque} = \\ 100\% - \% \text{ volumen en la etapa de inyección}$$

IV - Procedimiento General para Moldeo UniversalTM

I. Cálculos y Datos Iniciales

1. Determine fuerza cierre → _____
2. Determine volumen de inyección requerido → _____
3. Seleccione un ciclo aproximado total → _____
4. Determine consumo aproximado de resina por hora → _____

5. Marca y tipo de resina → _____
6. Marca y tipo de colorante → _____
7. % de colorante → _____
8. % de picado → _____

II. Equipo Auxiliar

1. Control de temperatura de agua
Determine los gpm de agua al molde → _____
Seleccione una temperatura de agua inicial → _____
2. Secadora
Determine el volumen de la tolva → _____
Determine el flujo de aire seco → _____
Temperatura de secado → _____
3. Dosificador de colorante
% de pigmento requerido → _____
Determine consumo de pigmento/hora → _____
4. Dosificador de picado
% de picado requerido → _____
Determine consumo de picado/hora → _____

III. Datos del Molde y Máquina

1. Medida horizontal → _____ < _____ entre barras
2. Medida vertical → _____ < _____ entre barras
3. Medida cerrado → _____ > _____ apertura mínima
4. Medida abierto → _____ < _____ apertura máxima
5. Patrón de los expulsores → _____ = _____

IV. Verifique la Capacidad de la Máquina Inyectora

1. Unidad de inyección
Determine el % de utilización, %U → _____
Determine la posición de transferencia → _____

Determine el correspondiente perfil de temperatura →

_____ / _____ / _____ / _____

Determine la contrapresión. Ej: 750 psi plástica (máquina = plástica/ R_i)

Calcule la posición de plastificación aproximada →

2. Boquilla

Largo → _____

Diámetro agujero → _____

Radio de contacto → _____

3. Casquillo

Diámetro agujero → _____

Radio de contacto → _____

V. Ajustes Iniciales del Proceso

1. Encienda y ajuste los equipos auxiliares

Secadora

Controlador de temperatura de agua

Dosificador de colorante

Control de temperaturas de la colada caliente

2. Unidad de Inyección

Encienda y ajuste las temperaturas del barril

Ajuste la contrapresión

Ajuste la velocidad plastificación (ejemplo 30%)

Ajuste la posición de plastificación aproximada

Ajuste el tiempo de enfriamiento extendido

3. Ajustes de Platinas

Ajuste las posiciones y velocidades de apertura del molde

Ajuste la protección del molde

Ajuste los movimientos de los expulsores

Ajuste los movimientos de noyos si los tiene

VI. Determinación de Parámetros de Máquina

(después que los equipos auxiliares estén listos y las temperaturas sean alcanzadas)

1. Llenado

Determine la presión de inyección límite → _____

Encuentre el tiempo de inyección ideal → _____

Reajuste la unidad de inyección a que llene cerca de un 95%

Anote la posición de plastificación final → _____

- Haga el balanceo del flujo
2. Empaque

Encuentre la presión de empaque → _____
 Determine el tiempo de empaque → _____
 3. Enfriamiento

Encuentre la temperatura de agua al molde
 Fijo/Movible → _____ / _____
 Encuentre el tiempo de enfriamiento → _____
 4. Plastificación

Ajuste la velocidad de plastificación de acuerdo al tiempo de enfriamiento
 Anote el tiempo de plastificación → _____
 5. Recalcule los equipos auxiliares con el nuevo ciclo total encontrado

VII. Convierta a Parámetros Universales

Equipo Auxiliar

1. *Control de temperatura de agua (gpm/lpm) de agua al molde* → _____
Temperatura de agua al molde Fijo/Movible → _____ / _____
2. *Secadora*
Volumen de la tolva → _____
Flujo de aire seco → _____
Temperatura de secado → _____
3. *Dosificador de colorante, % de pigmento* → _____
Consumo de pigmento por hora → _____
4. *Dosificador de picado, % de picado* → _____
Consumo de picado por hora → _____

Datos del molde

1. *Medida horizontal* → _____
2. *Medida vertical* → _____
3. *Medida cerrado* → _____
4. *Medida abierto* → _____
5. *Patrón expulsores* → _____
6. *Material* → _____
7. *Colorante* → _____

Máquina inyectora – (m) máquina / (u) Universal

1. *Fuerza cierre* → _____

2. Ciclo total → _____
3. Consumo de resina por hora → _____
4. Platinas de la prensa
Espacio horizontal entre barras → _____
Espacio vertical entre barras → _____
Verifique el patrón de expulsores → _____
Apertura máxima → _____
Apertura mínima → _____
5. Ajustes de Platinas
Posición de apertura del molde → _____
Tiempo de apertura y cierre del molde → _____
6. Inyección
% de utilización → _____
Presión de inyección límite → (m) _____ (u) _____
Velocidad de inyección ideal → (m) _____ (u) _____
Posición del cambio → (m) _____ (u) _____
Posición de plastificación → (m) _____ (u) _____
Perfil de temperatura → _____ / _____ / _____ / _____
7. Empaque
Presión de empaque → (m) _____ (u) _____
Tiempo de empaque → _____
8. Enfriamiento
Temperatura de agua al molde Fijo/Movible → _____ / _____
Tiempo de enfriamiento → _____
9. Plastificación
Velocidad de plastificación → _____
Tiempo de plastificación → _____
Contrapresión → (m) _____ (u) _____

V - Términos en Inglés al Español

auger	tornillo sin fin
backpressure	contrapresión
barrel	barril
barrier screw	tornillo con barrera
blower	bomba
boost to hold	de inyección a empaque
cavity	cavidad
check ring	anilla
chiller	equipo de refrigeración
cold slugs	pedazos fríos
cores	noyos
cushion	colchón
dew point	temperatura de condensación/ temperatura de rocío
discharge factor	densidad de plastificación
drying hopper	tolva de secado
eject-on-the-fly	expulsión mientras el molde abre
ejector pins	botadores
ejector plates	platos de expulsión
fill time	tiempo de inyección
flash	rebaba
gate	bebedero
gate freeze	endurecimiento de bebederos
hold	empaque
hold pressure	presión de empaque
hold time	tiempo de empaque
hot runner	colada caliente
hot drop/hot tip	punta caliente
injection rate	flujo de llenado
injection screw	tornillo de inyección
injection speed	velocidad de llenado
jetting	chorreo
manifold	distribuidor
melt flow	flujo del fundido
melt flow number	índice de fluidez
melt pressure	presión del fundido
melt temperature	temperatura del fundido

mold protect	protección del cierre del molde
molecular weight	peso molecular
nozzle	boquilla
nozzle tip	punta de la boquilla
parting line	partición del molde
pellet	gránulo
plastic residence time	tiempo de residencia
recovery	plastificación
robot	brazo mecánico
runners	coladas
shear rate	cambio cortante/ velocidad cambiante
shear stress	esfuerzo cortante
shear thinning	licuar por fricción
shot size	volumen de llenado/volumen de la unidad de inyección
sprue	palo
sprue bushing	casquillo
stack mold	molde doble
stress	esfuerzo
suck-back	rechupe
tie bars	máquina con barras
tiebarless	máquina sin barras
transfer point	posición de transferencia
transfer pressure	presión de transferencia
valve gate	válvulas de bebederos
vents	ventosas

VI - Términos en Español al Ingles

anilla	check ring
barril	barrel
bebadero	gate
bomba	blower
boquilla	nozzle
botadores	ejector pins
brazo mecánico	robot
cambio cortante/ velocidad cambiante	shear rate
casquillo	sprue bushing
cavidad	cavity
chorreo	jetting
colada caliente	hot runner
coladas	runners
colchón	cushion
contrapresión	backpressure
de inyección a empaque	boost to hold
densidad de plastificación	discharge factor
distribuidor	manifold
empaque	hold
endurecimiento de bebaderos	gate freeze
equipo de refrigeración	chiller
esfuerzo	stress
esfuerzo cortante	shear stress
expulsión mientras el molde abre	eject-on-the-fly
flujo de llenado	injection rate
flujo del fundido	melt flow
gránulo	pellet
índice de fluidez	melt flow number
licuar por fricción	shear thinning
máquina con barras	tie bars
máquina sin barras	tiebarless
molde doble	stack mold
noyos	cores
palo	sprue
partición del molde	parting line
pedazos fríos	cold slugs
peso molecular	molecular weight
plastificación	recovery
platos de expulsión	ejector plates

posición de transferencia	transfer point
presión de empaque	hold pressure
presión de transferencia	transfer pressure
presión del fundido	melt pressure
protección del cierre del molde	mold protect
punta caliente	hot drop/hot tip
punta de la boquilla	nozzle tip
rebaba	flash
rechupe	suck-back
temperatura de condensación/ temperatura de rocío	dew point
temperatura del fundido	melt temperature
tiempo de empaque	hold time
tiempo de inyección	fill time
tiempo de residencia	plastic residence time
tolva de secado	drying hopper
tornillo con barrera	barrier screw
tornillo de inyección	injection screw
tornillo sin fin	auger
válvulas de bebederos	valve gate
velocidad de llenado	injection speed
ventosas	vents
volumen de llenado/volumen de la unidad de inyección	shot size

VII - Costos Operacionales

Costo operacional por hora, con operador más ganancia (moldeadores Norteamericanos)							
Fuerza en toneladas Norte Americanas	<50	50-99	100-299	300-499	500-749	750-999	1000-1499
Promedio (US\$/hr)	\$33.31	\$35.24	\$41.92	\$52.13	\$68.14	\$83.22	\$110.28
Promedio (US\$/seg.)	\$0.009	\$0.010	\$0.012	\$0.014	\$0.019	\$0.023	\$0.031
							1500-1999
							2000-2999
							3000+

Nota: - valores son una referencia, para valores más exactos consulte a su departamento de finanzas.
- se presume que de un 10 a 15% en ganancias está incluido.

(Utilizar únicamente para estimar mejorías en productividad, en US\$)

Nota: El costo se podría dividir en tres partidas, Básicos, Opcionales y Especiales.

Básicos	Opcionales	Especiales
Depreciación	Robot	Cuarto limpio clase 8
Edificio	TCU	Inspección o QC
Intereses	Equipo de empaque	Asistencia ingenieril
Mantenimiento	Inyectora especial; LIM, dos colores, alta velocidad, ...	Soporte en herramiental
Electricidad	Grúa	Pruebas de material
Agua	Cambio de molde rápido	Equipo de empaque y etiquetado
Misceláneos	Tornillo especial	Manejador de producto especial
Labor	Dosificador	Almacenamiento de molde
Beneficios marginales		Mantenimiento de moldes
Inspección y QC		
Material		
Desperdicios		
Servicios secundarios		
Molde		
“Overhead”		
Ganancia		

Bibliografía

A. Brent Strong, 2000, “Plastics Materials and Processing”, ISBN: 0-13-021626-7
Application Engineering, 1981, “Application Manual Water Group Products”
Douglas C. Montgomery, 2001, “Design and Analysis of Experiment”, Arizona State University, ISBN 0-471-31649-0
Georg Menges and Paul Moren, 1993, “How to Make Injection Molds”, Society of Plastics Engineers, ISBN 3-446-16305-0
Hansjurgen Saechting , 1992, “Saechting International Plastic Handbook”, Society of Plastics Engineers, ISBN 3-46-14924-4
Jay Carender, 1997, “Injection Molding Reference Guide”, Advance Process Engineering
John Bozzelli, Jan 1998, “Process Optimization and Setup-card Data Requirements”, Cycleset
John Bozzelli, Jan. 1997, “How to Set First-Stage Pressure”, Plastics World
Lawrence E. Nielsen and Robert F. Landel, 1994, “Mechanical Properties of Polymers and Composites”, ISBN 0-8247-8964-4
Peter Kennedy, 1995 “Flow Analysis of Injection Molds”, ISBN:1-56990-181-3
R. J. Young and P. A. Lovell, 1991, “Introduction to Polymers”, ISBN: 0-412-30640-9
Shiro Matsuoka, 1992, “Relaxation Phenomena in Polymers”, Society of Plastics Engineers
Thermoplastic Troubleshooting Guide, 2000, Ashland Distribution Company
Thomas Pyzdek and Roger W. Berger, 1992, “Quality Engineering Handbook”, ISBN: 0-8247-8132-5
Tony Whealan and John Goff, 1994, “The Dynisco Injection Molders Hand Book”, Dynisco Instruments
ULF W. Gedde, 1995, “Polymer Physics”, ISBN 0-412-62640-3

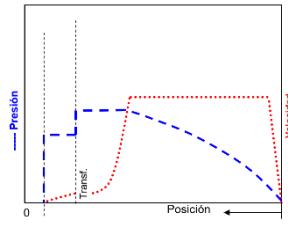
Contestaciones

II. Parámetros del proceso de inyección

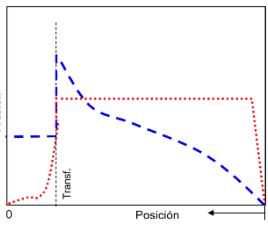
- 1) b. 2) b. 3) c. 4) b, c. 5) a. 6) b. 7) b, d. 8) a, d. 9) a. 10) b. 11) c, d.
12) b, c, d. 13) a. 14) b. 15) b. 16) b. 17) a. 18) b, c, d.

III. Gráficas del proceso

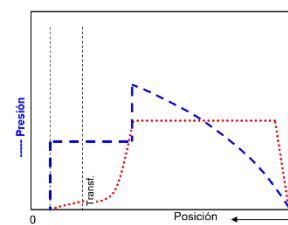
- 1) b. 2) b. 3) c. 4) b. 5) c. 6) a. 7) c. 8) c. 9) b.
10)



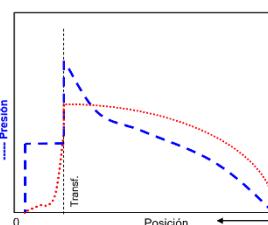
d) presión limitada



a) cero cojín



c) transferencia prematura



b) velocidad programada no fue alcanzada

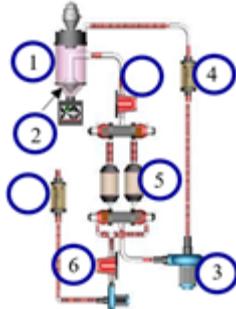
IV. Morfología de plásticos

- 1) b. 2) c. 3) c. 4) a. 5) c. 6) c. 7) c.

V. Equipos Auxiliares

- 1) b. 2) c. 3) a, c, e. 4) b. 5) a. 6) b. 7) c. 8) b. 9) b. 10) a. 11) a.
12) b. 13) b. 14) a.

15)



Dosificación y manejo se materiales

- 1) b. 2) a.

Control de temperatura de agua al molde

- 1) b. 2) b. 3) c. 4) a. 5) b. 6) a.

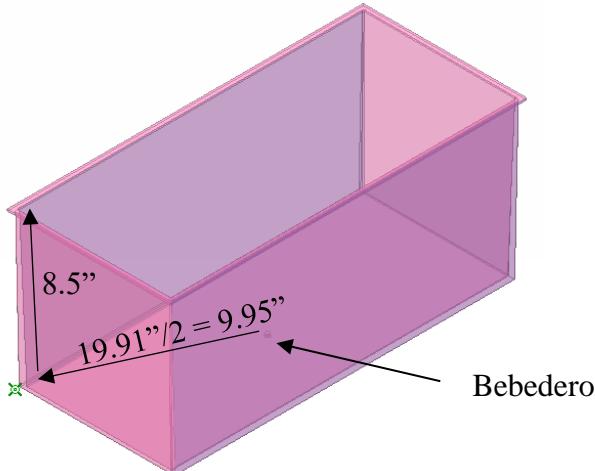
VI. Moldeo Desde el Escritorio

- 1) b. 2a) b. 2b) a. 2c) a. 3) d.

Tamaño de la unidad inyección

- 1) b. 2) a. 3) a. 4) a. 5) a. 6) c. 7) a. 8) d.
9a) Area = 19.4in x 8.9in = 173 pulg²

9b)



Trayecto más distante = $8.5'' + 9.95'' = \mathbf{18.45''}$

Grosor más estrecho en el trayecto = **0.08"**

Pared Fina = $18.45''/0.08'' = \mathbf{230}$

PF = $230 > 200$; el factor de fuerza sería **2.5 ton/pulg²**

9c) Fuerza de cierre requerida = $173\text{pulg}^2 \times 2.5 \text{ ton/pulg}^2$
= **433 toneladas de fuerza USA** (1 ton = 2000 lb)

9d) Consumo = $1100/50\text{s} \times 3600\text{s}/1\text{h} \times 1 \text{ lb}/454 \text{ gr} = \mathbf{174 \text{ lb/h}}$

9e) Volumen requerido = $1100\text{gr}/0.92\text{gr/cc} = \mathbf{1196 \text{ cc}}$

9f) %U = $1196\text{cc}/2480\text{cc} = \mathbf{48\%}$

9g) ton_{enf.} = $174 \text{ lb/h} / 50 \text{ lb/h/ton} = \mathbf{3.5 \text{ ton}_{\text{enf}}}$

9h) gpm = $3.5 \text{ ton}_{\text{enf}} \times 24 / 3^{\circ}\text{F} = \mathbf{28\text{gpm}}$

9i) %U = 48% y está entre 35% y 65%.

La trasferencia estaría entre 12mm y 25mm.

Transferencia = $25\text{mm} - 13\text{mm} (0.48-0.65)/0.3 = \mathbf{17.6\text{mm} = 0.69\text{in}}$

9j) Posición de plastificación = $1.27W/\delta D^2 + \text{transferencia}$
= $1.27 * 1100\text{gr}/[0.92\text{gr/cc} * (9\text{cm})^2] + 1.76\text{cm} = \mathbf{20.51\text{cm} = 8.07\text{in}}$

9k) Iniciar con un **700 psi (47 bar)** presión plástica.

9l) 5% del llenado = $0.05 * 8.07\text{in} = \mathbf{0.4 \text{ in}}$

9m) De la ficha técnica del material = **410°F**

9n) De una ficha técnica de un PS genérico:

Injection	Nominal Value	Unit
Rear Temperature	424 to 480	°F
Middle Temperature	424 to 480	°F
Front Temperature	390 to 415	°F
Nozzle Temperature	415 to 469	°F
Mold Temperature	60 to 150	°F

Dado a que el $\%U$ es casi 50% utilizar el promedio.

zona de dosificación = zona de compresión = zona de alimentación =

452°F

boquilla (“nozzle”) = $(415^{\circ}\text{F} + 469^{\circ}\text{F})/2 = \mathbf{442^{\circ}\text{F}}$

9o)

U _{ss}	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

Tiempo de residencia (ciclos) = **3 ciclos**

Tiempo de residencia (s) = 3 ciclos x 50s/ciclos = **150 segundos**

9p) Consumo = 174 lb/h

$$\begin{aligned} \text{Volumen tolva secadora} &= 174 \text{ lb/h} \times 2 \text{ horas} / 35 \text{ lb/pies}^3 \\ &= \mathbf{9.94 \text{ pies}^3 = 281.5 \text{ litros}} \end{aligned}$$

9q) Flujo de aire seco = $174\text{lb/h} \times 0.75 \text{ cfm/(lb/h)} = \mathbf{130.5 \text{ cfm}}$

10) c.

VII. Reología en máquina

- 1) b. 2) c. 3) c. 4) b. 5) c. 6) a. 7) a.

VIII. Determinación de la Velocidad de Inyección

- 1) a. 2) b. 3) b. 4) a. 5) b. 6) a, c. 7) b. 8) b, c. 9) c. 10) d.

IX. Verificación del Balance del Llenado

- 1) c. 2) b. 3) a. 4) a. 5) d. 6) b. 7) a. 8) b.

X. Determinación de Parámetros en la Etapa de Empaque

- 1) a. 2) b. 3) b. 4) c. 5) a. 6) a, c. 7) b. 8) a. 9) c. 10) a.

XI. Determinación de Parámetros en la Etapa de Enfriamiento

- 1) b. 2) b. 3) d. 4) a. 5) a. 6) a. 7) d. 8) b.**

9)

$$\frac{\bar{D}_C + \beta_0 T_M + \beta_1 t + \beta_2 T_F + \beta_3 T_M t + \beta_4 T_M T_F + \beta_5 t T_F + \beta_6 T_M T_F t}{(1)(5)(2)(4)} \quad (3)$$

XII. Límites del Proceso

- 1) a. 2) b. 3) a. 4) a. 5) b.**

Índice

A

agua entrando, 119
aire seco, 76, 95
aleatorio, 264
amorfos, 59
anilla, 23
apertura máxima, 145
apertura mínima, 145
área proyectada, 129

B

bebederos, 22, 32, 67, 254
bomba, 82
boquilla, 25, 153
burbujas, 73, 285

C

cálculos, 127, 148
calor removido, 109
cambio cortante (*shear stress*), 182
cargador de resina, 81
casquillo, 150
cavidad, 113, 138, 231
centro de mezclado, 106
chiller, 123
chorreo (*jetting*), 287
circuito de regeneración, 84
circuito de secado, 82
cojín, 33, 44
colada, 22, 130, 236, 254
colada caliente (*hot runner*), 48
colchón, 33, 49, 159, 251
comité Universal, 16
consumo de material, 95, 108
contestaciones, 314
contrapresión, 25, 36, 160, 174
core (noyo), 25, 38

D

datos Universales, 292
delaminación, 288
Delta T, 111
densidad, 156, 297
densidad específica, 156, 297
densidad granel, 79
densidades, 93
desbalance, 235
descoloramiento, 286
descompresión, 25
desplazamiento, 160, 298
diagrama PVT, 54
dimensiones de masa, 22, 32, 49
dimensiones térmicas, 24
dosificación, 100, 171
dosificación directa, 100
dosificación gravimétrica, 103
dosificación volumétrica, 100
dosificador, 100

E

efecto fuente, 155
empaque (*pack*), 21, 68, 210, 244, 252, 292
encogimiento, 20, 65, 290
endurecimiento de bebederos, 22, 49, 252
enfriamiento, 24, 34, 118, 253, 270
esfuerzo, 153
esfuerzo cortante, 182, 300
esfuerzo cortante (*shear stress*), 183
espacio de la prensa, 143
espacio en platinas, 144
etapa de empaque, 31
etapa de enfriamiento, 22, 260
etapa de plastificación, 26
expulsores, 146

F

factores, 128, 271
filtro, 82
flujo de agua, 111

flujo de aire, 75, 95
flujo de inyección, 19, 46, 156, 186, 300
flujo del fundido, 287
fuerza de cierre, 25, 39, 128, 296, 316
fuerza lateral, 139
fuerza resultante, 140, 297

G

gasificación, 290

H

hot drops, 238
hot runner, 238
hot runner (colada caliente), 48
humedad, 75, 76
hundimientos, 289

I

Inyección, 19

J

jetting (chorreo), 287

L

laboratorio de **Moldeo Universal™**, 208, 231, 243, 270

límite

alto del cojín, 279
bajo del colchón, 278
contrapresión, 279
presión máxima de inyección, 278
tiempo de plastificación, 279

líneas de flujo, 19, 287

llenado, 159, 213, 231

M

molde doble (*stack mold*), 142
Moldear con gráficas, 44
moldeo desde el escritorio, 141
Moldeo Universal™, 16, 66, 192, 206, 261
moldes de tres platos, 141
movimientos de la prensa, 38

N

nebulosidad, 287
normalizar, 199
noyo (core), 25, 38

P

pack (empaque/*hold*), 21, 31, 68, 210, 244
pandeamiento, 290
parámetros de inyección, 29
parámetros de máquina, 28
parámetros Universales, 16, 28, 156
paredes, 136
patrón de expulsores, 143
perfil de temperaturas, 171
plastificación, 24, 35, 148
posición de plastificación, 25, 161
posición de transferencia, 30, 44, 161, 210, 298

potencia, 17, 186, 218, 220
potencia pico, 186, 193, 222, 300
preguntas, 40, 56, 70, 96, 107, 125, 147, 177, 203, 228, 240, 256, 274
presión de empaque, 23, 243
Presión de empaque, 292
presión de transferencia, 30, 192
presión del fundido, 23, 36, 128, 138
presión limitada, 51
presión límite, 19
punta de la boquilla, 150

Q

quebradizas, 285
quemaduras, 19, 208, 286

R

razón de intensificación, 175
rebaba, 19, 51, 287
recámara secante, 83
rechupe, 20
regeneración, 85
reología aproximada, 18, 192, 218
reología completa, 18, 218
reología en máquina, 17, 186
residencia, 164
resistencia de calor, 84, 121
rigidez, 24, 60

S

- secado, 73, 91
- secadora, 77
- secante, 82
- semi-cristalinos, 59
- shear stress (esfuerzo cortante), 183
- sistema gravimétrico, 103
- sistemas de secado, 87
- stack mold (molde doble), 142

T

- tamaño de la unidad de inyección, 148
- TCU, 118
- temperatura de condensación, 74, 86
- temperatura de secado, 74
- temperatura del fundido, 25, 54
- temperatura del molde, 264
- termoestables, 59
- termoplásticos, 59, 150
- T_g , 60
- tiempo de empaque, 254
- Tiempo de empaque, 292
- tiempo de enfriamiento, 116, 244
- tiempo de inyección, 17, 69, 186, 200, 213
- tiempo de residencia, 79, 164
- tiempo de secado, 76
- tiro incompleto, 288
- tolva secadora, 77, 90
- torcimiento, 290

- tornillo, 19, 164
- transferencia por posición, 30
- transferencia prematura, 51

U

- unidad integrada, 88
- unidad inyección, 17
- unidad portátil, 87
- unión de flujos, 286
- utilización del barril, 158, 298

V

- válvula proporcional neumática, 105
- velocidad, 19, 25, 53, 184, 232
- velocidad cambiante, 184, 198
- velocidad de inyección, 19, 156, 220, 232
- velocidad de plastificación, 25
- viscosidad, 19, 182, 191
- viscosidad aparente, 191, 300
- volumen de inyección, 186

Z

- zona de control de velocidad, 46
- zona de empaque, 47
- zona de plastificación, 50
- zonas de calor del barril, 171

Opiniones de Expertos

“Moldeo Universal™ es en República Dominicana una plataforma esencial para el desarrollo de los moldeadores dominicanos y la industrial local se hace eco cada vez más aplicando los conocimientos en el mejoramiento de sus procesos.”

***Miguel Calcaño, Plastics Consultant
HDI Inc., Republica Dominicana***

“Uno de los placeres más grandes de Wallyco siempre fue la investigación y desarrollo profesional de jóvenes puertorriqueños. Si no me equivoco fue para el año 2000 que proveímos resina y tiempo de maquina a estudiantes del Phd. Ivan Baiges entre los que recuerdo a Roberto Pastor. Días de más preguntas que respuestas, que sentaron las bases para corroborar o desmentir cuentos de moldeadores y entender la ciencia detrás de la técnica. Si ciencia, no magia, caja negra o arte oscuro. Una vez verificada la técnica, gracias a la ayuda de personas como los PhD. Gregorio Velez e Ivan, se reduce a su esencia mínima y se desarrollaba un proceso, verificado, de mejores prácticas. Escrito al nivel de su usuario, la persona que tiene que mejorar el proceso sin educación formal. Son muchos los cambios del 2000 al día de hoy y seguirán pues **Moldeo Universal™** todavía tiene mucho que descubrir y enseñar. Es para mí un gran orgullo haber estado en su inicio, haber usado sus procesos y entrenarme como instructor y le deseo a Héctor y a **Moldeo Universal™** que continúen ayudando a la industria del plástico y a todo aquel joven puertorriqueño que quiera mejorarse y hacer “patria” con su desempeño.”

J. Wally Cruz, Empresario e Ingeniero Especialista en Plásticos

“Moldeo Universal™ es una excelente herramienta, no solo para comprender el proceso de moldeo por inyección, sino también para entender el comportamiento de los diferentes tipos de plásticos de una manera sencilla pero siempre con una base científica. Como estudiante de **MU™** y sin ninguna experiencia en el mundo del plástico, logré sentar las bases y fundamentos de moldeo por inyección. Luego como instructor, pude ver como **MU™** ayudaba a tantas personas e industrias a optimizar sus procesos de moldeo con resultados asombrosos, no solo en calidad si no también en economía.”

***Laureano J. Rodríguez, Sr. Account Manager
West Contract Manufacturing***

“A inicios de la primera década del 2000, fui partícipe de la revolución que apenas se gestaba en Costa Rica acerca de cómo establecer proceso científicamente durante mi período laboral en Abbott Laboratories, que luego llegó a ser Hospira, hoy en día ICU Medical. Fue ahí donde se hizo el primer ejercicio de **MUTM** fuera de Puerto Rico, totalmente en español y por primera vez en Costa Rica, encontrando una mejor manera de obtener evidencia objetiva acerca de dónde venían los parámetros validados en el proceso de moldeo por inyección, convirtiendo a **MUTM** como el pionero de esta revolución en CR. Despues de ahí se abrió el curso a otras compañías de la industria en Costa Rica el cual se ha impartido año tras año hasta el día de hoy. Posteriormente, del 2008 al 2014 tuve el privilegio y placer como miembro de HDI Inc de ser partícipe de seminarios y conferencias al lado de Héctor Dilán como expositor.”

**Harold Gamboa Calderón, Sr. Account Manager - Distribution
PolyOne Corporation (Central America and Andean Region)**

“Conocí el **Moldeo UniversalTM** cuando apenas comenzaba mi carrera profesional. Gracias a Héctor y al **Moldeo UniversalTM** logre que mi curva de aprendizaje en el campo del moldeo por inyección fuera una exponencial. Éste me dio las herramientas necesarias para aplicar la ciencia durante el desarrollo de diferentes procesos de moldeo y fue mi base para el futuro de mi carrera en la ingeniería del plástico.

Durante esos primeros pasos con el **Moldeo UniversalTM**, junto a Héctor, logramos desarrollar la Reología por Potencia, la cual se alejaba de la teología por viscosidad, pero a su vez obtenía resultados específicos y en menor tiempo. La Reología por Potencia nos ayuda grandemente a optimizar la etapa de inyección de una manera simple, corta y precisa.

Ya, después de sobre 15 años trabajando en la industria del moldeo por inyección puedo decir que el **Moldeo UniversalTM** es la base y la herramienta de aprendizaje más útil para cualquier persona trabajando en esto.

Héctor, gracias por la confianza y la oportunidad de trabajar contigo cuando apenas comenzaba en la industria.”

**Billy Torres, Technical Services Manager
Microsystems UK**