

# Moldeo Universal™

Método Sistemático de Optimización  
de Moldeo por Inyección

Héctor Dilán

[h\\_dilan@outlook.com](mailto:h_dilan@outlook.com)

# I. Introducción

- ¿Qué es *Moldeo Universal™*?
- Fundamentos del Proceso de Inyección

En esta 1ra parte se pretende hacer que el lector se familiarice con la terminología, con énfasis en aquellos parámetros significativos del proceso y que se establezca el lenguaje a utilizar en el libro. Con el propósito de evitar confusión con palabras regionales el índice III traduce al inglés algunos términos.

## ¿Qué es *Moldeo Universal<sup>TM</sup>*?

*Moldeo Universal<sup>TM</sup>* (*MU<sup>TM</sup>*) 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).

*MU<sup>TM</sup>* 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.

*MU<sup>TM</sup>* 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.

*MU<sup>TM</sup>* 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.

*MU<sup>TM</sup>* 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.

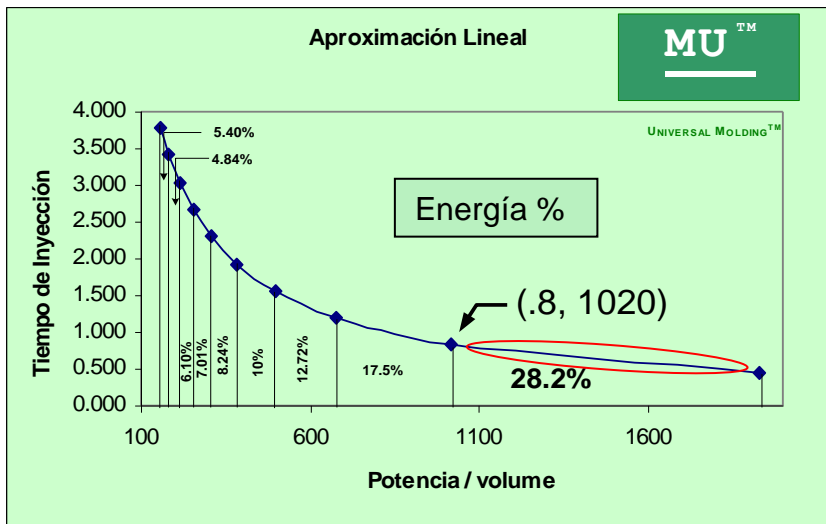
*MU<sup>TM</sup>* es *procedimientos exactos y representativos* del proceso. Cada etapa tiene un procedimiento para determinar parámetros, ya sea por medio de ecuaciones científicas o estadísticas, o por medio de gráficas.

**MU<sup>TM</sup>** 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 significativa 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.

Otra gráfica similar es la gráfica de viscosidad contra velocidad cambiante (“shear rate”), donde la viscosidad del fundido disminuye con el aumento

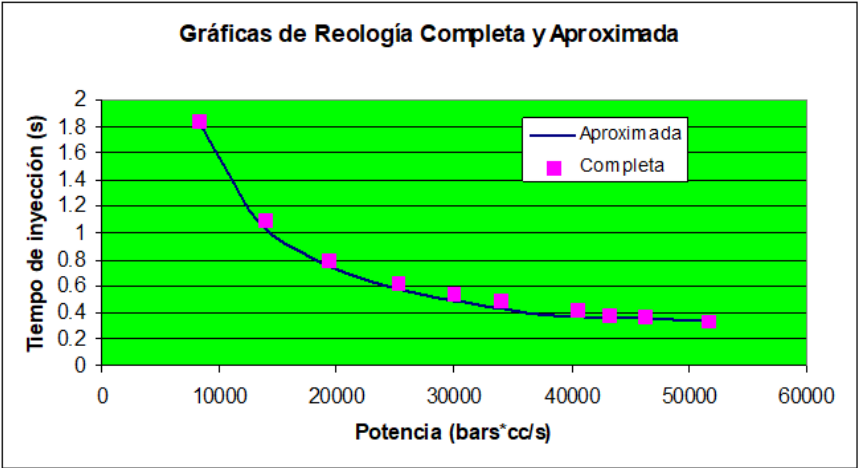
en velocidad cambiante. Este comportamiento se le llama licuar por fricción (“shear thinning”).

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 las siguientes:

- Inyección
- Transferencia
- Empaque
- Endurecimiento de bebederos
- Enfriamiento
- Plastificación

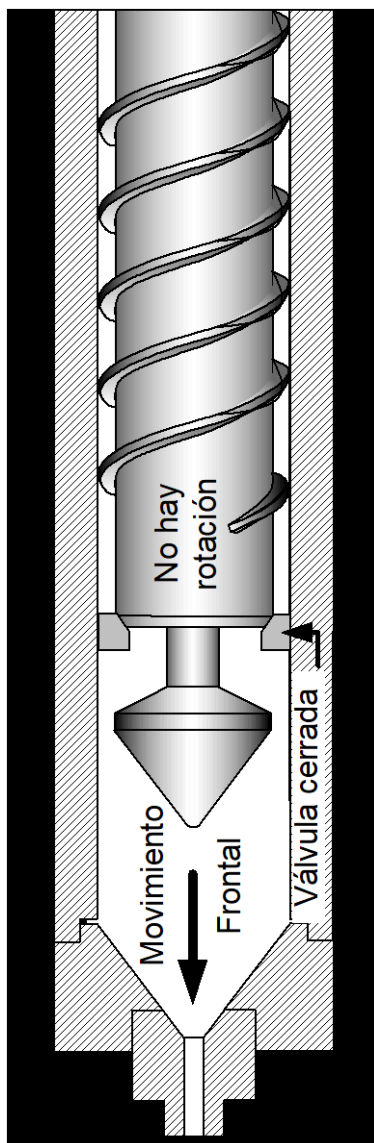
Cada etapa tiene una función y un resultado determinado. Entienda a cabalidad cada una de estas etapas ya que se hará referencia continua a estas definiciones.

**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 herramental 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 rechupe.
- 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 enfría, encogiéndose gradualmente y dejando espacios para más material.



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 transfiere a empaque.

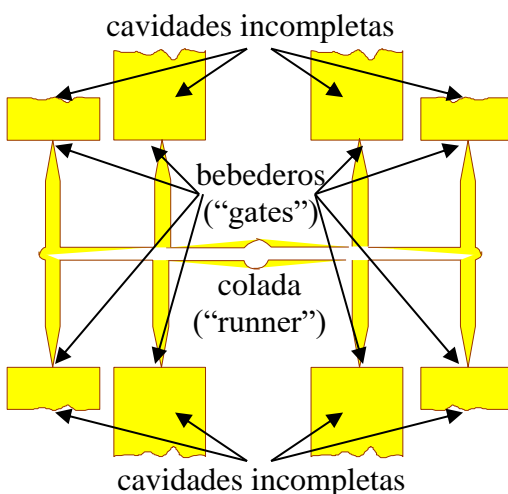
### *I-3. Etapa de inyección*

**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 llenado de las cavidades. Aquí el moldeador manipula la presión de compactación. Durante el empaque se consigue el peso adecuado de las



piezas moldeadas 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.

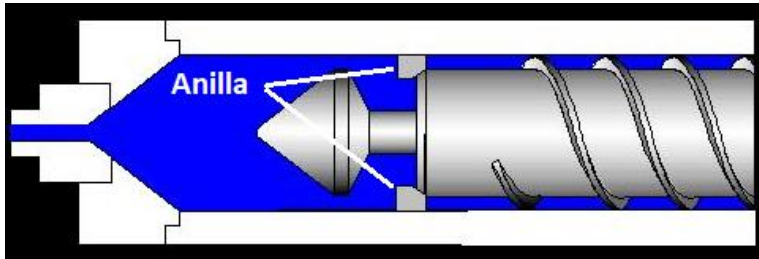


*I-4. Los espacios que el plástico ocupa en un molde*

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 a la unidad de inyección.
- Si se empaque por un tiempo mucho mayor de lo requerido, el moldeador estará “moldeando coladas”.

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 a 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 sensible 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.

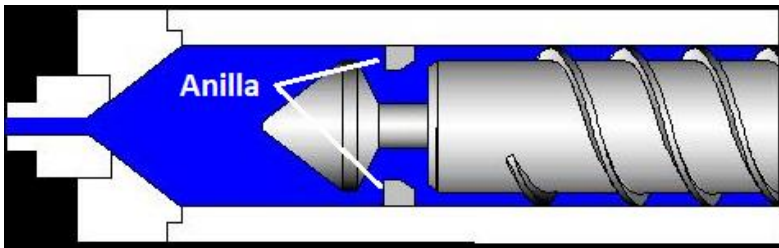
**Enfriamiento** - En esta etapa removemos calor de las partes, hasta obtener piezas que sean desmoldables con unas dimensiones térmicas aceptables. Dimensiones térmicas son dimensiones que son función del encogimiento y no de la cantidad de masa empacada. Las moléculas de un fundido termoplástico están en continuo movimiento; cuando se enfrían 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 mueve, permitiendo el paso del fundido hacia el frente del tornillo.



*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.

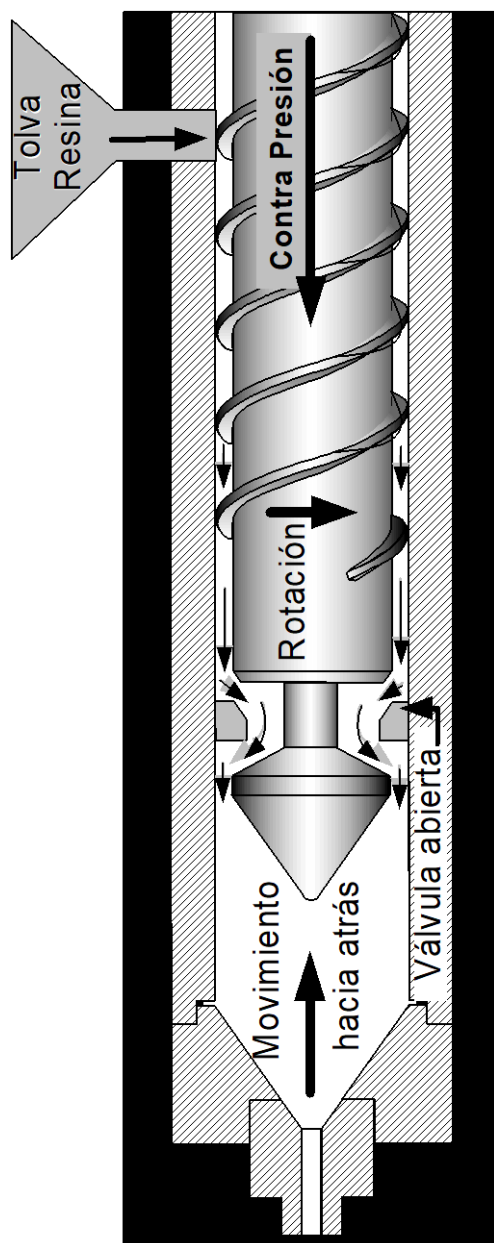
La plastificación sucede al mismo tiempo que la etapa de enfriamiento. Bajo condiciones normales la plastificación termina antes que el enfriamiento y, si el enfriamiento termina antes, el permiso para abrir el molde será denegado por el control. Bajo este evento, donde el permiso de abrir el molde sea 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 retiene 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, el molde 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 contra-presión 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 acelera el proceso de fundido.

I-7. La etapa de plastificación