

## **VII. Reología en Máquina**

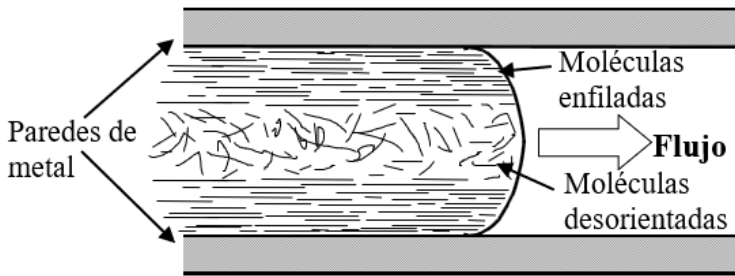
- **Flujo de Plástico Fundido**
- **Esfuerzo Cortante, Viscosidad y Velocidad Cambiante**
- **Reología en Máquina por Potencia**
- **Reología en Máquina por Viscosidad**
- **Reología Aproximada**
- **Ecuación de Predicción del Tiempo de Inyección**

# 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

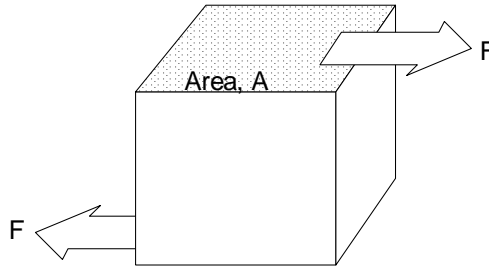
Las moléculas en contacto con el metal tienden a enfilarse, y gran parte se conforman en esa dirección después de solidificadas. Las moléculas que fluyen en el centro de la pieza están desorientadas y permanecen de esta forma una vez solidificadas.

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.



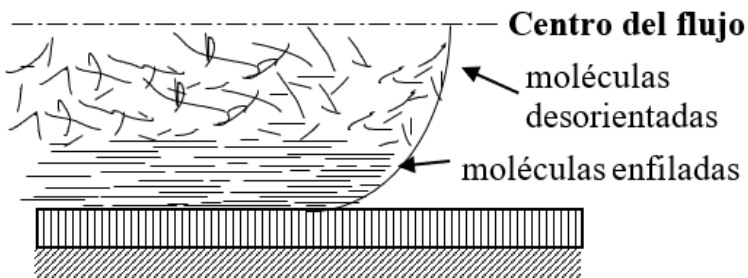
### VII-2. Esfuerzo cortante

Este efecto se define como esfuerzo cortante,  $\tau$ .

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

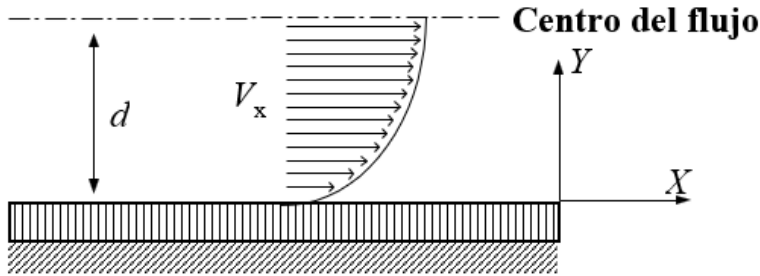
Ahora trate de imaginarse que el cubo es una pequeña masa de un fundido termoplástico expuesto a dos opuestas fuerzas, de magnitud  $F$ .

Se mencionó anteriormente que el fundido termoplástico se rehúsa 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, consideremos 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 ( $\Delta V_x$ ) es igual a 40 km/h. Ahora cuando consideramos la distancia ( $\Delta Y$ ) 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,  $\mu$ ;

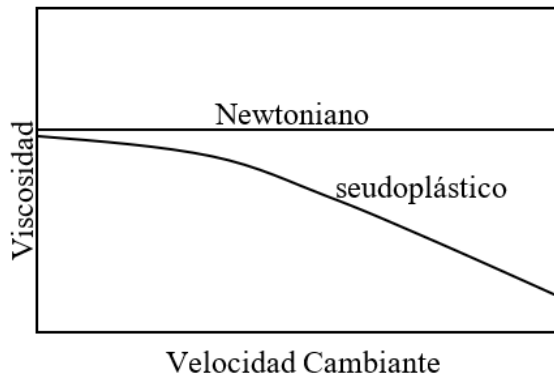
Esfuerzo cortante = viscosidad x velocidad cambiante

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

La viscosidad ( $\mu$ ) se puede visualizar como la oposición al flujo. Explico; si la viscosidad aumenta, incrementa la oposición al flujo o el esfuerzo ( $\tau$ ).

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 pseudoplástico, distinto al flujo Newtoniano donde la viscosidad no se ve afectada por la velocidad cambiante.



#### VII-5. Flujo de fundido Newtoniano y pseudoplástico

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.

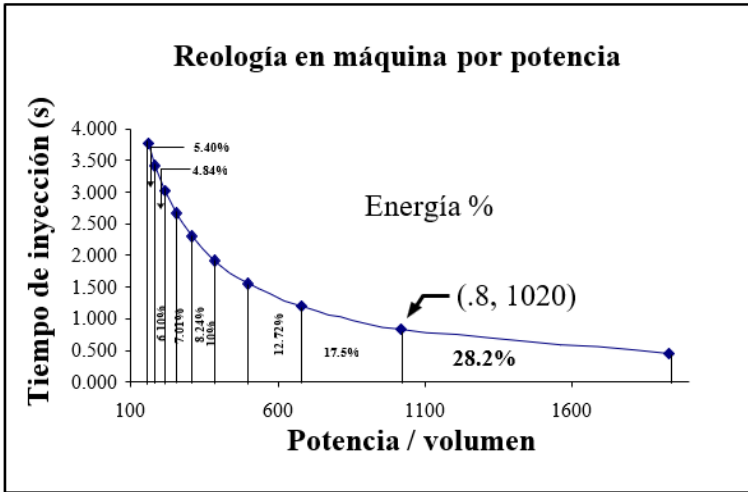
$$\text{Potencia pico} = \text{flujo de inyección promedio} \times \text{presión al momento de la transferencia}$$

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

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

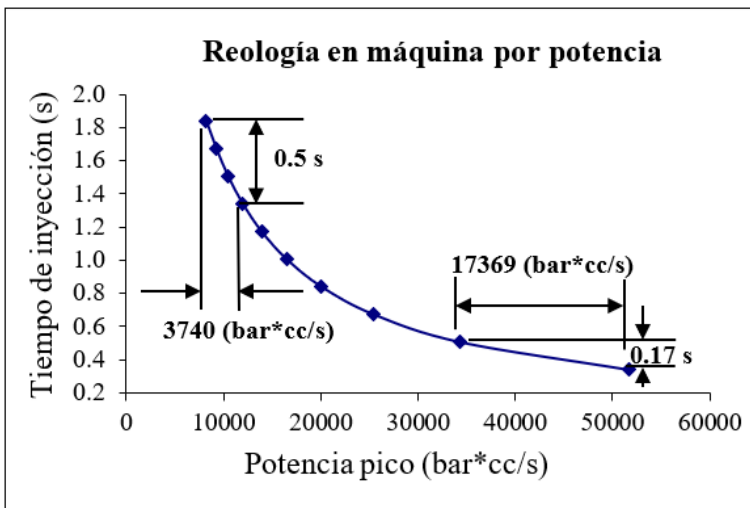
Volumen de inyección – Representa el volumen inyectado desde la posición de plastificación hasta la posición de transferencia.

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.



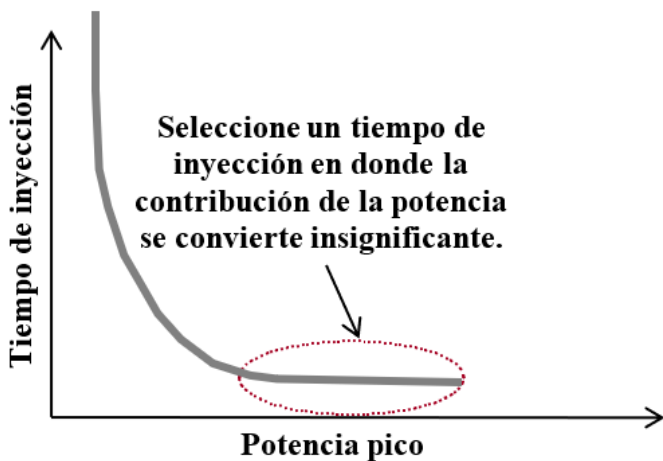
VII-6. Gráfica de reología en máquina por potencia

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 significativa 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.

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

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

$$\text{Razón de intensificación, } R_i = \frac{\text{presión plástica, } P_p}{\text{presión hidráulica, } P_H}$$



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:

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

$$\tau_R = P_H \times R_i$$

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, explícito.

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

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

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

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  $\delta_R$  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 ( $\delta_r = 1/T$ ) en la ecuación de viscosidad ( $\tau = \mu \times \delta$ ) y despejamos, obtenemos:

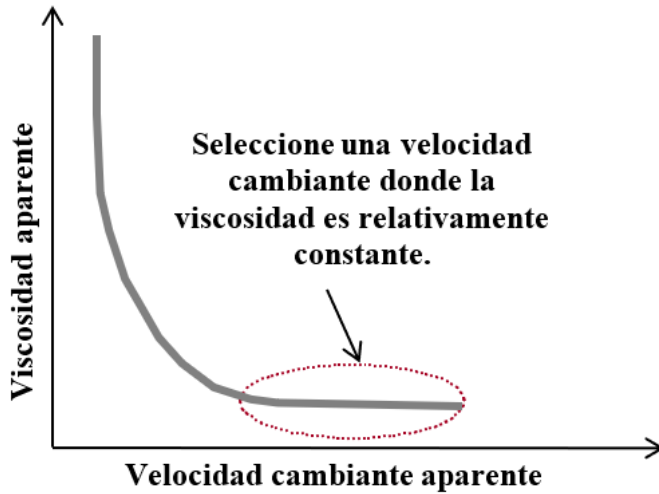
$$\mu_R = P_H R_i T$$

De acuerdo con esta ecuación la viscosidad relativa  $\mu_R$  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

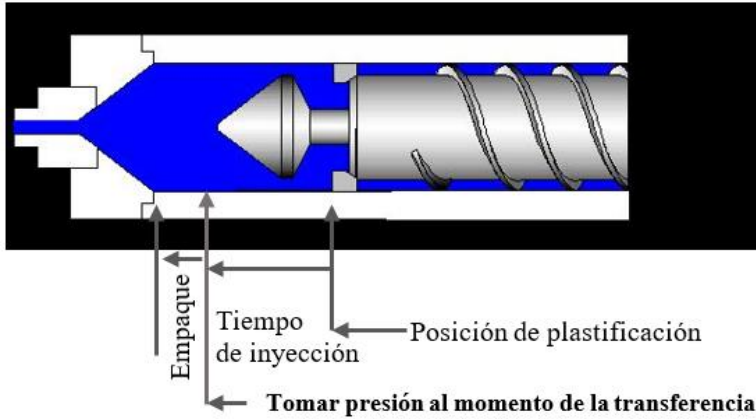
La idea es seleccionar un tiempo de inyección en el cual el fundido está a su menor viscosidad y relativamente constante. Mientras más baja es la viscosidad más fácil fluye el plástico y, por consecuencia, más eficiente es el llenado.

#### 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  $\tau_R$  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.

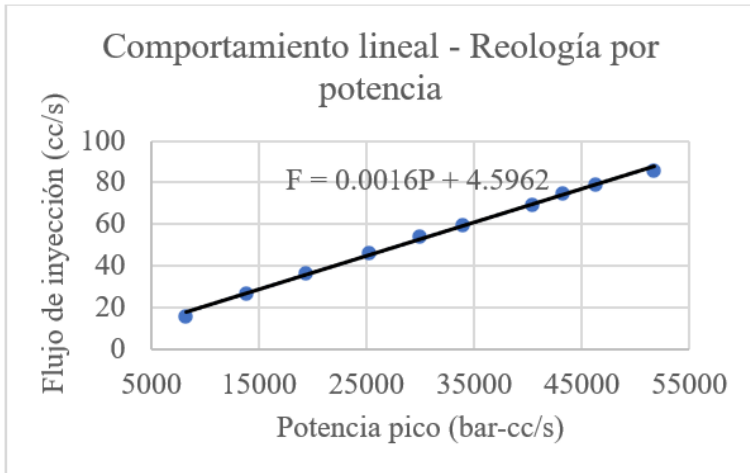
Durante el desarrollo de *Moldeo Universal<sup>TM</sup>* se estableció que la determinación de los parámetros del proceso de inyección tendrá procedimientos estandarizados y ecuaciones corroboradas. En el próximo capítulo se discutirá en detalle los procedimientos recomendados.

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

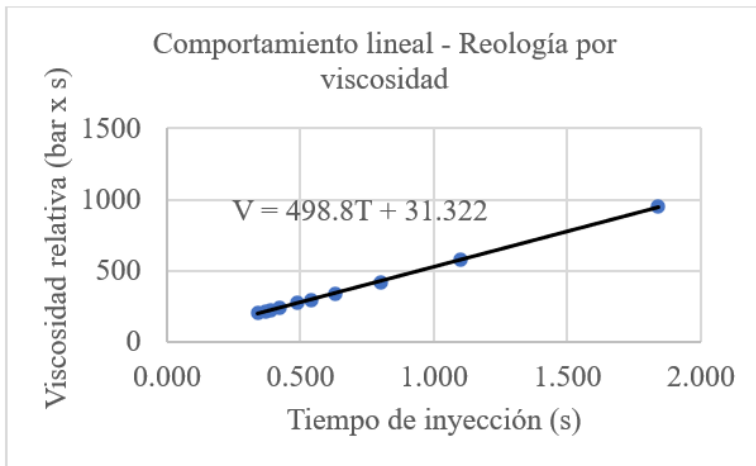
El desarrollo de un laboratorio de reología en una máquina de inyección consume tiempo y recursos. Con la reología aproximada, una técnica matemática de predicción, el laboratorio se efectúa en menos de una 3ra parte del tiempo. Veamos a continuación.

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:

<b>Vel (mm/s)</b>	<b><math>T_{iny}</math> (s)</b>	<b><math>P_{tran}</math> (bar)</b>
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:

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

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

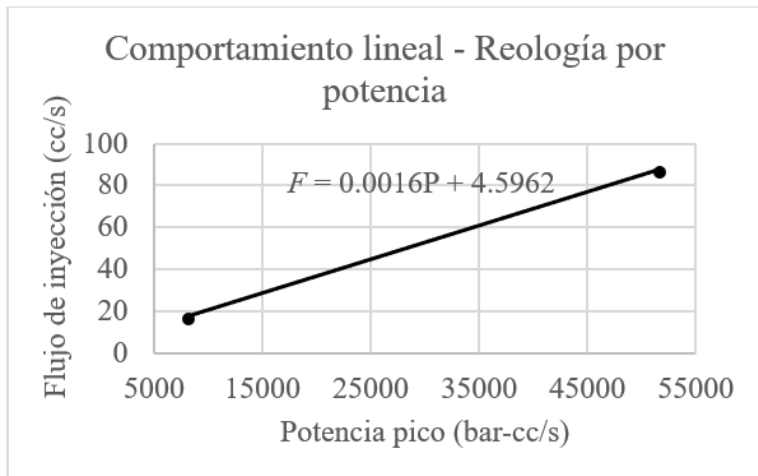
$$\text{Viscosidad relativa} = \text{presión plástica} \times \text{tiempo de inyección}$$

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

Calculamos y añadimos los valores en la siguiente tabla:

Vol. Iny. = 29.17 cc			Reo. por Potencia		Reo. por Viscosidad	
Vel. (mm/s)	T <sub>iny</sub> (s)	P <sub>Tran</sub> (bar)	Flujo (cc/s)	Pot. (bar*cc/s)	V <sub>camb.</sub> (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

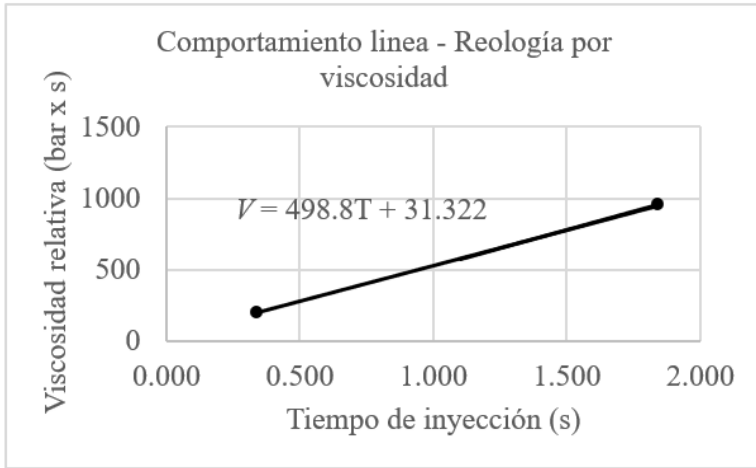
La ecuación lineal de la reología por potencia sería:

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

o

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

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:

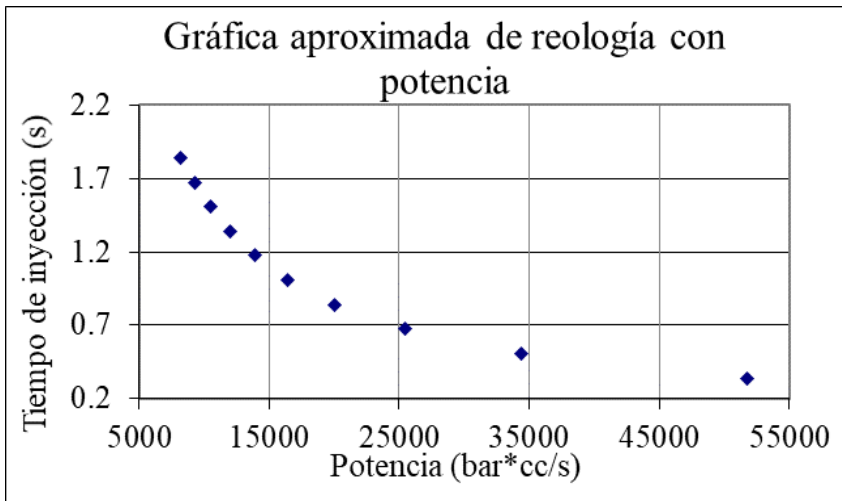
$$\text{Viscosidad} = (498.8 \times \text{tiempo de inyección}) + 31.322$$

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.

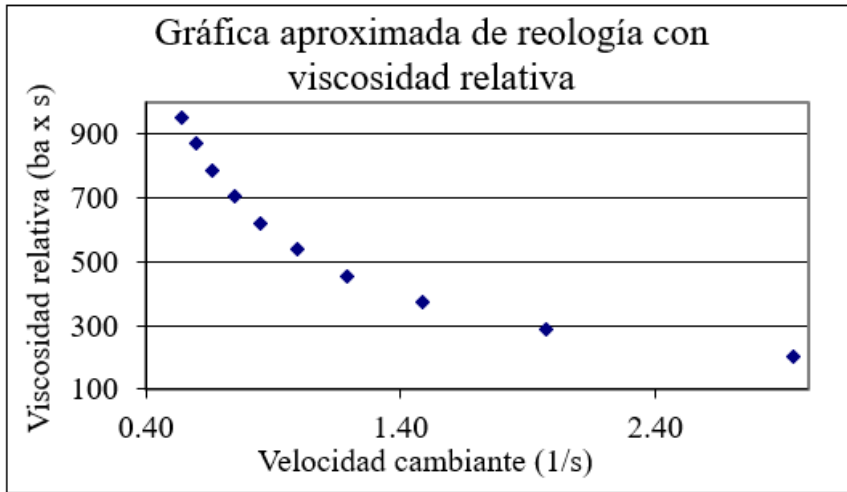


Vol. Iny. = 29.17 cc			Reo. por potencia		Reo. por viscosidad	
Vel (mm/s)	$T_{iny}$ (s)	$P_{Tran}$ (bar)	Flujo (cc/s)	Pot. (bar*cc/s)	$V_{camb.}$ (1/s)	Vis. (bar*s)
193	0.34	602.7	85.79	51708	2.94	204.9
	0.51		57.57	34337	1.97	284.0
	0.67		43.32	25430	1.49	367.2
	0.84		34.73	20058	1.19	450.3
	1.01		28.98	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

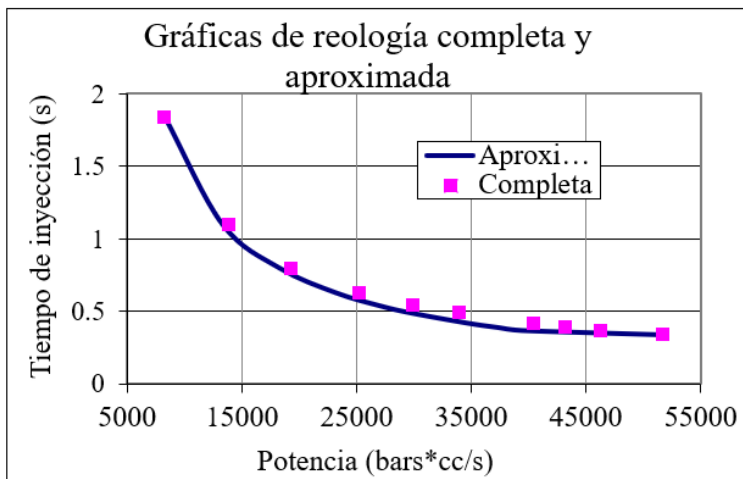


VII-18. Gráfica aproximada entre tiempo de inyección y potencia pico de inyección



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

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



VII-20. Gráficas de reología sobrepuestas, 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.

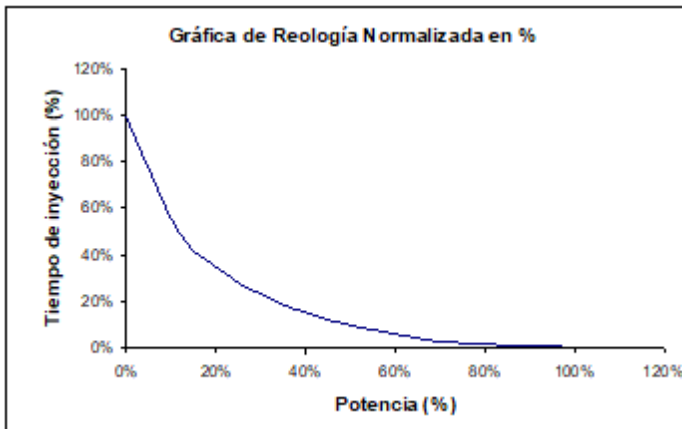
Repetimos, nosotros los moldeadores *Universales* preferimos la reología por potencia ya que las definiciones describen el efecto con más convicción. Ahora usted utilice el método con que usted se sienta más cómodo; ambas reologías le llevan a un buen resultado.

## Ecuación de Predicción del Tiempo de Inyección

Durante el desarrollo de *MU<sup>TM</sup>* 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 fórmula.

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

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

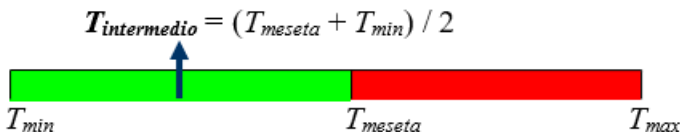
Con esta ecuación se calcula el tiempo de inyección, donde la curva de reología comienza relativamente constante. Basado en este simple cálculo, determinamos que el tiempo de inyección ideal debe ser menor que el obtenido por la ecuación.

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

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:

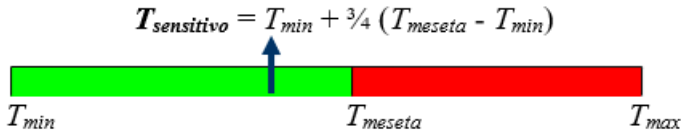
**Industrias de moldeo convencional:** Seleccionar un tiempo de inyección ideal entre  $T_{meseta}$  y  $T_{min}$ .



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

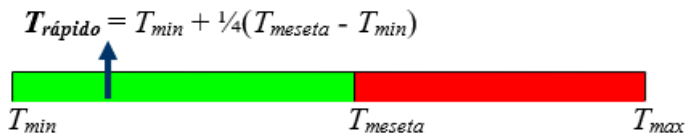
**Industrias que moldean materiales sensitivos a la fricción** (como fabricantes de los conectores de PVC rígido): Para materiales que a altas

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**

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

**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:

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

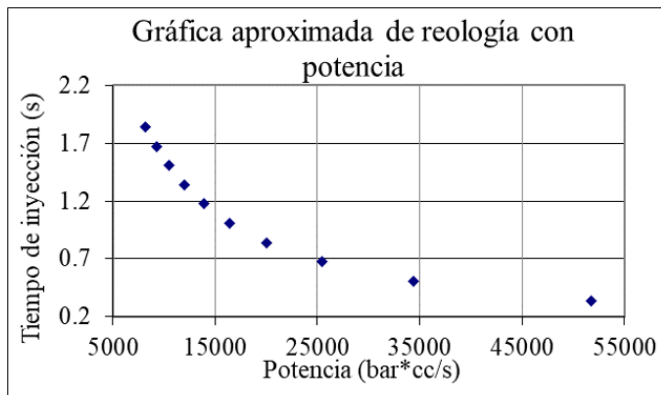
Aplicación de alto volumen:

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

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 multiplicado 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 multiplicado 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 multiplicado 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