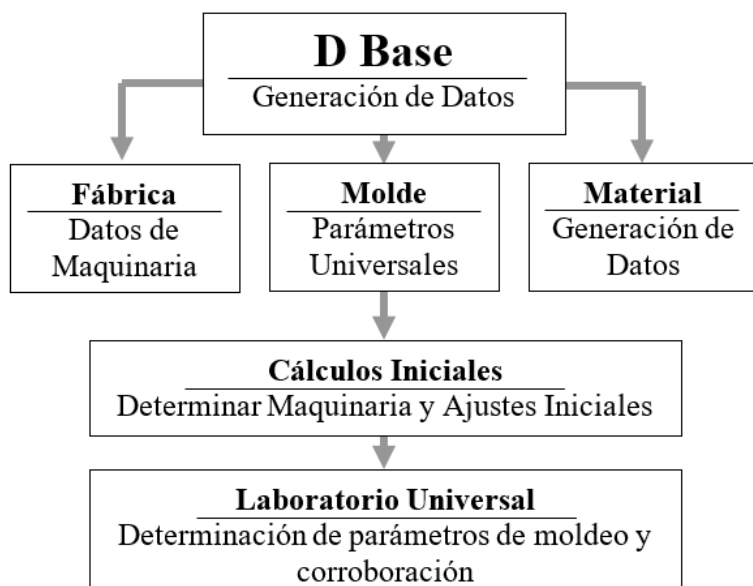


## **VIII. Determinación de la Velocidad de Inyección**

- **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<sup>TM</sup>***.

Una vez más recuerde que antes de hacer un laboratorio de ***Moldeo Universal<sup>TM</sup>***:

- 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.

Posición de plastificación =  
posición de transferencia + 80% del desplazamiento de inyección

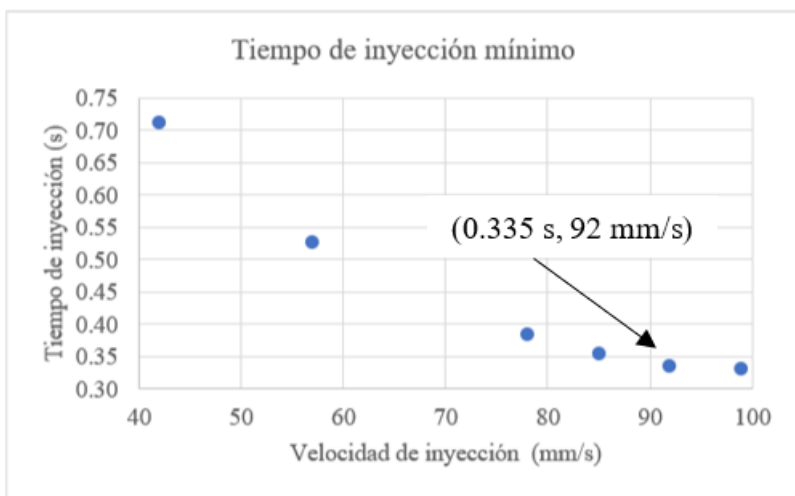
Notas:

- 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)*

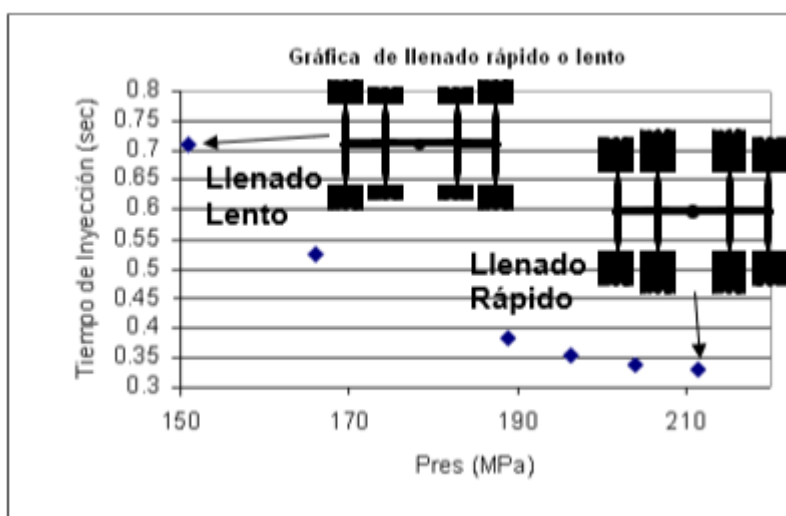
La gráfica de tiempo de inyección contra velocidad de inyección ilustra como, a una presión 204 mPa y a 92mm/segundo, el tiempo dejo de disminuir significativamente.



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:**

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

Posición de plastificación =  
posición de transferencia + 80% del desplazamiento de inyección

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

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

### **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

225

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 <sub>inv</sub> (s)	P <sub>Tran hid</sub> (bar)	P <sub>Tran plas</sub> (bar)	Flujo (cc/s)	Pot. (bar*cc/s)	V <sub>camb.</sub> (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  $V_{95}$ .

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

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

*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  $0.1 \times V_{95}$ .

<b>Reología por potencia</b>					
<b>Vel (in/s)</b>	<b><math>T_{iny}</math> (s)</b>	<b><math>P_{Hidráulica}</math> (psi)</b>	<b><math>P_{Plástica}</math> (psi)</b>	<b>Flujo (in<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Potencia (psi * in<sup>3</sup>/s)</b>
$V_{95}$					
$0.9 \times V_{95}$					
$0.8 \times V_{95}$					
$0.7 \times V_{95}$					
$0.6 \times V_{95}$					
$0.5 \times V_{95}$					
$0.4 \times V_{95}$					
$0.3 \times V_{95}$					
$0.2 \times V_{95}$					
$0.1 \times V_{95}$					

*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  $V_{95}$ .

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

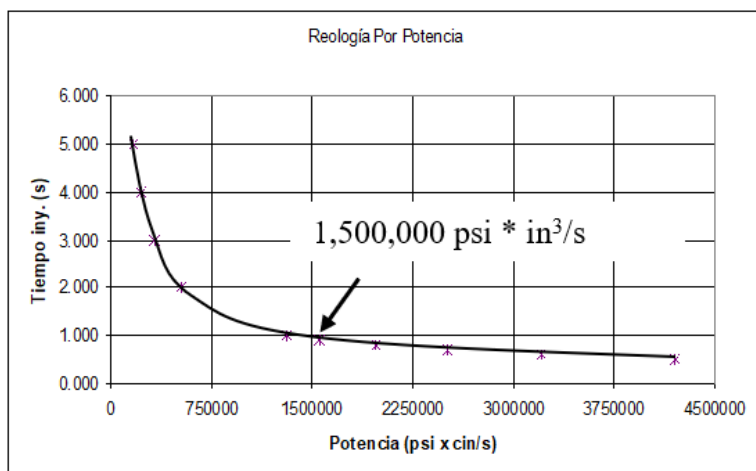
- b) Ajuste la presión límite igual a  $P_{max}$ .
- c) Con la velocidad  $V_{95}$ , ajuste la posición de plastificación para que llene el molde (piezas más colada) cerca de un 95% de su peso total. Garantice que la presión límite ajustada sea por lo menos 5% mayor que la presión de inyección máxima.
- 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 <sup>3</sup>					
Vel. (in/s)	$T_{iny}$ (s)	$P_{Hidráulica}$ (psi)	$P_{Plástica}$ (psi)	Flujo (in <sup>3</sup> /s)	Potencia (psi * in <sup>3</sup> /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 \* pulg<sup>3</sup>/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 coordenada de la potencia pico,  $M$  es la pendiente, y  $X$  es el flujo promedio.

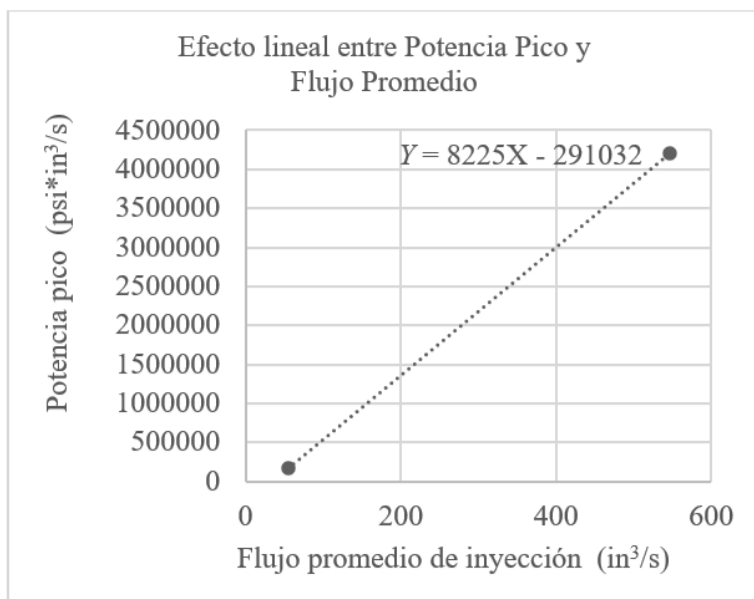
El valor de estas constantes las puede encontrar con simple matemática o con Excel.

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

<b>Reología por Potencia, <math>R_i = 6.41</math>, Vol = 273 in<sup>3</sup></b>					
<b>Vel (in/s)</b>	<b><math>T_{iny}</math> (s)</b>	<b><math>P_{Hidráulica}</math> (psi)</b>	<b><math>P_{Plástica}</math> (psi)</b>	<b>Flujo (in<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Potencia (psi * in<sup>3</sup>/s)</b>
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.



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

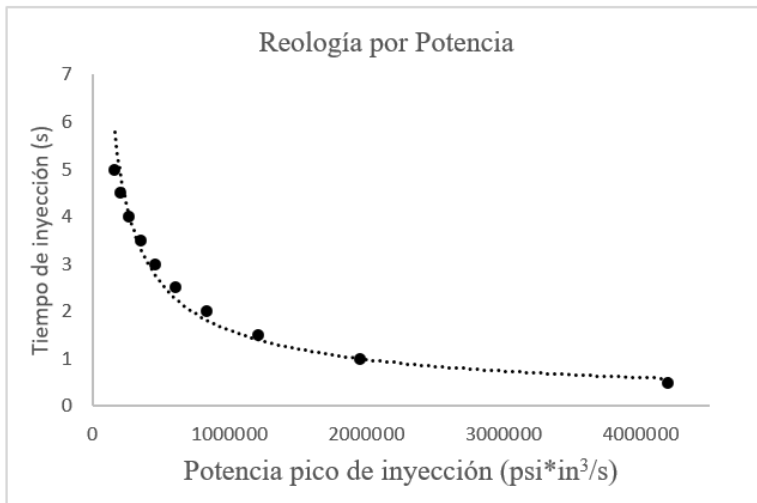
$$\text{Potencia pico} = (8225 \times \text{flujo promedio}) - 291032$$

Sabiendo que el volumen de inyección requerido es 273  $\text{pulg}^3$  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.

$T_{iny} \text{ (s)}$	Flujo ( $\text{in}^3/\text{s}$ )	Potencia ( $\text{psi} * \text{in}^3/\text{s}$ )
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:

$$T_{mat.\;sensitive} = T_{min} + (T_{max} - T_{min}) / 12$$

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 <sup>3</sup>					
Vel (in/s)	$T_{iny}$ (s)	$P_{Hidráulica}$ (psi)	$P_{Plástica}$ (psi)	Flujo (in <sup>3</sup> /s)	Potencia (psi * in <sup>3</sup> /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) Después 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.

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

$$= 0.5s + (5s - 0.5s) / 18 = 0.75 \text{ segundos}$$

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

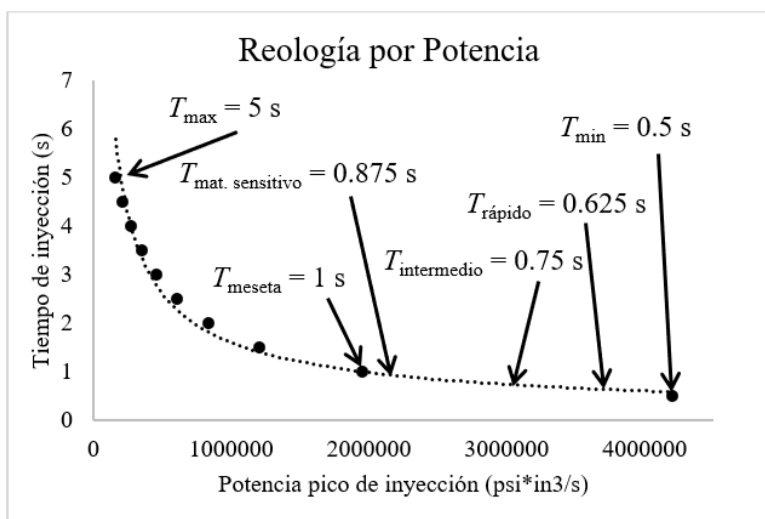
$$= 0.5s + (5s - 0.5s) / 12 = 0.875 \text{ segundos}$$

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

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

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

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



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 apesure el trabajo, siga las reglas de seguridad establecidas por su fábrica y las agencias gubernamentales.

## Preguntas

- 1) Durante un laboratorio de *Moldeo Universal™*, ¿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:
- 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.
  - La tabla de reología se efectúa inyectando a distintas velocidades y todas con un llenado incompleto de un 80%.
  - Garantice que la presión durante la inyección se mantenga por lo menos 5% menor a la presión límite ajustada.
- 7) Seleccione la correcta:
- La gráfica de reología por potencia tiene coordenadas de viscosidad contra velocidad cambiante.
  - La gráfica de reología por potencia tiene coordenadas de tiempo de inyección contra potencia pico.
  - La gráfica de reología convencional tiene coordenadas de flujo de llenado contra potencia pico.
- 8) Seleccione todas las correctas:
- Existe una relación relativamente lineal entre la viscosidad y el flujo de inyección.
  - Existe una relación relativamente lineal entre flujo de inyección y potencia.
  - 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:
- entre  $T_{meseta}$  y  $T_{min}$ .
  - cerca de  $T_{min}$ .
  - cerca de  $T_{meseta}$ .
- 10) Una vez haya determinado el tiempo de inyección ideal, encuentre la velocidad de inyección correspondiente.
- 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.