

**METODO PARA LA DETERMINACION DE LOS PARAMETROS REOLOGICOS EN EL PROCESO DE  
MOLDEO POR INYECCION DE PLASTICOS.**

**Method for determination of rheological parameters in the injection molding plastic process.**

**Urbina-Trujillo, C. [crystyan.urbina@nypro.com](mailto:crystyan.urbina@nypro.com)**

**Nypro Guadalajara Sa de Cv; C.P. 45184 Zapopan, Jalisco**

**Innovación Tecnológica.- Soporte para Ingenieros, Profesionistas y Moldeadores del sector Plástico.**

*En este trabajo se hace la deducción teórica de la ecuación de la curva reologica para moldeo en inyección de plásticos, SIM en un sistema de Moldeo Científico que va en función de los parámetros de Inyección como son Presión Plástica, Velocidad y Tiempo de Llenado se presenta un método en que, basándose en los datos obtenidos a partir de una validación de un molde, es posible obtener los valores verdaderos de gradiente de velocidad. Se comparan los resultados obtenidos con este método con los propuestos por otros autores.*

**Palabras clave:** *reología, fluidos, Tiempo de Llenado, Velocidad de inyección, SIM.*

In this work the theoretical derivation of the equation of the rheological curve for molding plastic injection, SIM on a system of Scientific Molding which is a function of the injection parameters as are Plastic Pressure, speed and fill time it is occurs a method in which , based on data obtained from a validation of a mold , it is possible to obtain the true values of velocity gradient . The results obtained by this method with those proposed by other authors are compared.

## **Introducción.**

Existe variedad de métodos para el cálculo de parámetros reológicos en el proceso de moldeo por inyección de plásticos, pero no todos son satisfactorios para obtener las curvas de flujo de fluidos no newtonianos, ya que para ello deben tener la posibilidad de determinar valores de esfuerzo cortante a diferentes magnitudes de velocidades de inyección.

Algunos métodos no tienen esta posibilidad y por lo general, dan un valor de viscosidad relativa o lecturas características que pueden ser funciones de una o varias propiedades de flujo (Resina).

Otros métodos como el SIM miden diferentes valores de velocidad angular del mismo, y realizando varias mediciones de torque a diferentes velocidades angulares es posible tener curvas de flujo del material más exactas.

Sin embargo, no resulta fácil la determinación de los gradientes de velocidad que tienen lugar

según las características reológicas de los materiales, y por lo general los resultados obtenidos se dan en forma de pseudocurva de flujo.

En este artículo se desarrollará un método sencillo para el cálculo de los gradientes de velocidad

verdaderos en fluidos del tipo Plásticos, desarrollado a partir de técnicas de moldeo científico y con soporte de RJG Inc.

## **Fundamentos teóricos**

### **Clasificación de los fluidos no-newtonianos**

La primera gran clasificación agrupa a los fluidos en dos grandes grupos: los fluidos cuyas características reológicas dependen del tiempo y los que no dependen de éste.

Los fluidos no newtonianos cuyos parámetros reológicos dependen del tiempo, son aquéllos cuyas características dependen de las condiciones de los estados de inyección a las cuales haya sido sometido anteriormente el material, y los independientes del tiempo son aquéllos cuyos parámetros reológicos son independientes del estado de inyección a que ha sido sometido el material, y por lo tanto, son constantes en el tiempo.

### **Entendimiento Variabilidad en Procesamiento de Plásticos.**

El desarrollo de un proceso de moldeo por inyección robusto es altamente dependiente de la capacidad de la máquina de moldeo por inyección para hacer frente a la variabilidad. Esta variabilidad puede ser introducido por muchos aspectos del proceso, incluyendo: el material, el molde, la máquina, el operador y el proceso.

Un material puede variar mucho de un grado a otro y de un lote a otro.

Los cambios en aditivos, colorantes, peso molecular, distribución de peso molecular, nivel de humedad, y el porcentaje de material molido puede resultar una variación en la capacidad de procesar un material dado. Aspectos como las condiciones ambientales, la calidad del fluido hidráulico, el desgaste del equipo y suministro de agua pueden dar lugar a variaciones en el proceso de moldeo. Muchos de los pasos, tales como material de calificación, mantenimiento preventivo, y moldeo científico se utilizan para minimizar la influencia de esta variación de la calidad del producto moldeado final. El objetivo de una buena máquina de moldeo es desarrollar un sistema y proceso que es más capaz de compensar la variación que siempre va a ocurrir.

## **Entendimiento Viscosidad.**

La viscosidad del polímero es una medida de la resistencia de que el material fluya. Un material que fluye fácilmente, tiene una viscosidad baja, mientras que un material con una mayor viscosidad no fluye tan fácilmente. La mayoría de los polímeros están disponibles en diferentes grados; cada grado tiene sus propias características de flujo. Por lo general, los materiales con menor viscosidad tienen menor peso molecular. Estos materiales son más fáciles de procesar, pero típicamente tienen una menor resistencia mecánica que el mismo polímero con una viscosidad más alta.

La viscosidad del polímero se puede utilizar para comparar las características de flujo de diferentes polímeros, o diferentes grados del mismo polímero. Los datos de viscosidad se pueden utilizar también para calificar a un nuevo material o comparar un lote nuevo utilizado previamente.

Reología, tal como se define por Merriam Webster, es "una ciencia que trata con la deformación y el flujo de la materia". La resistencia de un polímero al flujo se conoce como viscosidad, y la velocidad a la que el polímero fluye se refiere como velocidad de cizallamiento o de corte.

## **Reometría Capilar.**

El reómetro mide la cantidad de fuerza requerida para empujar el polímero a través del capilar. La tensión de cizallamiento en la masa fundida es igual a la fuerza dividida por el área de superficie del émbolo. La velocidad de cizallamiento es una medida de lo rápido que se está probando el material.

La velocidad de cizallamiento se determina por la tasa de flujo a través de la pared, y la geometría del troquel. La viscosidad del material es igual a la tensión de cizallamiento dividida por la velocidad de cizallamiento. En reometría capilar, la viscosidad se determina por lo general a diferentes temperaturas y velocidades de cizallamiento. Cuando se representa gráficamente los datos de viscosidad, proporciona una buena representación de cómo el material se comporta durante el procesamiento. Si los datos de reometría se pueden obtener, será un buen método de comparación de las características de flujo de

diferentes resinas. Siempre compare los datos reómetro capilar de velocidades de corte y temperaturas similares.

### **Índice de fluidez.**

Es la forma más popular, y sin embargo menos precisa para determinar la viscosidad del material. Este método utiliza un aparato de ingeniería de prueba con un capilar estándar para medir el flujo del material. El indexador de flujo de fusión prueba el material polimérico en un solo esfuerzo cortante y la temperatura de fusión. El índice de flujo de fusión es la medida de la cantidad de gramos de polímero que pasan a través del capilar durante 10 minutos.

Un índice de fluidez más alta indica una viscosidad del material inferior. Esto significa que un material con un índice de flujo de fusión de 20 fluye más fácil que un material con un índice de flujo de fusión de 5. El valor obtenido a través de la prueba de índice de flujo de fusión es un solo punto de datos. El índice de fusión de flujo da información de diferentes materiales y calidades que puede ser utilizado para una comparación aproximada de características de flujo para diferentes materiales. El valor del índice de flujo de fusión se da para cada material por prácticamente todos los proveedores de materiales.

### **Prueba de flujo en forma Espiral.**

Esta prueba utiliza un molde con un canal de flujo espiral largo que emana desde el centro. Las muescas están grabados a lo largo de la trayectoria de flujo para ayudar a identificar la longitud del polímero ha fluir dentro del molde. El molde se puede llenar utilizando una velocidad constante (de cizallamiento constante) o la presión constante (tensión constante) para determinar el comportamiento del polímero.

El comportamiento del polímero se puede evaluar sobre la base de los datos de salida de proceso tales como la longitud de flujo, peso de la parte, y la presión en transferencia. Cuando se utiliza la prueba de flujo en espiral, lo mejor es utilizar un molde que tiene un espesor canal similar a las partes en realidad siendo moldeadas.

## Reología en Molde.

En el molde la reología utiliza una variedad de velocidades de inyección combinados con datos de la máquina para generar una curva de reología. Esta curva representa gráficamente la viscosidad de un polímero para ayudar a determinar cuando se produce cizalla. A medida que la velocidad de cizallamiento del polímero aumenta (o caudal), la viscosidad disminuye. Este comportamiento reológico es exclusivo de polímeros y se llama 'adelgazamiento por corte'.

Al graficar esta, la viscosidad se representa en el "eje Y 'vertical y velocidad de cizallamiento se representa en el" eje X' horizontal.

La tasa de cizallamiento aparente es igual a  $1 / (\text{tiempo de llenado}) \cdot 1/t$  (1).

La viscosidad efectiva es igual a  $(\text{llenar el tiempo}) * (\text{presión de transferencia})$ . (2).

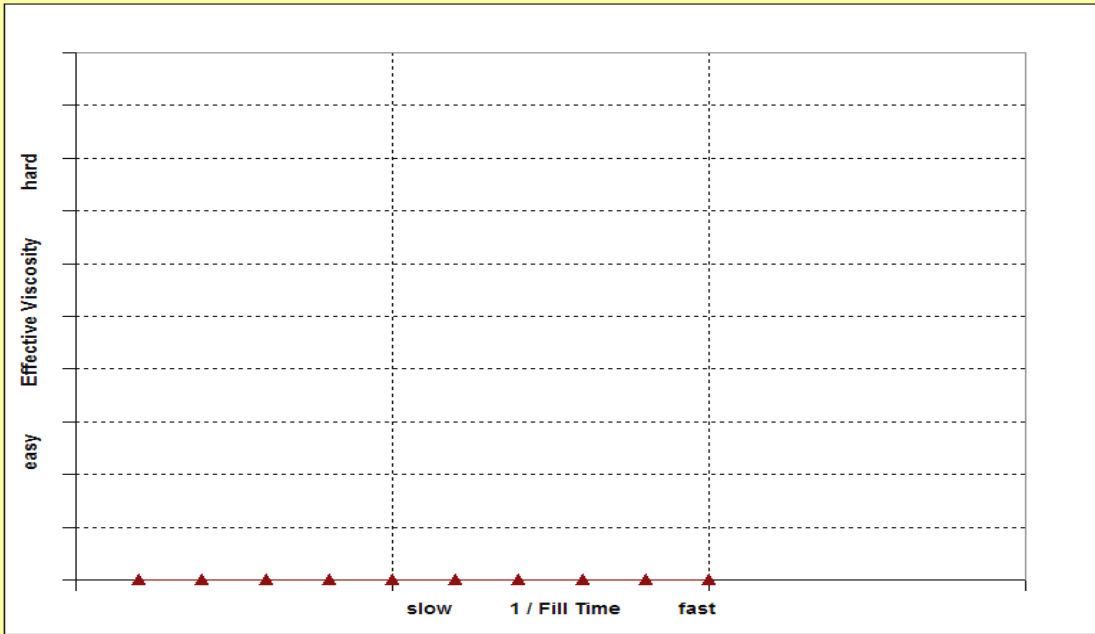
Dilución o adelgazamiento por cizallamiento aparecerá como un fuerte descenso en la viscosidad del polímero cuando la velocidad de cizallamiento aumenta. Una vez que la mayor parte del esfuerzo cortante se reduce produce que la viscosidad del polímero comienza a nivelarse. Después de este punto, la viscosidad se mantendrá relativamente constante resultando un proceso más estable. Por esta razón, se debe procesar en el lado derecho de la curva.

**Note: Automatic charting**  
 Type data in the blue cells only.  
 Follow the Process Development Instructions  
 for techniques used to perform these studies.

Machine:		
Model:		
Melt Temp:		F
Screw Dia:		mm
Nozzle, Dia:		inch
Shot size:		mm
Transfer:		mm
Stroke:		mm
Shot vol.:		mm <sup>3</sup>
Decomp:		mm

**VISCOSITY**

Shot	Set Injection Speed	Actual Fill Time	Measured Plastic Pressure	1 / t	Effective Material Viscosity
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					



**Fill Time** If machine based (total injection time), use "Start of Injection" for Shot Size  
 If eDART based (which ignores decompress stroke), then use "End of Screw Rotate" for Shot Size  
 Do not try and match fill time after your study is over. Any change in the shot or transfer makes the time value obsolete.  
 Best Fill Rate might not be "fastest" fill rate or "lowest" effective viscosity.  
 Select and match your best speed based on trying to go as fast as possible within the limitations of:  
 Fill rate / flow rate related defects such as blush, jetting,  
 Shot to shot consistency / repeatability, cavity filling balance.  
 Check balance at different speeds. The best balance could dictate the best speed.

Fig. 1 Formato para cálculo de Curva Reologica.

### Procedimiento de Cálculos.

En panel de control de la Maquina de moldeo ingresar a pantalla de parámetros de Inyección e ingresar a valores de velocidad de Inyección o injection Velocity donde nos desplegara el rango de velocidad mínima-máxima.

Iniciaremos con una velocidad de inyección lenta o baja y tomaremos nota del valor de Pico de presión plástica y del tiempo de inyección o fill time, colocando estos valores en el formato de calculo de curva reologica, donde esta será nuestra primera iteración hasta llegar a la máxima velocidad de inyección permitida por el equipo. Se recomienda solo hacer diez iteraciones para que el análisis sea eficaz y tener los suficientes datos y muestras para determinar la mejor velocidad de Inyección.

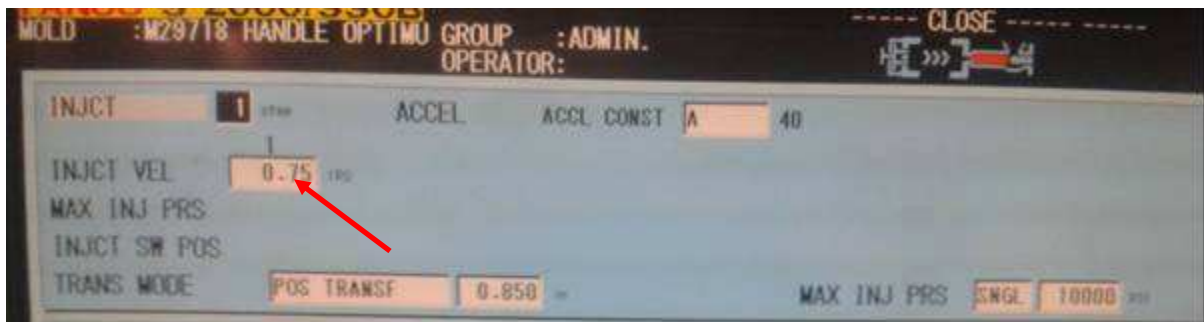


Fig. 2 Panel de Control sección Velocidad de Inyección.

Tendremos en nuestro formato los siguientes datos como se muestran en la tabla 1.

Shot	Set Injection Speed	Actual Fill Time	Measured Plastic Pressure
1	0.75	4.170	1120
2	1.00	2.160	1272
3	1.25	1.430	1435
4	1.50	1.070	1544
5	1.75	0.850	1642
6	2.00	0.690	1783
7	2.25	0.600	1845
8	2.50	0.570	1853
9	2.75	0.560	1859
10	3.00	0.450	1897

Tabla 1. Datos estadísticos de Inyección.



Parámetros donde se visualiza tiempo de Inyección y medida de Presión plástica.



Fig. 3 Parámetros en pantalla de Máquina de moldeo.

Continuamos realizando el calculo de velocidad de cizallamiento o de corte que será la formula (1)  $1/t$  y (2) tiempo de llenado \* Presión Plástica medida, como se muestra en la tabla 2.

Shot	Set Injection Speed	Actual Fill Time	Measured Plastic Pressure	$1/t$	Effective Material Viscosity
1	0.75	4.170	1120	0.24	4,670.4
2	1.00	2.160	1272	0.46	2,747.5
3	1.25	1.430	1435	0.70	2,052.1
4	1.50	1.070	1544	0.93	1,652.1
5	1.75	0.850	1642	1.18	1,395.7
6	2.00	0.690	1783	1.45	1,230.3
7	2.25	0.600	1845	1.67	1,107.0
8	2.50	0.570	1853	1.75	1,056.2
9	2.75	0.560	1859	1.79	1,041.0
10	3.00	0.450	1897	2.22	853.7

Tabla 2.0 Calculo completo para determinar el shear rate o velocidad de corte en Inyección.

Para poder saber cual velocidad de inyección setear o poner en el panel de control de la Maquina debemos tomar el valor de tiempo de llenado con máxima velocidad en este caso 0.450s y sumar a este 0.1s como factor de seguridad para que nuestra parte o pieza plástica este llena aproximadamente al 95 o 98% del total de la geometría de la pieza.

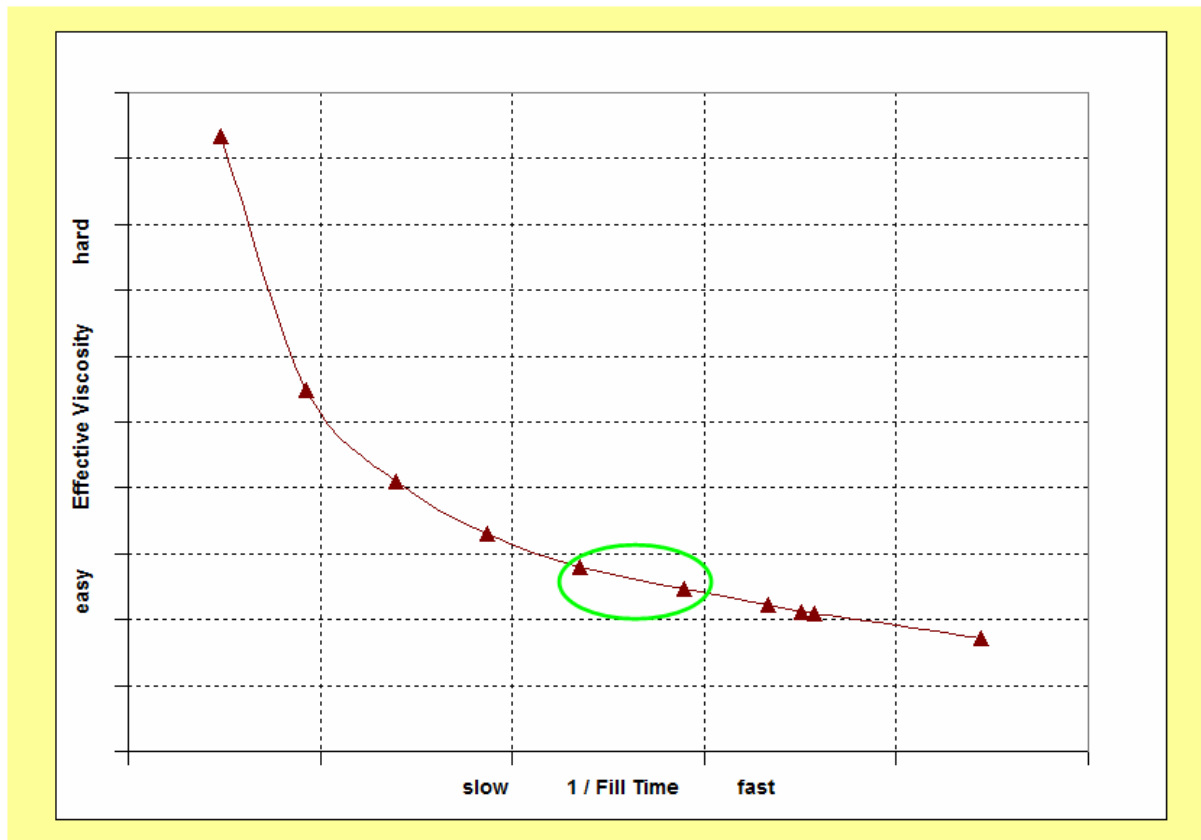


Fig. 4 Grafica de Curva Reologica en base a datos obtenidos en la validación tabla 2.0.

Esta grafica determina que entre los valores de quinta y sexta iteración tendremos una velocidad estable en nuestro proceso ya que el cambio es muy mínimo y hay gran posibilidad de llenar la pieza a un 98 % sin problemas.

### Conclusión.

Mediante la investigación de este trabajo se puede determinar un método sencillo para el cálculo de la mejor velocidad de cizallamiento o shear rate que en base a las pruebas e iteraciones realizadas con los valores de nuestro equipo de moldeo y la resina o material a utilizar podremos encontrar un proceso estable en la primera fase de llenado de la pieza plástica. Es importante observar en cada iteración el comportamiento y el resultado de

nuestra pieza moldeada ya que en muchos procesos la apariencia cosmética juega un papel de suma importancia, es por esto que muchos moldeadores determinan en sus procesos velocidades de corte o de cizalla entre un 45 0 50% de capacidad de la maquina. Falta validar la cuestión dimensional que esta se apoya en otras variables como son empaque, tiempo y sostenimiento para obtener los resultados esperados.

### **Referencias.**

[1] Routsis Training Hands-on Understanding Viscosity, systematic training solutions for the plastic industry. 2011 4-10.

[2] RJG INC. MOLD MASTER I SIM scientific injection molding Doug Thorpe 2014-2015  
[www.rjginc.com](http://www.rjginc.com)

[3] Técnicas Avanzadas de Inyección de Plásticos Krauss Maffei 1ª Edición Alfredo Calderón Gómez editado por Medios Impresos servicios integrales. 2009. 115-145.