



TESIS DOCTORAL



***Análisis de la fenomenología de Inyección
en condiciones asimétricas tipo IMD.
Modelos viscosos para su simulación.***

**Autor: Arantza Martínez Pérez
Director: Javier Castany Valeri**

Presentada en:
Centro Politécnico Superior de Ingenieros Industriales

Para la obtención del Título de:
DOCTORA EN INGENIERIA INDUSTRIAL

Gracias a Javier, mi director de tesis. Por todas las horas que ha pasado conmigo, y por todo lo que he aprendido con él, no solo de este mundo de los plásticos.

Gracias a Unai y a Esther. Porque cada vez que me veían, me “reñían” y a la vez me daban ánimos para que esta tesis fuera una realidad.

Gracias a mis padres. Porque siempre están ahí, y por tener la paciencia de leer la tesis entera para darme su opinión.

Gracias a Encarna y Merche, las jefas del taller. Por todas las horas que ha invertido Encarna para ayudarme con la aplicación Excel, y por todas las espirales que ha inyectado Merche, hasta que los resultados han cuadrado.

Y... Gracias en general al TIIP y a su gente. Porque me han dado la oportunidad de aprender mucho con ellos, y porque en muchos momentos han sido mi apoyo para estar todavía hoy, en esta Universidad.

1. Introducción.....	1.1
2. Estado del arte	2.1
2.1. Sobre la obtención de un modelo reologico con molde espiral, y su aplicación en simulación	2.1
2.1.1. Modelos reologicos utilizados en la simulación de inyección.....	2.4
2.1.2. Tipos de métodos numéricos de cálculo.....	2.8
2.1.3. Método de diferencias finitas aplicado a modelización del flujo en una tira.....	2.11
2.2. Sobre IMD y la inyección sobre textil	2.15
2.2.1. Descripción del proceso de inyección sobre textil.....	2.17
2.2.2. Modelos de porosidad basados en flujo dentro de conductos.....	2.25
2.2.3. Flujo de una solución de polímero a través de medio poroso	2.31
2.2.4. Método de obtención de permeabilidad de un textil.....	2.33
3. Objetivos de la tesis	3.1
4. Obtención del modelo viscoso de PP con molde espiral sin recubrimientos.....	4.1
4.1. Introducción al llenado de una tira inyectada.....	4.1
4.2. Descripción del sistema experimental utilizado.....	4.3
4.2.1. Molde espiral monitorizado.....	4.3
4.2.1.1. Calibración de la cadena de medida.....	4.5
4.2.2. Material polimérico.....	4.6
4.2.3. Máquina de inyección.....	4.6
4.3. Metodología del proceso experimental.....	4.7
4.3.1. Temperatura y velocidad de inyección seleccionadas.....	4.7
4.3.2. Comprobación de flujo isoterma.....	4.9
4.3.3. Caída de presión entre transductores y cálculo del caudal.....	4.10

4.3.4. Parámetros geométricos de la espiral.....	4.10
4.4. Resultados experimentales y cálculo del modelo viscoso.....	4.11
4.5. Aplicación del modelo viscoso obtenido al cálculo de caída de presión con MOLDFLOW.....	4.12
4.6. Correcciones en el modelo viscoso. Correcciones de flujo y geométricas.....	4.15
4.6.1. Corrección de la capa fría.....	4.15
4.6.2. Corrección de la forma del frente de flujo.....	4.17
4.7. Aplicación del modelo corregido al cálculo de caídas de presión con MOLDFLOW.....	4.20
4.8. Aplicación del moldeo corregido al cálculo de presiones máximas de llenado con MOLDFLOW.....	4.24
4.8.1. Presión máxima en la inyección de espirales.....	4.24
4.8.2. Efecto de descompresión del material en las espirales.....	4.26
4.8.3. Presión máxima en la inyección de pletina de tres espesores.....	4.29
4.8.4. Presión máxima en la inyección de probeta tipo.....	4.30
4.9. Comparación entre modelo obtenido con molde espiral y modelo obtenido con reómetro.....	4.33
5. Análisis bidimensional de las caídas de presión y espesor de capa fría en la fase de llenado en condiciones de asimetría.....	5.1
5.1. Metodología de cálculo por diferencias finitas aplicada al cálculo de caídas de presión y capa fría en una tira.....	5.1
5.1.1. Geometría de la tira.....	5.1
5.1.2. Caracterización físico térmica y reológica del polímero al inyectar.....	5.2
5.1.3. Modelización del flujo en una tira de anchura constante.....	5.4

5.1.4. Cálculo de la capa fría.....	5.11
5.2. Presentación de la aplicación desarrollada: Manual de uso.....	5.13
5.3. Comparación entre el funcionamiento de la nueva aplicación y MoldFlow en inyección convencional....	5.20
5.4. Funcionamiento de la nueva aplicación en inyección IMD.....	5.31
6. Obtención del modelo de viscosidad: PP sobre inyectado en textil CANDIDE.....	6.1
6.1. Descripción del sistema experimental utilizado.....	6.1
6.2. Metodología del proceso experimental.....	6.6
6.2.1. Temperatura y velocidad de inyección seleccionadas.....	6.7
6.2.2. Hipótesis de flujo isoterma.....	6.7
6.2.3. Caída de presión entre transductores y cálculo del caudal.....	6.7
6.2.4. Parámetros geométricos de la espiral.....	6.8
6.2.4.1. Análisis del espesor de la espiral sobreinyectada con CANDIDE.....	6.8
6.2.4.2. Análisis del espesor de la espiral sobreinyectada con MOSSA.....	6.11
6.2.4.3. Análisis del espesor de la espiral sobreinyectada con FALSET.....	6.11
6.2.4.4. Análisis de la anchura de la espiral sobreinyectada con CANDIDE.....	6.12
6.2.4.5. Análisis de la anchura de la espiral sobreinyectada con MOSSA.....	6.14
6.2.4.6. Análisis de la anchura de la espiral sobreinyectada con FALSET.....	6.16
6.3. Resultados experimentales y obtención del modelo de PP sobre CANDIDE.....	6.17
6.3.1. Aplicación del modelo al cálculo de caída de presión con MOLDFLOW.....	6.18

6.3.2. Aplicación de correcciones de capa fría y diagonal al modelo.....	6.20
6.3.3. Aplicación del modelo corregido al cálculo de caídas de presión con MOLDFLOW.....	6.22
6.3.4. Aplicación del moldeo corregido al cálculo de presiones máximas de llenado con MOLDFLOW.....	6.24
6.3.4.1. Presión máxima en la inyección de espirales.....	6.24
6.3.4.2. Presión máxima en la inyección de pletinas de tres espesores.....	6.25
6.3.5. Comparación entre modelo de solo plástico y modelo de PP + CANDIDE.....	6.27
6.4. Resultados experimentales y obtención del modelo de PP sobre MOSSA.....	6.29
6.4.1. Aplicación del modelo al cálculo de caída de presión con MOLDFLOW.....	6.30
6.4.2. Aplicación de correcciones de capa fría y diagonal al modelo.....	6.32
6.4.3. Aplicación del modelo corregido al cálculo de presiones máximas de llenado con MOLDFLOW.....	6.35
6.4.3.1. Presión máxima en la inyección de espirales.....	6.35
6.4.3.2. Presión máxima en la inyección de pletinas de tres espesores.....	6.36
6.4.4. Comparación entre modelo de solo plástico y modelo de PP + MOSSA.....	6.37
6.5. Resultados experimentales y obtención del modelo de PP sobre FALSET.....	6.40
6.5.1. Aplicación del modelo al cálculo de caída de presión con MOLDFLOW.....	6.41

6.5.2. Aplicación de correcciones de capa fría y diagonal al modelo.....	6.42
6.5.3. Aplicación del modelo corregido al cálculo de caídas de presión con MOLDFLOW.....	6.44
6.5.4. Aplicación del modelo corregido al cálculo de presiones máximas de llenado con MOLDFLOW.....	6.45
6.5.4.1. Presión máxima en la inyección de espirales.....	6.46
6.5.4.2. Presión máxima en la inyección de pletinas de tres espesores.....	6.47
6.5.5. Comparación entre modelo de solo plástico y modelo de PP + FALSET.....	6.48
6.6. Comparación entre los distintos modelos viscosos de PP sobre textil.....	6.50
6.7. Verificación del funcionamiento de la aplicación en diferencias finitas para sobreinyección IMD.....	6.54
7. Caracterización de traspasos en los tres textiles estudiados.....	7.1
7.1. Descripción del sistema experimental utilizado.....	7.2
7.2. Calculo de deformaciones locales del textil de la espiral inyectada.....	7.5
7.2.1. Calculo de deformación local de textil en espiral por medio de triángulos.....	7.6
7.2.2. Calculo de deformación local de textil en espiral por medio de arcos.....	7.7
7.3. Metodología del proceso experimental.....	7.9
7.4. Caracterización de los traspasos en CANDIDE.....	7.10
7.5. Caracterización de los traspasos en MOSSA.....	7.17
7.6. Caracterización de los traspasos en FALSET.....	7.21
7.7. Comparación de traspasos en los diferentes textiles.....	7.26
8. Conclusiones de la tesis.....	8.1

9. Líneas futuras de trabajo.....	9.1
10. Nomenclatura.....	10.1
11. Bibliografía.....	11.1

ANEXO 1 (Capítulo 4)

DATOS EXPERIMENTALES Y TEORICOS DE INYECCION DE POLIPROPILENO

ANEXO 2 (Capítulo 6)

**DATOS EXPERIMENTALES Y TEORICOS DE INYECCION DE POLIPORPILENO
SOBRE CANDIDE**

ANEXO 3 (Capítulo 6)

**DATOS EXPERIMENTALES Y TEORICOS DE INYECCION DE POLIPORPILENO
SOBRE MOSSA**

ANEXO 4 (Capítulo 6)

**DATOS EXPERIMENTALES Y TEORICOS DE INYECCION DE POLIPORPILENO
SOBRE FALSET**

1. Introducción

La presente tesis doctoral resume el trabajo de investigación desarrollado durante los últimos siete años en el TIIP (Taller de Inyección de la Industria de los Plásticos) dentro del departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Zaragoza.

La tesis lleva como título “**Análisis de la fenomenología de Inyección en condiciones asimétricas tipo IMD. Modelos viscosos para su simulación**”, y ha sido dirigida por el Catedrático del Área de Ingeniería Mecánica, Prof. Dr. Javier Castany Valeri.

El planteamiento original surge de la necesidad de caracterizar los defectos que aparecen en la sobreinyección de plástico sobre textil, en concreto los traspasos.

La problemática existente en la actualidad se podría resumir en tres aspectos fundamentales:

- Para el diseño y simulación de piezas de plástico inyectadas es muy importante usar correctamente el modelo viscoso de comportamiento de un polímero fundido, porque es clave en factores de diseño y fabricación como tamaño máximo de pieza,

calidad dimensional, aspecto estético, tamaño de inyectora, etcétera.

Comúnmente, los materiales plásticos están caracterizados reológicamente por medio de curvas de viscosidad obtenidas con un reómetro capilar aplicando posteriormente las correcciones de Bagley y Ravinowitsch, pero se desconoce si la manera de fluir del plástico sobre otro material que no sea metal, se corresponde con lo que indican las curvas anteriormente citadas. Esto ocurre así, porque en el capilar del reómetro es imposible introducir elementos decorativos (In Mold Decoration) como film o textil.

- Los programas comerciales de simulación tienen perfectamente caracterizada la inyección convencional en su fase de llenado en condiciones de simetría, o incluso en condiciones de asimetría siempre que esta última sea solamente por temperatura, pero no tienen en cuenta la inclusión en el molde de un material para decorar.
- Los defectos que aparecen en una inyección sobre textil, entre los cuales se encuentran los traspasos, se solucionan a pie de máquina por el método de prueba y error hasta dar con la combinación de parámetros de inyección adecuada. Esto es así, porque dichos traspasos no están caracterizados, por el momento, de ninguna manera.

El trabajo de investigación comienza en el TIIP (Taller de Inyección de la Industria de los Plásticos), con la búsqueda de una metodología para obtener modelos reológicos mediante molde espiral monitorizado, centrando el estudio en el comportamiento reológico y mecánico de un polietileno virgen, y con distintas proporciones de PE (polietileno) reciclado. Este trabajo da lugar a la tesis de la doctora Lorena Ponz *“Metodología para la caracterización reológica de materiales termoplásticos en condiciones no convencionales para su aplicación a herramientas de simulación”*.

Uno de los mayores esfuerzos que se ha realizado en el trabajo que se resume en la presente tesis, es el perfeccionamiento de la metodología de cálculo de modelos viscosos con molde espiral, para posteriormente aplicarla a la inyección sobre textil.

Por otro lado, para afinar más la metodología, se ha desarrollado una aplicación de cálculo de caídas de presión en la fase de llenado, en condiciones asimétricas de molde con elementos decorativos.

Por último, se ha caracterizado el traspaso de polipropileno sobre varios textiles en función de la presión, la temperatura y la tensión del textil. Esta caracterización se ha realizado solo para la fase de llenado y con la misma tensión aplicada sobre el textil simultáneamente en dirección vertical y horizontal, dejando así abierta la investigación para terminar la caracterización en la fase de compactación y con distintas combinaciones de tensión, que es como se encuentra habitualmente el textil cuando cierra un molde con una huella que no es plana.

2. Estado del arte

2.1. Sobre la obtención de un modelo reológico con molde espiral, y su aplicación en simulación

Las curvas reológicas para un termoplástico fundido se pueden obtener utilizando distintos tipos de viscosímetros. Durante las 4 últimas décadas, se ha utilizado un molde espiral para llevar a cabo investigación acerca de viscosidad, predicción de longitud de flujo y caídas de presión, e incluso para realizar otro tipo de estudios relacionados con la inyección de plástico.

En 1963, Baumann [1] y Pezzin [2] llevaron a cabo estudios de viscosidad con policarbonato y poliestireno respectivamente, usando un molde espiral y comparando resultados con los obtenidos usando el reómetro.

En 1984, Zweifel [3] explica que las propiedades de flujo de un polímero fundido pueden ser testeadas usando un molde espiral. La longitud de flujo en este molde, bajo una programación constante de parámetros de inyección puede ser usado en este caso para investigar cómo cambia la temperatura de molde y la presión de inyección conforme se van repitiendo los ciclos.

Lee [4] estudia en 1992 un PVC clorado (policloruro de vinilo clorado) y una mezcla PET/PHB60 midiendo sus propiedades reológicas con un reómetro capilar Instron, y también con un molde espiral. Lee en su investigación, relaciona la concentración de TLCP (Thermotropic Liquid Crystalline Polymer) con la longitud de flujo alcanzada al inyectar espirales, y lo correlaciona con la función viscosa obtenida con el reómetro usando una ley exponencial.

Koelling [5] también usa en 1996 el molde espiral para su investigación de inyección con gas. En su caso, utiliza el molde espiral, para ver la influencia de los parámetros de inyección, la velocidad de la burbuja de gas y las propiedades reológicas del material en el espesor de pared que va a tener finalmente la espiral que se vacía con gas. Este autor trabaja con un molde espiral monitorizado, y realiza las pruebas con PC (policarbonato), PVC (policloruro de vinilo) y PS (poliestireno).

Un año después, Buchmann [6] analiza la longitud de flujo inyectando poliestireno y polipropileno en un molde espiral y formula un método numérico para predecir longitudes de flujo.

Fox [7], en 1998 comparó las longitudes de flujo en un molde espiral y en un molde de cuarto de disco bajo los mismos parámetros de inyección con 4 materiales diferentes. Este estudio concluyó que la evaluación del flujo en la espiral no es suficiente para predecir longitudes de flujo, dado que el flujo en estos moldes no es solo longitudinal, sino que también tiene componente radial.

Todos los autores antes mencionados, nunca consideraron la influencia de formación de capa fría cuando el flujo avanza, ya que sus estudios fueron únicamente comparativos.

Durante los últimos 5 años, varios autores han profundizado en la investigación dentro de este campo.

Rao [8] llevó a cabo su investigación con parámetros adimensionales sobre la variación de longitud en espirales bajo diferentes condiciones de inyección. Adicionalmente introdujo en su investigación variaciones en la

geometría de las espirales, pero este autor tampoco menciona la formación de la capa fría y su posible efecto.

De manera similar, Clavería [9] y Ponz [10] caracterizaron materiales reciclados con molde espiral y compararon las variaciones de viscosidad con respecto al material virgen pero tampoco tuvieron en cuenta el efecto de la capa fría al usar el modelo.

Viana [11] realizó un estudio sobre la variación de espesor de la capa fría que aparece cuando el plástico entra en el molde en función de la variación de distintos parámetros de inyección, pero estos resultados no se usaron en el análisis de viscosidad del material. Viana se centró en tres geometrías y usó números adimensionales para sus cálculos. Cuanto más lento era el avance de flujo, mayor la capa fría que se formaba, lo cual explica las grandes caídas de presión que se tienen cuando la inyección se realiza de manera lenta.

Shin [12] introdujo una corrección calculada en base a la teoría de tensión plana para corregir los valores de presión obtenidos cuando el modelo se analizaba sin tener en cuenta la capa fría, pero esta corrección no se suele usar en el cálculo de curvas de viscosidad.

También Bank [13] realizó trabajos con molde espiral, en su caso, no para caracterizar el polímero, sino para analizar la influencia en la longitud de la espiral, del material con el que está fabricado el molde. En concreto trata el Aluminio QC-10 y el acero P20. Básicamente trata de ver cómo influyen las propiedades termo físicas del material del molde en la inyección de las espirales, sin nombrar en ningún momento la capa fría y cómo influye el material de contacto con el polímero en su desarrollo.

Por otro lado, Kim [14] explica en su artículo, que es muy difícil medir viscosidades de materiales que polimerizan muy rápidamente en un reómetro capilar, por lo que usa un molde espiral para obtener funciones de viscosidad para un compuesto que denomina silica filled epoxy-novalac. Con la función viscosa que obtiene, Kim describe el efecto de la temperatura y el cambio de viscosidad durante el curado de dicho compuesto.

Es decir, al menos durante los 40 últimos años, el molde espiral ha sido una herramienta muy útil para caracterizar un polímero, un blend, procesos de inyección especiales como la inyección con gas, o incluso para analizar la influencia de distintos materiales de molde cuando esto no es posible con un reómetro capilar, pero no se encuentran estudios acerca de cómo influye la capa fría en un modelo viscoso.

2.1.1. Modelos reológicos utilizados en la simulación de inyección.

La viscosidad η es una propiedad física que expresa la relación entre el esfuerzo τ y la velocidad de deformación $\dot{\gamma}$, por lo que la viscosidad es un parámetro que depende de la temperatura, las condiciones de flujo, y la presión [15, 16].

Por ello, para determinar la viscosidad de un material, se deben tener en cuenta todos estos parámetros, y en vez de obtenerse un único valor numérico, se obtiene una familia de curvas o modelo reológico.

Cuando el esfuerzo es independiente de la velocidad de deformación y del tiempo (a temperatura y presión dadas), se tiene una viscosidad newtoniana, y por tanto, un fluido newtoniano, que es aquel que cumple $\tau = \eta\dot{\gamma}$ siendo η constante.

Existen otros fluidos, denominados “Bingham fluids”, que son aquellos que no se vuelven viscosos, hasta que no se les aplica un esfuerzo determinado. Estos fluidos vienen dados por la siguiente ley: $\tau = \tau_0 + \eta\dot{\gamma}$. Este es el caso de fluidos como la pasta de dientes.

Por último se tienen fluidos no newtonianos en los que la ley que los rige sigue siendo $\tau = \eta\dot{\gamma}$, pero en este caso, la viscosidad η deja de ser constante y es dependiente de la velocidad de cizalla. Cuando para una duración determinada t , la viscosidad aparente es una función decreciente de la velocidad de deformación, se dice que ha tenido lugar una fluidificación. En caso contrario, si la viscosidad aparente es una función creciente de la velocidad de deformación, se dice que ha tenido lugar un espesamiento.

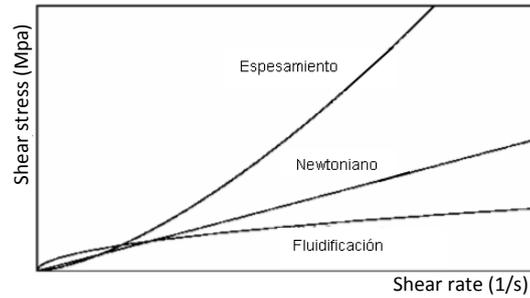


Figura 2.1. Tipos de fluidos en función de de su viscosidad

Los polímeros pasan por distintos comportamientos, dependiendo del valor de velocidad de cizalla.

Son fluidos newtonianos para velocidades de cizalla bajas (zona 1), y en la transición de fluidificación a espesamiento (zona 3). Sin embargo, para velocidades de cizalla en las que se produce la fluidificación o el espesamiento, son fluidos no newtonianos y se rigen por una ley no lineal cuya aproximación más simple es la ley potencial $\eta = K\dot{\gamma}^{n-1}$, siendo K y n constantes.

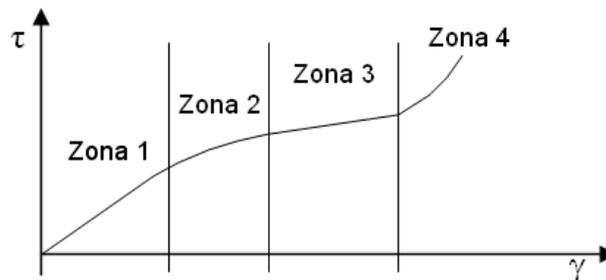


Figura 2.2. Distintos comportamientos de los fluidos

Existen varios modelos reológicos usados para el cálculo de caídas de presión del plástico cuando fluye dentro del molde [17, 18, 19]. Generalmente estos modelos se introducen en programas como C-MOLD, TM Concept y MOLDFLOW para realizar los cálculos.

El modelo más simple es el exponencial, que tiene la siguiente forma:

$$\eta = Ae^{\left(\frac{T_a}{T}\right)} \dot{\gamma}^{(n-1)} \quad (2.1)$$

donde T es la temperatura, A y n son constantes y T_a es una temperatura de referencia generalmente, T_g o de transición vítrea.

Este modelo caracteriza el polímero bajo condiciones de shear-rate altos, pero no considera los efectos de presión.

El modelo Cross-Exp está representado por la ecuación

$$\eta = \frac{\eta_0}{1 + \left(\frac{\eta_0 \dot{\gamma}}{\tau} \right)^{(1-n)}} \quad (2.2)$$

donde para $T > T_g$,

$$\eta_0 = B e^{\frac{T_b}{T}} e^{\beta P} \quad (2.3)$$

y para $T < T_g$

$$\eta_0 = \infty \quad (2.4)$$

En este modelo, n , B y β son constantes, T_b temperatura de referencia, T es temperatura y P es presión.

Un modelo similar a Cross-Exp es el modelo Carreau-Exp

$$\eta = \frac{\eta_0}{1 + \left(\frac{\eta_0 \dot{\gamma}}{\tau^2} \right)^{(1-n)/2}} \quad (2.5)$$

Ambos modelos son válidos para grandes rangos de *shear rate*, pero no para valores bajos.

El modelo Cross-Williams-Landel-Ferry (WLF) caracteriza la viscosidad de manera similar al modelo Cross-Exp, pero aumenta el rango de *shear rate* válido, caracterizando el material también para velocidades lentas.

La expresión del modelo es idéntica que para el moldeo Cross-Exp, pero el valor de η_0 cambia.

para $T \geq T_{ref}$

$$\eta_0 = D_1 e^{\frac{-A_1(T-T_{ref})}{A_2(T-T_{ref})}} \quad (2.6)$$

donde

$$A_2 = A_{2ref} + D_3 P \quad (2.7)$$

para $T < T_{ref}$

$$\eta_0 = \infty \quad (2.8)$$

donde

$$T_{ref} = D_2 + D_3 P \quad (2.9)$$

De nuevo en este modelo A, A_{2ref} , D, D_2 y D_3 son contantes.

Generalmente para T_{ref} se toma el valor de T_g , temperatura de transición vítrea.

Carreau también estableció el modelo Carreau-WLF, manteniendo la expresión matemática del modelo Carreau-Exp, pero teniendo en cuenta las consideraciones de WLF para η_0 .

El programa de simulación MOLDFLOW ofrece dos opciones para introducir modelo reológico.

Modelo exponencial,

$$\eta = A \dot{\gamma}^B e^{CT} \quad \text{para } T \geq T_{noflow}, \quad (2.10)$$

donde A, B y C son constantes

$$\eta = \infty \quad (11) \quad \text{para } T < T_{noflow}; \quad (2.11)$$

y una expresión polinomial denominada "Second-Order Moldflow model", que viene expresada por

$$\ln[\eta(T, \dot{\gamma})] = A + B \ln(\dot{\gamma}) + CT + D \ln(\dot{\gamma})^2 + E \ln(\dot{\gamma})T + FT^2 \quad \text{for } T \geq T_{noflow} \quad (2.12)$$

y por la ecuación

$$\eta(T, \dot{\gamma}) = \infty \quad \text{para } T < T_{noflow} \quad (2.13)$$

donde A, B, C, D, E y F son las constantes del modelo obtenidas por ajuste matemático

Para el desarrollo de esta tesis ha sido escogida para trabajar, esta aproximación de segundo orden, y los parámetros constitutivos del modelo se han obtenido a partir de ensayos realizados con molde espiral.

Como se ha expuesto anteriormente este es uno de los modelos que se pueden introducir en programas de simulación para caracterizar el flujo dentro de un molde mediante métodos numéricos de cálculo.

2.1.2. Tipos de métodos numéricos de cálculo.

A pesar de la complejidad para el cálculo y caracterización de un flujo, (campo de temperaturas, presiones, capa fría, etc.), siempre se deben cumplir ciertas leyes físicas. Estas leyes pueden expresarse en términos matemáticos como la conservación de la masa, la conservación del momento, y la conservación de la energía. Además de estas tres ecuaciones de conservación, se tendrán una serie de condiciones iniciales y de contorno.

Para caracterizar el flujo a través de un conducto, se debe plantear el problema físico, aplicar estas ecuaciones matemáticas, y resolverlas.

Aunque estas ecuaciones se pueden resolver de manera analítica para casos unidimensionales y bidimensionales sencillos, cuando el problema bidimensional se complica, o cuando ya es tridimensional se requieren métodos numéricos.

Existen tres clases básicas de técnicas numéricas que se utilizan comúnmente para resolver el flujo en geometrías complejas.

Estas técnicas son el método de diferencias finitas (FDM), el método de elementos finitos (FEM), y el método de los elementos de contorno (BEM) [12, 20].

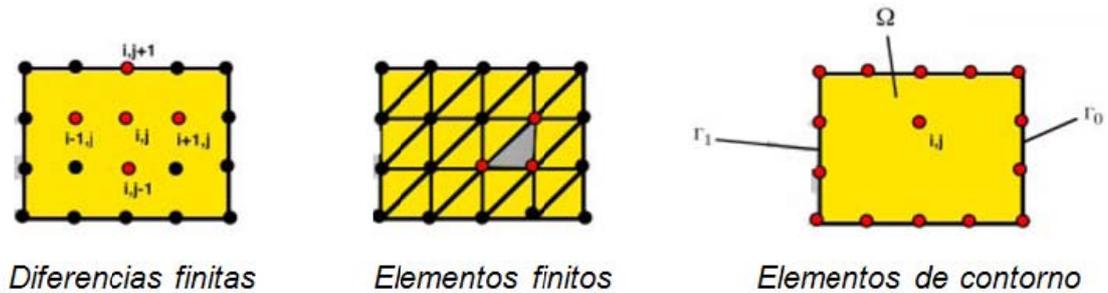


Figura 2.3 Tipo de mallado para cada método de cálculo [20]

Cada uno de estos métodos tiene sus ventajas y sus desventajas y, por tanto, uno puede ser preferible para cierto tipo de proceso o material. Cada técnica se ha adaptado en alguna forma para los problemas específicos encontrados en el procesamiento de polímeros.

El método de diferencias finitas comenzó a ganar importancia en la década de 1930 para su uso en cálculos hechos a mano y es el más sencillo de usar y comprender. La figura 2.3 muestra la malla que se construye para representar una geometría de dos dimensiones. Las ecuaciones anteriormente mencionadas, se aplicarán a cada uno de los nodos en forma de diferencias finitas y el resultado será un sistema de ecuaciones algebraicas se pueden resolver por el método de Gauss estándar.

Una diferencia finita es una expresión matemática de la forma $f(x + b) - f(x + a)$. Se consideran normalmente tres formas: la anterior, la posterior y la central.

Una diferencia adelantada o posterior es una expresión de la forma

$$\Delta[f](x) = f(x + h) - f(x) \quad (2.14)$$

Dependiendo de la aplicación, el espaciado h se mantiene constante o se toma el límite $h \rightarrow 0$.

Una diferencia atrasada o anterior se obtiene de la anterior reemplazando h por $-h$:

$$\nabla[f](x) = f(x) - f(x - h) \quad (2.15)$$

Finalmente, la diferencia central es la media de las diferencias anteriores y posteriores. Viene dada por

$$\delta[f](x) = \frac{f(x + h) - f(x - h)}{2} \quad (2.16)$$

Debido a la simplicidad del método, puede aplicarse en una amplia variedad de problemas, utilizando las ecuaciones de contorno y los datos iniciales concretos de cada problema.

El método de diferencias finitas es también fácil de programar y las simulaciones de ordenador se pueden realizar en tiempos de cálculo rápidos, pero se ha de tener en cuenta, que la aplicación de este método es adecuado para los casos en los que se tienen geometrías relativamente simples.

En contraste con el método de diferencias finitas, el método de elementos finitos, es una técnica relativamente nueva, que se utiliza entre otras opciones, para resolver problemas de flujo. Se popularizó en la década de 1960 junto con la aparición de los ordenadores digitales y se ha convertido en la base de cálculo de programas comerciales de simulación dinámica de fluidos y de flujo.

Al igual que *Finite Difference Method* (FDM), *Finite Element Method* (FEM) es un método en el que se modeliza la geometría objeto de estudio y posteriormente se discretiza en una malla de nodos y elementos. Dos nodos son adyacentes si pertenecen al mismo elemento finito; además, un nodo sobre la frontera de un elemento finito puede pertenecer a varios elementos (Fig. 2.3.).

Aunque existen varios métodos de cálculo el más utilizado es el método Galerkin. Una vez creada malla, las ecuaciones diferenciales que rigen el comportamiento del fluido se expresan en forma integral y se

integran numéricamente para obtener un sistema de ecuaciones algebraicas. Debido a la naturaleza de los elementos finitos, este método es capaz de modelar geometrías mucho más complejas que FDM. Por ello también puede ofrecer soluciones muy precisas, como campos de velocidad y presión, para una amplia variedad de problemas [21, 22].

En contraste con los métodos de diferencias finitas y elementos finitos, el *Boundary Element Method* (BEM), sólo exige que se discretice la frontera o las superficies de la geometría. Como se muestra en la figura 2.3, una geometría bidimensional sólo requiere de una discretización de la curva que forma el límite de la pieza.

El método BEM también fue también muy usado al mismo tiempo que se utilizaba el método FEM, pero debido a lo relativamente complejo en cuanto a matemáticas se refiere, y lo lento que resultaba en cuanto a cálculo, este ha sido un método mayoritariamente utilizado por matemáticos, mientras que el método FEM es mas usado por ingenieros.

El método BEM comienza aplicando las ecuaciones que caracterizan el flujo, únicamente en la frontera, y en términos de integrales de dominio. Estas integrales son transformadas por el método Green-Gauss hasta que se reducen a integrales de contorno, y posteriormente estas integrales son evaluadas numéricamente para llegar a un sistema de ecuaciones [23].

Para una parte de esta tesis, en la que se trabaja con métodos numéricos de cálculo, se ha escogido para trabajar el método de las diferencias finitas.

2.1.3. Método de diferencias finitas aplicado a la modelización del flujo en una tira.

Existen herramientas de cálculo y dibujo que vienen dadas por softwares modernos de simulación como MOLDFLOW, que realizan estos cálculos trabajando con elementos finitos, pero que no tienen en cuenta la

asimetría en cuanto a material se refiere cuando se realiza el cálculo de un llenado sin el diseño de una refrigeración.

Sin embargo, es posible hacer estimaciones por medio de técnicas de aproximación basadas en las diferencias finitas, una vez conocidas la geometría, las propiedades de material y los parámetros de inyección.

La geometría más sencilla para trabajar con diferencias finitas, es una tira de espesor e , anchura w y longitud L .

Tanto en el cálculo de la capa fría, como en el de caídas de presión, o distribución de temperaturas, son necesarias además de las propiedades físico-térmicas del polímero que se inyecta, las de los materiales que entran en contacto con él.

El calor específico C_p es la cantidad de calor o energía necesario aportar a la unidad de masa para incrementar su temperatura un 1K. El calor específico varía con la temperatura y de forma diferente según se trabaje con materiales amorfos o semicristalinos [24].

La conductividad térmica K , es el flujo térmico en sentido perpendicular a una superficie, y que es debido a la diferencia de temperatura entre caras de dicha superficie. Existirá flujo térmico hasta que se alcance el equilibrio térmico y todo el sólido se encuentre a la misma temperatura. De igual manera que para el calor específico, la conductividad varía con la temperatura y de manera diferente para amorfos y semicristalinos [24].

La densidad del polímero, puede definirse con gran exactitud por medio de las curvas PvT , pero se puede simplificar tomando un valor contante de densidad cuando el polímero está fundido, o cuando está solido [24].

Por último, se define la temperatura de no flujo o de congelación. Esta es la temperatura a la cual el polímero deja de fluir [24].

El cálculo de la caída de presión al llenar una tira con un termoplástico, es posible gracias a un conjunto de ecuaciones que aplicadas a la geometría de la tira, tienen la siguiente forma [12, 20, 25]:

$$Q = w \int_{-b}^b u dy \quad (2.17)$$

$$0 = \frac{\partial}{\partial y} \left(\eta \frac{\delta u}{\delta y} \right) - \frac{\delta P}{\delta x} \quad (2.18)$$

$$\rho C_p \left(\frac{\delta T}{\delta t} + u \frac{\delta T}{\delta x} \right) = k \frac{\delta^2 T}{\delta y^2} + \eta \gamma^2 \quad (2.19)$$

La velocidad del plástico según la dirección x , viene representada por u , la viscosidad en función de algún modelo viscoso se representa por η , y la velocidad de cizalla por $\gamma = \left| \frac{\delta u}{\delta y} \right|$. Además, P es la presión, T la temperatura y ρ , C_p y K las propiedades del polímero anteriormente detalladas.

Cada una de las ecuaciones mostradas con anterioridad (2.17, 2.18 y 2.19) representan el balance de masa, el balance de fuerzas en dirección del flujo y el balance térmico respectivamente.

En el balance de fuerzas intervienen la tensión de cizalla viscosa y el gradiente de presión en colada, y se desprecian las fuerzas por gravedad.

En el balance térmico se tiene conducción a través del espesor de la cavidad, y calentamiento por fricción viscosa entre las capas del fluido.

El cálculo reológico en la tira se basa en describir adecuadamente los campos de velocidad $u(x,y,t)$, de temperatura $T(x,y,t)$, de presión $P(x,t)$ y de capa fría dependiente de (x,y,t) .

Para ello se tomarán como condiciones iniciales, los valores de velocidad de frente de flujo y temperatura a la entrada de la tira.

Una vez que se tiene el balance térmico en forma de diferencias finitas (ecuación 2.20) se aplicará a todos los nodos interiores dando lugar a un sistema de ecuaciones compatible determinado [12, 20, 25].

$$\rho C_p \left[\frac{T_{i,j,k+1} - T_{i,j,k}}{\Delta t_k} + u_{i,j,k} \frac{T_{i,j,k+1} + T_{i-1,j,k+1}}{\Delta x_{i-1}} \right] =$$

$$k \left[\frac{2T_{i,j-1,k+1}}{\Delta y_{j-1}(\Delta y_{j-1} + \Delta y_j)} - \frac{2T_{i,j,k+1}}{(\Delta y_{j-1} + \Delta y_j)} + \frac{2T_{i,j+1,k+1}}{\Delta y_j(\Delta y_{j-1} + \Delta y_j)} \right] + \eta_{ijk} \gamma_{ijk}^2 \quad (2.20)$$

Los Δx e Δy vendrán dados por la discretización de la tira, e Δt vendrá dado por Δx y Q (caudal).

En esta expresión se deberá tener en cuenta que γ_{ijk} vendrá dado por $\frac{u_{ijk} - u_{i,j-1,k}}{\Delta y}$ y que η_{ijk} se calculará a través del modelo reológico usando los valores de γ_{ijk} y T_{ijk} .

Generalmente en la bibliografía se realizan los cálculos solo en el semiespesor y aplicando condición de simetría en el centro.

Una vez calculado el campo de temperaturas en un instante concreto, es preciso actualizar las demás propiedades de flujo.

Cuando se trabaja con una expresión general de viscosidad, que no necesariamente es de potencias, esto supone un proceso iterativo [12, 20, 25].

Una forma de proceder consiste en evaluar primeramente la fluidez $S = \int_{-b}^b \frac{y^2}{\eta} dy$ mediante cuadratura numérica trapezoidal. La viscosidad que se empleará en este paso será la correspondiente a los viejos valores de velocidad de cizalla, y campo de temperaturas actualizado.

Con los valores de $S_{i,k+1}$ que se han obtenido, se puede calcular el valor correspondiente al gradiente de presión $\Lambda_{i,k+1} = \frac{Q}{2wS_{i,k+1}}$. A partir de este dato se puede calcular el nuevo campo de velocidades de cizalla por medio de la expresión $\gamma = \frac{\Lambda y}{\eta}$. De esta manera, se puede recalculer la viscosidad con los nuevos valores actualizados de *shear rate*, y comenzar el proceso recalculando de nuevo la fluidez S . El proceso será iterativo y se repetirá hasta que S llegue a converger.

Por otro lado y una vez alcanzada la convergencia, con Λ , y empezando por un valor nulo en el frente de flujo, se calcula el campo de presiones integrando desde el frente de flujo hasta el punto de entrada de material, en base a la expresión $\Lambda = \frac{-\delta P}{\delta x}$.

Por último, y también cuando se ha alcanzado la convergencia, basta integrar a lo largo del espesor el ratio de cizalla, para obtener el perfil de velocidades correspondiente a cada avance de flujo. Para ello, se utilizará valor nulo de velocidad en la pared del molde y en todos aquellos puntos en los que el campo de temperaturas indique que están por debajo de la temperatura de no flujo.

Cada vez que el flujo avance, se repetirá todo el proceso.

2.2. Sobre IMD y la inyección sobre textil

Muchos componentes de plástico necesitan tener un acabado superficial concreto antes de su uso. Este acabado puede actuar como una capa decorativa, una capa de protección, para suavizar los defectos de superficie, o para modificar las propiedades de la superficie (por ejemplo, para mejorar la adhesión). Si este acabado superficial se consigue durante el proceso de moldeo, se puede reducir el tiempo, espacio, necesidades materiales y de maquinaria. Además, también permitiría a los proveedores servir sistemas completos, en lugar del componente moldeado para realizarle operaciones posteriores.

Dentro de las técnicas de decoración en molde o IMD están la inyección sobre un film, textil (Fig. 2.4) o folio de TPV, o sobre inyección de etiquetas, entre otras.



Figura 2.4 Pieza inyectadas con textil, tras ser extraídas del molde

La técnica IMD por lo general requiere de equipo adicional, que puede ser costoso. El diseño es fundamental para el éxito, y estos factores deben tenerse en cuenta en la planificación empresarial.

Los folios de TPV o de film son elaborados por extrusión multicapa. Pueden ser de un solo color o estampados con gráficos.

El folio se coloca en el molde antes de la inyección para producir una variedad de efectos decorativos. Esta técnica permite una gran flexibilidad del diseño, y permite una mayor personalización de los productos tales como automóviles, teléfonos móviles, etc. El cambio de concepción de los moldes es tan simple como cambiar un rollo de film o textil.

En el etiquetado en el molde, se puede eliminar la necesidad de adhesivo. Un ejemplo de esta práctica, son las etiquetas de papel para tapas de los recipientes, que se insertan en el molde antes de la inyección. Las etiquetas deben estar fabricadas de material plástico igual que el componente inyectado para facilitar la unión y crear un efecto de superficie continua, es decir, la etiqueta se convierte en parte integrante del producto [26, 27, 28].

Estas técnicas, junto con la inyección sobre textil, tienen un amplio uso en la industria del plástico, por lo que es necesario su estudio y caracterización, para mejorar el rendimiento de las empresas que se dedican a este tipo de procesos.

2.2.1. Descripción del proceso de inyección sobre textil

En el proceso de inyección sobre textil, el molde utilizado difiere de un molde para inyección convencional o secuencial sin textil.

El molde que se utiliza para la inyección sobre textil, debe tener una serie de elementos especiales respecto de los moldes para piezas convencionales.

Este molde tiene tres partes. La parte móvil, la parte fija, y una tercera placa entre las dos partes del molde. El textil se coloca entre la parte fija y la tercera placa. Entonces el molde comienza a cerrar hasta que la tercera placa toca contra la parte fija dejando el textil en medio, y la parte móvil hace presión contra la placa intermedia por medio de unos muelles. Entonces, el textil es pretensado mediante un marco tensor dotado de agujas, de tal manera que queda inmobilizado pudiéndose adaptar a la cavidad de manera controlada (Fig. 2.5).

El sistema de expulsión y desmoldeo debe encontrarse en el lado de inyección, para evitar dejar marcas en la cara vista y la inyección se realiza por la cara no vista de la pieza [28, 29].

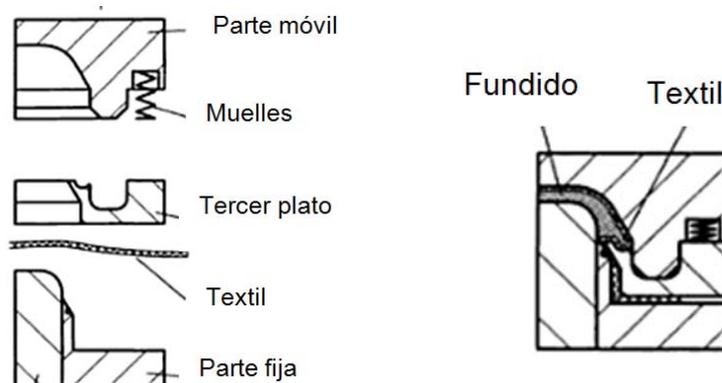


Figura 2.5 Diseño de molde para inyección sobre textil [29]

El proceso de fabricación de estas piezas es el siguiente.

2- Estado del arte

En primer lugar se realiza un precortado (Fig. 2.6) de la tela sobre la que se inyectara, y posteriormente se colocara dicha tela con el molde abierto (Fig. 2.7, 2.8), tal y como se ha explicado anteriormente.

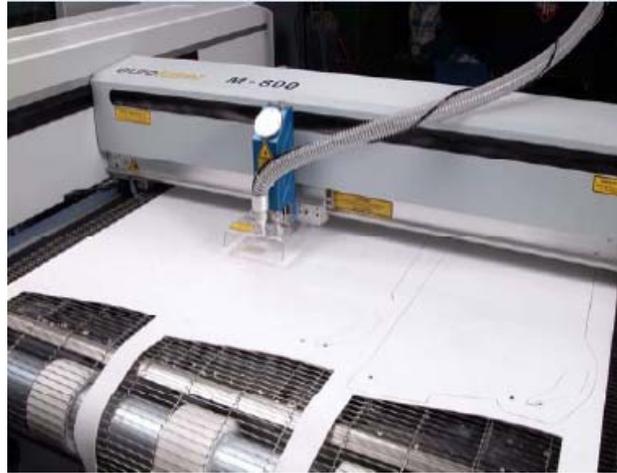


Figura 2.6 Precortado del textil



Figura 2.7 Ubicación del textil en el molde

En segundo lugar, se realiza la inyección, bien en convencional si se tiene un solo punto de llenado, o bien, a través de un sistema de alimentación secuencial si se trata de un molde con más de una entrada, de manera que no se alcancen presiones muy altas para evitar los defectos tales como traspasos, arrugas, etc.(Fig. 2.8).

Tras la fase de refrigeración la pieza es liberada por el sistema expulsor (Fig. 2.8).

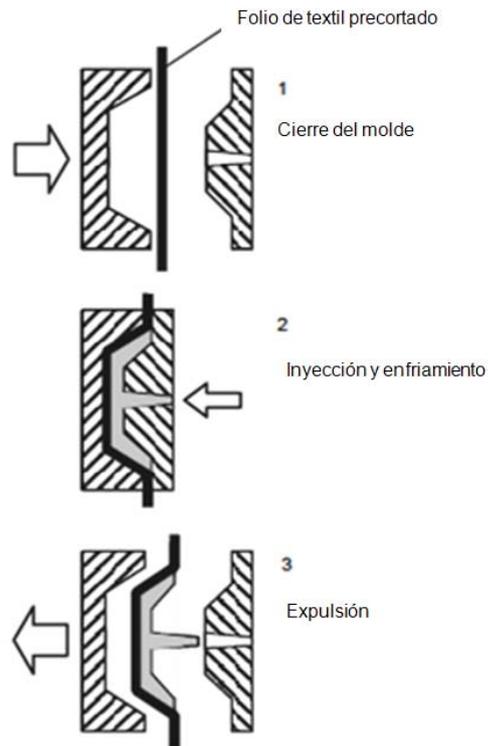


Figura 2.8 Proceso de inyección sobre textil [26]

Por último, habrá que realizar una serie de tareas para corte de la tela, troquelado y rebordeo (doblado del tejido sobrante hacia la cara no vista de la pieza, y posteriormente pegado a esa cara), para dejar el componente ya listo para su montaje.

Los tejidos que se usan para la inyección a baja presión son especiales, y tienen una serie de capas que cumplen unas funciones específicas.

Se tiene una capa protectora denominada film barrera, cuya finalidad es evitar el traspaso de polímero y asegurar un buen anclaje entre plástico y textil (Fig. 2.9, 2.10).

El film barrera está fabricado mediante una inyección al azar de fibras que se colocan aleatoriamente procurando minimizar al máximo la porosidad y que no sigue ningún patrón reproducible mediante modelización. Esta forma de fabricación tiene un problema y es que lotes de un mismo producto, pueden llegar a tener características algo diferentes, en cuanto a permeabilidad se refiere.

La característica principal del film barrera es la densidad, que es de entre 130 y 150 gr/m².

A continuación del film barrera se tiene una segunda capa, que es espuma y que confiere la sensación de *soft touch* a la pieza (Fig. 2.9, 2.10).

Esta espuma es muy porosa y de alta permeabilidad. Por si sola nunca serviría para evitar traspasos. Además, la temperatura del plástico puede llegar a fundir esta espuma (también de material plástico) teniendo todavía más facilidad para traspasar. Esto último da una idea de la bajísima permeabilidad que debe tener el film barrera: suficientemente baja como para que no se produzca traspaso, y en su medida adecuada para que haya absorción del medio poroso, se produzca atrapamiento mecánico y el textil quede bien adherido a la pieza de plástico sobreinyectada.

Por último, se tiene una tercera capa, o textil propiamente dicho, que da la estética final a la pieza, y que por sí solo tampoco evitaría traspasos debido a su alta permeabilidad (Fig. 2.9, 2.10).

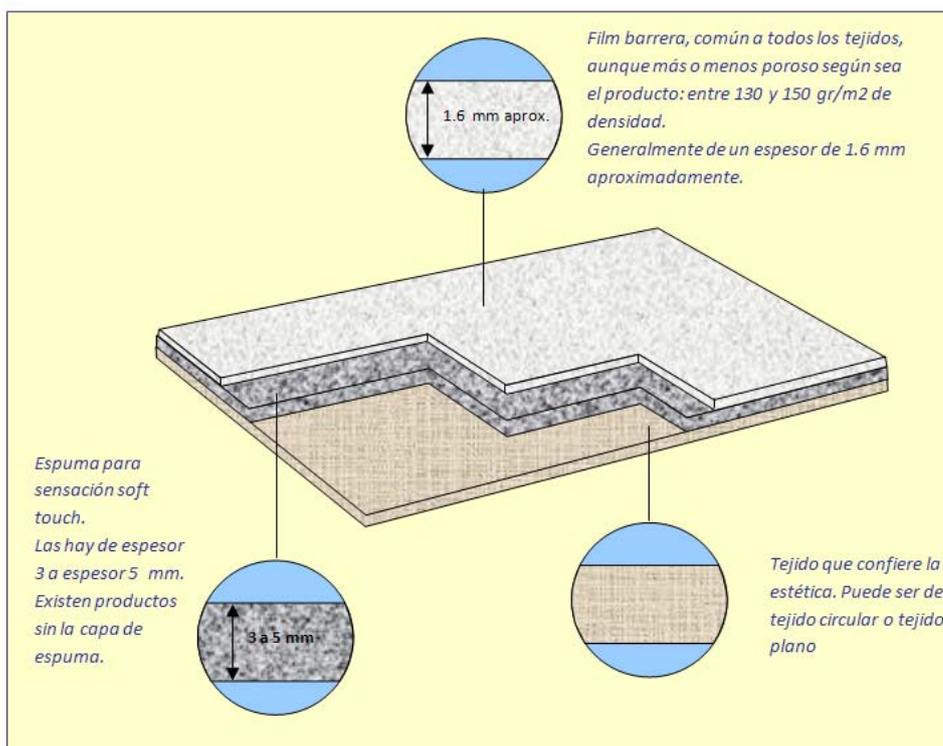


Figura 2.9 Esquema de composición de textil multicapa para sobreinyectar

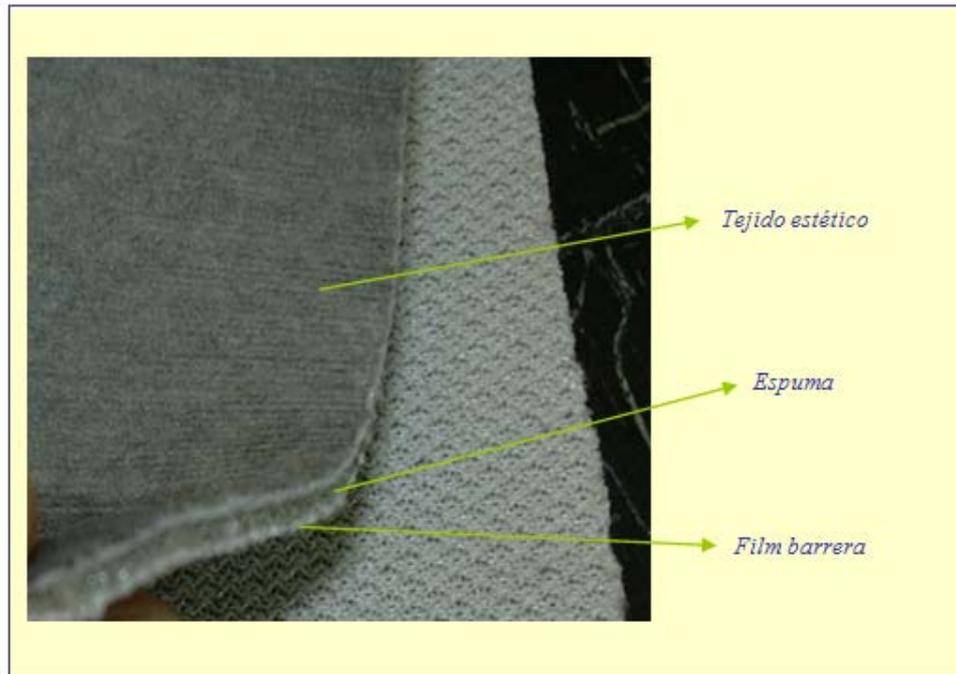


Figura 2.10 Imagen real de textil multicapa para sobreinyectar

En la actualidad, el moldeo sobre textil constituye una tecnología totalmente empírica. Se tienen determinados parámetros como referencia, pero no están acotados, como sucede en la inyección convencional.

Los programas de simulación que existen en la actualidad tratan el flujo pasando a través de conductos metálicos, ya sean circulares o planos, pero no se tiene un modelo de flujo pasando a través de un espacio en el que una parte sea metálica y otra sea textil.

Tampoco se encuentran relacionados los defectos de las piezas, en concreto los traspasos, con parámetros de flujo del material dentro del molde, y el tejido que se utiliza para revestir el plástico tampoco se encuentra caracterizado desde el punto de vista de permeabilidad, característica directamente relacionada con la causa de los traspasos.

En esta tesis se profundizará en todos estos aspectos.

2.3. Sobre la permeabilidad de un medio poroso y los traspasos

La permeabilidad describe la conductividad de un medio poroso con respecto a flujo fluido, es decir, la facilidad que tiene un fluido para pasar a través de un medio.

Un factor importante a la hora de analizar el medio poroso, es el grado de homogeneidad de dicho medio. Generalmente, y desde el punto de vista macroscópico, el medio se puede considerar homogéneo, aunque desde el punto de vista microscópico el medio poroso es heterogéneo (Fig. 2.11).

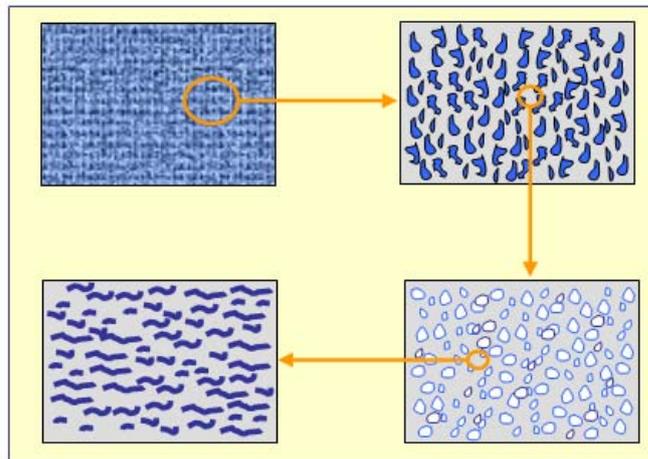


Figura 2.11 Medio poroso visto con distintos zooms

En la segunda ley de Newton

$$\frac{F}{V} = \frac{1}{V} \frac{dp}{dt} = \rho \frac{Du}{Dt} = \rho \left[\frac{du}{dt} + u \frac{\delta u}{\delta x} + v \frac{\delta v}{\delta y} + w \frac{\delta w}{\delta z} \right] = \rho \frac{du}{dt} + \rho u (\nabla u) \quad (2.21)$$

el sumatorio de fuerzas por unidad de volumen, está compuesto por la suma de fuerzas superficiales (tangenciales y normales), las fuerzas exteriores y las fuerzas másicas (o de gravedad), todas ellas expresadas por unidad de volumen.

$$\frac{F}{V} = \frac{\delta \tau_{ij}}{\delta x_j} + \rho g_i + f_i = \frac{-\delta p}{\delta x_i} + \eta \nabla^2 u + \rho g_i + f_i \quad (2.22)$$

Combinando (2.21) y (2.22) se tiene

$$\rho \frac{du}{dt} + \rho u(\nabla u) = \frac{-\delta p}{\delta x_i} + \eta \nabla^2 u + \rho g_i + f_i \quad (2.23)$$

Esta expresión es conocida como ecuación de **Navier Stokes**. [13,14]

Se aborda ahora el problema de flujo unidireccional a través de un tubo a modo de poro, haciendo uso ecuación de Navier Stokes.

Se tiene un cilindro de radio "a", en el que la velocidad de flujo tendrá exclusivamente componente "z" siendo función de "r" (Fig. 2.14). La gravedad será despreciable y no existirán fuerzas exteriores. Además, la presión será función de la componente "z" ($p = p(z)$, caída de presión a lo largo del tubo).

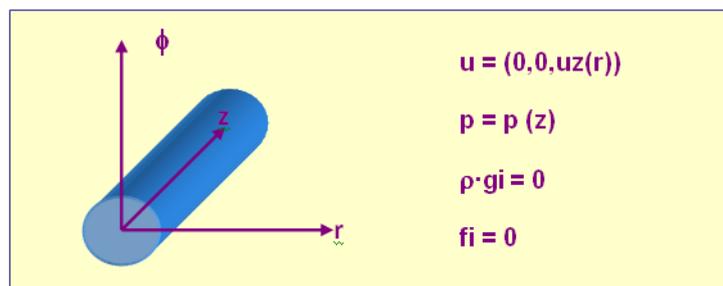


Figura 2.14 Planteamiento del problema de flujo a través de un cilindro

La ecuación de Navier Stokes desarrollada en cilíndricas para operar correctamente, y eliminando ya las fuerzas exteriores y de gravedad se muestra a continuación, y da como resultado la siguiente ecuación diferencial:

$$-\frac{\delta p}{\delta z} + \eta \left(\frac{\delta^2 u_z}{\delta r^2} + \frac{1}{r} \frac{\delta u_z}{\delta r} \right) = -\frac{\delta p}{\delta z} + \frac{\mu}{r} \frac{\delta}{\delta r} \left(r \frac{\delta u_z}{\delta r} \right) = \rho \left(\frac{\delta u_z}{\delta t} \right) = 0 \quad (2.24)$$

que se resolverá integrando dos veces

$$u_z = \frac{r^2}{4\eta} \frac{\delta p}{\delta z} - A \ln r + B \quad (2.25)$$

Aplicando las condiciones de contorno se obtendrán las constantes A y B para que quede totalmente determinada la expresión de velocidad de flujo.

$$u_z = -\frac{1}{4\eta} \frac{\delta p}{\delta z} (a^2 - r^2) \quad (2.26)$$

Esta expresión será la de velocidad de flujo unidireccional a través de un tubo de radio “a” para flujo newtoniano e incompresible.

Con los datos reunidos hasta este punto, se puede retomar el estudio de flujo a través de medio poroso.

Para calcular el caudal promedio a través de medio poroso, se debe aplicar la relación entre la sección de paso con respecto al área total del medio poroso obteniéndose la ley de Darcy

$$q = Q\varepsilon = -\frac{\pi a^4 \varepsilon}{8\eta} \left(\frac{dp}{dz}\right) \Rightarrow q = -\frac{k}{\eta} \left(\frac{dp}{dz}\right) \quad (2.27)$$

donde “ε” es la porosidad, “k” se define como permeabilidad específica y “a” es el radio del poro [30, 31, 32, 33, 34].

Es decir, la permeabilidad específica “k”, es un factor dependiente de la geometría, condicionado por la superficie específica, la porosidad (proporción entre superficie total y superficie de paso), tamaño, forma y rugosidad de las partículas, estructura del medio poroso y homogeneidad - heterogeneidad microscópica (Fig. 2.15).

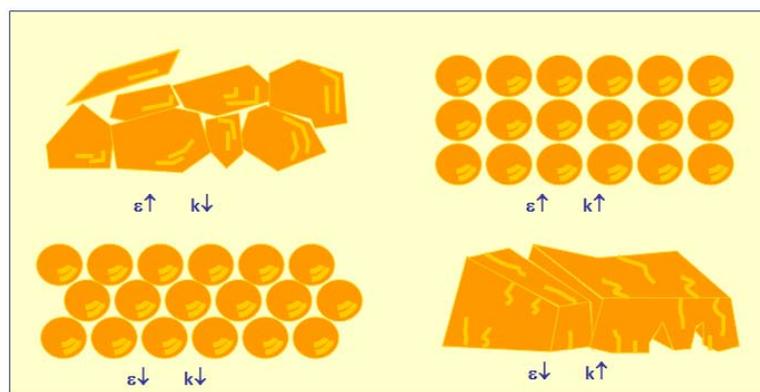


Figura 2.15 Packing de partículas del medio poroso, dando lugar a mayor o menor porosidad y permeabilidad [19]

Obtener la permeabilidad analíticamente podría ser muy largo y tedioso, e incluso casi imposible, por lo que se debe calcular mediante

permeametría técnica para obtenerla empíricamente. Otra posibilidad es calcularla semi empíricamente, valiéndose de estudios concretos, relacionados con diferentes medios porosos (por ejemplo a través de distintos textiles).

Regidos por la ley de Darcy para flujo laminar, existen modelos que simplifican un poco el cálculo de la permeabilidad. Dichos modelos son más o menos simplistas y por lo tanto se adaptan mejor o peor al medio poroso real.

El estudio de medios porosos está dividido en dos vertientes [34]: Modelos basados en flujo dentro de conductos y modelos de flujo alrededor de objetos sumergidos. Esta última generalización, es válida para modelos de muy alta permeabilidad, no correspondiendo esta característica al film barrera del textil que se sobreinyecta.

El repaso de la situación actual, se basará entonces en la descripción de los modelos de flujo dentro de conductos.

2.3.1. Modelos de porosidad basados en flujo dentro de conductos

Los modelos capilares son simplistas, pero se adaptan bien. Estos modelos se basan en el flujo a través de un conjunto de conductos tubulares, tal y como propuso Bear and Bachmat [35]. Dicho conjunto puede estar modelizado de diferentes maneras, dando lugar a variaciones del modelo capilar. Puede ser que todos los tubos sean iguales y de diámetro constante en toda su longitud, tubos de diferente tamaño con diámetro constante en toda su longitud, y tubos de diferente tamaño, de diámetro variable a lo largo de la longitud. Existe también un modelo de tubos tortuosos [35, 36, 37].

El cálculo de permeabilidad según estos modelos, se basa en el uso de la anteriormente expuesta ley de Darcy de la mecánica de fluidos [36].

- Tubos paralelos del mismo tamaño, con diámetro constante en toda su longitud (Fig. 2.16)

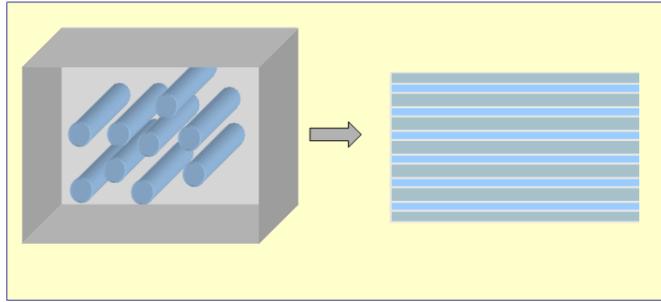


Figura 2.16 Tubos paralelos iguales de diámetro constante

Partiendo de la ecuación

$$Q = -\frac{\pi a^4}{8\eta} \frac{\Delta P}{L} \quad (2.28)$$

se tiene que

$$u_{promedio} = \frac{\pi a^4}{8\eta} \frac{\Delta P}{L S_{total}} \quad (2.29)$$

Dado un modelo de N_t tubos de radio "a" se obtendrá una permeabilidad específica

$$k = \frac{N_t \pi a^4}{8 S_{total}} \quad (2.30)$$

y la porosidad

$$\varepsilon = \frac{N_t \pi a^2}{S_{total}} \quad (2.31)$$

(relación entre área de paso y superficie total)

Esta geometría es poco real, por lo que es necesario estudiar más modelos. [35, 36]

- Tubos paralelos de diferente tamaño, con diámetro constante en toda su longitud (Fig. 2.17)

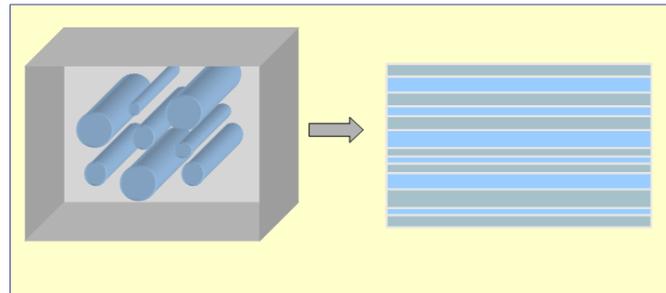


Figura 2.17 Tubos paralelos distintos de diámetro constante.

Partiendo de las expresiones de permeabilidad específica y porosidad del modelo anterior, y dada una geometría con N_t tubos de diferentes radios r_i se obtiene

$$k = \frac{\pi \sum_{i=1}^{N_t} r_i^4}{8S_{total}} \quad (2.32)$$

y

$$\varepsilon = \frac{\pi \sum_{i=1}^{N_t} r_i^2}{S_{total}} \quad (2.33)$$

Este modelo es sensible a errores cuando los poros tienen diámetros grandes, por lo que el modelo evoluciona y se obtiene el que se describe a continuación. [35, 36]

- Tubos paralelos de diferente tamaño, con diámetro variable en toda su longitud (Fig. 2.18)

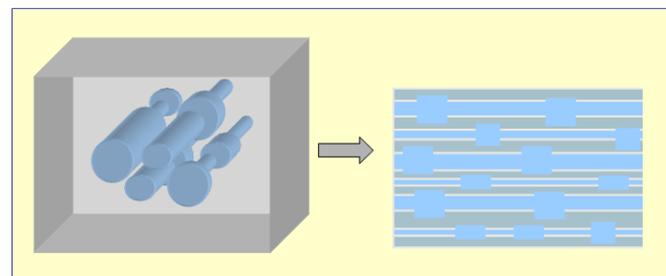


Figura 2.18 Tubos paralelos distintos de diámetro variable

Geoméricamente se tiene N_t tubos de radio variable r_i y a su vez variando por tramos de longitud l_i .

$$k = \frac{\pi \cdot L_{total}}{8S_{total} \sum_{i=1}^{N_i} \frac{l_i}{r_i^4}} \quad (2.34)$$

y

$$\varepsilon = \frac{\pi \sum_{i=1}^{N_i} r_i^2 \cdot l_i}{S_{total} \cdot L_{total}} \quad (2.35)$$

Este modelo subestima la permeabilidad, porque cuantificar el tamaño pequeño de poro en zonas de garganta es muy difícil. [35, 36]

- Tubos tortuosos (Fig. 2.19)

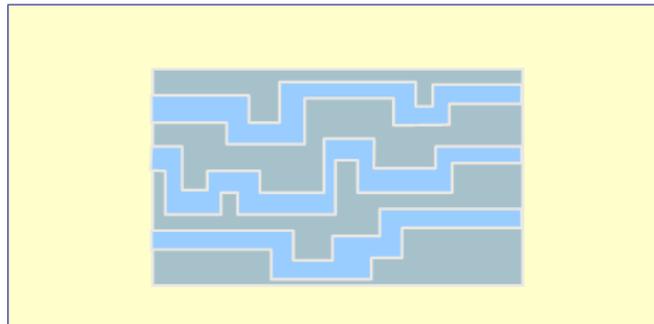


Figura 2.19 Tubos tortuosos.

Por último y dentro de los modelos capilares, se puede estudiar aquel denominado como de tubos tortuosos.

Se trata de un modelo en el que los tubos están retorcidos, y la partícula no recorre una longitud L , sino que el recorrido es mayor y la longitud real es L_e o longitud efectiva.

Con este modelo aparece un nuevo parámetro, denominado tortuosidad y que se define como

$$T = \left(\frac{L_e}{L}\right)^2 \quad (2.36)$$

La permeabilidad decrece según aumenta el factor de tortuosidad. [35, 36]

Carman – Kozeny [35, 37, 39], obtiene como expresión para la permeabilidad cuando se tiene flujo laminar

$$k = \frac{1}{S_v^2 k_o} \frac{\varepsilon^3}{(1-\varepsilon)^2 \tau} \quad (2.37)$$

Si $K^* = K_o \cdot \tau$, siendo K^* la constante de Carman Kozeny, se obtiene una expresión para calcular dicha permeabilidad tal que

$$k = \frac{1}{S_v^2 K^*} \frac{\varepsilon^3}{(1-\varepsilon)^2} \quad (2.38)$$

En esta expresión, el termino S_v , que representa la superficie volumétrica específica, es el termino más difícil de evaluar, pero si cada partícula que forma el medio poroso la asemejamos a una partícula ideal esférica de radio D_{esf} , se cumple que $S_v = 6/D_{esf}$, por lo que la expresión de la permeabilidad pasa a ser

$$k = \frac{D_{esf}^2}{36K^*} \frac{\varepsilon^3}{(1-\varepsilon)^2} \quad (2.39)$$

Leva [35, 36, 38] expone que en el cálculo de la permeabilidad, no solo influye la porosidad y el tamaño de las partículas, sino que la forma de las mismas, también aumenta o disminuye la permeabilidad.

Leva propone entonces la ecuación de permeabilidad

$$k = \frac{D_{esf}^2 \cdot H^2}{200} \frac{\varepsilon^3}{(1-\varepsilon)^2} \quad (2.40)$$

donde H es la relación entre el área de la esfera equivalente al volumen de la partícula real, y la superficie real de la partícula en cuestión.

Packing material	H	Packing material	H
Mica flakes	0.28	Sand (angular)	0.73
Crushed glass (jagged)	0.65	Sand (rounded)	0.83
Wilcox Sand (jagged)	0.60	Ottawa sand (spherical)	0.95

Figura 2.20 Valores de H para distintos medios porosos [35]

Para medios en los que se tienen esferas, el valor de H es 1, dando la expresión un valor de permeabilidad un poco más pequeño que el obtenido con la ecuación de Carman – Kozeny.

Por otro lado, el valor empírico de H, solo tiene en cuenta la forma y agrupamiento de las partículas del medio, pero no tiene en cuenta la tortuosidad. Combinando los valores de K^* y H de la bibliografía, y resolviendo las expresiones de Kozeny y Leva, se pueden obtener valores bastante aproximados de permeabilidad [35].

Leva [35, 36, 38] también expone que en el cálculo de la permeabilidad, influye la rugosidad de las partículas. Burke-Plumber [37, 38] indica que cuando el régimen es turbulento en vez de laminar, esto es para $Re > 1000$, el factor de fricción no depende del número de Reynolds y según datos experimentales toma el valor de 1.75.

Por lo tanto, partiendo de las expresiones de factor de fricción

$$f = \frac{\Delta P D_{esf}}{L u^2 \rho} \frac{\varepsilon^3}{(1-\varepsilon)} \quad (2.41)$$

y número de Reynolds

$$Re = \frac{D_{esf}}{\eta} \frac{u\rho}{(1-\varepsilon)} \quad (2.42)$$

y reorganizando términos, se llega a la expresión de pérdida de carga de un flujo turbulento que atraviesa un medio poroso.

$$\Delta P = \frac{1.75 L u^2 \eta (1-\varepsilon)}{D_{esf}^2 \varepsilon^3} \quad (2.43)$$

Esta expresión es conocida como ecuación de Burke-Plumber

Si se tiene un régimen en el que el número de Reynolds toma un valor comprendido entre 10 y 1000, Ergun [39, 40, 41] propone una ley

para calcular la pérdida de carga, en la que se tienen en cuenta los términos vistos en las dos secciones anteriores.

$$\Delta P = \frac{150Lu\eta(1-\varepsilon)^2}{D_{esf}^2 \varepsilon^3} + \frac{1.75Lu^2\eta(1-\varepsilon)}{D_{esf}^2 \varepsilon^3} \quad (2.44)$$

Esta expresión será la ecuación de Ergun.

2.3.2. Flujo de una solución de polímero a través de medio poroso

Hasta aquí se ha hecho un resumen del estado del arte en cuanto a flujo de un fluido cualquiera en un medio poroso genérico. En este apartado, se va a resumir el comportamiento de una disolución polimérica a través de un medio poroso, tal y como lo describen algunos autores.

Existen tres comportamientos de la disolución de polímero a través del medio poroso.

Primeramente se definirá a R_{poro} como radio medio del poro y R_h como el radio de enmarañamiento de la cadena de polímero (Fig. 2.21).

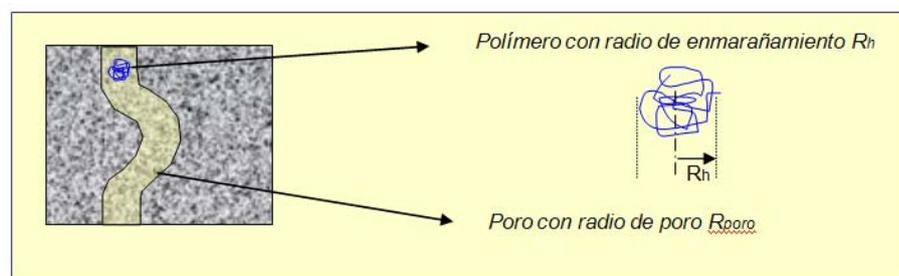


Figura 2.21 Radio de poro y de enmarañamiento

- Si $R_{poro} < 3R_h$, se tiene una baja permeabilidad. El polímero apenas pasa por el poro que tiene un radio muy pequeño frente al radio de enmarañamiento. Además, la deposición de polímero en las paredes de dicho poro, lo estrechan todavía más al darse lo que se denomina como atrapamiento mecánico.

Este fenómeno se da para cualquier velocidad del polímero, reteniéndose más polímero en las primeras zonas porosas. Este fenómeno se da tanto en condiciones de absorción, como no absorción

del polímero por el medio poroso, dado que el atrapamiento se da por pura geometría [36].

- Si $R_{poro} > 50R_h$, para que exista atrapamiento de polímero, debe existir absorción de solución polimérica por el medio poroso. Entonces el polímero se va depositando en la superficie libre del medio poroso hasta que ésta se ocupa totalmente, y se termina por alcanzar un estado estacionario en el que se tiene un caudal específico, Q_s .

En esta situación, K. Denis y A. Zayton [36] definen en uno de sus artículos un factor que indica la reducción de permeabilidad debida a la deposición de polímero en las paredes del poro, y que es constante cuando se alcanza el estado estacionario.

Para esta situación de alta permeabilidad, y en condiciones de flujo laminar, el valor de *shear rate* se puede calcular como [36]

$$\gamma_p = \frac{\alpha_g 4u}{\varepsilon R_p} \quad (2.45)$$

donde aparece un factor α_g , que tiene en cuenta la estructura del medio poroso.

Cuando el valor de *shear rate* es muy bajo, se observa comportamiento newtoniano. Si los caudales son muy altos, y el valor de *shear rate* es elevado, las cadenas se estiran e incluso se pueden llegar a romper. Para un valor crítico de *shear rate* igual a 110 seg^{-1} , se da un fenómeno denominado espesamiento, en el que las cadenas se retuercen, aumentando el R_h . Las cadenas poliméricas entonces pasan peor por los poros, dándose un aumento de la reducción de movilidad.

- Cuando $3R_h > R_{poro} > 50R_h$ se ha visto que existe un mecanismo específico de retención de polímero.

En este caso de permeabilidad intermedia del medio poroso, la reducción de permeabilidad debida a la absorción de polímero por las paredes del poro, es pequeña.

Autores como Zhita [42] proponen el siguiente mecanismo para explicar la reducción de permeabilidad: Para un caudal crítico la maraña de polímero se va estirando y las cadenas van taponando las gargantas del medio poroso (Fig. 2.22). La continuidad de este proceso hace que la permeabilidad vaya disminuyendo. El proceso dura mientras haya gargantas libres que tapar.

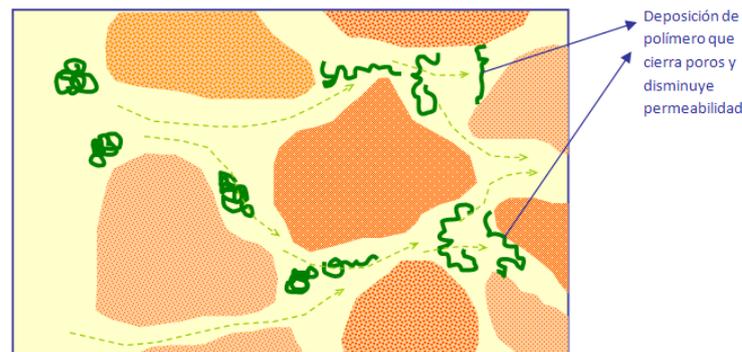


Figura 2.22 Mecanismo de absorción y atrapamiento de polímero [42]

En este caso, se produce mayor taponamiento si la concentración de polímero en la disolución es mayor, y además se da en las primeras zonas del medio poroso. No va a existir taponamiento, si no hay absorción.

2.3.3. Método de obtención de permeabilidad de un textil

Como se ha visto en el anterior apartado, para caracterizar el flujo de una solución polimérica a través de medio poroso, debe estar perfectamente caracterizado el medio poroso. El caso que nos ocupa trata sobre el flujo de plástico a través de textil, por lo que en este apartado se expondrá como se encuentra la situación actual en cuanto a modelización del textil como medio poroso.

La mayoría de los trabajos, utilizan el método de Lattice Boltzmann para el cálculo de permeabilidades de medios porosos de compleja geometría como rocas y suelos. Los textiles, son un tipo de medio poroso muy importante, que no se ha estudiado tanto como otros medios [43].

El método de Lattice Boltzmann, es válido para resolver las ecuaciones de Navier Stokes y de Brinkman [43, 44].

Las ecuaciones de Navier-Stokes, caracterizan el flujo entre hilos de textil suponiendo flujo incompresible [42].

$$\frac{\partial u}{\partial t} + (u \cdot \nabla)(u) = -\frac{1}{\rho} \nabla(p) + \eta \nabla^2 u \quad (2.46)$$

$$\nabla \cdot u = 0 \quad (2.47)$$

Las ecuaciones de Brinkman, caracterizan el flujo dentro de hilos de textil suponiendo flujo incompresible [42].

$$\frac{\partial u}{\partial t} + (u \cdot \nabla)(u) - \eta K^{-1} u = -\frac{1}{\rho} \nabla(p) + \eta \Delta u \quad (2.48)$$

$$\nabla \cdot u = 0 \quad (2.49)$$

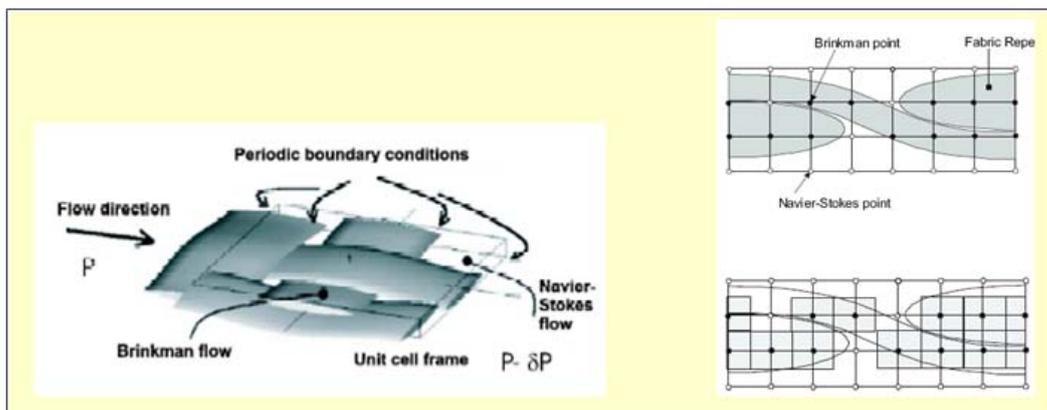


Figura 2.23 Ejemplo de modelización para posterior calculo de permeabilidad de un textil real [44]

En la práctica, la estimación del tensor de permeabilidad se obtiene idealizando la geometría del medio poroso (Fig. 2.23) y obteniendo soluciones empíricas y semi-analíticas, pero también se puede obtener por medio del método Lattice Boltzmann con ayuda de un software [42].

El método de Lattice Boltzmann es una técnica computacional potente para modelizar muchas variedades de problemas sobre flujos complejos, incluyendo diferentes fases y geometrías complejas. Se basa en la ecuación de Boltzmann, estudiada dentro del campo de la Mecánica Estadística que trata acerca de sistemas físicos compuestos por millones y millones de partículas interactuantes [45, 46, 47].

Este es el método de cálculo numérico elegido para la implementación de un software que calcula el tensor de permeabilidad de un textil.

El modelo fue implementado dando lugar al FLOWTEX, escrito en lenguaje C++ y se limita al cálculo de la permeabilidad de un textil para un fluido monofásico, isoterma, unidireccional y Newtoniano.

Para que FLOWTEX sea capaz de calcular, es necesario modelizar primeramente el tejido [44].

Por medio del WISSETEXT se modeliza la geometría del textil. Para ello es fundamental conocer la geometría, tamaño de las fibras, etc. (Fig. 2.24, 2.25)

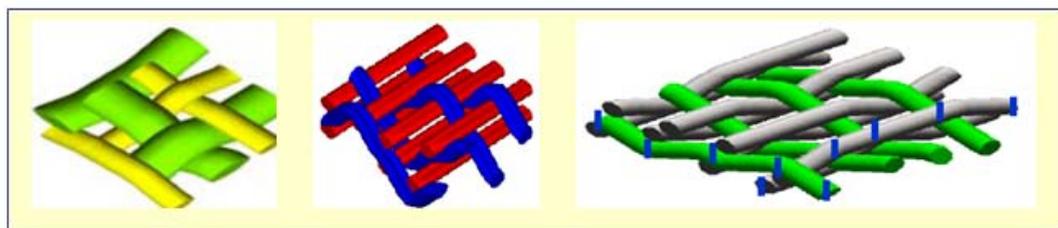


Figura 2.24 Ejemplo de geometrías de textil, para su posterior modelización [42]

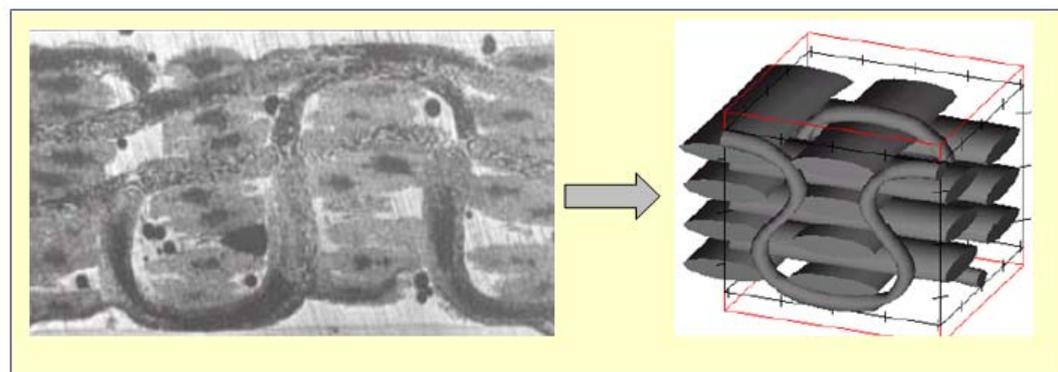


Figura 2.25 Ejemplo de modelización de un textil real [42]

Si el tejido es multicapa, es necesario utilizar el LAMTEX para seguir modelizando.

Volviendo al caso concreto de traspasos, generalmente estos se dan en zonas de geometría compleja, con recovecos, que provocan que el textil colocado en el molde esté demasiado tenso cuando éste se cierra.

Una excesiva tensión del tejido da lugar a que los poros del tejido aumenten de tamaño, dejando pasar el plástico fundido a través de ellos. Si a esta causa, se le suma un elevado valor de presión del material en cavidad, en zonas en las que el tejido está tenso, se obtiene una situación en la que el traspaso va a tener lugar casi con toda seguridad.

Todo esto unido a la compleja configuración que tiene el film barrera, hace muy difícil la modelización y cálculo de traspasos con las herramientas informáticas expuestas en este apartado.

Por ello, en esta tesis se tratará este fenómeno de manera empírica, observándose los traspasos en una espiral inyectada sobre textil, bajo distintas combinaciones de temperatura de inyección, de velocidad que da lugar a diferentes presiones de llenado y de tensión de textil.

3. Objetivos de la tesis

Comúnmente el modelo de viscosidad de un polímero se obtiene con reómetro capilar aplicando posteriormente las correcciones de Bagley y Ravinowitsch, pero este modelo con el que trabajan los programas de simulación no es válido para realizar cálculos en condiciones de inyección especiales, como inyección utilizando la técnica IMD (In Mold Decoration).

Algunos autores han realizado estudios relacionados con la fluidez de material y la longitud de flujo utilizando un molde espiral. Han comparado los resultados obtenidos con molde espiral y con reómetro, y se han comparado longitudes de flujo entre una espiral y un cuarto de disco.

A la vista de la información recabada en el anterior capítulo de estado del arte, se puede caracterizar la viscosidad de un material, con el estudio experimental de caídas de presión en un molde espiral monitorizado.

El **primer objetivo** de este trabajo será perfeccionar las técnicas y metodologías que se conocen en la actualidad haciendo hincapié en las correcciones de flujo y correcciones geométricas a realizar en los cálculos de caída de presión en la inyección de un molde espiral

3- Objetivos de la tesis

monitorizado. El objetivo será ajustar los modelos de comportamiento viscoso obtenidos a partir de su funcionamiento y análisis.

En lo que a IMD se refiere, como se ha expuesto hasta ahora, en la actualidad, el moldeo sobre textil constituye una tecnología totalmente empírica. Se tienen determinados parámetros como referencia, pero no están acotados, como sucede en la inyección convencional.

Los programas de simulación que existen en la actualidad tratan el flujo pasando a través de conductos metálicos, ya sean circulares o planos, pero no se tiene un modelo de flujo pasando a través de un espacio en el que una parte sea metálica y otra sea textil.

Un **segundo objetivo** de la tesis, será obtener una metodología fiable para obtener modelos viscosos de plástico fluyendo entre metal y textil. Dichos modelos serán siempre particulares a una pareja plástico-textil concretos, no siendo válido el modelo para un plástico en concreto sobre cualquier tipo de textil.

Lo que se pretende al cumplir este segundo objetivo, es encontrar la manera de introducir dicho modelo en programas de simulación comerciales y propios del grupo, de forma que se disponga de una herramienta predictiva para valorar los diseños y corregirlos en fases de diseño y no de molde productivo.

La utilidad de dicho modelo sería de gran importancia, dado que se podría conocer a priori el llenado de la pieza sobreinyectada con textil, según su geometría, colocación de los puntos de entrada de material, y parámetros de fase de llenado sin desperdiciar material que posteriormente hay que gestionar como residuo, y sin gastar mano de obra y energía para hacer funcionar la máquina.

Con el tercer objetivo de la tesis, se completa el segundo. Este **tercer objetivo** consiste en el desarrollo de una aplicación capaz de calcular caídas de presión, perfiles de temperatura, perfiles de velocidad de flujo y espesores de capa fría en la fase de llenado de una tira, tanto para inyección convencional, como en condiciones de asimetría por IMD.

De esta manera se mejora el rendimiento de otras aplicaciones desarrolladas en el área, que solo funcionan con condiciones simétricas (temperatura de molde, material de molde, ausencia de telas o film).

El desarrollo de esta aplicación será fundamental para resolver dos aspectos claves en el cálculo de llenados cuando se tiene sobreinyección con elementos decorativos como textil o film.

Por un lado, será posible el cálculo de espesores de capa fría necesarios para ajustar los modelos reológicos que se obtienen con el molde espiral monitorizado. El cálculo del espesor de capa fría en condiciones de inyección convencional es posible con programas de simulación comerciales como MODFLOW, pero no es viable en el momento en el que se introduce como asimetría un elemento decorativo.

Por otro lado, será posible la estimación de presión máxima de llenado necesaria para llenar una pieza concreta, sin o con textil. Para ello se modelizará en forma de tira su longitud de flujo más desfavorable dependiendo de la colocación y número de puntos de inyección, se indicará si el molde lleva elemento decorativo y cuál es el espesor de dicho elemento, y se introducirán propiedades de material (plástico, molde y elemento decorativo) y parámetros de inyección.

Gracias a esta estimación, antes de modelizar una pieza completa para su posterior simulación en programas comerciales, ya se podrá saber que niveles de presión de llenado se tienen, y si es necesario hacer modificaciones geométricas en la pieza, así como variar el número y colocación de puntos de inyección.

El último tema que se trata en esta tesis es el de defectos al inyectar sobre textil, concretamente traspasos.

En la actualidad no se encuentran relacionados los defectos de las piezas con parámetros de flujo del material dentro del molde, y el tejido que se utiliza para revestir el plástico tampoco se encuentra caracterizado desde el punto de vista de límite de contorno del flujo de material plástico.

Este fenómeno se conoce de manera empírica, observándose los traspasos en las piezas, una vez que salen del molde.

Como se ha visto en el capítulo anterior, existen numerosos modelos para calcular la permeabilidad de un medio, bien sea con ayuda de un modelo sencillo, o gracias a un software que trabaja con un modelo complicado, pero en cualquier caso el método de cálculo con programas informáticos, se basa en la perfecta modelización del tejido objeto de estudio, y para ello este tejido debe estar perfectamente caracterizado.

Las telas tricapa que se utilizan para la inyección sobre textil, tienen en una de sus capas un film barrera compuesto por infinitas fibras situadas al azar, imposible de modelizar.

Además el método de cálculo con programas informáticos, se basa en las hipótesis de flujo monofásico, isoterma, newtoniano e incompresible. Las dos primeras hipótesis se cumplen, dado que al polímero fundido es monofásico, y el tiempo que duran las fases de llenado y compactación es tan corto que la temperatura del fundido se puede considerar constante, pero el polímero es no newtoniano y compresible.

Por todo ello, se fija el **cuarto y último objetivo** de la tesis: encontrar la manera de caracterizar los traspasos de material plástico a través del tejido que ha de recubrir la pieza.

Por lo tanto, los posibles problemas que se presentasen en llenado en cuanto a traspasos se refiere, se podrían corregir a priori y antes de comenzar las primeras pruebas de molde, lo cual supondría un gran ahorro económico para las empresas que se dedican a este tipo de inyección.

4. Obtención del modelo viscoso de PP (polipropileno) con molde espiral sin recubrimientos

4.1. Introducción al llenado de una tira

En este apartado se formula el flujo de polímero en la fase de llenado.

Como primera hipótesis se puede considerar que la geometría de un molde espiral es bastante similar a la de una tira.

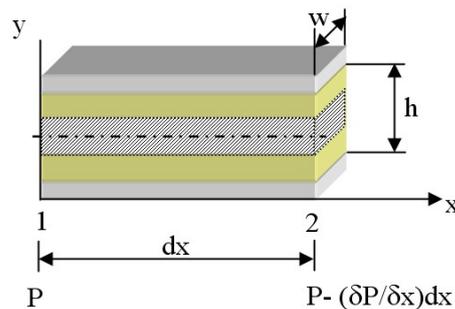


Fig.4.1. Llenado de una tira

Asumiendo flujo constante, isoterma y unidireccional bajo condiciones de equilibrio, el balance de fuerzas en un canal rectangular de anchura w y espesor h (Fig.1) es:

$$F = F_1 - F_2 = 2ywP - 2yw(P - \frac{\delta P}{\delta x} dx) = 2yw \frac{\delta P}{\delta x} \quad (4.1)$$

4- Obtención del modelo viscoso de PP con molde espiral sin recubrimientos

$$F = \tau(4y + 2w)dx \quad (4.2)$$

donde P es la presión en un punto dado y τ es la tensión de cizalla que se tiene en la sección.

$$\text{Si } w \gg y, \tau = y \frac{\delta P}{\delta x} \quad (4.3)$$

$$\text{y } \tau(\text{wall}) = \frac{h\Delta P}{2L} \quad (4.4)$$

donde L es la longitud del canal.

El caudal en esta sección viene expresado como

$$Q = 2 \int_0^{h/2} wv_x dy \quad (4.5).$$

Introduciendo las expresiones de deformación,

$$\gamma = \frac{dv_x}{dy} \quad (4.6)$$

y la función de viscosidad,

$$\tau = K\gamma^n \quad (4.7)$$

se obtiene

$$\gamma = \frac{6Q}{wh^2} \frac{2n+1}{3n} \quad (4.8).$$

Durante la inyección, el polímero fundido tiene comportamiento no Newtoniano. Sin embargo, para llevar a cabo cálculos para la obtención de la tensión de cizalla y viscosidad, y el posterior ajuste matemático para obtener el modelo, se tomara como hipótesis el comportamiento Newtoniano del polímero y se obtendrán valores de tensión de cizalla y viscosidad denominados aparentes.

La expresión para la tensión de cizalla aparente es la siguiente:

$$\gamma_{ap} = \frac{6Q}{wh^2} \quad (4.9).$$

Y la expresión para la viscosidad aparente, se obtiene relacionando la tensión de cizalla con la velocidad de deformación:

$$\eta_{ap} = \frac{wh^3 \Delta P}{12LQ} \quad (4.10).$$

En esta expresión, se advierte una clara influencia del espesor, que va elevado al cubo.

Por tanto, para el cálculo de la curvas de viscosidad, son necesarios los valores geométricos de la sección de paso de la espiral, espesor y anchura, el caudal de polímero y la caída de presión en condiciones de flujo isoterma.

Las constantes que constituyen el modelo “Moldflow Second Order” se obtendrán gracias a los valores geométricos, a los datos de medida, y usando una aplicación específica de ajuste matemático (VISDAT).

4.2. Descripción del sistema experimental utilizado

4.2.1. Molde espiral monitorizado

El molde espiral mostrado en la fig. 4.2, es un molde con la geometría de una espiral mecanizada en la cavidad, con una longitud de 136 cm y con una sección de paso rectangular de 20 x 2 mm. La espiral es inyectada a través de un canal frío de 70 mm de longitud con ángulo de desmoldeo.

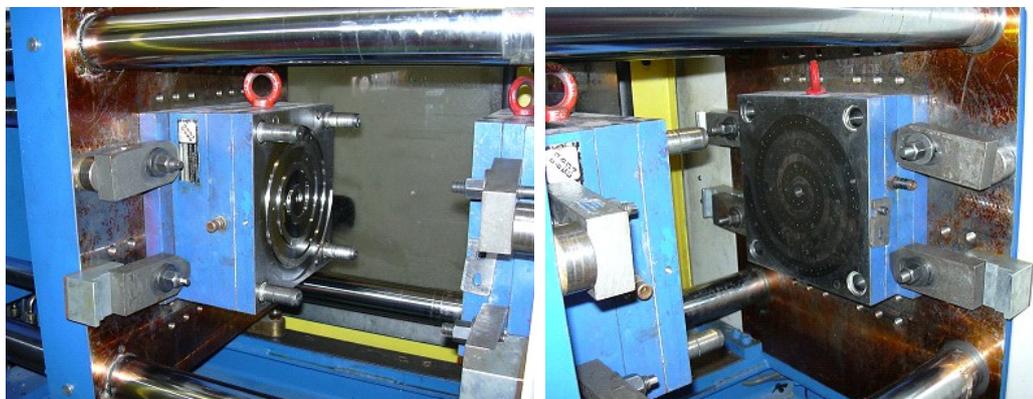


Fig. 4.2. Molde espiral

4- Obtención del modelo viscoso de PP con molde espiral sin recubrimientos

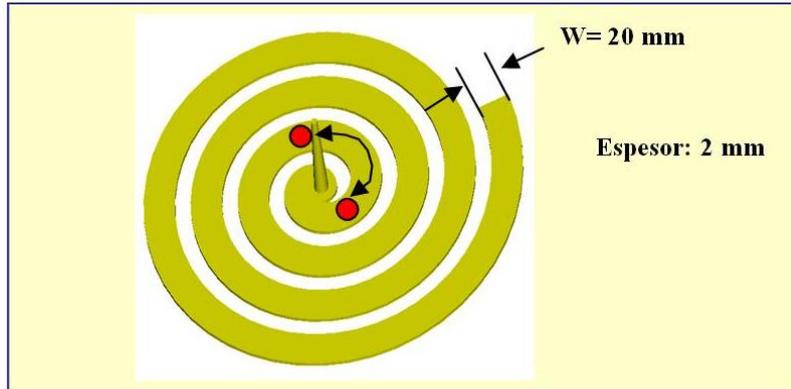


Fig. 4.3. Geometría de la espiral

En el molde se tienen montados dos transductores de presión KISTLER 6157BBSP0 separados una distancia de 84 mm. El primero de ellos está a una distancia de 60 mm de la entrada de material. Existe la posibilidad de una tercera ubicación a una distancia de 160 mm del segundo transductor.

El sistema de medida se completa con un sistema de tratamiento de señal, formado por el amplificador de señal KISTLER 5039 A222 y el adaptador o digitalizador KISTLER ADAPTER DAS-16, para la conversión de señal en datos numéricos de presión (Fig. 4.4)



Fig. 4.4. Equipo de tratamiento de señal

4.2.1.1. Calibración de la cadena de medida

Cada vez que se realiza un experimento, se calibran los transductores con un equipo de calibrado KISTLER Type 5993 que determina la sensibilidad de los mismos (Fig. 4.5)



Fig. 4.5. Calibrador para transductores

Para calibrar los transductores, en primer lugar se conecta un cable a cada salida del calibrador.

A su vez, uno de estos cables ira conectado a uno de los sensores montado en el molde y el otro al TEST PIN.

Con el TEST PIN se presiona sobre el transductor, y en el calibrador aparece al dato de sensibilidad medido en pico culombios (Fig. 4.6).

Posteriormente este dato se introducirá en la plantilla de ajuste del amplificador de la cadena de medida.

4- Obtención del modelo viscoso de PP con molde espiral sin recubrimientos



Fig. 4.6. Calibrado de los sensores

4.2.2. Material polimérico

El material usado en esta investigación es un polipropileno block-copolymer, de uso general en inyección. En concreto se trata del PP PHC31 Stamyln de Sabic. Además, se han utilizado otro polipropileno y una poliamida para realizar la calibración de la máquina de inyección, y un estudio de los caudales que inyecta la misma.

4.2.3. Máquina de inyección

La máquina de inyección usada para el estudio es una Mateu & Sole cuyas principales características son una fuerza de cierre de 55 Tn, un caudal inyectable de 50 gr/seg. y una máxima presión específica de 1735 bar (Fig. 4.7)



Fig. 4.7. Máquina de inyección

4.3. Metodología del proceso experimental

El objetivo principal en este capítulo es encontrar un modelo reológico equivalente válido para introducir en programas de simulación y que posteriormente pueda ser aplicado en procesos de inyección no convencional como IMD para calcular caídas de presión.

Es muy importante analizar con cuidado el proceso seguido para la obtención de cada parámetro que interviene en la formulación de *shear rate* y viscosidad.

Los pasos seguidos son:

- Determinar los rangos de temperatura y velocidad de inyección, y la presión de corte para las inyecciones de la espiral. Estas condiciones deben asegurar flujo contante e isoterma, y que el flujo llegue al menos hasta el segundo transductor.
- Inyección de las espirales combinando los valores de temperatura y caudal determinados en el paso anterior.
- Análisis de los valores numéricos y graficas experimentales obtenidas con los transductores.
- Cálculo de la viscosidad con las expresiones expuestas anteriormente.
- Obtención del modelo reológico a través del VISDAT
- Verificación de la relación entre los valores experimentales y teóricos de caída de presión utilizando el nuevo modelo reológico obtenido.
- Aplicación de correcciones para ajustar el modelo viscoso.

4.3.1. Temperatura y velocidad de inyección seleccionadas

Las temperaturas de inyección elegidas para las inyectadas de la espiral serán 200, 220, 240, y 260 °C, que son las más adecuadas para el material seleccionado.

4- Obtención del modelo viscoso de PP con molde espiral sin recubrimientos

La máquina se programa a velocidades del 20, 40, 60, 80, y 100% del máximo que da la máquina. Previamente se realiza una calibración del caudal de máquina para asegurar que los datos que vienen en el catálogo de la máquina son los adecuados para luego realizar los cálculos.

Para el calibrado de la máquina, se realizan inyectadas al vacío con diferentes materiales y a distintas temperaturas. Los resultados obtenidos de estas inyectadas al vacío se muestran en la tabla 4.1.

Tabla 4.1 Calibrado de la máquina

Material	Temp. (°C)	Dosis (mm)	Ø husillo (mm)	Caudal. (cm³/s)	Tiempo de llenado (s)				Volumen inyectado (cm³/s)			
					100%	75%	50%	25%	100%	75%	50%	25%
PP HIFAX	200	100	35	96.211	1.27	1.53	2.27	4.85	75.75	83.84	84.76	79.35
PA	230	150	35	144.317	1.627	--	--	--	88.7	--	--	--
PP PHC31	230	150	35	144.317	1.693	--	3.27	--	85.24	--	86.7	--

De los datos vistos en la tabla, se desprende que el caudal de material fluyendo a través de la boquilla depende del tipo de material y de la temperatura de inyección, por lo que para realizar los cálculos el caudal introducido en las expresiones teóricas de *shear rate* y viscosidad debe ser el caudal dentro del molde y no el caudal de máquina obtenido de catálogo.

El plástico es un material compresible. Cuando se programa caudal en la máquina de inyección, realmente el dato que se introduce en la programación es velocidad de avance del husillo.

El husillo comienza a empujar el material a lo largo de un cilindro con diámetro concreto, y posteriormente, el material tiene que empezar a pasar a través de una boquilla cuyo diámetro es muy inferior al del cilindro. En este momento, parte de la energía cinética de avance del husillo se pierde en comprimir el plástico, y por tanto el caudal de máquina no se mantiene dentro del molde.

Dependiendo del tipo de material, y de su temperatura, éste se comprimirá más o menos. De ahí, que el caudal de material inyectado sea dependiente de estos dos factores.

4.3.2. Comprobación de flujo isoterma

Una de las hipótesis tomadas para realizar los cálculos es la de que se tiene flujo isoterma dentro del molde.

No es posible comprobar dicha hipótesis realizando medidas con transductores de temperatura, por limitación en el montaje de los mismos. Estos transductores, al estar enrasados con la huella, medirían la temperatura de la capa fría que se forma al entrar el material en el molde, cuando lo que se necesita es la temperatura del fundido que avanza a lo largo de la espiral.

Por ello, para saber en qué medida se cumple esta hipótesis, se realizan simulaciones de inyección, variando temperatura de molde y temperatura de inyección, y se comprueba la temperatura del frente de flujo a medida que avanza por la espiral (Fig. 4.8)

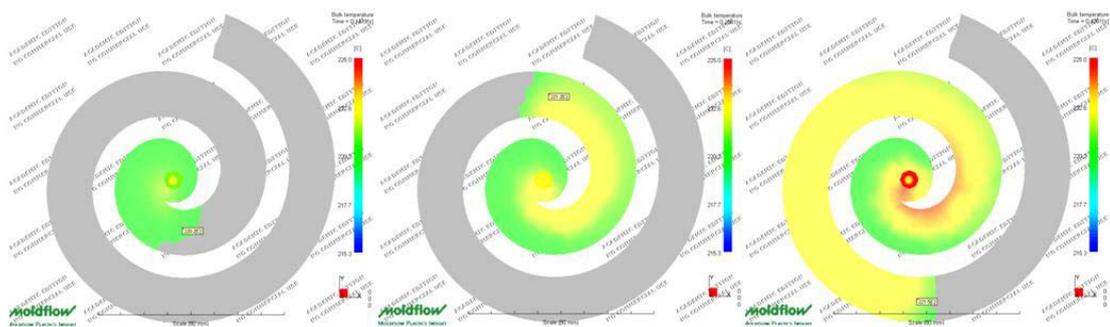


Figura 4.8 Temperatura de avance de flujo en simulación de espirales

Los valores que se obtienen se muestran en la tabla 4.2.

Tabla 4.2 Comprobación de flujo isoterma

Temp. Molde		Temp. Iny. 200°C			Temp. Iny. 220°C			Temp. Iny. 240°C			Temp. Iny. 260°C		
		Pto. de medida a (mm)			Pto. de medida a			Pto. de medida a			Pto. de medida a		
		60	144	304	60	144	304	60	144	304	60	144	304
40°C		60	200.1		220.1			239.8			259.8		
		144	201.5	201.1	221	221.2		240.5	240.9		259.9	261	
	Cuando el flujo llega a (mm)	304	202.0	202.1	No llega	221.9	222.1	221.3	241.2	241.4	241.1	259.7	260.5
100°C		60	200.2		220.3			240.1			260		
		144	201.5	201.3		221.4	221.2		240.5	241		259.9	261
	(mm)	304	201.9	202.4	No llega	222.4	222.3	221.5	241.1	241	241.1	259.4	260.1
130°C		60	200.3		220.3			240.2			260.1		
		144	201.5	201.4		221.1	221.2		240.2	241.2		259.8	261.2
		304	201.7	202.2	No llega	221.6	222.2	221.6	240.9	241	241.4	259.4	260.1

Observando los resultados, se puede concluir que la variación de temperatura en el plástico apenas es de 2.5° en el caso más desfavorable y para recorridos de flujo de 300 mm, y que por lo tanto, la ubicación de

4- Obtención del modelo viscoso de PP con molde espiral sin recubrimientos

los transductores es buena en cuanto a flujo isoterma se refiere (a 60 y a 144 mm de la entrada).

4.3.3. Caída de presión entre transductores y cálculo del caudal

La caída de presión entre transductores se tomará en el momento que el flujo alcance el segundo transductor (Fig. 4.9).

Para obtener el caudal dentro de molde, bastará comprobar el tiempo que transcurre desde que el flujo alcanza el primer transductor, hasta que llega al segundo. Esto es, el tiempo que tarda en llenar el volumen comprendido entre los dos transductores, determinado por anchura y espesor de la espiral, y distancia entre los dos puntos de medida (Fig. 4.9).

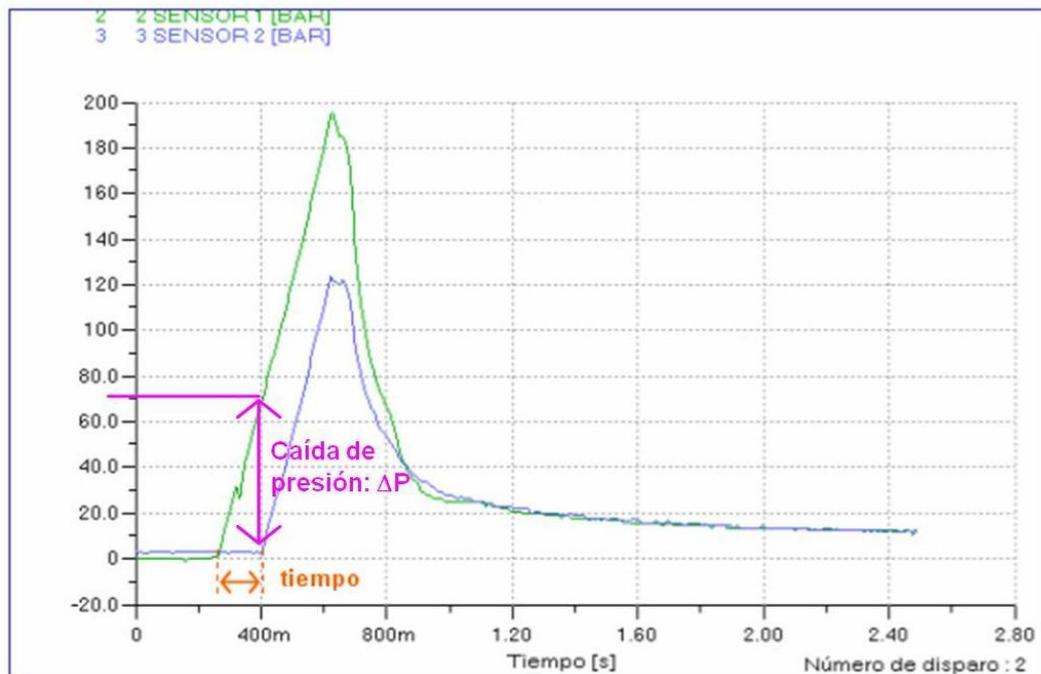


Fig. 4.9. Resultados obtenidos con medición de transductores

4.3.4. Parámetros geométricos de la espiral

La geometría de la espiral está perfectamente fijada y es la siguiente:

Espesor, “h”: 2 mm

Longitud, “L”: 84 mm

4- Obtención del modelo viscoso de PP con molde espiral sin recubrimientos

Anchura, “w”: 20 mm

4.4. Resultados experimentales y cálculo del modelo viscoso

Usando las expresiones de *shear rate* (4.9) y viscosidad (4.10) del apartado 4.1, y los parámetros expuestos en el apartado 4.3, los resultados obtenidos se muestran en la tabla 4.3.

Tabla 4.3 Cálculo de shear rate y viscosidad sin tener en cuenta capa fría

Temperatura °C	Porcentaje de velocidad máxima (%)	ΔP (Bar)	Q (cm ³ /s)	$\dot{\gamma}$ (1/s)	η (Pa*s)
200	20	86.85	11.5	1377.8	64.5
	40	91.91	24.8	2876.2	33.8
	60	96.3	32	3576.7	29.3
	80	100.7	48	5222.4	21.6
	100	95.55	51.6	5367.2	20.8
220	20	78.7	11.6	902.8	90.8
	40	84.2	24	1808.1	50.1
	60	93.2	37.3	2737	37.7
	80	95.7	48	3409.1	32.1
	100	91.5	56	3856.7	27.9
240	20	74.3	12	919.3	85.6
	40	81.1	24	1778.6	49.9
	60	85.5	35.3	2551.8	37.7
	80	88.5	44.8	3149	32.4
	100	83.1	67.2	4604.8	21.4
260	20	68.8	12.2	920.5	78.2
	40	71.0	26.8	1960.1	40.3
	60	75.7	35.3	2525.1	34.1
	80	78.7	48	3339.5	27.5
	100	72.7	67.2	4581.8	18.9

Con los resultados obtenidos y con ayuda de VISDAT, se obtienen las constantes del modelo reológico Second Order Moldflow que se muestran en la tabla 4.4.

Tabla 4.4. Constantes de modelo sin correcciones

A	B	C	D	E	F
8.1253	-0.13255	2.30e-3	-3.43e-2	-1.01e-3	4.34e-7

En (Fig. 4.10) se muestra una representación de las curvas de viscosidad obtenidas, similar a la representación habitual de las curvas tal y como aparecen en bases de datos como CAMPUS.

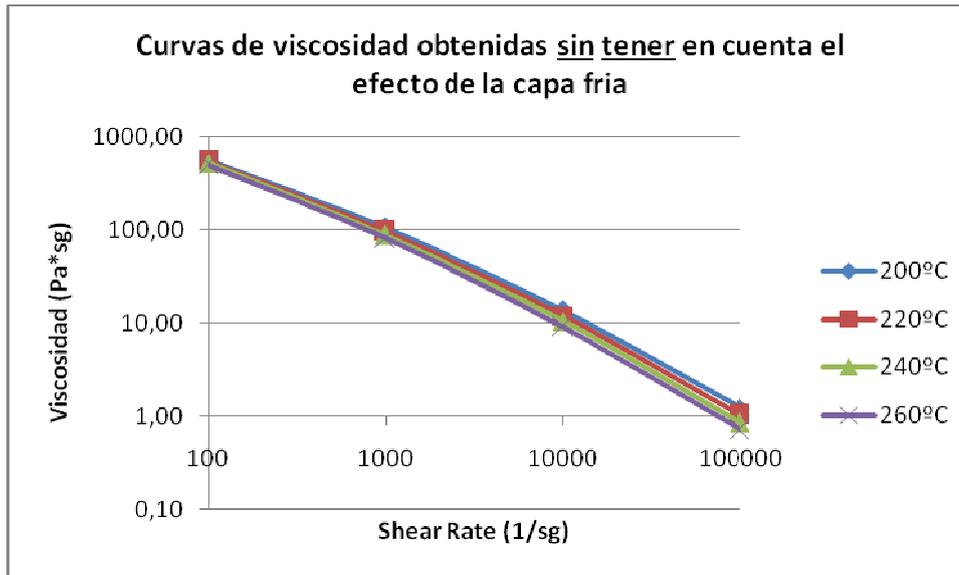


Fig. 4.10 Curvas viscosidad sin tener en cuenta capa fría

4.5. Aplicación del modelo viscoso obtenido al cálculo de caída de presión con MOLDFLOW

En este apartado se realizan simulaciones en MOLDFLOW, para comprobar cuanto se ajustan los datos experimentales con los calculados teóricamente haciendo uso del modelo obtenido en el apartado anterior.

Para ello, se realizarán simulaciones de todos los casos experimentales de espirales inyectadas. Los datos de entrada en MOLDFLOW serán el caudal y el tiempo de inyección. El caudal será el obtenido a partir de las graficas experimentales tal y como ya se ha explicado, y el tiempo de inyección será el tomado como dato en máquina de inyección.

Para cada uno de los casos, se obtendrá la caída de presión entre transductores, de la misma manera que se hacía con las graficas experimentales (Fig. 4.11).

4- Obtención del modelo viscoso de PP con molde espiral sin recubrimientos

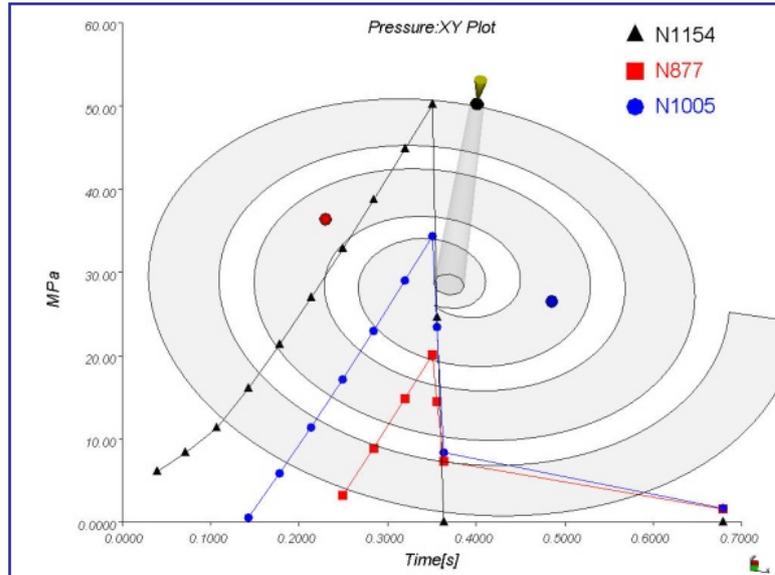


Figura 4.11 Representación grafica de ΔP obtenida con MOLDFLOW

En la tabla 4.5, se muestran los resultados obtenidos y los errores que se tienen entre resultados experimentales y de simulación.

Tabla 4.5. Comparación entre valores experimentales y teóricos

Temperatura 200					
Vel.	Tiempo de inyección (sg)	ΔP_m MF (bar)	ΔP_m (bar)	Error ΔP_m (%)	
20%	1,38	101,9	86,85	14,8	
40%	0,64	96,3	91,95	4,5	
60%	0,4	95,7	96,3	-0,6	
80%	0,28	90,1	100,7	-11,8	
100%	0,22	89	95,55	-7,4	
Temperatura 220					
Vel.	Tiempo de inyección	ΔP_m MF	ΔP_m	Error ΔP_m	
20%	1,43	94,7	78,7	16,9	
40%	0,7	89,1	84,2	5,5	
60%	0,45	86	93,25	-8,4	
80%	0,31	83,4	95,7	-14,7	
100%	0,24	81,7	91,5	-12,0	
Temperatura 240					
Vel.	Tiempo de inyección	ΔP_m MF	ΔP_m	Error ΔP_m	
20%	1,53	87,3	74,3	14,9	
40%	0,72	85,3	81,1	4,9	
60%	0,48	80,3	85,5	-6,5	
80%	0,34	75,9	88,55	-16,7	
100%	0,26	74,8	83,15	-11,2	

4- Obtención del modelo viscoso de PP con molde espiral sin recubrimientos

Temperatura 260				
Vel.	Tiempo de inyección	ΔP_m MF	ΔP_m	Error ΔP_m
20%	1,64	81,2	66,8	17,7
60%	0,5	73,2	75,7	-3,4
80%	0,36	69,3	78,7	-13,6
100%	0,29	69,3	72,7	-4,9

Leyenda	Error entre	0% y 5%
	Error entre	5,01% y 10 %
	Error mayor de	10,01%

Los errores en las caídas de presión cuando se utiliza el modelo obtenido están en torno al $\pm 14\%$, y en algún caso llegando al 17.7% o al -16.4%.

La tabla anterior queda representada en la grafica siguiente (Fig. 4.12).

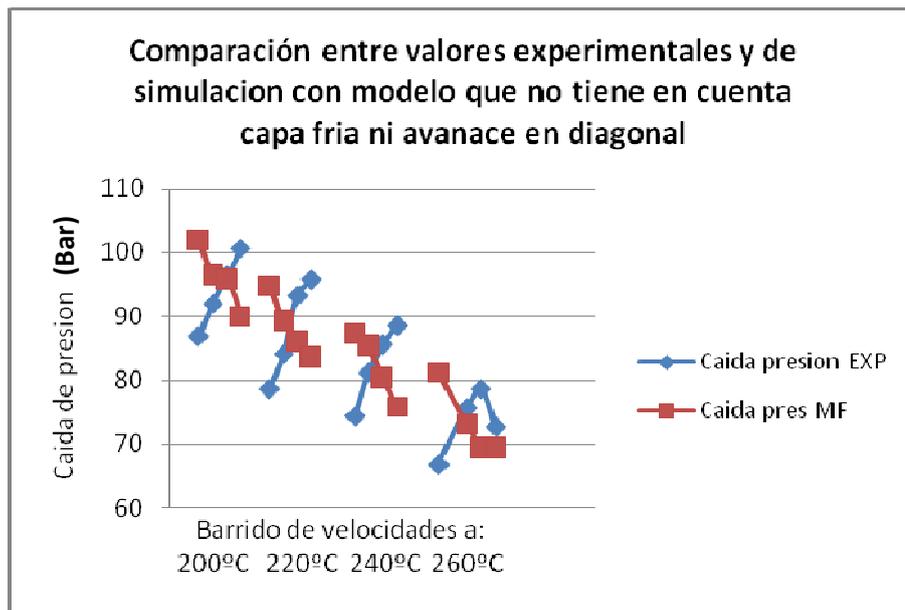


Fig. 4.12. Resultados de ΔP con modelo que no tiene en cuenta capa fría

Como se aprecia en la fig. 4.12, para todas las temperaturas se cumple que los resultados de caída de presión obtenidos por simulaciones están por encima de los experimentales para velocidades lentas, y por debajo para velocidades altas.

4.6. Correcciones en el moldeo viscoso. Correcciones de flujo y geométricas.

4.6.1. Corrección de la capa fría

A partir de las constates obtenidas en el apartado anterior, se calcula el espesor de capa fría que se forma en cada una de las inyectadas anteriores. Este espesor se obtendrá realizando simulaciones con MOLDFLOW utilizando el modelo reologico sin corregir. En este caso es posible obtener esta capa fría con MOLDFLOW, dado que el caso de inyección se da en condiciones de simetría, tanto en temperatura en caras del molde, como en tipo de material en dichas caras, acero en ambas.

En la tabla 4.6, se muestran los espesores de capa fría obtenidos para cada caso, y el espesor real de paso de material al inyectar la espiral.

Tabla 4.6. Calculo de espesor de capa fría

Temperatura °C	Porcentaje de velocidad máxima (%)	Porcentaje de capa fría (%)	Espesor real (mm)
200	20	14	1.72
	40	11.5	1.77
	60	8.5	1.83
	80	6	1.88
	100	1.5	1.97
220	20	12.5	1.75
	40	9.5	1.81
	60	7	1.86
	80	4	1.92
	100	1	1.98
240	20	11	1.78
	40	8	1.84
	60	5.5	1.89
	80	3	1.94
	100	0.5	1.99
260	20	9.5	1.81
	40	6.5	1.87
	60	4.5	1.91
	80	2	1.96
	100	0	2

Con los nuevos valores de espesor h , se recalcularán caudal, *shear rate* y viscosidad (Tabla 4.7)

4- Obtención del modelo viscoso de PP con molde espiral sin recubrimientos

Tabla 4.7 Cálculo de shear arte y viscosidad teniendo en cuenta capa fría

Temperatura °C	Porcentaje de velocidad máxima (%)	ΔP (Bar)	Q (cm ³ /s)	$\dot{\gamma}$ (1/s)	η (Pa*s)
200	20	86.85	14.9	1515.6	58.6
	40	91.91	33.0	3163.8	30.6
	60	96.3	43.9	3934.4	26.6
	80	100.7	67.7	5744.7	19.6
	100	95.55	76.3	5903.9	18.9
220	20	78.7	10.1	993.1	82.5
	40	84.2	21.7	1988.9	45.6
	60	93.2	34.7	3010.7	34.3
	80	95.7	46.1	3750	29.1
	100	91.5	55.4	424.4	25.4
240	20	74.3	10.6	1011.2	77.8
	40	81.1	22	1956.5	45.4
	60	85.5	33.4	2807.6	34.3
	80	88.5	43.4	3463.9	29.5
	100	83.1	66.8	5065.3	19.4
260	20	68.8	11.0	1012.5	71.0
	40	71.0	25.1	2156.1	36.7
	60	75.7	33.7	2777.6	31.0
	80	78.7	47.0	3673.4	25.0
	100	72.7	67.2	5040.0	17.2

Las nuevas constantes obtenidas considerando el efecto de la capa fría se muestran en la tabla 4.8

Tabla 4.8. Constantes de modelo con corrección de capa fría

A	B	C	D	E	F
2.7994	3.99e-2	3.64e-2	-2.57e-2	-1.93e-3	-5.28e-5

De la misma manera que en el apartado anterior, se obtienen las siguientes curvas de viscosidad (Fig. 4.13).

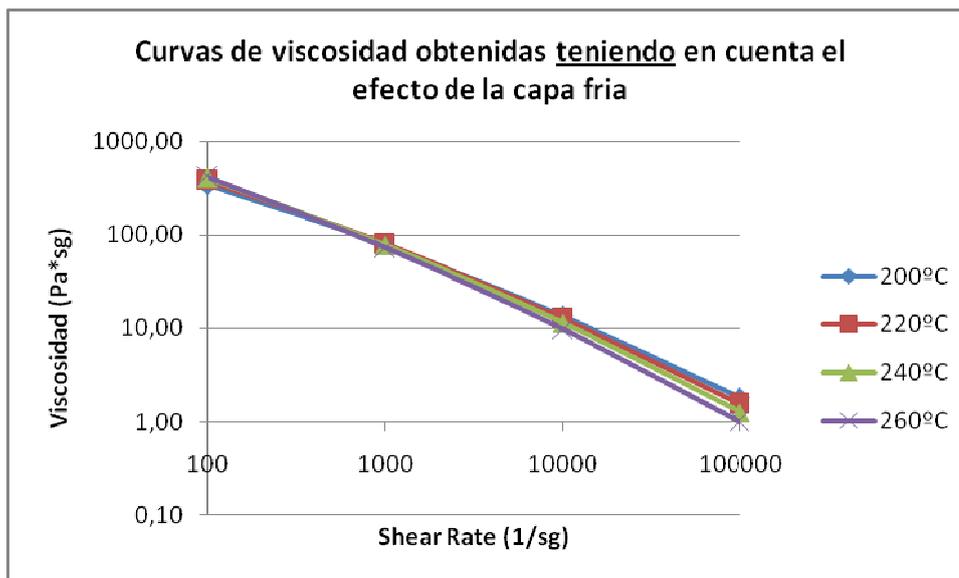


Fig. 4.13. Curvas viscosidad teniendo en cuenta capa fría

4.6.2. Corrección de la forma del frente de flujo

Mediante la observación y medida de distintas espirales, se aprecia que cuando el flujo avanza por la espiral, no lo hace de manera uniforme y recta, sino que tiende a inclinarse y a avanzar en diagonal (Fig. 4.14), cambiando la anchura de la espiral a la hora de hacer los cálculos.

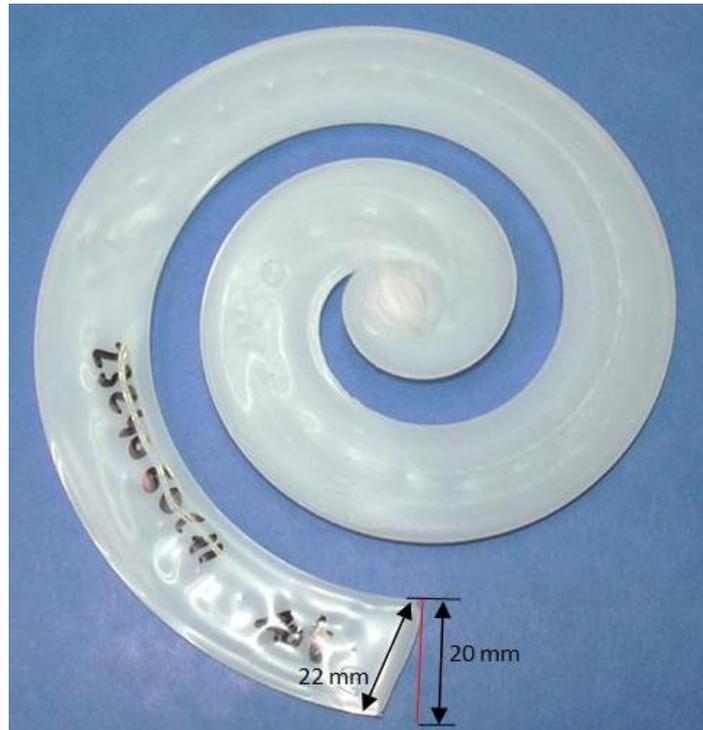


Fig. 4.14. Forma del frente de flujo de la espiral

Por tanto, en este caso se recalcula el modelo aplicando la corrección de la capa fría y sustituyendo el valor de anchura $w = 20 \text{ mm}$ por $w = 22 \text{ mm}$, que es la medida que se ha obtenido mediante medición de las espirales inyectadas. Los nuevos valores de *shear rate* y viscosidad se muestran en la tabla 4.9.

Tabla 4.9. Cálculo de *shear rate* y viscosidad teniendo en cuenta capa fría y avance en diagonal

Temperatura °C	Porcentaje de velocidad máxima (%)	ΔP (Bar)	Q (cm ³ /s)	$\dot{\gamma}$ (1/s)	η (Pa*s)
200	20	86.85	14.9	1377,8	64,5
	40	91.91	33.0	2876,2	33,6
	60	96.3	43.9	3576,7	29,3
	80	100.7	67.7	5222,4	21,5
	100	95.55	76.3	5367,2	20,8
220	20	78.7	10.1	902,8	90,8
	40	84.2	21.7	1808,1	50,1
	60	93.2	34.7	2737,0	37,7
	80	95.7	46.1	3409,0	32,0
	100	91.5	55.4	3856,7	27,9

4- Obtención del modelo viscoso de PP con molde espiral sin recubrimientos

240	20	74.3	10.6	919,3	85,6
	40	81.1	22	1778,6	49,9
	60	85.5	33.4	2551,8	37,6
	80	88.5	43.4	3149,0	32,4
	100	83.1	66.8	4604,8	21,3
260	20	68.8	11.0	920,5	78,1
	40	71.0	25.1	1960,1	40,3
	60	75.7	33.7	2525,1	34,0
	80	78.7	47.0	3339,5	27,4
	100	72.7	67.2	4581,8	18,8

Las nuevas constantes obtenidas considerando el efecto de la capa fría y el avance de flujo en diagonal se muestran en la tabla 4.10.

Tabla 4.10. Constantes de modelo con corrección de capa fría y avance en diagonal

A	B	C	D	E	F
1.7044	3.27e-2	4.69e-2	-3.45e-2	-1.29e-3	-8.77e-5

Y de la misma manera que en los dos casos anteriores, se obtienen las siguientes curvas de viscosidad (Fig. 4.15).

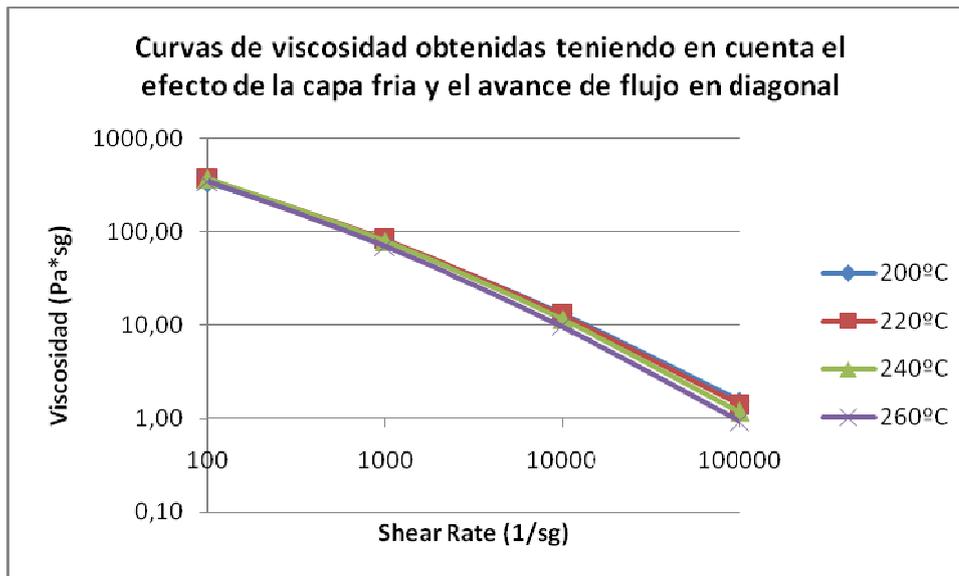


Fig. 4.15. Curvas viscosidad teniendo en cuenta capa fría y avance en diagonal

En Fig.4.16, se muestra como cambia la curva de viscosidad del material teniendo en cuenta o no el efecto de la capa fría para 200°C y 240°C, y añadiendo la corrección de avance en diagonal.

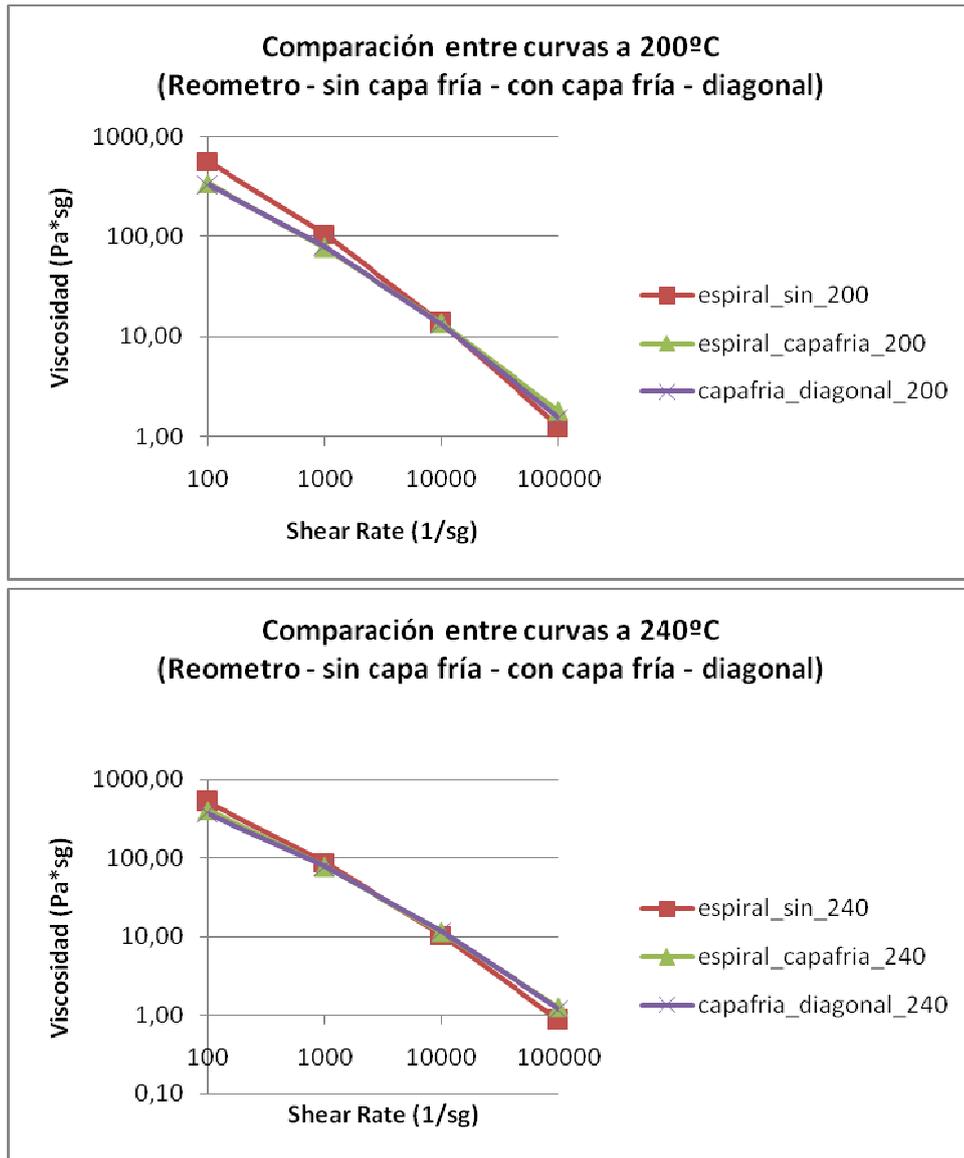


Fig. 4.16. Evolución de las curvas con sucesivas correcciones

Se tienen mayores diferencias entre las curvas obtenidas cuando se analizan valores de *shear rate* bajos. Esto es debido a que cuanto más lento es el proceso de inyección, mayor es el espesor de la capa fría que se forma y por tanto el efecto de corrección en la curva es más acusado.

Por tanto, cuando el modelo obtenido no tiene en cuenta el efecto de la capa fría, las curvas de viscosidad tienen más pendiente que una vez introducida la corrección de la capa fría (Fig. 4.16).

Por otro lado, cuanto mayor es la temperatura de inyección, menor es el espesor de capa fría que se forma, por lo que cuanto mayor es la

temperatura de inyección, menor es el efecto de la corrección que se introduce en el modelo.

Además, la corrección del avance de flujo en diagonal, hace que la curva baje un poco su posición con respecto a la curva obtenida con la corrección de la capa fría.

Analizando de nuevo la figura de la página 4-13 (Fig. 4.14), se observa que en la comparación entre valores experimentales y de simulación con modelo que no tiene en cuenta capa fría, unas graficas y otras se cruzan, representando esta imagen lo siguiente:

- para velocidades lentas, las viscosidades de la curva sin corregir son más altas que en la curva corregida, por lo tanto en simulación los valores de caída de presión quedan por encima de los experimentales
- para velocidades rápidas, las viscosidades de la curva sin corregir son más bajas que en la curva corregida, por lo tanto en simulación los valores de caída de presión quedan por debajo de los experimentales

4.7. Aplicación del modelo corregido al cálculo de caídas de presión con MOLDFLOW

De nuevo, con estos dos modelos en los que se introduce la corrección de la formación de capa fría, y añadiendo posteriormente la corrección de avance de flujo en diagonal, se realizan simulaciones en MOLDFLOW para obtener valores de caída de presión entre transductores. Las simulaciones corresponderán a cada una de las inyectadas realizadas en taller para obtener los modelos.

Las tablas 4.11 y 4.12 muestran la comparación numérica entre los resultados experimentales y de simulación. En las figuras 4.17 y 4.18 se representa esta comparación gráficamente.

4- Obtención del modelo viscoso de PP con molde espiral sin recubrimientos

Tabla 4.11. Comparación entre valores experimentales y teóricos
Modelo con corrección de capa fría.

Temperatura 200					
Vel.	Tiempo de inyección (sg)	Δ Pm MF (bar)	Δ Pm (bar)	Error Δ Pm (%)	
20%	1,38	79.3	86,85	-9.5	
40%	0,64	83.6	91,95	-10	
60%	0,4	87.3	96,3	-10.3	
80%	0,28	93.6	100,7	-7.6	
100%	0,22	94.6	95,55	-1	
Temperatura 220					
Vel.	Tiempo de inyección	Δ Pm MF	Δ Pm	Error Δ Pm	
20%	1,43	75.4	78,7	-4.4	
40%	0,7	82.5	84,2	-2.1	
60%	0,45	88.1	93,25	-5.8	
80%	0,31	93.1	95,7	-2.8	
100%	0,24	96.2	91,5	4.9	
Temperatura 240					
Vel.	Tiempo de inyección	Δ Pm MF	Δ Pm	Error Δ Pm	
20%	1,53	72.6	74,3	-2.3	
40%	0,72	78.9	81,1	-2.8	
60%	0,48	84.6	85,5	-1.1	
80%	0,34	84.1	88,55	-5.3	
100%	0,26	84	83,15	1	
Temperatura 260					
Vel.	Tiempo de inyección	Δ Pm MF	Δ Pm	Error Δ Pm	
20%	1,64	76.1	66,8	12.2	
60%	0,5	77.5	75,7	2.3	
80%	0,36	77.4	78,7	-1.7	
100%	0,29	74.1	72,7	1.9	

Leyenda	Error entre	0% y 5%
	Error entre	5,01% y 10 %
	Error mayor de	10,01%

4- Obtención del modelo viscoso de PP con molde espiral sin recubrimientos

Tabla 4.12. Comparación entre valores experimentales y teóricos
Modelo con corrección de capa fría y avance en diagonal

Temperatura 200					
Vel.	Tiempo de inyección (sg)	Δ Pm MF (bar)	Δ Pm (bar)	Error Δ Pm (%)	
20%	1,38	79	86,85	-9.9	
40%	0,64	85.1	91,95	-8	
60%	0,4	90	96,3	-7	
80%	0,28	91.7	100,7	-9.8	
100%	0,22	91.9	95,55	-4	
Temperatura 220					
Vel.	Tiempo de inyección	Δ Pm MF	Δ Pm	Error Δ Pm	
20%	1,43	76	78,7	-3.6	
40%	0,7	83	84,2	-1.4	
60%	0,45	89.5	93,25	-4.2	
80%	0,31	91.2	95,7	-4.9	
100%	0,24	90.9	91,5	-0.7	
Temperatura 240					
Vel.	Tiempo de inyección	Δ Pm MF	Δ Pm	Error Δ Pm	
20%	1,53	73.3	74,3	-1.4	
40%	0,72	80.3	81,1	-1	
60%	0,48	83.6	85,5	-2.3	
80%	0,34	84.9	88,55	-4.3	
100%	0,26	84	83,15	1	
Temperatura 260					
Vel.	Tiempo de inyección	Δ Pm MF	Δ Pm	Error Δ Pm	
20%	1,64	71.9	66,8	7.1	
60%	0,5	75.3	75,7	-0.5	
80%	0,36	75	78,7	-4.9	
100%	0,29	75.6	72,7	3.8	

Leyenda	Error entre	0% y 5%
	Error entre	5,01% y 10 %
	Error mayor de	10,01%

Cuando se introduce en MOLDFLOW el modelo con la corrección de capa fría, los valores de caída de presión ya se ajustan más a los experimentales, teniendo un error en torno al 2 – 5% y alcanzando como mucho errores del 10% para velocidades lentas y temperaturas bajas.

4- Obtención del modelo viscoso de PP con molde espiral sin recubrimientos

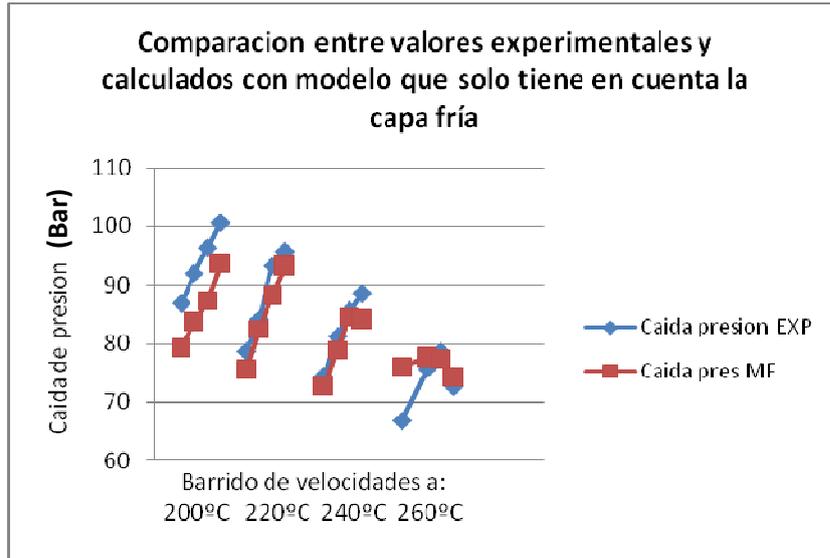


Fig. 4.17 Resultados de ΔP con modelo que si tiene en cuenta capa fría

Cuando se introduce en MOLDFLOW el modelo con las dos correcciones, los valores de caída de presión se ajustan todavía más a los experimentales, teniendo un error en torno al 0.5 – 4% y no llegando nunca a alcanzar el 10% de error. Los errores más altos, de en torno a 8-9% se alcanzan para las temperaturas bajas y velocidades más lentas.

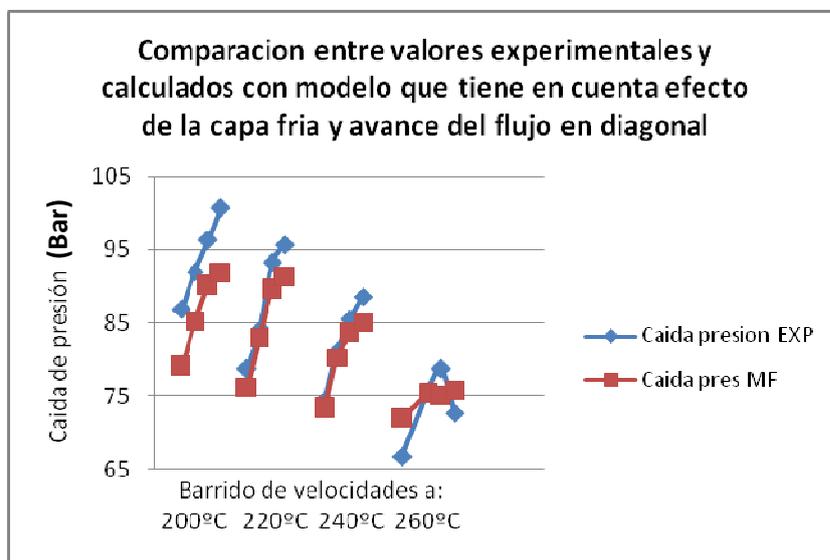


Fig. 4.18 Resultados de ΔP con modelo que tiene en cuenta capa fría y avance en diagonal

4.8. Aplicación del modelo corregido al cálculo de presiones máximas de llenado con MOLDFLOW

Este apartado va a consistir únicamente en la descripción de sucesivas comparaciones que se han hecho entre datos experimentales y resultados calculados utilizando el modelo dado por bueno.

4.8.1. Presión máxima en la inyección de espirales

Para esta comprobación, se reubican los transductores en dos nuevas posiciones. El primero a 144 mm de la entrada (posición 2) y el segundo a 304 mm (posición 3).

Para esta comprobación se ha disminuido el número de casos. Las inyectadas se han realizado a 200°, 220° y 240°C y las velocidades seleccionadas para esta comprobación ha sido intermedias, 40%, 60% y 80% del máximo que da la maquina, que son los rangos de velocidad de inyección más utilizados.

En este caso, se aumentará la presión de corte, dado que el flujo no basta con que llegue al segundo transductor, sino que tiene que llegar hasta el transductor de la posición 3.

De nuevo se realizan simulaciones con el modelo viscoso que incluye las dos correcciones, y se evalúan las máximas presiones alcanzadas en cada uno de los transductores, y se comparan con las máximas presiones alcanzadas experimentalmente. Los resultados se muestran en la tabla 4.13.

4- Obtención del modelo viscoso de PP con molde espiral sin recubrimientos

Tabla 4.13. Comparación entre valores experimentales y teóricos

Temperatura		200					
Vel	Tiempo de inyección (sg)	Pres max MF 1 (bar)	Pres max MF 2 (bar)	P max transd1 (bar)	P max transd2 (bar)	Error Trans 1 (%)	Error Trans 2 (%)
40%	0,87	373	182,00	370	170	0,8	6,6
60%	0,58	334	138,00	333	136	0,3	1,4
80%	0,44	303	101,00	296	109	2,3	-7,9
Temperatura		220					
Vel	Tiempo de inyección	Pres max MF 1	Pres max MF 2	P max transd1	P max transd2	Error Trans 1	Error Trans 2
40%	0,77	268	86,00	262	80	2,2	7,0
60%	0,5	247	55,00	231	56	6,5	-1,8
80%	0,38	201	42,00	196	32	2,5	23,8
Temperatura		240					
Vel	Tiempo de inyección	Pres max MF 1	Pres max MF 2	P max transd1	P max transd2	Error Trans 1	Error Trans 2
40%	0,81	286	103,00	281	112	1,7	-8,7
60%	0,54	257	69,00	247	82	3,9	-18,8
80%	0,4	216	32,00	214	53	0,9	-65,6

Leyenda

Error entre	0% y 8%
Error entre	8,01% y 16 %
Error mayor de	16,01%

En las graficas que se muestran en las fig. 4.19 y 4.20, se representan los resultados mostrados en la tabla anterior.

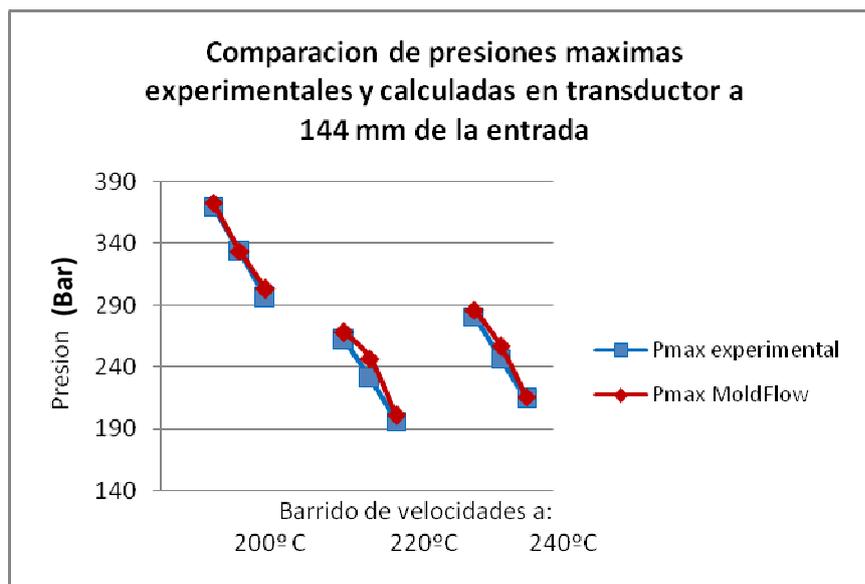


Fig 4.19. Resultados de presión máxima en transductor 1 con modelo corregido

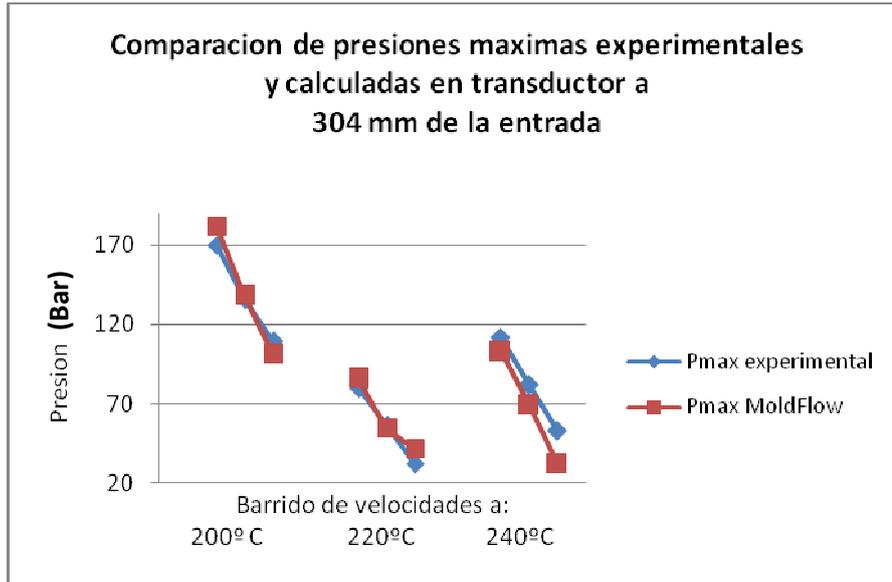


Fig 4.20. Resultados de presión máxima en transductor 2 con modelo corregido

Para esta comprobación, los errores en el primer transductor están entre el 1 y el 4% en general y nunca superan el 6.5 % y los errores en el segundo transductor son algo mayores, del 2 al 8%, y alcanzando en algun caso el 15%.

4.8.2. Efecto de descompresión del material en las espirales

Al realizar las simulaciones de inyección introduciendo en MODLFLOW el modelo corregido, y como parámetros de inyección, el caudal dentro de molde y el tiempo de inyección que arroja la máquina en cada inyectada, cabría esperar que las longitudes de las espirales simuladas, sean las mismas que las de las espirales inyectadas, dado que como se ha expuesto a lo largo de este capítulo, los valores de presión obtenidos se ajustan a los reales.

Esto no ocurre así. En la tabla 4.14 se muestra la divergencia entre longitudes de espirales para el caso experimental y el simulado.

4- Obtención del modelo viscoso de PP con molde espiral sin recubrimientos

Tabla 4.14 Comparación de longitudes entre espirales reales y simuladas

Temperatura (°C)	Velocidad (%)	Long. Real (cm)	Long. Simulación (cm)	Diferencia entre longitudes (cm)
200	20	50	42.8	7,2
	40	46.7	39.8	6,9
	60	44.1	38.3	5,8
	80	41.6	39.5	2,1
	100	41.2	39.6	1,6
220	20	42.3	39.1	3,2
	40	39.8	37.3	2,5
	60	37.4	36.7	0,7
	80	36	35.7	0,3
	100	34.3	34.4	0.1
240	20	46.3	41.1	5,2
	40	43.3	39.1	4,2
	60	40.5	37.9	2,6
	80	38.1	36.1	2
	100	36.1	35.2	0,9
260	20	49.8	43.1	6,7
	40	46.6	41.6	5
	60	44	40	4
	80	41.2	38.4	2,8
	100	39.7	37.5	2,2

Como se ve en la tabla, las espirales reales son siempre algo más largas que las espirales simuladas.

Se observa que cuanto más baja es la temperatura, y las velocidades son más lentas, las diferencias son mayores. Esto es porque las presiones de inyección son mayores, y por lo tanto, cuando la máquina corta la inyección, el material tiende a descomprimirse y la espiral crece aunque no se siga inyectando. Este efecto de descompresión MOLDFLOW no lo tiene en cuenta.

A medida que la temperatura aumenta las diferencias se van haciendo menores, aunque no todo lo que cabría esperar. Esto ocurre porque se dan dos fenómenos simultáneos. Al aumentar la temperatura, las presiones que se generan son menores y por lo tanto la descompresión del material será menor, sin embargo, al estar el material más fluido, tiene más facilidad para avanzar por la espiral.

4- Obtención del modelo viscoso de PP con molde espiral sin recubrimientos

Para corroborar esta teoría, se realiza un experimento más, inyectando espirales.

En este se caso fija una dosis inicial de 6 mm, y se va aumentando cada vez 4 mm hasta alcanzar los 38 mm de dosis. La prueba se realizará a 220°C, al 20% de la velocidad máxima de la máquina y se realizarán 4 inyectadas para cada dosis.

Tabla 4.15. Comprobación con respecto a longitud de espiral al variar la dosis

DOSIS (mm)					Longitud de la espiral (cm)	Aumento longitud espiral respecto de la anterior (cm)
6	18	18	18	18	18,00	
10	21,8	21,9	21,7	21,9	21,83	3,83
14	26,1	26,1	26,1	26,1	26,10	4,28
18	30	31,2	31,2	30,2	30,65	4,55
22	37,1	37,3	37,2	37,3	37,23	6,58
26	43,2	43,1	43,2	43	43,13	5,90
30	50	50	49,5	50,4	49,98	6,85
34	57,3	57,1	57,3	57,1	57,20	7,22
38	62,9	64,5	64,4	64,5	64,08	6,88

Si el aumento de dosis es constante, también lo debería ser el aumento de longitud de una espiral a otra, y esto no se cumple. Cuanto mayor es la dosis, y por tanto mayor la presión de inyección, mas descompresión del material hay, y mayor es la diferencial de longitud de una espiral a otra.

De este estudio se desprenden dos conclusiones claras.

El molde espiral, al ser un molde abierto, es un molde muy particular, y que es difícil de simular. Por ello, los parámetros más reales y fiables para correr este tipo de casos son el tiempo de llenado real y el caudal real dentro del molde. Nunca se deben realizar simulaciones introduciendo como dato las longitudes reales de las espirales, porque se obtendrán valores de presión erróneos. Como se ha visto en apartados anteriores esta ha sido la manera en que se han simulado las espirales para realizar todas las comprobaciones.

Además, este efecto de descompresión es el responsable de que las mayores divergencias en cuanto a presión máxima alcanzada se den en el transductor más alejado, justo el que más va a notar el efecto de descompresión.

Por todo ello, se realizarán dos comprobaciones más con el modelo obtenido, en moldes que no tienen la particularidad de la espiral. Serán moldes cerrados en los que se tiene un llenado completo, y simulable con MOLDFLOW sin errores.

4.8.3. Presión máxima en la inyección de pletina de 3 espesores

El molde de las pletinas, es un molde de pequeño tamaño y que se muestra en la figura 4.21. La pieza es plana de 58x43 mm y va variando de espesor.



Fig. 4.21 Molde de las pletinas y pieza que sale de él

En este caso se realizarán comprobaciones de presión máxima de llenado. Para ello se realizará un barrido de cuatro temperaturas (200°, 220°, 240°, y 260° C) y tres velocidades (40%, 70% y 100% del máximo de la máquina).

Se realizarán inyecciones al vacío en cada una de las condiciones de inyección, para obtener la caída de presión que se tiene en el husillo.

4- Obtención del modelo viscoso de PP con molde espiral sin recubrimientos

Posteriormente se realizará la inyección de la pieza para obtener la presión máxima de llenado en cada caso.

La diferencia entre estos dos datos, da como resultado la presión máxima de llenado en la entrada del molde. Se ha de tener en cuenta, que los valores de presión que ofrece la máquina son bares hidráulicos, pero al ser conocida la relación de áreas entre pistón y husillo, se obtiene la presión específica que posteriormente se comparará con los valores obtenidos en MOLDFLOW.

En la tabla 4.16 se tiene un resumen de todos los datos obtenidos.

Tabla 4.16. Comprobación del modelo con molde de las pletinas

Temp	Vel.	tiempo maq	P max maquina (Bar)	P max maq en vacio (Bar)	P max maquina Rel Areas: 10 --> Mpa	P max maq en vacio Rel Areas: 10 --> Mpa	P max molde Mpa	Pmax iny MF Mpa	Error %
200	40	0,59	38	21	38	21	17	17,9	-5,0
	70	0,36	50	30	50	30	20	19,5	2,6
	100	0,27	60	39	60	39	21	20,5	2,6
220	40	0,59	36	18	36	18	18	17,3	4,0
	70	0,36	47	28	47	28	19	19,1	-0,7
	100	0,27	55	35	55	35	20	20,0	0,0
240	40	0,59	33	16	33	16	17	16,8	1,2
	70	0,36	45	27	45	27	18	18,1	-0,8
	100	0,27	53	34	53	34	19	18,7	1,5
260	40	0,6	31	15	31	15	16	15,5	3,0
	70	0,36	42	25	42	25	17	16,2	4,8
	100	0,27	50	33	50	33	17	16,7	1,6

Los errores en el cálculo de la presión máxima de inyección no superan en ningún caso el 5%.

4.8.4. Presión máxima en la inyección de probeta tipo

De la misma manera que con el molde de las pletinas, se realiza una comprobación más con un molde de una probeta.

En este caso la pieza es mayor, teniendo una longitud de flujo de 160 mm además de todo el recorrido de la mazarota y el canal de alimentación (Fig. 4.22).



Fig. 4.22 Molde de las probetas y pieza que sale de él

La metodología para la comprobación en cuanto a presión máxima de inyección será idéntica a la expuesta en el apartado 4.8.3., pero en este caso con temperaturas de inyección 220°, 240° y 260°C y velocidades del 20%, 40% y 60% del máximo que da la máquina.

Al hacer los cálculos, se deberá tener en cuenta que para este molde se ha utilizado una máquina de inyección mayor cuya relación de áreas entre pistón y husillo es de 13.8.

Además, en este molde se ha colocado un transductor de presión (Fig. 4.23), por lo que se puede hacer una comprobación de presión en una zona intermedia de la pieza.

4- Obtención del modelo viscoso de PP con molde espiral sin recubrimientos

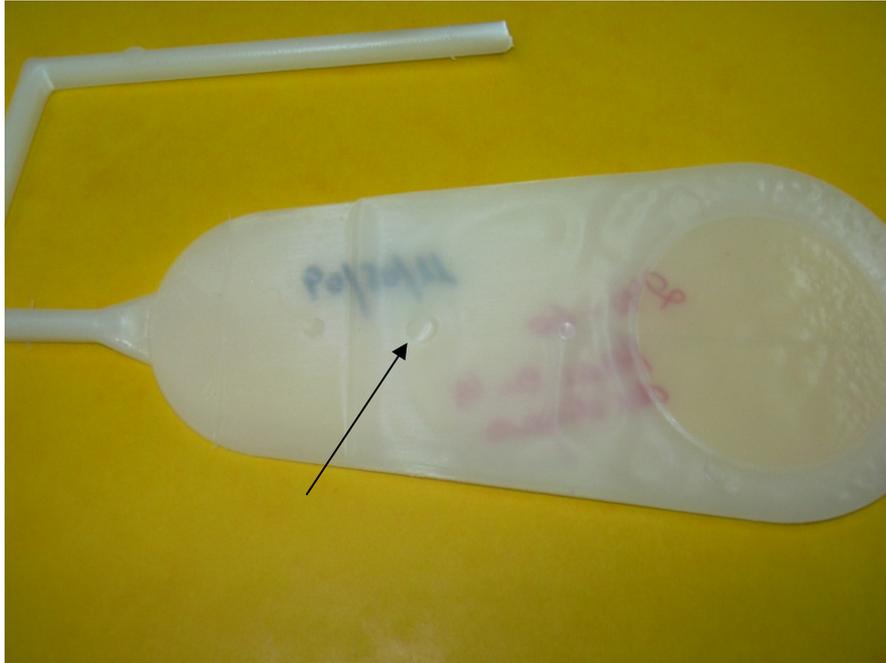


Fig. 4.23 Transductor montado en molde de probeta

Los resultados obtenidos para presión máxima de llenado quedan reflejados en la tabla 4.17, y los resultados de presión en el transductor se muestran en la tabla 4.18

Tabla 4.17. Comprobación del modelo con molde "probeta" para presión máxima de llenado

Temp (°C)	Vel. (%)	tiempo maq (sg.)	P max maquina (Bar)	P max maq en vacio (Bar)	P max maquina Rel Areas: 13.8 --> (Mpa)	P max maq en vacio Rel Areas: 13.8 --> (Mpa)	P max molde (Mpa)	Pmax iny MF (Mpa)	Error (%)
220	20	1,67	33,4	6,9	46,1	9,5	36,6	39,9	8.12
	40	0,75	46	15,5	63,5	21,4	42,1	44.2	4.54
	60	0,58	51,6	21,2	71,2	29,3	42,0	45.3	7.17
240	20	1,67	30	5,5	41,4	7,6	33,8	37.6	10.01
	40	0,74	42,3	14,9	58,4	20,6	37,8	41.9	9.54
	60	0,6	48,3	20,2	66,7	27,9	38,8	42.8	9.18
260	20	1,69	28,9	5,3	39,9	7,3	32,6	35.9	9.21
	40	0,72	39,6	13,9	54,6	19,2	35,5	38.4	7.44
	60	0,58	44,2	18,8	61,0	25,9	35,1	38.4	8.59

Tabla 4.18. Comprobación del modelo con molde "probeta" para presión máxima alcanzada en el transductor

Temp. (°C)	Vel. (%)	P max transd. (Mpa)	P max transd. MF (Mpa)	Error (%)
220	20	129	122	5.74
	40	137	136	0.74
	60	142	138	2.17

4- Obtención del modelo viscoso de PP con molde espiral sin recubrimientos

	20	125	118	5.93
240	40	128	130	2.31
	60	141	135	5.93
	20	126	114	11.23
260	40	124,7	125	2.40
	60	139	129.5	12.7

Los errores para la presión máxima de inyección, y para la presión en el transductor en general no superan el 10%, siendo el error algo menor para las medidas en el transductor que para la presión máxima.

Por todo ello, y tras todas las comprobaciones realizadas con distintos parámetros de inyección y distintos moldes, se puede dar por correcto este método para obtener modelos de viscosidad con molde espiral monitorizado.

Es decir, esta metodología será válida para obtener modelos reologicos equivalentes plástico + textil, teniendo en cuenta que para cada textil, será necesario repetir el cálculo del modelo.

4.9. Comparación entre modelo obtenido con molde espiral y modelo obtenido con reómetro.

En este apartado, se realiza una comparación grafica de las curvas de viscosidad obtenidas con el reómetro capilar, y las obtenidas con la metodología expuesta.

De la misma manera que para el cálculo del anterior modelo, se obtiene con el reómetro una serie de valores de *shear rate* y caída de presión con los que se calculan las viscosidades (Tabla 4.19).

Tabla 4.19 Valores de *shear rate* y viscosidad obtenidos con reómetro

Temperatura °C	$\dot{\gamma}$ (1/s)	η (Pa*s)
200	86	320
	115	280
	288	180
	576	122
	864	95
	1152	81
	1728	63
	2304	52
	3456	40
	4608	34
	5770	29

4- Obtención del modelo viscoso de PP con molde espiral sin recubrimientos

	86	215
	115	198
	288	135
	576	98
	864	77
220	1152	65
	1728	52
	2304	43
	3456	34
	4608	28
	5770	24
	115	119
	288	104
	576	77
	864	63
240	1152	54
	1728	43
	2304	36
	3456	28
	4608	24
	5770	21
	115	98
	288	84
	576	64
	864	53
260	1152	46
	1728	37
	2304	31
	3456	25
	4608	21
	5770	18

Con VISDAT, se realiza el ajuste matemático, y se obtienen las constantes del modelo de reómetro (tabla 4.20), (Fig. 4.24).

Tabla 4.20. Constantes de modelo de reómetro

A	B	C	D	E	F
14.137	-0.45708	-4.63e-2	-4.68e-2	2.49e-3	3.97e-5

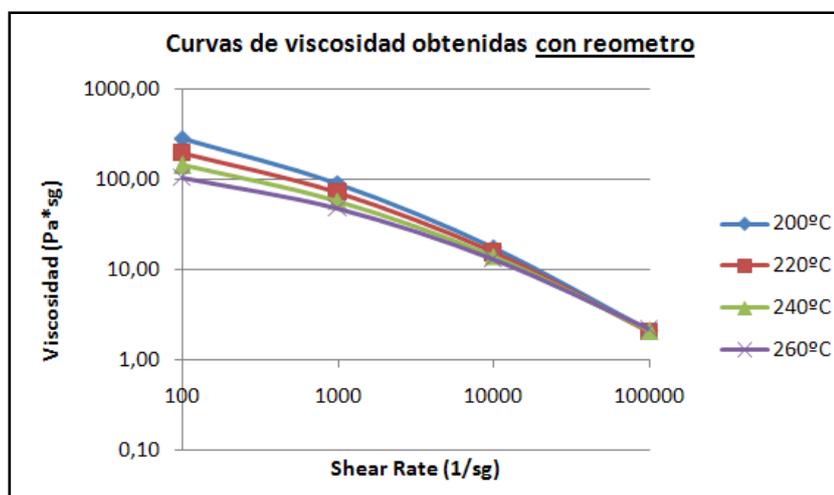


Figura 4.24 Curvas de viscosidad para PP obtenidas con reómetro

4- Obtención del modelo viscoso de PP con molde espiral sin recubrimientos

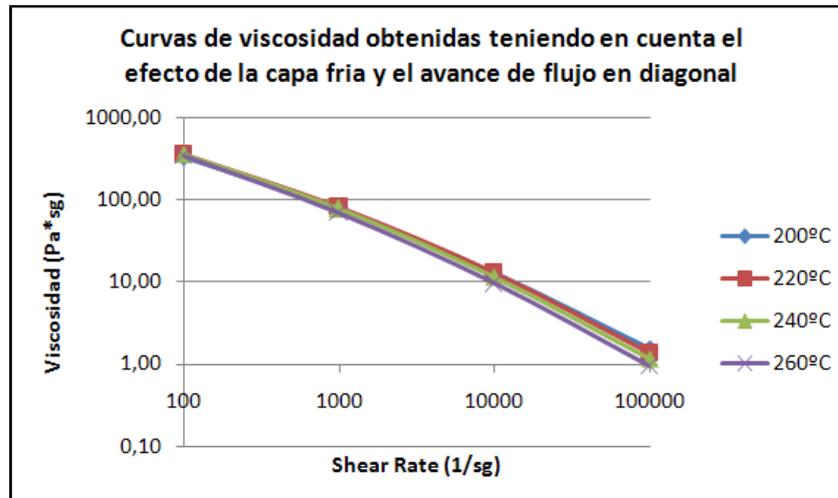


Figura 4.25 Curvas de viscosidad para PP obtenidas con molde espiral

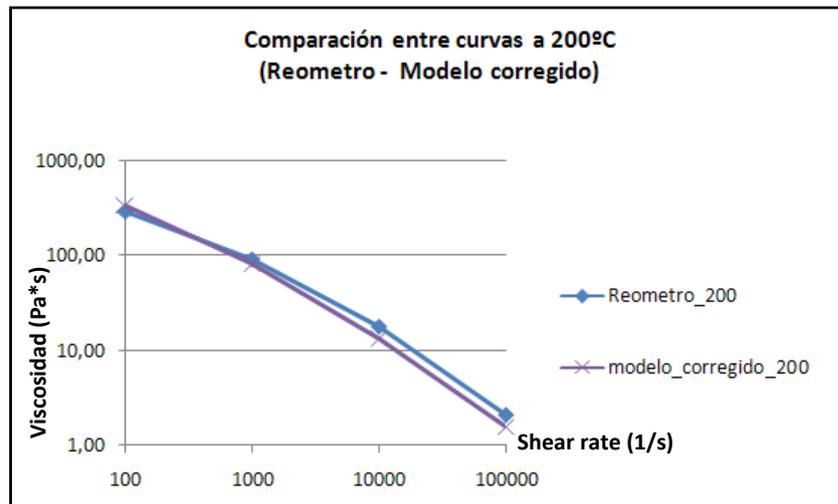


Figura 4.26 Comparación entre curvas de reómetro y molde espiral a 200°C

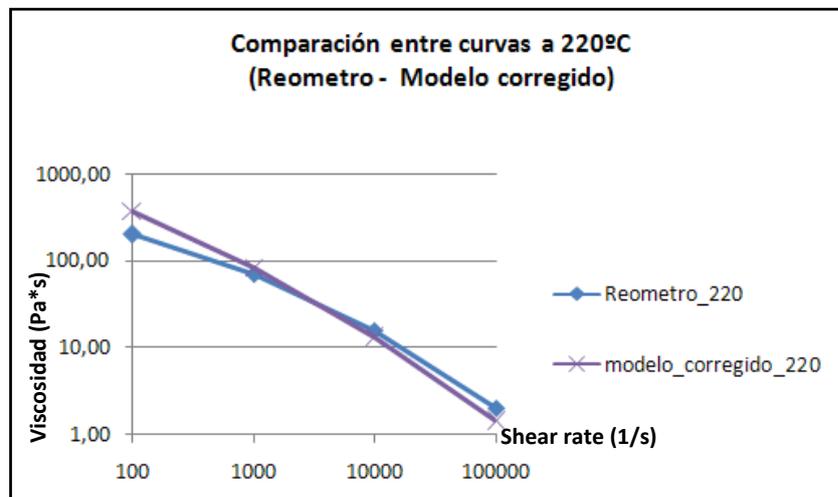


Figura 4.27 Comparación entre curvas de reómetro y molde espiral a 220°C

4- Obtención del modelo viscoso de PP con molde espiral sin recubrimientos

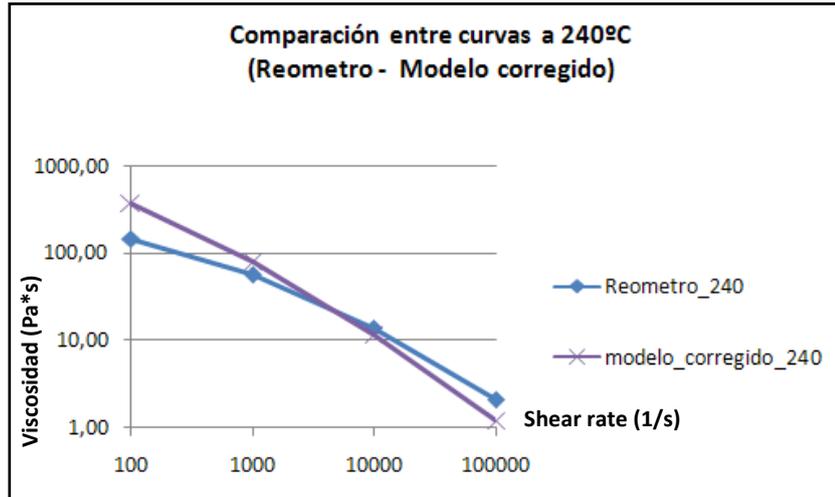


Figura 4.28 Comparación entre curvas de reómetro y molde espiral a 240°C

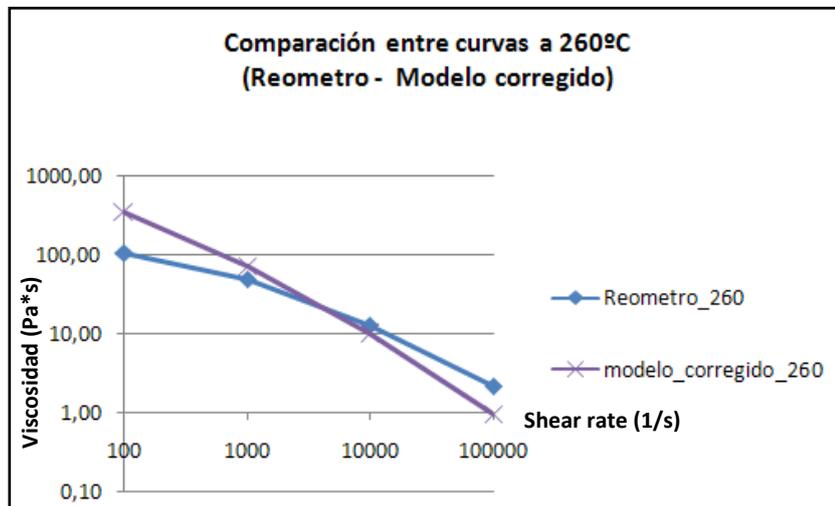


Figura 4.29 Comparación entre curvas de reómetro y molde espiral a 260°C

A 200°C la curva del reómetro y la obtenida con molde espiral tienen la misma pendiente pero la curva de reómetro está por encima de la experimental (Fig 4.26 a 4.29). Nótese, que se han tomado las curvas para el rango de *shear rate* habitual en inyección, partiendo 100 sg-1 como valor de cizalla más bajo.

Conforme aumenta la temperatura, la diferencia entre la pendiente de la curva de reómetro y la pendiente de la obtenida con molde espiral se va haciendo más notable, volviéndose la curva de reómetro menos inclinada.

El rango de *shear rate* en el que trabaja el reómetro GOTTFERT (Fig. 4.30) del que se dispone en el área de Ingeniería Mecánica, va de 100 a 10.000 sg^{-1} . Por tanto el ajuste de la curva se hará utilizando los valores de viscosidad obtenidos para este rango.

Con el uso del reómetro, se ha observado que para velocidades muy lentas, y apenas ejerciendo fuerza sobre el plástico para que fluya a través del capilar, éste cae prácticamente por su propio peso, siendo este comportamiento más evidente cuanto más fluido es el material.

Por tanto, para velocidades muy lentas, la caída de presión captada por el reómetro es menor de la que en realidad captaría si no actuara la fuerza de la gravedad, y el fenómeno se acentúa al aumentar la temperatura y volverse el plástico más fluido. Si la caída de presión es menor, también lo será la viscosidad calculada a partir de este dato, ya que ambas son directamente proporcionales.

De esta manera se puede explicar que para velocidades lentas, las curvas obtenidas con reómetro queden por debajo de las curvas experimentales.



Figura 4.30 Comparación entre curvas de reómetro y molde espiral a 260°C

4- Obtención del modelo viscoso de PP con molde espiral sin recubrimientos

Para valores de *shear rate* mayores de 10.000 sg-1 ya no se tienen datos, y la curva que se tiene dibujada se crea a partir del ajuste matemático realizado por VISDAT. Como la curva del reómetro ha resultado con menos pendiente que la experimental, es lógico que para valores altos de *shear rate* quede por encima de esta última, y exista un punto de cruce entre ambas curvas.

Si se introduce el modelo obtenido con reómetro en MODFLOW para calcular de nuevo las espirales, se observa que los resultados se ajustan menos que cuando se utiliza el moldeo obtenido con el molde espiral.

Tabla 4.21. Comparación entre valores experimentales y de reómetro

Temperatura 200					
Vel.	Tiempo de inyección (sg)	Δ Pm MF (bar)	Δ Pm (bar)	Error Δ Pm (%)	
20%	1,38	108,2	86,85	19,7	
40%	0,64	114	91,95	19,3	
60%	0,4	118,2	96,3	18,5	
80%	0,28	122,4	100,7	17,7	
100%	0,22	125,7	95,55	24,0	
Temperatura 220					
Vel.	Tiempo de inyección	Δ Pm MF	Δ Pm	Error Δ Pm	
20%	1,43	89	78,7	11,6	
40%	0,7	97,3	84,2	13,5	
60%	0,45	105,3	93,25	11,4	
80%	0,31	111,7	95,7	14,3	
100%	0,24	114,6	91,5	20,2	
Temperatura 240					
Vel.	Tiempo de inyección	Δ Pm MF	Δ Pm	Error Δ Pm	
20%	1,53	74,6	74,3	0,4	
40%	0,72	82	81,1	1,1	
60%	0,48	90	85,5	5,0	
80%	0,34	96,2	88,55	8,0	
100%	0,26	104,7	83,15	20,6	
Temperatura 260					
Vel.	Tiempo de inyección	Δ Pm MF	Δ Pm	Error Δ Pm	
20%	1,64	66,1	66,8	-1,1	
60%	0,5	78	75,7	2,9	
80%	0,36	89,4	78,7	12,0	
100%	0,29	92,3	72,7	21,2	

Leyenda	Error entre	0% y 5%
	Error entre	5,01% y 10 %
	Error mayor de	10,01%

En la mayoría de los casos, los errores cuando se calcula con el modelo de reómetro se sitúan muy por encima del 10%, llegando a alcanzar el 24% de error. Solo en 5 casos concretos se tienen errores menores de 5%.

Se recuerda, que el mayor error obtenido al calcular los casos con el modelo obtenido con molde espiral era del 9.9% y que en la mayoría de los casos, el error se situaba entre el 2 y el 5%.

Por tanto, concretamente para este PP (polipropileno) estudiado, el modelo obtenido con molde espiral, se adapta mejor a la realidad que el modelo de reómetro.

Nota: Todos los archivos obtenidos de la cadena de medida, graficas de presión experimentales, graficas de presión teóricas obtenidas con MOLDFLOW y distribuciones de presión teóricas obtenidas con MOLDFLOW, pueden ser consultadas en el ANEXO 1 de la presente tesis.

5. Análisis bidimensional de las caídas de presión y espesor de capa fría en la fase de llenado en condiciones de asimetría.

El objetivo final en este capítulo es desarrollar una metodología de cálculo mediante diferencias finitas para obtener espesores de capa fría cuando se inyectan espirales en condiciones de asimetría por IMD.

5.1. Metodología de cálculo por diferencias finitas aplicada al cálculo de caídas de presión y capa fría en una tira.

Tal y como se ha visto en el estado del arte, para el cálculo de la caída de presión en el llenado de una pieza, es preciso caracterizar la reología del polímero inyectado, conocer las propiedades termo-físicas del mismo y tener claras las condiciones de transformación, así como la geometría de la pieza.

5.1.1. Geometría de la tira

La geometría más sencilla y próxima a la espiral es una tira.

En la aplicación, esta tira podrá tener el espesor, anchura y longitud que decida el usuario.

En el caso concreto de la espiral, se introducirán en la aplicación el espesor y anchura de dicha espiral, y su longitud, será la distancia entre transductores, que es la longitud de estudio.

5.1.2. Caracterización físico-térmica y reológica del polímero a inyectar

Como se ha visto en el estado del arte, tanto en el cálculo de la capa fría, como en el de caídas de presión, o distribución de temperaturas, son necesarias las propiedades físico-térmicas del polímero que se inyecta. También serán necesarias estas mismas propiedades de los elementos que entran en contacto con el polímero, es decir, del molde y del textil si lo hubiera.

Aunque el calor específico de los plásticos varía con la temperatura y de forma diferente según se trabaje con materiales amorfos o semicristalinos, para los cálculos se tomará un valor medio de C_p en condiciones de proceso, que viene dado por las bases de datos de materiales plásticos.

De igual manera, se tomarán valores de C_p para el material del molde de las bases de datos correspondientes.

En cuanto a las telas, se tomará como hipótesis que el textil está formado en su mayor parte por espuma, por lo que se ha tomado el valor de C_p de dicha espuma para los cálculos.

De igual manera que para el calor específico, la conductividad de los plásticos varía con la temperatura y de manera diferente para amorfos y semicristalinos. De nuevo, para el desarrollo de la aplicación y cálculo de datos, se toma un valor medio de conductividad en condiciones de proceso facilitado por las bases de datos.

Para el textil, se toman valores de un estudio realizado por el grupo con anterioridad.

5- Análisis bidimensional de las caídas de presión y espesor de capa fría en la fase de llenado en condiciones de asimetría

En cuanto a la densidad del polímero, para los cálculos que nos ocupan, se simplificará tomando un valor constante de densidad cuando el polímero está fundido durante todo el proceso de llenado.

Este dato se obtendrá de la base de datos al igual que la densidad del acero.

Para los textiles, se obtendrá una densidad media, tomando distintos recortes y pesándolos.

Por último, para el cálculo de capa fría, se obtendrá la temperatura de no flujo o de congelación del plástico de las base de datos.

En cuanto a modelos viscosos, en la aplicación que se desarrolla, se introducirán las constantes del modelo Second Order MOLDFLOW calculadas en base a los datos experimentales obtenidos con el molde espiral monitorizado, pero acotando las curvas para valores bajos de *shear rate*.

Es decir, el modelo por sí mismo da lugar a unas curvas que siempre son crecientes según *shear rate* va disminuyendo, mientras que el comportamiento real del polímero indica que para valores bajos de *shear rate*, la viscosidad se vuelve casi constante (Fig. 5.1).

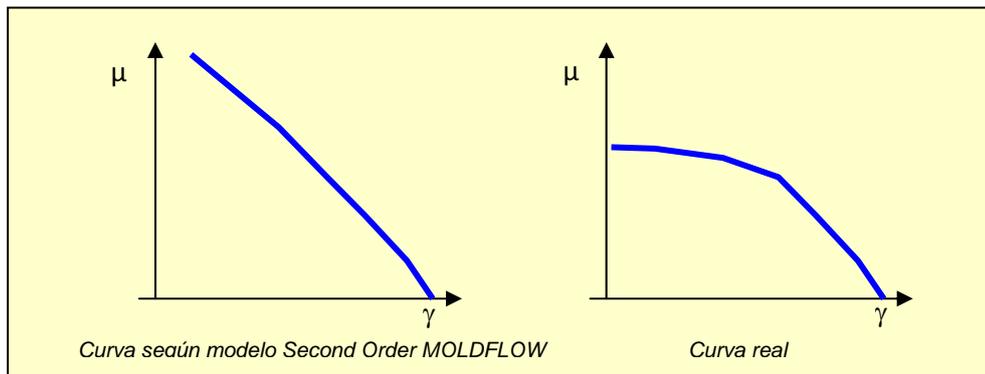


Figura 5.1. Diferencia entre curvas de viscosidad según de modelo S.O. M y curva real

Por ello, en la aplicación se realizará una aproximación de viscosidad para $\gamma < \text{limite}$. A cada temperatura para estos valores de *shear rate* tan bajos corresponderá un valor de viscosidad constante.

5.1.3. Modelización del flujo en una tira de anchura constante

Tal y como se ha visto en el capítulo 2, para calcular la caída de presión al llenar una tira con un termoplástico, se utilizan las expresiones

$$Q = w \int_{-b}^b u dy \quad (5.1.)$$

$$0 = \frac{\partial}{\partial y} \left(\eta \frac{\delta u}{\delta y} \right) - \frac{\delta P}{\delta x} \quad (5.2.)$$

$$\rho C_p \left(\frac{\delta T}{\delta t} + u \frac{\delta T}{\delta x} \right) = k \frac{\delta^2 T}{\delta y^2} + \eta \gamma^2 \quad (5.3.)$$

En estas expresiones, Q es el caudal inyectado y será uno de los datos introducidos por el usuario en la aplicación. Este dato será constante, y dará como resultado un tiempo de llenado de la geometría modelizada.

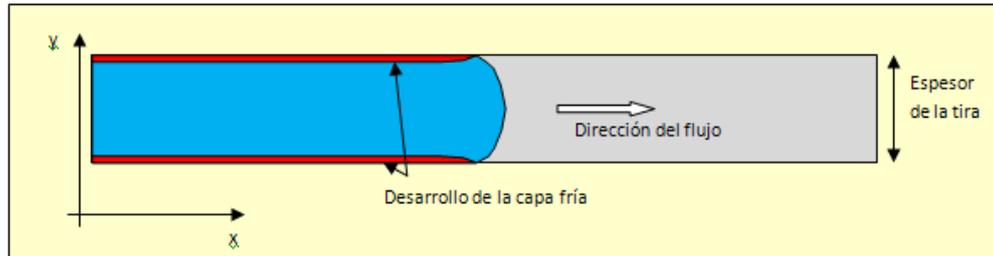
A partir de este dato, la aplicación generará un perfil de velocidades parabólico que más adelante servirá de condición inicial para comenzar el proceso de cálculo.

En estas ecuaciones:

- u es la velocidad del plástico en dirección X
- η es la viscosidad en función del modelo Second Order MOLDFLOW
- $\gamma = \left| \frac{\delta u}{\delta y} \right|$ es la velocidad de cizalla
- P es presión
- T es temperatura
- ρ , Cp y K son propiedades termofísicas de los materiales

5- Análisis bidimensional de las caídas de presión y espesor de capa fría en la fase de llenado en condiciones de asimetría

En la figura 5.2. se aprecia que el flujo discurre en dirección X, despreciando el efecto fuente y la posible circulación de flujo en dirección Y, ya que Y es la dirección transversal, es decir, la del espesor.



5.2. Vista en corte del espesor de la tira

La aplicación será capaz de describir adecuadamente los campos de velocidad $u(x,y,t)$, de temperatura $T(x,y,t)$, de presión $P(x,t)$ y de capa fría $Capa(x,y,t)$, tomando como condiciones iniciales, los valores de velocidad de frente de flujo y temperatura a la entrada de la tira.

Para entender estas condiciones iniciales, primero se expondrá como se discretiza la tira que se va a inyectar. En la siguiente imagen (Fig 5.3) se muestra como el espesor de la tira se ha dividido solo en 4 capas. A la hora de desarrollar la aplicación, el número de capas es de 30, para que los resultados sean mucho más exactos.

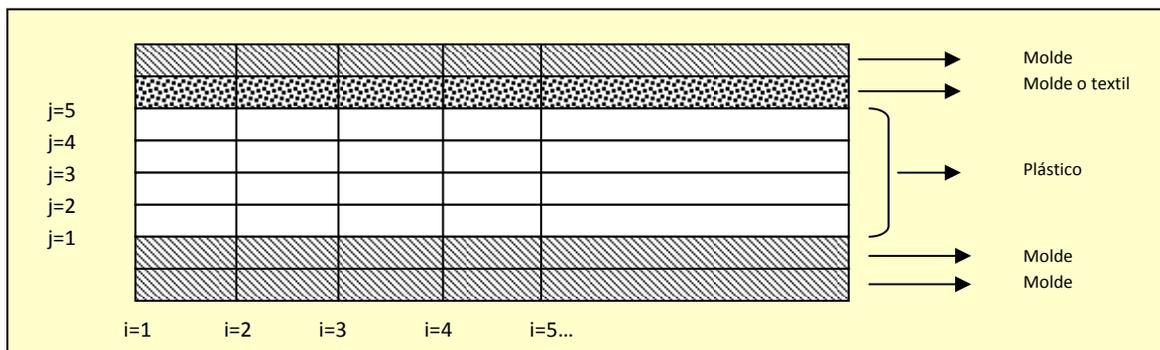


Figura 5.3 Discretización de la tira

En el instante inicial $K+1=1$, el flujo se situará en $i=1$ y cumplirá las condiciones iniciales. Según vaya transcurriendo el tiempo $K+1 = 2, 3, 4, \dots$ el flujo irá avanzando y ocupando las líneas $i = 2, 3, 4, \dots$ respectivamente.

Por tanto

5- Análisis bidimensional de las caídas de presión y espesor de capa fría en la fase de llenado en condiciones de asimetría

- $u(0,y,t) = u_0(y,t)$ será un perfil de velocidades que al integrar en toda la sección de paso de la tira dará lugar al caudal Q que el usuario ha introducido como dato.

Este perfil será parabólico respondiendo a la expresión $Ay^2 + B$, de tal manera que para $K+1=1$ se tendrá:

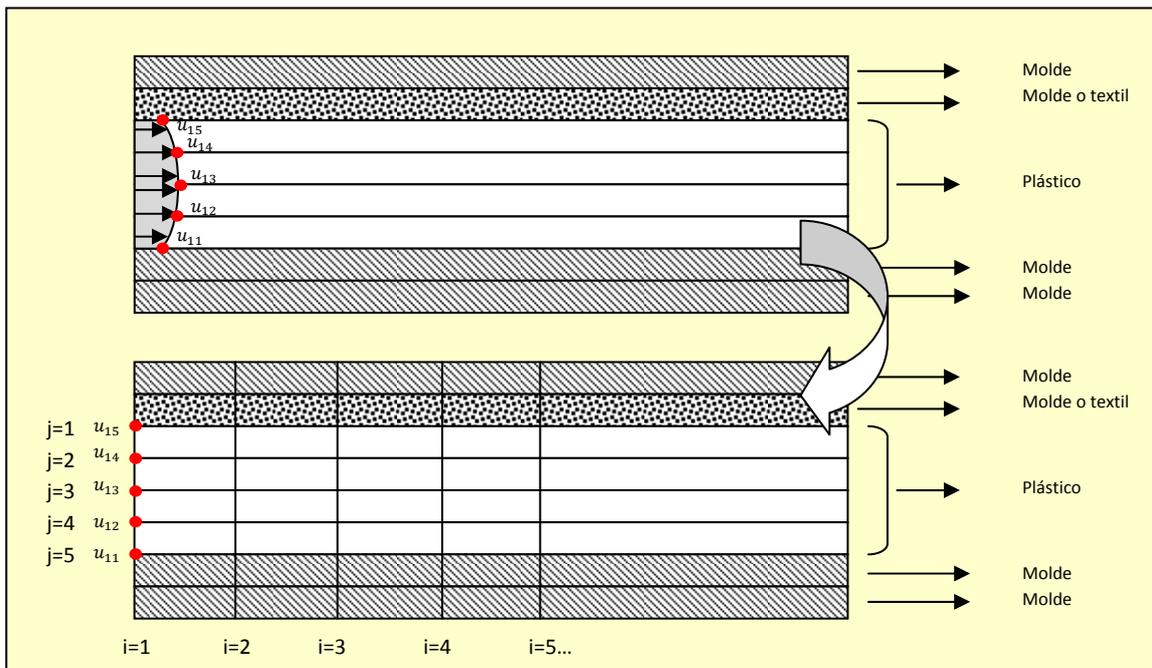


Figura 5.4. Condiciones iniciales de velocidad

- $T(0,y,t) = T_0$ indicará que se tiene el valor de T_0 o temperatura de inyección en toda la línea $i=1$ sin depender ni del espesor ni del tiempo. La temperatura de inyección la fijará el usuario.

A parte de las condiciones iniciales se tendrán una serie de condiciones de contorno que servirán para trabajar en dirección transversal.

En la pared del molde se tendrá siempre velocidad nula. En la entrada esto queda ya demostrado con el perfil de velocidades parabólico que se ha tomado como hipótesis.

Según avance el flujo y se desarrolle la capa fría, esta condición variará y se considerará para el cálculo, que todo aquel punto del flujo que alcance una temperatura por debajo de la temperatura de congelación,

5- Análisis bidimensional de las caídas de presión y espesor de capa fría en la fase de llenado en condiciones de asimetría

tendrá velocidad nula, cambiando así paulatinamente el perfil de velocidades.

Por otro lado, tanto en la pared del molde, como en la interfase metal-plástico y en el momento inicial, se tendrá la temperatura de molde fijada por el usuario. Esta condición cambiará según avance el flujo, y evolucionará en la interfase, manteniéndose el valor de temperatura de molde, en capas interiores del mismo.

Esto es porque la condición de contorno a lo largo del cálculo no se fijará en la interfase molde-plástico, sino que se tomará parte del molde para ver como se calientan las zonas del mismo más próximas al plástico.

En el caso de que el plástico no entre directamente en contacto con metal, sino con otro material como el textil, se verá cómo cambia la temperatura de dicho textil y la evolución de la capa fría con respecto al caso de contacto directo con metal.

La siguiente imagen explica todo lo descrito hasta el momento en cuanto a condiciones de contorno (Fig. 5.5).

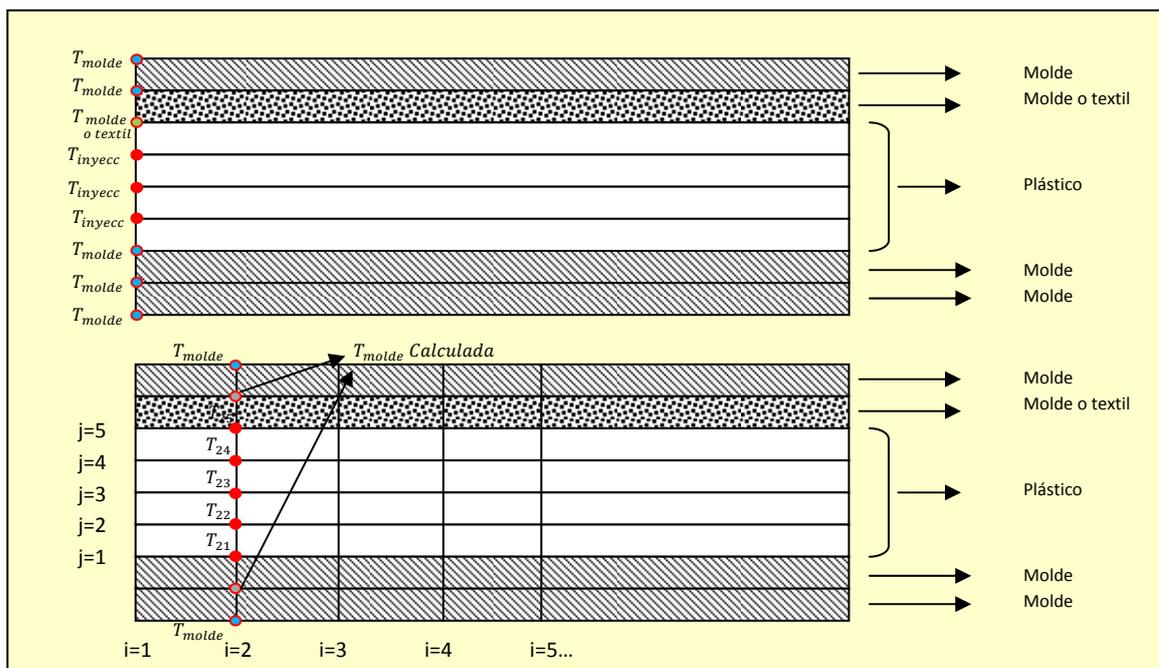


Figura 5.5. Condiciones de contorno de temperatura

5- Análisis bidimensional de las caídas de presión y espesor de capa fría en la fase de llenado en condiciones de asimetría

Recapitulando, hasta ahora el usuario ha debido introducir en la aplicación:

- La geometría de la tira (anchura, longitud y espesor)
- La geometría del textil en el caso de sobreinyección (espesor)
- Propiedades termo-físicas de plástico, molde y textil (ρ , C_p , K)
- Modelo reológico del plástico: Constantes del Second Order MOLDFLOW y γ limite.
- Parámetros de inyección (Temperatura de inyección, caudal y temperatura de molde)

A la hora de calcular se comienza en primer lugar determinando en nuevo campo de temperaturas en el frente de flujo, por el hecho de haber avanzado a lo largo de la tira según transcurre el tiempo.

Para el primer avance, este perfil vendrá representado por $T_{i=2, j=1 \dots n, K+1=2}$, y se podrá calcular aplicando la ecuación de la energía en diferencias finitas.

$$\rho C_p \left[\frac{T_{i,j,k+1} - T_{i,j,k}}{\Delta t_k} + u_{i,j,k} \frac{T_{i,j,k+1} + T_{i-1,j,k+1}}{\Delta x_{i-1}} \right] = k \left[\frac{2T_{i,j-1,k+1}}{\Delta y_{j-1}(\Delta y_{j-1} + \Delta y_j)} - \frac{2T_{i,j,k+1}}{(\Delta y_{j-1} + \Delta y_j)} + \frac{2T_{i,j+1,k+1}}{\Delta y_j(\Delta y_{j-1} + \Delta y_j)} \right] + \eta_{ijk} \gamma_{ijk}^2 \quad (5.4)$$

Esta ecuación se aplicará a todos los nodos interiores (se exceptúan aquellos en los que se fija la temperatura de molde como condición de contorno), dando lugar a un sistema de ecuaciones compatible determinado.

En esta expresión se deberá tener en cuenta que γ_{ijk} vendrá dado por $\gamma = \left| \frac{\delta u}{\delta y} \right|$ o lo que es lo mismo $\frac{u_{ijk} - u_{ij-1k}}{\Delta y}$ y que η_{ijk} se calculará a través del modelo reológico usando los valores de γ_{ijk} y T_{ijk} .

El objetivo del desarrollo de la aplicación, como ya se ha comentado en anteriores puntos de esta tesis, es poder hacer los cálculos

5- Análisis bidimensional de las caídas de presión y espesor de capa fría en la fase de llenado en condiciones de asimetría

en condiciones de asimetría, por lo que el cálculo del perfil de temperaturas se hará a lo largo de todo el espesor, incluyendo la parte de molde y textil que se discretiza.

Se pondrá especial cuidado en la expresión de diferencias finitas aplicada en las interfases molde-plástico, molde-textil, y textil-plástico, que tendrá la siguiente forma:

$$\left(\frac{\rho_A C_{pA}}{2} + \frac{\rho_B C_{pB}}{2} \right) \left[\frac{T_{i,j,k+1} - T_{i,j,k}}{\Delta t_k} \right]$$

$$= \left[k_A \frac{2T_{i,j-1,k+1}}{\Delta y_{j-1}(\Delta y_{j-1} + \Delta y_j)} - (k_A + k_B) \frac{2T_{i,j,k+1}}{(\Delta y_{j-1} + \Delta y_j)} + k_B \frac{2T_{i,j+1,k+1}}{\Delta y_j(\Delta y_{j-1} + \Delta y_j)} \right] \quad (5.5)$$

donde A y B se refieren a los dos materiales que forman la interfase, y donde los términos en los que intervienen la velocidad, la viscosidad o *shear rate* desaparecen al tener velocidad nula (molde o textil no tienen velocidad y la velocidad del plástico en la zona de contacto con textil o molde también es nula por hipótesis).

Una vez calculado el campo de temperaturas en el instante $K+1=2$, se actualizan las demás propiedades de flujo. En este apartado se muestra un ejemplo de cómo se ha trabajado con el primer avance de flujo.

Al trabajar con el modelo Second Order MOLDFLOW será necesario un proceso iterativo.

Se evaluará primeramente la fluidez $S = \int_{-b}^b \frac{y^2}{\eta} dy$ mediante cuadratura numérica trapezoidal. La viscosidad que se empleará en este paso será la correspondiente a los viejos valores de velocidad de cizalla, y campo de temperaturas actualizado.

Con los valores de $S_{i=2,k+1=2}$ que se han obtenido, se puede calcular el valor correspondiente a $\Lambda_{i=2,k+1=2} = \frac{Q}{2wS_{i=2,k+1=2}}$. A partir de este dato se puede calcular el nuevo campo de velocidades de cizalla por

5- Análisis bidimensional de las caídas de presión y espesor de capa fría en la fase de llenado en condiciones de asimetría

medio de la expresión $\gamma = \frac{\Lambda y}{\eta}$ que de manera discretizada queda $\gamma_{i=2,j,k+1=2} = \frac{\Lambda_{i=2,j,k+1=2} y_j}{\eta_{i=2,j,k+1=1}}$. De esta manera, se puede recalculer la viscosidad con los nuevos valores actualizados de *shear rate*, y comenzar el proceso recalculando de nuevo la fluidez S. El proceso será iterativo y se repetirá hasta que S llegue a converger.

Por otro lado y una vez alcanzada la convergencia, con Λ , y empezando por un valor nulo en el frente de flujo, se calcula el campo de presiones integrando desde el frente de flujo hasta el punto de entrada de material, en base a la expresión $\Lambda = \frac{-\delta P}{\delta x}$.

Por último, y también cuando se ha alcanzado la convergencia, basta integrar a lo largo del espesor el ratio de cizalla, para obtener el perfil de velocidades correspondiente a la sección $i = 2$. Para ello, se utilizará valor nulo de velocidad en la pared del molde y en todos aquellos puntos en los que el campo de temperaturas indique que están por debajo de la temperatura de no flujo.

Cada vez que el flujo avance, se repetirá todo el proceso, que se irá complicando a medida que éste avance, ya que habrá que actualizar los campos de temperaturas, velocidades, *shear rate* y viscosidades, no solo en el frente de flujo, sino en todas las secciones anteriores en las que se ha discretizado la tira.

El siguiente diagrama de flujo (Fig. 5.6) resume todo el proceso iterativo para realizar los cálculos que dan lugar a la aplicación que se presenta en próximos apartados de este capítulo.

5- Análisis bidimensional de las caídas de presión y espesor de capa fría en la fase de llenado en condiciones de asimetría

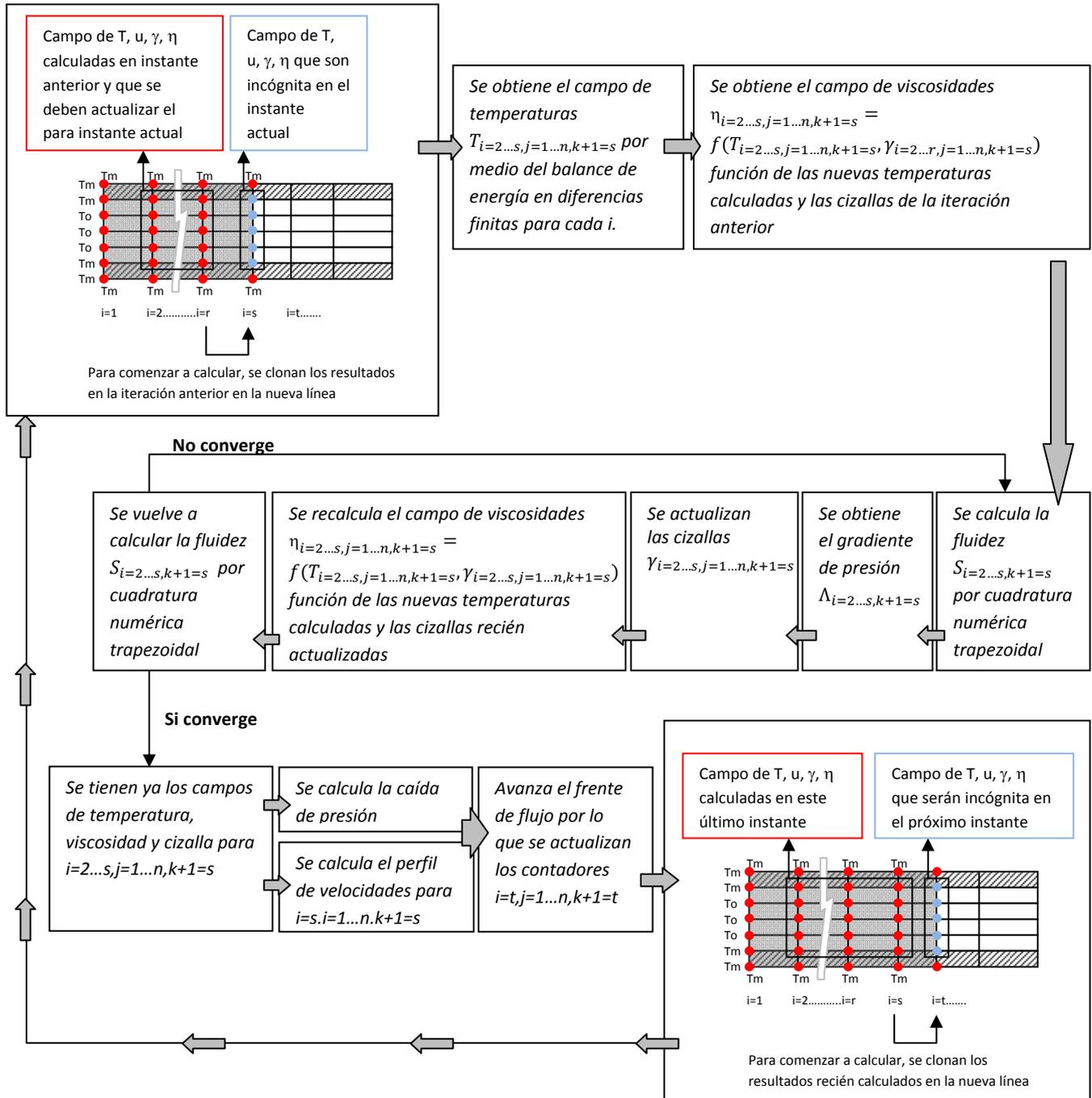


Figura 5.6 Diagrama de flujo para el cálculo reológico de una tira.

5.1.4. Cálculo de la capa fría

En cada instante, se calculará el desarrollo de la capa fría, o lo que es lo mismo, el espesor de dicha capa para cada instante en cada una de las secciones i .

Como se ha visto en el apartado anterior, se calcula el campo de temperaturas para cada toda la tira en cada avance de flujo. Para un instante intermedio cualquiera y una sección intermedia cualquiera de la

5- Análisis bidimensional de las caídas de presión y espesor de capa fría en la fase de llenado en condiciones de asimetría

tira, se tendría un perfil de temperatura que podría ser como el que se muestra en la figura 5.7.

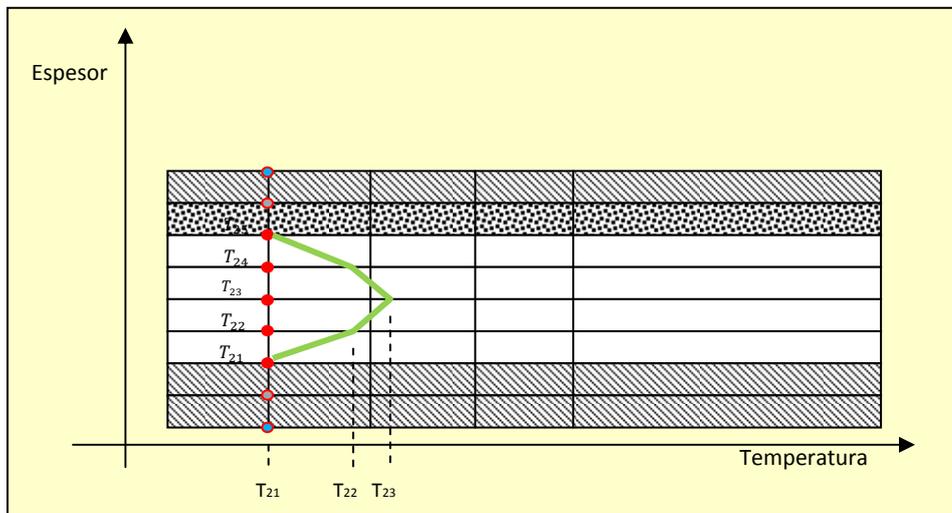


Figura 5.7 Temperaturas en un instante y sección cualquiera.

Si se supone que la temperatura de no flujo es de T_{sol} , y $T_{21} < T_{sol} < T_{22}$, la capa fría se estará formando en la primera lámina de la discretización de la tira, justamente entre T_{21} y T_{22} . Conocido el espesor de cada una de las capas de la malla de la tira, se localiza el punto exacto en el que se alcanza T_{sol} por interpolación lineal, y de esta manera se obtiene el espesor de capa fría.

5.2. Presentación de la aplicación desarrollada: Manual de uso

La pantalla principal tiene la opción de pulsar sobre “**Datos**”, cada uno de los pasos de cálculo, o sobre “**Avance**”.

En primer lugar, para hacer funcionar la aplicación, se pulsará sobre “**Datos**”.

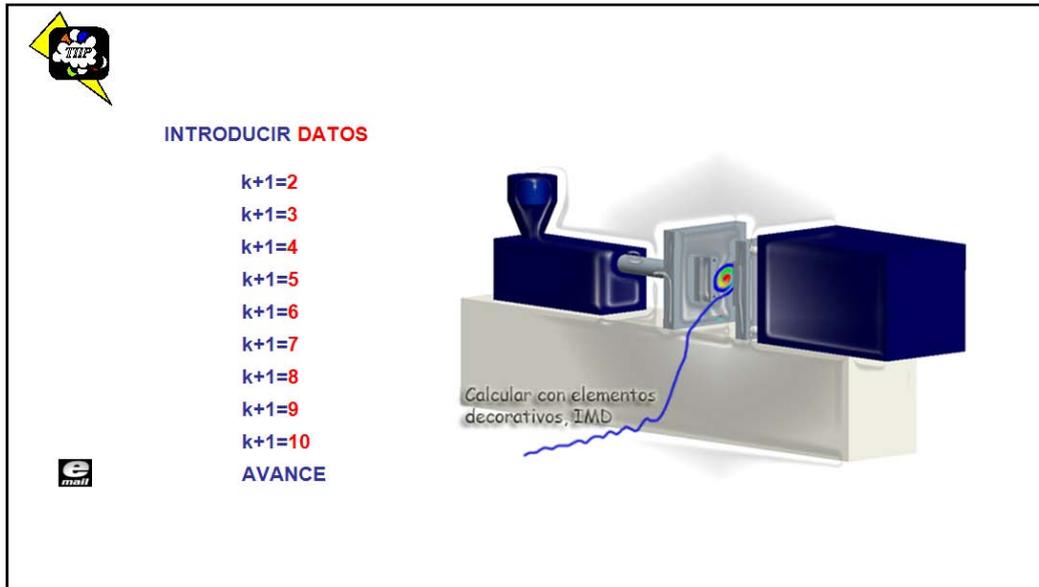


Figura 5.8 Pantalla inicial de la aplicación.

Una vez que se está en la pantalla de datos, se deben rellenar todos los campos correspondientes a materiales (plástico, molde y material decorativo), geometría y parámetros de inyección.

El material plástico, puede ser escogido de una base de datos (Fig. 5.9), en cuyo caso se autorrellenarán todas las casillas correspondientes a propiedades termo físicas y reológicas, pero también existe la opción de introducir manualmente estas propiedades tecleando en las correspondientes celdas que se iluminan en verde (Fig. 5.10). Los parámetros a introducir manualmente serán calor específico, conductividad, densidad y temperatura de solidificación, además de las 6 constantes de modelo Second Order Moldflow y el límite de *shear rate* a partir del cual la viscosidad solo se considera dependiente de la temperatura.

5- Análisis bidimensional de las caídas de presión y espesor de capa fría en la fase de llenado en condiciones de asimetría

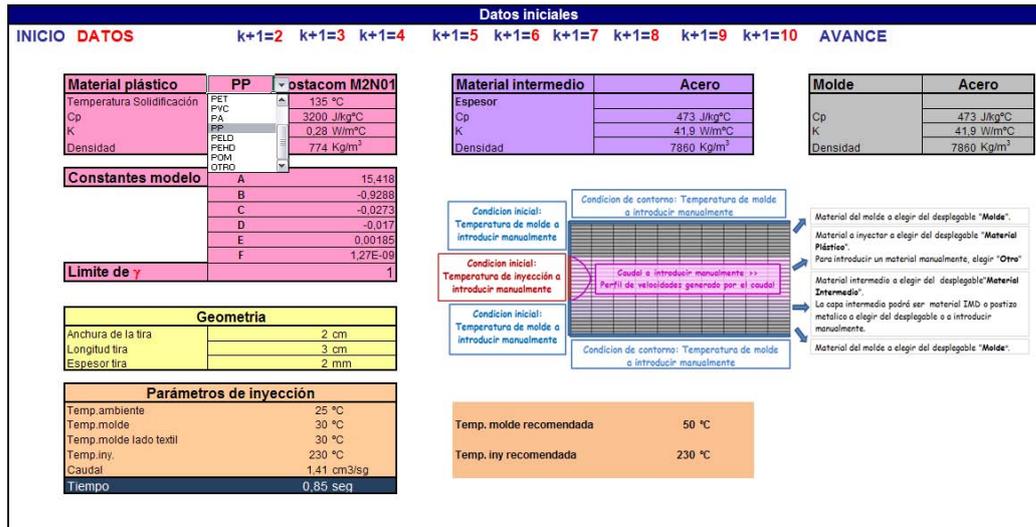


Figura 5.9 Pantalla de datos.

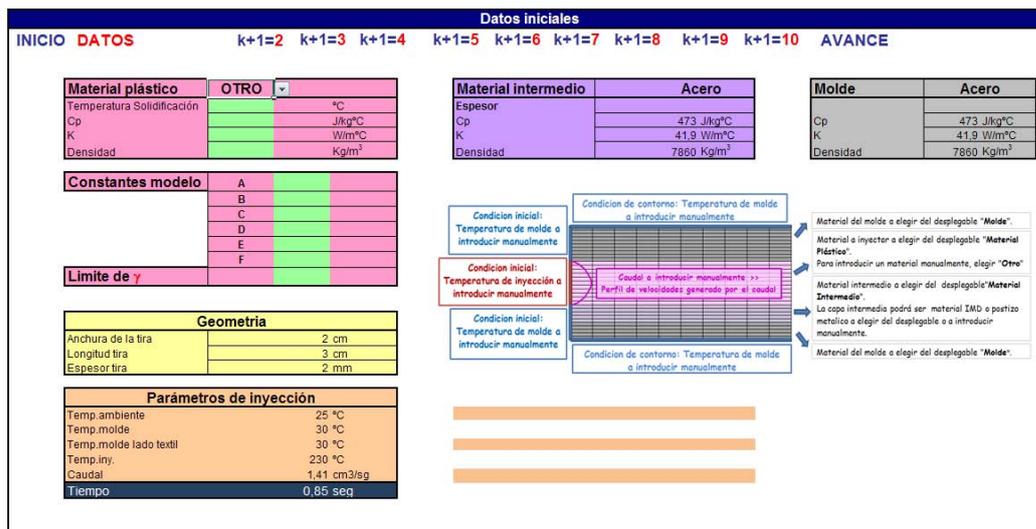


Figura 5.10 Pantalla de datos.

El material del molde también se puede elegir mediante un desplegable (Fig. 5.11), y las casillas se autorrellenarán con las propiedades del material seleccionado.

Para terminar con la selección de materiales, se podrá decidir si se tiene material decorativo intermedio o no, o si por el contrario se quiere analizar la influencia de un postizo de un material metálico diferente al del resto del molde.

5- Análisis bidimensional de las caídas de presión y espesor de capa fría en la fase de llenado en condiciones de asimetría

En el caso de tener un molde sin postizos y sin material decorativo, bastara seleccionar el mismo material metálico tanto en la ventana de **“material intermedio”**, como en la ventana de **“molde”**.

En el caso de tener IMD o postizo, la aplicación asignará al molde el material elegido en la ventana **“molde”**, y al material intermedio la selección de la ventana **“material intermedio”**.

Entre los materiales intermedios IMD se tiene la opción de 3 textiles (Fig. 5.11) diferentes con sus correspondientes espesores y propiedades que se autorrellenarán. Lo mismo ocurre con materiales para los postizos. Además existe la opción de elegir **“otros”** (Fig. 5.12), en cuyo caso se iluminarán en verde las casillas que el usuario debe rellenar. Estas casillas en concreto corresponderán al calor específico, conductividad, densidad y espesor del material intermedio.

Inicio				DATOS				k+1=2 k+1=3 k+1=4 k+1=5 k+1=6 k+1=7 k+1=8 k+1=9 k+1=10				AVANCE			
Material plástico		OTRO		Material intermedio		Acero		Molde		Acero					
Temperatura Solidificación		°C		Espesor				Cp		473	J/kg°C				
K		W/m°C		K				K		41.9	W/m°C				
Densidad		Kg/m ³		Densidad				Densidad		7860	Kg/m ³				
Constantes modelo		A													
		B													
		C													
		D													
		E													
		F													
Limite de γ															
Geometria															
Anchura de la tira		2 cm													
Longitud tira		3 cm													
Espesor tira		2 mm													
Parámetros de inyección															
Temp. ambiente		25 °C													
Temp. molde		30 °C													
Temp. molde lado textil		30 °C													
Temp. iny.		230 °C													
Caudal		1.41 cm ³ /sg													
Tiempo		0.85 seg													

Condición inicial: Temperatura de molde a introducir manualmente	Condición de contorno: Temperatura de molde a introducir manualmente	Material del molde a elegir del desplegable "Molde".
Condición inicial: Temperatura de inyección a introducir manualmente	Caudal a introducir manualmente >>> Perfil de velocidades generado por el caudal	Material a inyectar o elegir del desplegable "Material Plástico". Para introducir un material manualmente, elegir "Otro"
Condición inicial: Temperatura de molde a introducir manualmente	Condición de contorno: Temperatura de molde a introducir manualmente	Material intermedio a elegir del desplegable "Material Intermedio". La capa intermedia podrá ser material IMD o postizo metálico a elegir del desplegable o introducir manualmente.
		Material del molde a elegir del desplegable "Molde".

Figura 5.11 Pantalla de datos.

5- Análisis bidimensional de las caídas de presión y espesor de capa fría en la fase de llenado en condiciones de asimetría

Datos iniciales

INICIO **DATOS** k+1=2 k+1=3 k+1=4 k+1=5 k+1=6 k+1=7 k+1=8 k+1=9 k+1=10 AVANCE

<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td colspan="2">Material plástico</td></tr> <tr><td>Temperatura Solidificación</td><td>OTRO °C</td></tr> <tr><td>Cp</td><td>J/kg°C</td></tr> <tr><td>K</td><td>W/m°C</td></tr> <tr><td>Densidad</td><td>Kg/m³</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td colspan="2">Constantes modelo</td></tr> <tr><td>A</td><td></td></tr> <tr><td>B</td><td></td></tr> <tr><td>C</td><td></td></tr> <tr><td>D</td><td></td></tr> <tr><td>E</td><td></td></tr> <tr><td>F</td><td></td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td colspan="2">Limite de γ</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td colspan="2">Geometría</td></tr> <tr><td>Anchura de la tira</td><td>2 cm</td></tr> <tr><td>Longitud tira</td><td>3 cm</td></tr> <tr><td>Espesor tira</td><td>2 mm</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td colspan="2">Parámetros de inyección</td></tr> <tr><td>Temp. ambiente</td><td>25 °C</td></tr> <tr><td>Temp. molde</td><td>30 °C</td></tr> <tr><td>Temp. molde lado textil</td><td>30 °C</td></tr> <tr><td>Temp. iny.</td><td>230 °C</td></tr> <tr><td>Caudal</td><td>1,41 cm³/sg</td></tr> <tr><td>Tiempo</td><td>0,85 seg</td></tr> </table>	Material plástico		Temperatura Solidificación	OTRO °C	Cp	J/kg°C	K	W/m°C	Densidad	Kg/m ³	Constantes modelo		A		B		C		D		E		F		Limite de γ		Geometría		Anchura de la tira	2 cm	Longitud tira	3 cm	Espesor tira	2 mm	Parámetros de inyección		Temp. ambiente	25 °C	Temp. molde	30 °C	Temp. molde lado textil	30 °C	Temp. iny.	230 °C	Caudal	1,41 cm ³ /sg	Tiempo	0,85 seg	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td colspan="2">Material intermedio</td></tr> <tr><td>Espesor</td><td>Otro Textil</td></tr> <tr><td>Cp</td><td>J/kg°C</td></tr> <tr><td>K</td><td>W/m°C</td></tr> <tr><td>Densidad</td><td>Kg/m³</td></tr> </table> <div style="text-align: center;"> <p>Caudal a introducir manualmente >>> Perfil de velocidades generado por el caudal</p> </div>	Material intermedio		Espesor	Otro Textil	Cp	J/kg°C	K	W/m°C	Densidad	Kg/m ³	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td colspan="2">Molde</td></tr> <tr><td colspan="2">Acero</td></tr> <tr><td>Cp</td><td>473 J/kg°C</td></tr> <tr><td>K</td><td>41,9 W/m°C</td></tr> <tr><td>Densidad</td><td>7880 Kg/m³</td></tr> </table> <p>Material del molde a elegir del desplegable "Molde". Material a inyectar a elegir del desplegable "Material Plástico". Para introducir un material manualmente, elegir "Otro". Material intermedio a elegir del desplegable "Material Intermedia". La capa intermedia podrá ser material IMD oposito metálico a elegir del desplegable o a introducir manualmente. Material del molde a elegir del desplegable "Molde".</p>	Molde		Acero		Cp	473 J/kg°C	K	41,9 W/m°C	Densidad	7880 Kg/m ³
Material plástico																																																																						
Temperatura Solidificación	OTRO °C																																																																					
Cp	J/kg°C																																																																					
K	W/m°C																																																																					
Densidad	Kg/m ³																																																																					
Constantes modelo																																																																						
A																																																																						
B																																																																						
C																																																																						
D																																																																						
E																																																																						
F																																																																						
Limite de γ																																																																						
Geometría																																																																						
Anchura de la tira	2 cm																																																																					
Longitud tira	3 cm																																																																					
Espesor tira	2 mm																																																																					
Parámetros de inyección																																																																						
Temp. ambiente	25 °C																																																																					
Temp. molde	30 °C																																																																					
Temp. molde lado textil	30 °C																																																																					
Temp. iny.	230 °C																																																																					
Caudal	1,41 cm ³ /sg																																																																					
Tiempo	0,85 seg																																																																					
Material intermedio																																																																						
Espesor	Otro Textil																																																																					
Cp	J/kg°C																																																																					
K	W/m°C																																																																					
Densidad	Kg/m ³																																																																					
Molde																																																																						
Acero																																																																						
Cp	473 J/kg°C																																																																					
K	41,9 W/m°C																																																																					
Densidad	7880 Kg/m ³																																																																					

Figura 5.12 Pantalla de datos.

Como ya se ha explicado anteriormente, esta aplicación solo resuelve llenados en una tira, a la que el usuario puede asignar la anchura, espesor y longitud que desee.

Estos 3 datos se introducirán en la ventana de geometría (Fig. 5.13).

		E		F	
Limite de γ		F			

Geometría	
Anchura de la tira	2 cm
Longitud tira	3 cm
Espesor tira	2 mm

Parámetros de inyección	
Temp. ambiente	25 °C
Temp. molde	30 °C
Temp. molde lado textil	30 °C
Temp. iny.	230 °C
Caudal	1,41 cm ³ /sg
Tiempo	0,85 seg

introducir manu

Condicion inic
Temperatura de in;
introducir manua

Condicion ini
Temperatura de
introducir manu

Figura 5.13 Pantalla de datos.

De la misma manera, se deberán introducir los parámetros de inyección típicos de la programación de un llenado.

Estos parámetros serán la temperatura de molde en cada una de las caras, la temperatura de inyección y el caudal (Fig. 5.13).

5- Análisis bidimensional de las caídas de presión y espesor de capa fría en la fase de llenado en condiciones de asimetría

En esta página de datos, y una vez que se han rellenado todos, aparecerá el primer resultado, el tiempo de llenado de la tira (Fig. 5.13).

A partir de este momento, ya se pueden visualizar resultados en cada una de las capas en las que se ha dividido molde, material intermedio y espesor de la tira, y en cada uno de los instantes según avanza el material.

En cada instante $k+1 = "n"$ se tendrán los siguientes resultados representados en una tabla.

- Perfil de velocidades

Resumen											
INICIO	DATOS	k+1=2	k+1=3	k+1=4	k+1=5	k+1=6	k+1=7	k+1=8	k+1=9	k+1=10	AVANCE
Velocidad (cm/seg)											
Velocidad	i=1	i=2	i=3	i=4	i=5	i=6	i=7	i=8	i=9	i=10	
j=1											
j=2	2,700	6,731	7,675	7,534	7,620						
j=3	4,800	7,708	8,350	8,274	8,334						
j=4	6,300	8,549	9,128	9,011	9,064						
j=5	7,200	10,385	10,970	10,868	10,920						
j=6	7,500	11,986	12,586	12,498	12,549						
j=7	7,200	10,385	10,970	10,867	10,919						
j=8	6,300	8,546	9,121	9,001	9,053						
j=9	4,800	7,614	8,146	8,014	8,057						
j=10	2,700	4,995	5,267	5,112	5,130						
j=11											

Figura 5.14 Resultado de velocidad para el paso $k+1=5$

- Distribución de *shear rate*

Shear Rate										
Shear Rate	i=1	i=2	i=3	i=4	i=5	i=6	i=7	i=8	i=9	i=10
j=1	150,000									
j=2	120,000	36,271	12,380	22,982	21,176					
j=3	90,000	61,496	55,121	51,053	50,274					
j=4	60,000	22,564	22,632	22,636	22,690					
j=5	30,000	161,085	161,615	163,013	162,920					
j=6										
j=7	30,000	161,097	161,651	163,071	162,986					
j=8	60,000	22,502	23,262	23,541	23,668					
j=9	90,000	70,456	74,189	75,173	75,923					
j=10	120,000	191,395	213,781	215,058	216,717					
j=11	150,000	308,119	312,873	296,104	296,296					

Figura 5.15 Resultado de shear rate para el paso $k+1=5$

5- Análisis bidimensional de las caídas de presión y espesor de capa fría en la fase de llenado en condiciones de asimetría

- Campo de temperaturas

Temperaturas										
Temperaturas	i=1	i=2	i=3	i=4	i=5	i=6	i=7	i=8	i=9	i=10
1	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000					
2	30,000	30,104	30,104	30,104	30,104					
3	30,000	30,289	30,289	30,289	30,289					
4	30,000	30,640	30,640	30,640	30,640					
5	30,000	31,387	31,385	31,385	31,385					
6	30,000	32,873	32,870	32,869	32,869					
7	30,000	35,652	35,645	35,643	35,643					
8	30,000	40,397	40,381	40,377	40,376					
9	30,000	47,468	47,427	47,417	47,415					
10	30,000	55,802	55,711	55,685	55,681					
j=1	190,000	61,595	61,394	61,328	61,316					
j=2	190,000	177,933	170,167	167,037	166,281					
j=3	190,000	189,294	188,339	187,853	187,722					
j=4	190,000	190,071	190,100	190,142	190,167					
j=5	190,000	190,731	191,031	191,103	191,127					
j=6	190,000	190,077	190,142	190,166	190,175					
j=7	190,000	190,737	191,050	191,132	191,160					
j=8	190,000	190,164	190,348	190,494	190,554					
j=9	190,000	190,500	190,965	191,273	191,385					
j=10	190,000	191,565	192,572	192,989	193,060					
j=11	190,000	188,968	189,102	189,139	189,144					
21	25,000	30,491	30,493	30,493	30,493					
22	25,000	25,117	25,117	25,117	25,117					
23	25,000	25,004	25,004	25,004	25,004					
24	25,000	25,107	25,107	25,107	25,107					
25	25,000	28,834	28,834	28,834	28,834					
26	30,000	29,042	29,042	29,042	29,042					
27	30,000	29,360	29,360	29,360	29,360					
28	30,000	29,638	29,638	29,638	29,638					
29	30,000	29,842	29,842	29,842	29,842					
30	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000					

Figura 5.16 Resultado de temperaturas para el paso $k+1=5$

- Campo de viscosidades

Viscosidad										
Viscosidad	i=1	i=2	i=3	i=4	i=5	i=6	i=7	i=8	i=9	i=10
j=1	2336,361	1558,949	1560,429	1560,916	1561,008					
j=2	2723,568	9870,303	28933,031	21689,236	23782,881					
j=3	3307,878	4373,246	4878,704	5230,176	5310,910					
j=4	4322,648	7967,723	7942,938	7927,394	7907,319					
j=5	6712,566	2188,042	2140,828	2122,869	2121,945					
j=6	612,787	612,220	611,743	611,566	611,498					
j=7	6712,566	2167,476	2139,109	2120,212	2118,929					
j=8	4322,648	7884,725	7727,774	7622,535	7574,152					
j=9	3307,878	3817,040	3824,569	3551,302	3515,975					
j=10	2723,568	1869,530	1673,605	1643,803	1631,184					
j=11	2336,361	1449,160	1427,030	1483,725	1482,798					

Figura 5.17 Resultado de viscosidades para el paso $k+1=5$

- Distribución de presiones

Presión										
Presión	i=1	i=2	i=3	i=4	i=5	i=6	i=7	i=8	i=9	i=10
Δ		123,298,066	144,438,865	146,171,448	146,171,994					
P_a		1,150,781,95	1,348,096,08	1,364,267	1,364,270,92					
P_b		1,150,781,95	2,438,878,02	3,863,145	5,227,415,79					
Mpa		1,1508	2,4989	3,8631	5,2274					

Figura 5.18 Resultado de presión para el paso $k+1=5$.

- Desarrollo de capa fría.

Capa fría										
	i=1	i=2	i=3	i=4	i=5	i=6	i=7	i=8	i=9	i=10
Capa fría lado molde		4,88314E-05	5,25971E-05	5,42461E-05	5,46545E-05					
Capa fría lado textil										
Capa fría total		4,88314E-05	5,25971E-05	5,42461E-05	5,46545E-05					
Espesor real de paso		1,95	1,95	1,95	1,95					

Figura 5.19 Resultado de capa fría para el paso $k+1=5$

5- Análisis bidimensional de las caídas de presión y espesor de capa fría en la fase de llenado en condiciones de asimetría

En el caso de los tres primeros resultados, también se tendrán representaciones graficas de los mismos (Fig. 5.20).

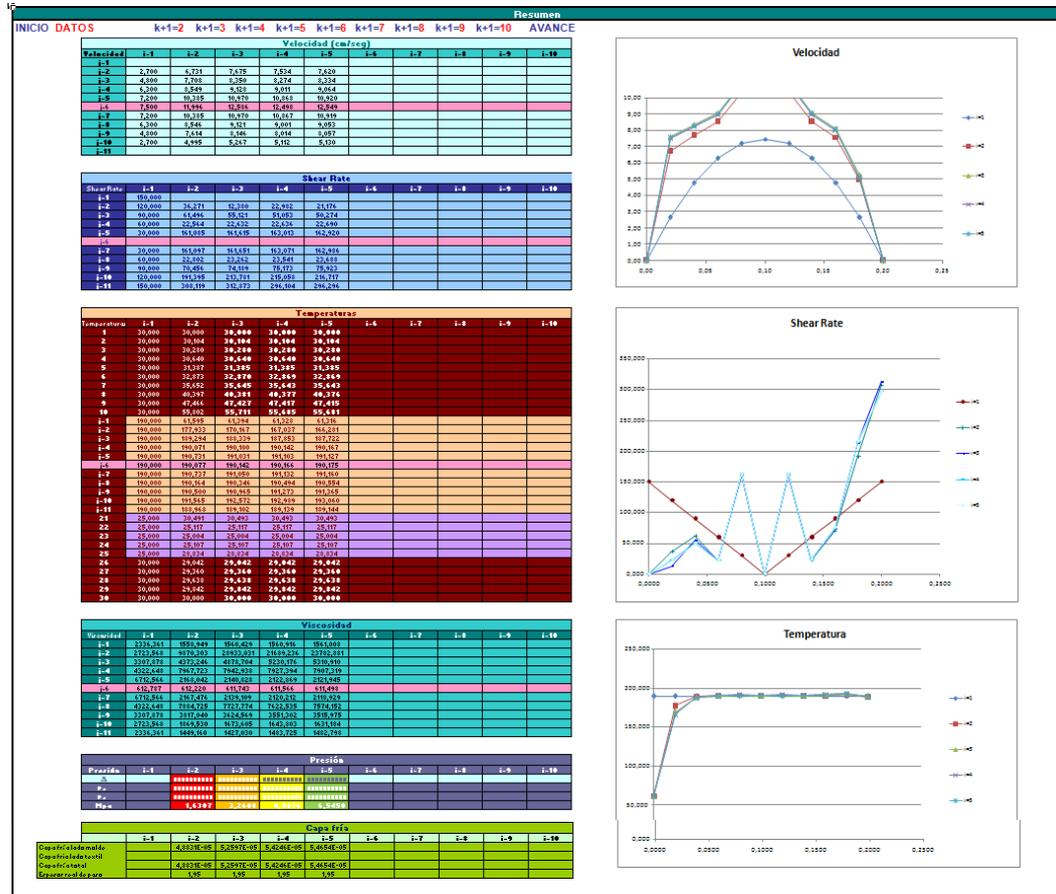


Figura 5.20 Temperaturas en un instante y sección cualquiera.

Cuando el frente de flujo llega al final de la tira, esto es en el instante $K+1 = 10$, todas las tablas estarán completas.

En una última pantalla de la aplicación denominada **“avance”**, se tiene una representación mediante mapa de colores, de cómo evoluciona la temperatura según va avanzando el material (Fig. 5.21).

5- Análisis bidimensional de las caídas de presión y espesor de capa fría en la fase de llenado en condiciones de asimetría

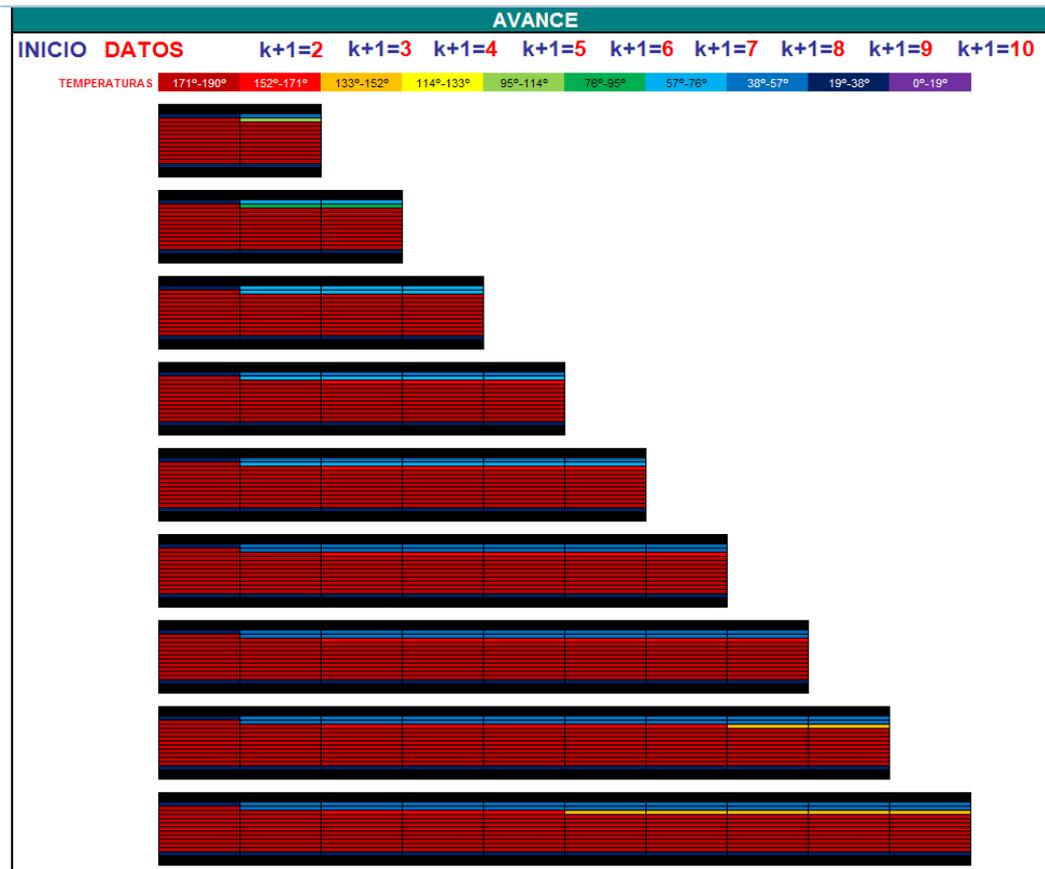


Figura 5.21 Temperaturas en un instante y sección cualquiera.

5.3. Comparación entre el funcionamiento de la nueva aplicación y MoldFlow en inyección convencional.

Para comprobar el buen funcionamiento de la aplicación desarrollada, se corren casos de inyección de una tira en MOLDLFW, y se comparan con los resultados obtenidos con el cálculo de diferencias finitas.

A continuación se muestran varios ejemplos de dicha comprobación. En cada caso se marca en rojo el dato que se ha cambiado con respecto al caso inicial.

5- Análisis bidimensional de las caídas de presión y espesor de capa fría en la fase de llenado en condiciones de asimetría

Material: Polipropileno						
A	B	C	D	E	F	γ
12.776	-1.3044	-0.00462	0.02028	0.000485	-4.765e-6	10
Material del molde						
Hembra:		acero a 30°C		Macho:		acero a 80°C
Geometría						
Longitud: 3 cm		Anchura: 2 cm		Espesor: 2 mm		
Parámetros de inyección						
Temp. inyección: 230°C			Caudal: 1.41 cm ³ /sg			

Filling phase: Status: U = Velocity control
P = Pressure control
U/P= Velocity/pressure switch-over

Time (s)	Volume (%)	Pressure (MPa)	Clamp force (tonne)	Flow rate (cm ³ /s)	Status
0.07	8.44	0.19	0.00	1.41	U
0.14	16.55	0.40	0.00	1.41	U
0.21	24.66	0.63	0.00	1.41	U
0.28	32.72	0.85	0.01	1.41	U
0.36	40.80	1.07	0.01	1.41	U
0.43	48.73	1.30	0.02	1.41	U
0.50	56.79	1.55	0.03	1.41	U
0.57	64.75	1.79	0.04	1.41	U
0.64	72.54	2.03	0.04	1.41	U
0.71	80.54	2.29	0.06	1.41	U
0.78	88.39	2.53	0.07	1.41	U
0.85	96.27	2.70	0.08	1.41	U
0.88	100.00	2.90	0.09	0.81	Filled

Presión	Presión									
	i=1	i=2	i=3	i=4	i=5	i=6	i=7	i=8	i=9	i=10
Pa		83.226.591	87.633.231	90.110.050	91.995.324	93.001.551	93.531.033	93.719.291	93.761.299	93.765.714
Pa		277.421.97	292.111.23	300.393	306.353.08	310.005.17	311.770.11	312.397.67	312.537.66	312.552.38
Mpa		0,2774	0,5695	0,8693	1,1763	1,4863	1,7981	2,1105	2,4230	2,7355

Figura 5.23 Comparación de resultados de presión entre MoldFlow y aplicación.

5- Análisis bidimensional de las caídas de presión y espesor de capa fría en la fase de llenado en condiciones de asimetría

Material: Polipropileno						
A	B	C	D	E	F	γ
12.776	-1.3044	-0.00462	0.02028	0.000485	-4.765e-6	10
Material del molde						
Hembra:		acero a 30°C		Macho:		acero a 30°C
Geometría						
Longitud: 15 cm		Anchura: 2 cm		Espesor: 2 mm		
Parámetros de inyección						
Temp. inyección: 230°C				Caudal: 6 cm3/sg		

Filling phase: Status: U = Velocity control
P = Pressure control
U/P= Velocity/pressure switch-over

Time (s)	Volume (%)	Pressure (MPa)	Clamp force (tonne)	Flow rate (cm ³ /s)	Status
0.09	8.46	1.09	0.01	5.94	U
0.17	16.17	2.19	0.05	5.87	U
0.25	24.15	3.35	0.12	5.88	U
0.34	32.19	4.57	0.23	5.93	U
0.42	39.88	5.74	0.35	5.92	U
0.50	47.69	6.97	0.51	5.92	U
0.58	55.38	8.16	0.69	5.93	U
0.67	63.30	9.50	0.92	5.97	U
0.75	70.74	10.76	1.16	5.96	U
0.83	78.54	12.10	1.45	5.97	U
0.92	86.39	13.44	1.77	5.99	U
1.01	94.35	14.81	2.13	6.00	U
1.07	100.00	15.81	2.42	5.93	Filled

Presión										
Presión	i=1	i=2	i=3	i=4	i=5	i=6	i=7	i=8	i=9	i=10
A		92.148.355	98.196.609	101.629.464	103.412.956	104.199.193	104.471.293	104.539.574	104.550.484	104.551.310
Pa		1.535.805,92	1.636.516,15	1.693.824	1.723.565,94	1.736.653,22	1.741.188,22	1.742.326,23	1.742.508,07	1.742.521,83
Mpa		1,5358	3,1723	4,8661	6,5897	8,3264	10,0675	11,8099	13,5524	15,2949

Figura 5.24 Comparación de resultados de presión entre MoldFlow y aplicación.

5- Análisis bidimensional de las caídas de presión y espesor de capa fría en la fase de llenado en condiciones de asimetría

Material: Polipropileno						
A	B	C	D	E	F	γ
12.776	-1.3044	-0.00462	0.02028	0.000485	-4.765e-6	10
Material del molde						
Hembra:		acero a 30°C		Macho:		acero a 80°C
Geometría						
Longitud: 15 cm		Anchura: 2 cm		Espesor: 2 mm		
Parámetros de inyección						
Temp. inyección: 230°C				Caudal: 6 cm ³ /sg		

Filling phase: Status: U = Velocity control
P = Pressure control
U/P= Velocity/pressure switch-over

Time (s)	Volume (%)	Pressure (MPa)	Clamp force (tonne)	Flow rate (cm ³ /s)	Status
0.09	8.48	1.08	0.01	5.94	U
0.17	16.36	2.17	0.06	5.88	U
0.25	24.40	3.21	0.12	5.93	U
0.33	32.20	4.47	0.22	5.93	U
0.42	40.15	5.65	0.35	5.93	U
0.50	48.21	6.86	0.50	5.96	U
0.59	56.05	8.08	0.69	5.97	U
0.67	63.53	9.29	0.90	5.94	U
0.75	71.33	10.53	1.15	5.98	U
0.84	79.25	11.81	1.43	5.99	U
0.92	86.86	13.07	1.74	5.99	U
1.00	94.55	14.24	2.05	6.00	U
1.06	100.00	15.21	2.33	5.97	Filled

Presión	Presión									
	i=1	i=2	i=3	i=4	i=5	i=6	i=7	i=8	i=9	i=10
Δ		89.511.084	93.947.228	96.673.298	98.374.616	99.383.520	99.884.732	100.064.666	100.103.982	100.107.716
Pa		1.491.951,39	1.565.795,15	1.611.222	1.639.576,90	1.656.392,00	1.664.745,53	1.667.744,48	1.668.399,71	1.668.461,94
Pa		1.491.951,39	3.057.639,52	4.608.861	6.308.438,05	7.964.830,05	9.629.575,58	11.297.320,06	12.965.715,77	14.634.181,70
Mpa		1,4919	3,0576	4,6089	6,3084	7,9648	9,6296	11,2973	12,9657	14,6342

Figura 5.25 Comparación de resultados de presión entre MoldFlow y aplicación.

5- Análisis bidimensional de las caídas de presión y espesor de capa fría en la fase de llenado en condiciones de asimetría

Material: Polipropileno						
A	B	C	D	E	F	γ
12.776	-1.3044	-0.00462	0.02028	0.000485	-4.765e-6	10
Material del molde						
Hembra: acero a 30°C			Macho: acero a 30°C			
Geometría						
Longitud: 30 cm		Anchura: 2 cm		Espesor: 2 mm		
Parámetros de inyección						
Temp. inyección: 230°C				Caudal: 12 cm ³ /sg		

Filling phase: Status: U = Velocity control
P = Pressure control
U/P= Velocity/pressure switch-over

Time (s)	Volume (%)	Pressure (MPa)	Clamp force (tonne)	Flow rate (cm ³ /s)	Status
0.08	8.07	2.17	0.05	11.38	U
0.17	15.93	4.30	0.21	11.60	U
0.25	23.64	6.68	0.48	11.66	U
0.33	31.19	9.03	0.85	11.74	U
0.42	38.86	11.62	1.36	11.68	U
0.50	46.72	14.19	2.00	11.82	U
0.58	54.95	16.66	2.72	11.72	U
0.67	61.67	19.28	3.59	11.83	U
0.75	69.21	21.90	4.59	11.88	U
0.84	77.06	24.58	5.72	11.95	U
0.92	84.52	27.20	6.96	11.97	U
1.00	92.00	29.84	8.32	12.00	U
1.09	99.75	32.61	9.88	12.00	U
1.09	100.00	32.56	9.92	11.94	Filled

Presión										
Presión	i=1	i=2	i=3	i=4	i=5	i=6	i=7	i=8	i=9	i=10
Pa		96.446.995	10.479.320	104.325.851	105.809.752	106.467.515	106.695.284	106.751.266	106.759.717	106.760.282
Pa		3.214.899,85	3.342.643,98	3.477.529	3.526.992,06	3.548.917,16	3.556.509,48	3.558.375,54	3.558.657,22	3.558.676,07
Mpa		3,2149	6,6976	10,0751	13,6021	17,1510	20,7075	24,2659	27,8245	31,3832

Figura 5.26 Comparación de resultados de presión entre MoldFlow y aplicación.

5- Análisis bidimensional de las caídas de presión y espesor de capa fría en la fase de llenado en condiciones de asimetría

Material: Polipropileno						
A	B	C	D	E	F	γ
12.776	-1.3044	-0.00462	0.02028	0.000485	-4.765e-6	10
Material del molde						
Hembra:		acero a 30°C		Macho:		acero a 30°C
Geometría						
Longitud: 60 cm		Anchura: 2 cm		Espesor: 2 mm		
Parámetros de inyección						
Temp. inyección: 230°C			Caudal: 24 cm³/sg			

Filling phase: Status: U = Velocity control
P = Pressure control
U/P= Velocity/pressure switch-over

Time (s)	Volume (%)	Pressure (MPa)	Clamp force (tonne)	Flow rate (cm ³ /s)	Status
0.08	7.66	4.30	0.20	22.52	U
0.17	15.17	8.74	0.80	22.30	U
0.25	22.64	13.30	1.82	22.32	U
0.33	30.08	17.99	3.27	22.87	U
0.42	37.61	22.77	5.18	23.19	U
0.50	45.11	27.58	7.54	23.27	U
0.58	52.63	32.44	10.35	23.45	U
0.67	60.11	37.30	13.61	23.54	U
0.75	67.63	42.32	17.38	23.76	U
0.83	75.06	47.38	21.56	23.71	U
0.92	82.56	52.63	26.38	23.88	U
1.00	89.99	57.90	31.63	24.00	U
1.08	97.58	63.33	37.50	24.00	U
1.11	100.00	64.70	39.42	23.70	Filled

Presión	Presión									
	i=1	i=2	i=3	i=4	i=5	i=6	i=7	i=8	i=9	i=10
A		101.854.963	105.277.807	107.212.992	108.279.763	108.767.339	108.938.520	108.979.015	108.984.119	108.984.269
Pa		6.790.330,89	7.016.187,12	7.147.533	7.218.650,88	7.251.156,58	7.262.568,00	7.265.267,63	7.265.607,90	7.265.617,91
Pa		6.790.330,89	13.805.18,01	20.953.051	28.171.701,67	35.422.858,24	42.685.426,24	49.950.693,88	57.216.301,78	64.481.919,69
Mpa		6,7903	13,8055	20,9531	28,1717	35,4229	42,6854	49,9507	57,2163	64,4819

Figura 5.27 Comparación de resultados de presión entre MoldFlow y aplicación.

Para finalizar este apartado, se muestran las comprobaciones hechas con distintos materiales. La tira se mantiene en 3 cm de longitud y el llenado con un caudal de 1.41 cc/sg que da lugar a un tiempo de llenado de 0.85 sg. Para cada material se cambiarán las condiciones de temperatura de inyección y de molde.

5- Análisis bidimensional de las caídas de presión y espesor de capa fría en la fase de llenado en condiciones de asimetría

- PMMA (metacrilato) (T inyección: 250°; T molde: 60°C)

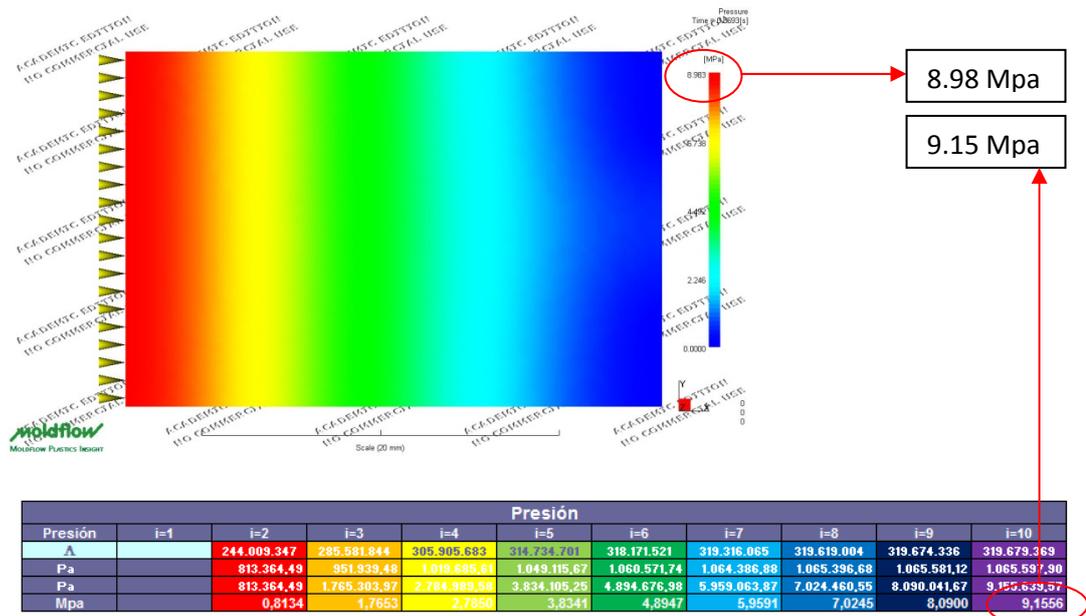


Figura 5.28 Comparación de resultados de presión entre MoldFlow y aplicación para PMMA.

- PC (policarbonato) (T inyección: 260°; T molde: 79°C)

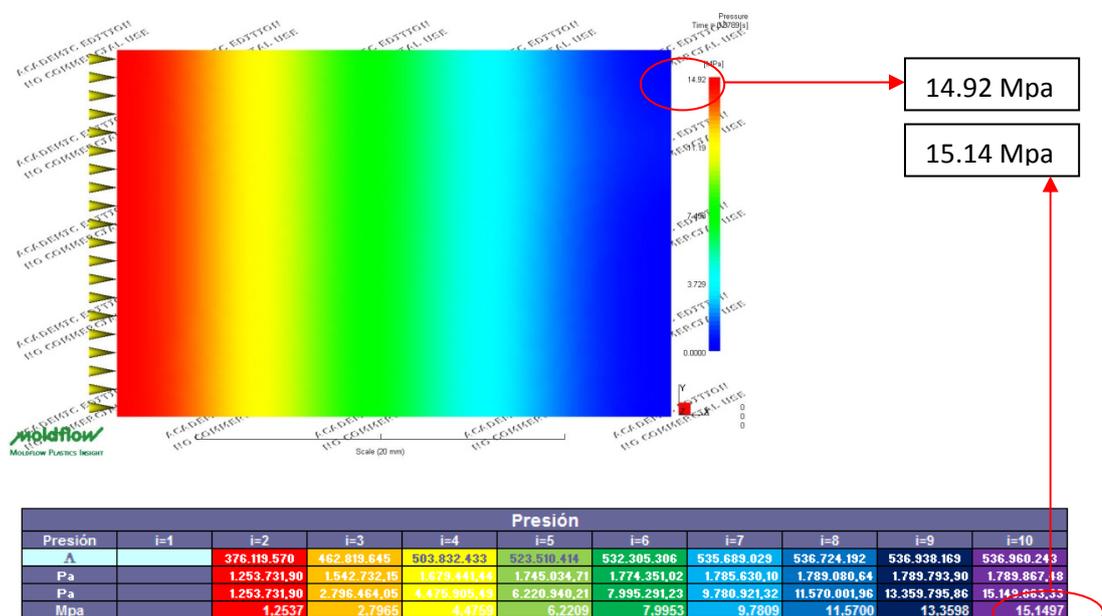


Figura 5.29 Comparación de resultados de presión entre MoldFlow y aplicación para PC.

5- Análisis bidimensional de las caídas de presión y espesor de capa fría en la fase de llenado en condiciones de asimetría

- ABS (acrilonitrilo/butadieno/estireno) (T inyección: 236°; T molde: 59°C)

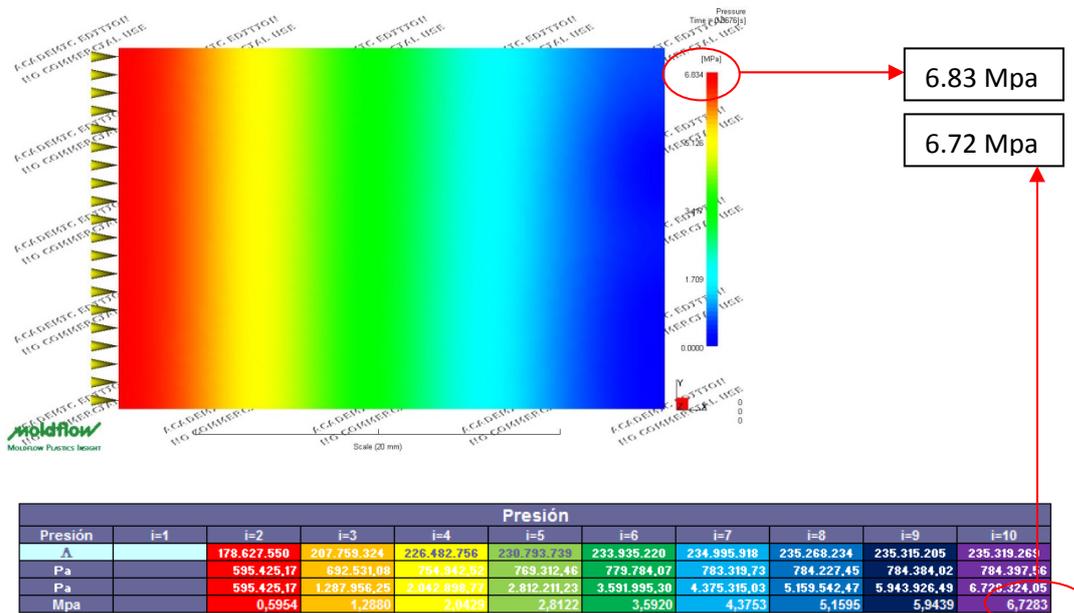


Figura 5.30 Comparación de resultados de presión entre MoldFlow y aplicación para ABS.

- PET (tereftalato de polietileno) (T inyección: 255°; T molde: 59°C)

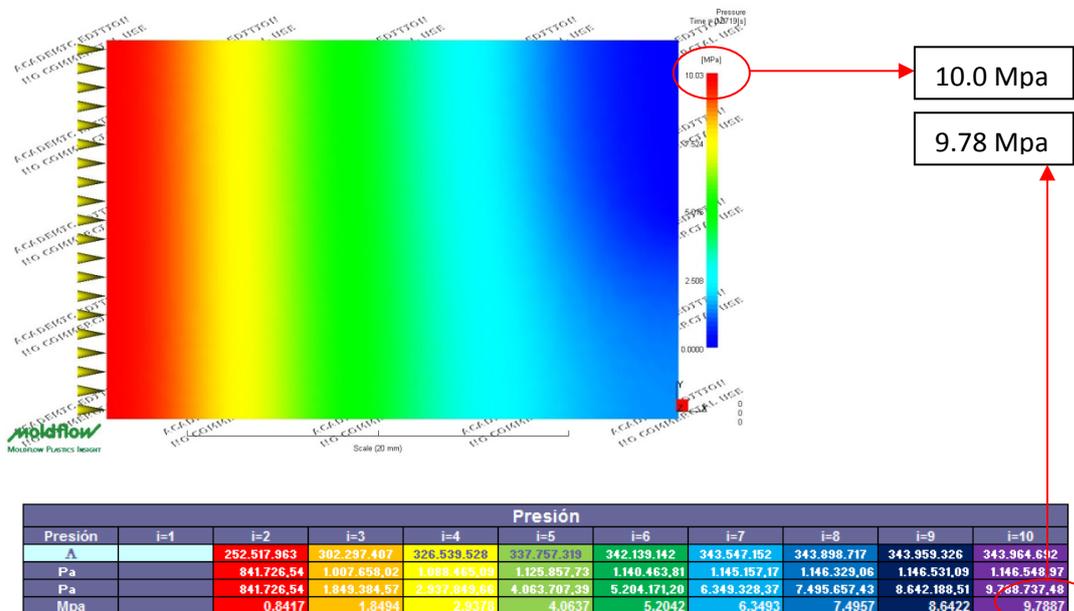


Figura 5.31 Comparación de resultados de presión entre MoldFlow y aplicación para PET.

5- Análisis bidimensional de las caídas de presión y espesor de capa fría en la fase de llenado en condiciones de asimetría

- PA (poliamida) (T inyección: 280°; T molde: 60°C)

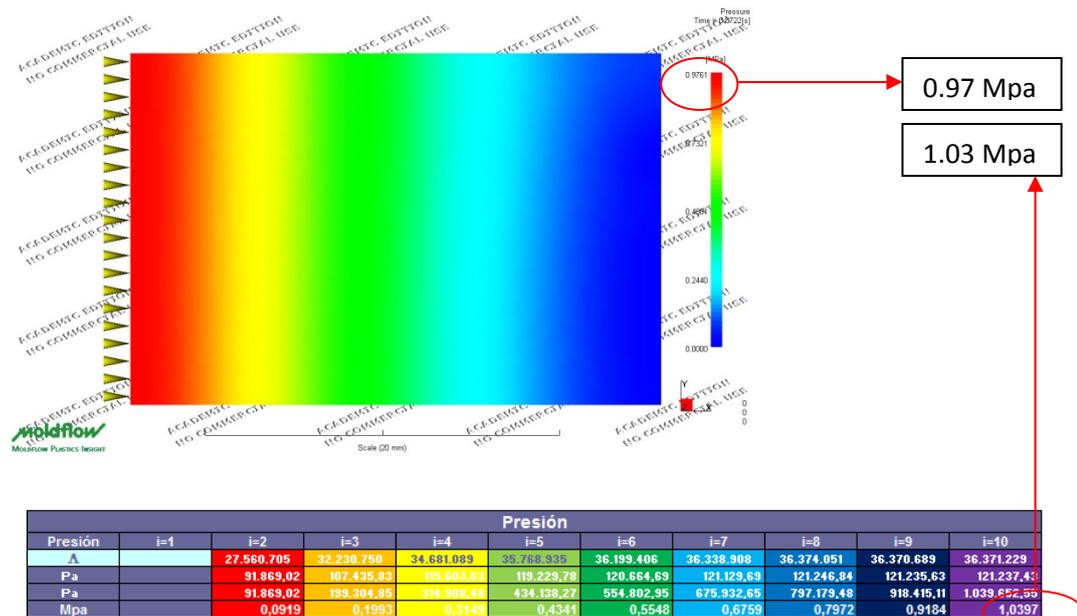


Figura 5.32 Comparación de resultados de presión entre MoldFlow y aplicación para PA.

- PP (polipropileno) (T inyección: 230°; T molde: 50°C)

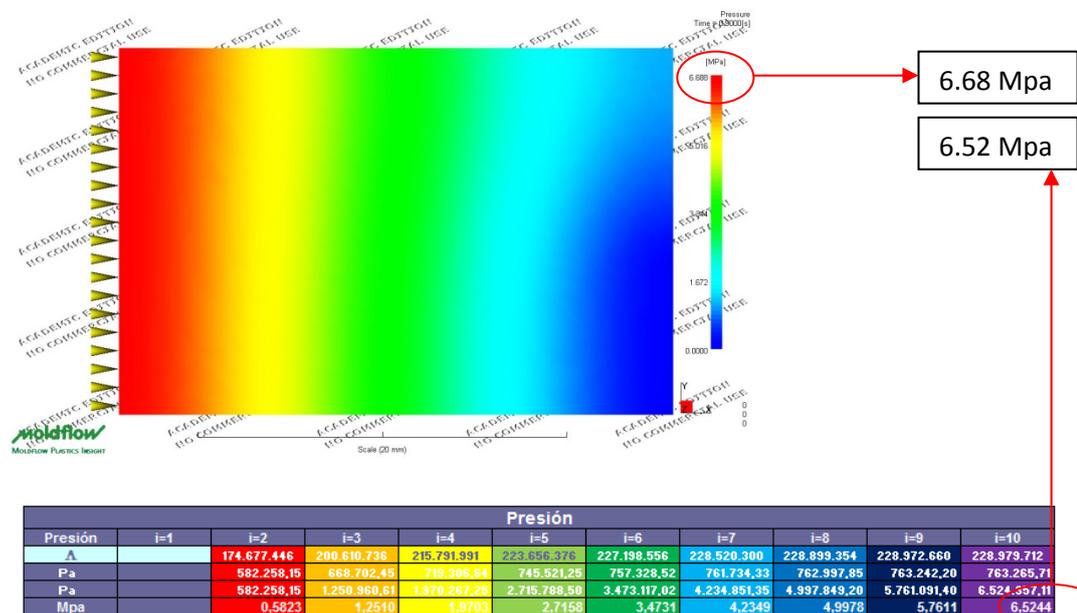


Figura 5.33 Comparación de resultados de presión entre MoldFlow y aplicación para PP.

5- Análisis bidimensional de las caídas de presión y espesor de capa fría en la fase de llenado en condiciones de asimetría

- PELD (polietileno de baja densidad)(T inyección: 225°; T molde: 50°C)

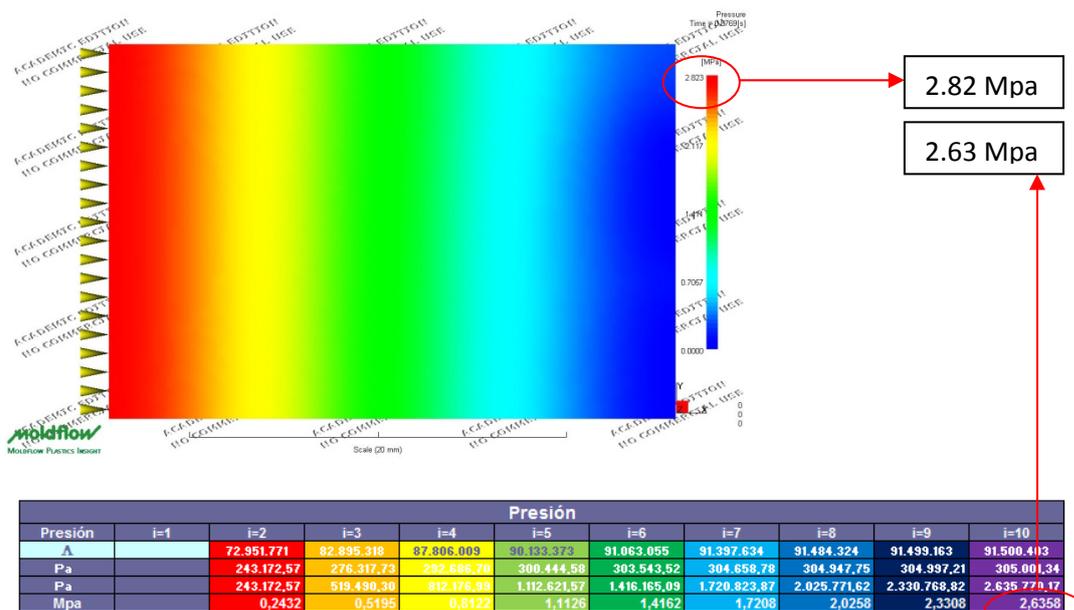


Figura 5.34 Comparación de resultados de presión entre MoldFlow y aplicación para PELD.

- PEHD (polietileno de alta densidad)(T inyección: 220°; T molde: 40°C)

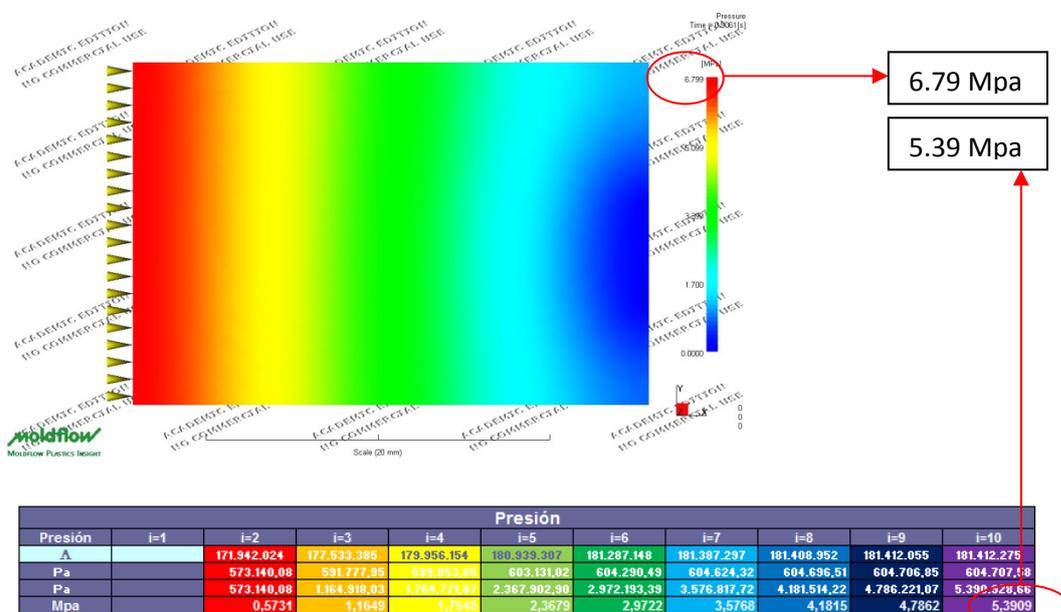


Figura 5.35 Comparación de resultados de presión entre MoldFlow y aplicación para PEHD.

5.4. Funcionamiento de la nueva aplicación en inyección IMD

En este apartado se analiza el comportamiento que tiene MOLDFLOW frente al cálculo de llenado en condiciones asimétricas por presencia de material decorativo, y como se comporta la aplicación desarrollada en diferencias finitas frente a este mismo cálculo.

En primer lugar, se presentan las propiedades térmicas que se han tenido en cuenta para los cálculos.

Para el acero, se toman las propiedades de las bases de datos, que se han tomado para cálculos de apartados anteriores.

$$C_p \text{ acero} = 473 \frac{J}{Kg^{\circ}C}$$

$$K \text{ acero} = 41.9 \frac{W}{m^{\circ}C}$$

$$\rho \text{ acero} = 7860 \frac{Kg}{m^3}$$

En el caso del textil, el calor específico se toma el de la espuma, dado que la mayor parte del folio sobre el que se inyecta la ocupa este material, la conductividad se ha obtenido de cálculos realizados anteriormente dentro del equipo investigador, y la densidad se obtiene pesando varias muestras y dividiendo por el volumen de dichas muestras.

$$C_p \text{ textil} = 1674 \frac{J}{Kg^{\circ}C}$$

$$K \text{ textil} = 0.043 \frac{W}{m^{\circ}C}$$

$$\rho \text{ textil} = 100.21 \frac{Kg}{m^3}$$

A la hora de preparar los casos que debe calcular MOLDFLOW, se introducirán estas propiedades térmicas dependiendo de que se tenga o no textil dentro del molde.

5- Análisis bidimensional de las caídas de presión y espesor de capa fría en la fase de llenado en condiciones de asimetría

El material inyectado será el polipropileno con el que se vienen realizando todos los estudios. Se inyectará un caudal de 6 cc/sg, a 230°C en una tira de 15 cm.

En la siguiente tabla (tabla 5.1) se resumen los casos analizados en MODLFLOW.

Tabla 5.1

Longitud de la tira ensayada	Temperatura		Material		Presión
	En cavidad	En macho	En cavidad	En macho	
15 cm	30°C	30°C	Acero	Acero	15.86 Mpa
15 cm	30°C	30°C	Acero	Textil	15.86 Mpa
15 cm	30°C	80°C	Acero	Acero	15.25 Mpa
15 cm	30°C	80°C	Acero	Textil	15.25 Mpa

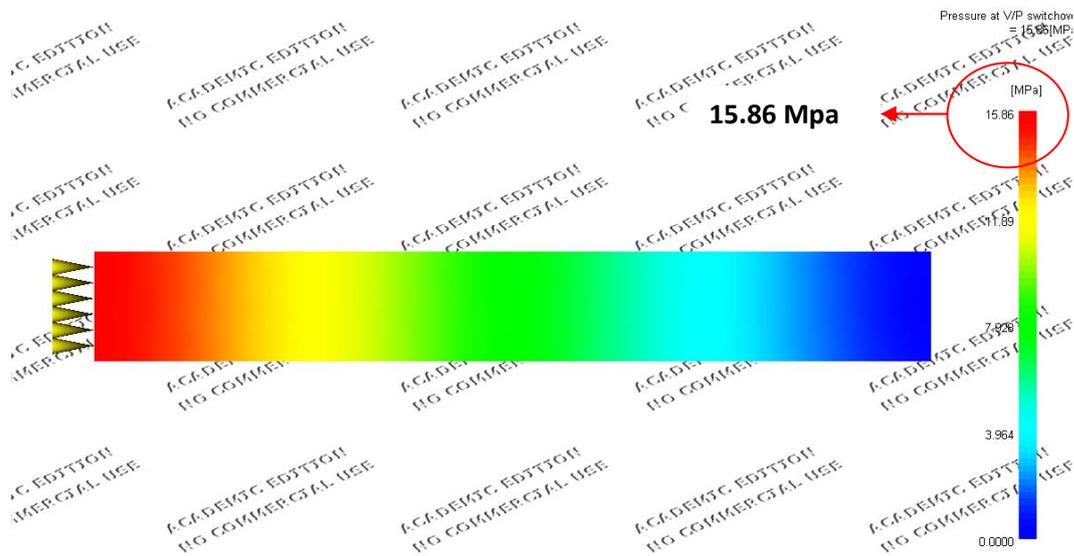


Figura 5.36 Presión de llenado para tira con molde de acero a 30°C.

5- Análisis bidimensional de las caídas de presión y espesor de capa fría en la fase de llenado en condiciones de asimetría

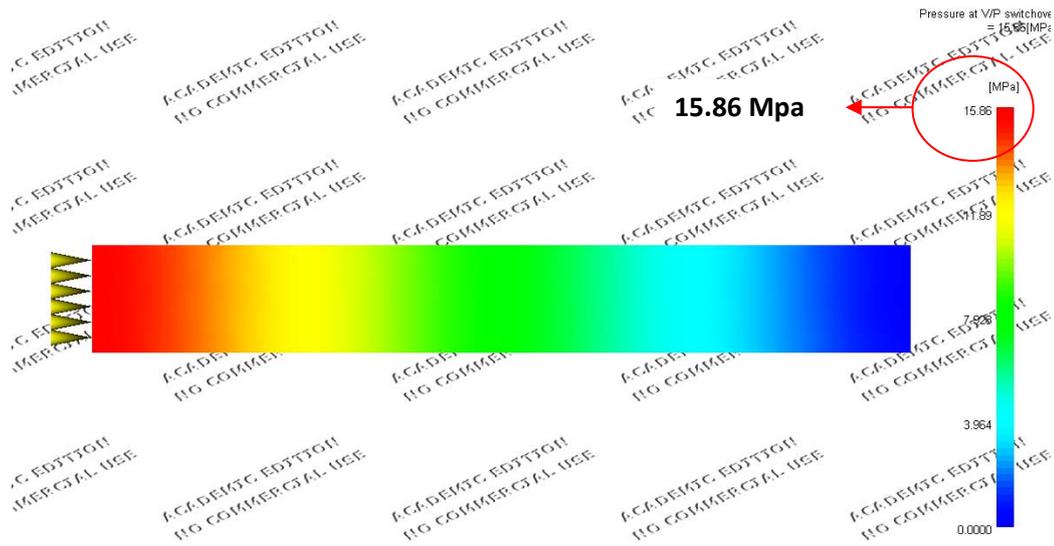


Figura 5.37 Presión de llenado para tira con molde de acero a 30°C y textil.

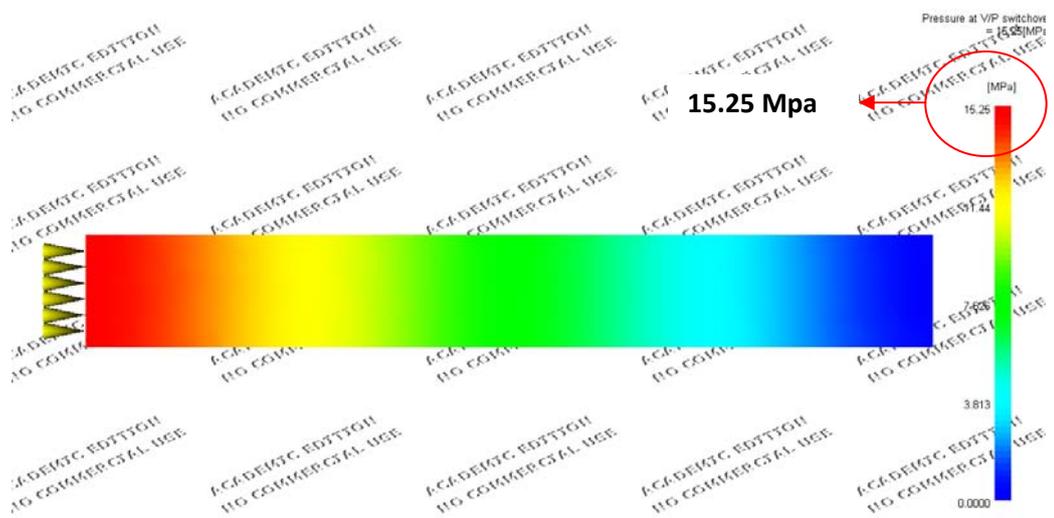


Figura 5.38 Presión de llenado para tira con molde de acero a 30°C y 80°C en cada cara respectivamente.

5- Análisis bidimensional de las caídas de presión y espesor de capa fría en la fase de llenado en condiciones de asimetría



Figura 5.39 Presión de llenado para tira con molde de acero a 30°C y 80°C en cada cara respectivamente y textil.

De la tabla se desprenden las siguientes conclusiones:

- En llenado, MOLDFLOW obtiene el mismo resultado de caída de presión independientemente de que se tenga acero en las dos partes del molde o que se tenga en una de ellas textil. Ocurre tanto en el caso de tener ambas partes del molde a la misma temperatura, o cuando se tienen diferentes temperaturas en cada una de las caras del molde.
- En llenado, MOLDFLOW si que detecta el hecho de tener una cara a temperatura más elevada que la otra respecto a un caso en el que ambas caras tienen baja temperatura

Por tanto, en la fase de llenado, MoldFlow detecta y utiliza la temperatura de molde en su cálculo, pero no utiliza las propiedades de material del molde. Esto quiere decir, que en el cálculo de llenados, MOLDFLOW impone la temperatura de molde en la interfase molde-plástico como condición de contorno en todo el cálculo, obviando las propiedades del material del molde.

La aplicación desarrollada en diferencias finitas, no aplica la temperatura de molde en la interfase, sino que la aplica unos centímetros

5- Análisis bidimensional de las caídas de presión y espesor de capa fría en la fase de llenado en condiciones de asimetría

más hacia el interior del molde, utilizando las propiedades de material, y del posible elemento decorativo a la hora de calcular.

Por ello, los resultados que arroja la aplicación para los casos mostrados en la tabla 5.1 son los siguientes (tabla 5.2):

Tabla 5.2

Longitud de la tira ensayada	Temperatura		Material		Presión
	En cavidad	En macho	En cavidad	En macho	
15 cm	30°C	30°C	Acero	Acero	15.29 Mpa
15 cm	30°C	30°C	Acero	Textil	11.12 Mpa
15 cm	30°C	80°C	Acero	Acero	14.63 Mpa
15 cm	30°C	80°C	Acero	Textil	11.12 Mpa

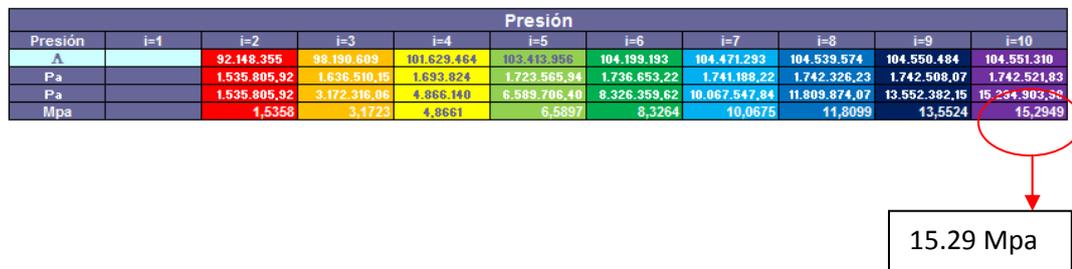


Figura 5.40 Presión de llenado para tira con molde de acero a 30°C.



Figura 5.41 Presión de llenado para tira con molde de acero a 30°C y textil.

5- Análisis bidimensional de las caídas de presión y espesor de capa fría en la fase de llenado en condiciones de asimetría

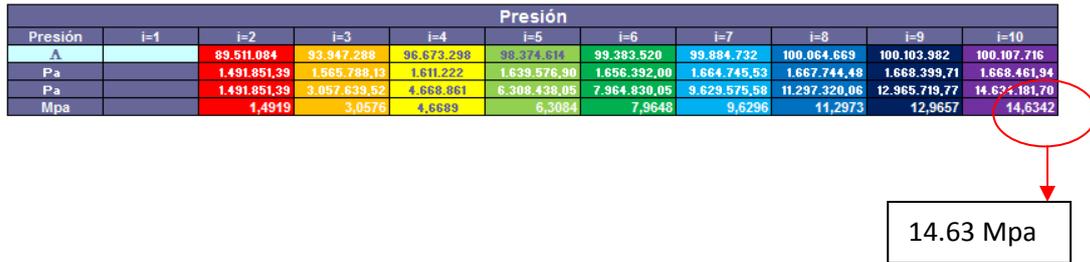


Figura 5.42 Presión de llenado para tira con molde de acero a 30°C y 80°C en cada cara respectivamente.

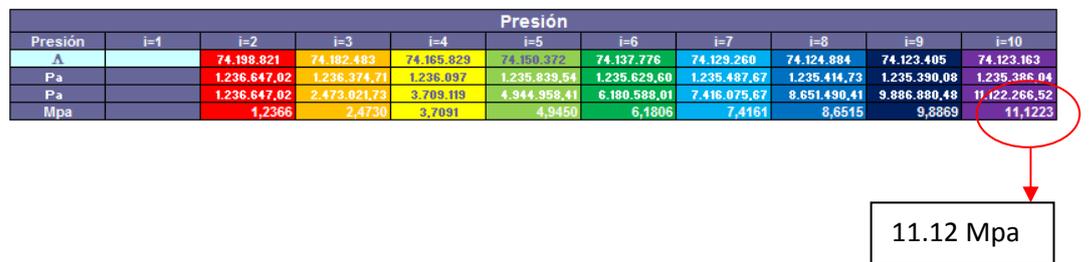


Figura 5.43 Presión de llenado para tira con molde de acero a 30°C y 80°C en cada cara respectivamente y textil.

En este caso:

- Si se tiene acero en las 2 caras del molde a baja temperatura se obtiene una presión ligeramente más alta que si se aumenta la temperatura de una de las caras. Esto es lógico, porque la capa fría que se forma es algo menor en el segundo caso que en el primero.
- Si las dos caras del molde se encuentra a la misma temperatura pero se introduce textil en una de las caras, la presión baja sensiblemente. Esto es porque al tener el textil una conductividad muy baja, apenas se forma capa fría.

Hay que tener en cuenta, que en este cálculo comparativo, aunque se esté introduciendo textil en el molde, el espesor de la tira se sigue manteniendo en 2 mm.

5- Análisis bidimensional de las caídas de presión y espesor de capa fría en la fase de llenado en condiciones de asimetría

- Si se aumentan las temperaturas en la cara del molde en la que existe textil, la caída de presión no cambia. De nuevo, al tener el textil conductividades extremadamente bajas, los cambios de temperatura en la cara del molde en la que se tiene dicho textil, no afectan.

Por tanto, la aplicación corrige la carencia de MOLDFLOW de no tener en cuenta las propiedades de molde, o material intermedio en el cálculo de llenados, y queda preparada para el cálculo de capas frías en sobreinyección de textiles, que posteriormente servirá para aplicar las correcciones de capa fría a los modelos obtenidos con molde espiral monitorizado al sobreinyectar textil.

5- Análisis bidimensional de las caídas de presión y espesor de capa fría en la fase de llenado en condiciones de asimetría

6. Obtención del modelo de viscosidad de polipropileno inyectado con recubrimiento en molde espiral monitorizado

6.1. Descripción del sistema experimental utilizado

El sistema experimental utilizado, es el mismo que el detallado en el capítulo 4 de esta tesis, pero con tres elementos adicionales.

El primer elemento se trata de un marco tensor (Fig. 6.1.), que se acopla al molde espiral y sirve para sujetar el textil. Con este marco, se tiene la posibilidad de tensar el textil, pero para la obtención del modelo, siempre se tendrá la tela sin tensión.



Fig. 6.1 Marco tensor

6- Obtención de un modelo de viscosidad de polipropileno inyectado con recubrimiento en molde espiral monitorizado

Para el estudio de traspasos, se podrá tensar el textil verticalmente, horizontalmente o en ambas direcciones.

El segundo elemento es el propio textil sobre el que se va a inyectar.

En este capítulo de la tesis se trabajará con tres textiles diferentes. El primero de ellos se trata de CANDIDE (Fig. 6.2).

Como ya se ha visto en el apartado 2.2 de esta tesis, el textil está formado por tres capas. Una primera en la que el tejido da la estética a la pieza, una segunda capa intermedia muy porosa de espuma, y una tercera capa denominada film barrera, que es más o menos densa y que es la capa en la que se ancla el plástico al ser sobreinyectado.

En el caso del CANDIDE, la espuma es RECTICEL SF 646 D de 5 mm de espesor. El film barrera es denso y más deslizante que en el resto de tejidos estudiados.



Fig. 6.2 Textil CANDIDE

El resultado de inyectar espirales sobre CANDIDE se aprecia en la figura 6.3.

6- Obtención de un modelo de viscosidad de polipropileno inyectado con recubrimiento en molde espiral monitorizado



Fig. 6.3 Espiral sobre CANDIDE

El textil MOSSA, tiene un film barrera menos denso que el textil anterior. La espuma es la misma que en el caso del CANDIDE, RECTICEL SF 646 D de 5 mm de espesor. El tejido más exterior es menos tupido que en el caso de CANDIDE (Fig. 6.4).



Fig. 6.4 Textil MOSSA

6- Obtención de un modelo de viscosidad de polipropileno inyectado con recubrimiento en molde espiral monitorizado

El resultado de la espiral sobre MOSSA se muestra en la figura 6.5.



Fig. 6.5 Espiral sobre MOSSA

El textil FALSET, tiene un film barrera de densidad intermedia entre el del textil MOSSA y el textil CANDIDE, y en este caso, el espesor de la espuma RECTICEL SF 646 D es de 3 mm (Fig. 6.6).



Fig. 6.6 Textil FALSET

El resultado de espiral inyectada sobre FALSET, se muestra en la siguiente imagen (Fig. 6.7)

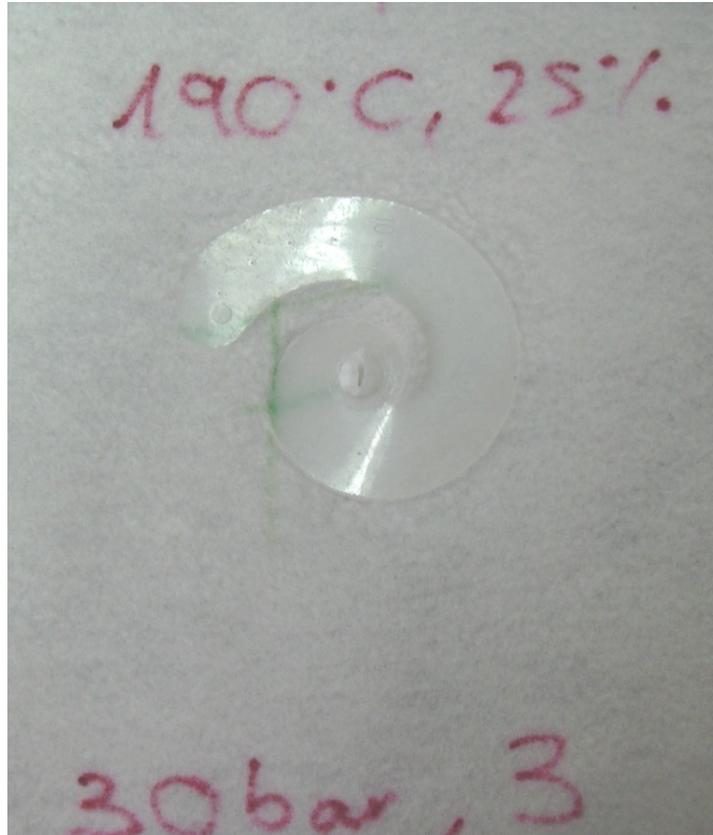


Fig. 6.7 Espiral sobre FALSET

Por último, el tercer elemento necesario para desarrollar la metodología de obtención de modelo viscoso cuando existe recubrimiento estético, es un medidor de espesores digital por ultrasonidos T-GAGE IV, con el que se comprobarán los espesores de las espirales ahora que se inyectan sobre textil (Fig. 6.8).



Fig. 6.8 Medidor de espesores

6.2. Metodología del proceso experimental

La metodología seguida para obtener el modelo equivalente PP + textil, será muy similar a la expuesta en el capítulo 4.

Los pasos seguidos son:

- Determinar los rangos de temperatura y velocidad de inyección, y la presión de corte para las inyecciones de la espiral. Estas condiciones deben asegurar flujo contante e isoterma, y que el flujo llegue al menos hasta el segundo transductor.
- Inyección de las espirales combinando los valores de temperatura y caudal determinados en el paso anterior, con el textil sin tensión.
- Análisis de los valores numéricos y gráficas experimentales obtenidas con los transductores.
- Cálculo de la viscosidad con las expresiones expuestas anteriormente en el capítulo 4.
- Obtención del modelo reológico a través del VISDAT
- Aplicación de las correcciones de capa fría y diagonal para ajustar el modelo viscoso.

- Verificación de la relación entre los valores experimentales y teóricos de caída de presión utilizando el nuevo modelo reológico obtenido.

6.2.1. Temperatura y velocidad de inyección seleccionadas

Las temperaturas de inyección elegidas para las inyectadas de la espiral serán 190°, 210°, y 230°C para el material seleccionado. Se desestiman temperaturas muy elevadas, para que, debido a la fluidez del material, no se produzcan traspasos importantes que puedan falsear los datos que se utilizan para obtener el modelo.

La máquina se programará a velocidades del 20, 40, 60, 80, y 100% del máximo que da la máquina.

6.2.2. Hipótesis de flujo isoterma

Al igual que para el ensayo con solo polipropileno, se sigue cumpliendo la hipótesis de flujo isoterma. En este caso, las variaciones de temperatura son incluso algo menores de 2.5°, dado que el material al entrar en el molde entra en contacto con metal y textil.

El textil tiene una conductividad mucho más baja que el metal, por tanto el plástico se enfría menos cuando en una de las caras hay textil, que cuando es metálica.

6.2.3. Caída de presión entre transductores y cálculo del caudal

La caída de presión entre transductores se tomará en el momento que el flujo alcance el segundo transductor, al igual que cuando se estudia el polipropileno sin textil (Fig. 6.9). El caudal se calculará de la misma manera que la indicada en el capítulo 4, realizando un estudio previo de espesores que se detalla en siguientes apartados.

6- Obtención de un modelo de viscosidad de polipropileno inyectado con recubrimiento en molde espiral monitorizado

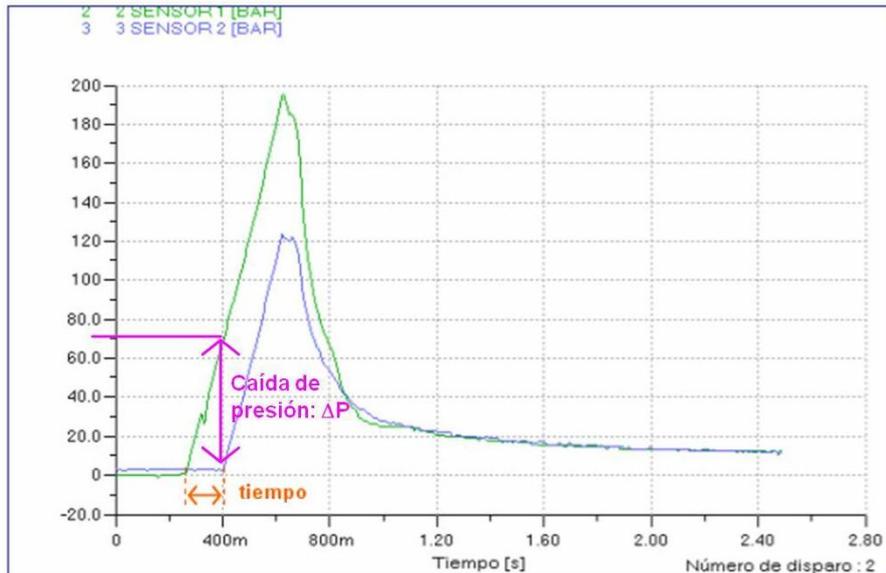


Fig. 6.9. Resultados obtenidos con medición de transductores

6.2.4. Parámetros geométricos de la espiral

En este caso, la geometría de la pieza necesita algo más de estudio. La longitud de la espiral está fijada, pero en el espesor y la anchura puede haber variaciones debido a la presencia del textil.

Longitud "L": 84 mm

6.2.4.1. Análisis del espesor de la espiral sobreinyectada con CANDIDE

El análisis de espesor de las espirales se muestra en la tabla 6.1. Se toman espirales inyectadas solo en plástico a distintas temperaturas y para una velocidad concreta, y se miden los espesores con un medidor de espesor por ultrasonidos (Fig. 6.10), a lo largo de toda la zona comprendida entre los dos transductores de presión.

6- Obtención de un modelo de viscosidad de polipropileno inyectado con recubrimiento en molde espiral monitorizado



Fig. 6.10. Medidor de espesores

De igual manera se miden los espesores de espirales inyectadas sobre el textil CANDIDE para las mismas temperaturas que el caso de espirales de solo plástico, y para distintas velocidades.

Tabla 6.1 Análisis de espesor de espirales sobre textil CANDIDE

Temp. (°C)	Vel. (%)	Espesor (mm)	Temp. (°C)	Vel. (%)	Espesor (mm)	Temp. (°C)	Vel. (%)	Espesor (mm)
Espirales de plástico								
200	40	1.93	220	40	1.96	240	40	1.93
Espirales de PP sobre CANDIDE								
	40	1.91		40	1.93		40	1.96
200	60	1.94	220	60	1.93	240	60	1.96
	80	1.91		80	1.90		80	1.98
	Media →	1.92		Media →	1.92		Media →	1.96

Como se observa en la tabla, existe algo de inestabilidad en el espesor de la espiral.

Las espirales inyectadas solo en polipropileno, son espirales que no llevan compactación y en las que se observan rechupes debidos a contracción del material (Fig. 6.11). Además el espesor va variando algo desde la zona más cercana a la entrada, hasta la zona más alejada. La tabla muestra un valor único para cada velocidad, que es una media de varias medidas tomadas en la espiral.

6- Obtención de un modelo de viscosidad de polipropileno inyectado con recubrimiento en molde espiral monitorizado

Además, como se aprecia en la tabla, no existe una regla general en cuanto a espesores relacionados con parámetros de inyección.



Fig. 6.11. Rechupes que aparecen en espirales

Si se analizan ahora los valores de espesor para las espirales que llevan textil CANDIDE, se aprecia la misma inestabilidad que en las espirales de solo plástico, ya que se tiene la misma situación en cuanto a rechupes y contracción del material se refiere, y además, puede haber fluido algo de material en el film barrera, quedando embebido en él.

Si se comparan los valores de espesor de espirales de polipropileno, y espirales de PP+CANDIDE, se ve que son muy similares. Cabría esperar que los espesores fueran menores en las espirales con textil, porque dicho textil ocupa un espacio en el molde, pero esto no es así. El cierre del molde se ajusta en base al textil que queda en el plano de partición, por lo que el espesor que ocupa el textil, se gana al quedar el molde ligeramente más abierto que cuando no se tiene la tela.

Por tanto, para los cálculos se tomará como hipótesis un espesor de espiral 2 mm.

6- Obtención de un modelo de viscosidad de polipropileno inyectado con recubrimiento en molde espiral monitorizado

6.2.4.2. Análisis del espesor de la espiral sobreinyectada con MOSSA

Con MOSSA se realiza un estudio de espesores análogo al realizado con CANDIDE. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 6.2.

Tabla 6.2 Análisis de espesor de espirales sobre textil MOSSA

Temp. (°C)	Vel. (%)	Espesor (mm)	Temp. (°C)	Vel. (%)	Espesor (mm)	Temp. (°C)	Vel. (%)	Espesor (mm)
Espirales de plástico								
200	40	1.93	220	40	1.96	240	40	1.93
Espirales de PP sobre MOSSA								
	40	1.99		40	1.96		40	1.98
200	60	1.95	220	60	1.94	240	60	1.94
	80	1.95		80	1.94		80	1.96
	Media →	1.96		Media →	1.95		Media →	1.96

Se sigue observando inestabilidad en el espesor de la espiral, y se sigue observando que no existe una regla general en cuanto a espesores relacionados con parámetros de inyección.

De nuevo, para MOSSA también se tomará como hipótesis un espesor de espiral 2 mm.

6.2.4.3. Análisis del espesor de la espiral sobreinyectada con FALSET

De idéntica manera se realiza un estudio de espesores de espirales sobre FALSET. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 6.3.

Tabla 6.3 Análisis de espesor de espirales sobre textil FALSET

Temp. (°C)	Vel. (%)	Espesor (mm)	Temp. (°C)	Vel. (%)	Espesor (mm)	Temp. (°C)	Vel. (%)	Espesor (mm)
Espirales de plástico								
200	40	1.93	220	40	1.96	240	40	1.93
Espirales de PP sobre FALSET								
	40	1.93		40	1.92		40	1.94
200	60	1.90	220	60	1.93	240	60	1.93
	80	1.92		80	1.92		80	1.90
	Media →	1.92		Media →	1.92		Media →	1.92

Las conclusiones que se tienen en este caso con idénticas que las obtenidas en los dos casos anteriores, por tanto, para los cálculos se tomará de nuevo como hipótesis un espesor de espiral 2 mm.

6.2.4.4. Análisis de la anchura de la espiral sobreinyectada con CANDIDE

Con este estudio se pretende evaluar la influencia que tiene el textil CANDIDE sobre la anchura de la espiral, dado que este parámetro interviene en el cálculo del modelo reológico, y podría ser necesario introducir correcciones en el mismo.

Se realizan varias medidas a la altura de cada transductor, para comprobar la repetitividad de las mismas.

Tabla 6.4 Análisis de anchura de espirales sobre textil CANDIDE
Espirales de solo plástico

Medida 1		Medida 2	
En transductor 1 (mm)	En transductor 2 (mm)	En transductor 1 (mm)	En transductor 2 (mm)
19.47	19.44	19.53	19.54
19.46	19.44	19.54	19.49
19.47	19.43	19.53	19.48
Espirales de plástico sobre CANDIDE			
19.21	19.14	19.26	19.12
19.23	19.15	19.20	19.12
19.22	19.15	19.21	19.18

Se han tomado las medidas de anchuras de espirales, siendo las denominadas como medida 1 y medida 2 las correspondientes a mediciones hechas por dos personas distintas (tabla 6.4).

De todas estas medidas se busca el máximo y el mínimo de anchura obtenido para cada textil y cada transductor.

Sólo Plástico:

T₁: Mínimo 19.47 Máximo 19.54

T₂: Mínimo 19.44 Máximo 19.54

Plástico sobre CANDIDE:

T₁: Mínimo 19.20 Máximo 19.26

T₂: Mínimo 19.14 Máximo 19.18

A partir de los valores de sólo plástico se calcula el % de variación de anchura en la espiral que es debida a la contracción:

6- Obtención de un modelo de viscosidad de polipropileno inyectado con recubrimiento en molde espiral monitorizado

$$T_1: \quad \text{Mínimo } \frac{20 - 19.54}{20} * 100 = 2.3\% \quad \text{Máximo } \frac{20 - 19.47}{20} * 100 = 2.65\%$$

$$T_2: \quad \text{Mínimo } \frac{20 - 19.54}{20} * 100 = 2.3\% \quad \text{Máximo } \frac{20 - 19.44}{20} * 100 = 2.8\%$$

Es decir, el % de variación de anchura en la espiral que es debida a la contracción oscila entre el 2.3% y el 2.8%.

Con las anchuras obtenidas en las espirales de plástico + textil se calcula el % de variación de anchura en la espiral que es debida a contracción + textil:

$$T_1: \quad \text{Mínimo } \frac{20 - 19.26}{20} * 100 = 3.7\% \quad \text{Máximo } \frac{20 - 19.20}{20} * 100 = 4.0\%$$

$$T_2: \quad \text{Mínimo } \frac{20 - 19.18}{20} * 100 = 4.1\% \quad \text{Máximo } \frac{20 - 19.14}{20} * 100 = 4.3\%$$

Es decir, el porcentaje de variación de anchura en la espiral que es debida a la (Contracción + Textil) en el par PP+CANDIDE oscila entre el 4.1% y el 4.3%.

Restando el porcentaje de variación de anchura de la espiral que es debida a la (Contracción + Textil) menos el porcentaje de variación de anchura de la espiral debida a la contracción, se obtiene el porcentaje de variación de anchura de la espiral debida sólo al textil.

$$T_1: \quad \text{Mínimo } (3.7 - 2.3) = 1.4\% \quad \text{Máximo } (4.0 - 2.65) = 1.35\%$$

$$T_2: \quad \text{Mínimo } (4.1 - 2.3) = 1.8\% \quad \text{Máximo } (4.3 - 2.8) = 1.5\%$$

Es decir, el porcentaje de variación de anchura en la espiral que es debida sólo al Textil en el par PP+CANDIDE oscila entre el 1.35% y el 1.8%.

Si evaluamos la dispersión entre disparos de dos inyectadas iguales, en la caída de presión se tiene:

Solo Plástico: Transductor 1: de 0% a 9%; Transductor 2: de 0% a 9.45%

6- Obtención de un modelo de viscosidad de polipropileno inyectado con recubrimiento en molde espiral monitorizado

PP + CANDIDE: Transductor 1: de 0% a 6%; Transductor 2: de 0% a 15.5%

Al introducir tanto caída de presión como anchura de la espiral en las expresiones (4.9) y (4.10) del capítulo 4, ambas intervienen de manera lineal.

Por lo tanto, comparando el error del 1.8% en el peor de los casos por variación de anchura debida a textil, con la dispersión que se da en la medida por los transductores en la caída de presión en inyectadas iguales, se observa que dicho error es mucho más pequeño que el que se introduce debido a la dispersión entre inyectadas. Se concluye finalmente que el error introducido por variación de anchura debida a textil es despreciable, por tanto el dato inicial para el cálculo será 20 mm, aplicando la posterior corrección de diagonal.

6.2.4.5. Análisis de la anchura de la espiral sobreinyectada con MOSSA

De la misma manera, se realiza también un estudio de anchuras de espiral, para conocer la influencia del textil MOSSA en la anchura de la espiral (tabla 6.5).

Tabla 6.5 Análisis de anchura de espirales sobre textil MOSSA

Espirales de solo plástico				
En transductor 1 (mm)	Medida 1		Medida 2	
	En transductor 2 (mm)	En transductor 1 (mm)	En transductor 2 (mm)	En transductor 1 (mm)
19.47	19.44	19.53	19.54	19.47
19.46	19.44	19.54	19.49	19.47
19.47	19.43	19.53	19.48	19.47
Espirales de plástico sobre MOSSA				
19.46	19.38	19.44	19.41	19.46
19.44	19.45	19.40	19.40	19.44
19.42	19.44	19.43	19.42	19.42

En el apartado anterior ya se calculó que la variación de anchura en la espiral que es debida a la contracción oscila entre el 2.3% y el 2.8%.

Para las espirales sobre MOSSA se busca el máximo y el mínimo de anchura en cada transductor.

T₁: Mínimo 19.40 Máximo 19.46

T₂: Mínimo 19.38 Máximo 19.45

6- Obtención de un modelo de viscosidad de polipropileno inyectado con recubrimiento en molde espiral monitorizado

Con las anchuras obtenidas en las espirales de plástico + textil se calcula el porcentaje de variación de anchura en la espiral que es debida a contracción + textil:

$$\begin{array}{l} T_1: \quad \text{Mínimo} \quad \frac{20-19.46}{20} * 100 = 2.7\% \quad \text{Máximo} \quad \frac{20-19.40}{20} * 100 = 3.0\% \\ T_2: \quad \text{Mínimo} \quad \frac{20-19.45}{20} * 100 = 2.75\% \quad \text{Máximo} \quad \frac{20-19.38}{20} * 100 = 3.1\% \end{array}$$

Es decir, el porcentaje de variación de anchura en la espiral que es debida a la contracción + textil en el par PP+MOSSA oscila entre el 2.7% y el 3.1%.

Restando el porcentaje de variación de anchura de la espiral que es debida a la contracción + textil menos el porcentaje de variación de anchura de la espiral debida a la contracción se obtiene el porcentaje de variación de anchura de la espiral debida sólo al MOSSA.

$$\begin{array}{l} T_1: \quad \text{Mínimo} (2.7-2.3) = 0.4\% \quad \text{Máximo} (3.0-2.65) = 0.35\% \\ T_2: \quad \text{Mínimo} (2.75-2.3) = 0.45\% \quad \text{Máximo} (3.1-2.8) = 0.3\% \end{array}$$

Es decir, el porcentaje de variación de anchura en la espiral que es debida sólo al textil en el par PP + MOSSA oscila entre el 0.3% y el 0.45%.

En este caso, la dispersión entre disparos de dos inyectadas iguales en la caída de presión se tiene:

Solo Plástico: Transductor 1: de 0% a 9%; Transductor 2: de 0% a 9.45%

PP + MOSSA: Transductor 1: de 0% a 5.5%; Transductor 2: de 0% a 10.5%

Comparando el error del 0.45% en el peor de los casos por variación de anchura debida a textil, con la dispersión que se da en la medida por los transductores en la caída de presión en inyectadas iguales, de nuevo se tiene que el error es mucho más pequeño que el que se introduce debido a la dispersión entre inyectadas. por lo que el dato

6- Obtención de un modelo de viscosidad de polipropileno inyectado con recubrimiento en molde espiral monitorizado

inicial para el cálculo será 20 mm, aplicando la posterior corrección de diagonal.

6.2.4.6. Análisis de la anchura de la espiral sobreinyectada con FALSET

Por último, se realiza también un estudio de anchuras de espiral, para conocer la influencia del textil FALSET en la anchura de la espiral.

Tabla 6.6 Análisis de anchura de espirales sobre textil FALSET

Espirales de solo plástico			
Medida 1		Medida 2	
En transductor 1	En transductor 2	En transductor 1	En transductor 2
19.47	19.44	19.53	19.54
19.46	19.44	19.54	19.49
19.47	19.43	19.53	19.48
Espirales de plástico sobre FALSET			
19.24	19.20	19.23	19.07
19.26	19.16	19.29	19.02
19.26	19.18	19.28	19.10

Para las espirales sobre FALSET se busca el máximo y el mínimo de anchura en cada transductor.

T₁: Mínimo 19.23 Máximo 19.29

T₂: Mínimo 19.02 Máximo 19.20

Se calcula el porcentaje de variación de anchura en la espiral que es debida a contracción + textil y se obtiene:

$$T_1: \quad \text{Mínimo} \quad \frac{20-19.29}{20} * 100 = 3.55\% \quad \text{Máximo} \quad \frac{20-19.23}{20} * 100 = 3.85\%$$

$$T_2: \quad \text{Mínimo} \quad \frac{20-19.20}{20} * 100 = 4.0\% \quad \text{Máximo} \quad \frac{20-19.02}{20} * 100 = 4.9\%$$

Es decir, el porcentaje de variación de anchura en la espiral que es debida a la contracción + textil en el par PP + FALSET oscila entre el 3.55% y el 4.9%.

Restando a estos valores el porcentaje de variación de anchura de la espiral debida solo a la contracción se obtiene el porcentaje de variación de anchura de la espiral debida sólo al textil.

$$T_1: \quad \text{Mínimo} (3.55-2.3) = 1.25\% \quad \text{Máximo} (3.85-2.65) = 1.2\%$$

6- Obtención de un modelo de viscosidad de polipropileno inyectado con recubrimiento en molde espiral monitorizado

T_2 : Mínimo (4-2.3) = 1.7% Máximo (4.9-2.8) = 2.1%

Es decir, el porcentaje de variación de anchura en la espiral que es debida sólo al textil en el par PP + FALSET oscila entre el 1.2% y el 2.1%.

Para las medidas tomadas con polipropileno sobre FALSET, la dispersión entre disparos de dos inyectadas iguales en la caída de presión es:

Solo Plástico: Transductor 1: de 0% a 9%; Transductor 2: de 0% a 9.45%

PP + FALSET: Transductor 1: de 0% a 11%; Transductor 2: de 0% a 14%

De nuevo, comparando errores, se tiene que el debido a variación de anchura por la presencia del Falset, es despreciable frente al que se tiene en la medida por los transductores de la caída de presión en inyectadas iguales, por tanto, el dato inicial para el cálculo con FALSET será de 20 mm, aplicando la posterior corrección de diagonal.

6.3. Resultados experimentales y obtención del modelo de PP sobre CANDIDE

Usando las expresiones de *shear rate* y viscosidad del capítulo 4, (4.9) y (4.10), y los parámetros expuestos en el apartado 6.2, se obtienen los resultados que se muestran en la tabla 6.7.

Tabla 6.7 Cálculo de *shear rate* y viscosidad sin tener en cuenta capa fría CANDIDE

Temperatura °C	Porcentaje de velocidad máxima (%)	ΔP (Bar)	Q (cm ³ /s)	$\dot{\gamma}$ (1/s)	η (Pa*s)
190	20	110,1	10.5	787,50	166,41
	40	106,8	25.8	1938,46	65,58
	60	109,35	33.6	2520,00	51,65
	80	111,2	42	3150,00	42,02
	100	114,5	48	3600,00	37,86
210	20	86,9	11.5	868,97	119,03
	40	92,3	22.4	1680,00	65,39
	60	99,7	33.6	2520,00	47,09
	80	101,9	48	3600,00	33,69
	100	103,05	61	4581,82	26,77
230	20	82,7	11.5	868,97	113,28
	40	83,4	24	1800,00	55,15
	60	90,4	33.6	2520,00	42,70
	80	93,2	51.7	3876,92	28,61
	100	96,7	56	4200,00	27,40

6- Obtención de un modelo de viscosidad de polipropileno inyectado con recubrimiento en molde espiral monitorizado

Con los resultados obtenidos y con ayuda de VISDAT, se obtienen las constantes del modelo reológico que se muestran en la tabla 6.8.

Tabla 6.8. Constantes de modelo sin correcciones CANDIDE

A	B	C	D	E	F
14.746	-2.0567	6.673-3	9.29e-2	-9.99e-4	-6.72e-6

En (Fig. 6.12) se muestra una representación de las curvas de viscosidad obtenidas, similar a la representación habitual de las curvas de viscosidad tal y como aparecen en bases de datos como CAMPUS.

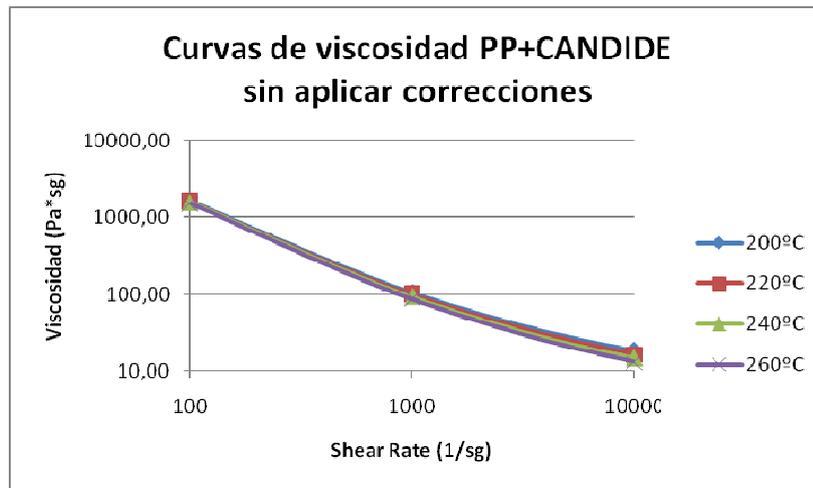


Fig. 6.12 Curvas viscosidad sin correcciones, CANDIDE

6.3.1. Aplicación del modelo al cálculo de caída de presión con MOLDFLOW

Al igual que en el caso de modelo obtenido para solo plástico, se realizan simulaciones en MOLDFLOW, para comprobar cuanto se ajustan los datos experimentales, con los calculados teóricamente haciendo uso del modelo obtenido en el apartado anterior.

En la tabla 6.9, se muestran los resultados obtenidos y los errores que se tienen entre resultados experimentales y de simulación.

Tabla 6.9 Comparación entre valores experimentales y teóricos CANDIDE

Temperatura	190			
Vel.	Tiempo de inyección (sg)	ΔP_m MF (bar)	ΔP_m (bar)	Error ΔP_m (%)
20%	1,15	106,5	110,1	-3,4
40%	0,56	112,6	106,8	5,2
60%	0,35	117,1	109,3	6,6
80%	0,25	122,3	111,2	9,1
100%	0,2	127	114,5	9,8

6- Obtención de un modelo de viscosidad de polipropileno inyectado con recubrimiento en molde espiral monitorizado

Temperatura 210				
Vel.	Tiempo de inyección	ΔP_m MF	ΔP_m	Error ΔP_m
20%	1,37	101,2	86,9	14,1
40%	0,62	105,2	92,3	12,3
60%	0,4	112,5	99,7	11,4
80%	0,29	120,5	101,9	15,4
100%	0,21	126,2	103,05	18,3
Temperatura 230				
Vel.	Tiempo de inyección	ΔP_m MF	ΔP_m	Error ΔP_m
20%	1,47	98,8	82,7	16,3
40%	0,67	103,6	83,4	19,5
60%	0,43	106,9	90,4	15,4
80%	0,3	114,7	93,2	18,7
100%	0,23	112,5	96,7	14,0

Leyenda	Error entre	0% y 10%
	Error entre	10,01% y 15 %
	Error mayor de	15,01%

Los errores en las caídas de presión cuando se utiliza el modelo obtenido sin aplicar las correcciones están en general por encima del 10%, y en algún caso llegando al 19.5%.

La tabla anterior queda representada en la grafica siguiente (Fig. 6.13).

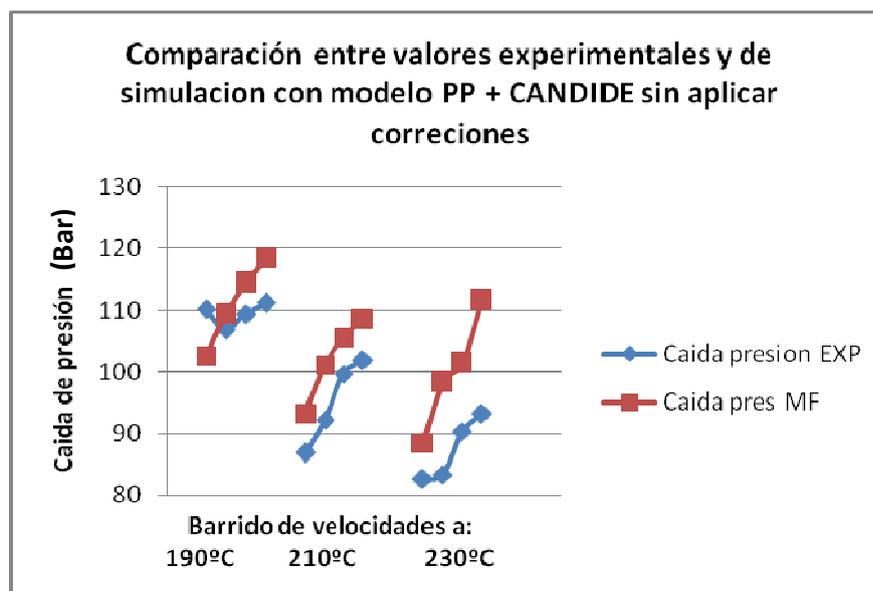


Fig. 6.13. Resultados de ΔP con modelo que no tiene en cuenta capa fría CANDIDE

6.3.2. Aplicación de correcciones de capa fría y diagonal al modelo

A partir de las constates obtenidas en el apartado anterior, se calcula el espesor de capa fría que se forma en cada una de las inyectadas anteriores con el método de cálculo expuesto en el capítulo 5 de esta tesis.

En la tabla 6.10, se muestran los espesores de capa fría obtenidos para cada caso, y el espesor real de paso de material al inyectar la espiral.

Nótese, que los espesores reales ahora son mayores que en el caso de inyección de solo plástico. Esto es, porque en el textil apenas se forma capa fría, mientras que en la superficie del molde la capa fría desarrollada es mayor.

Tabla 6.10. Cálculo de espesor de capa fría

Temperatura °C	Porcentaje de velocidad máxima (%)	Espesor real (mm)
190	20	1,88
	40	1,92
	60	1,93
	80	1,93
	100	1,94
210	20	1,89
	40	1,92
	60	1,94
	80	1,96
	100	1,96
230	20	1,90
	40	1,94
	60	1,95
	80	1,97
	100	1,98

Con los nuevos valores de espesor h , y teniendo en cuenta un anchura del frente de flujo de 22 mm al igual que para el modelo de solo plástico, se recalcularán caudal, *shear rate* y viscosidad (Tabla 6.11)

Tabla 6.11 Cálculo de *shear rate* y viscosidad teniendo en cuenta capa fría CANDIDE

Temperatura °C	Porcentaje de velocidad máxima (%)	ΔP (Bar)	Q (cm ³ /s)	γ (1/s)	η (Pa*s)
190	20	110,1	9.8	759,99	162,46
	40	106,8	24.7	1840,46	66,15
	60	109,35	32.3	2378,93	52,70
	80	111,2	40.6	2961,36	43,23
	100	114,5	46.5	3372,21	39,23

6- Obtención de un modelo de viscosidad de polipropileno inyectado con recubrimiento en molde espiral monitorizado

210	20	86,9	10,9	835,06	117,20
	40	92,3	21,5	1590,08	66,37
	60	99,7	32,5	2361,76	48,75
	80	101,9	46,9	3344,64	35,49
	100	103,05	59,9	4241,64	28,40
230	20	82,7	11,0	830,24	112,83
	40	83,4	23,2	1690,46	56,85
	60	90,4	32,7	2347,24	44,75
	80	93,2	50,9	3576,33	30,57
	100	96,7	55,3	3864,56	29,43

Las nuevas constantes obtenidas aplicando correcciones se muestran en la tabla 6.12

Tabla 6.12. Constantes de modelo con corrección de capa fría CANDIDE

A	B	C	D	E	F
18.493	-1.62	-4.23e-2	4.55e-2	2.43e-4	8.47e-5

De la misma manera que en el apartado anterior, se obtienen las siguientes curvas de viscosidad (Fig. 6.14).

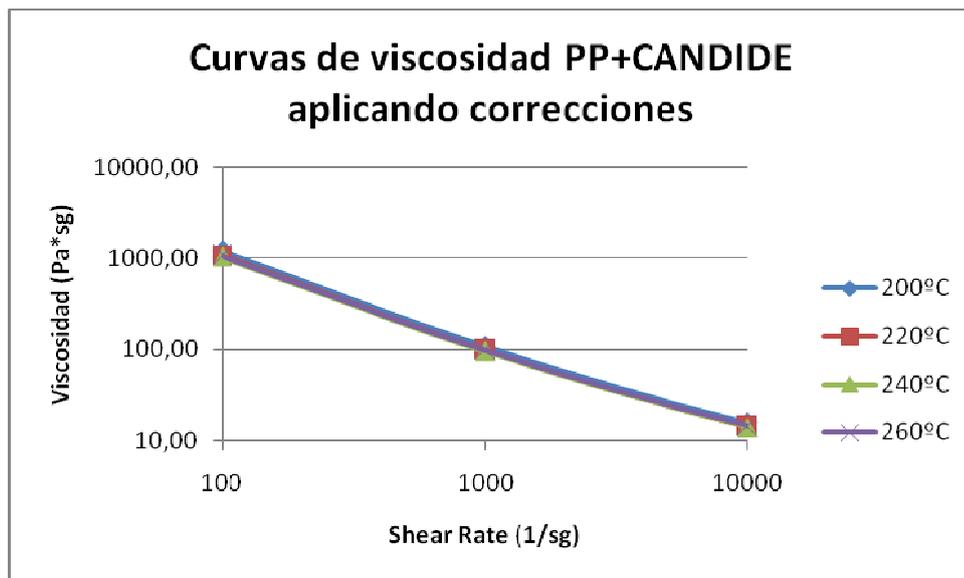


Fig. 6.14. Curvas viscosidad teniendo en cuenta capa fría

En Fig.6.15, se muestra como cambia la curva de viscosidad del material teniendo en cuenta o no el efecto de la capa fría para 200°C y 240°C.

6- Obtención de un modelo de viscosidad de polipropileno inyectado con recubrimiento en molde espiral monitorizado

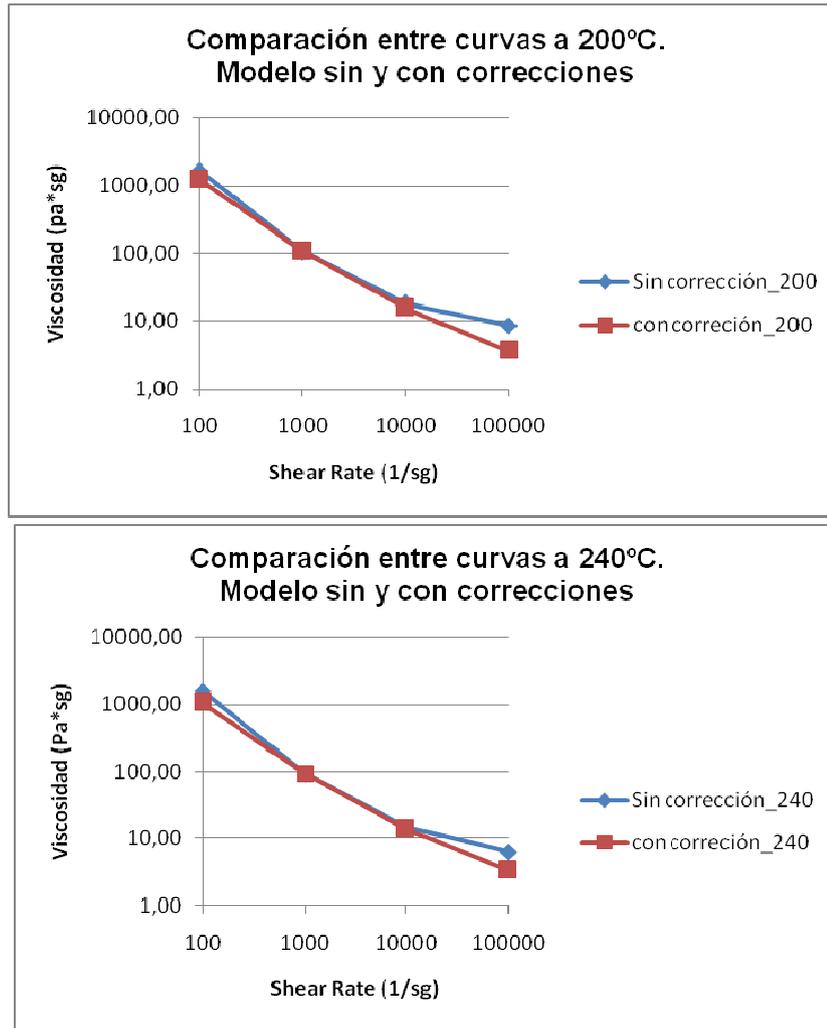


Fig. 6.15. Evolución de las curvas con sucesivas correcciones CANDIDE

Al igual que en el caso de solo plástico, la corrección es más evidente para temperaturas más bajas, dado que la capa fría que se forma es mayor.

6.3.3. Aplicación del modelo corregido al cálculo de caídas de presión con MOLDFLOW

De nuevo, se introduce el modelo corregido en MOLDFLOW, y se realizan simulaciones para obtener valores de caída de presión entre transductores. Las simulaciones corresponderán a cada una de las inyectadas realizadas en taller para obtener los modelos.

La tabla 6.13 muestra la comparación numérica entre los resultados experimentales y de simulación. En la figura 6.16 se representa esta comparación gráficamente.

6- Obtención de un modelo de viscosidad de polipropileno inyectado con recubrimiento en molde espiral monitorizado

Tabla 6.13. Comparación entre valores experimentales y teóricos CANDIDE

Temperatura 190				
Vel.	Tiempo de inyección (sg)	Δ Pm MF (bar)	Δ Pm (bar)	Error Δ Pm (%)
20%	1,15	102,6	110,1	-7,3
40%	0,56	109,3	106,8	2,3
60%	0,35	114,4	109,3	4,4
80%	0,25	118,4	111,2	6,1
100%	0,2	120,3	114,5	4,8
Temperatura 210				
Vel.	Tiempo de inyección	Δ Pm MF	Δ Pm	Error Δ Pm
20%	1,37	93,3	86,9	6,9
40%	0,62	101,2	92,3	8,8
60%	0,4	105,6	99,7	5,6
80%	0,29	108,4	101,9	6,0
100%	0,21	119,9	103,05	14,1
Temperatura 230				
Vel.	Tiempo de inyección	Δ Pm MF	Δ Pm	Error Δ Pm
20%	1,47	88,5	82,7	6,6
40%	0,67	98,3	83,4	15,2
60%	0,43	101,5	90,4	10,9
80%	0,3	111,6	93,2	16,5
100%	0,23	109,5	96,7	11,7

Leyenda	Error entre	0% y 10%
	Error entre	10,01% y 15 %
	Error mayor de	15,01%

Una vez aplicadas las correcciones al modelo, los errores en las caídas de presión disminuyen con respecto a los errores cometidos cuando se calcula con el modelo de corregir. En este caso, el error está en general por debajo del 10%, alcanzándose en algún caso puntual el 16.5 %.

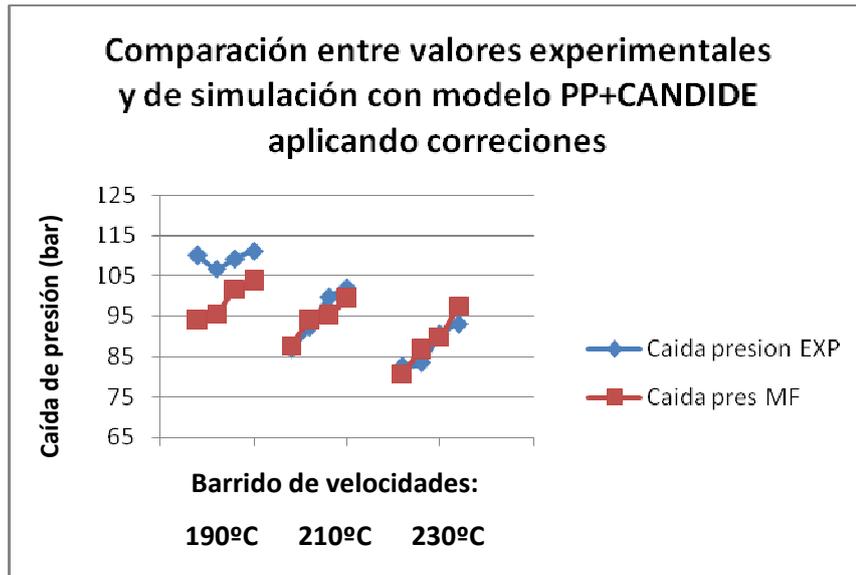


Fig. 6.16 Resultados de ΔP con modelo que si tiene en cuenta capa fría

6.3.4. Aplicación del moldeo corregido al cálculo de presiones máximas de llenado con MOLDFLOW

De nuevo se realizan inyecciones de espirales cambiando la ubicación de los transductores, e inyecciones de pletinas de tres espesores. En ambos casos se inyectará sobre textil CANDIDE. Se realizarán simulaciones utilizando el modelo PP + CANDIDE que se ha dado por bueno, y se compararán los resultados teóricos con los experimentales.

6.3.4.1. Presión máxima en la inyección de espirales

Para esta comprobación, se reubican los transductores en dos nuevas posiciones. El primero a 144 mm de la entrada (posición 2) y el segundo a 304 mm (posición 3).

Las inyectadas se han realizado a 200°, 220° y 240°C y las velocidades seleccionadas para esta comprobación ha sido intermedias, 40%, 60% y 80% del máximo que da la maquina. Se realizan simulaciones con el modelo viscoso corregido y en la tabla 6.14 se muestra la comparación entre resultados teóricos y experimentales.

6- Obtención de un modelo de viscosidad de polipropileno inyectado con recubrimiento en molde espiral monitorizado

Tabla 6.14. Comparación entre valores experimentales y teóricos CANDIDE

Temperatura		200					
Vel	Tiempo de inyección (sg)	Pres max MF 1 (bar)	Pres max MF 2 (bar)	P max transd1 (bar)	P max transd2 (bar)	Error Trans 1 (%)	Error Trans 2 (%)
40%	0,85	342	131,00	354	156	-3,5	-19,1
60%	0,63	396	181,00	374	175	5,6	3,3
80%	0,47	378	159,00	341	156	9,8	1,9
Temperatura		220					
Vel	Tiempo de inyección	Pres max MF 1	Pres max MF 2	P max transd1	P max transd2	Error Trans 1	Error Trans 2
40%	0,94	360	159,00	337	164	6,4	-3,1
60%	0,67	337	132,00	298	124	11,6	6,1
80%	0,47	316	105,00	275	102	13,0	2,9
Temperatura		240					
Vel	Tiempo de inyección	Pres max MF 1	Pres max MF 2	P max transd1	P max transd2	Error Trans 1	Error Trans 2
40%	1.05	422	222,00	382	200	9,5	9,9
60%	0,68	378	175,00	341	163	9,8	6,9
80%	0,52	325	120,00	294	130	9,5	-8,3

Leyenda	Error entre	0% y 10%
	Error entre	10,01% y 15 %
	Error mayor de	15,01%

Se observa, que excepto para el caso de la velocidad más lenta y temperatura más baja, los errores en general están por debajo del 10%.

6.3.4.2. Presión máxima en la inyección de pletinas de tres espesores

En este caso se realizarán comprobaciones de presión máxima de llenado. Para ello se realizará un barrido de tres temperaturas (200°, 220°, y 240°) y tres velocidades (40%, 70% y 100% del máximo de la máquina).

6- Obtención de un modelo de viscosidad de polipropileno inyectado con recubrimiento en molde espiral monitorizado

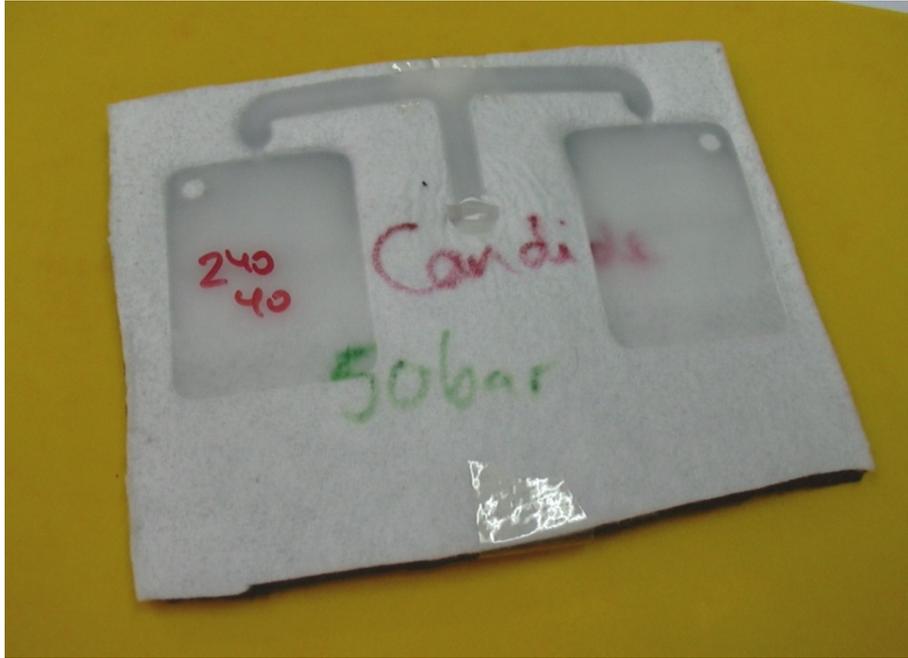


Fig. 6.17 Pletinas inyectadas sobre CANDIDE

Se procederá de la misma manera que cuando se realizó la comprobación con solo plástico. Se realizarán inyecciones al vacío para cada una de las condiciones de inyección para obtener la caída de presión que se tiene en el husillo, y posteriormente se realizará la inyección de la pieza sobre textil (Fig. 6.17) para obtener la presión máxima de llenado en cada caso.

La diferencia entre estos dos datos, da como resultado la presión máxima de llenado en la entrada del molde.

En la tabla 6.15 se tiene un resumen de todos los datos obtenidos.

Tabla 6.15. Comprobación del modelo con molde "llavero" CANDIDE

Temp	Vel.	tiempo maq	P max maquina (Bar)	P max maq en vacío (Bar)	P max maquina Rel Areas: 10 --> Mpa	P max maq en vacío Rel Areas: 10 --> Mpa	P max molde Mpa	Pmax iny MF Mpa	Error %
200	40	0,58	36	15	36	15	21	23	-8,70
	70	0,37	47	24	47	24	23	24,6	-6,50
	100	0,29	57	33	57	33	24	25,6	-6,25
220	40	0,57	34	14	34	14	20	22,1	-9,50
	70	0,37	45	22	45	22	23	23,9	-3,77
	100	0,29	56	32	56	32	24	25,1	-4,38
240	40	0,58	30	11	30	11	19	21,8	-12,84
	70	0,36	40	19	40	19	21	23,9	-12,13
	100	0,28	51	29	51	29	22	25,2	-12,70

6- Obtención de un modelo de viscosidad de polipropileno inyectado con recubrimiento en molde espiral monitorizado

Los errores en el cálculo de la presión máxima de inyección no superan en ningún caso el 10% para las temperaturas de 200 y 220°C y llegan hasta el 12% aproximadamente en el caso de inyección a 240°C.

6.3.5. Comparación entre modelo de solo plástico y modelo de PP + CANDIDE

En este apartado, se realiza una comparación de las curvas de viscosidad obtenidas con el molde espiral monitorizado para el PP y las obtenidas para el PP+CANDIDE.

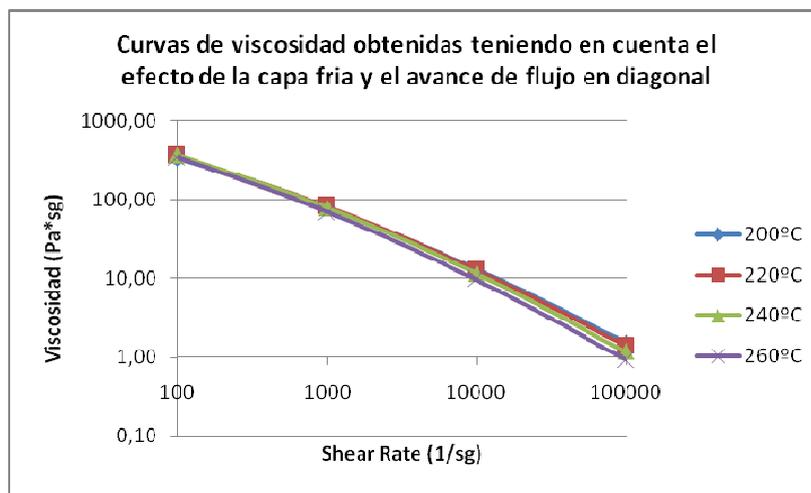


Fig. 6.18 Curvas de viscosidad para PP

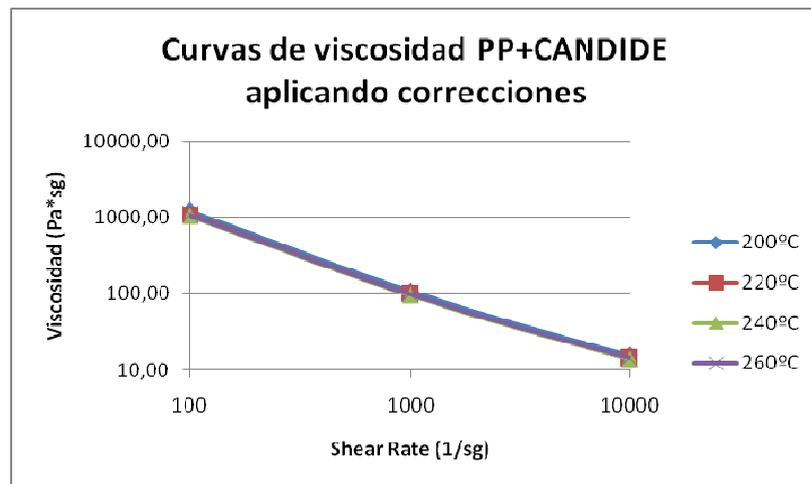


Fig. 6.19 Curvas de viscosidad para PP + CANDIDE

6- Obtención de un modelo de viscosidad de polipropileno inyectado con recubrimiento en molde espiral monitorizado

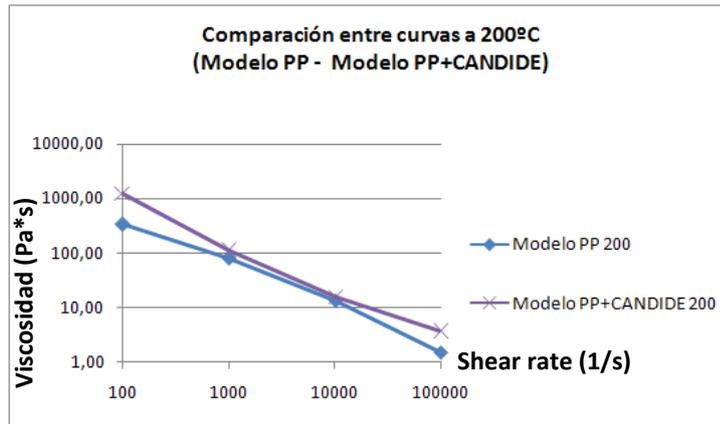


Fig. 6.20 Comparación de curvas PP y PP+CANDIDE a 200°C

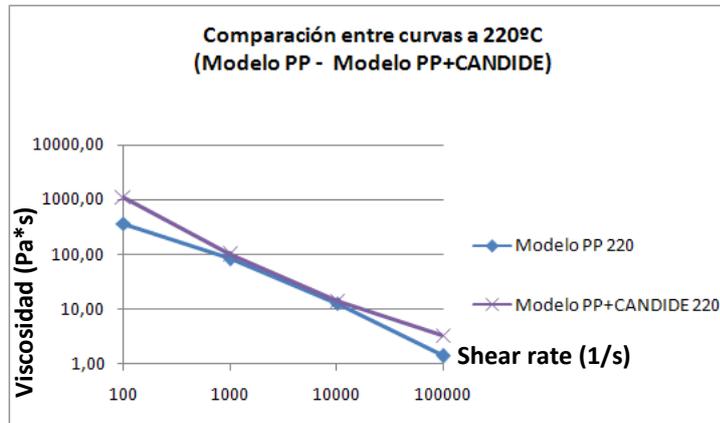


Fig. 6.21 Comparación de curvas PP y PP+CANDIDE a 220°C

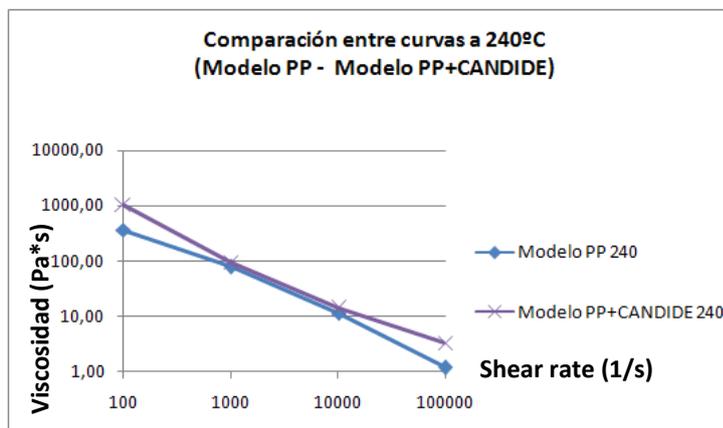


Fig. 6.22 Comparación de curvas PP y PP+CANDIDE a 240°C

6- Obtención de un modelo de viscosidad de polipropileno inyectado con recubrimiento en molde espiral monitorizado

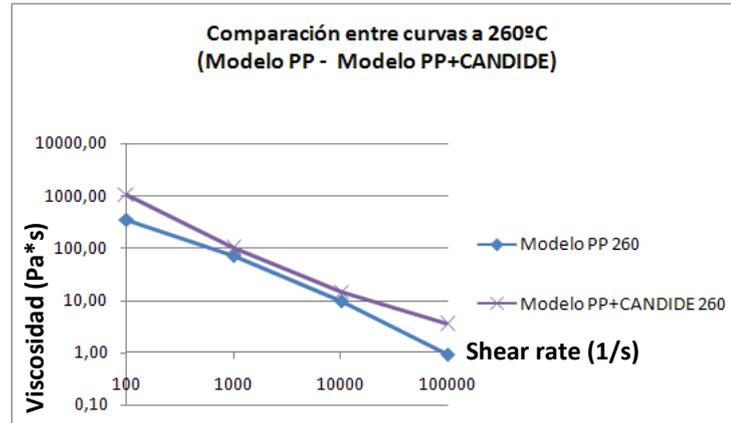


Fig. 6.23 Comparación de curvas PP y PP+CANDIDE a 260°C

La primera diferencia que se aprecia entre las curvas de solo plástico y las curvas de viscosidad correspondientes al modelo plástico+CANDIDE es la concavidad (Fig. 6.18 y 6.19). Así como las curvas correspondientes al polipropileno siguen la forma habitual de concavidad que tienen todos los modelos de viscosidad, con los datos obtenidos para textil, y según el ajuste realizado por VISDAT, el resultado para las curvas de polipropileno sobre textil es algo convexa.

Por otro lado, para todas las temperaturas se cumple que el modelo de PP+CANDIDE resulta más viscoso que el moldeo de solo PP (Fig. 6.20 a 6.23).

Esto es inicialmente, porque cuando el plástico empieza a fluir dentro del molde y sobre el textil, necesita presión tanto para avanzar, como para abrir camino al entrar comprimiendo la espuma del textil.

6.4. Resultados experimentales y obtención del modelo de PP sobre MOSSA

Con los datos obtenidos de las medidas de los transductores, con las expresiones (4.9) y (4.10), y los parámetros expuestos en el apartado 6.3, se obtienen los resultados que se muestran en la tabla 6.16.

6- Obtención de un modelo de viscosidad de polipropileno inyectado con recubrimiento en molde espiral monitorizado

Tabla 6.16 Cálculo de shear arte y viscosidad sin tener en cuenta capa fría MOSSA

Temperatura °C	Porcentaje de velocidad máxima (%)	ΔP (Bar)	Q (cm ³ /s)	$\dot{\gamma}$ (1/s)	η (Pa*s)
190	20	103,103	10.3	775,38	158,27
	40	109,69	22.4	1680,00	77,71
	60	112,56	32	2400,00	55,82
	80	114,73	44.8	3360,00	40,64
	100	118,034	48	3600,00	39,02
210	20	95,067	11.0	826,23	136,95
	40	100,184	21	1575,00	75,71
	60	103,838	33.6	2520,00	49,04
	80	105,294	37.3	2800,00	44,76
	100	108,955	44.8	3360,00	38,60
230	20	84,826	10.8	812,90	124,20
	40	90,671	23.1	1737,93	62,10
	60	95,06	35.3	2652,63	42,65
	80	98,721	39.5	2964,71	39,63
	100	102,375	56	4200,00	29,01

Con los resultados obtenidos y con ayuda de VISDAT, se obtienen las constantes del modelo reológico que se muestran en la tabla 6.17.

Tabla 6.17. Constantes de modelo sin correcciones MOSSA

A	B	C	D	E	F
14.097	-1.4515	-5.70e-3	2.29e-2	9.78e-4	-1.47e-5

En (Fig. 6.24) se muestra una representación de las curvas de viscosidad obtenidas.

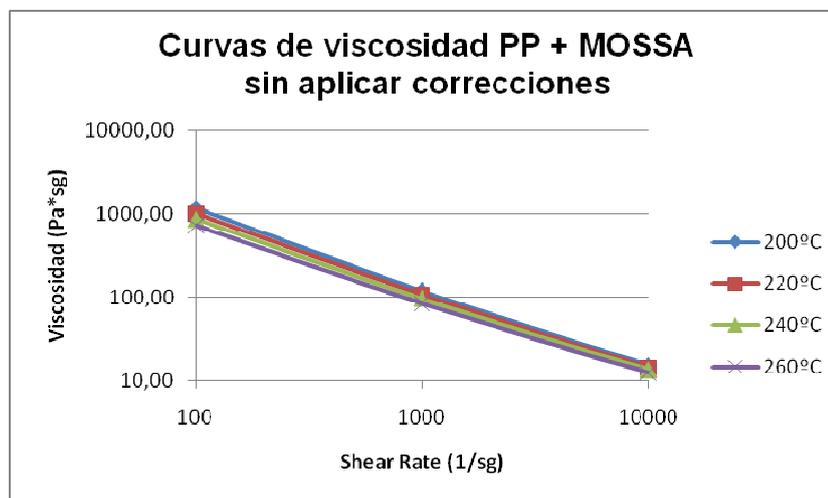


Fig. 6.24 Curvas viscosidad sin correcciones MOSSA

6.4.1. Aplicación del modelo al cálculo de caída de presión con MOLDFLOW

Se realizan simulaciones en MOLDFLOW, para comprobar cuanto se ajustan los datos experimentales con los calculados teóricamente haciendo uso del modelo obtenido.

6- Obtención de un modelo de viscosidad de polipropileno inyectado con recubrimiento en molde espiral monitorizado

En la tabla 6.18, se muestran los resultados obtenidos y los errores que se tienen entre resultados experimentales y de simulación.

Tabla 6.18. Comparación entre valores experimentales y teóricos MOSSA

Temperatura 190				
Vel.	Tiempo de inyección (sg)	ΔP_m MF (bar)	ΔP_m (bar)	Error ΔP_m (%)
20%	1,24	115,0	103,10	10,3
40%	0,58	120,0	109,69	8,6
60%	0,39	131,0	112,56	14,1
80%	0,27	137,0	114,73	16,3
100%	0,22	136,0	118,03	13,2
Temperatura 210				
Vel.	Tiempo de inyección	ΔP_m MF	ΔP_m	Error ΔP_m
20%	1,34	108,0	95,06	12,0
40%	0,64	118,0	100,18	15,1
60%	0,42	123,0	103,83	15,6
80%	0,31	125,0	105,29	15,8
100%	0,24	128,0	108,95	14,9
Temperatura 230				
Vel.	Tiempo de inyección	ΔP_m MF	ΔP_m	Error ΔP_m
20%	1,4	100,0	84,82	15,2
40%	0,68	112,0	90,67	19,0
60%	0,46	118,0	95,06	19,4
80%	0,33	119,0	98,72	17,0
100%	0,27	126,0	102,37	18,8

Leyenda	Error entre	0% y 10%
	Error entre	10,01% y 15 %
	Error mayor de	15,01%

Los errores en las caídas de presión cuando se utiliza el modelo obtenido sin aplicar las correcciones están en general por encima del 10%, y en algún caso llegando al 19.4%.

La tabla anterior queda representada en la grafica siguiente (Fig. 6.25).

6- Obtención de un modelo de viscosidad de polipropileno inyectado con recubrimiento en molde espiral monitorizado

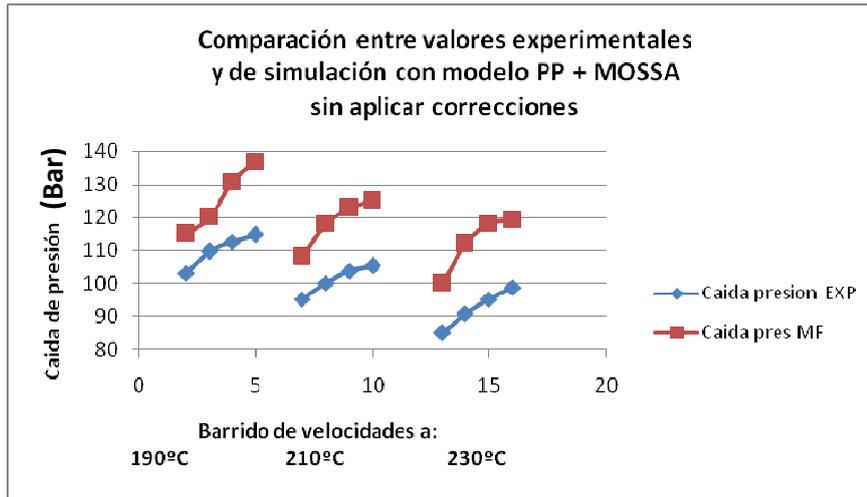


Fig. 6.25. Resultados de ΔP con modelo que no tiene en cuenta capa fría

6.4.2. Aplicación de correcciones de capa fría y diagonal al modelo

A partir de las constates obtenidas en el apartado anterior, se calcula el espesor de capa fría que se forma en cada una de las inyectadas anteriores.

En la tabla 6.19, se muestran los espesores de capa fría obtenidos para cada caso, y el espesor real de paso de material al inyectar la espiral.

Tabla 6.19. Cálculo de espesor de capa fría MOSSA

Temperatura °C	Porcentaje de velocidad máxima (%)	Espesor real (mm)
190	20	1,88
	40	1,92
	60	1,93
	80	1,93
	100	1,94
210	20	1,89
	40	1,92
	60	1,94
	80	1,96
	100	1,96
230	20	1,90
	40	1,94
	60	1,95
	80	1,97
	100	1,98

Con los nuevos valores de espesor h , y teniendo en cuenta de nuevo, una anchura del frente de flujo de 22 mm al igual que para los

6- Obtención de un modelo de viscosidad de polipropileno inyectado con recubrimiento en molde espiral monitorizado

modelos anteriores, se recalcularán caudal, *shear rate* y viscosidad (Tabla 6.20)

Tabla 6.20 Cálculo de *shear rate* y viscosidad teniendo en cuenta capa fría MOSSA

Temperatura °C	Porcentaje de velocidad máxima (%)	ΔP (Bar)	Q (cm ³ /s)	$\dot{\gamma}$ (1/s)	η (Pa*s)
190	20	103,103	9.7	748,30	154,51
	40	109,69	21.4	1595,06	78,39
	60	112,56	30.8	2265,65	56,96
	80	114,73	43.3	3158,79	41,81
	100	118,034	46.5	3372,21	40,44
210	20	95,067	10.4	793,99	134,84
	40	100,184	20.1	1490,70	76,85
	60	103,838	32.5	2361,76	50,77
	80	105,294	36.5	2601,38	47,15
	100	108,955	43.9	3110,54	40,95
230	20	84,826	10.3	776,67	123,71
	40	90,671	22.4	1632,17	64,02
	60	95,06	34.5	2470,78	44,70
	80	98,721	38.9	2734,84	42,35
	100	102,375	55.3	3864,56	31,16

Las nuevas constantes obtenidas aplicando correcciones se muestran en la tabla 6.21

Tabla 6.21. Constantes de modelo con corrección de capa fría MOSSA

A	B	C	D	E	F
14.089	-1.5309	-4.54e-3	2.81e-2	1.11e-3	-1.89e-5

De la misma manera que en el apartado anterior, se obtienen las siguientes curvas de viscosidad (Fig. 6.26).

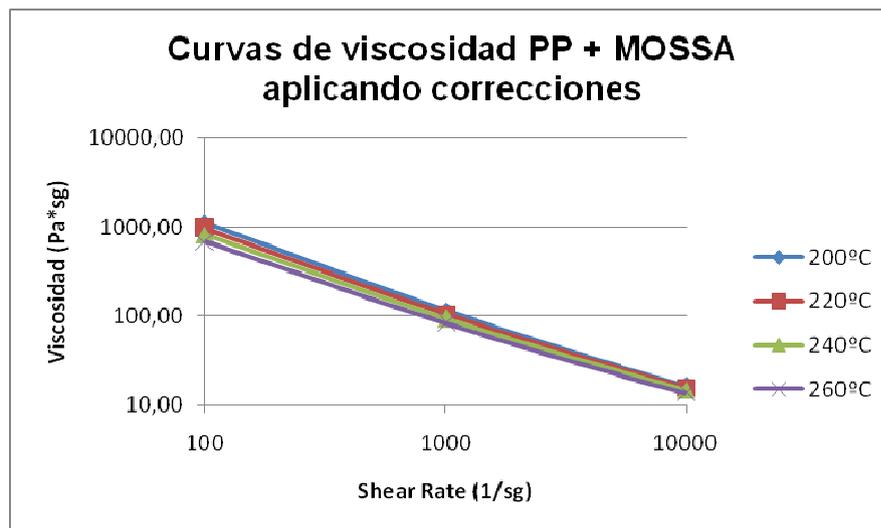


Fig. 6.26. Curvas viscosidad teniendo en cuenta correcciones

6.4.3. Aplicación del modelo corregido al cálculo de caídas de presión con MOLDFLOW

De nuevo se realizan simulaciones para obtener valores de caída de presión entre transductores. Las simulaciones corresponderán a cada una de las inyectadas realizadas en taller para obtener los modelos.

La tabla 6.22 muestra la comparación numérica entre los resultados experimentales y de simulación. En la figura 6.27 se representa esta comparación gráficamente.

Tabla 6.22. Comparación entre valores experimentales y teóricos MOSSA

Temperatura 190					
Vel.	Tiempo de inyección (sg)	ΔP_m MF (bar)	ΔP_m (bar)	Error ΔP_m (%)	
20%	1,24	112,0	103,10	7,9	
40%	0,58	121,0	109,69	9,3	
60%	0,39	127,0	112,56	11,4	
80%	0,27	133,0	114,73	13,7	
100%	0,22	122,0	118,03	3,3	
Temperatura 210					
Vel.	Tiempo de inyección	ΔP_m MF	ΔP_m	Error ΔP_m	
20%	1,34	105,0	95,06	9,5	
40%	0,64	113,0	100,18	11,3	
60%	0,42	120,0	103,83	13,5	
80%	0,31	123,0	105,29	14,4	
100%	0,24	128,0	108,95	14,9	
Temperatura 230					
Vel.	Tiempo de inyección	ΔP_m MF	ΔP_m	Error ΔP_m	
20%	1,4	99,0	84,82	14,3	
40%	0,68	108,0	90,67	16,0	
60%	0,46	113,0	95,06	15,9	
80%	0,33	116,0	98,72	14,9	
100%	0,27	124,0	102,37	17,4	

Leyenda	Error entre	0% y 10%
	Error entre	10,01% y 15 %
	Error mayor de	15,01%

Una vez aplicadas las correcciones al modelo, los errores en las caídas de presión disminuyen con respecto a los errores cometidos cuando se calcula con el modelo sin corregir. En este caso, el error está en general por debajo del 15%, alcanzándose en algún caso puntual el 17.4 %.

6- Obtención de un modelo de viscosidad de polipropileno inyectado con recubrimiento en molde espiral monitorizado

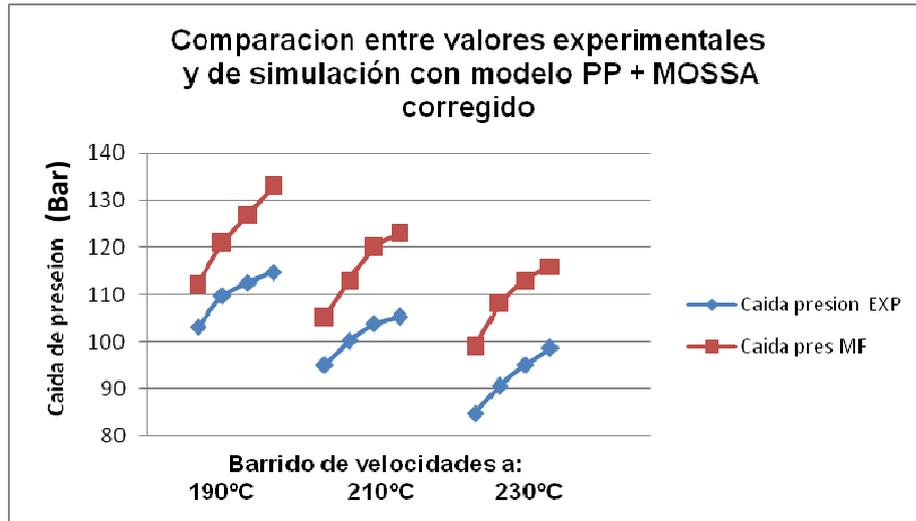


Fig. 6.27 Resultados de ΔP con modelo que si tiene en cuenta capa fría

6.4.4. Aplicación del modelo corregido al cálculo de presiones máximas de llenado con MOLDFLOW

De nuevo se realizan inyecciones de espirales cambiando la ubicación de los transductores, e inyecciones de pletinas. En ambos casos se inyectará sobre textil MOSSA. Se realizarán simulaciones utilizando el modelo PP + MOSSA que se ha dado por bueno, y se compararán los resultados teóricos con los experimentales.

6.4.4.1. Presión máxima en la inyección de espirales

Para esta comprobación, de nuevo se colocan los transductores a a 144 mm de la entrada (posición 2) y a 304 mm (posición 3).

Las inyectadas se han realizado a 200°, 220° y 240°C y las velocidades seleccionadas para esta comprobación han sido intermedias, 40%, 60% y 80% del máximo que da la maquina. Se realizan simulaciones con el modelo viscoso corregido y en la tabla 6.23 se muestra la comparación entre resultados teóricos y experimentales.

Tabla 6.23. Comparación entre valores experimentales y teóricos MOSSA

Temperatura	200						
Vel	Tiempo de inyección (sg)	Pres max MF 1 (bar)	Pres max MF 2 (bar)	P max transd1 (bar)	P max transd2 (bar)	Error Trans 1 (%)	Error Trans 2 (%)
40%	0.97	430	214,00	420	228	2,3	-6,5
60%	0.63	391	166,00	376	185	3,8	-11,4
80%	0.47	367	137,00	336	150	8,4	-9,5

6- Obtención de un modelo de viscosidad de polipropileno inyectado con recubrimiento en molde espiral monitorizado

Temperatura		220					
Vel	Tiempo de inyección (sg)	Pres max MF 1 (bar)	Pres max MF 2 (bar)	P max transd1 (bar)	P max transd2 (bar)	Error Trans 1 (%)	Error Trans 2 (%)
40%	0.93	388	180,00	340	160	12,4	11,1
60%	0.66	334	123,00	297	124	11,1	-0,8
80%	0.47	321	106,00	275	102	14,3	3,8
Temperatura		240					
Vel	Tiempo de inyección	Pres max MF 1	Pres max MF 2	P max transd1	P max transd2	Error Trans 1	Error Trans 2
40%	1.03	413	216,00	378	200	8,5	7,4
60%	0.68	369	170,00	339	163	8,1	4,1
80%	0.51	337	134,00	299	135	11,3	-0,7

Leyenda	Error entre	0% y 10%
	Error entre	10,01% y 15 %
	Error mayor de	15,01%

Los errores una vez realizado este análisis se sitúan en general entre el 3% y el 12% no superándose nunca el 15% de error.

6.4.4.2. Presión máxima en la inyección de pletinas de tres espesores

En este caso se realizarán comprobaciones de presión máxima de llenado. Para ello se realizará un barrido de tres temperaturas (200°, 220°, y 240°) y tres velocidades (40%, 70% y 100% del máximo de la máquina).

Se procederá de la misma manera que cuando se realizó la comprobación con solo plástico y CANDIDE. Se realizarán inyecciones al vacío para cada una de las condiciones de inyección para obtener la caída de presión que se tiene en el husillo, y posteriormente se realizará la inyección de la pieza sobre MOSSA (Fig. 6.28) para obtener la presión máxima de llenado en cada caso.

6- Obtención de un modelo de viscosidad de polipropileno inyectado con recubrimiento en molde espiral monitorizado



Fig. 6.28 Pletinas inyectadas sobre Mosa

La diferencia entre estos dos datos, da como resultado la presión máxima de llenado en la entrada del molde.

En la tabla 6.24 se tiene un resumen de todos los datos obtenidos.

Tabla 6.24. Comprobación del modelo con molde "llavero" MOSSA

Temp	Vel.	tiempo maq	P max maquina (Bar)	P max maq en vacio (Bar)	P max maquina Rel Areas: 10 --> Mpa	P max maq en vacio Rel Areas: 10 --> Mpa	P max molde Mpa	Pmax iny MF Mpa	Error %
200	40	0,58	36	15	36	15	21	23,2	-9,48
	70	0,37	47	24	47	24	23	24,6	-6,50
	100	0,29	57	33	57	33	24	25,6	-6,25
220	40	0,57	34	14	34	14	20	21,5	-6,98
	70	0,37	44	22	44	22	22	23	-4,35
	100	0,29	55	32	55	32	23	23,9	-3,77
240	40	0,58	30	12	30	12	18	19,8	-9,09
	70	0,36	40	20	40	20	20	21,3	-6,10
	100	0,28	50	30	50	30	20	22,1	-9,50

Los errores en el cálculo de la presión máxima de inyección no superan en ningún caso el 10%.

6.4.5. Comparación entre modelo de solo plástico y modelo de PP + MOSSA

Al igual que en el apartado anterior, se realiza una comparación grafica de las curvas de viscosidad obtenidas para PP con molde espiral, y las obtenidas para PP sobre MOSSA.

6- Obtención de un modelo de viscosidad de polipropileno inyectado con recubrimiento en molde espiral monitorizado

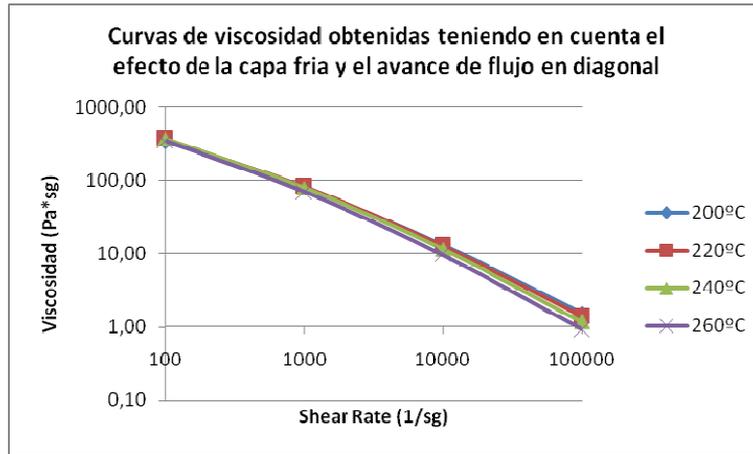


Fig. 6.29 Curvas de viscosidad para PP

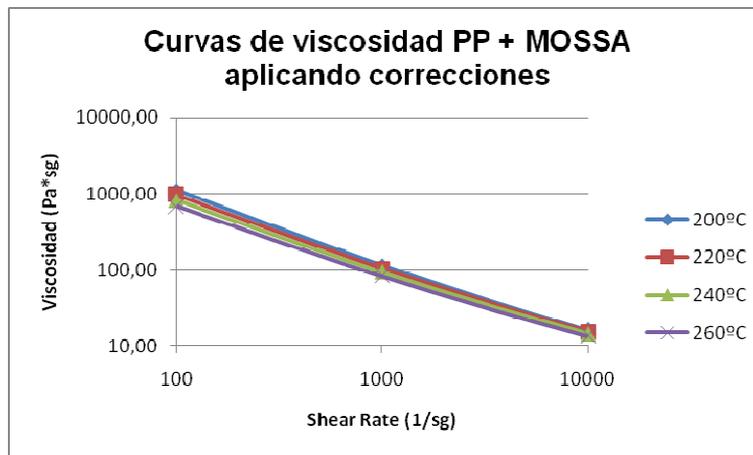


Fig. 6.30 Curvas de viscosidad para PP + MOSSA

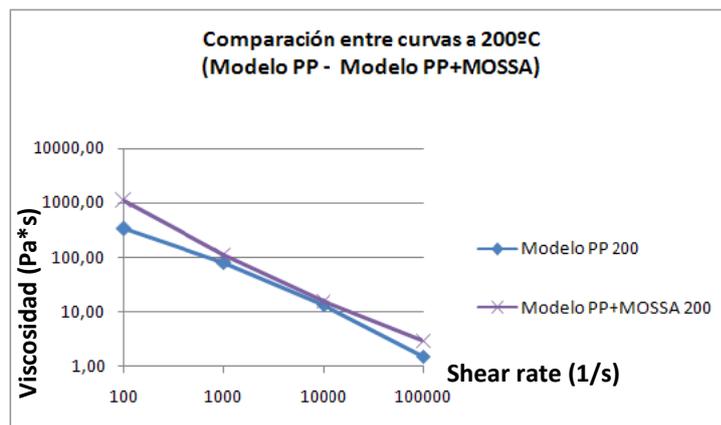


Fig. 6.31 Comparación de curvas PP y PP+MOSSA a 200°C

6- Obtención de un modelo de viscosidad de polipropileno inyectado con recubrimiento en molde espiral monitorizado

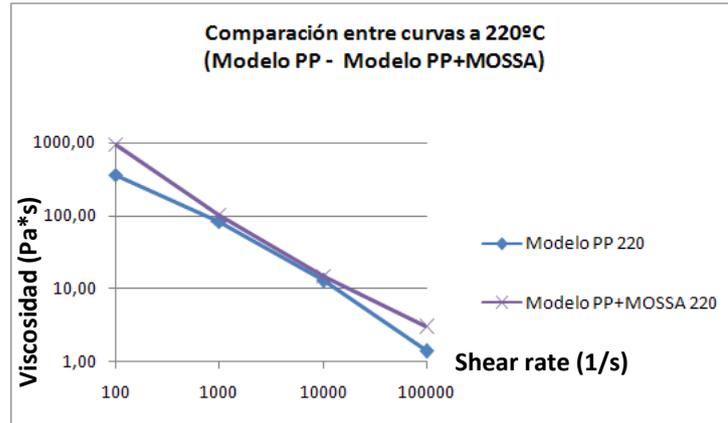


Fig. 6.32 Comparación de curvas PP y PP+MOSSA a 220°C

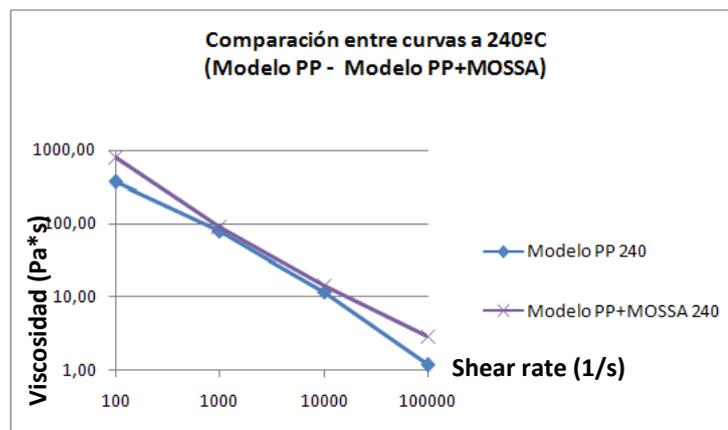


Fig. 6.33 Comparación de curvas PP y PP+MOSSA a 240°C

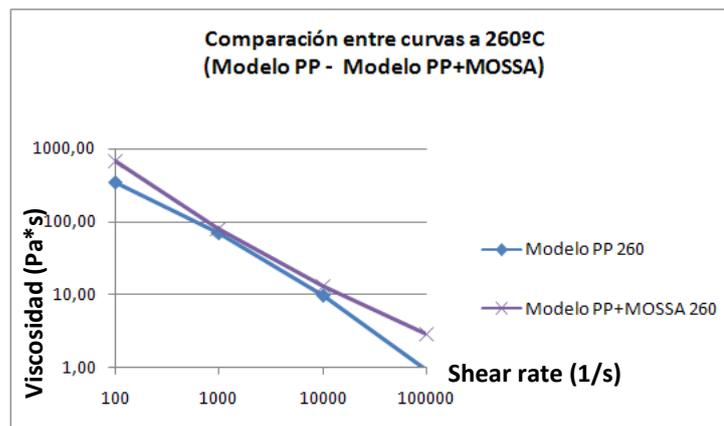


Fig. 6.34 Comparación de curvas PP y PP+MOSSA a 260°C

De nuevo, con los resultados obtenidos del molde espiral y con el ajuste matemático realizado por VISDAT se obtienen curvas con tendencia a convexidad en el caso del modelo PP+MOSSA (Fig. 6.30).

6- Obtención de un modelo de viscosidad de polipropileno inyectado con recubrimiento en molde espiral monitorizado

Además se vuelve a cumplir que para todas las temperaturas, el modelo de PP+MOSSA resulta más viscoso que el moldeo de solo polipropileno (Fig. 6.31 a 6.34).

6.5. Resultados experimentales y obtención del modelo de PP sobre FALSET

En la tabla 6.25. se muestran los resultados de caudal, *shear rate* y viscosidad calculados a partir de los datos obtenidos con molde espiral.

Tabla 6.25 Cálculo de *shear rate* y viscosidad sin tener en cuenta capa fría FALSET

Temperatura °C	Porcentaje de velocidad máxima (%)	ΔP (Bar)	Q (cm ³ /s)	$\dot{\gamma}$ (1/s)	η (Pa*s)
190	20	96,19	11.2	840,00	136,29
	40	103,76	21.6	1625,81	75,96
	60	110,58	32	2400,00	54,84
	80	113,60	42	3150,00	42,92
	100	115,12	51.6	3876,92	35,34
210	20	90,60	11	826,23	130,51
	40	99,22	21.6	1625,81	72,64
	60	103,01	30.5	2290,91	53,52
	80	105,28	44.8	3360,00	37,29
	100	108,30	56	4200,00	30,69
230	20	82,55	11.5	868,97	113,07
	40	91,64	22.4	1680,00	64,93
	60	93,92	32	2400,00	46,58
	80	96,95	48	3600,00	32,05
	100	100,71	51.7	3876,92	30,92

Con los resultados obtenidos y con ayuda de VISDAT, se obtienen las constantes del modelo reológico que se muestran en la tabla 6.26.

Tabla 6.26. Constantes de modelo sin correcciones FALSET

A	B	C	D	E	F
14.180	-1.5494	-3.70e-3	3.33e-2	7.30e-4	-1.45e-5

En (Fig. 6.35) se muestra una representación de las curvas de viscosidad obtenidas.

6- Obtención de un modelo de viscosidad de polipropileno inyectado con recubrimiento en molde espiral monitorizado

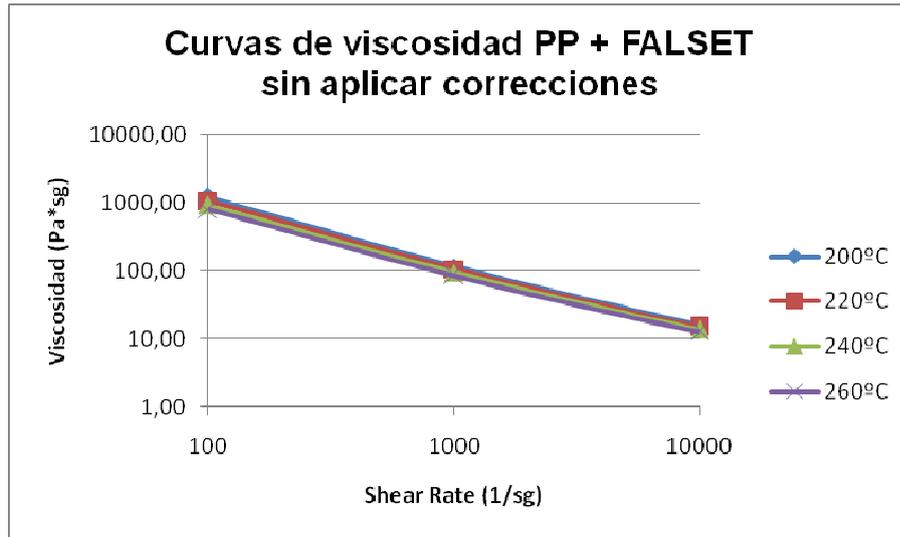


Fig. 6.35 Curvas viscosidad sin correcciones

6.5.1. Aplicación del modelo al cálculo de caída de presión con MOLDFLOW

Se realizan simulaciones en MOLDFLOW, para comprobar cuanto se ajustan los datos experimentales con los calculados teóricamente haciendo uso del modelo obtenido.

En la tabla 6.27, se muestran los resultados obtenidos y los errores que se tienen entre resultados experimentales y de simulación.

Tabla 6.27. Comparación entre valores experimentales y teóricos FALSET

Temperatura 190				
Vel.	Tiempo de inyección (sg)	ΔP_m MF (bar)	ΔP_m (bar)	Error ΔP_m (%)
20%	1.25	114,0	96,19	15,6
40%	0.59	118,0	103,76	12,1
60%	0.39	130,0	110,58	14,9
80%	0.28	135,0	113,60	15,9
100%	0.23	138,0	115,12	16,6
Temperatura 210				
Vel.	Tiempo de inyección	ΔP_m MF	ΔP_m	Error ΔP_m
20%	1.35	107,0	90,60	15,3
40%	0.64	117,0	99,22	15,2
60%	0.43	123,0	103,01	16,3
80%	0.30	128,0	105,28	17,8
100%	0.25	132,0	108,30	18,0

6- Obtención de un modelo de viscosidad de polipropileno inyectado con recubrimiento en molde espiral monitorizado

Temperatura 230					
Vel.	Tiempo de inyección	ΔP_m MF	ΔP_m	Error ΔP_m	
20%	1.45	100,0	82,55	17,5	
40%	0.69	111,0	91,64	17,4	
60%	0.47	117,0	93,92	19,7	
80%	0.34	120,0	96,95	19,2	
100%	0.27	124,0	100,71	18,8	

Leyenda	Error entre	0% y 10%
	Error entre	10,01% y 15 %
	Error mayor de	15,01%

Los errores en las caídas de presión cuando se utiliza el modelo obtenido sin aplicar las correcciones están en general por encima del 10%, y en algún caso llegando al 19.7%.

La tabla anterior queda representada en la grafica siguiente (Fig. 6.36).

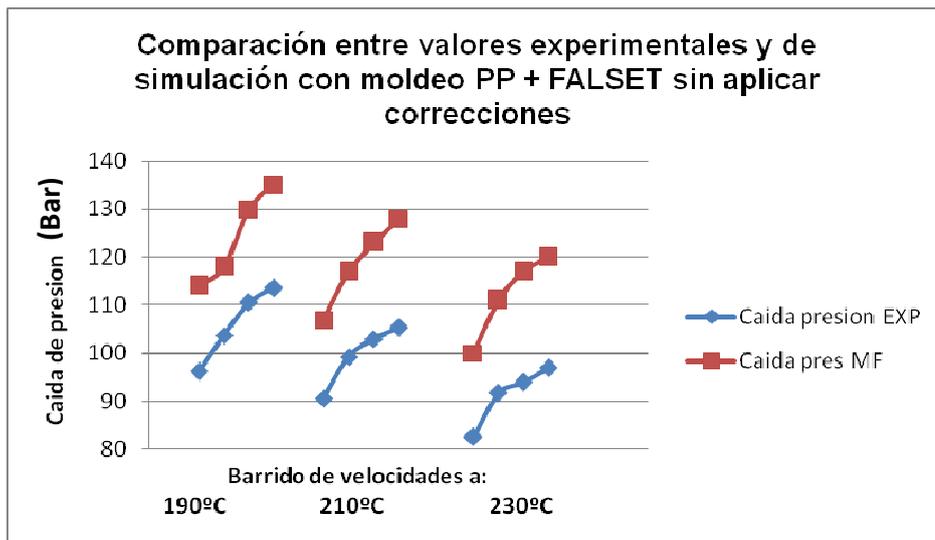


Fig. 6.36. Resultados de ΔP con modelo que no tiene en cuenta capa fría

6.5.2. Aplicación de correcciones de capa fría y diagonal al modelo

A partir de las constates obtenidas en el apartado anterior, se calcula el espesor de capa fría que se forma en cada una de las inyectadas.

6- Obtención de un modelo de viscosidad de polipropileno inyectado con recubrimiento en molde espiral monitorizado

En la tabla 6.28, se muestran los espesores de capa fría obtenidos para cada caso, y el espesor real de paso de material al inyectar la espiral.

Tabla 6.28. Cálculo de espesor de capa fría FALSET

Temperatura °C	Porcentaje de velocidad máxima (%)	Espesor real (mm)
190	20	1,88
	40	1,90
	60	1,91
	80	1,92
	100	1,92
210	20	1,90
	40	1,91
	60	1,92
	80	1,93
	100	1,94
230	20	1,91
	40	1,93
	60	1,94
	80	1,94
	100	1,95

Con los nuevos valores de espesor h , y teniendo en cuenta un anchura del frente de flujo de 22 mm al igual que en ocasiones anteriores, se recalcularán caudal, *shear rate* y viscosidad (Tabla 6.29)

Tabla 6.29 Cálculo de *shear rate* y viscosidad teniendo en cuenta capa fría FALSET

Temperatura °C	Porcentaje de velocidad máxima (%)	ΔP (Bar)	Q (cm ³ /s)	γ (1/s)	η (Pa*s)
190	20	96,19	10.5	810,65	133,06
	40	103,76	20.5	1555,80	75,43
	60	110,58	30.5	2284,63	55,03
	80	113,60	40.3	2982,95	43,52
	100	115,12	49.7	3663,70	35,99
210	20	90,60	10.4	790,65	129,59
	40	99,22	20.7	1547,65	72,88
	60	103,01	29.3	2169,42	54,26
	80	105,28	43.1	3173,55	38,01
	100	108,30	54.1	3946,44	31,61
230	20	82,55	11	827,19	113,46
	40	91,64	21.6	1582,67	66,52
	60	93,92	31	2249,30	48,22
	80	96,95	46.6	3367,00	33,32
	100	100,71	50.4	3614,85	32,34

Las nuevas constantes obtenidas aplicando correcciones se muestran en la tabla 6.30

Tabla 6.30. Constantes de modelo con corrección de capa fría FALSET

A	B	C	D	E	F
13.205	-1.3881	-1.92e-3	2.53e-2	6.30e-4	-1.52e-5

6- Obtención de un modelo de viscosidad de polipropileno inyectado con recubrimiento en molde espiral monitorizado

De la misma manera que en el apartado anterior, se obtienen las siguientes curvas de viscosidad (Fig. 6.37).

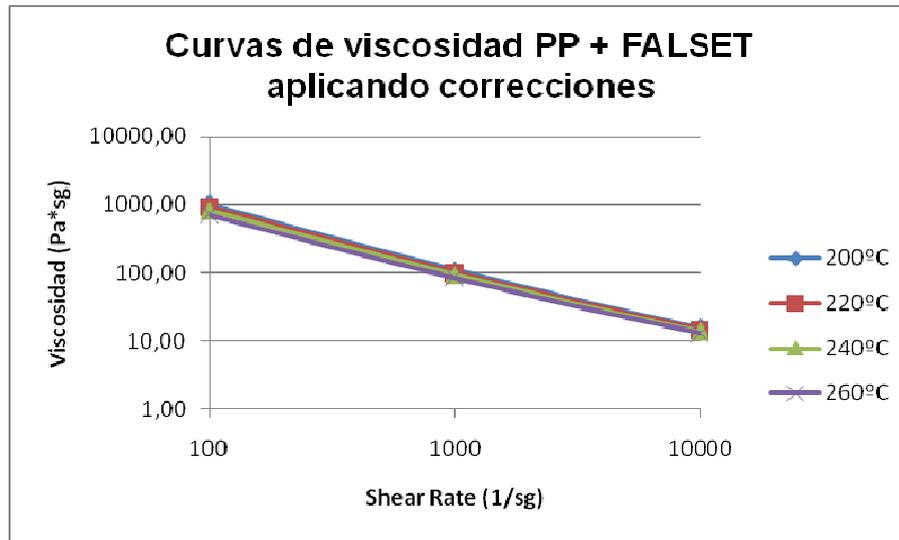


Fig. 6.37. Curvas viscosidad teniendo en cuenta capa fría

6.5.3. Aplicación del modelo corregido al cálculo de caídas de presión con MOLDFLOW

Se realizan simulaciones para obtener valores de caída de presión entre transductores. Las simulaciones corresponderán a cada una de las inyectadas realizadas en taller para obtener los modelos.

La tabla 6.31 muestra la comparación numérica entre los resultados experimentales y de simulación. En la figura 6.38 se representa esta comparación gráficamente.

Tabla 6.31. Comparación entre valores experimentales y teóricos FALSET

Temperatura 190				
Vel.	Tiempo de inyección (sg)	ΔP_m MF (bar)	ΔP_m (bar)	Error ΔP_m (%)
20%	1.25	110,0	96,19	12,6
40%	0.59	111,0	103,76	6,5
60%	0.39	121,0	110,58	8,6
80%	0.28	126,0	113,60	9,8
100%	0.23	131,0	115,12	12,1
Temperatura 210				
Vel.	Tiempo de inyección	ΔP_m MF	ΔP_m	Error ΔP_m
20%	1.35	99,0	90,60	8,5
40%	0.64	109,0	99,22	9,0
60%	0.43	114,0	103,01	9,6
80%	0.30	123,0	105,28	14,4
100%	0.25	127,0	108,30	14,7

6- Obtención de un modelo de viscosidad de polipropileno inyectado con recubrimiento en molde espiral monitorizado

Vel.	Tiempo de inyección	ΔP_m MF	ΔP_m	Error ΔP_m
20%	1.45	100,0	82,55	17,5
40%	0.69	106,0	91,64	13,5
60%	0.47	110,0	93,92	14,6
80%	0.34	114,0	96,95	15,0
100%	0.27	118,0	100,71	14,7

Leyenda	Error entre	0% y 10%
	Error entre	10,01% y 15 %
	Error mayor de	15,01%

Una vez aplicadas las correcciones al modelo, los errores en las caídas de presión disminuyen con respecto al error cometido cuando se calcula con el modelo de corregir. En este caso, el error está en general entre el 6 y el 15%, alcanzándose en un caso puntual un error del 17.5%

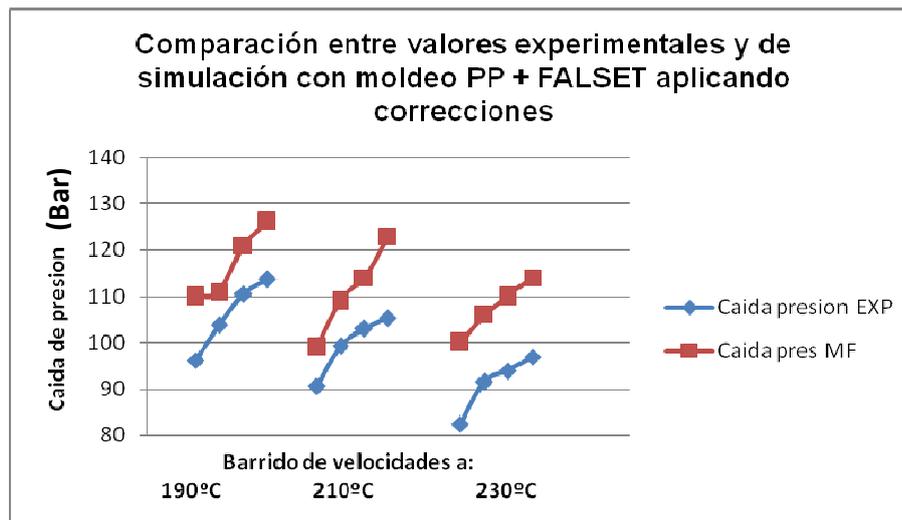


Fig. 6.38 Resultados de ΔP con modelo que si tiene en cuenta capa fría

6.5.4. Aplicación del modelo corregido al cálculo de presiones máximas de llenado con MOLDFLOW

Se realizan inyecciones de espirales cambiando la ubicación de los transductores, e inyecciones de pletinas. En ambos casos se inyectará sobre textil FALSET. Se realizarán simulaciones utilizando el modelo PP + FALSET que se ha dado por bueno, y se compararán los resultados teóricos con los experimentales.

6- Obtención de un modelo de viscosidad de polipropileno inyectado con recubrimiento en molde espiral monitorizado

6.5.4.1. Presión máxima en inyección de espirales

Se colocan los transductores en las posiciones 2 y 3 como en casos anteriores.

Las inyectadas se realizan a 200°, 220° y 240°C y las velocidades seleccionadas para esta comprobación serán intermedias, 40%, 60% y 80% del máximo que da la maquina. Se realizan simulaciones con el modelo viscoso corregido y en la tabla 6.32 se muestra la comparación entre resultados teóricos y experimentales.

Tabla 6.32. Comparación entre valores experimentales y teóricos FALSET

Temperatura		200					
Vel	Tiempo de inyección (sg)	Pres max MF 1 (bar)	Pres max MF 2 (bar)	P max transd1 (bar)	P max transd2 (bar)	Error Trans 1 (%)	Error Trans 2 (%)
40%	0.78	291	82,00	277	94	4,8	-14,6
60%	0.53	259	46,00	232	59	10,4	-28,3
80%	0.38	231	10,50	193	29	16,5	-176,2
Temperatura		220					
Vel	Tiempo de inyección	Pres max MF 1	Pres max MF 2	P max transd1	P max transd2	Error Trans 1	Error Trans 2
40%	0.84	321	125,00	308	128	4,0	-2,4
60%	0.56	280	75,00	266	88	5,0	-17,3
80%	0.40	258	56,00	232	61	10,1	-8,9
Temperatura		240					
Vel	Tiempo de inyección	Pres max MF 1	Pres max MF 2	P max transd1	P max transd2	Error Trans 1	Error Trans 2
40%	0.88	345	156,00	331	159	4,1	-1,9
60%	0.58	303	108,00	290	107	4,3	0,9
80%	0.42	272	73,00	253	72	7,0	1,4

Leyenda Error entre

0% y 10%
10,01% y 15 %
15,01%

En este caso se tienen errores muy elevados para temperaturas bajas. En el caso de 220° y 240°C los errores ya están en general por debajo del 10%.

6.5.4.2. Presión máxima en inyección de pletinas de tres espesores

En este caso se realizarán comprobaciones de presión máxima de llenado. Para ello se realizará un barrido de tres temperaturas (200°, 220°, y 240°) y tres velocidades (40%, 70% y 100% del máximo de la máquina).

Se procederá de la misma manera que cuando se realizó la comprobación con solo plástico, y para los textiles CANDIDE y MOSSA (Fig. 6.39).



Fig. 6.39 Pletinas inyectadas sobre FALSET

En la tabla 6.33 se tiene un resumen de todos los datos obtenidos.

Tabla 6.33. Comprobación del modelo con molde "llavero" FALSET

Temp	Vel.	tiempo maq	P max	P max	P max	P max	P max molde	Pmax iny MF	Error
			maq	maq en	maq	maq en			
			(Bar)	vacio	(Bar)	vacio	Mpa		%
				(Bar)	Rel Areas:	Rel Areas:			
					10 --> Mpa	10 --> Mpa			
200	40	0,58	36	15	36	15	21	23	-8,70
	70	0,37	46	24	46	24	22	24,4	-9,84
	100	0,29	56	33	56	33	23	25,4	-9,45
220	40	0,57	33	14	33	14	19	21,3	-10,80
	70	0,37	43	23	43	23	20	22,8	-12,28
	100	0,29	52	31	52	31	21	23,7	-11,39
240	40	0,58	30	12	30	12	18	19,6	-8,16
	70	0,36	40	21	40	21	19	21,1	-9,95
	100	0,28	50	30	50	30	20	22,1	-9,50

6- Obtención de un modelo de viscosidad de polipropileno inyectado con recubrimiento en molde espiral monitorizado

Los errores en el cálculo de la presión máxima de inyección en este caso están en torno al 10%.

6.5.5. Comparación entre modelo de solo plástico y modelo de PP + FALSET

También para este tejido se realiza una comparación grafica de las curvas de viscosidad obtenidas para solo plástico, y las obtenidas con el modelo PP+FALSET.

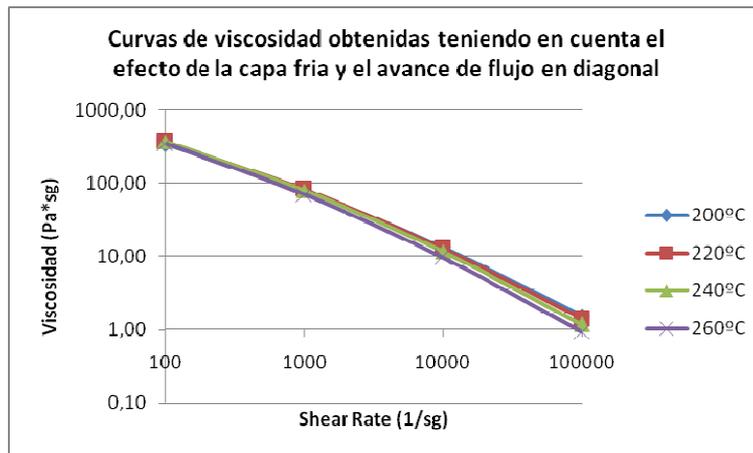


Fig. 6.40 Curvas de viscosidad para PP

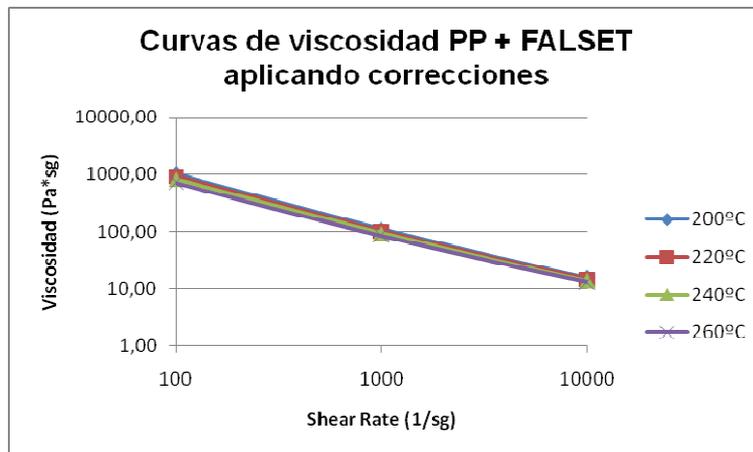


Fig. 6.41 Curvas de viscosidad para PP + FALSET

6- Obtención de un modelo de viscosidad de polipropileno inyectado con recubrimiento en molde espiral monitorizado

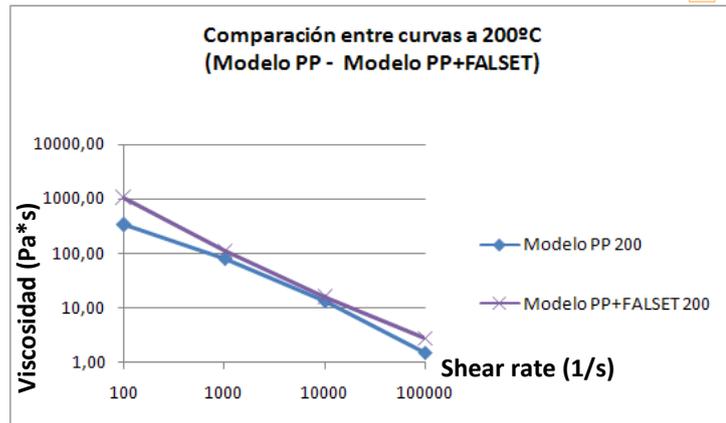


Fig. 6.42 Comparación de curvas PP y PP+FALSET a 200°C

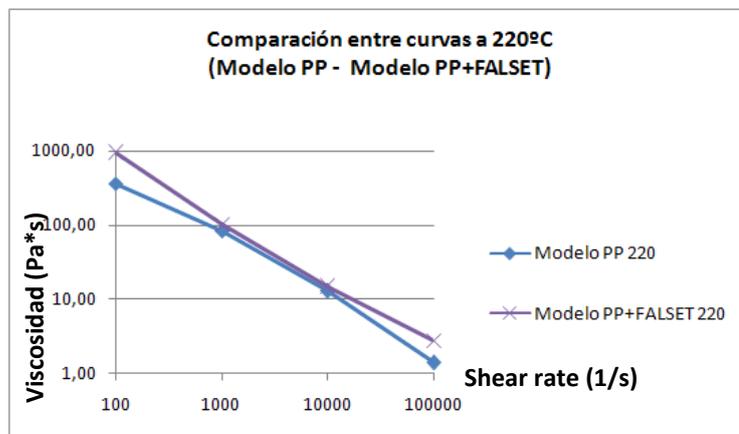


Fig. 6.43 Comparación de curvas PP y PP+ FALSET a 220°C

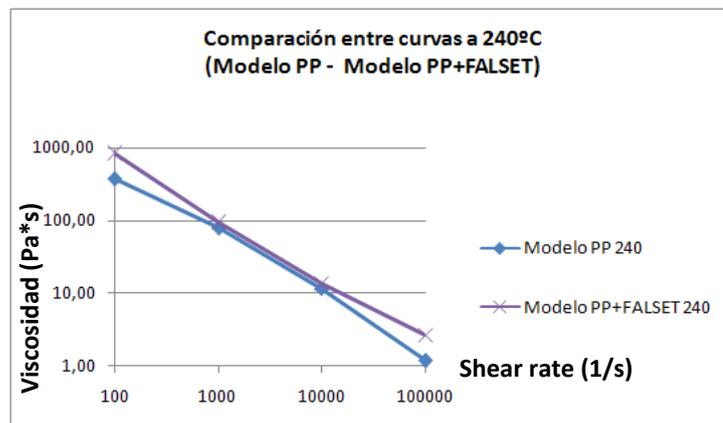


Fig. 6.44 Comparación de curvas PP y PP+ FALSET a 240°C

6- Obtención de un modelo de viscosidad de polipropileno inyectado con recubrimiento en molde espiral monitorizado

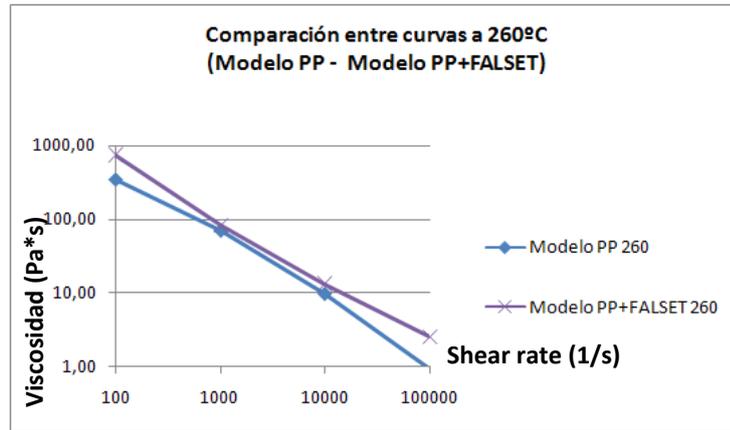


Fig. 6.45 Comparación de curvas PP y PP+ FALSET a 260°C

De nuevo, con los resultados obtenidos del molde espiral y con el ajuste matemático realizado por VISDAT se obtienen curvas con tendencia a convexidad en el caso del modelo PP+FALSET (Fig. 6.41).

Además se vuelve a cumplir que para todas las temperaturas el modelo de PP+FALSET resulta más viscoso que el moldeo de solo PP (Fig. 6.42 a 6.45).

6.6. Comparación entre los distintos modelos viscosos de PP sobre textil

En este último apartado del capítulo, se pretende analizar las diferencias entre los distintos modelos viscosos, para intentar relacionarlas con las diferentes características de cada textil.

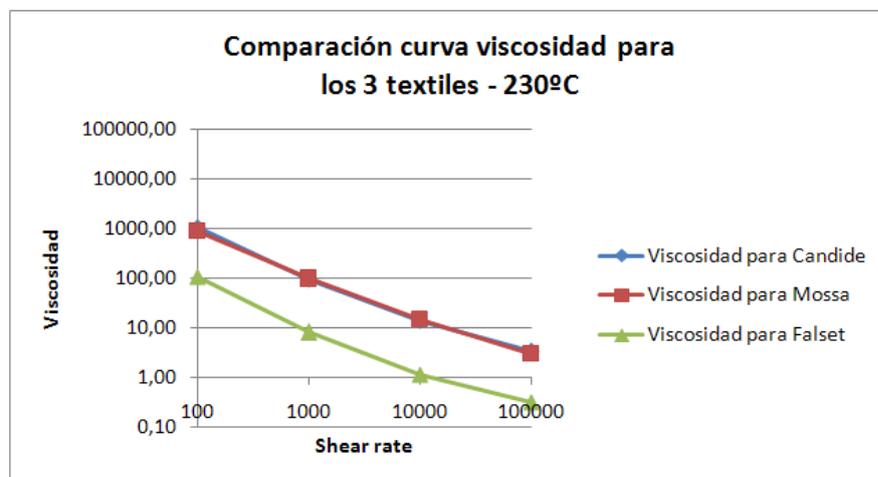
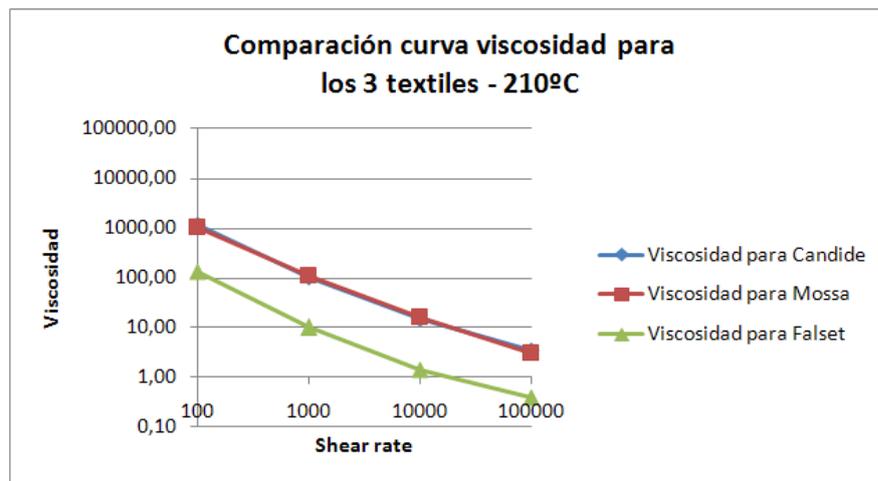
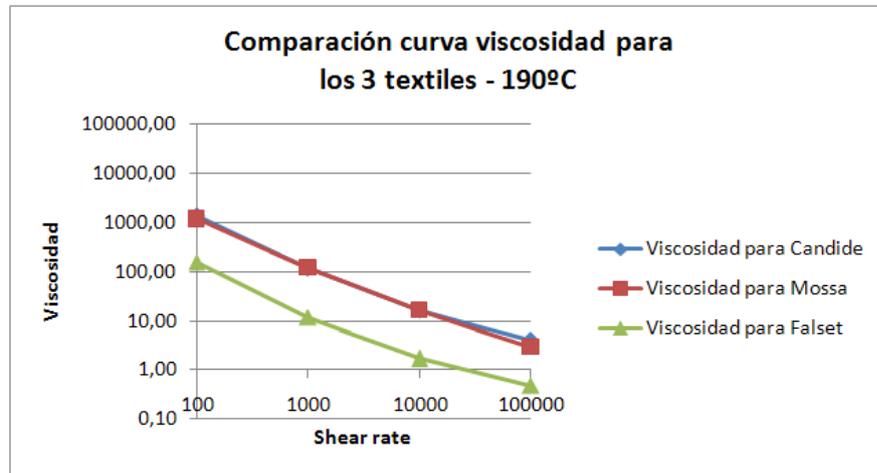
Para ello, se muestran en la tabla 6.34 los distintos valores de viscosidad para CANDIDE, MOSSA y FALSET. Estos valores vienen representados de forma gráfica en las figuras 6.46, 6.47 y 6.48.

Tabla 6.34 Comparación entre viscosidades para los tres textiles

Temperatura °C	Shear rate (sg-1)	η CANDIDE (Pa.sg)	η MOSSA (Pa.sg)	η FALSET (Pa.sg)
190	10	24413,91	15611,30	4210,21
	100	1326,99	1170,70	158,71
	1000	116,89	118,27	11,67
	10000	16,68	16,09	1,67
	100000	3,86	2,95	0,47
210	10	20829,74	12898,52	3562,68
	100	1144,96	1018,00	133,37
	1000	101,99	108,23	9,74
	10000	14,72	15,50	1,39
	100000	3,44	2,99	0,39

6- Obtención de un modelo de viscosidad de polipropileno inyectado con recubrimiento en molde espiral monitorizado

230	10	19017,91	10497,22	2978,30
	100	1057,17	871,93	110,71
	1000	95,23	97,57	8,03
	10000	13,90	14,71	1,14
	100000	3,29	2,99	0,31



Figuras 6.46, 6.47 y 6.48 Comparación entre viscosidades para los tres textiles

En las imágenes se puede ver como la forma de las graficas es muy parecida para los tres textiles, y para cada una de las temperaturas.

Los modelos viscosos de CANDIDE y MOSSA prácticamente coinciden, siendo el modelo de FALSET menos viscoso que los anteriores.

En los textiles, se tienen tres características que podrían estar influyendo en los resultados de viscosidad: Espesor de espuma, tipo de film barrera, y rigidez del textil, esta última sin nombrar hasta ahora, dado que no se ha aplicado tensión al textil.

Este factor podría influir, porque una vez que el molde cierra, y la tela queda pillada, la presión que ejerce el plástico contra el textil para copiar la huella de la espiral, podría variar en función de cuanto más rígido es dicho textil.

En el capítulo 7 de esta tesis, se realiza un análisis acerca de la influencia de la tensión del textil en la caída de presión al inyectar la espiral. Teniendo en cuenta que cuanto más estirado está el textil, más rígido se vuelve, es como estudiar si la rigidez influye en el modelo viscoso. En este apartado, adelantamos la conclusión de que la rigidez del textil no influye en el modelo viscoso.

Entonces, se relacionarán únicamente el espesor de espuma y el tipo de film barrera con los modelos obtenidos:

- El modelo para el par PP-MOSSA es más viscoso que el modelo para PP-FALSET.

Los film barrera son similares en ambos textiles siendo algo menos denso para MOSSA, mientras que la espuma es más gruesa en el MOSSA.

6- Obtención de un modelo de viscosidad de polipropileno inyectado con recubrimiento en molde espiral monitorizado

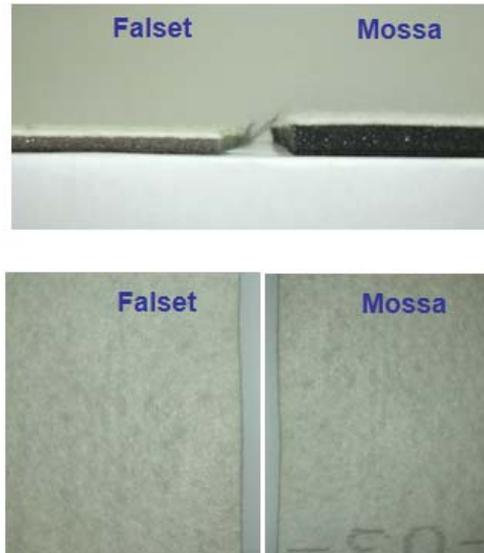


Figura 6.49 Comparación entre FALSET y MOSSA

- El modelo para el par PP-MOSSA es igual de viscoso que el modelo para el par PP-CANDIDE.

Aunque el film barrera de ambos es distinto, siendo más deslizante en el caso de CANDIDE, el espesor de espuma es el mismo para los dos textiles.



Figura 6.50 Comparación entre MOSSA y CANDIDE

- Si se comparan los modelos para los pares PP-CANDIDE y PP-FALSET se observa que el modelo de FALSET es menos viscoso que el de CANDIDE.

6- Obtención de un modelo de viscosidad de polipropileno inyectado con recubrimiento en molde espiral monitorizado

En este caso, se tienen diferentes film barrera y diferentes espesores de espuma.

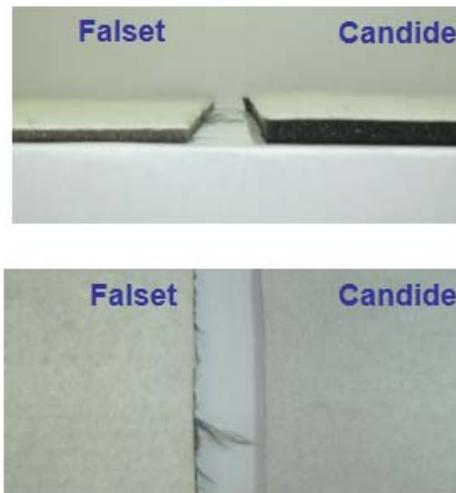


Figura 6.51 Comparación entre FALSET y CANDIDE

De las tres afirmaciones realizadas, se concluye, que a mayor espesor de espuma, mas viscoso resulta el modelo de PP sobre el textil, y que la naturaleza del film barrera no influye en el modelo, aunque si pueda ser importante en cuanto a estudio de traspasos se refiere.

6.7. Verificación del funcionamiento de la aplicación en diferencias finitas para sobreinyección IMD

En este último apartado del capítulo, se realiza una comprobación del funcionamiento en cuanto a cálculos de caída de presión se refiere de la aplicación en diferencias finitas diseñada para cálculos al inyectar sobre recubrimientos decorativos.

Para ello, en la aplicación se modeliza la geometría de espiral que se tiene entre transductores. Esto es una anchura de 2 cm, una longitud de 8.4 cm, y un espesor de 2 mm.

Para cada textil, se introduce el modelo de viscosidad Second Order MOLDFLOW corregido y que se ha dado por bueno.

Los parámetros de inyección serán los propios de cada inyectada.

En la tabla que se muestra a continuación (Tabla 6.35), se detallan los valores de caída de presión entre transductores obtenidos experimentalmente, los obtenidos con MOLDFLOW y los obtenidos con la aplicación.

6- Obtención de un modelo de viscosidad de polipropileno inyectado con recubrimiento en molde espiral monitorizado

Tabla 6.35 Comparación entre caída de presión experimentales, de MOLDFLOW y de aplicación.

		Candide			Mossa			Falset		
		ΔP exp.	ΔP MF	ΔP apl.	ΔP exp.	ΔP MF	ΔP apl.	ΔP exp.	ΔP MF	ΔP apl.
190	20%	110	102	106	103	112	111	96	110	114
	40%	107	1096	118	109	121	126	103	111	122
	60%	109	114	122	112	127	130	110	121	125
	80%	111	118	127	114	133	129	113	126	126
	100%	114	120	130	118	122	132	115	131	132
210	20%	87	93	101	95	105	111	90	99	109
	40%	92	101	105	100	113	119	99	109	116
	60%	100	105	111	103	120	122	103	119	120
	80%	102	108	115	105	123	126	105	123	125
	100%	103	120	113	108	128	129	108	127	129
230	20%	83	88	95	85	99	101	82	100	101
	40%	84	98	97	90	108	108	91	106	108
	60%	90	101	106	95	113	117	94	110	114
	80%	93	111	114	98	116	116	97	114	121
	100%	97	109	120	102	124	126	100	118	122

Gráficamente los valores de la tabla se muestran en las figuras 6.52, 6.53 y 6.54.

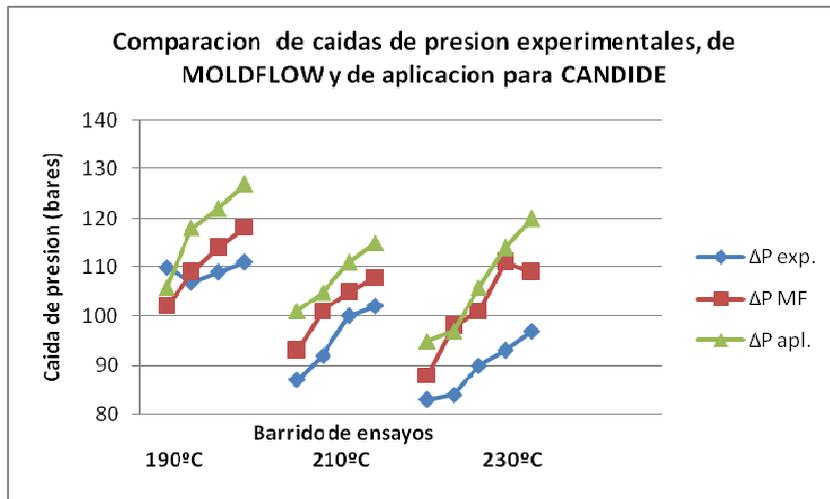


Figura 6.52 Comparación entre caídas de presión experimentales, MoldFlow y de aplicación para CANDIDE

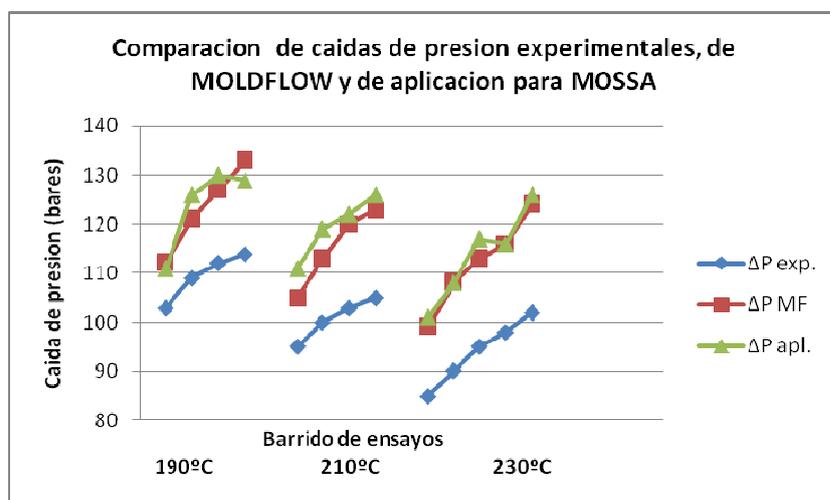


Figura 6.53 Comparación entre caídas de presión experimentales, MoldFlow y de aplicación para MOSSA

6- Obtención de un modelo de viscosidad de polipropileno inyectado con recubrimiento en molde espiral monitorizado

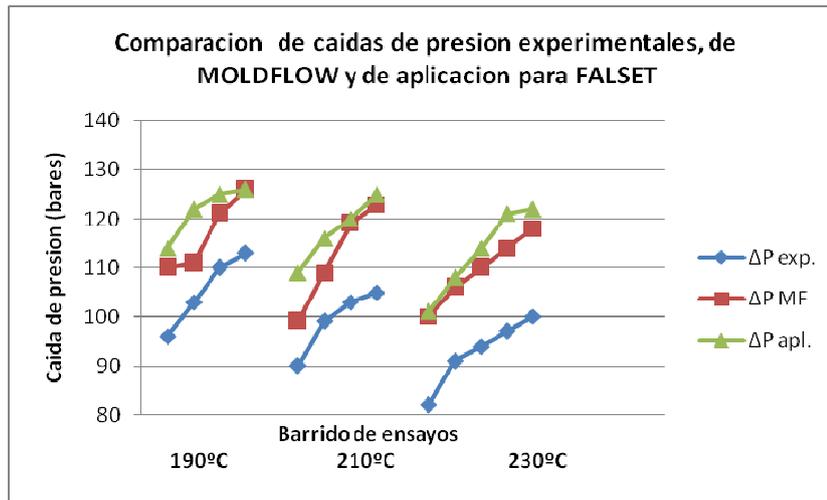


Figura 6.54 Comparación entre caídas de presión experimentales, MoldFlow y de aplicación para FALSET

Como se observa en la tabla y las graficas, y teniendo en cuenta que en MOLDFLOW se toma como hipótesis que la temperatura en una de las caras del molde es la temperatura de inyección para simular la presencia de textil, los resultados de caída de presión obtenidos con MODLFLOW para la inyección sobre textil, son prácticamente iguales que los obtenidos con la nueva aplicación. Las diferencias en los cálculos se encuentran siempre por debajo del 5% excepto en algún caso puntual en el que se alcanzan diferencias de un 9%.

Nota: Todos los archivos obtenidos de la cadena de medida, graficas de presión experimentales, graficas de presión teóricas obtenidas con MOLDFLOW y distribuciones de presión teóricas obtenidas con MOLDFLOW para cada CANDIDE, MOSSA Y FALSET, pueden ser consultados en los ANEXOS 2, 3 y 4 respectivamente, de la presente tesis.

7. Caracterización de traspasos en los tres textiles estudiados

Traspaso es un defecto propio de la inyección sobre textil que se da cuando el plástico sobreinyectado traspasa el tejido hasta llegar a la superficie estética del mismo.

Cuando en la inyección de una pieza se producen traspasos, automáticamente dicha pieza es rechazada. La solución es intentar eliminar el defecto por el método de prueba y error, cambiando parámetros de máquina, y aumentando el coste de producción.

Por tanto, es de suma importancia poder caracterizar estos traspasos, para prever en qué condiciones de inyección se va a producir este defecto, y así optimizar el ciclo para disminuir al máximo las piezas rechazadas.

Hasta el momento, y para obtener los modelos reológicos de plástico fluyendo sobre textil, se ha inyectado sobre un tejido sin tensionar y en unas condiciones de inyección tales, que no se ha producido traspaso. Esta condición ha sido fundamental para que el método de obtención del modelo fuera fiable.

En este capítulo, se busca todo lo contrario. Para poder caracterizar el traspaso, se irá tensionando el textil, y se irán variando los

parámetros de inyección hasta conseguir un traspaso. La mínima tensión, la mínima temperatura de inyección y la mínima presión en el punto en el que se produce el traspaso, caracterizarán este defecto.

7.1. Descripción del sistema experimental utilizado

El sistema experimental se mantiene tal y como se ha descrito en apartados anteriores, pero en este caso, se va a utilizar el marco tensor para aplicar tensión al textil, por lo que se muestra a continuación una breve explicación de su funcionamiento.

Los ángulos 1 y 2 se atornillan al molde (Fig. 7.1), aprovechando para atornillar uno de ellos el agujero del cáncamo. Una vez que está montada la parte A del marco sobre el molde se debe, montar la parte B del marco sobre la parte A, con ayuda de las piezas auxiliares que se muestran en la Fig 7.2.

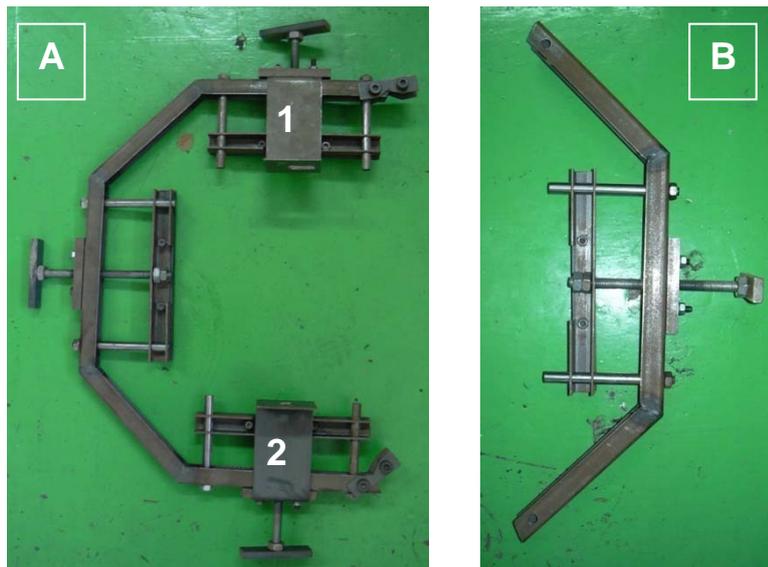


Fig. 7.1 Piezas A y B del marco tensor

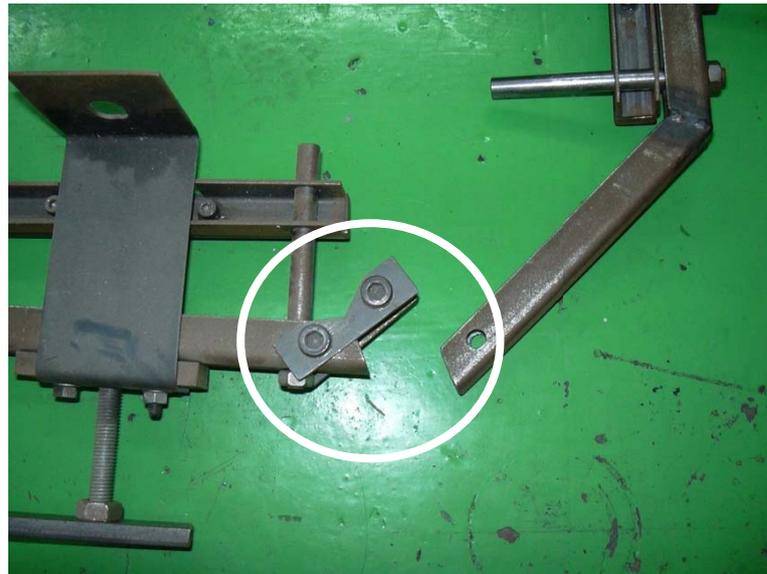


Fig. 7.2 Pieza auxiliar para montar el marco

De esta manera, el marco completamente montado y sin acoplar al molde, quedaría como se muestra en la Fig. 7.3. La tela se coloca en el marco sujeta por las 4 mordazas que se señalan en la Fig. 7.3.

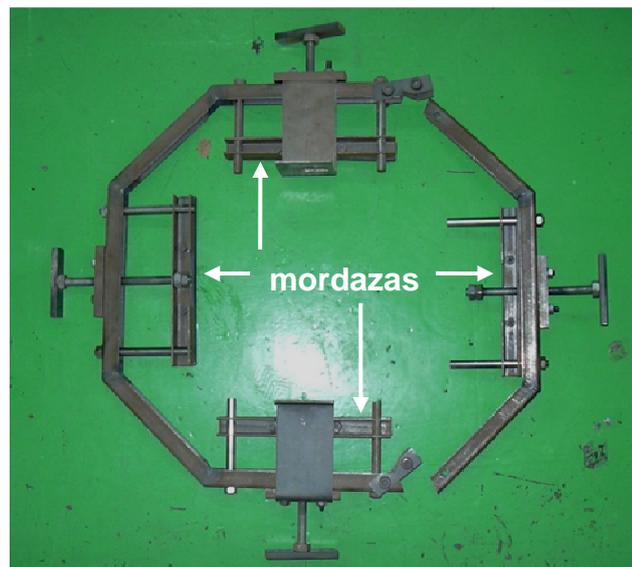


Figura 7.3 Marco montado, pero sin colocar en el molde

Estas mordazas consisten en un elemento metálico o perfil en U, a través del cual, pasan dos guías, para evitar que dicha mordaza cabecee al tensar la tela. A este elemento metálico va roscado un tornillo de potencia que servirá para tensar la tela. Dependiendo del número de vueltas que se le dé al tornillo, la tela tendrá una tensión u otra. Gracias a que el marco tiene 4 mordazas, con sus correspondientes tornillos de

7- Caracterización de traspasos en los tres textiles estudiados

potencia, la tela se podrá tensar en dirección vertical, en dirección horizontal, o en ambas direcciones a la vez.

La relación entre el giro de los tornillos de potencia y la deformación del textil es la siguiente:

Tabla 7.1 Número de vueltas de tornillo y deformación en textil

Nº Vueltas	Estiramiento (mm)	Deformación (%)
5	7.5	3
10	15	6
20	30	11
30	45	17
40	60	22

Para colocar la tela, la mordaza, además de tener el perfil en U al que llegan las guías y el tornillo de potencia, cuenta con una chapa, que se une a dicho perfil mediante dos tornillos con tuerca y contratuerca. La tela ira colocada entre esta chapa, y el perfil en U para apretar la chapa contra el perfil en U de la mordaza y así fijar perfectamente el textil (Fig 7.4 y Fig.7.5).

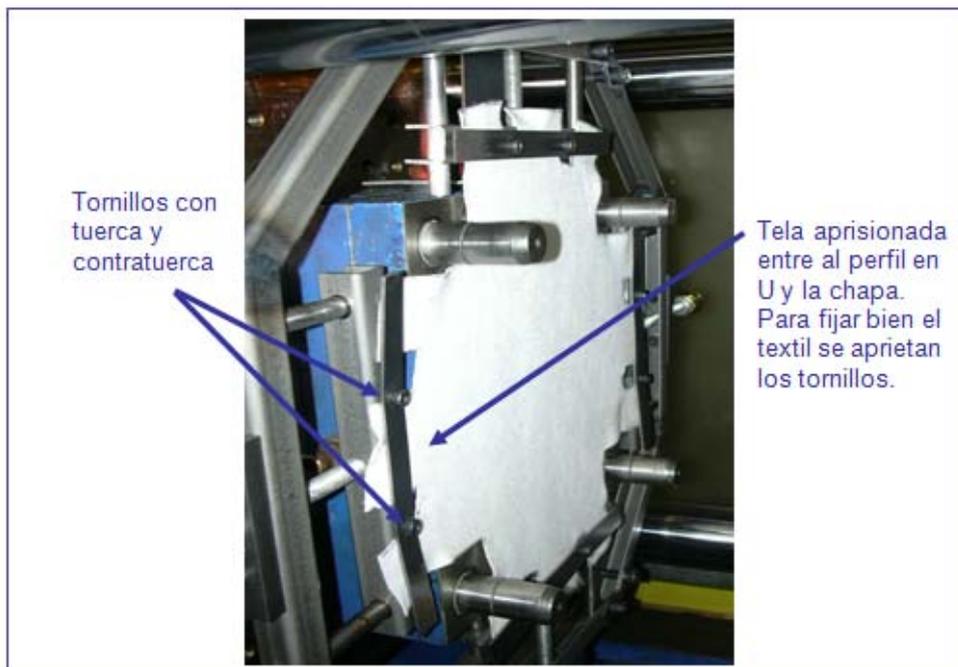


Figura 7.4 Marco tensor montado en el molde y con textil colocado

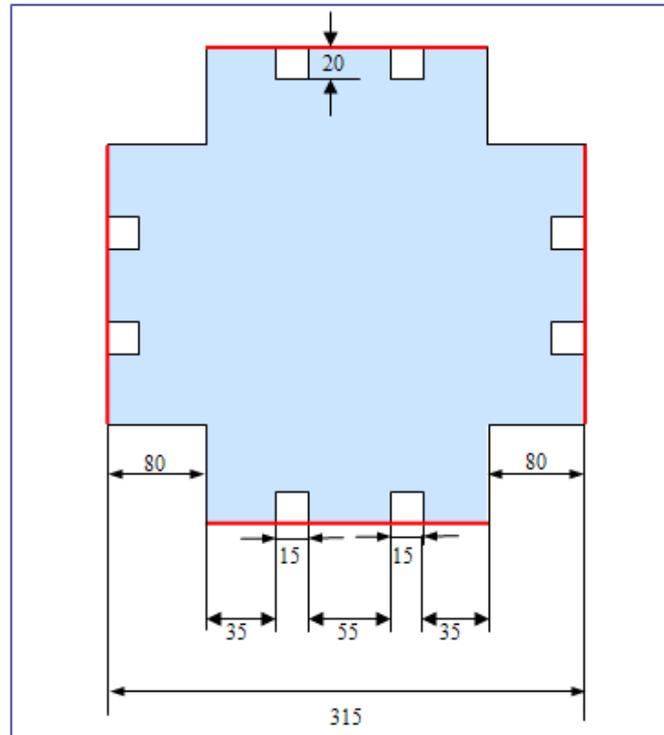


Figura 7.5 Plantilla de textil para colocar en el marco tensor.

7.2. Cálculo de deformaciones locales del textil de la espiral inyectada

En este apartado se calcula la deformación local del textil que se tiene en las esquinas de la espiral dado que se ha observado que son los puntos críticos en los que aparece traspaso al inyectar, por lo tanto son las zonas en las que los niveles de deformación de textil son mayores.

La deformación de un textil cuando se inyecta un molde cualquiera se debe a varios efectos:

- La deformación inicial provocada con el marco tensor que sujeta la tela
- La deformación posterior por el cierre del molde
- La deformación debida al paso del plástico para llenar la cavidad.

En el caso que nos ocupa, la deformación inicial provocada por el marco tensor, viene dada en la tabla 7.1 y depende del número de vueltas que demos a los tornillos de tensado de la tela.

En cuanto a la deformación por cierre del molde, macho y cavidad no producen deformación, dado que el macho es completamente plano, es decir, la forma de la espiral la da el plástico al entrar en la cavidad.

Por tanto cuando se inyectan espirales sobre textil, sin que este se haya tensado con el marco, la deformación local es solo debida al paso del plástico, y se va a calcular mediante un método iterativo y exclusivamente mediante geometría.

Se va a partir de la hipótesis, de que el plástico según avanza, va fijando el textil a la cavidad en la parte central del canal de la espiral, y que según avanza el flujo a lo largo de las espiral va llenado las esquinas.

La manera de calcular la deformación del textil en las esquinas por el paso del plástico será iterando por medio de triángulos y por medio de arcos.

7.2.1. Cálculo de deformación local de textil en espiral por medio de triángulos

Los cálculos se han hecho solo con la mitad del canal, asumiendo que la deformación en las dos esquinas es la misma debido a la simetría de dicho canal. En este caso el cálculo geométrico se ha hecho utilizando triángulos para iterar.

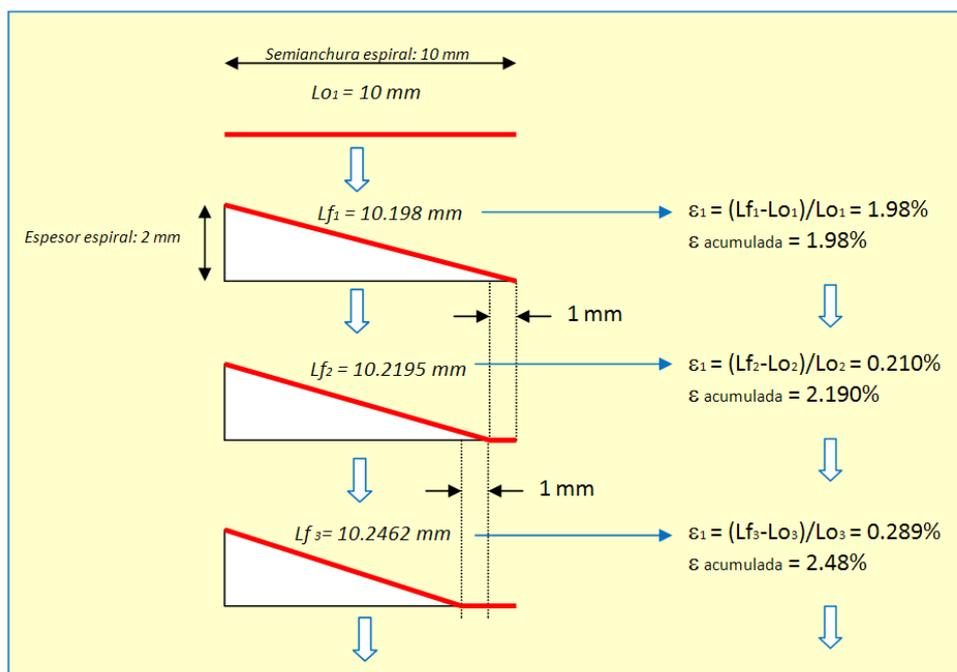


Figura 7.6. Triángulos disminuyendo de 1 mm en 1 mm

7- Caracterización de traspasos en los tres textiles estudiados

7.2. Tabla Valores de deformación acumulada calculada con triángulos

Long inicial	Se convierte en	diferencia	deformación	En %	Deformación acumulada
10	10.198	0.198	0.0198	1.98	1.98
10.198	10.2195	0.0215	0.0021	0.21	2.19
9.2195	9.2462	0.0267	0.0028	0.28	2.48
8.2462	8.2801	0.0339	0.0041	0.41	2.89
7.2801	7.3245	0.0444	0.0060	0.60	3.50
6.3245	6.3851	0.0606	0.0095	0.95	4.45
5.3851	5.4721	0.087	0.0161	1.61	6.07
4.4721	4.6055	0.1334	0.0298	2.98	9.05
3.6055	3.8284	0.2229	0.0618	6.18	15.24
2.8284	4	1.1716	0.414	41.4	56.66

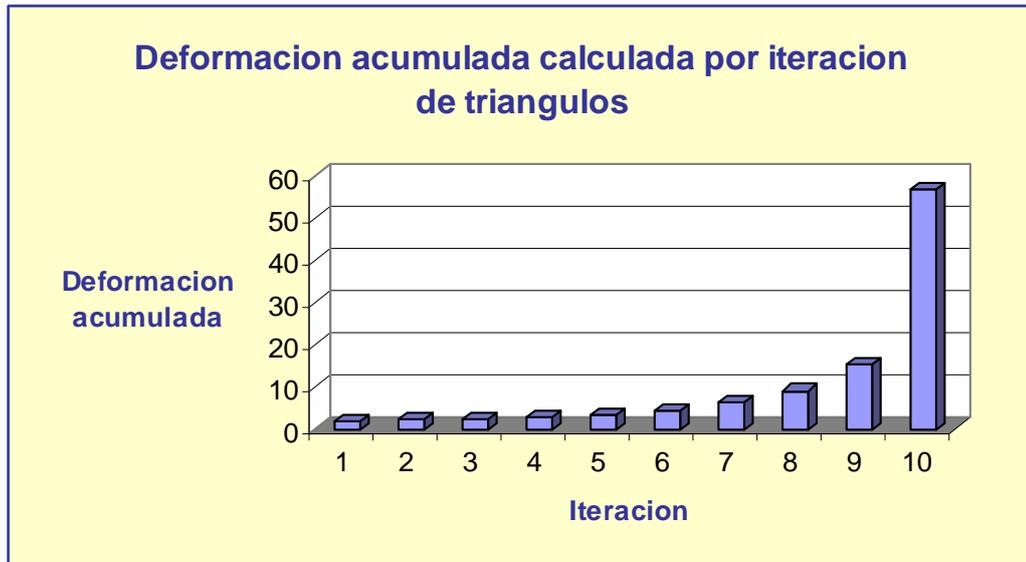


Figura 7.7 Representación gráfica de valores de deformación acumulada calculada con triángulos

7.2.2. Calculo de deformación local de textil en espiral por medio de arcos

De la misma manera se toma la mitad del canal para hacer los cálculos pero esta vez utilizando arcos para iterar.

7- Caracterización de traspasos en los tres textiles estudiados

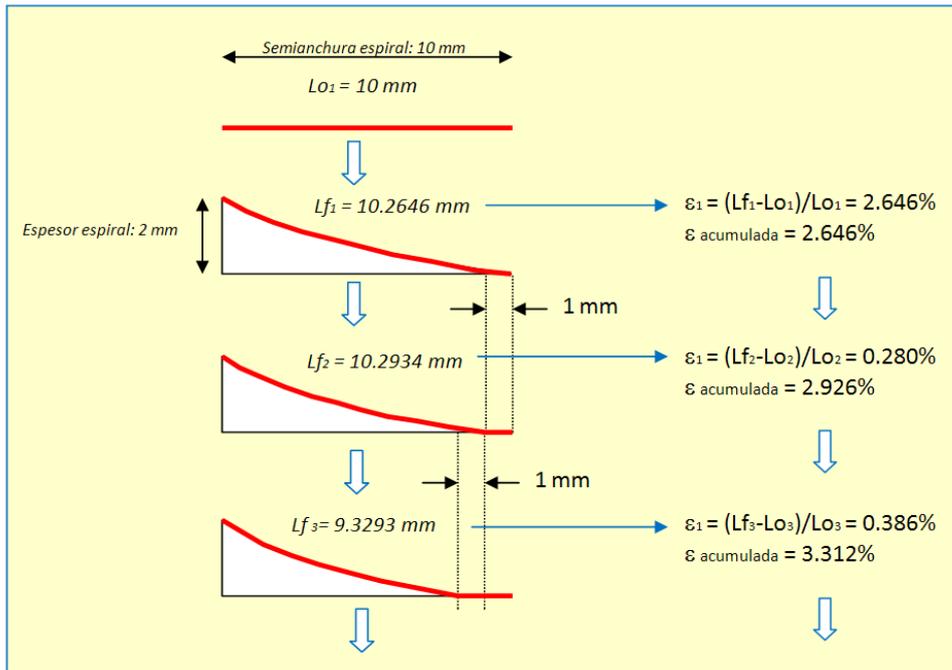


Figura 10.11. Arcos disminuyendo de 1 mm en 1 mm

7.3. Tabla Valores de deformación acumulada calculada con arcos

Long inicial	Se convierte en	diferencia	deformación	En %	Deformación acumulada
10	10.2646	0.2646	0.0264	2.646	2.64
10.2646	10.2934	0.288	0.0028	0.28	2.92
9.2934	9.3293	0.0359	0.0038	0.38	3.31
8.3293	8.3749	0.0456	0.0054	0.54	3.86
7.3749	7.435	0.0601	0.0081	0.81	4.67
6.435	6.5176	0.0826	0.0128	1.28	5.95
5.5176	5.6365	0.1189	0.0215	2.15	8.11
4.6365	4.822	0.1855	0.040	4.00	12.11
3.822	4.1416	0.3196	0.083	8.36	20.47
3.1416	4	0.8584	0.273	27.32	47.80

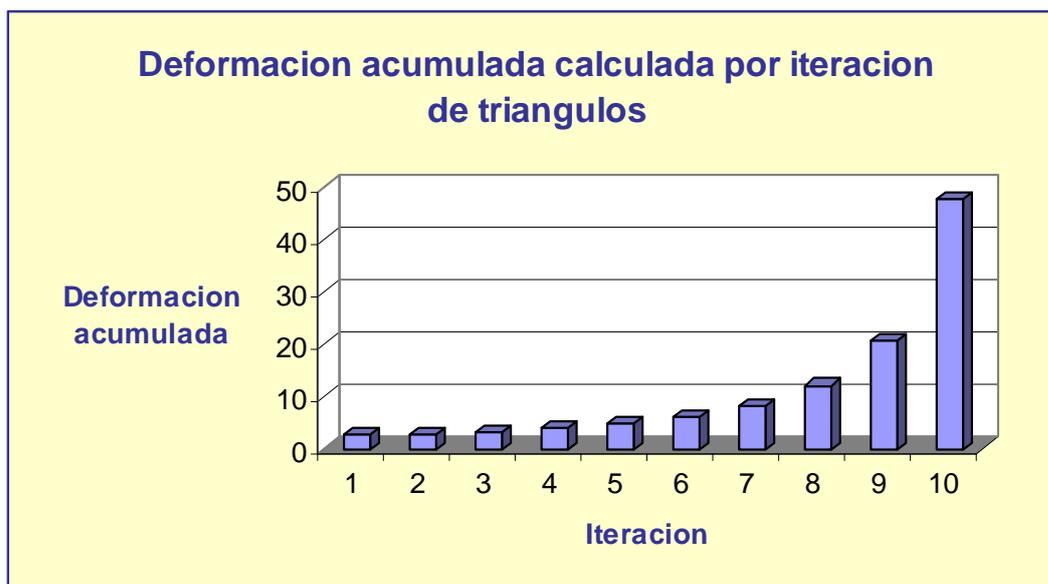


Figura 7.7 Representación gráfica de valores de deformación acumulada calculada con arcos

Se puede concluir por tanto, que la deformación local en las esquinas o bordes de la espiral estará próxima al 50%

7.3. Metodología del proceso experimental

En este capítulo, lo que se pretende es relacionar la temperatura de flujo, la presión alcanzada en el punto de traspaso y la tensión de la tela, con la aparición de traspaso.

En el caso de las espirales, y como se ha visto en el apartado anterior, aunque la tela no haya sido tensada inicialmente con el marco, siempre tendrá una deformación que provoca el avance de plástico, y esta deformación máxima se localiza en los cantos de la espiral.

A priori cabe esperar que el traspaso se dé en zonas de presiones altas, con el material muy fluido, y donde la tela está más tensa. Por tanto, en las espirales, el traspaso aparecería en los cantos, cuanto más alta es la temperatura de material, y en las zonas próximas al punto de inyección, que es donde las presiones son más elevadas.

Por ello, los pasos seguidos para caracterizar los traspasos en cada textil será:

- Realizar inyectadas a varias temperaturas, dentro del rango recomendado para inyectar polipropileno. Las temperaturas seleccionadas son 190°, 210° y 230°C.
- Para cada temperatura, se inyectarán las espirales programando distintas presiones de corte. Con esto se consigue tener un barrido de presiones de llenado. Las presiones de corte seleccionadas son 30, 40 y 50 bares hidráulicos. Cuanto mayor es la presión de corte, más larga es la espiral, y por tanto mayor la presión de inyección.
- Para terminar de acotar los parámetros que condicionan el traspaso, al barrido de temperaturas y presiones de corte, se aplicarán distintos valores de tensión de la tela. Inicialmente la tensión de la tela será la que genera el avance de material, y se irá tensionando la misma con el marco hasta el momento en el que se produzca el primer traspaso. Se aplicará a la tela la misma tensión

7- Caracterización de traspasos en los tres textiles estudiados

- en vertical y horizontal, para que el estiramiento sea totalmente simétrico, y todos los poros de la tela crezcan por igual.
- Cada combinación de parámetros se repetirá tres veces para comprobar la repetitividad del traspaso.
 - Para cada inyectada se realizará una simulación de inyección en MODFLOW utilizando los modelos reológicos calculados para CANDIDE, MOSSA y FALSET. De esta manera se podrá saber la presión alcanzada en el molde justo en el lugar en el que se ha producido el traspaso.
 - Reuniendo los valores de presión, temperatura y tensión en los que se produce traspaso, se elaborará un ábaco para cada textil que nos indicará que combinaciones de parámetros presión - temperatura - tensión nos aseguran no tener defecto por traspaso en una pieza.

7.4. Caracterización de los traspasos en CANDIDE

Para el barrido de temperaturas, presiones y tensiones propuesto en la metodología, se obtienen los traspasos que se muestran en la tabla 7.4.

7.4 Condiciones en las que aparece traspaso para CANDIDE

	190°C						210°C						230°C					
	0%	6%	12%	24%	30%	36%	0%	6%	12%	24%	30%	36%	0%	6%	12%	24%	30%	36%
30	No	No	No	No	No	Si	No	No	No	No	Si	(*)	No	No	No	Si	(*)	(*)
40	No	No	No	No	Si	(*)	No	No	No	Si	(*)	(*)	Si	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)
50	No	No	No	Si	(*)	(*)	No	No	Si	(*)	(*)	(*)	Si	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)

(*) *Combinación de parámetros que no ha sido necesario comprobar, dado que ya se ha producido traspaso con anterioridad.*

Una vez detectadas las combinaciones de parámetros con las que se produce traspaso, se preparan casos de MODFLOW, que nos puedan indicar el nivel de presión que se tiene en los puntos en los que se produce traspaso.

Para correr estos casos, se utilizará el modelo reológico obtenido para el par PP + CANDIDE.

Antes de ello se comprueba si el hecho de tener el textil tensionado influye en el modelo reológico calculado.

Para ello se realizan inyecciones sin variar los parámetros de inyección, pero si tensionando cada vez más el textil, se registra la presión de inyección con los dos transductores que van montados en el molde espiral (a 60 y a 104 mm de la entrada), y se calcula la caída de presión entre transductores que se da a lo largo de todo lo que dura el ciclo.

Las pruebas realizadas se enumeran a continuación:

Temp. inyección: 190°C – Vel. de inyección: 25% - Presión de corte: 30 bar – Tensión: 6%

Temp. inyección: 190°C – Vel. de inyección: 25% - Presión de corte: 30 bar – Tensión: 12%

Temp. inyección: 190°C – Vel. de inyección: 25% - Presión de corte: 30 bar – Tensión: 24%

Temp. inyección: 190°C – Vel. de inyección: 25% - Presión de corte: 30 bar – Tensión: 36%

La Fig. 7.8. representa la caída de presión entre transductores para los casos indicados. Las cuatro curvas obtenidas son muy similares, con pequeñas variaciones de 1 ó 2 bares (arriba o abajo) debidos a ruidos. Por tanto se puede concluir que la tensión de la tela, no influye en el modelo reológico PP + CANDIDE, y en general en los modelos PP + textil.

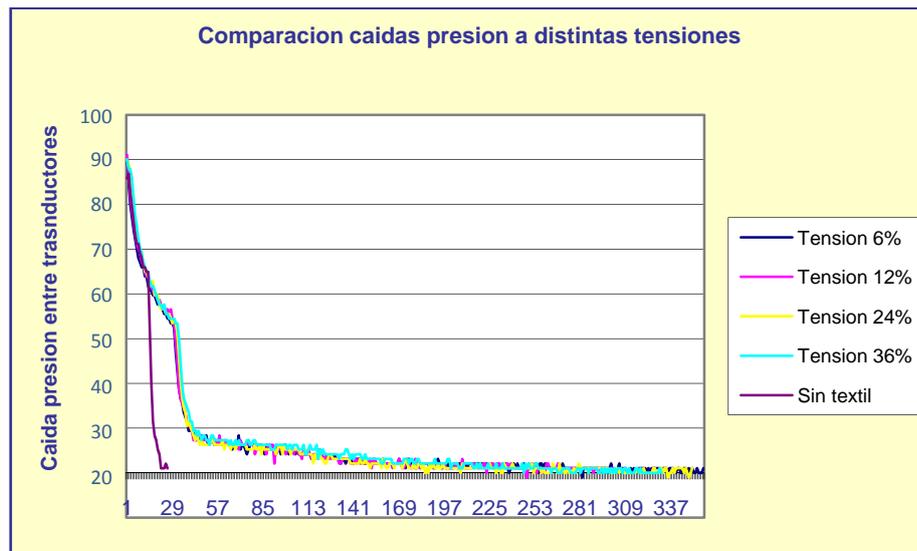


Figura 7.8 Representación gráfica de las caídas de presión según distintas tensiones de textil

Numéricamente los valores se representan en la siguiente tabla 7.5.

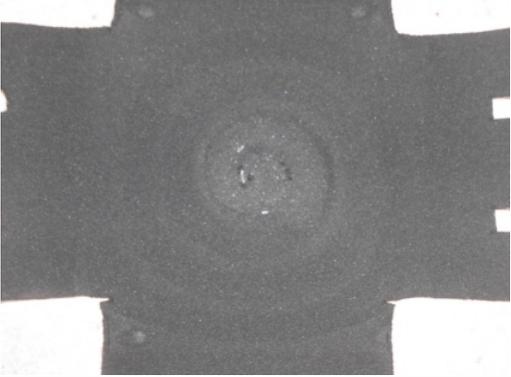
7- Caracterización de traspasos en los tres textiles estudiados

Tabla 7.5 Caídas de presión entre transductores con distintas tensiones de textil

	Deform. 6%	Deform. 12%	Deform. 24%	Deform. 36%
Caída de presión*	97.993	99.456	97.773	97.993

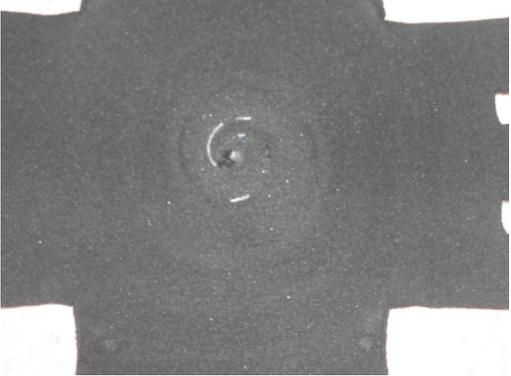
* Caída de presión entre transductor 1 y transductor 2 en el instante en el que el segundo transductor comienza a medir.

Como el modelo viscoso es válido para textiles tensionados, los casos de MOLDFLOW se prepararán con los modelos reológicos obtenidos en capítulos anteriores. Para el caso de Candide, los casos que habrá que analizar serán los que se enumeran a continuación.

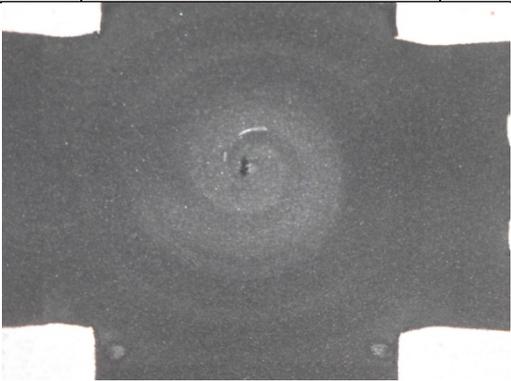
Temperatura de inyección	Presión de corte	Tensión del textil CANDIDE
190°C	30 bar	36%
		
Parámetros a programar en MOLDFLOW		
Temperatura de inyección	Caudal dentro de molde (*)	Tiempo de inyección (**)
190°C	17 cc/sg	0.7 sg

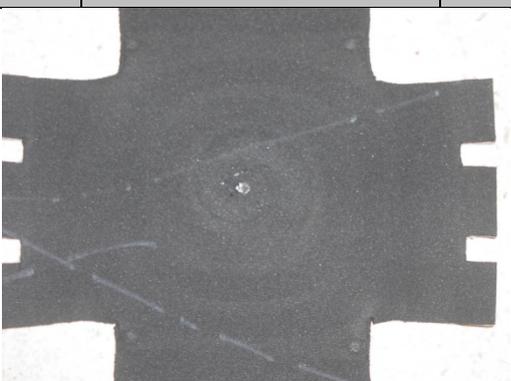
(*) Caudal dentro de molde calculado en base a lo que tarda en llegar el flujo del primer al segundo transductor

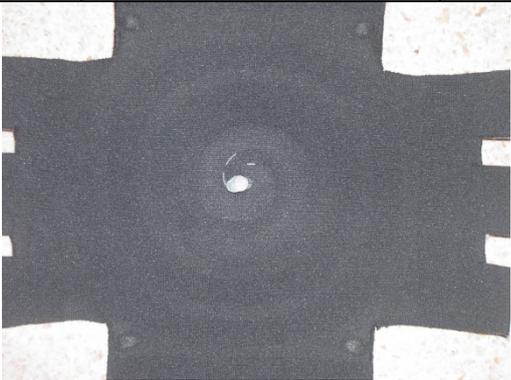
(**) Tiempo de inyección obtenido de monitor de máquina al realizar las inyectadas

Temperatura de inyección	Presión de corte	Tensión del textil CANDIDE
190°C	40 bar	30%
		
Parámetros a programar en MOLDFLOW		
Temperatura de inyección	Caudal dentro de molde (*)	Tiempo de inyección (**)
190°C	17 cc/sg	0.86 sg

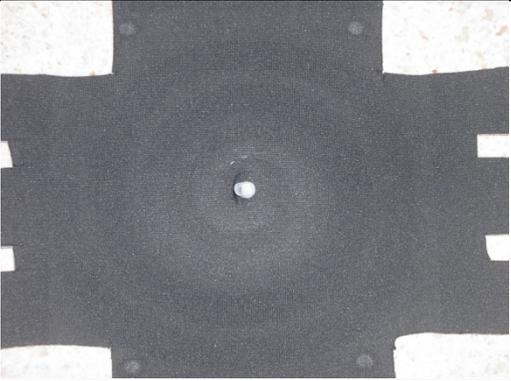
7- Caracterización de traspasos en los tres textiles estudiados

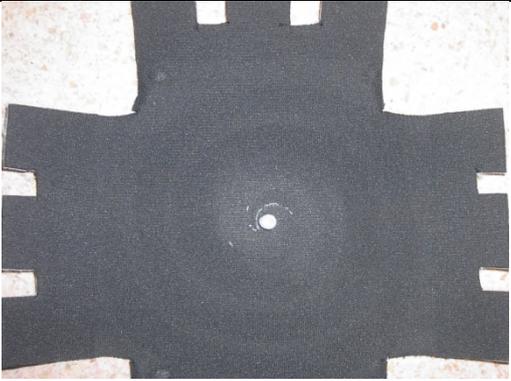
Temperatura de inyección	Presión de corte	Tensión del textil CANDIDE
190°C	50 bar	24%
		
Parámetros a programar en MOLDFLOW		
Temperatura de inyección	Caudal dentro de molde (*)	Tiempo de inyección (**)
190°C	17 cc/sg	1.06 sg

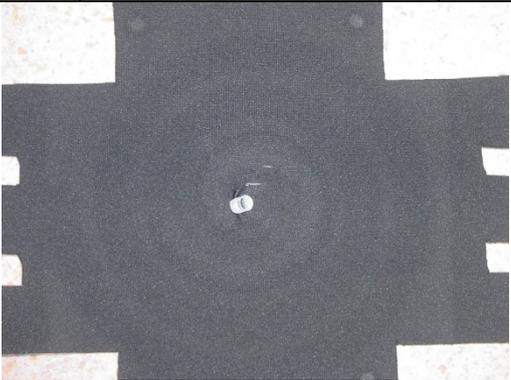
Temperatura de inyección	Presión de corte	Tensión del textil CANDIDE
210°C	30 bar	30%
		
Parámetros a programar en MOLDFLOW		
Temperatura de inyección	Caudal dentro de molde (*)	Tiempo de inyección (**)
210°C	17.3 cc/sg	0.72 sg

Temperatura de inyección	Presión de corte	Tensión del textil CANDIDE
210°C	40 bar	24%
		
Parámetros a programar en MOLDFLOW		
Temperatura de inyección	Caudal dentro de molde (*)	Tiempo de inyección (**)
210°C	17.3 cc/sg	0.91 sg

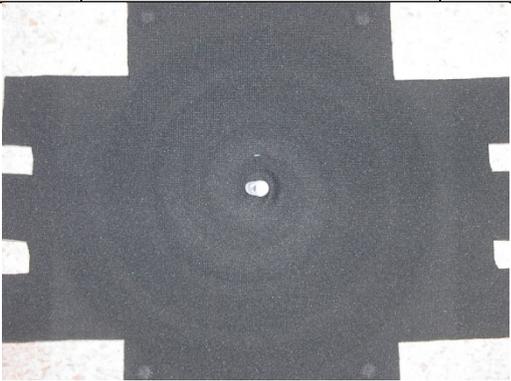
7- Caracterización de traspasos en los tres textiles estudiados

Temperatura de inyección	Presión de corte	Tensión del textil CANDIDE
210°C	50 bar	12%
		
Parámetros a programar en MOLDFLOW		
Temperatura de inyección	Caudal dentro de molde (*)	Tiempo de inyección (**)
210°C	17.3 cc/sg	1.05 sg

Temperatura de inyección	Presión de corte	Tensión del textil CANDIDE
230°C	30 bar	24%
		
Parámetros a programar en MOLDFLOW		
Temperatura de inyección	Caudal dentro de molde (*)	Tiempo de inyección (**)
230°C	17.7 cc/sg	0.75 sg

Temperatura de inyección	Presión de corte	Tensión del textil CANDIDE
230°C	40 bar	0%
		
Parámetros a programar en MOLDFLOW		
Temperatura de inyección	Caudal dentro de molde (*)	Tiempo de inyección (**)
230°C	17.7 cc/sg	0.97 sg

7- Caracterización de traspasos en los tres textiles estudiados

Temperatura de inyección	Presión de corte	Tensión del textil CANDIDE
230°C	50 bar	0%
		
Parámetros a programar en MOLDFLOW		
Temperatura de inyección	Caudal dentro de molde (*)	Tiempo de inyección (**)
230°C	17.7 cc/sg	1.12 sg

Según los casos calculados con MODFLOW (Fig. 7.9), se obtienen valores de presión en los puntos en los que se produce traspaso, según se detalla en la tabla 7.6.

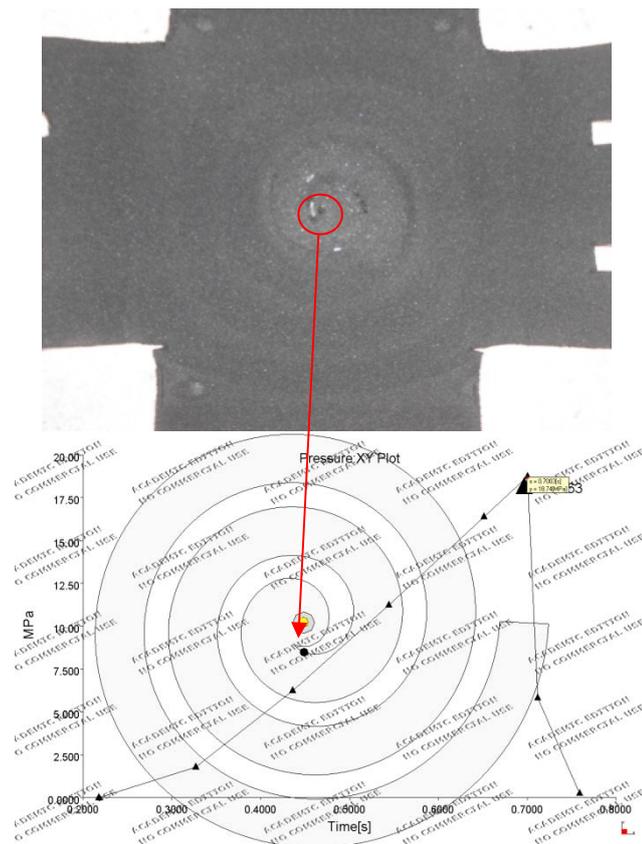


Fig. 7.9 Obtención de valore de presión con MOLDFLOW en punto de traspaso

7- Caracterización de traspasos en los tres textiles estudiados

Tabla 7.6 Valores de presión en los puntos en los que se produce traspaso

Combinación de parámetros reales	Parámetros programados en MOLDFLOW	Presión alcanzada en el punto de traspaso de menor presión (Bar)
190°C – 30bar – 36%	190°C – 17 cc/sg – 0.7sg	175
190°C – 40bar – 30%	190°C – 17 cc/sg – 0.86sg	248
190°C – 50bar – 24%	190°C – 17 cc/sg – 1.06sg	351
210°C – 30bar – 30%	210°C – 17.3 cc/sg – 0.72sg	205
210°C – 40bar – 24%	210°C – 17.3 cc/sg – 0.91sg	294
210°C – 50bar – 12%	210°C – 17.3 cc/sg – 1.05sg	327
230°C – 30bar – 12%	230°C – 17.7 cc/sg – 0.75sg	185
230°C – 40bar – 0%	230°C – 17.7 cc/sg – 0.97sg	283
230°C – 50bar – 0%	230°C – 17.7 cc/sg – 1.12sg	356

Los resultados obtenidos, se plasman en unas graficas, que indicarán la zona segura de trabajo para evitar traspasos (Fig. 7.10)

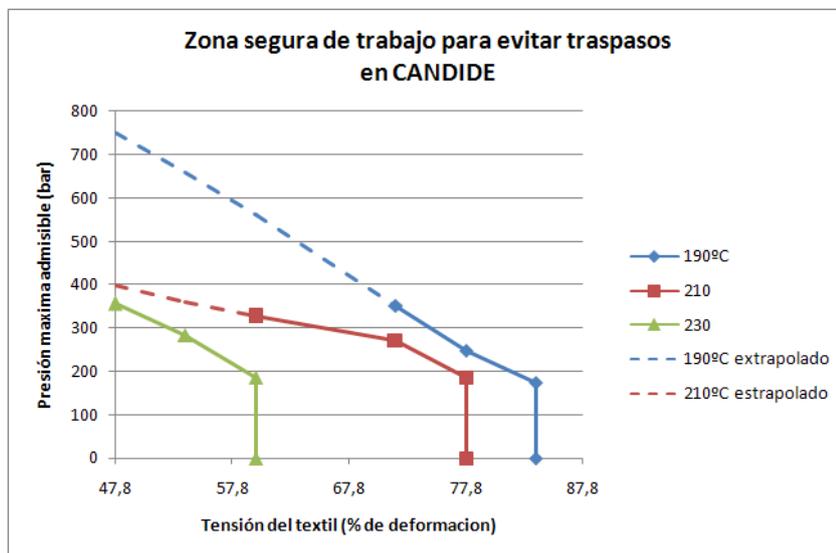


Fig. 7.10 Zona segura de trabajo para evitar traspasos en CANDIDE inyectando PP

Sobre estas gráficas es importante destacar:

- Que son graficas características del par PP + CANDIDE. Para cada nueva pareja de plástico + textil, se debe calcular el modelo reológico, y caracterizar los traspasos
- Que en las graficas, el nivel de tensión que representa, es aquel que engloba tanto la deformación aplicada con el marco tensor, como la deformación local que se produce por las entrada de plástico en el molde y que se calculó en el apartado 7.2.2 de este capítulo

7- Caracterización de traspasos en los tres textiles estudiados

- Que tanto para las temperaturas de 190°C, como de 210°C, se ha extrapolado el valor de presiones que se deberían alcanzar para obtener traspaso con tensiones de textil bajas. Esta extrapolación se ha calculado manteniendo la pendiente de la curva obtenida experimentalmente.

7.5. Caracterización de los traspasos en MOSSA

De la misma manera que para el textil CANDIDE, se repite el barrido de temperaturas, presiones y tensiones propuesto en la metodología, y se obtienen los siguientes traspasos en MOSSA (tabla 7.7.)

7.7 Condiciones en las que aparece traspaso para MOSSA

	190°C						210°C						230°C					
	0%	6%	12%	24%	30%	36%	0%	6%	12%	24%	30%	36%	0%	6%	12%	24%	30%	36%
30	No	No	No	Si	(*)	(*)	No	No	Si	(*)	(*)	(*)	No	Si	(*)	(*)	(*)	(*)
40	No	No	Si	(*)	(*)	(*)	No	Si	(*)	(*)	(*)	(*)	Si	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)
50	No	Si	(*)	(*)	(*)	(*)	Si	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)

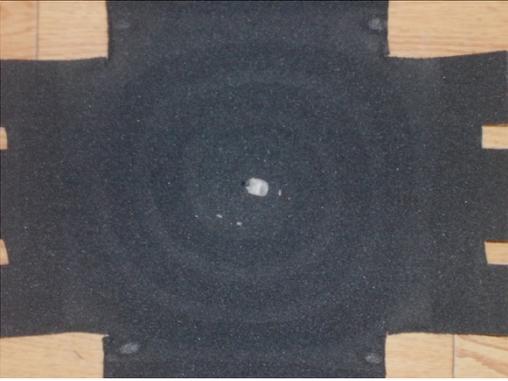
(*) Combinación de parámetros que no ha sido necesario comprobar, dado que ya se ha producido traspaso con anterioridad.

Una vez detectadas las combinaciones de parámetros con las que se produce traspaso, se preparan casos de MODFLOW, que nos puedan indicar el nivel de presión que se tiene en los puntos en los que se produce traspaso.

Para correr estos casos, se utilizará ahora el modelo reológico obtenido para el par PP + MOSSA.

Los casos de MOLDFLOW que habrá que analizar serán los que se enumeran a continuación.

7- Caracterización de traspasos en los tres textiles estudiados

Temperatura de inyección	Presión de corte	Tensión del textil MOSSA
190°C	30 bar	24%
		
Parámetros a programar en MOLDFLOW		
Temperatura de inyección	Caudal dentro de molde (*)	Tiempo de inyección (**)
190°C	13.4 cc/sg	0.64 sg

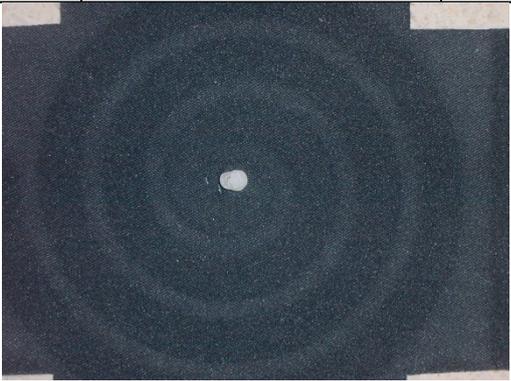
(*) Caudal dentro de molde calculado en base a lo que tarda en llegar el flujo del primer al segundo transductor

(**) Tiempo de inyección obtenido de monitor de máquina al realizar las inyectadas

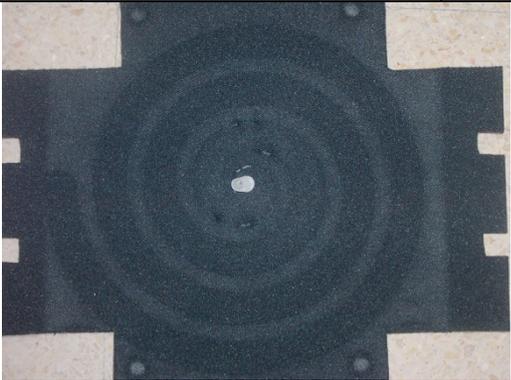
Temperatura de inyección	Presión de corte	Tensión del textil MOSSA
190°C	40 bar	12%
		
Parámetros a programar en MOLDFLOW		
Temperatura de inyección	Caudal dentro de molde (*)	Tiempo de inyección (**)
190°C	13.4 cc/sg	0.8 sg

Temperatura de inyección	Presión de corte	Tensión del textil MOSSA
190°C	50 bar	6%
		
Parámetros a programar en MOLDFLOW		
Temperatura de inyección	Caudal dentro de molde (*)	Tiempo de inyección (**)
190°C	13.4 cc/sg	0.95 sg

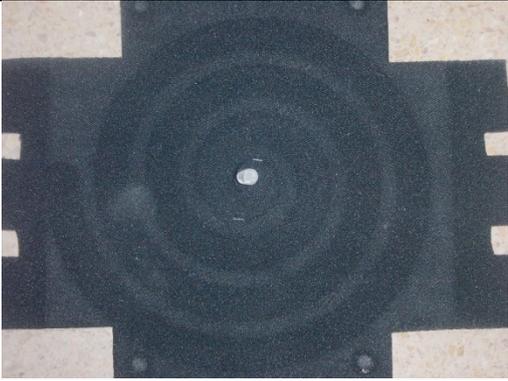
7- Caracterización de traspasos en los tres textiles estudiados

Temperatura de inyección	Presión de corte	Tensión del textil MOSSA
210°C	30 bar	12%
		
Parámetros a programar en MOLDFLOW		
Temperatura de inyección	Caudal dentro de molde (*)	Tiempo de inyección (**)
210°C	14 cc/sg	0.69 sg

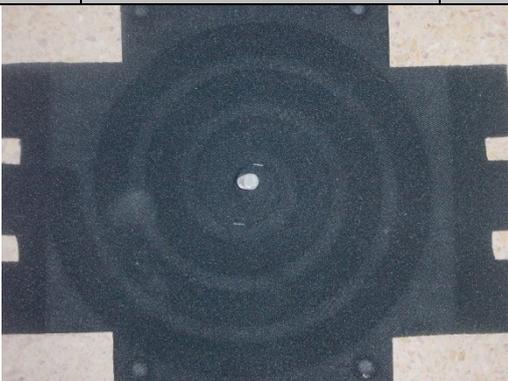
Temperatura de inyección	Presión de corte	Tensión del textil MOSSA
210°C	40 bar	6%
		
Parámetros a programar en MOLDFLOW		
Temperatura de inyección	Caudal dentro de molde (*)	Tiempo de inyección (**)
210°C	14 cc/sg	0.87 sg

Temperatura de inyección	Presión de corte	Tensión del textil MOSSA
210°C	50 bar	0%
		
Parámetros a programar en MOLDFLOW		
Temperatura de inyección	Caudal dentro de molde (*)	Tiempo de inyección (**)
210°C	14 cc/sg	1.05 sg

7- Caracterización de traspasos en los tres textiles estudiados

Temperatura de inyección	Presión de corte	Tensión del textil MOSSA
230°C	30 bar	
		
Parámetros a programar en MOLDFLOW		
Temperatura de inyección	Caudal dentro de molde (*)	Tiempo de inyección (**)
230°C	14.3 cc/sg	0.74 sg

Temperatura de inyección	Presión de corte	Tensión del textil MOSSA
230°C	40 bar	6%
		
Parámetros a programar en MOLDFLOW		
Temperatura de inyección	Caudal dentro de molde (*)	Tiempo de inyección (**)
230°C	14.3 cc/sg	0.96 sg

Temperatura de inyección	Presión de corte	Tensión del textil MOSSA
230°C	50 bar	0%
		
Parámetros a programar en MOLDFLOW		
Temperatura de inyección	Caudal dentro de molde (*)	Tiempo de inyección (**)
230°C	14.3 cc/sg	1.1 sg

En la siguiente tabla 7.8, se presentan los valores de presión que se alcanzan en cada caso cuando se produce traspaso.

7- Caracterización de traspasos en los tres textiles estudiados

Tabla 7.8 Valores de presión en los puntos en los que se produce traspaso

Combinación de parámetros reales	Parámetros programados en MOLDFLOW	Presión alcanzada en el punto de traspaso (Bar)
190°C – 30bar – 24%	190°C – 13.4 cc/sg – 0.64sg	102
190°C – 40bar – 12%	190°C – 13.4 cc/sg – 0.8sg	163
190°C – 50bar – 6%	190°C – 13.4 cc/sg – 0.95sg	221
210°C – 30bar – 12%	210°C – 14 cc/sg – 0.69sg	123
210°C – 40bar – 6%	210°C – 14 cc/sg – 0.87sg	190
210°C – 50bar – 0%	210°C – 14 cc/sg – 1.05sg	264
230°C – 30bar – 6%	230°C – 14.3 cc/sg – 0.74sg	137
230°C – 40bar – 0%	230°C – 14.3 cc/sg – 0.96sg	218

De igual manera que para CANDIDE, los resultados obtenidos, se plasman en graficas que indicarán la zona segura de trabajo para evitar traspasos (Fig. 7.11)

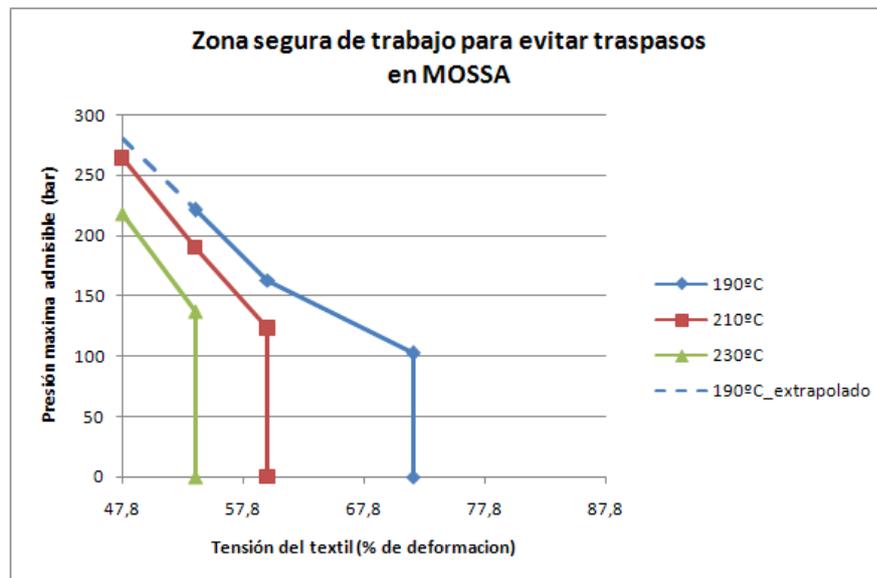


Fig. 7.11 Zona segura de trabajo para evitar traspasos en MOSSA inyectando PP

7.6. Caracterización de los traspasos en FALSET

Por último se repite el proceso con FALSET, y se obtienen los siguientes traspasos (tabla 7.9.)

7.9 Condiciones en las que aparece traspaso para FALSET

	190°C						210°C						230°C					
	0%	6%	12%	18%	24%	30%	0%	6%	12%	18%	24%	30%	0%	6%	12%	18%	24%	30%
30	No	No	No	Si	No	Si	No	No	No	Si	(*)	(*)	No	No	Si	(*)	(*)	(*)
40	No	No	Si	(*)	(*)	(*)	No	No	Si	(*)	(*)	(*)	No	Si	(*)	(*)	(*)	(*)
50	No	No	Si	(*)	(*)	(*)	No	Si	(*)	(*)	(*)	(*)	Si	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)

(*) Combinación de parámetros que no ha sido necesario comprobar, dado que ya se ha producido traspaso con anterioridad.

7- Caracterización de traspasos en los tres textiles estudiados

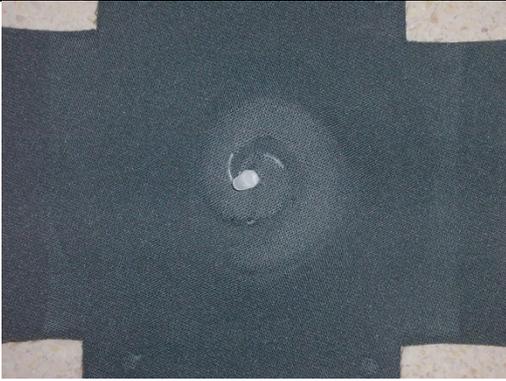
Una vez detectadas las combinaciones de parámetros con las que se produce traspaso, se preparan casos de MODFLOW.

Utilizando ahora el modelo reológico obtenido para el par PP + FALSET, los casos de MOLDFLOW que habrá que analizar serán los que se enumeran a continuación.

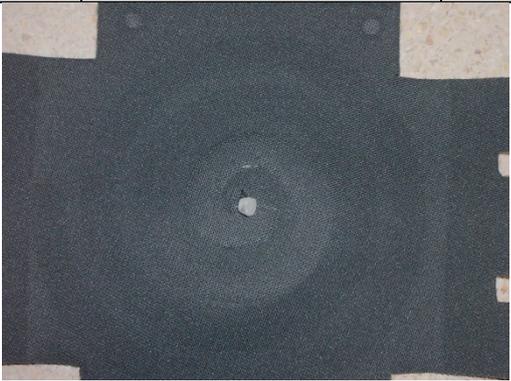
Temperatura de inyección	Presión de corte	Tensión del textil FALSET
190°C	30 bar	18%
		
Parámetros a programar en MOLDFLOW		
Temperatura de inyección	Caudal dentro de molde (*)	Tiempo de inyección (**)
190°C	13.6 cc/sg	0.91 sg

(*) Caudal dentro de molde calculado en base a lo que tarda en llegar el flujo del primer al segundo transductor

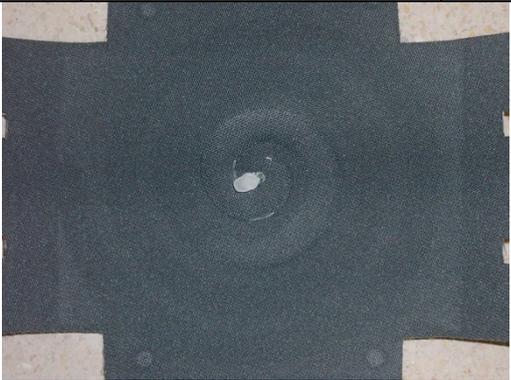
(**) Tiempo de inyección obtenido de monitor de máquina al realizar las inyectadas

Temperatura de inyección	Presión de corte	Tensión del textil FALSET
190°C	40 bar	18%
		
Parámetros a programar en MOLDFLOW		
Temperatura de inyección	Caudal dentro de molde (*)	Tiempo de inyección (**)
190°C	13.6 cc/sg	0.97 sg

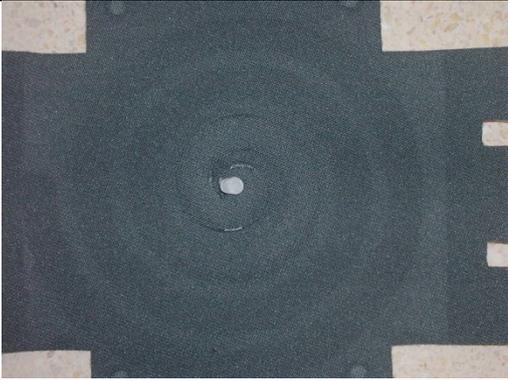
7- Caracterización de traspasos en los tres textiles estudiados

Temperatura de inyección	Presión de corte	Tensión del textil FALSET
190°C	50 bar	12%
		
Parámetros a programar en MOLDFLOW		
Temperatura de inyección	Caudal dentro de molde (*)	Tiempo de inyección (**)
190°C	13.6 cc/sg	1.03 sg

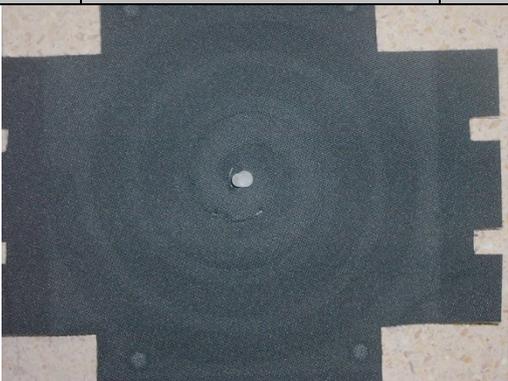
Temperatura de inyección	Presión de corte	Tensión del textil FALSET
210°C	30 bar	18%
		
Parámetros a programar en MOLDFLOW		
Temperatura de inyección	Caudal dentro de molde (*)	Tiempo de inyección (**)
210°C	13.7 cc/sg	1.16 sg

Temperatura de inyección	Presión de corte	Tensión del textil FALSET
210°C	40 bar	12%
		
Parámetros a programar en MOLDFLOW		
Temperatura de inyección	Caudal dentro de molde (*)	Tiempo de inyección (**)
210°C	13.7 cc/sg	1.22 sg

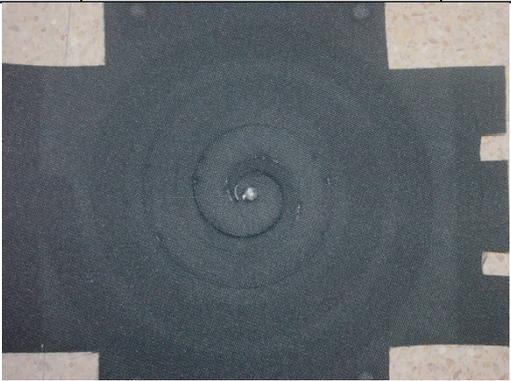
7- Caracterización de traspasos en los tres textiles estudiados

Temperatura de inyección	Presión de corte	Tensión del textil FALSET
210°C	50 bar	6%
		
Parámetros a programar en MOLDFLOW		
Temperatura de inyección	Caudal dentro de molde (*)	Tiempo de inyección (**)
210°C	13.7 cc/sg	1.28 sg

Temperatura de inyección	Presión de corte	Tensión del textil FALSET
230°C	30 bar	12%
		
Parámetros a programar en MOLDFLOW		
Temperatura de inyección	Caudal dentro de molde (*)	Tiempo de inyección (**)
230°C	14.1 cc/sg	1.21 sg

Temperatura de inyección	Presión de corte	Tensión del textil FALSET
230°C	40 bar	6%
		
Parámetros a programar en MOLDFLOW		
Temperatura de inyección	Caudal dentro de molde (*)	Tiempo de inyección (**)
230°C	14.1 cc/sg	1.27 sg

7- Caracterización de traspasos en los tres textiles estudiados

Temperatura de inyección	Presión de corte	Tensión del textil FALSET
230°C	50 bar	0%
		
Parámetros a programar en MOLDFLOW		
Temperatura de inyección	Caudal dentro de molde (*)	Tiempo de inyección (**)
230°C	14.1 cc/sg	1.33 sg

En la siguiente tabla, se presentan los valores de presión que se alcanzan en cada caso cuando se produce traspaso (tabla 7.10).

Tabla 7.10 Valores de presión en los puntos en los que se produce traspaso

Combinación de parámetros reales	Parámetros programados en MOLDFLOW	Presión alcanzada en el punto de traspaso (Bar)
190°C – 30bar – 18%	190°C – 13.6 cc/sg – 1.11sg	294
190°C – 40bar – 12%	190°C – 13.6 cc/sg – 1.17sg	318
190°C – 50bar – 6%	190°C – 13.6 cc/sg – 1.23sg	341
210°C – 30bar – 18%	210°C – 13.7 cc/sg – 1.16sg	287
210°C – 40bar – 12%	210°C – 13.7 cc/sg – 1.22sg	311
210°C – 50bar – 6%	210°C – 13.7 cc/sg – 1.28sg	334
230°C – 30bar – 12%	230°C – 14.1 cc/sg – 1.21sg	302
230°C – 40bar – 6%	230°C – 14.1 cc/sg – 1.27sg	324
230°C – 50bar – 0%	230°C – 14.1 cc/sg – 1.33sg	348

La grafica de zona segura de trabajo para FALSET quedará como sigue (Fig. 7.12)

7- Caracterización de traspasos en los tres textiles estudiados

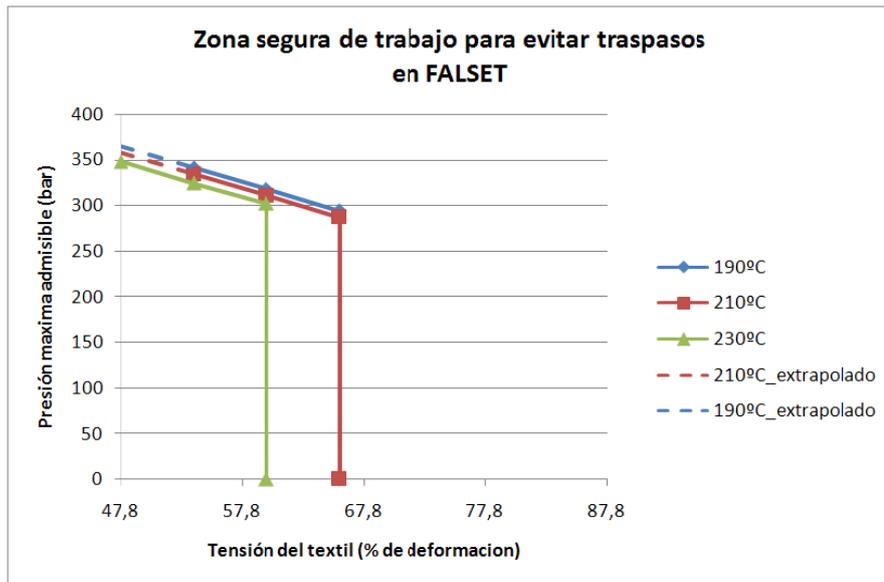
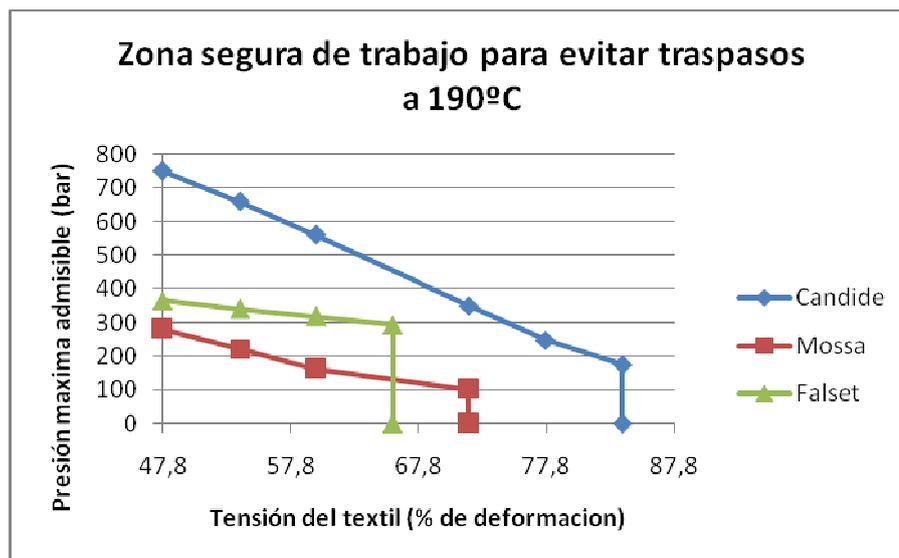


Fig. 7.12 Zona segura de trabajo para evitar traspasos en FALSET inyectando PP

7.7. Comparación de traspasos en los diferentes textiles

Bajo las mismas condiciones de temperatura, los traspasos se producen antes en el textil MOSSA que en los otros dos textiles (Figs. 7.13, 7.14 y 7.15). Es decir, el textil al que menos tensión se puede aplicar para que no se produzca traspaso es a MOSSA, y por lo tanto la zona segura de trabajo es menor.



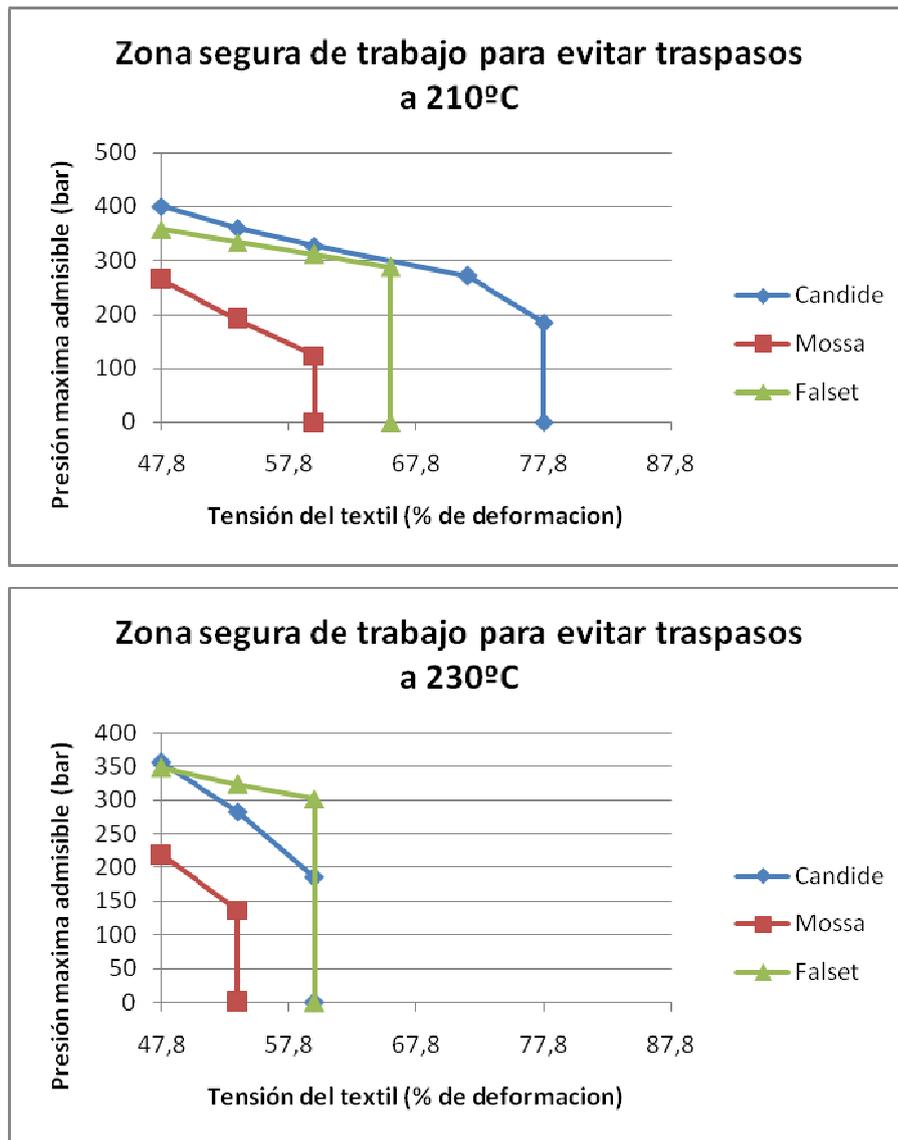


Fig. 7.13, 7.14 y 7.15 Comparación de zona segura de trabajo de los distintos textiles para cada temperatura

Los modelos reológicos de Mossa y Candide eran prácticamente coincidentes, o lo que es lo mismo, al inyectar con los mismos parámetros programados se tienen valores de presión similares.

Si se analizan las tablas 7.6 y 7.8, esto no se cumple. Esto es porque los traspasos para Candide y Mossa se producen en puntos diferentes. Mientras que en Candide, en general el traspaso de menor presión se da cerca del punto de inyección, en Mossa, este punto está más alejado de la entrada.

Por tanto, la primera conclusión clara que se obtiene, es que para un mismo espesor, el tipo de film barrera condiciona totalmente el traspaso, minimizándolo cuanto más denso es.

Por otro lado, el nivel de tensión que se puede aplicar a Falset para no tener defecto es intermedio entre Candide y Mossa.

En este caso se tienen las mismas condiciones de temperatura, pero no de presión y de espesor de espuma.

Hay que recordar que el modelo reológico de Falset era menos viscoso que los correspondientes a los de los otros dos textiles, por lo que cabría esperar presiones más bajas bajo las mismas condiciones de inyección. Al ser la espuma de menor espesor, y el parámetro programado la presión de corte, lo que se genera en este caso son espirales más largas que con Mossa y Candide, y por tanto esta afirmación ya no es categórica como cuando se trata la inyección convencional sin elementos decorativos.

En el caso de Falset, se ve entonces que el espesor de espuma y los niveles de presión se contrarrestan, no pudiendo sacar una conclusión clara acerca de cómo influye el espesor de la espuma en el traspaso.

Según las graficas, la zona de trabajo para Falset, es una zona intermedia entre Candide y Mossa. Teniendo en cuenta que Falset tiene un film barrera de densidad intermedia entre el de Mossa y el de Candide, queda de nuevo demostrado, que el film barrera es la capa del textil que condiciona en mayor parte el traspaso.

8. Conclusiones de la tesis

El primer objetivo de esta tesis ha consistido en perfeccionar las técnicas y metodologías que se conocen en la actualidad para cálculos de caídas de presión en la inyección de un molde espiral monitorizado, ajustando los modelos viscosos obtenidos a partir de dicho molde espiral.

De todo el trabajo realizado en relación a la consecución de este primer objetivo se desprenden varias conclusiones, que se van detallando a continuación.

El caudal adecuado para realizar los cálculos de viscosidad debe ser el que se tiene dentro del molde y nunca se debe utilizar el caudal que viene como dato de catálogo de la máquina. Para calcular este caudal, se obtendrá de las graficas de los transductores el tiempo que tarda en llegar el flujo desde el primer transductor hasta el segundo, que es el tiempo que se tarda en llenar el volumen de espiral existente entre ambos transductores.

En simulaciones se ha comprobado que el flujo se mantiene prácticamente isoterma para distintas temperaturas de inyección y distintas temperaturas de molde, a lo largo de una espiral de 300 mm, por lo que las posiciones de los transductores en cualquier punto de este

recorrido son adecuadas para realizar las mediciones en cuanto a hipótesis de flujo isoterma se refiere.

El modelo reológico obtenido en base al espesor de la espiral no es apropiado, porque para velocidades lentas el material resulta ser más viscoso de lo que en realidad es, dando como resultado una curva con más pendiente de la real.

Cuando el material entra en el molde se forma una capa fría estrechando el paso de material, sobre todo para temperaturas bajas y velocidades lentas. Al rehacer los cálculos con el espesor real de paso de material, las curvas de viscosidad se vuelven más tendidas. La corrección en estas curvas es más evidente para temperaturas bajas y velocidades lentas.

Además, se debe tener en cuenta que el frente de flujo avanza ligeramente inclinado, por lo que la anchura de la espiral para realizar los cálculos, debe ser la medida de esta diagonal, y no la propia anchura de la espiral.

A la hora de evaluar los resultados, la caída de presión entre transductores obtenida por simulación al introducir el modelo viscoso sin corrección en MODFLOW, llega a estar un 17.7% por encima o un 16.4% por debajo, según sean las condiciones de inyección. Es decir, para velocidades lentas los errores son positivos, y para velocidades rápidas los errores son negativos, siendo las desviaciones más evidentes cuando las temperaturas de inyección son más bajas.

La caída de presión entre transductores obtenida por simulación al introducir el modelo viscoso incluyendo todas las correcciones en MODFLOW, queda como mucho un 10% por debajo de los valores experimentales en el caso de temperatura de inyección más baja y velocidad más lenta. Conforme aumenta temperatura y velocidad, los errores disminuyen, situándose en el 0.5-4%.

Cuando se calcula por simulación, la presión máxima alcanzada al inyectar las espirales se debe ser muy cuidadoso al introducir los datos para correr los casos de MODFLOW.

Para temperaturas altas y velocidades intermedias, basta con introducir el dato de caudal dentro de molde y el tiempo de inyección arrojado por la máquina. Las espirales simuladas y experimentales son muy parecidas en longitud, y por tanto, los valores de presión experimentales y calculados muy semejantes.

Sin embargo, en el caso de espirales a temperaturas bajas y tiempos lentos, al introducir caudal de molde y tiempo de inyección, las espirales de MOLDFLOW se quedan más cortas que las espirales experimentales, y por tanto, los valores de presión obtenidos en el simulador son más bajos que los experimentales. Esto es porque se tiene un molde abierto, en el que el material puede seguir fluyendo por descompresión del material aunque se haya cortado la inyección, y este efecto MOLDFLOW no lo tiene en cuenta.

Para estos valores de presiones máximas alcanzadas en transductores, los errores se sitúan entre el 1 y el 4%, y alcanzándose un error máximo puntualmente de un 6.5% para el primer transductor. De igual manera, para el segundo transductor el error se sitúa entre el 2 y el 8%, y obteniéndose puntualmente un error máximo de un 15% en el segundo transductor.

Por tanto, la obtención de curvas de viscosidad de polipropileno mediante molde espiral, siempre que se introduzca la corrección de capa fría y el avance de flujo en diagonal, se puede considerar un método fiable.

Con este método es posible encontrar curvas de viscosidad al inyectar espirales sobre film o textil (IMD), segundo objetivo de la tesis. Basta introducir el tejido en el molde espiral y realizar la batería de inyecciones para obtener las curvas de viscosidad, introducir la corrección de la capa fría y del avance en diagonal, y obtener un modelo viscoso, que como se ha visto hasta ahora, es posible introducir en MOLDFLOW.

Al realizar los cálculos de capa fría con MOLDFLOW para aplicar la corrección a los modelos de plástico-textil se obtiene la primera conclusión de esta segunda parte del trabajo, y que lleva a la necesidad

de cumplir el tercer objetivo de desarrollar una aplicación capaz de calcular entre otros resultados, espesores de capa fría en la fase de llenado de una tira, tanto para inyección convencional, como en condiciones de asimetría por IMD.

En llenado, MOLDFLOW obtiene el mismo resultado de caída de presión independientemente de que se tenga acero en las dos partes del molde o que se tenga en una de ellas textil, pero sí que detecta el hecho de tener una cara a temperatura más elevada que la otra respecto a un caso en el que ambas caras tienen baja temperatura. Es decir, en la fase de llenado, MOLDFLOW solo tiene en cuenta la asimetría en cuanto a temperaturas de molde, pero no en cuanto a materiales de ambas caras. MOLDFLOW en el cálculo de llenado, impone como condición de contorno la temperatura de molde justo en la interfase plástico-molde, por lo que en ningún caso le hace falta tomar como dato las propiedades de material de molde. Esta limitación queda resuelta con la aplicación desarrollada para esta tesis, dado que la temperatura de molde como condición de contorno se impone a varios centímetros de la interfase molde-plástico o textil-plástico, por lo que se están teniendo en cuenta las propiedades termofísicas de los materiales que entran en contacto con el plástico.

Otras conclusiones cualitativas y cuantitativas que se desprenden de esta parte del trabajo están ya directamente relacionadas con la inyección sobre textil.

Cualitativamente, si se comparan los valores de espesor de espirales de polipropileno, y espirales de polipropileno con textil, se ve que son muy similares. Cabría esperar que los espesores fueran menores en las espirales con textil, porque dicho textil ocupa un espacio en el molde, pero esto no es así. El cierre del molde se ajusta en base al textil que queda en el plano de partición, por lo que el espesor que ocupa el textil, se gana al quedar el molde ligeramente más abierto que cuando no se tiene la tela.

Es decir, la presencia de textil en este molde, es despreciable en cuanto a valores de espesor de pieza se refiere.

Además, la variación de anchura de la espiral inyectada sobre textil respecto a la inyectada sin textil, es despreciable si se compara con la dispersión que se tiene en la caída de presión entre inyectadas idénticas. Como estos dos factores afectan de manera lineal al cálculo de las viscosidades, de nuevo se puede considerar despreciable el efecto del textil sobre dicha anchura.

Relacionando el espesor de espuma y el tipo de film barrera con los modelos se puede concluir que a mayor espesor de espuma, mas viscoso resulta el modelo de PP (polipropileno) sobre el textil, y que la naturaleza del film barrera no influye en el modelo, aunque si pueda ser importante en cuanto a estudio de traspasos se refiere.

De manera cuantitativa, al analizar los errores que se obtienen al comparar los valores de caídas de presión entre transductores experimentales y de simulación, estos se sitúan para inyección sobre textil siempre por debajo del 10-15%. Los errores cometidos en el cálculo de presiones máximas se sitúan por debajo del 10-12%.

En el cuarto y último objetivo de la tesis se han caracterizado los traspasos de material plástico a través de los tres tejidos estudiados, variando las condiciones de inyección y también la tensión del textil, aplicada esta última en dirección vertical y horizontal simultáneamente.

Con este estudio, en primer lugar se concluye que la tensión de la tela, no influye en el modelo reológico PP + textil, por lo que dicho modelo es válido para obtener los valores de presión por simulación justo en los puntos en los que se produce traspaso.

Una segunda conclusión en referencia a los traspasos, es que el tipo de film barrera condiciona totalmente el traspaso, minimizándolo cuanto más denso es, y que el espesor de la espuma, influye en los valores de presión que se alcanzan al inyectar, pero no en el traspaso como tal.

Por tanto, los objetivos de la tesis se han cumplido y como conclusión general se puede afirmar, que mediante molde espiral monitorizado se pueden obtener modelos viscosos validos y fiables tanto para inyección convencional, como cuando se inyecta sobre textil.

Para que estos modelos sean validos, se les deberá aplicar una serie de correcciones, entre ellas la de capa fría. Esta capa fría se podrá calcular con ayuda de MOLDFLOW en caso de inyección convencional, pero en el caso de inyección sobre elemento decorativo, deberá ser calculada con la aplicación desarrollada en esta tesis, ya que MODLFLOW no tiene en cuenta para la fase de llenado, la asimetría por material del molde.

Por último, y una vez obtenido el modelo viscoso plástico-textil, se podrá realizar una batería de casos experimentales para detectar traspasos. Mediante la simulación de esta batería de casos, se podrá confeccionar un ábaco que indique la zona segura de trabajo (combinación de temperatura-presión-tensión tela) para no tener defecto por traspaso.

9. Líneas futuras de trabajo

Tras todo el trabajo realizado para el desarrollo de esta tesis, quedan abiertas varias líneas de trabajo, relacionadas cada una de ellas con cada uno de los objetivos que se han alcanzado a la conclusión del estudio.

El primer objetivo alcanzado, era el perfeccionamiento de una metodología para obtener modelos viscosos por medio de un molde espiral monitorizado.

Relacionada con este objetivo, se abre la **primera línea** de investigación, que consistirá en trabajar con distintos materiales poliméricos, para terminar de corroborar las correcciones que se han introducido en la metodología. En este estudio, se ha concluido que dicho método es válido para polipropileno de una viscosidad baja, pero no se ha verificado con materiales de menor fluidez, como puede ser PC (policarbonato) o ABS (acrilonitrilo/butadieno/estireno).

Dentro de esta línea, a la vez que se trabaja con distintos materiales plásticos, se deberá trabajar monitorizando moldes de gran tamaño, para comprobar que el modelo viscoso obtenido también funciona en simulación de grandes moldes.



Figura 9.3. Inyección de espiral sobre folio plástico trenzado sin barnizar



Figura 9.4. Inyección de espiral sobre film decorado

De igual manera que en el estudio de modelo viscoso con solo plástico, queda abierta la posibilidad de trabajar monitorizando moldes grandes, también en el caso de IMD existe esta opción (Fig. 9.5 a 9.7).

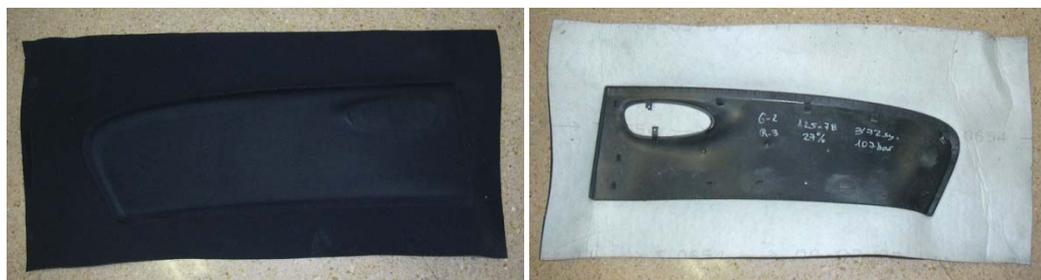


Figura 9.5. Inyección de panel puerta automóvil sobre textil



Figura 9.6. Inyección de panel automóvil sobre folio de TPO



Figura 9.7. Inyección de tablero automóvil sobre folio de TPO

El último objetivo planteado y alcanzado, era la caracterización de traspasos a través del textil en base a la tensión del tejido, combinada con distintas condiciones de presión y temperatura al inyectar.

La **tercera línea** que se abre relacionada con este objetivo se basa en la profundización en el estudio de la tensión del textil.

En esta investigación se ha tensionado el textil con el marco tensor de la misma manera a la vez en dirección vertical y dirección horizontal. Se propone realizar un estudio en el que el textil se tensione más en una dirección que en otra, analizando que ocurre con los poros del tejido cuando se tensiona de esta manera.

Por otro lado, en esta tesis, se han tenido solo dos tipos de tensiones de las tres que aparecen al inyectar sobre tejido. Estos dos tipos de tensiones son, la tensión provocada por el plástico al entrar dentro del molde y empujar el textil contra la huella, y la tensión aplicada con el marco tensor.

En el caso de la espiral, no se tiene tensión inicial por cierre del molde, ya que la parte fija del molde espiral es completamente plana, y toda la huella se encuentra en la parte móvil.

Por tanto, se plantea estudiar moldes en los que se produzca esta tensión inicial por cierre del mismo, combinada con la tensión que ejerce el plástico al entrar en el molde y la previamente aplicada con el marco tensor para evitar que el textil se arrugue al cerrar el molde.

Con esta nueva combinación de tensiones se pueden perfeccionar los ábacos que indican la zona segura de trabajo para no tener traspaso.



Figura 9.8. Traspaso en piezas de gran tamaño inyectadas sobre textil y TPO respectivamente

10. Nomenclatura

Símbolos utilizados en el capítulo 2 por orden de aparición

τ : shear stress

τ_0 : sheart stress inicial

η : viscosidad

γ : shear rate

k, n : constantes de modelo potencial

T : temperatura

T_a : temperatura referencia modelo exponencial

A, n : constantes modelo exponencial

T_b : temperatura de referencia modelo Cross-Exp

P : presión

n, B, β : constantes modelo Cross-Exp

A, A_{2ref}, D, D_2, D_3 : constantes modelo WLF

T_g : temperatura de transición vítrea

A, B, C, D, E, F : constantes modelo Second Order Moldflow

Q : caudal

u : velocidad flujo dirección x

v : velocidad flujo dirección y

10- Nomenclatura

w: velocidad flujo dirección z
 ρ : densidad
 C_p : calor específico
k: conductividad
t: tiempo
S: fluidez
 Δ : gradiente de presión
F: fuerza
V: volumen
g: gravedad
f: fuerza másica
r: radio
 ϵ : porosidad
K: permeabilidad específica
N: número de tubos
L: longitud
 S_{total} : sección total
 r_i : radio variable
 L_i : longitud variable
 L_e : longitud efectiva
T: tortuosidad
 K^* : constante de Carman Kozeny
 S_v : superficie volumen específico
 D_{esf} : diámetro de esfera
H: relación entre área esfera y volumen particular real
Re: Número de Reynolds
 α_g : factor de estructura de medio poroso
 R_p : radio del poro
 R_h : radio de enmarañamiento
 γ_p : shear rate en el poro

Símbolos utilizados en el capítulo 4 por orden de aparición

F: Fuerza

P: Presión

w: anchura

h: espesor

y: dirección y

τ : shear stress

ΔP : caída de presión

L: longitud

Q: caudal

n: constante modelo potencial

γ : shear rate

γ_{ap} : shear rate aparente

η : viscosidad

η_{ap} : viscosidad aparente

A, B, C, D, E, F: constantes modelo Second Order Moldflow

ΔP_m : caída de presión media experimental

ΔP_m MF: caída de presión media Moldflow

Símbolos utilizados en el capítulo 5 por orden de aparición

Q: caudal

w: anchura

u: velocidad flujo dirección x

y: dirección y

ρ : densidad

C_p : calor específico

k: conductividad

γ : shear rate

η : viscosidad

T: temperatura

T_0 : temperatura inyección

S: fluidez

Δ : gradiente de presión

T_{sol} : temperatura solidificación

Símbolos utilizados en el capítulo 6 por orden de aparición

T₁: transductor 1

T₂: transductor 1

ΔP : caída de presión

Q: caudal

γ : shear rate

η : viscosidad

A, B, C, D, E, F: constantes modelo Second Order Moldflow

ΔP_m : caída de presión media experimental

ΔP_m MF: caída de presión media Moldflow

Símbolos utilizados en el capítulo 7 por orden de aparición

ε : deformación

ε acumulada: deformación acumulada

L_{fi} : Longitud final

L_{oi} : Longitud inicial

11. Bibliografía

[1] Gert F. Baumann, Samuel Steingiser. *Rheological measurements on polycarbonate*. Journal of Polymer Science, vol. 1, nº 11, 1963, 3395-3406.

[2] Giovanni Pezzin. *A rheological study of the injection molding of styrene polymers*, Polymer Engineering & science, vol. 3, nº 4, 1963, 260-269.

[3] H. Zweifel, R. D. Maier, M. Schiller. *Plastics additive handbook*, Hanser, 1984

[4] Lee, W.C, *Processing of thermotropic liquid crystalline polymer and their blends*, Dissertation Abstracts International (USA), vol. 53, nº 9, 1993

[5] K.W. Koellig, R.C. Kaminski, *Gas assisted injection molding: influence of processing conditions in material properties*, Antec'96 Conference plastics--racing into the future, vol. 2, 1996

- [6] M. Buchmann, et al. Polymer flow length simulation during injection mold filling, *Polymers Engineering & Science*, 37, nº 3, 1997, 667-671.
- [7] C. W. Fox, A.J. Poslinski. *Correlation of spiral and radial flow lengths for injection-molded thermoplastics parts*, Conference Proceedings at Antec, vol.1, 1998, 398-402.
- [8] S. Rao, et al., *Predicting Flow Length of spiral melt flows in injection molds by semi-empirical model*, *Journal of injection molding technology*, vol. 4, nº2, 2000, 92-96.
- [9] I. Claveria, et al., *Method for generation of rheological model to characterize non-conventional injection molding by means of spiral mold*, *Journal of materials processing technology*, 162-163 (2005) 477-483.
- [10] J.C.Viana. *Development of the skin layer in injection molding: phenomenological model*, *Polymer*, vol. 45 nº 3, 2004, 993-1005.
- [11] Jin-woong Shin, et al. *Frozen layer effect on measuring the internal cavity pressure during injection molding*, ANTEC PAPERS, conf. 61, vol. 1, 2003, 561-565.
- [12] Peter Kennedy. *Flow analysis of injection molds*, HANSER, 1995.
- [13] D. Bank, D. Klafhen, R. Smierciak, *Why Plastic Flows Better in Aluminum Injection Molds*, *Plastics Technology*, 2008 (En [www. Ptonline.com/articles/kvw/32525.html](http://www.Ptonline.com/articles/kvw/32525.html))
- [14] Dae Su Kim, *Estimation of viscosity functions for thermosets from spiral mold filling*, *Journal of applied polymer science*, vol. 80 nº6, 2000, 873-884.
- [15] Barnes, H.A.; Hutton, J.F.; Walters, K. *An Introduction to Rheology*, ELSEVIER, 1989.

- [16] Macosko, C. *Rheology: Principles and Measurements*, JOHN WILEY & SONS, 1994
- [17] Charles L. Tucker. *Computer modelling for polymer processing*, HANSER, 1989.
- [18] Ángel Fernández Cuello. *Herramientas de cálculo y dibujo para el diseño y presupuesto de moldes de inyección de termoplásticos*, Tesis, Universidad de Zaragoza, 1995.
- [19] Lorena Ponz Estaún. *Metodología para la caracterización reológica de materiales termoplásticos en condiciones no convencionales para su aplicación a herramientas de simulación*, Tesis, Universidad de Zaragoza, 2009.
- [20] A. I. Isayev, *Injection and compression molding fundamentals*, Dekker, 1987.
- [21] O Zienkiewicz, *El método de los elementos finitos*, Reverté, 1982
- [22] I. Mantilla Núñez, L. La Rosa Obando, *Utilización de la Interpolación en el Método de Elementos Finitos*, Revciuni, Vol. 8, 2004
- [23] Whye-Teong Ang, *A Beginner's Course in Boundary Element Methods*, 2007
(En: <http://www3.ntu.edu.sg/home/mwtang/bemsite.htm>)
- [24] C.A. Daniels, *Polymers: Structure and properties*, Technomic Publishing Company, 1989
- [25] Fernández Cuello, Angel, *Herramientas de cálculo y dibujo para el diseño y presupuesto de moldes de inyección de termoplásticos*, Tesis Universidad de Zaragoza, 1995

- [26] J.C. Love, V. Goodship, *In-Mould Decoration of Plastics*, Rapra Review Reports, 2002
- [27] Tim A. Osswald, *International plastics handbook: the resource for plastics engineers*, Hanser, 4th ed., 2006
- [28] G. Menges, *How to make injection molds*, 2nd ed. HANSER, 1991
- [29] Tim A. Osswald, *Injection molding handbook*, HANSER, 2001
- [30] Maqueda, Gregorio. *Apuntes de Mecánica de Fluidos*. Universidad Complutense de Madrid, 2005, (En: http://ucm.es/info/cormosf/docencia/mecanica2/fluidos_2.pdf)
- [31] Crespo A. *Mecánica de Fluidos*, Publicaciones ETSII - U.P. Madrid, 1987.
- [32] Sanchez, F.J. *Medidas puntuales de permeabilidad*, Universidad de Salamanca, 2004. (En: <http://web.usal.es/javisan/hidro>)
- [33] Crotti, M. and Cobeñas, R. *Scaling up of laboratory relative Permeability curves. An advantageous approach based on realistic average water saturation*, SPE International, 2001. (En: www.inlab.com.er/Darcy_1.htm)
- [34] Eyvind Aker. *Flow through Porous Media*, Tesis, Universidad de Oslo, 1996. (En: <http://www.fys.uio.no/~eaker/thesis/thesis.html>)
- [35] Jacob Bear. *Dinamycs of fluids in porous media*, Dover Publications, INC (New York), 1972.

[36] Karl, Denys. *Flow of polymer solutions through porous media*, Defft University Press, DUP Science ISBN 90-407-2441-5, 2003.

[37] D. Nicholson and J. H. Petropoulos, *Capillary models for porous media*, Journal of Physics (Applied Physics) Vol. 10, nº14, 1977.

[38] *Carman – Kozeny equation for permeability*, Louisiana state University, 2002. (En: <http://www.pete.lsu.edu/courses/pete4052/lectures/L-01A-KC.doc>)

[39] *Flujo en medios porosos*. Curso complementos de Ingeniero Geólogo, Escuela politécnica Superior Guillermo Schulz. (En: <http://web.uniovi.es/areas/mecanica.fluidos>)

[40] Christie J. Geankoplis. *Transport Processes and Separation Process Principles*, Prentice Hall. 2003.

[41] Tom L. Richard, Adrie H.M. Veecken, Vinnie de Wilde and H. U. M Hamelers. *Air-filled porosity and permeability relationship during solid state fermentation*. Biotechnology Progress, Vol. 20, nº 5, 1372 - 1381 American Chemical Society and American Institute of Chemical Engineers Published, 2004.

[42] K. Denys, A. Zaitoun. *Bridging adsorption of cationic polycrylamides in sic packs*, SPE International Symposium on Oilfield Chemistry, Houston, Texas, 2001. (En: www.ucc.ie/research/hmrc/SWERF/proceeding/shlumberger/karl-denys.pdf)

[43] Eugene B. Belov, Stepan V. Lomov, Ignaas Verpoest, Teo Peters, Dirk Roose (Katholieke Universiteit Leuven, Belgium) Kris Hoes, Hugo Sol (Vrije Univessiteit Brussel, Belgium) Rochard S. Parnas (University of Connecticut, USA). *Modelling of permeability of textile reinforcements: Lattice Boltzmann*

method, Composites Science and Technology, Vol. 64, nº 7-8, 1069-1080, 2004.

[44] Bart Verleye, Magrit Klitz, Roberto Croce, Dirk Roose, Stepan Lomov, Ignaas Verpoest. *Computation of permeability of textile reinforcements*, Proceedings: Scientific Computation IMACS, 2005.

[45] *Función de distribución de Boltzmann (I)*. Temperatura y entropía. Cursos por Internet de Física Estadística y Termodinámica, UPV – Ingeniería Técnica Eibar. (En: <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/estadistica/boltzmann/formula/formula.htm>)

[46] *Función de distribución de Boltzmann (II)*. Simulación. Cursos por Internet de Física Estadística y Termodinámica, UPV – Ingeniería técnica Eibar (En: <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/estadistica/boltzmann/boltzmann.htm>)

[47] Shiyi Chen and Gary D. Doblen. *Lattice Boltzmann Method for Fluid Flows*, Alamos Nacional Laboratory, Los Alamos Annu. Rev. Fluid Nech, 1998.

ANEXO 1 (Capítulo 4)

DATOS EXPERIMENTALES Y TEORICOS DE INYECCION DE POLIPROPILENO

ARCHIVO .STR OBTENIDO CON VISDAT →

OBTENCION CONSTATES DE MODELO VISCOSO DE PP PHC31 SIN NINGUNA CORRECION.

THIS PROGRAM IS COPYRIGHT "COLIN AUSTIN R & D PTY LTD"
(C)1979 (C)1985 (C)1988 (C)1990 (C)1992
AND OPERATED UNDER LICENCE BY "MOLDFLOW PTY LTD"

VISDAT ... APPROXIMATION OF VISCOSITY EXPERIMENTAL DATA
VERSION 1.5.0
LAST REVISED 11 - MAR - 92

This is a revised viscosity graph fitting program -
modifications have been made to suit the new database
format and the editing program MADRAS.

The 1st order model is now fitted from a grid of points
generated by the 2nd order model - this is to reduce bias.

The program outputs the standard points that need to be
entered into the new database by program matdb and also
the old viscosity constants are given for users still
using the old database.

EXECUTED 01-JAN-94 0 :17

STORE FILE: APH32SI.STR
archivo para constantes modelo sin correccion capa fria medidas repetidas

No. temp. shear rate viscosity

Number of points 19

* 1-ST ORDER GRAPH FIT BASED ON ORIGINAL DATA

* Viscosity factor 1.419647E+05
* Shear factor -8.817025E-01
* Temp. factor -5.432503E-03

* Standard 1-st order data points

220.0	100.0	740.85
240.0	10000.0	11.46
260.0	1000.0	78.28

No.	temperature	shear rate	meas V	calc V	% error
1	200.00	868.00	119.00	122.86	3.144
2	200.00	1866.00	60.60	62.57	3.144
3	200.00	2400.00	51.20	50.12	-2.162
4	200.00	3600.00	35.20	35.05	-0.421
5	200.00	3876.00	32.50	32.84	1.042
6	220.00	868.00	107.80	110.21	2.189
7	220.00	1800.00	60.40	57.94	-4.252
8	220.00	2800.00	40.40	39.24	-2.948
9	220.00	3600.00	32.40	31.44	-3.042
10	220.00	4200.00	29.00	27.45	-5.656
11	240.00	900.00	98.20	95.76	-2.548
12	240.00	1800.00	53.60	51.97	-3.133
13	240.00	2652.00	31.60	36.93	14.432

Anexo 1 (Capítulo 4) – Datos experimentales y teóricos inyección de polipropileno

14	240.00	3360.00	31.40	29.98	-4.753
15	240.00	5040.00	19.60	20.97	6.513
16	260.00	592.00	124.70	124.28	-0.339
17	260.00	2652.00	34.50	33.13	-4.143
18	260.00	3600.00	26.40	25.30	-4.338
19	260.00	4200.00	21.00	22.09	4.921

* Standard deviation 1.1871E-02

* 2-ND ORDER GRAPH FIT

* Standard 2-nd order data points

220.0	1000.0	96.40
240.0	100.0	518.38
240.0	1000.0	88.16
240.0	10000.0	10.42
260.0	100.0	496.80
260.0	1000.0	80.66

A(1)= 8.1253

A(2)=-0.13255

A(3)= 2.30426E-03

A(4)=-3.42799E-02

A(5)=-1.00897E-03

A(6)= 4.33690E-07

No.	temperature	shear rate	meas V	calc V	% error
1	200.00	868.00	119.00	118.14	-0.731
2	200.00	1866.00	60.60	62.85	3.587
3	200.00	2400.00	51.20	50.63	-1.125
4	200.00	3600.00	35.20	35.41	0.593
5	200.00	3876.00	32.50	33.14	1.921
6	220.00	868.00	107.80	108.31	0.474
7	220.00	1800.00	60.40	58.55	-3.159
8	220.00	2800.00	40.40	39.63	-1.952
9	220.00	3600.00	32.40	31.55	-2.704
10	220.00	4200.00	29.00	27.37	-5.953
11	240.00	900.00	98.20	96.37	-1.902
12	240.00	1800.00	53.60	52.92	-1.293
13	240.00	2652.00	31.60	37.31	15.299
14	240.00	3360.00	31.40	29.99	-4.716
15	240.00	5040.00	19.60	20.44	4.105
16	260.00	592.00	124.70	125.97	1.011
17	260.00	2652.00	34.50	33.47	-3.088
18	260.00	3600.00	26.40	25.07	-5.325
19	260.00	4200.00	21.00	21.61	2.832

* Standard deviation 1.1325E-02

* 1-ST ORDER GRAPH FIT BASED ON 2-ND ORDER GRID

* Viscosity factor 8.324943E+04

* Shear factor -8.482997E-01

Anexo 1 (Capítulo 4) – Datos experimentales y teóricos inyección de polipropileno

* Temp. factor -4.457309E-03

* Standard 1-st order data points

220.0	100.0	627.93
240.0	10000.0	11.55
260.0	1000.0	74.50

No.	temperature	shear rate	meas V	calc V	% error
1	200.00	868.00	119.00	109.77	-8.410
2	200.00	1866.00	60.60	57.35	-5.672
3	200.00	2400.00	51.20	46.32	-10.529
4	200.00	3600.00	35.20	32.84	-7.184
5	200.00	3876.00	32.50	30.85	-5.362
6	220.00	868.00	107.80	100.41	-7.363
7	220.00	1800.00	60.40	54.08	-11.680
8	220.00	2800.00	40.40	37.18	-8.667
9	220.00	3600.00	32.40	30.04	-7.857
10	220.00	4200.00	29.00	26.36	-10.025
11	240.00	900.00	98.20	89.07	-10.256
12	240.00	1800.00	53.60	49.47	-8.347
13	240.00	2652.00	31.60	35.61	11.262
14	240.00	3360.00	31.40	29.13	-7.778
15	240.00	5040.00	19.60	20.65	5.107
16	260.00	592.00	124.70	116.23	-7.287
17	260.00	2652.00	34.50	32.57	-5.915
18	260.00	3600.00	26.40	25.13	-5.036
19	260.00	4200.00	21.00	22.05	4.777

* Standard deviation 1.8558E-02

* MATERIAL COEFFICIENTS SUMMARY

83249.4	,-0.848300	,-4.457309E-03,
220.0	1000.0	96.40
240.0	100.0	518.38
240.0	1000.0	88.16
240.0	10000.0	10.42
260.0	100.0	496.80
260.0	1000.0	80.66

ARCHIVO .STR OBTENIDO CON VISDAT →

OBTENCION CONSTATES DE MODELO VISCOSO DE PP PHC31 CON CORRECCION DE CAPA FRÍA.

THIS PROGRAM IS COPYRIGHT "COLIN AUSTIN R & D PTY LTD"
(C)1979 (C)1985 (C)1988 (C)1990 (C)1992
AND OPERATED UNDER LICENCE BY "MOLDFLOW PTY LTD"

VISDAT ... APPROXIMATION OF VISCOSITY EXPERIMENTAL DATA
VERSION 1.5.0
LAST REVISED 11 - MAR - 92

This is a revised viscosity graph fitting program -
modifications have been made to suit the new database
format and the editing program MADRAS.

The 1st order model is now fitted from a grid of points
generated by the 2nd order model - this is to reduce bias.

The program outputs the standard points that need to be
entered into the new database by program matdb and also
the old viscosity constants are given for users still
using the old database.

EXECUTED 01-JAN-94 0 :24

STORE FILE: APHC31CO.STR
archivo para modelo con capa fria mediciones repetidas

No. temp. shear rate viscosity

Number of points 19

* 1-ST ORDER GRAPH FIT BASED ON ORIGINAL DATA

* Viscosity factor 4.349121E+04
* Shear factor -8.068038E-01
* Temp. factor -3.234007E-03

* Standard 1-st order data points

220.0	100.0	519.76
240.0	10000.0	11.86
260.0	1000.0	71.26

No.	temperature	shear rate	meas V	calc V	% error
1	200.00	1515.00	58.70	61.88	5.135
2	200.00	3163.00	31.70	34.17	7.220
3	200.00	3934.00	28.50	28.65	0.535
4	200.00	5744.00	20.70	21.11	1.956
5	200.00	5903.00	21.00	20.65	-1.680
6	220.00	933.00	82.50	85.76	3.804
7	220.00	1989.00	49.50	46.56	-6.303
8	220.00	3010.00	34.90	33.33	-4.698
9	220.00	3750.00	29.90	27.92	-7.104
10	220.00	4242.00	28.40	25.27	-12.369
11	240.00	1011.00	77.80	75.35	-3.254
12	240.00	1956.00	45.40	44.24	-2.619
13	240.00	2807.00	28.30	33.06	14.390

Anexo 1 (Capítulo 4) – Datos experimentales y teóricos inyección de polipropileno

14	240.00	3463.00	29.50	27.90	-5.717
15	240.00	5065.00	19.40	20.53	5.517
16	260.00	655.00	102.20	100.25	-1.947
17	260.00	2777.00	31.50	31.26	-0.779
18	260.00	3673.00	25.40	24.94	-1.830
19	260.00	4200.00	21.00	22.39	6.192

* Standard deviation 1.4483E-02

* 2-ND ORDER GRAPH FIT

* Standard 2-nd order data points

220.0	1000.0	79.51
240.0	100.0	405.96
240.0	1000.0	77.62
240.0	10000.0	11.30
260.0	100.0	415.21
260.0	1000.0	72.64

A(1)= 2.7994

A(2)= 3.98891E-02

A(3)= 3.64292E-02

A(4)=-2.56660E-02

A(5)=-1.92885E-03

A(6)=-5.28411E-05

No.	temperature	shear rate	meas V	calc V	% error
1	200.00	1515.00	58.70	58.10	-1.032
2	200.00	3163.00	31.70	33.68	5.883
3	200.00	3934.00	28.50	28.50	0.013
4	200.00	5744.00	20.70	21.21	2.418
5	200.00	5903.00	21.00	20.76	-1.157
6	220.00	933.00	82.50	83.68	1.405
7	220.00	1989.00	49.50	47.25	-4.758
8	220.00	3010.00	34.90	34.13	-2.247
9	220.00	3750.00	29.90	28.62	-4.469
10	220.00	4242.00	28.40	25.90	-9.649
11	240.00	1011.00	77.80	76.96	-1.093
12	240.00	1956.00	45.40	45.54	0.301
13	240.00	2807.00	28.30	33.85	16.388
14	240.00	3463.00	29.50	28.40	-3.886
15	240.00	5065.00	19.40	20.55	5.576
16	260.00	655.00	102.20	102.13	-0.070
17	260.00	2777.00	31.50	30.72	-2.524
18	260.00	3673.00	25.40	24.05	-5.612
19	260.00	4200.00	21.00	21.36	1.664

* Standard deviation 1.3085E-02

* 1-ST ORDER GRAPH FIT BASED ON 2-ND ORDER GRID

* Viscosity factor 3.169670E+04

* Shear factor -7.850532E-01

* Temp. factor -2.728783E-03

Anexo 1 (Capítulo 4) – Datos experimentales y teóricos inyección de polipropileno

* Standard 1-st order data points

220.0	100.0	467.94
240.0	10000.0	11.92
260.0	1000.0	68.82

No.	temperature	shear rate	meas V	calc V	% error
1	200.00	1515.00	58.70	58.51	-0.331
2	200.00	3163.00	31.70	32.83	3.433
3	200.00	3934.00	28.50	27.66	-3.035
4	200.00	5744.00	20.70	20.55	-0.730
5	200.00	5903.00	21.00	20.11	-4.404
6	220.00	933.00	82.50	81.05	-1.783
7	220.00	1989.00	49.50	44.74	-10.641
8	220.00	3010.00	34.90	32.32	-7.992
9	220.00	3750.00	29.90	27.19	-9.947
10	220.00	4242.00	28.40	24.69	-15.043
11	240.00	1011.00	77.80	72.06	-7.964
12	240.00	1956.00	45.40	42.92	-5.770
13	240.00	2807.00	28.30	32.32	12.451
14	240.00	3463.00	29.50	27.41	-7.619
15	240.00	5065.00	19.40	20.34	4.610
16	260.00	655.00	102.20	95.94	-6.527
17	260.00	2777.00	31.50	30.87	-2.050
18	260.00	3673.00	25.40	24.78	-2.489
19	260.00	4200.00	21.00	22.31	5.860

* Standard deviation 1.6410E-02

* MATERIAL COEFFICIENTS SUMMARY

31696.7	,-0.785053	,-2.728783E-03,
220.0	1000.0	79.51
240.0	100.0	405.96
240.0	1000.0	77.62
240.0	10000.0	11.30
260.0	100.0	415.21
260.0	1000.0	72.64

ARCHIVO .STR OBTENIDO CON VISDAT →

OBTENCION CONSTANTES DE MODELO VISCOSO DE PP PHC31 CON CORRECCION DE CAPA FRIA Y DE DIAGONAL.

Anexo 1 (Capítulo 4) – Datos experimentales y teóricos inyección de polipropileno

THIS PROGRAM IS COPYRIGHT "COLIN AUSTIN R & D PTY LTD"
(C)1979 (C)1985 (C)1988 (C)1990 (C)1992
AND OPERATED UNDER LICENCE BY "MOLDFLOW PTY LTD"

VISDAT ... APPROXIMATION OF VISCOSITY EXPERIMENTAL DATA
VERSION 1.5.0
LAST REVISED 11 - MAR - 92

This is a revised viscosity graph fitting program -
modifications have been made to suit the new database
format and the editing program MADRAS.

The 1st order model is now fitted from a grid of points
generated by the 2nd order model - this is to reduce bias.

The program outputs the standard points that need to be
entered into the new database by program matdb and also
the old viscosity constants are given for users still
using the old database.

EXECUTED 01-JAN-94 0 :04

STORE FILE: PP2CON22.STR
correccion de capa fria y diagonal de 22 mm. Segundas mediciones
No. temp. shear rate viscosity
Number of points 19

* 1-ST ORDER GRAPH FIT BASED ON ORIGINAL DATA

* Viscosity factor 4.664346E+04
* Shear factor -8.046439E-01
* Temp. factor -3.556955E-03

* Standard 1-st order data points
220.0 100.0 524.39
240.0 10000.0 12.01
260.0 1000.0 71.32

No.	temperature	shear rate	meas V	calc V	% error
1	200.00	1377.00	64.50	68.25	5.497
2	200.00	2876.00	34.80	37.73	7.778
3	200.00	3576.00	31.40	31.67	0.846
4	200.00	5222.00	22.80	23.35	2.359
5	200.00	5367.00	23.10	22.84	-1.130
6	220.00	902.00	90.80	89.34	-1.632
7	220.00	1808.00	50.10	51.06	1.875
8	220.00	2737.00	37.70	36.57	-3.082
9	220.00	3409.00	32.00	30.65	-4.403
10	220.00	3856.00	30.60	27.76	-10.241
11	240.00	919.00	85.60	81.97	-4.434
12	240.00	1778.00	49.90	48.20	-3.536
13	240.00	2551.00	37.70	36.05	-4.588
14	240.00	3149.00	32.40	30.43	-6.483
15	240.00	4604.00	21.40	22.41	4.526
16	260.00	920.00	71.30	76.27	6.517
17	260.00	2525.00	34.00	33.85	-0.447
18	260.00	3339.00	27.50	27.03	-1.727
19	260.00	4582.00	18.90	20.96	9.811

Anexo 1 (Capítulo 4) – Datos experimentales y teóricos inyección de polipropileno

* Standard deviation 1.2108E-02

* 2-ND ORDER GRAPH FIT

* Standard 2-nd order data points

220.0	1000.0	82.09
240.0	100.0	369.16
240.0	1000.0	78.35
240.0	10000.0	11.54
260.0	100.0	348.57
260.0	1000.0	69.72

A(1)= 1.7044

A(2)= 3.27336E-02

A(3)= 4.69378E-02

A(4)=-3.44560E-02

A(5)=-1.28831E-03

A(6)=-8.77496E-05

No.	temperature	shear rate	meas V	calc V	% error
1	200.00	1377.00	64.50	63.84	-1.039
2	200.00	2876.00	34.80	36.79	5.402
3	200.00	3576.00	31.40	31.03	-1.192
4	200.00	5222.00	22.80	22.91	0.459
5	200.00	5367.00	23.10	22.40	-3.129
6	220.00	902.00	90.80	88.44	-2.665
7	220.00	1808.00	50.10	52.74	4.999
8	220.00	2737.00	37.70	38.13	1.140
9	220.00	3409.00	32.00	31.97	-0.106
10	220.00	3856.00	30.60	28.91	-5.844
11	240.00	919.00	85.60	83.48	-2.544
12	240.00	1778.00	49.90	50.24	0.674
13	240.00	2551.00	37.70	37.57	-0.334
14	240.00	3149.00	32.40	31.59	-2.575
15	240.00	4604.00	21.40	22.92	6.623
16	260.00	920.00	71.30	74.38	4.139
17	260.00	2525.00	34.00	32.92	-3.278
18	260.00	3339.00	27.50	25.95	-5.979
19	260.00	4582.00	18.90	19.69	4.009

* Standard deviation 8.5304E-03

* 1-ST ORDER GRAPH FIT BASED ON 2-ND ORDER GRID

* Viscosity factor 3.504061E+04

* Shear factor -7.535787E-01

* Temp. factor -4.164454E-03

* Standard 1-st order data points

220.0	100.0	436.04
240.0	10000.0	12.48
260.0	1000.0	65.10

No.	temperature	shear rate	meas V	calc V	% error
1	200.00	1377.00	64.50	65.68	1.793
2	200.00	2876.00	34.80	37.70	7.701
3	200.00	3576.00	31.40	32.00	1.861
4	200.00	5222.00	22.80	24.05	5.209

Anexo 1 (Capítulo 4) – Datos experimentales y teóricos inyección de polipropileno

5	200.00	5367.00	23.10	23.56	1.959
6	220.00	902.00	90.80	83.12	-9.241
7	220.00	1808.00	50.10	49.22	-1.792
8	220.00	2737.00	37.70	36.01	-4.693
9	220.00	3409.00	32.00	30.52	-4.853
10	220.00	3856.00	30.60	27.81	-10.022
11	240.00	919.00	85.60	75.41	-13.516
12	240.00	1778.00	49.90	45.86	-8.811
13	240.00	2551.00	37.70	34.94	-7.909
14	240.00	3149.00	32.40	29.81	-8.689
15	240.00	4604.00	21.40	22.39	4.420
16	260.00	920.00	71.30	69.32	-2.849
17	260.00	2525.00	34.00	32.39	-4.958
18	260.00	3339.00	27.50	26.24	-4.790
19	260.00	4582.00	18.90	20.67	8.585

* Standard deviation 1.5608E-02

* MATERIAL COEFFICIENTS SUMMARY

35040.6	,-0.753579	,-4.164454E-03,
220.0	1000.0	82.09
240.0	100.0	369.16
240.0	1000.0	78.35
240.0	10000.0	11.54
260.0	100.0	348.57
260.0	1000.0	69.72

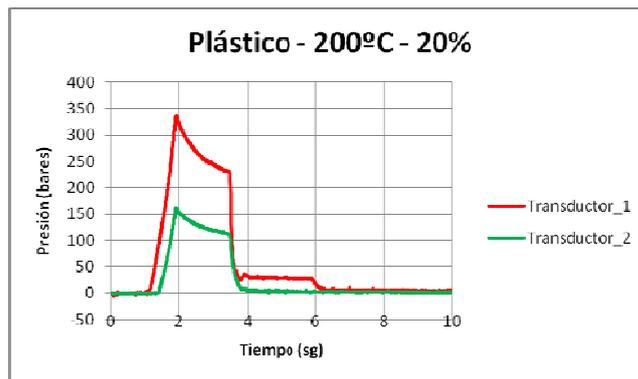
GRAFICAS OBTENIDAS CON MOLDE ESPIRAL MONITORIZADO

**GRAFICAS OBTENIDAS POR SIMULACION CON MOLDFLOW PARA LOS DISTINTOS MODELOS DE PP
PHC31**

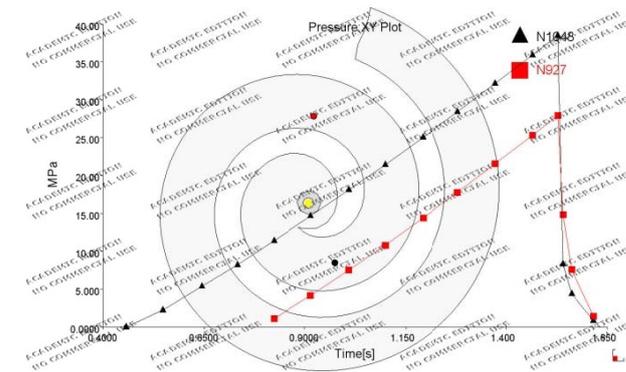
**→ COMPARACION DE LAS CAIDAS DE PRESION ENTRE TRASNDUCTORES 1 Y 2 EN LA
INYECCION DE ESPIRALES**

Anexo 1 (Capítulo 4) – Datos experimentales y teóricos inyección de polipropileno

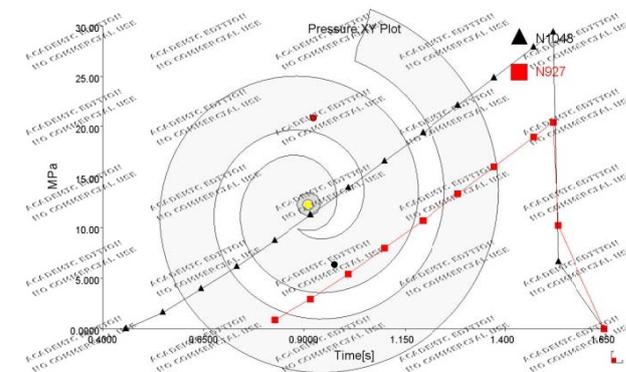
$\Delta P \rightarrow$ Ensayo a 20% de velocidad máxima de la máquina y 200°C de temperatura de inyección



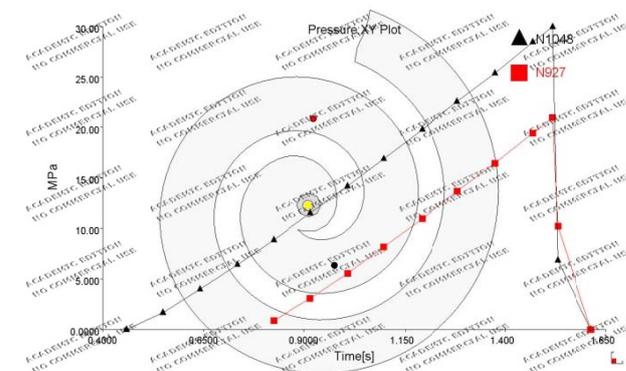
Gráfica Captada por transductores 20% - 200°C



Gráfica Moldflow aplicando modelo sin correcciones 20% - 200°C

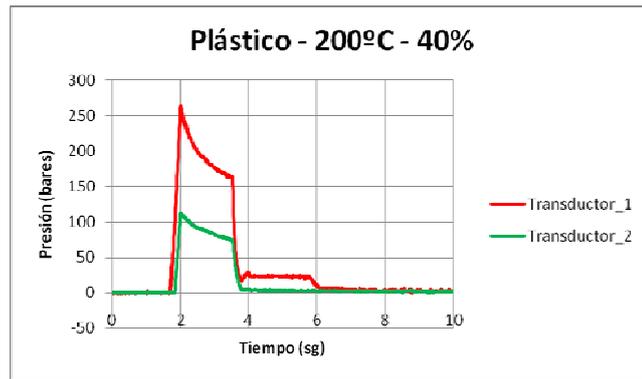


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría 20% - 200°C

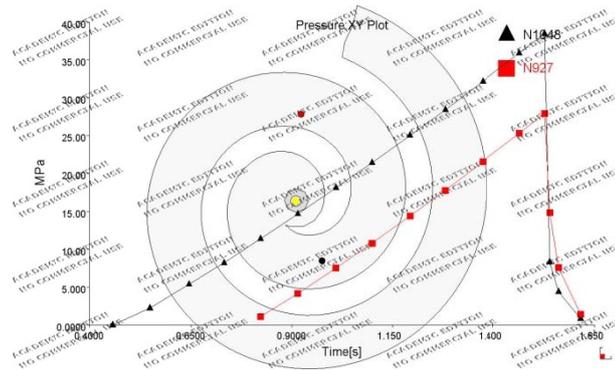


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 20% - 200°C

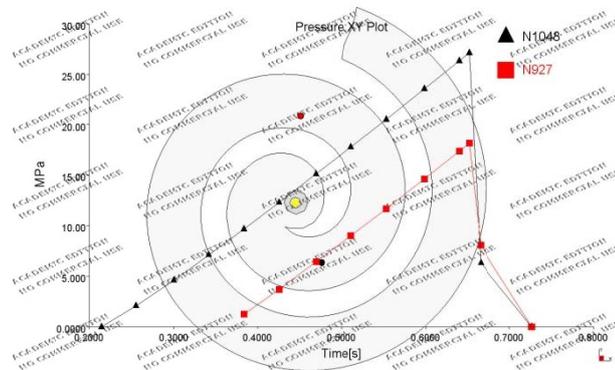
$\Delta P \rightarrow$ Ensayo a 40% de velocidad máxima de la máquina y 200°C de temperatura de inyección



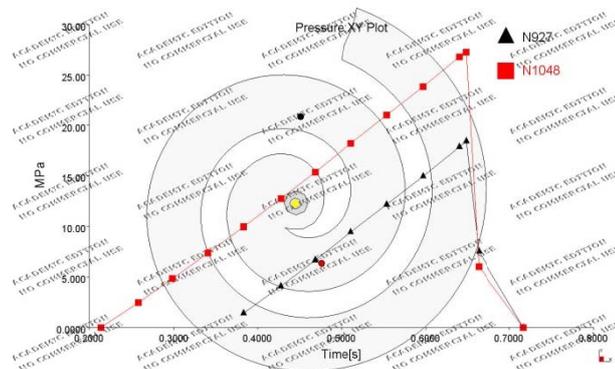
Gráfica Captada por transductores 40% - 200°C



Gráfica Moldflow aplicando modelo sin correcciones 40% - 200°C



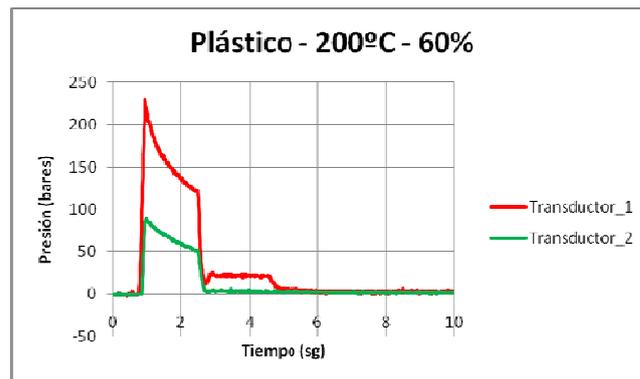
Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría 40% - 200°C



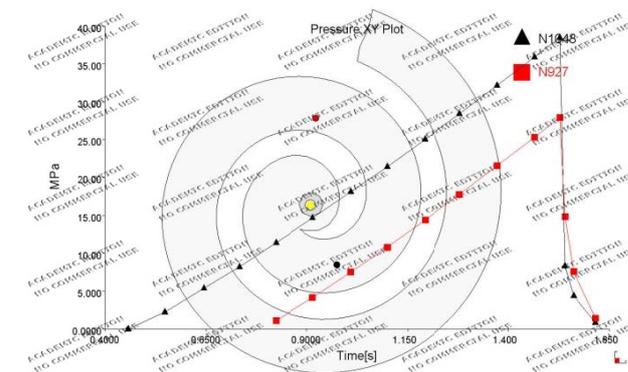
Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 40% - 200°C

Anexo 1 (Capítulo 4) – Datos experimentales y teóricos inyección de polipropileno

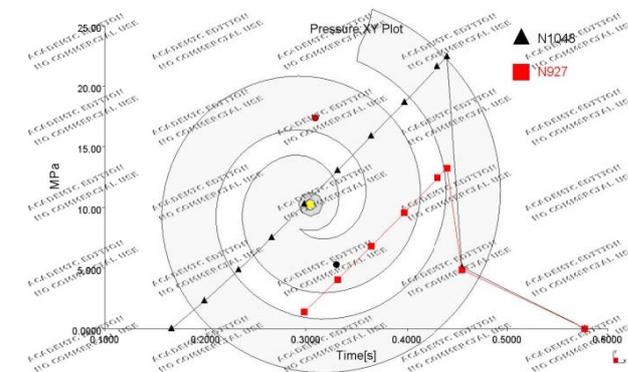
$\Delta P \rightarrow$ Ensayo a 60% de velocidad máxima de la máquina y 200°C de temperatura de inyección



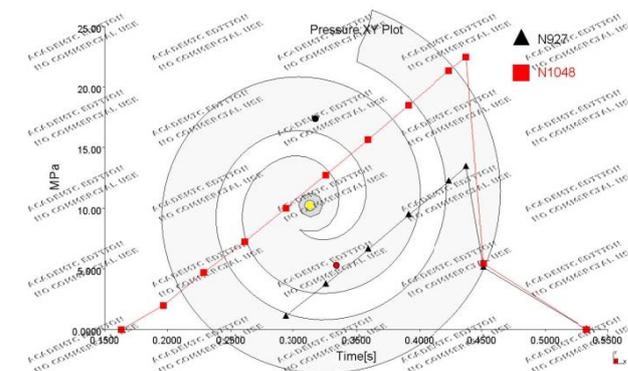
Gráfica Captada por transductores 60% - 200°C



Gráfica Moldflow aplicando modelo sin correcciones 60% - 200°C

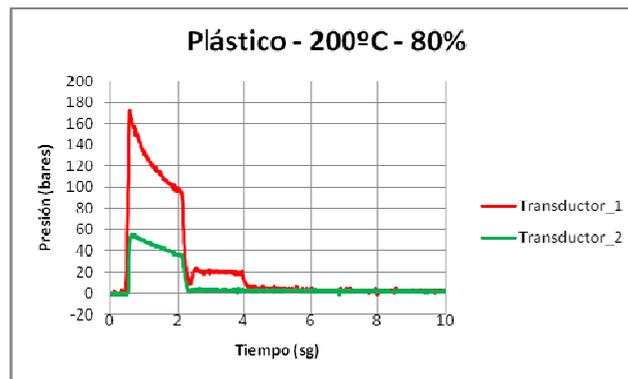


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría 60% - 200°C

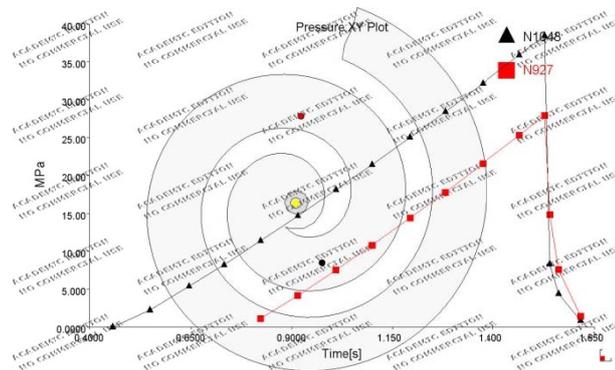


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 60% - 200°C

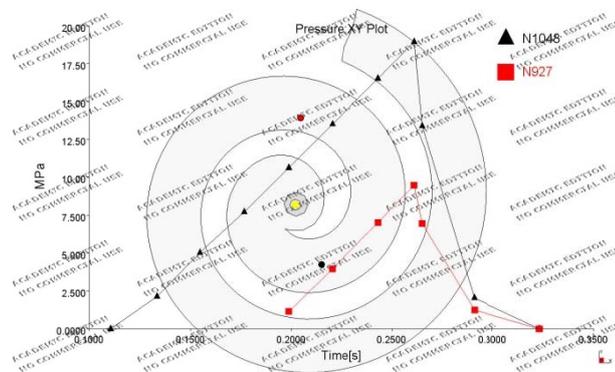
$\Delta P \rightarrow$ Ensayo a 80% de velocidad máxima de la máquina y 200°C de temperatura de inyección



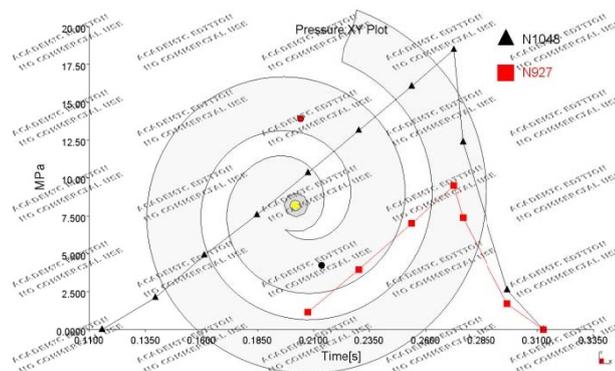
Gráfica Captada por transductores 80% - 200°C



Gráfica Moldflow aplicando modelo sin correcciones 80% - 200°C



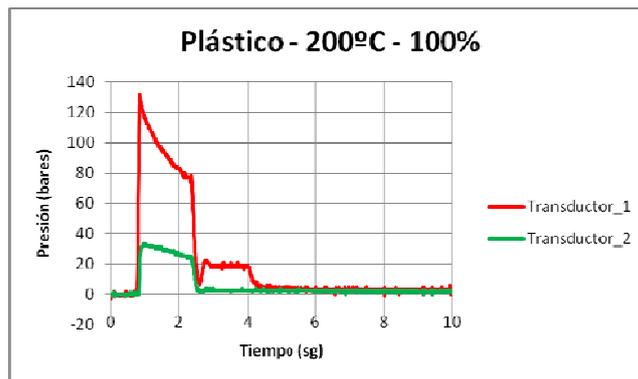
Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría 80% - 200°C



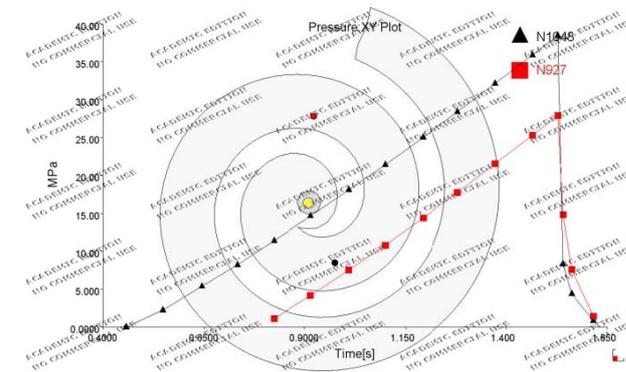
Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 80% - 200°C

Anexo 1 (Capítulo 4) – Datos experimentales y teóricos inyección de polipropileno

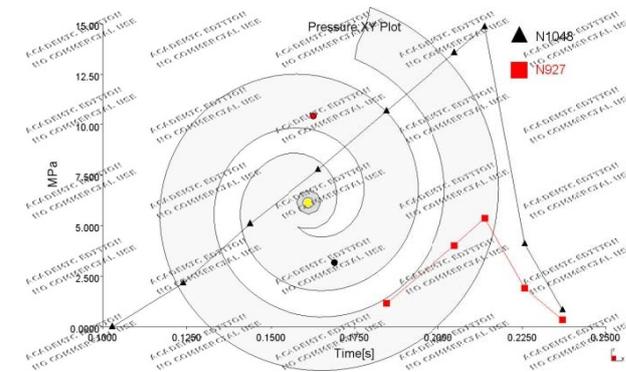
$\Delta P \rightarrow$ Ensayo a 100% de velocidad máxima de la máquina y 200°C de temperatura de inyección



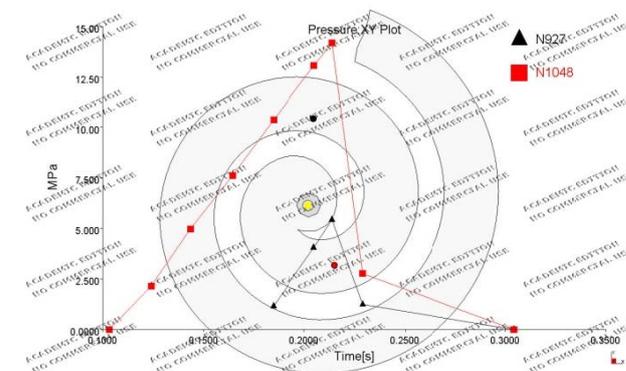
Gráfica Captada por transductores 100% - 200°C



Gráfica Moldflow aplicando modelo sin correcciones 100% - 200°C

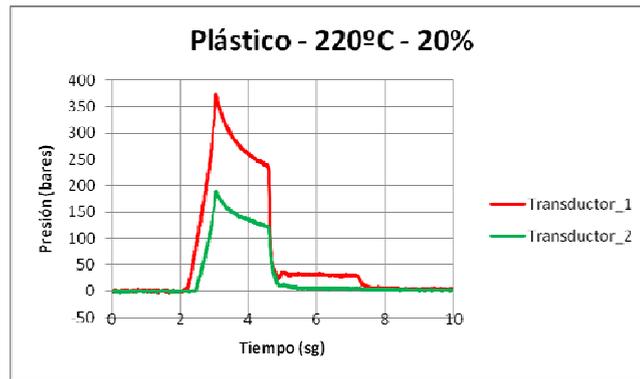


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría 100% - 200°C

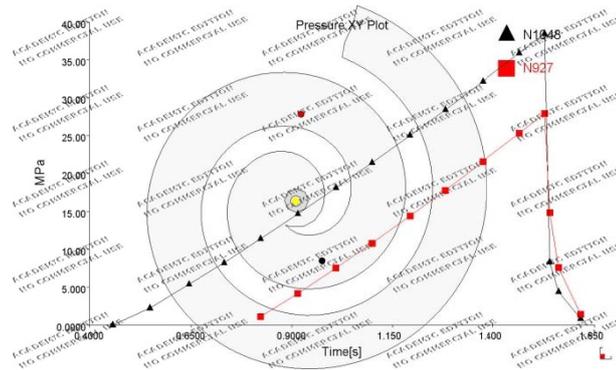


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 100% - 200°C

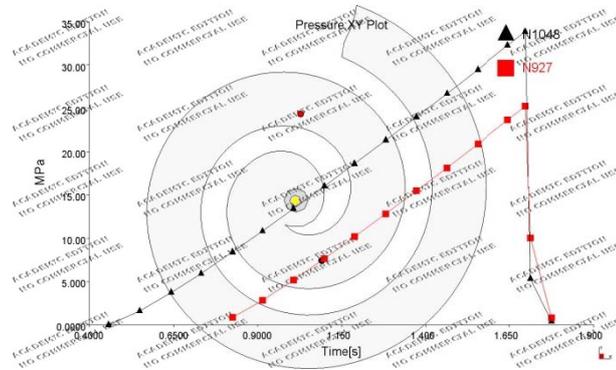
$\Delta P \rightarrow$ Ensayo a 20% de velocidad máxima de la máquina y 220°C de temperatura de inyección



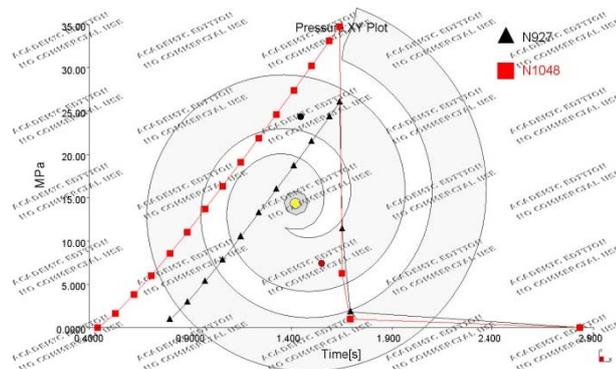
Gráfica Captada por transductores 20% - 220°C



Gráfica Moldflow aplicando modelo sin correcciones 20% - 220°C

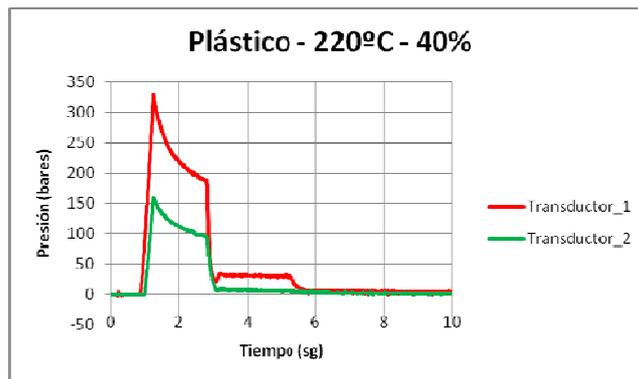


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría 20% - 220°C

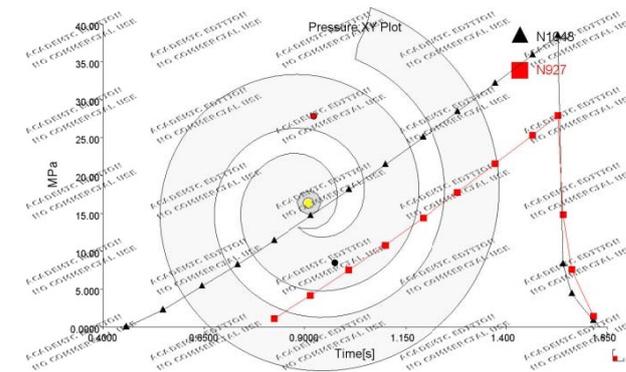


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 20% - 220°C

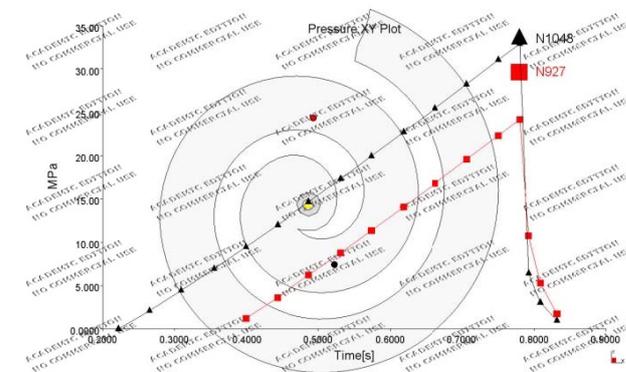
$\Delta P \rightarrow$ Ensayo a 40% de velocidad máxima de la máquina y 220°C de temperatura de inyección



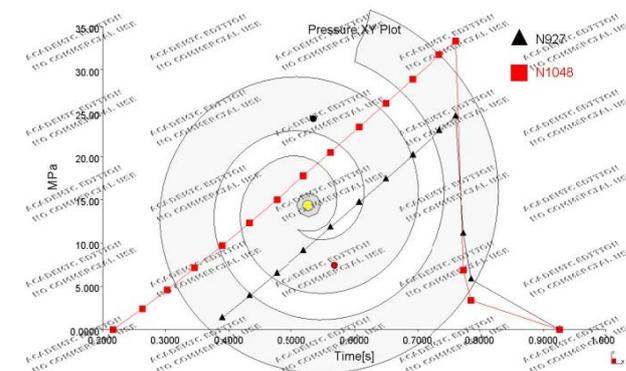
Gráfica Captada por transductores 40% - 220°C



Gráfica Moldflow aplicando modelo sin correcciones 40% - 220°C

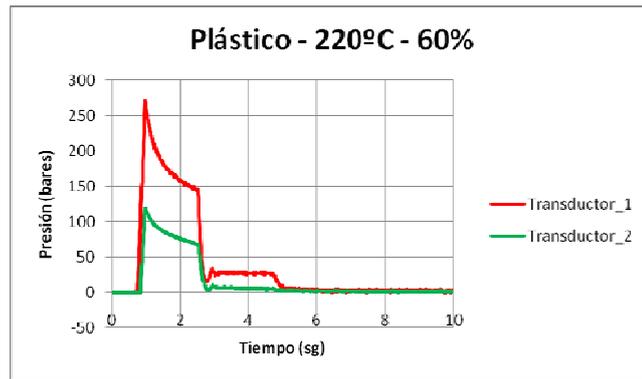


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría 40% - 220°C

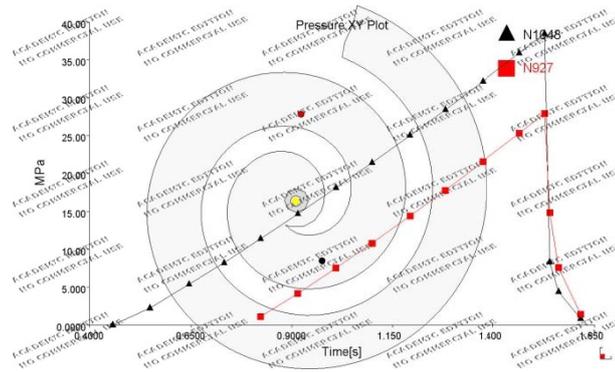


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 40% - 220°C

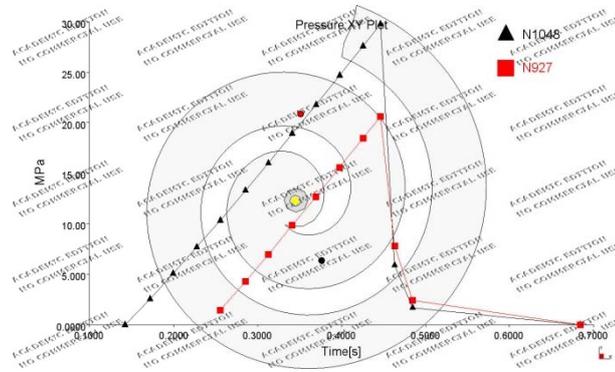
$\Delta P \rightarrow$ Ensayo a 60% de velocidad máxima de la máquina y 220°C de temperatura de inyección



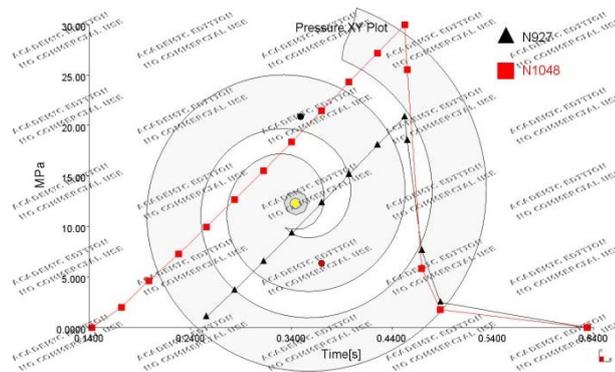
Gráfica Captada por transductores 60% - 220°C



Gráfica Moldflow aplicando modelo sin correcciones 60% - 220°C

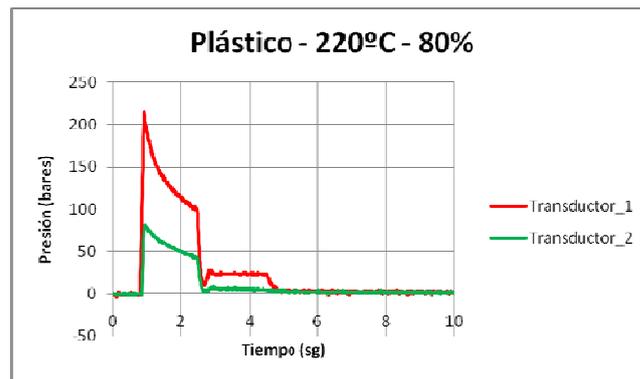


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría 60% - 220°C

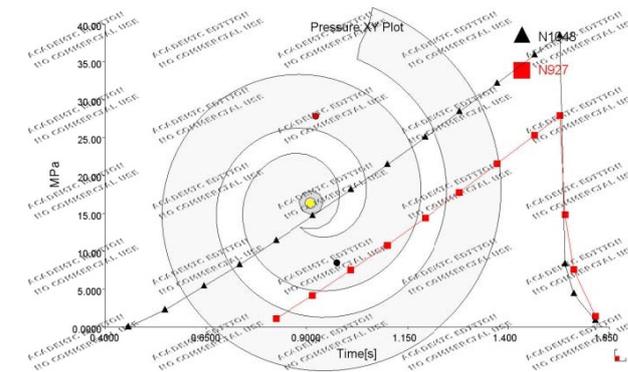


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 60% - 220°C

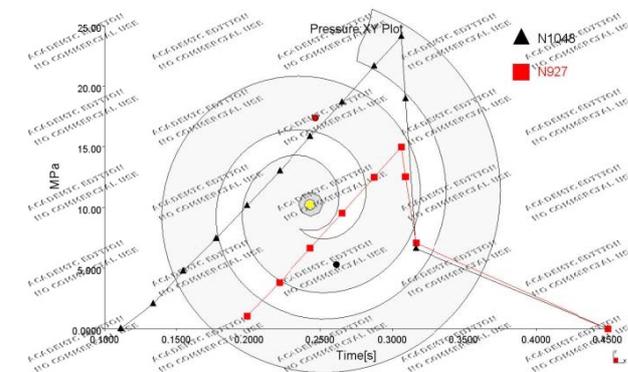
$\Delta P \rightarrow$ Ensayo a 80% de velocidad máxima de la máquina y 220°C de temperatura de inyección



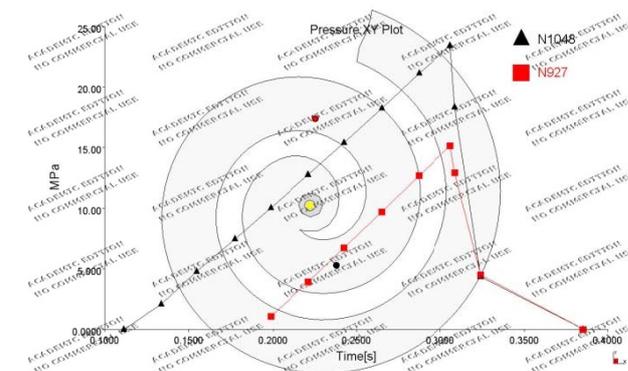
Gráfica Captada por transductores 80% - 220°C



Gráfica Moldflow aplicando modelo sin correcciones 80% - 220°C

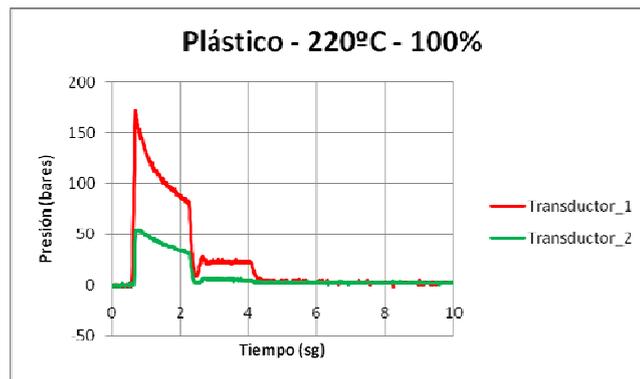


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría 80% - 220°C

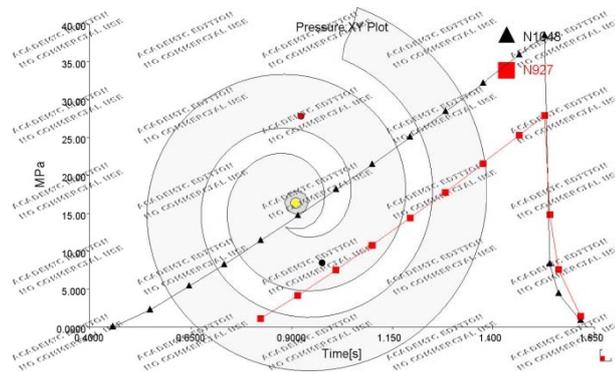


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 80% - 220°C

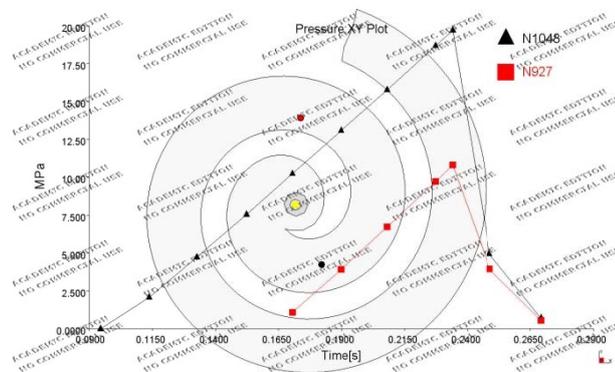
$\Delta P \rightarrow$ Ensayo a 100% de velocidad máxima de la máquina y 220°C de temperatura de inyección



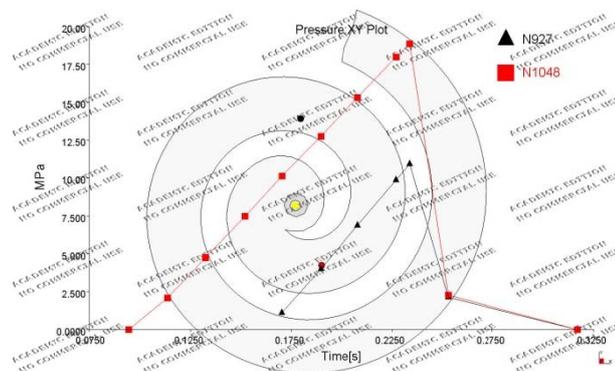
Gráfica Captada por transductores 100% - 220°C



Gráfica Moldflow aplicando modelo sin correcciones 100% - 220°C

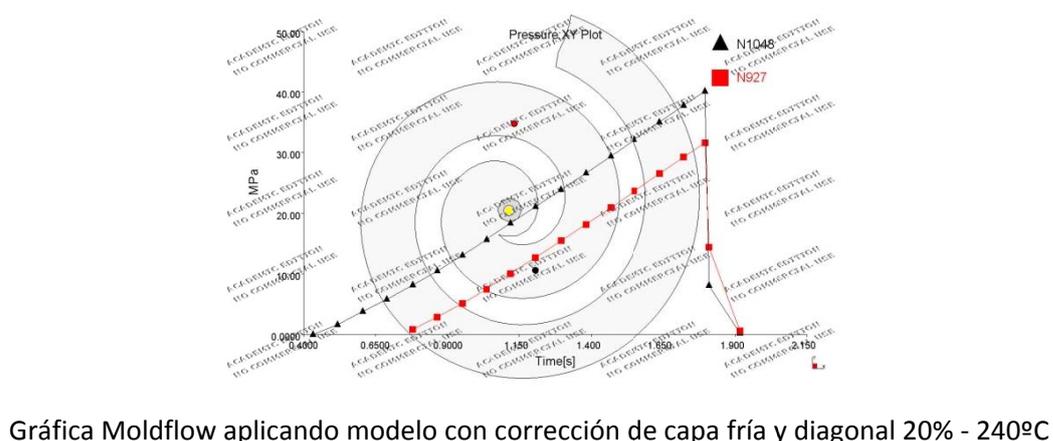
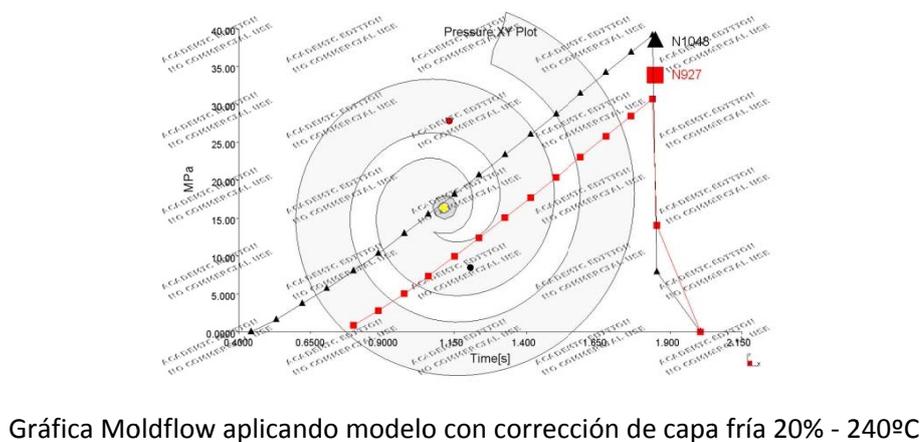
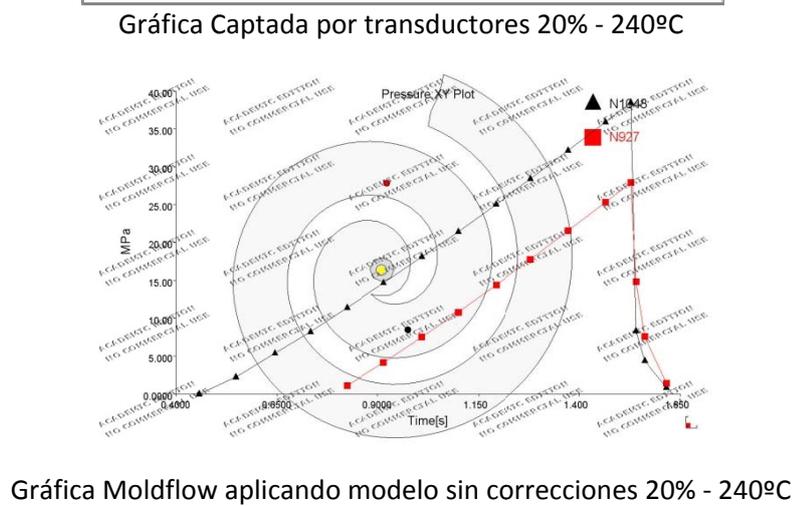
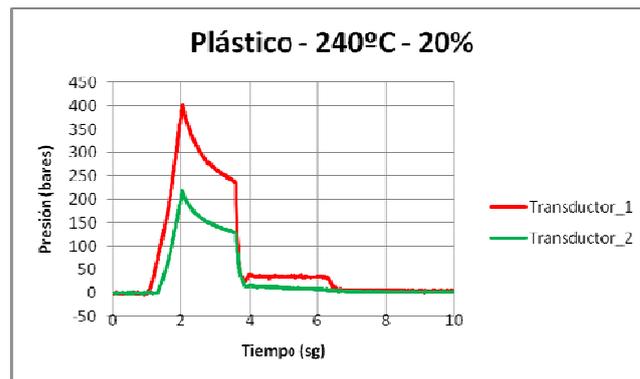


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría 100% - 220°C

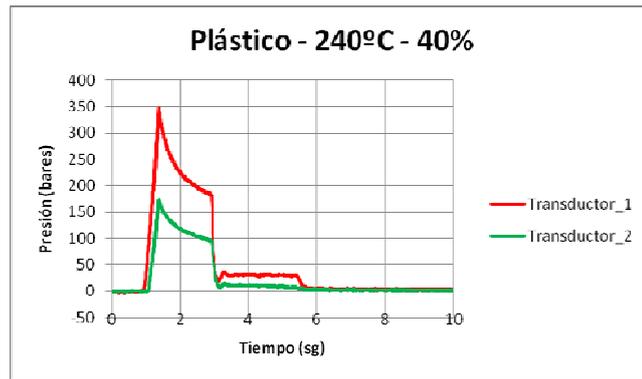


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 100% - 220°C

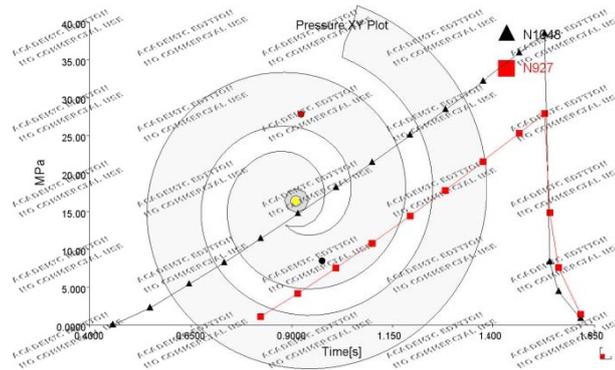
$\Delta P \rightarrow$ Ensayo a 20% de velocidad máxima de la máquina y 240°C de temperatura de inyección



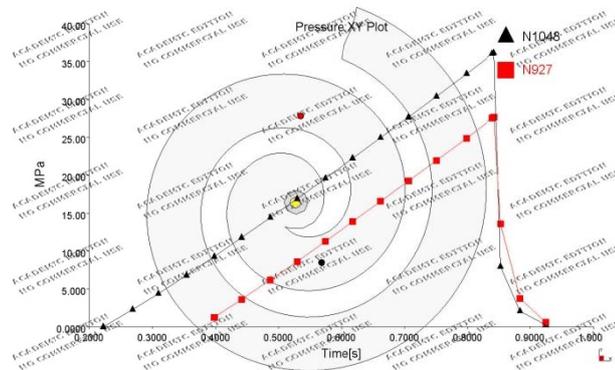
$\Delta P \rightarrow$ Ensayo a 40% de velocidad máxima de la máquina y 240°C de temperatura de inyección



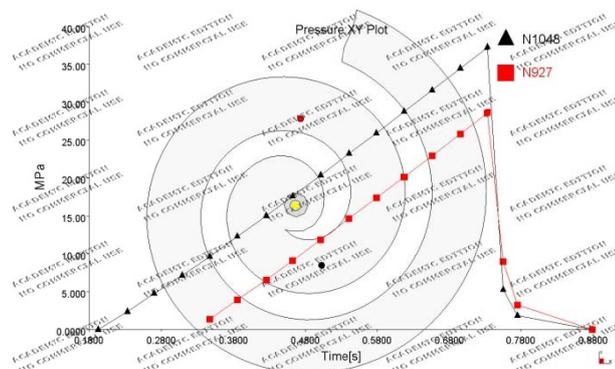
Gráfica Captada por transductores 40% - 240°C



Gráfica Moldflow aplicando modelo sin correcciones 40% - 240°C

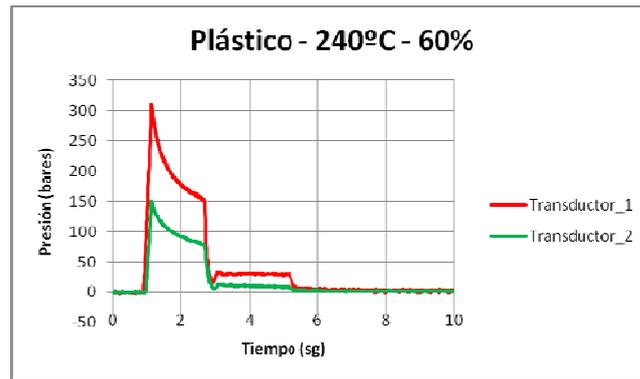


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría 40% - 240°C

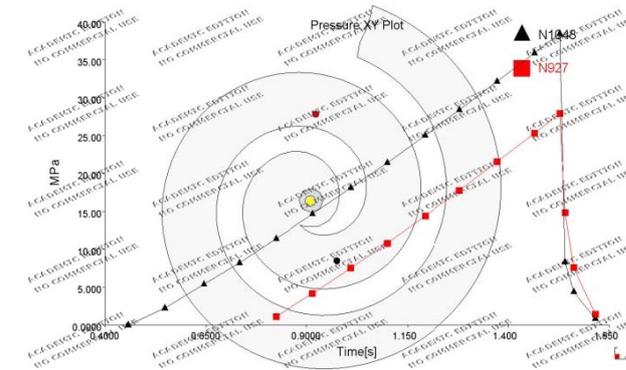


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 40% - 240°C

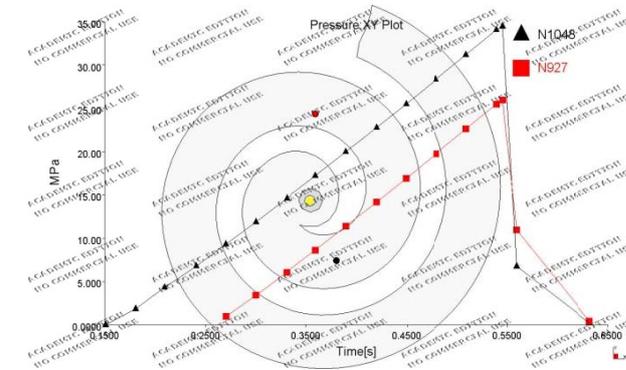
$\Delta P \rightarrow$ Ensayo a 60% de velocidad máxima de la máquina y 240°C de temperatura de inyección



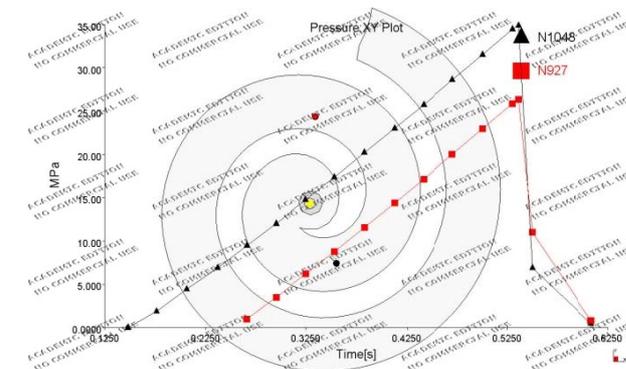
Gráfica Captada por transductores 60% - 240°C



Gráfica Moldflow aplicando modelo sin correcciones 60% - 240°C

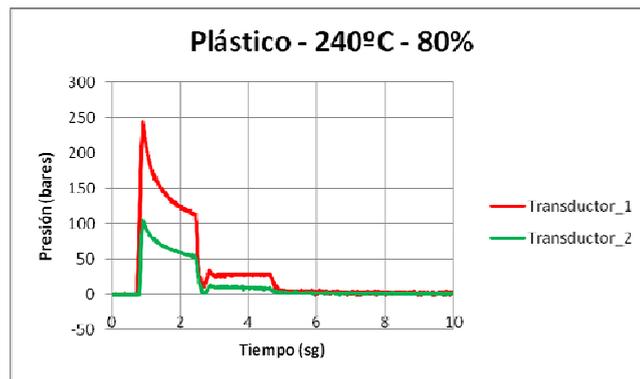


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría 60% - 240°C

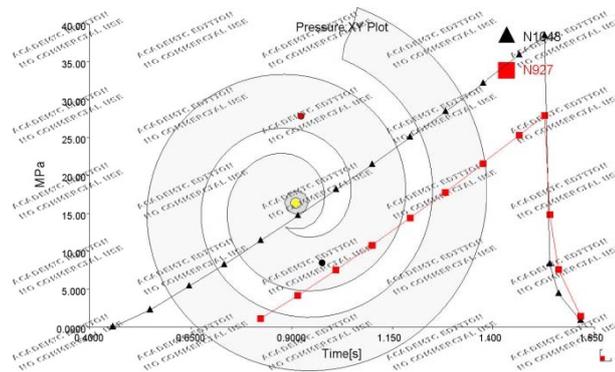


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 60% - 240°C

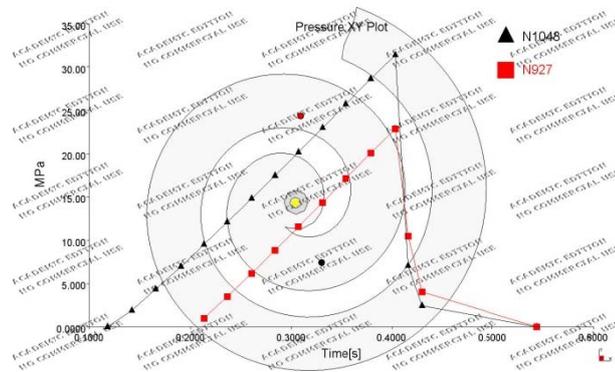
$\Delta P \rightarrow$ Ensayo a 80% de velocidad máxima de la máquina y 240°C de temperatura de inyección



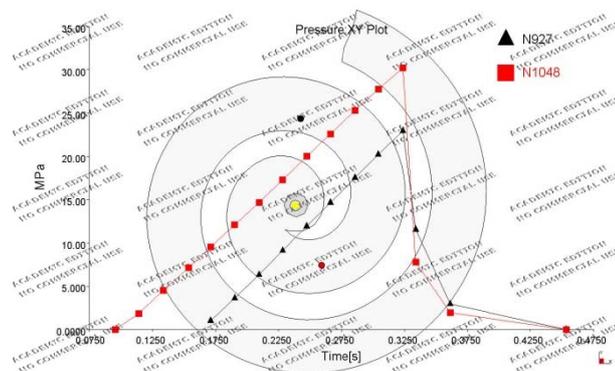
Gráfica Captada por transductores 80% - 240°C



Gráfica Moldflow aplicando modelo sin correcciones 80% - 240°C

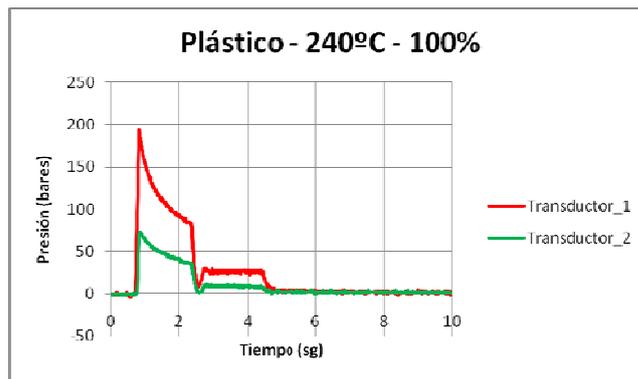


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría 80% - 240°C

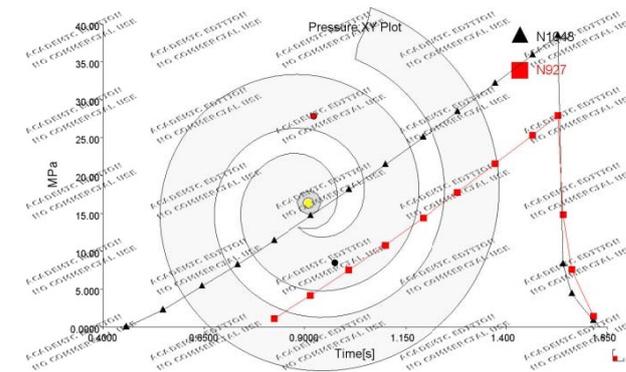


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 80% - 240°C

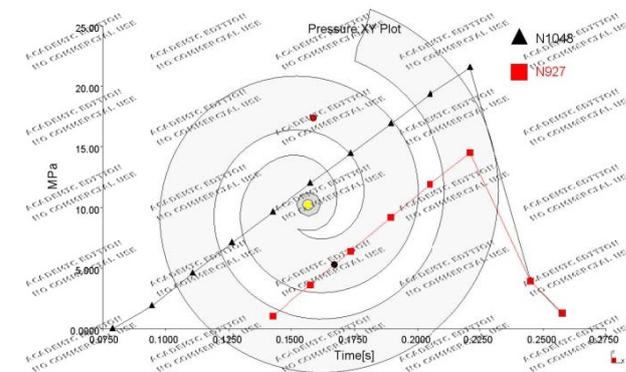
$\Delta P \rightarrow$ Ensayo a 100% de velocidad máxima de la máquina y 240°C de temperatura de inyección



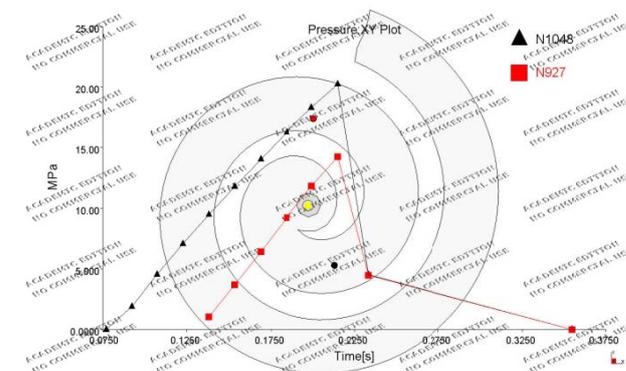
Gráfica Captada por transductores 100% - 240°C



Gráfica Moldflow aplicando modelo sin correcciones 100% - 240°C

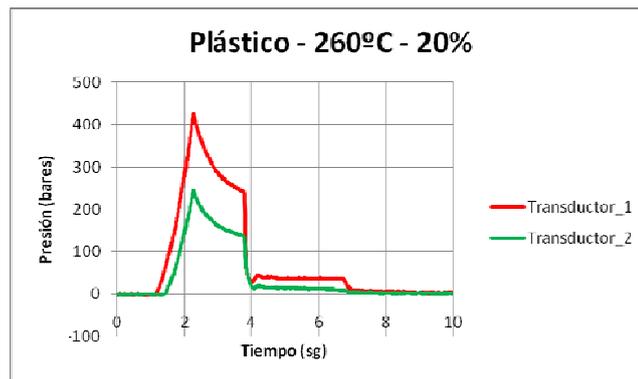


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría 100% - 240°C

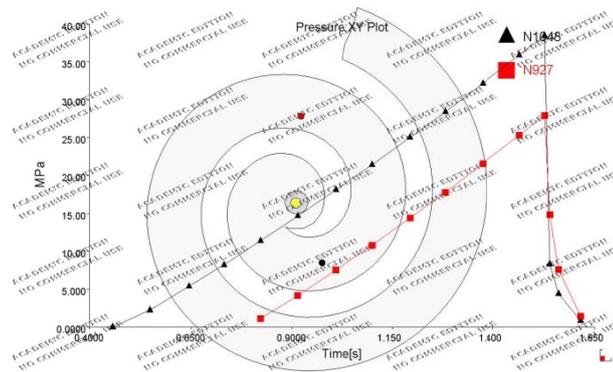


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 100% - 240°C

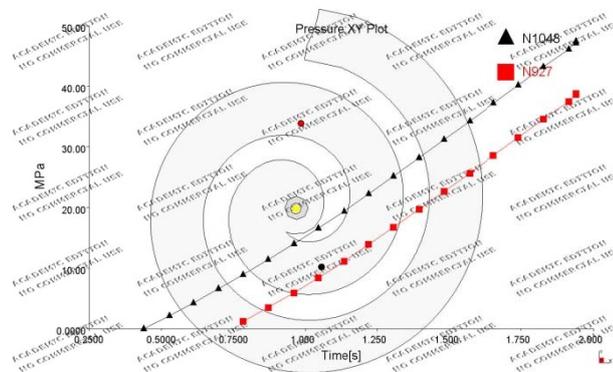
$\Delta P \rightarrow$ Ensayo a 20% de velocidad máxima de la máquina y 260°C de temperatura de inyección



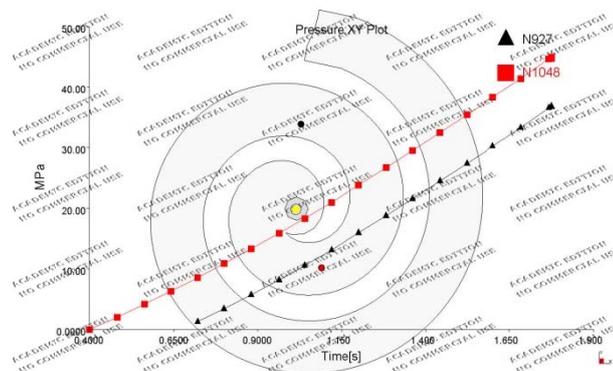
Gráfica Captada por transductores 20% - 260°C



Gráfica Moldflow aplicando modelo sin correcciones 20% - 260°C

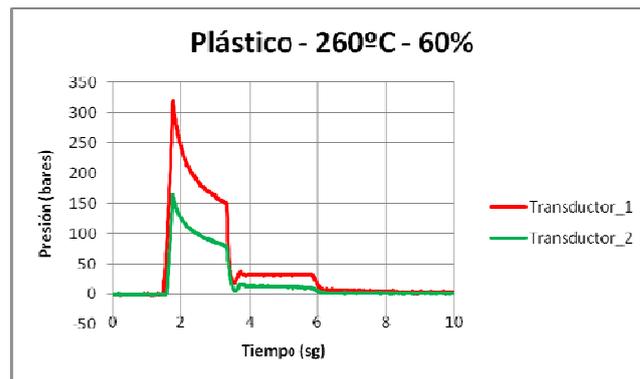


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría 20% - 260°C

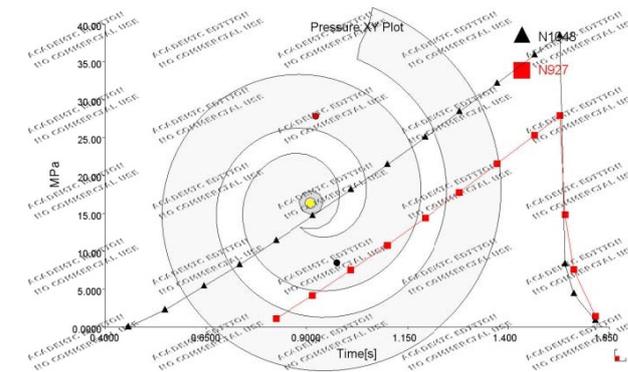


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 20% - 260°C

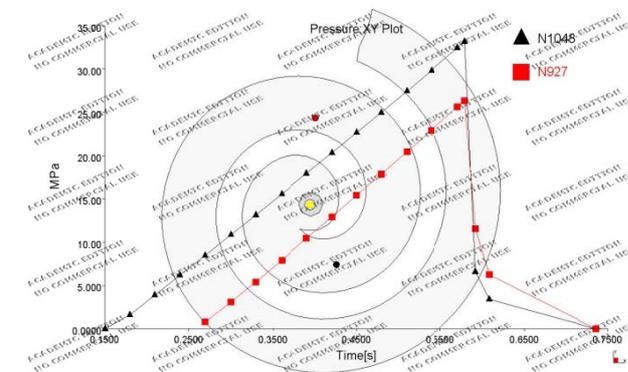
$\Delta P \rightarrow$ Ensayo a 60% de velocidad máxima de la máquina y 260°C de temperatura de inyección



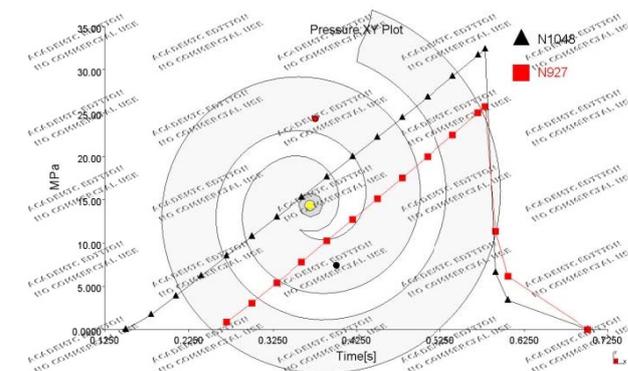
Gráfica Captada por transductores 60% - 260°C



Gráfica Moldflow aplicando modelo sin correcciones 60% - 260°C

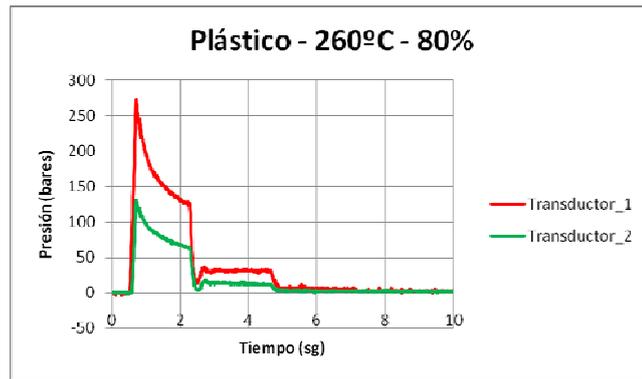


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría 60% - 260°C

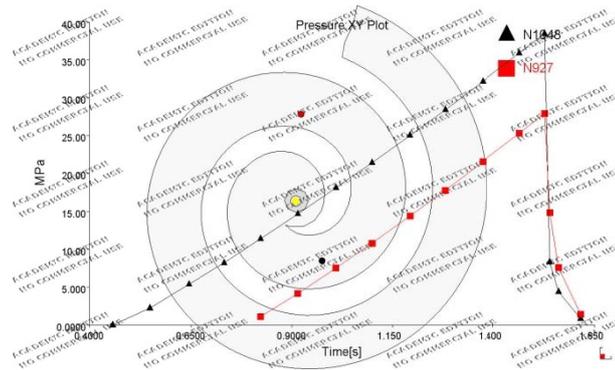


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 60% - 260°C

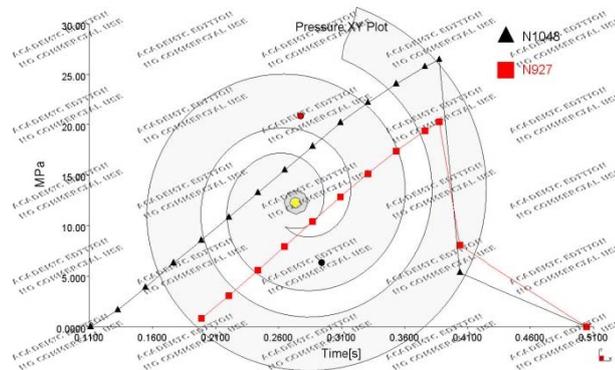
$\Delta P \rightarrow$ Ensayo a 80% de velocidad máxima de la máquina y 260°C de temperatura de inyección



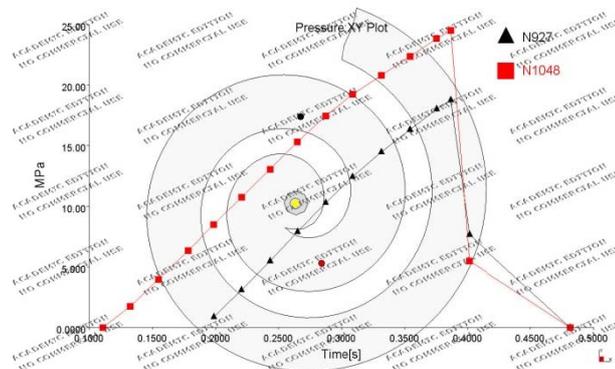
Gráfica Captada por transductores 80% - 260°C



Gráfica Moldflow aplicando modelo sin correcciones 80% - 260°C



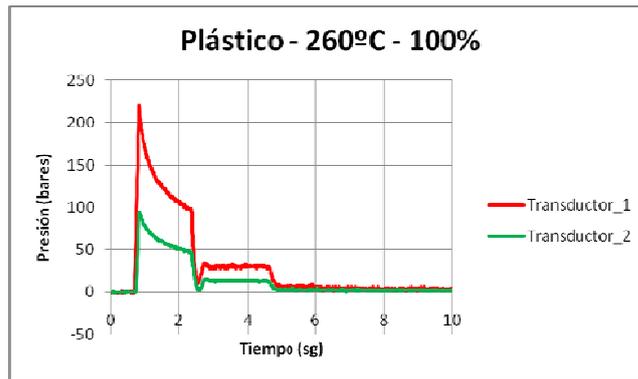
Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría 80% - 260°C



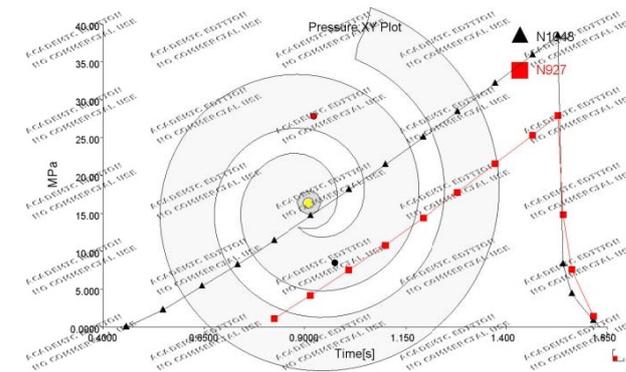
Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 80% - 260°C

Anexo 1 (Capítulo 4) – Datos experimentales y teóricos inyección de polipropileno

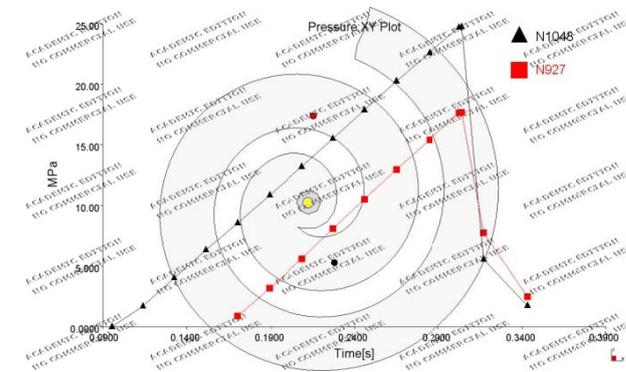
$\Delta P \rightarrow$ Ensayo a 100% de velocidad máxima de la máquina y 260°C de temperatura de inyección



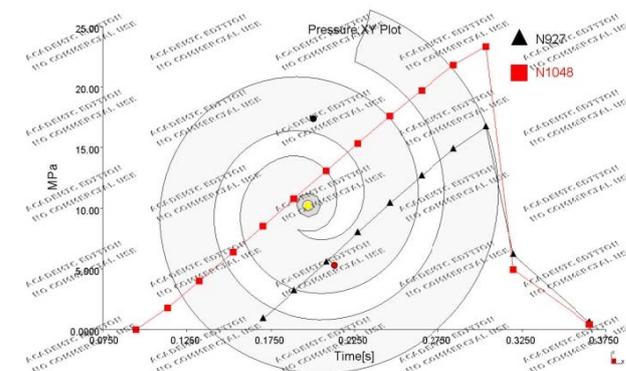
Gráfica Captada por transductores 100% - 260°C



Gráfica Moldflow aplicando modelo sin correcciones 100% - 260°C



Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría 100% - 260°C



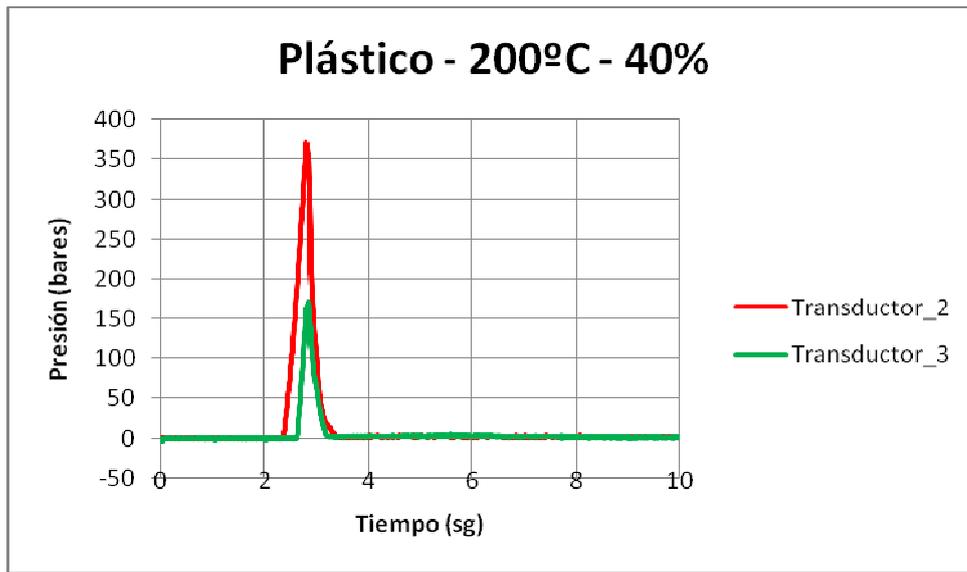
Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 100% - 260°C

GRAFICAS OBTENIDAS CON MOLDE ESPIRAL MONITORIZADO

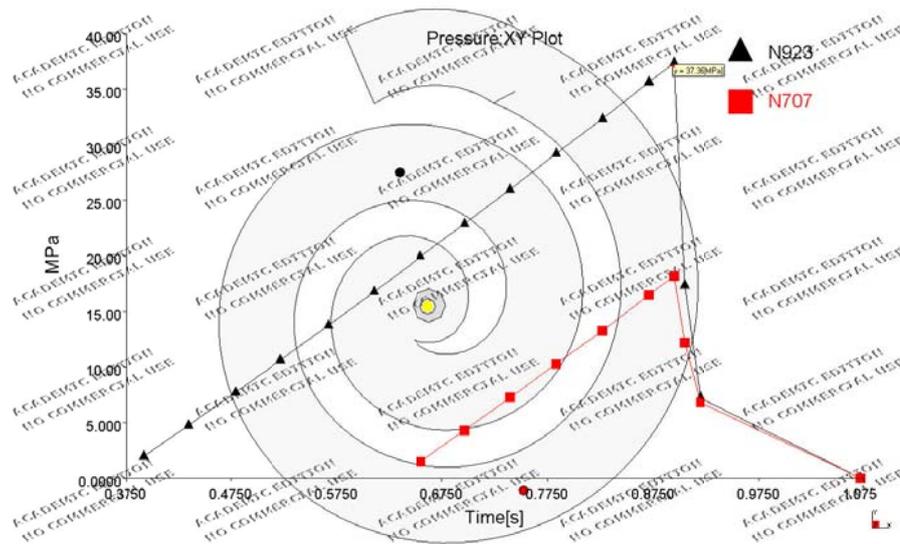
GRAFICAS OBTENIDAS POR SIMULACION CON MOLDFLOW CON MODELO DE PP PHC31 CORREGIDO

→ COMPARACION DE LAS PRESIONES MAXIMAS MEDIDAS EN TRANSDUCTOR 2 Y TRANSDUCTOR 3 EN LA INYECCION DE ESPIRALES

Presión máxima en T2 y T3 → 40% de velocidad máxima de máquina y 200°C

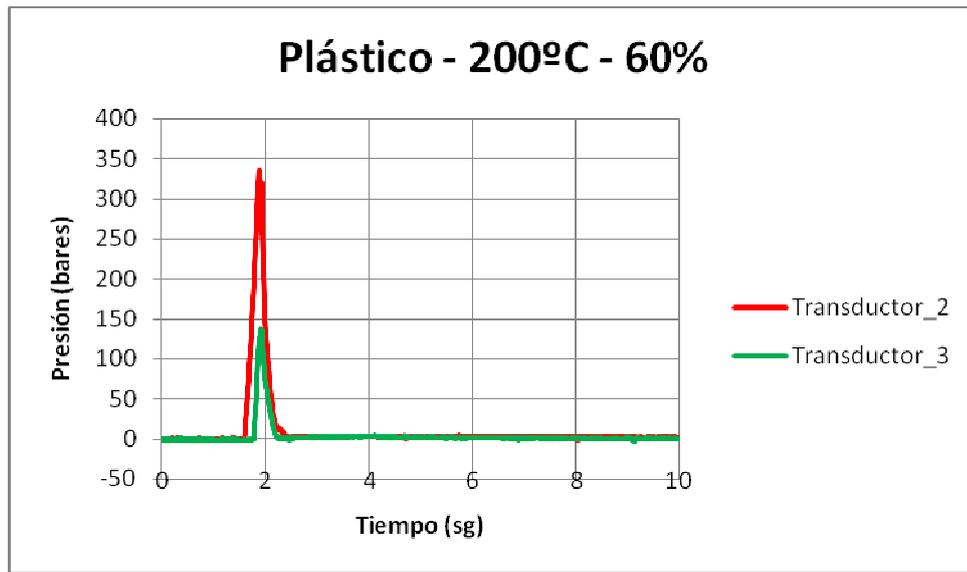


Gráfica Captada por transductores 40% - 200°C

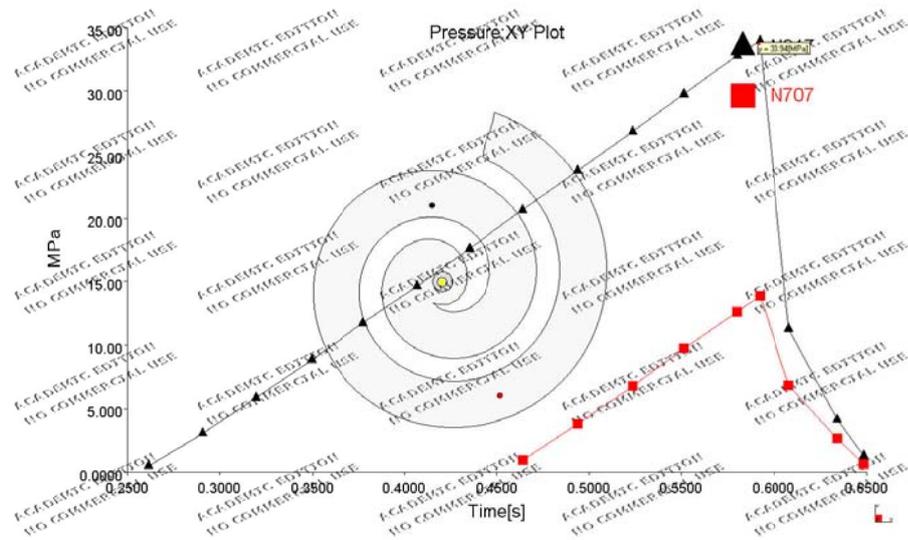


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 40% - 200°C

Presión máxima en T2 y T3 → 60% de velocidad máxima de máquina y 200°C

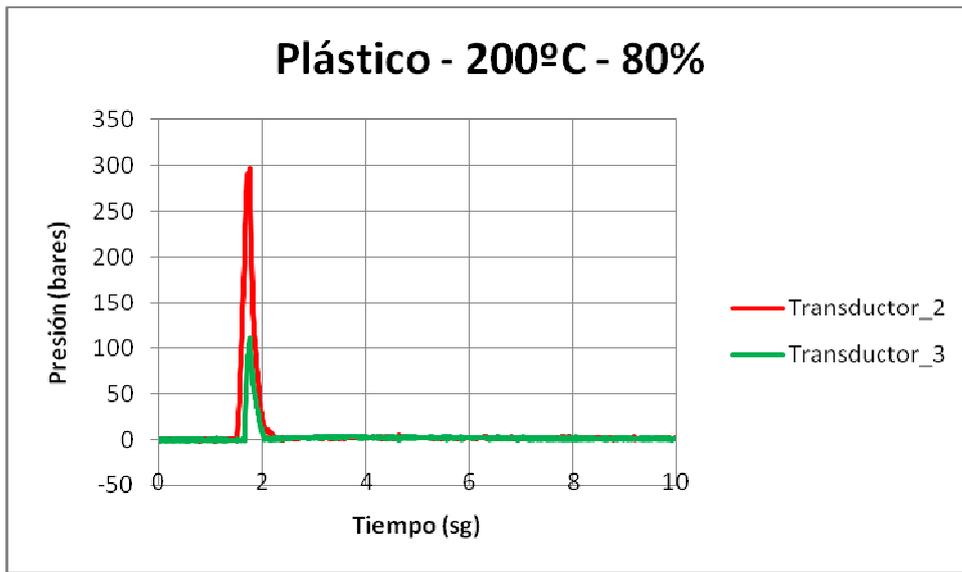


Gráfica Captada por transductores 60% - 200°C

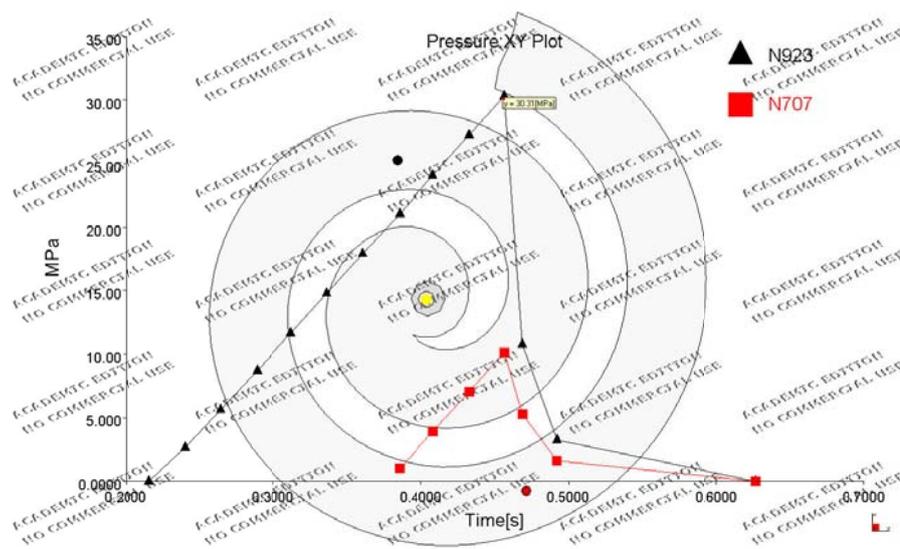


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 60% - 200°C

Presión máxima en T2 y T3 → 80% de velocidad máxima de máquina y 200°C

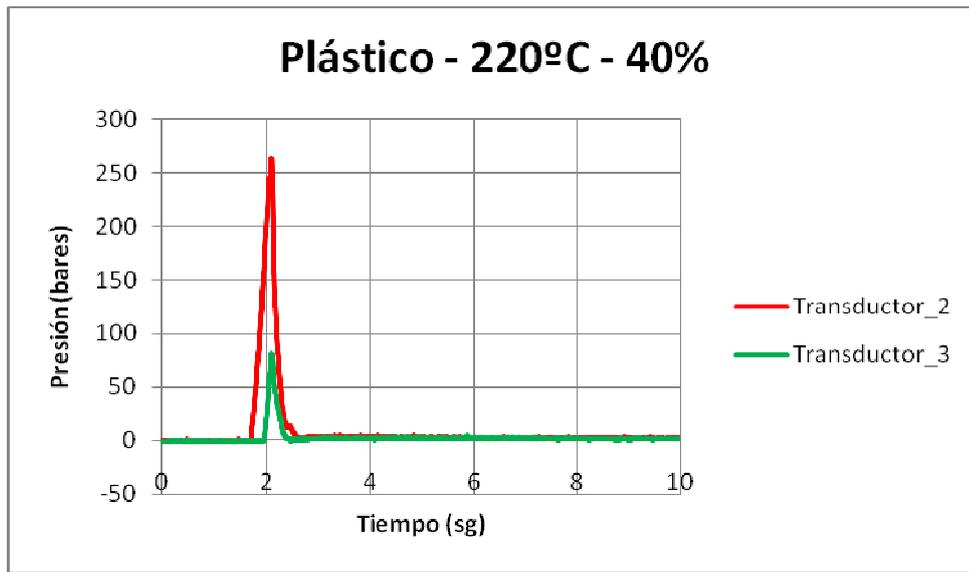


Gráfica Captada por transductores 80% - 200°C

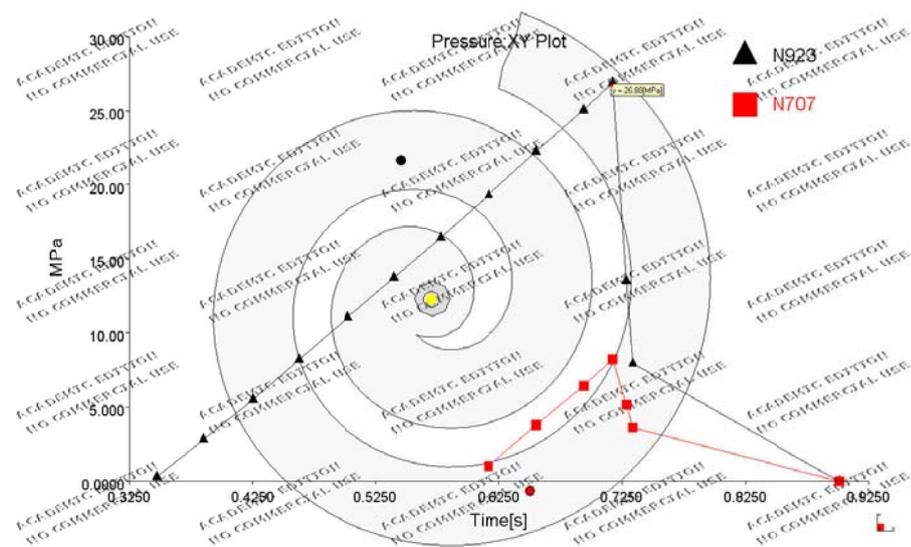


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 80% - 200°C

Presión máxima en T2 y T3 → 40% de velocidad máxima de máquina y 220°C

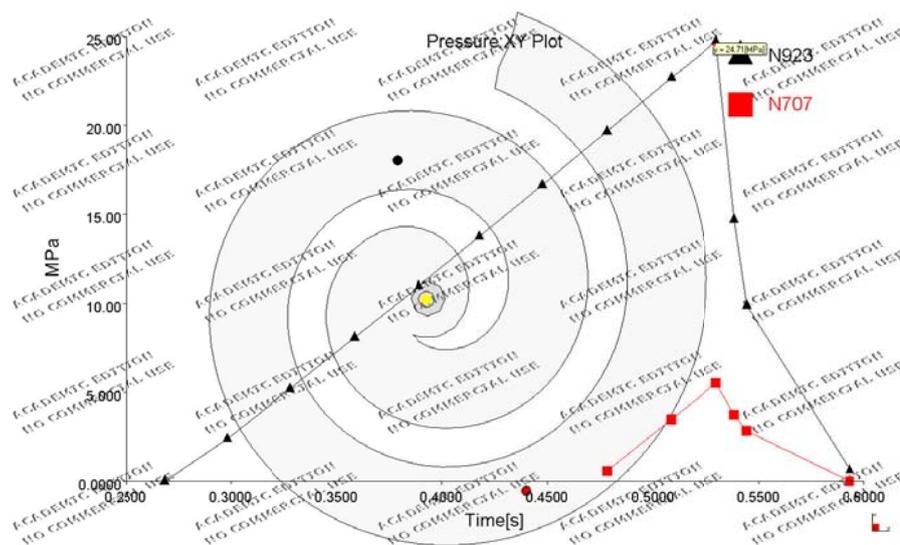
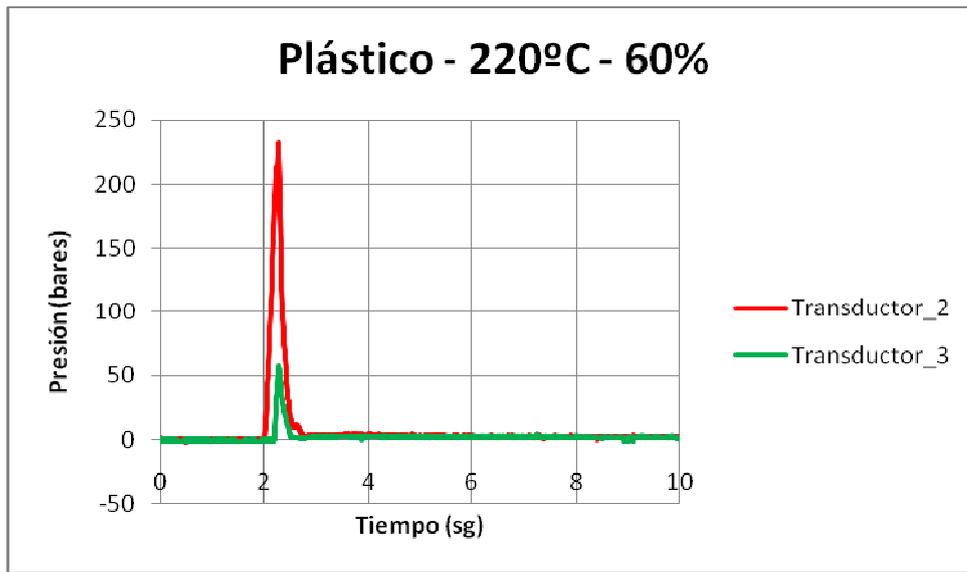


Gráfica Captada por transductores 40% - 220°C



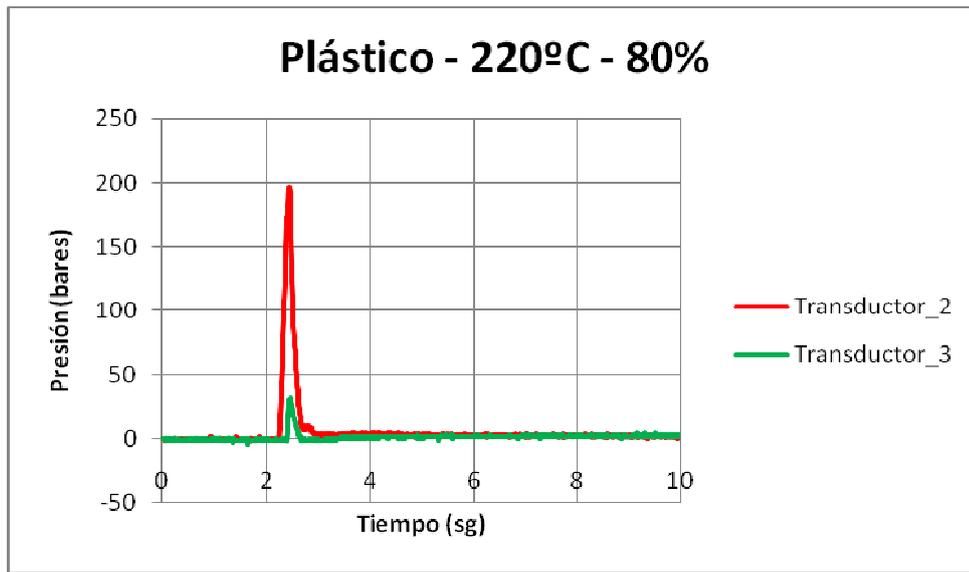
Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 40% - 220°C

Presión máxima en T2 y T3 → 60% de velocidad máxima de máquina y 220°C

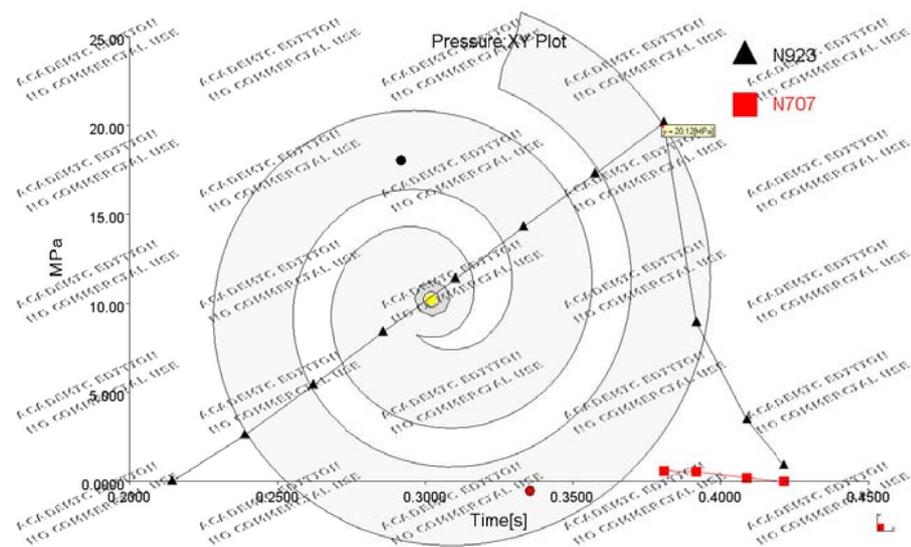


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 60% - 220°C

Presión máxima en T2 y T3 → 80% de velocidad máxima de máquina y 220°C

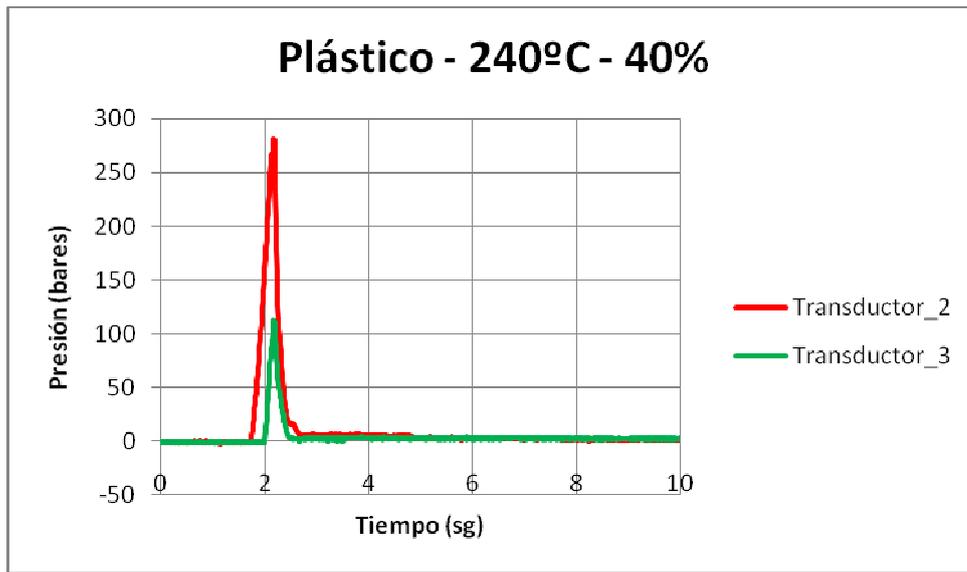


Gráfica Captada por transductores 80% - 220°C

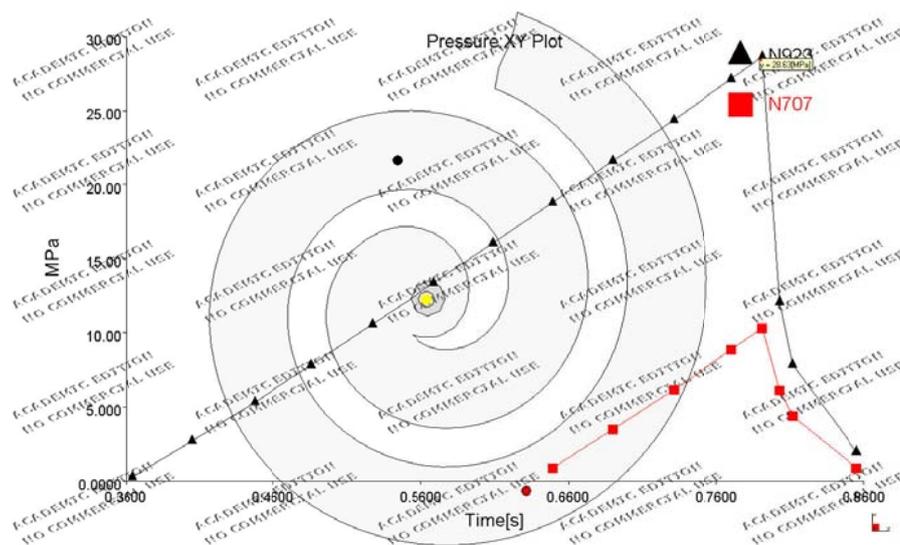


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 80% - 220°C

Presión máxima en T2 y T3 → 40% de velocidad máxima de máquina y 240°C

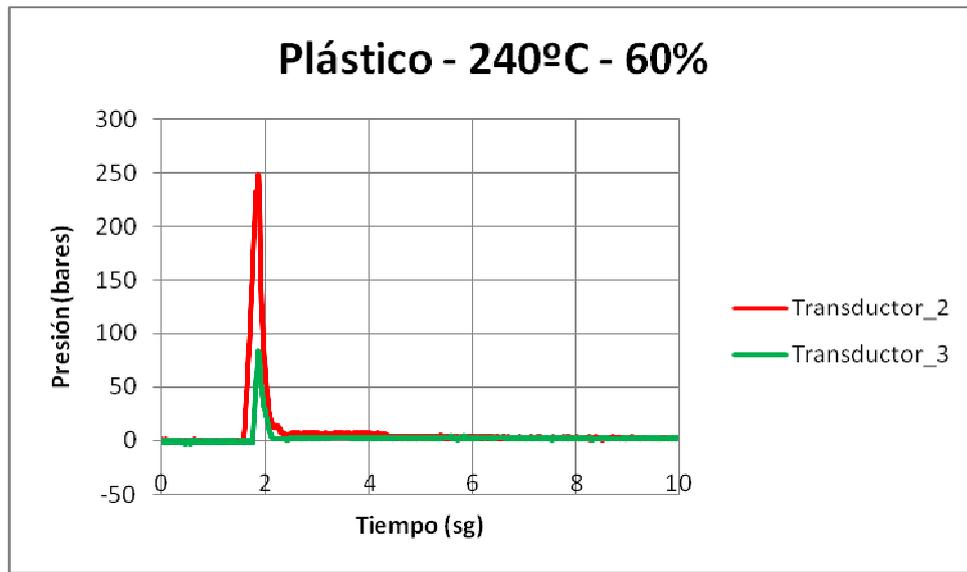


Gráfica Captada por transductores 40% - 240°C

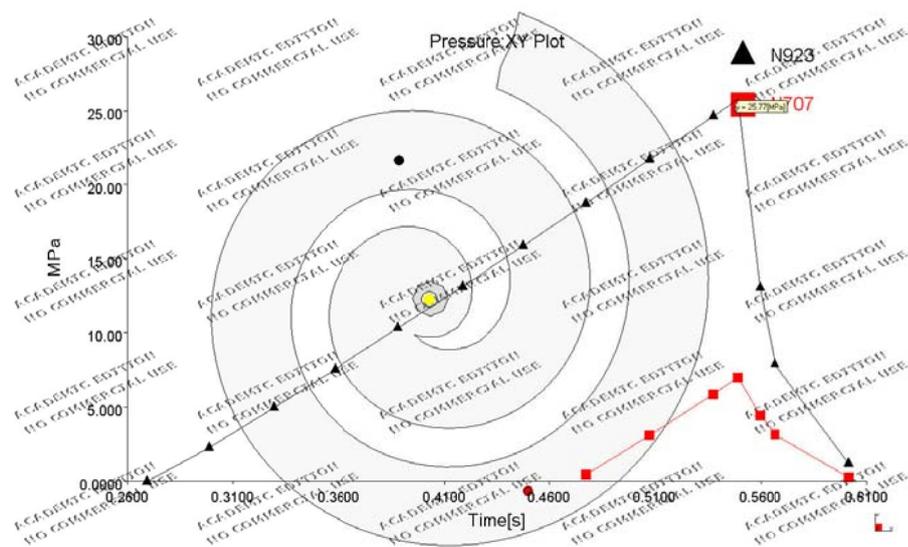


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 40% - 240°C

Presión máxima en T2 y T3 → 60% de velocidad máxima de máquina y 240°C

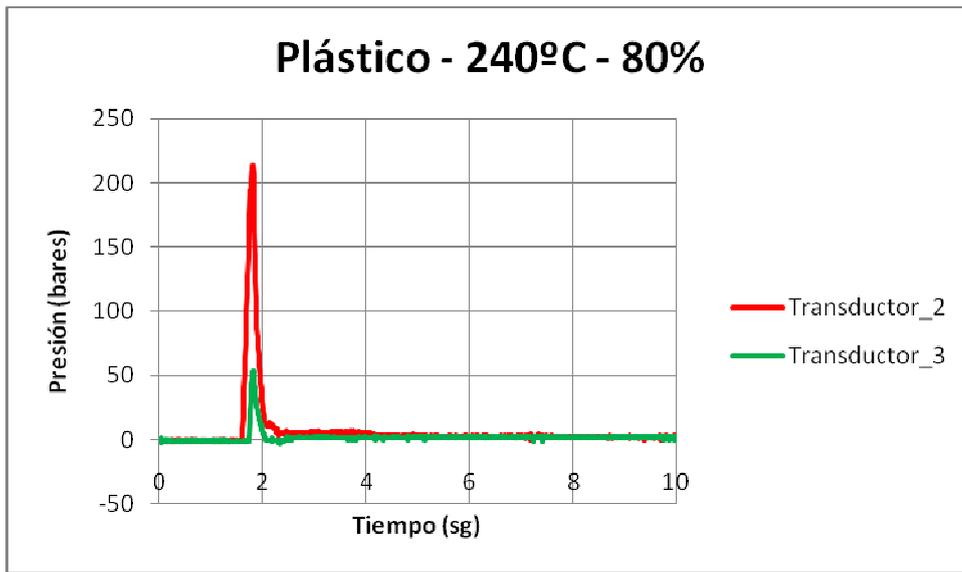


Gráfica Captada por transductores 60% - 240°C

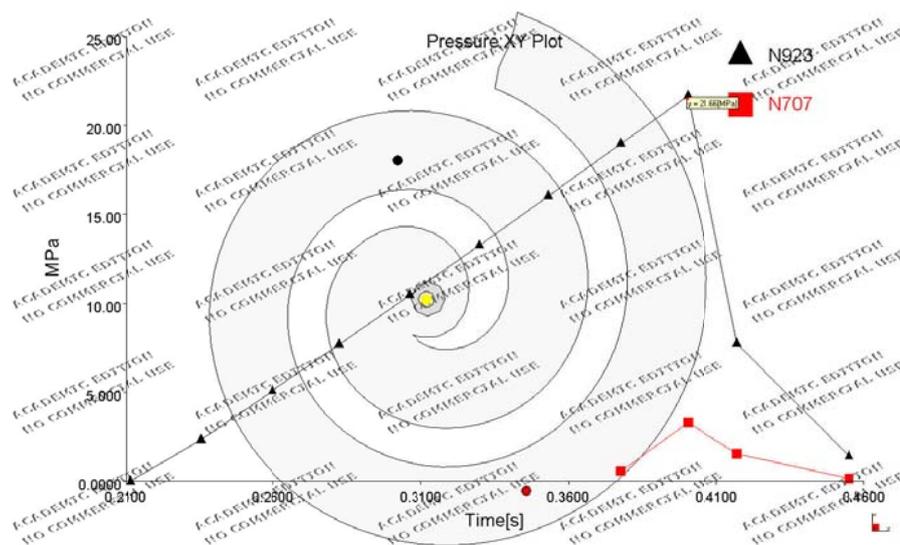


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 60% - 240°C

Presión máxima en T2 y T3 → 80% de velocidad máxima de máquina y 240°C



Gráfica Captada por transductores 80% - 240°C

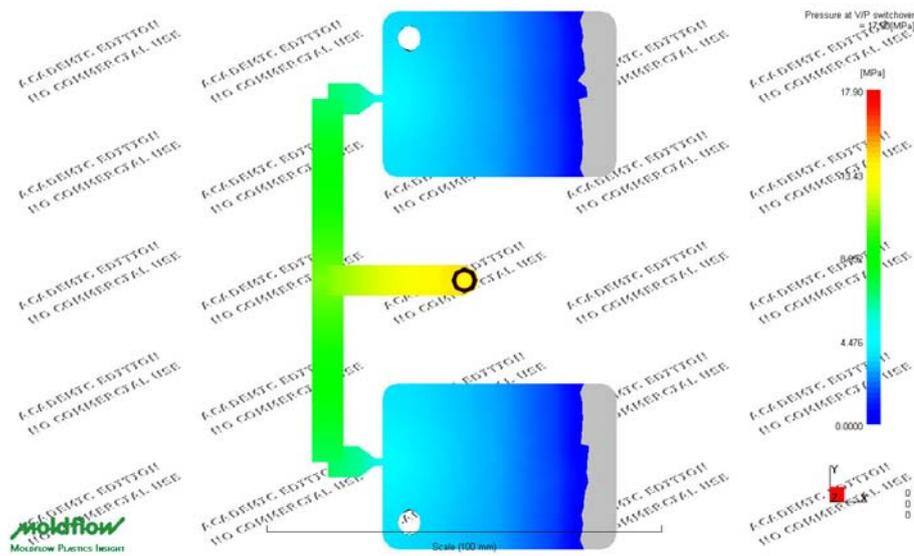


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 80% - 240°C

**DISTRIBUCION DE PRESIONES OBTENIDA POR SIMULACION CON MOLDFLOW CON MODELO DE PP
PHC31 CORREGIDO**

**→ COMPARACION DE LAS PRESIONES MAXIMAS MEDIDAS EN MAQUINA Y OBTENIDAS CON
LA SIMULACION DE LLAVEROS**

Presión máxima en de llenado → 40% de velocidad máxima de máquina y 200°C

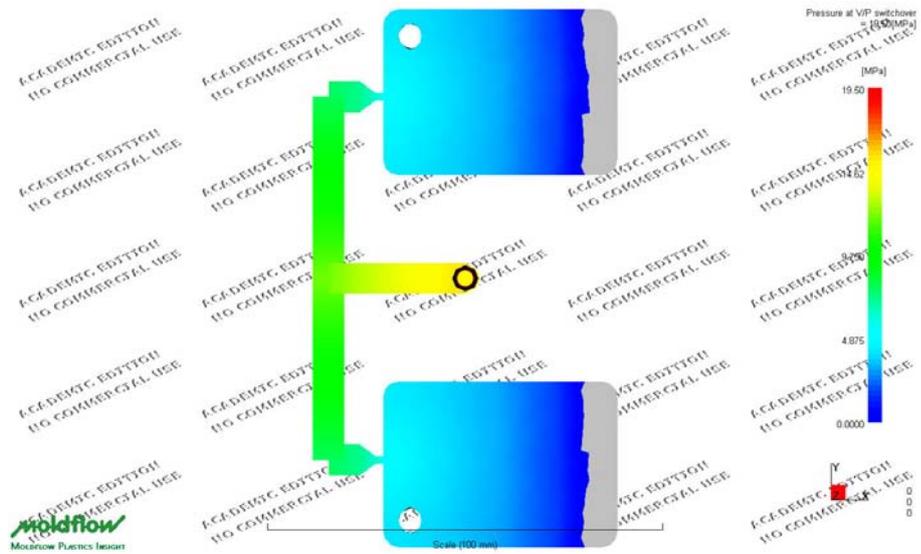


Distribución de presiones obtenida con MOLDFLOW



Imagen real de la inyección de los llaveros

Presión máxima en de llenado → 40% de velocidad máxima de máquina y 200°C

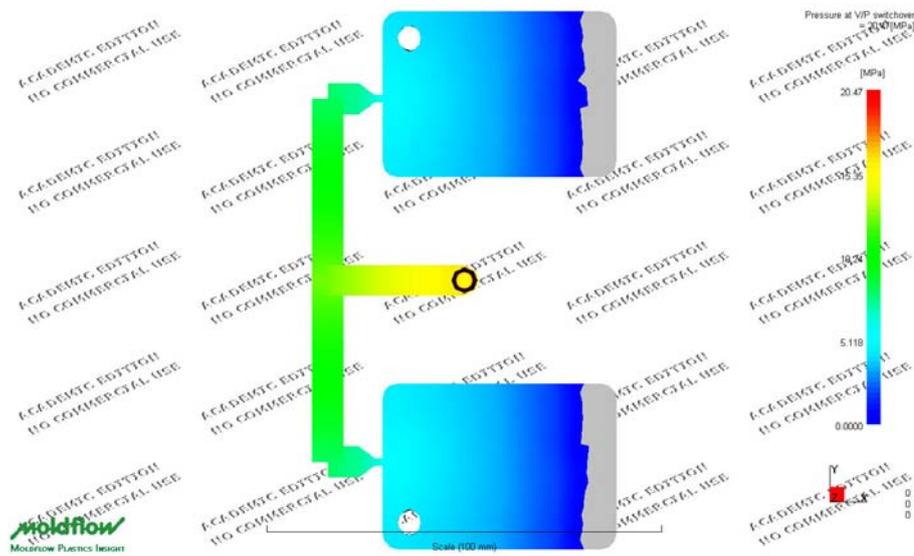


Distribución de presiones obtenida con MOLDFLOW



Imagen real de la inyección de los llaveros

Presión máxima en de llenado → 40% de velocidad máxima de máquina y 200°C

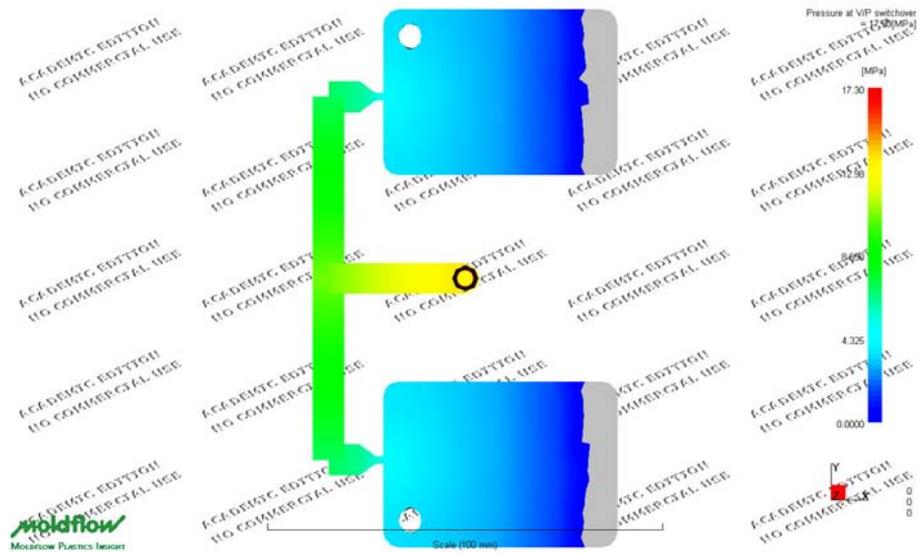


Distribución de presiones obtenida con MOLDFLOW



Imagen real de la inyección de los llaveros

Presión máxima en de llenado → 40% de velocidad máxima de máquina y 200°C

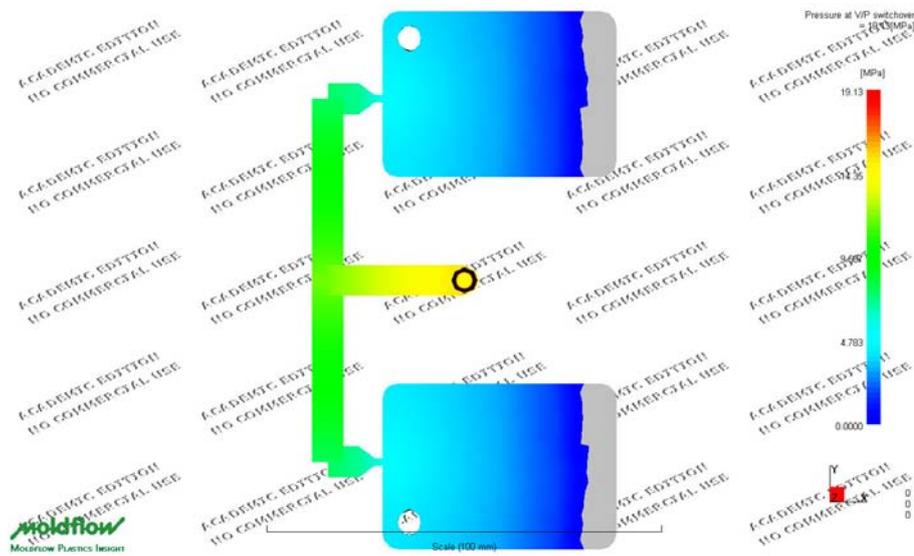


Distribución de presiones obtenida con MOLDFLOW



Imagen real de la inyección de los llaveros

Presión máxima en de llenado → 40% de velocidad máxima de máquina y 200°C

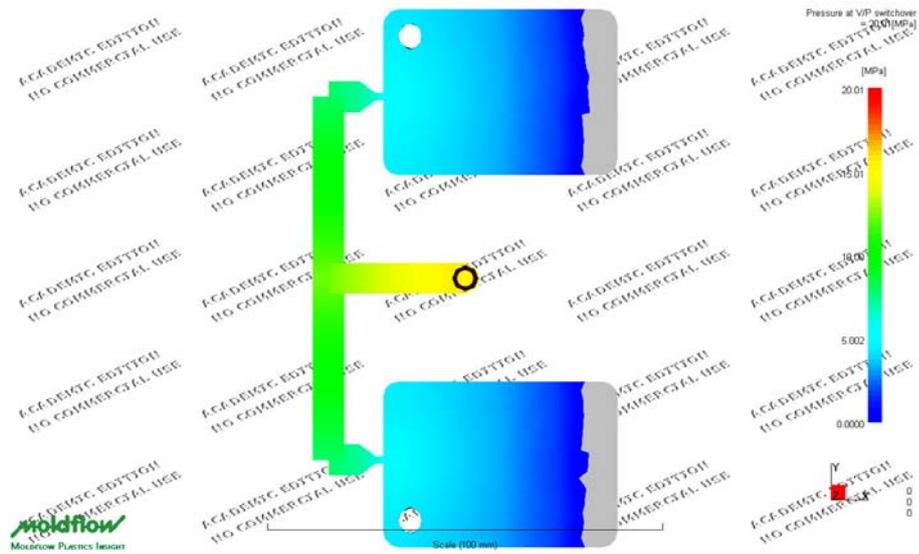


Distribución de presiones obtenida con MOLDFLOW



Imagen real de la inyección de los llaveros

Presión máxima en de llenado → 40% de velocidad máxima de máquina y 200°C

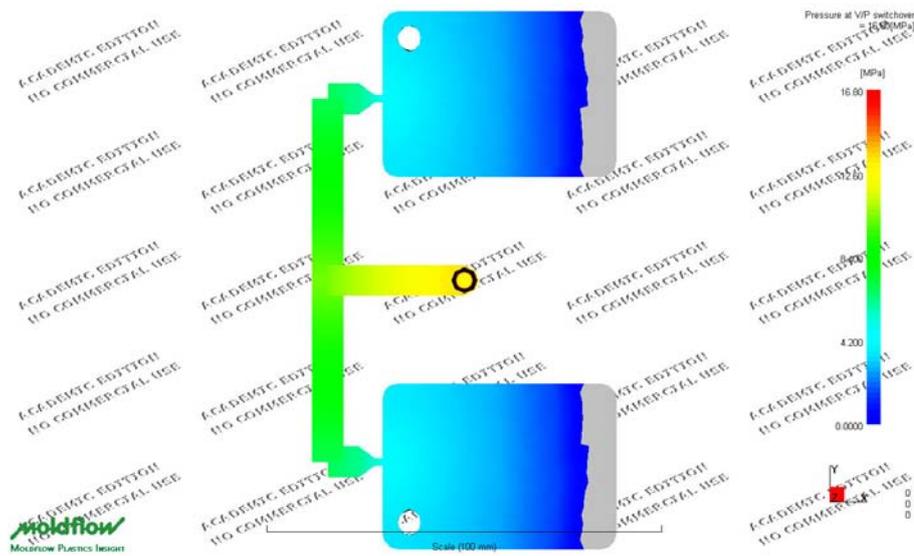


Distribución de presiones obtenida con MOLDFLOW



Imagen real de la inyección de los llaveros

Presión máxima en de llenado → 40% de velocidad máxima de máquina y 200°C

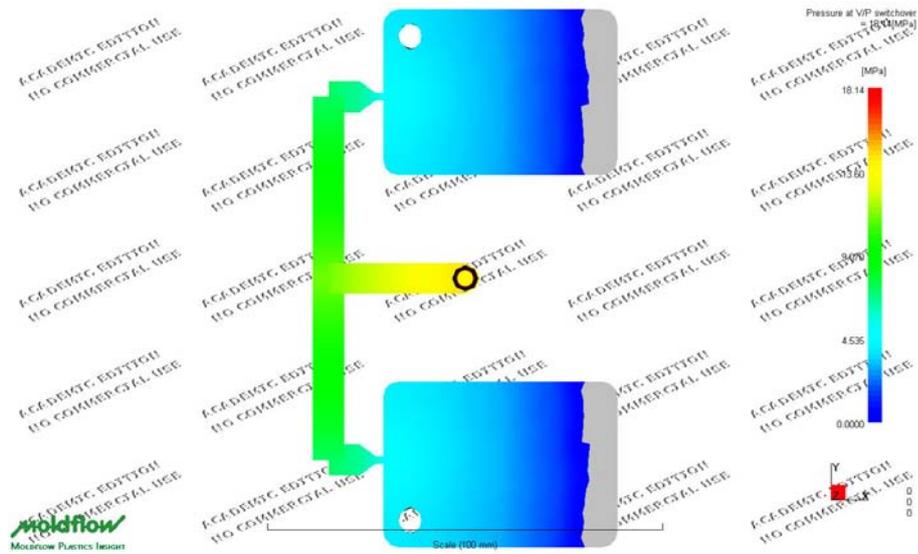


Distribución de presiones obtenida con MOLDFLOW



Imagen real de la inyección de los llaveros

Presión máxima en de llenado → 40% de velocidad máxima de máquina y 200°C

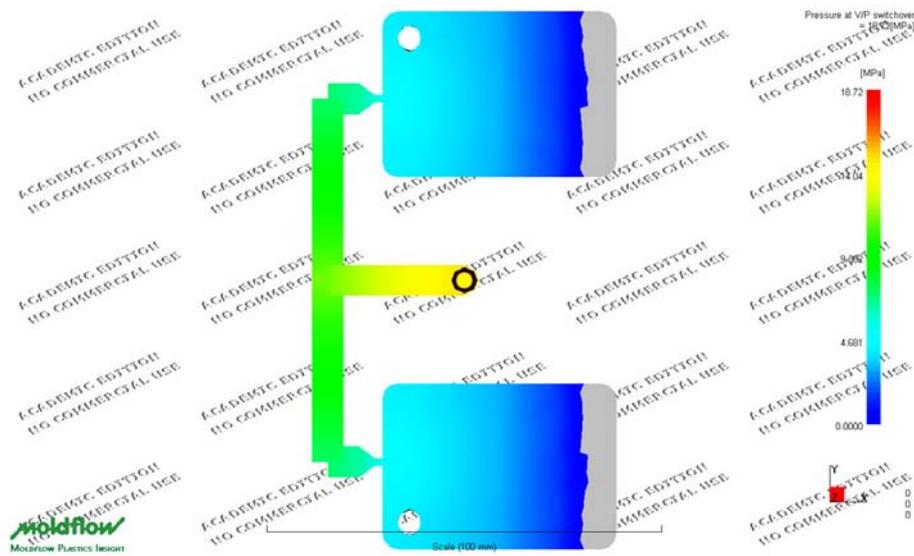


Distribución de presiones obtenida con MOLDFLOW



Imagen real de la inyección de los llaveros

Presión máxima en de llenado → 40% de velocidad máxima de máquina y 200°C

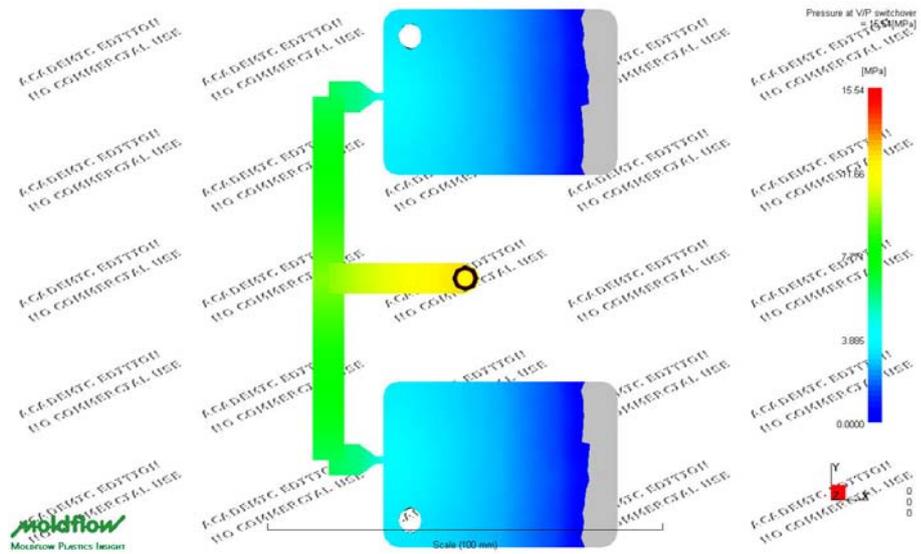


Distribución de presiones obtenida con MOLDFLOW



Imagen real de la inyección de los llaveros

Presión máxima en de llenado → 40% de velocidad máxima de máquina y 200°C

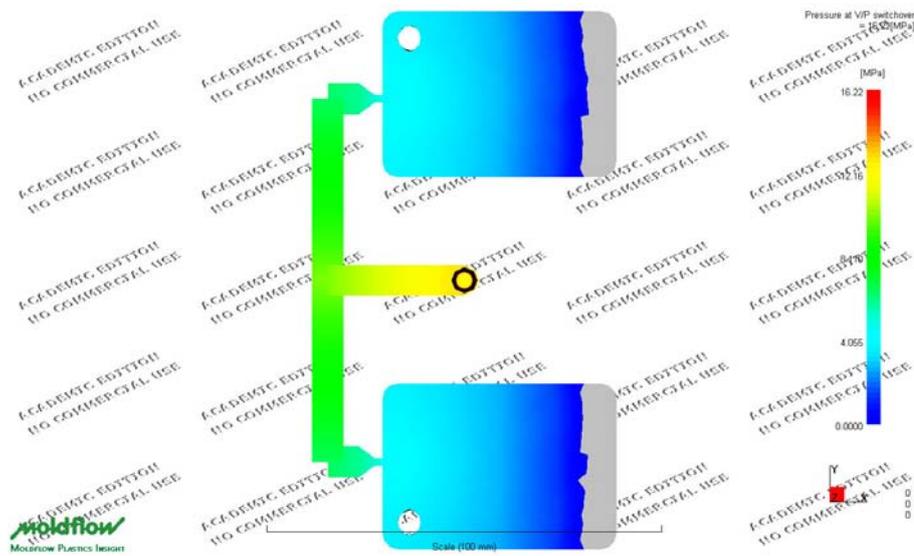


Distribución de presiones obtenida con MOLDFLOW



Imagen real de la inyección de los llaveros

Presión máxima en de llenado → 40% de velocidad máxima de máquina y 200°C

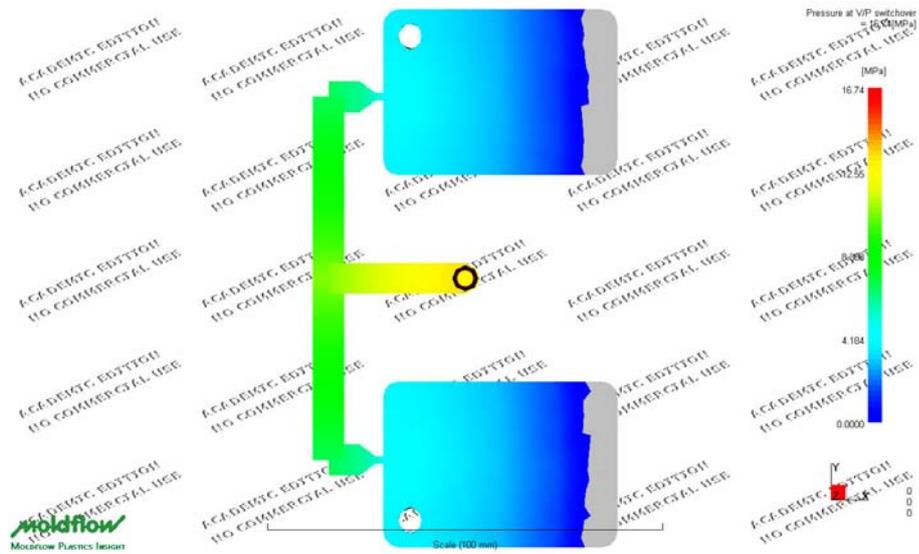


Distribución de presiones obtenida con MOLDFLOW



Imagen real de la inyección de los llaveros

Presión máxima en de llenado → 40% de velocidad máxima de máquina y 200°C



Distribución de presiones obtenida con MOLDFLOW



Imagen real de la inyección de los llaveros

DISTRIBUCION DE PRESIONES OBTENIDA POR SIMULACION CON MOLDFLOW CON MODELO DE PP PHC31 CORREGIDO

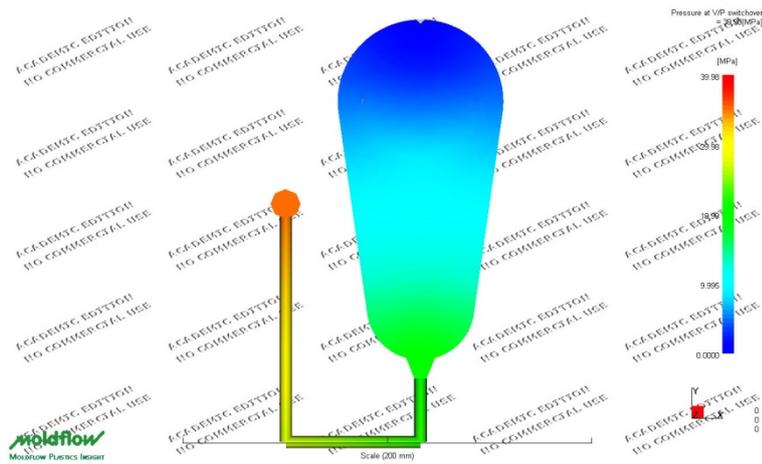
GRAFICAS DE PRESION OBTENIDAS POR SIMULACION CON MOLDFLOW CON MODELO DE PP PHC31 CORREGIDO

GRAFICAS OBTENIDAS CON MOLDE PROBETA MONITORIZADO

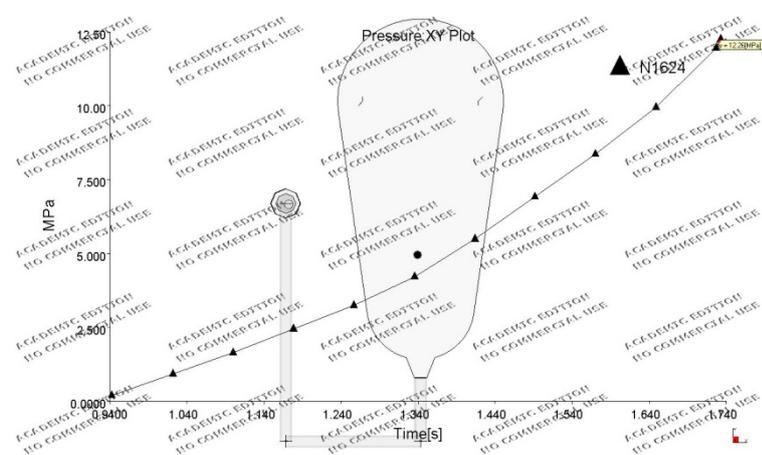
- **COMPARACION DE LAS PRESIONES MAXIMAS MEDIDAS EN MAQUINA Y OBTENIDAS CON LA SIMULACIÓN DE PROBETAS**
- **COMPARACION DE LAS PRESIONES MAXIMAS MEDIDAS EN TRANSDUCTOR Y OBTENIDAS CON LA SIMULACION DE PROBETAS**

Anexo 1 (Capítulo 4) – Datos experimentales y teóricos inyección de polipropileno

Ensayo a 20% de velocidad máxima de la máquina y 220°C de temperatura de inyección



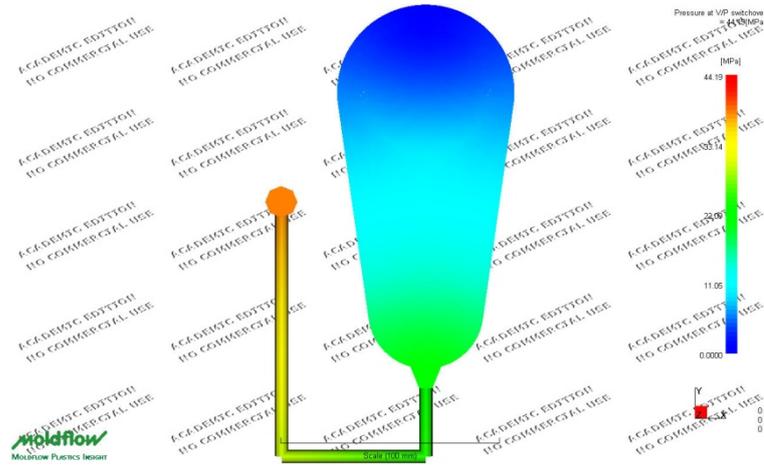
Distribución de presiones obtenida con MOLDFLOW



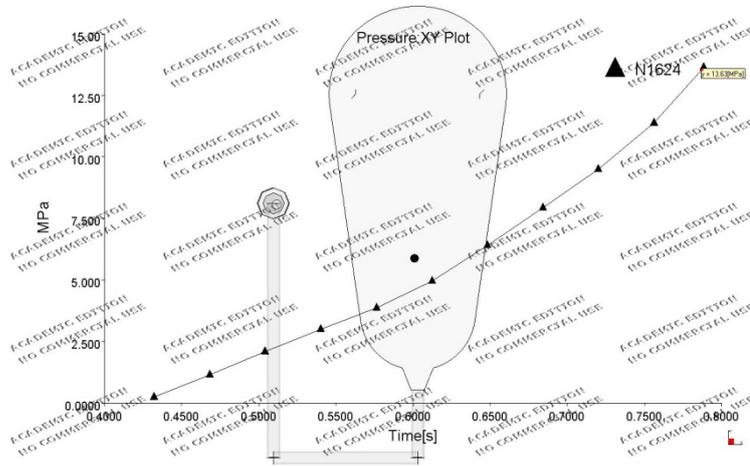
Gráfica Moldflow aplicando modelo corregido 20% - 220°C

Gráfica obtenida con transductor 20% - 220°C

Ensayo a 40% de velocidad máxima de la máquina y 220°C de temperatura de inyección



Distribución de presiones obtenida con MOLDFLOW

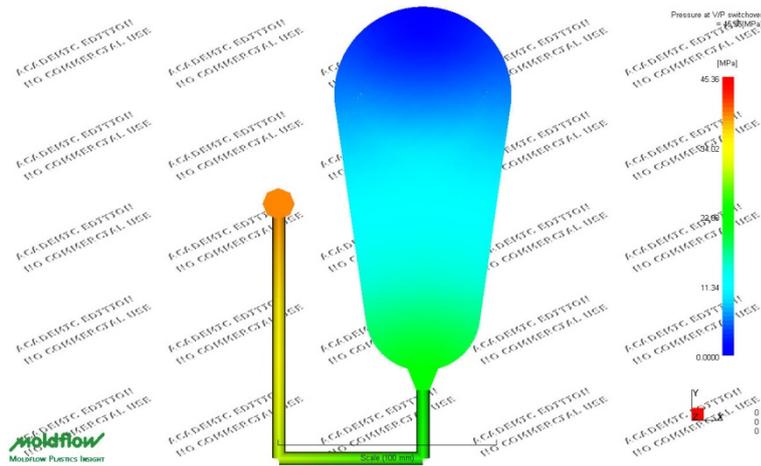


Gráfica Moldflow aplicando modelo corregido 40% - 220°C

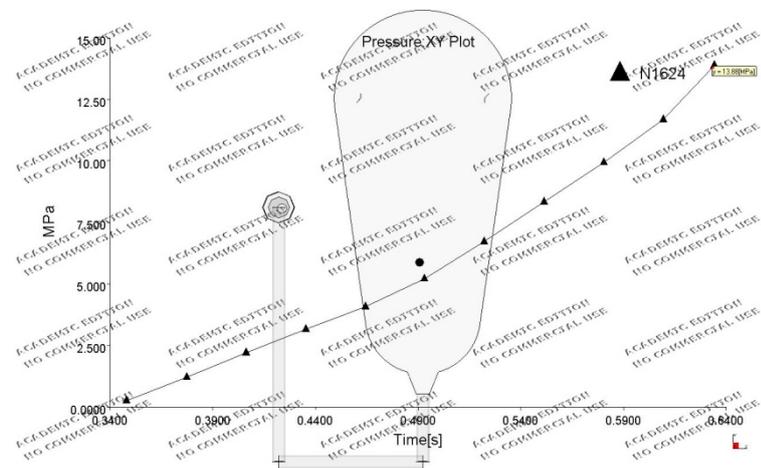
Gráfica obtenida con transductor 40% - 220°C

Anexo 1 (Capítulo 4) – Datos experimentales y teóricos inyección de polipropileno

Ensayo a 60% de velocidad máxima de la máquina y 220°C de temperatura de inyección



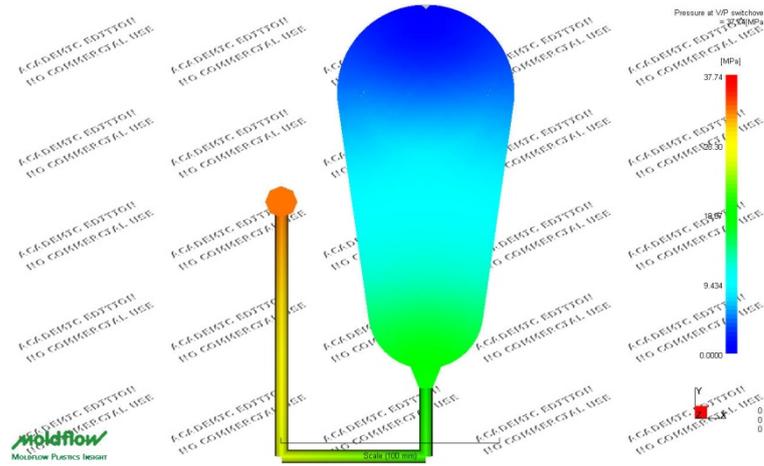
Distribución de presiones obtenida con MOLDFLOW



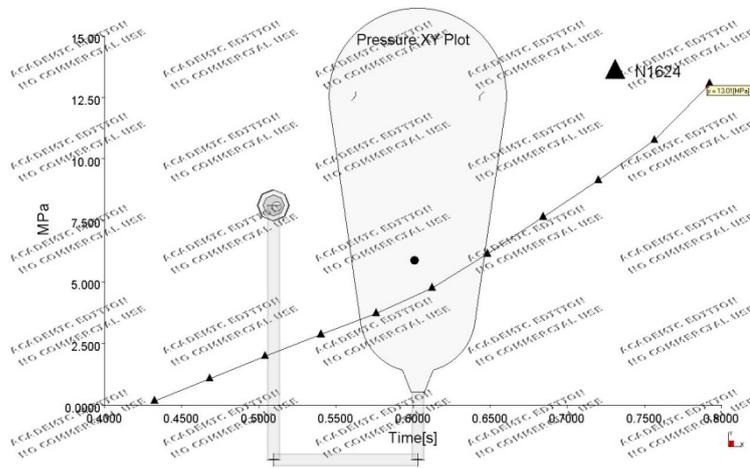
Gráfica Moldflow aplicando modelo corregido 40% - 220°C

Gráfica obtenida con transductor 40% - 220°C

Ensayo a 20% de velocidad máxima de la máquina y 240°C de temperatura de inyección



Distribución de presiones obtenida con MOLDFLOW

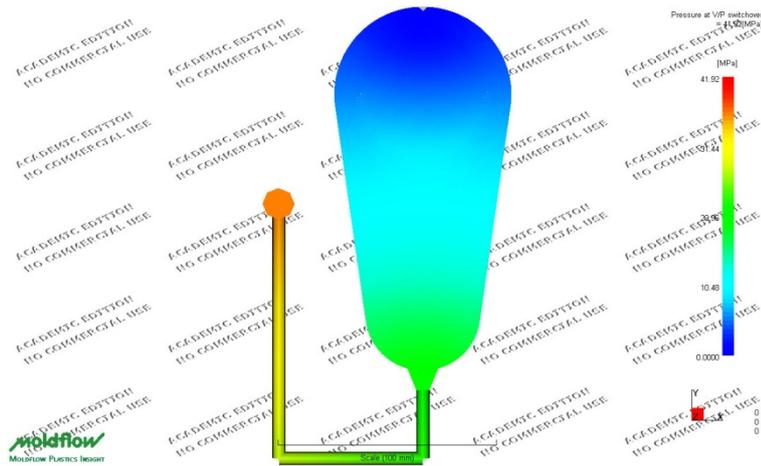


Gráfica Moldflow aplicando modelo corregido 20% - 240°C

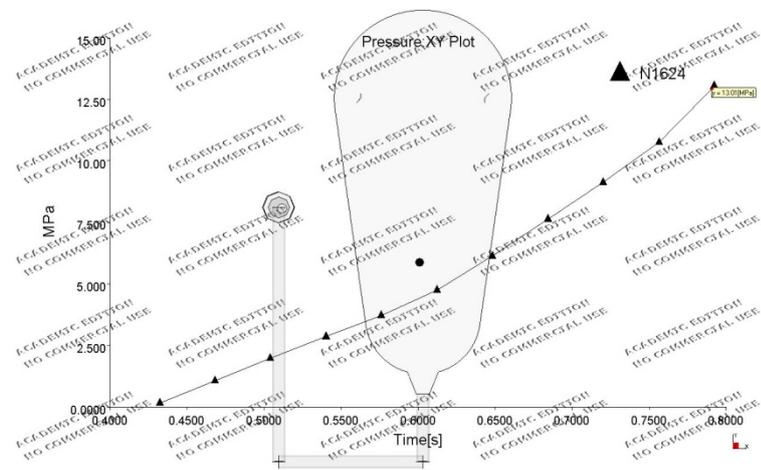
Gráfica obtenida con transductor 20% - 240°C

Anexo 1 (Capítulo 4) – Datos experimentales y teóricos inyección de polipropileno

Ensayo a 40% de velocidad máxima de la máquina y 240°C de temperatura de inyección



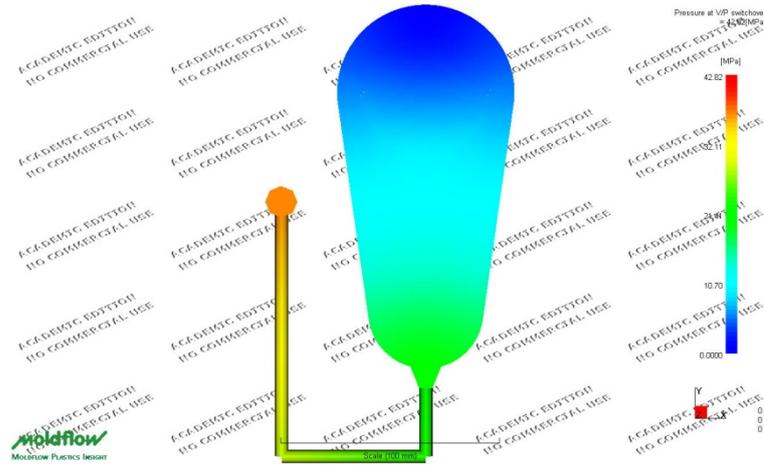
Distribución de presiones obtenida con MOLDFLOW



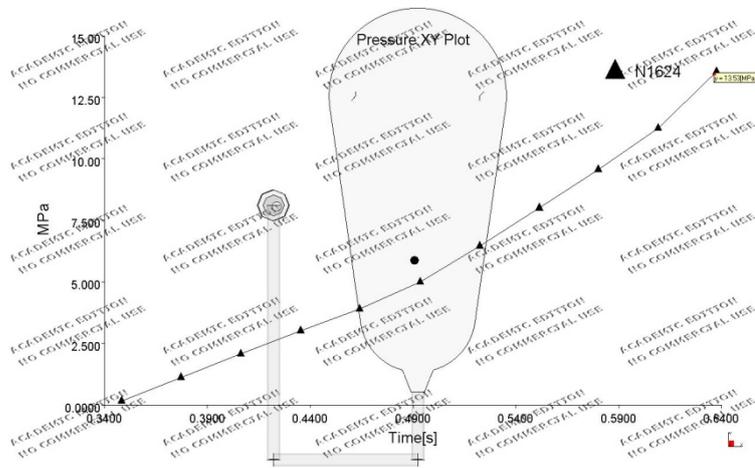
Gráfica Moldflow aplicando modelo corregido 40% - 240°C

Gráfica obtenida con transductor 40% - 240°C

Ensayo a 60% de velocidad máxima de la máquina y 240°C de temperatura de inyección



Distribución de presiones obtenida con MOLDFLOW

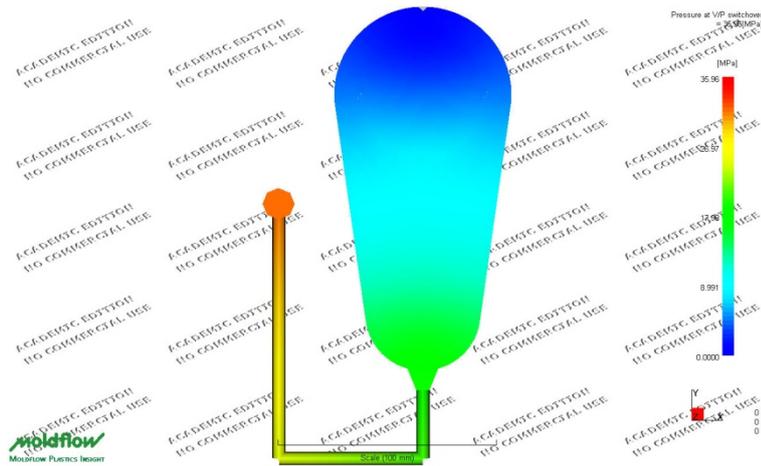


Gráfica Moldflow aplicando modelo corregido 60% - 240°C

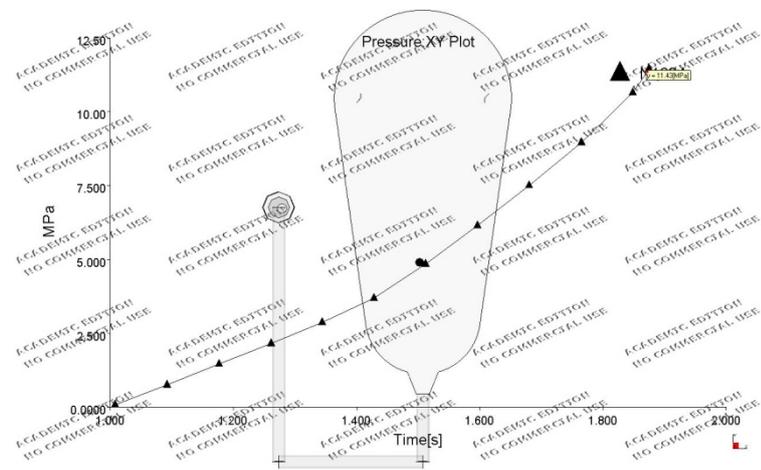
Gráfica obtenida con transductor 60% - 240°C

Anexo 1 (Capítulo 4) – Datos experimentales y teóricos inyección de polipropileno

Ensayo a 20% de velocidad máxima de la máquina y 260°C de temperatura de inyección



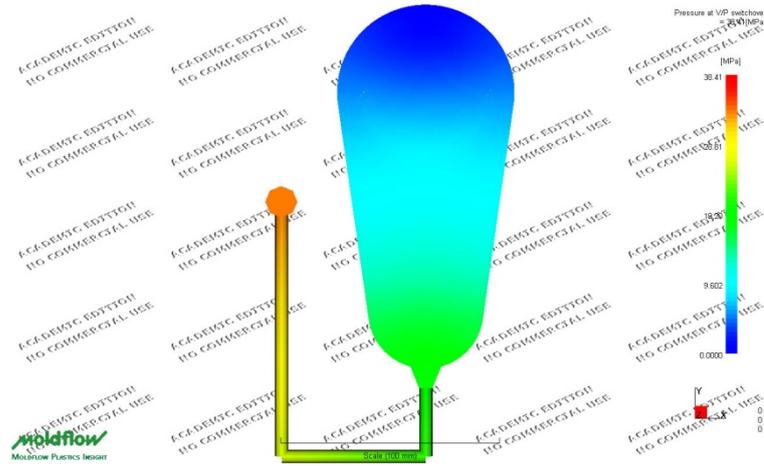
Distribución de presiones obtenida con MOLDFLOW



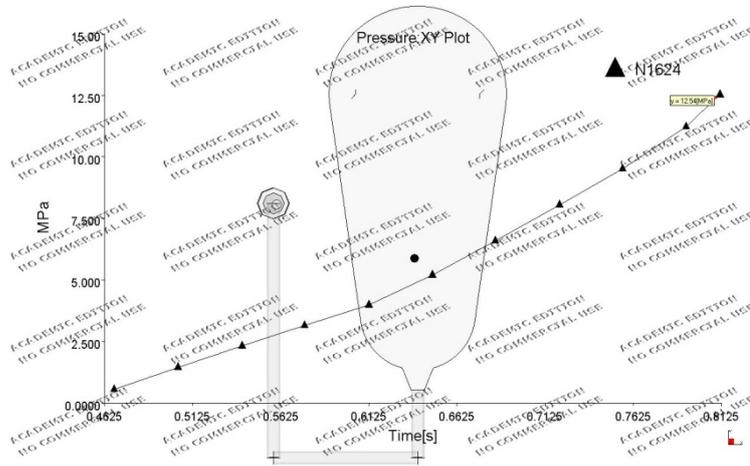
Gráfica Moldflow aplicando modelo corregido 20% - 260°C

Gráfica obtenida con transductor 20% - 260°C

Ensayo a 40% de velocidad máxima de la máquina y 260°C de temperatura de inyección



Distribución de presiones obtenida con MOLDFLOW

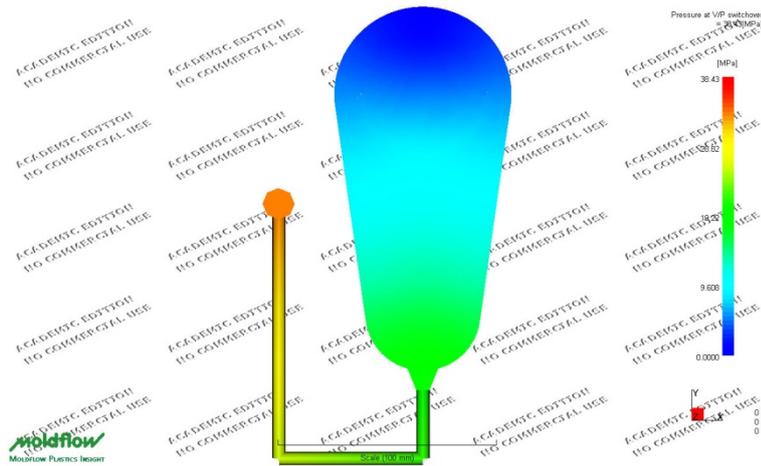


Gráfica Moldflow aplicando modelo corregido 40% - 260°C

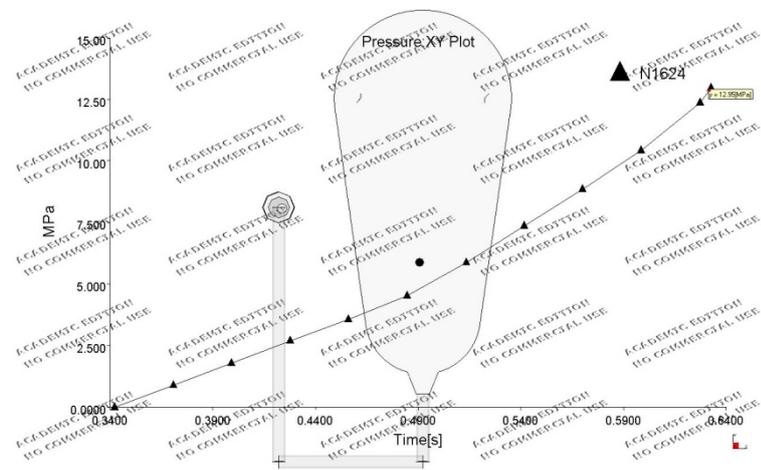
Gráfica obtenida con transductor 40% - 260°C

Anexo 1 (Capítulo 4) – Datos experimentales y teóricos inyección de polipropileno

Ensayo a 60% de velocidad máxima de la máquina y 260°C de temperatura de inyección



Distribución de presiones obtenida con MOLDFLOW



Gráfica Moldflow aplicando modelo corregido 60% - 260°C

Gráfica obtenida con transductor 60% - 260°C

ARCHIVO .STR OBTENIDO CON VISDAT →

OBTENCION CONSTATES DE MODELO VISCOSO DE PP PHC31 CON REOMETRO

Anexo 1 (Capítulo 4) – Datos experimentales y teóricos inyección de polipropileno

THIS PROGRAM IS COPYRIGHT "COLIN AUSTIN R & D PTY LTD"
(C)1979 (C)1985 (C)1988 (C)1990 (C)1992
AND OPERATED UNDER LICENCE BY "MOLDFLOW PTY LTD"

VISDAT ... APPROXIMATION OF VISCOSITY EXPERIMENTAL DATA
VERSION 1.5.0
LAST REVISED 11 - MAR - 92

This is a revised viscosity graph fitting program -
modifications have been made to suit the new database
format and the editing program MADRAS.

The 1st order model is now fitted from a grid of points
generated by the 2nd order model - this is to reduce bias.

The program outputs the standard points that need to be
entered into the new database by program matdb and also
the old viscosity constants are given for users still
using the old database.

EXECUTED 02-JAN-94 3 :56

STORE FILE: PHCREOM.STR
modelo phc31 reometro aparente

No. temp. shear rate viscosity

Number of points 42

* 1-ST ORDER GRAPH FIT BASED ON ORIGINAL DATA

* Viscosity factor 2.275752E+04
* Shear factor -5.142083E-01
* Temp. factor -1.032571E-02

* Standard 1-st order data points

220.0	100.0	219.86
240.0	10000.0	16.75
260.0	1000.0	44.52

No.	temperature	shear rate	meas V	calc V	% error
1	200.00	86.00	320.00	292.09	-9.557
2	200.00	115.00	280.00	251.55	-11.312
3	200.00	288.00	180.00	156.89	-14.727
4	200.00	576.00	122.00	109.85	-11.057
5	200.00	864.00	95.00	89.18	-6.527
6	200.00	1152.00	81.00	76.92	-5.309
7	200.00	1728.00	63.00	62.44	-0.894
8	200.00	2304.00	52.00	53.86	3.445
9	200.00	3456.00	40.00	43.72	8.509
10	200.00	4608.00	34.00	37.71	9.834
11	200.00	5770.00	29.00	33.59	13.666
12	220.00	86.00	210.00	237.59	11.611
13	220.00	115.00	198.00	204.61	3.231

Anexo 1 (Capítulo 4) – Datos experimentales y teóricos inyección de polipropileno

14	220.00	288.00	135.00	127.62	-5.783
15	220.00	576.00	98.00	89.36	-9.673
16	220.00	864.00	77.00	72.54	-6.148
17	220.00	1152.00	65.00	62.57	-3.892
18	220.00	1728.00	52.00	50.79	-2.381
19	220.00	2304.00	43.00	43.81	1.842
20	220.00	3456.00	34.00	35.56	4.394
21	220.00	4608.00	28.00	30.67	8.713
22	220.00	5770.00	24.00	27.32	12.162
23	240.00	115.00	119.00	166.43	28.500
24	240.00	288.00	104.00	103.81	-0.185
25	240.00	576.00	77.00	72.68	-5.939
26	240.00	864.00	63.00	59.01	-6.770
27	240.00	1152.00	54.00	50.89	-6.108
28	240.00	1728.00	43.00	41.31	-4.081
29	240.00	2304.00	36.00	35.63	-1.030
30	240.00	3456.00	28.00	28.93	3.205
31	240.00	4608.00	24.00	24.95	3.805
32	240.00	5770.00	21.00	22.22	5.512
33	260.00	115.00	98.00	135.38	27.611
34	260.00	288.00	84.00	84.44	0.519
35	260.00	576.00	64.00	59.12	-8.251
36	260.00	864.00	53.00	48.00	-10.427
37	260.00	1152.00	46.00	41.40	-11.122
38	260.00	1728.00	37.00	33.61	-10.101
39	260.00	2304.00	31.00	28.98	-6.954
40	260.00	3456.00	25.00	23.53	-6.249
41	260.00	4608.00	21.00	20.29	-3.478
42	260.00	5770.00	18.00	18.08	0.432

* Standard deviation 1.5993E-02

* 2-ND ORDER GRAPH FIT

* Standard 2-nd order data points

220.0	1000.0	71.58
240.0	100.0	143.67
240.0	1000.0	57.66
240.0	10000.0	14.09
260.0	100.0	106.49
260.0	1000.0	47.95

A(1)= 14.137

A(2)=-0.45708

A(3)=-4.63349E-02

A(4)=-4.68329E-02

A(5)= 2.49921E-03

A(6)= 3.97029E-05

No.	temperature	shear rate	meas V	calc V	% error
1	200.00	86.00	320.00	304.69	-5.026
2	200.00	115.00	280.00	272.20	-2.867
3	200.00	288.00	180.00	180.97	0.533
4	200.00	576.00	122.00	126.19	3.320

Anexo 1 (Capítulo 4) – Datos experimentales y teóricos inyección de polipropileno

5	200.00	864.00	95.00	100.09	5.082
6	200.00	1152.00	81.00	84.12	3.710
7	200.00	1728.00	63.00	64.99	3.057
8	200.00	2304.00	52.00	53.61	3.003
9	200.00	3456.00	40.00	40.34	0.842
10	200.00	4608.00	34.00	32.66	-4.097
11	200.00	5770.00	29.00	27.54	-5.287
12	220.00	86.00	210.00	210.34	0.163
13	220.00	115.00	198.00	190.66	-3.849
14	220.00	288.00	135.00	132.71	-1.725
15	220.00	576.00	98.00	95.80	-2.293
16	220.00	864.00	77.00	77.54	0.698
17	220.00	1152.00	65.00	66.12	1.689
18	220.00	1728.00	52.00	52.12	0.236
19	220.00	2304.00	43.00	43.62	1.424
20	220.00	3456.00	34.00	33.50	-1.507
21	220.00	4608.00	28.00	27.51	-1.770
22	220.00	5770.00	24.00	23.46	-2.285
23	240.00	115.00	119.00	137.86	13.680
24	240.00	288.00	104.00	100.46	-3.520
25	240.00	576.00	77.00	75.08	-2.556
26	240.00	864.00	63.00	62.01	-1.591
27	240.00	1152.00	54.00	53.64	-0.667
28	240.00	1728.00	43.00	43.15	0.359
29	240.00	2304.00	36.00	36.64	1.743
30	240.00	3456.00	28.00	28.71	2.472
31	240.00	4608.00	24.00	23.92	-0.319
32	240.00	5770.00	21.00	20.63	-1.776
33	260.00	115.00	98.00	102.90	4.760
34	260.00	288.00	84.00	78.51	-6.997
35	260.00	576.00	64.00	60.74	-5.367
36	260.00	864.00	53.00	51.20	-3.525
37	260.00	1152.00	46.00	44.93	-2.390
38	260.00	1728.00	37.00	36.88	-0.318
39	260.00	2304.00	31.00	31.77	2.415
40	260.00	3456.00	25.00	25.40	1.583
41	260.00	4608.00	21.00	21.47	2.208
42	260.00	5770.00	18.00	18.73	3.898

* Standard deviation 5.8039E-03

* 1-ST ORDER GRAPH FIT BASED ON 2-ND ORDER GRID

* Viscosity factor 1.883828E+04

* Shear factor -5.042863E-01

* Temp. factor -1.001360E-02

* Standard 1-st order data points

220.0	100.0	204.04
240.0	10000.0	16.37
260.0	1000.0	42.80

No.	temperature	shear rate	meas V	calc V	% error
1	200.00	86.00	320.00	268.99	-18.965

Anexo 1 (Capítulo 4) – Datos experimentales y teóricos inyección de polipropileno

2	200.00	115.00	280.00	232.32	-20.523
3	200.00	288.00	180.00	146.23	-23.095
4	200.00	576.00	122.00	103.09	-18.340
5	200.00	864.00	95.00	84.03	-13.057
6	200.00	1152.00	81.00	72.68	-11.445
7	200.00	1728.00	63.00	59.24	-6.345
8	200.00	2304.00	52.00	51.24	-1.481
9	200.00	3456.00	40.00	41.77	4.227
10	200.00	4608.00	34.00	36.13	5.883
11	200.00	5770.00	29.00	32.25	10.084
12	220.00	86.00	210.00	220.17	4.618
13	220.00	115.00	198.00	190.16	-4.124
14	220.00	288.00	135.00	119.69	-12.792
15	220.00	576.00	98.00	84.38	-16.138
16	220.00	864.00	77.00	68.78	-11.954
17	220.00	1152.00	65.00	59.49	-9.262
18	220.00	1728.00	52.00	48.49	-7.240
19	220.00	2304.00	43.00	41.94	-2.525
20	220.00	3456.00	34.00	34.19	0.542
21	220.00	4608.00	28.00	29.57	5.306
22	220.00	5770.00	24.00	26.40	9.087
23	240.00	115.00	119.00	155.65	23.544
24	240.00	288.00	104.00	97.97	-6.158
25	240.00	576.00	77.00	69.07	-11.485
26	240.00	864.00	63.00	56.30	-11.910
27	240.00	1152.00	54.00	48.69	-10.898
28	240.00	1728.00	43.00	39.69	-8.343
29	240.00	2304.00	36.00	34.33	-4.867
30	240.00	3456.00	28.00	27.98	-0.068
31	240.00	4608.00	24.00	24.20	0.836
32	240.00	5770.00	21.00	21.61	2.812
33	260.00	115.00	98.00	127.40	23.075
34	260.00	288.00	84.00	80.19	-4.756
35	260.00	576.00	64.00	56.53	-13.210
36	260.00	864.00	53.00	46.08	-15.022
37	260.00	1152.00	46.00	39.86	-15.416
38	260.00	1728.00	37.00	32.49	-13.897
39	260.00	2304.00	31.00	28.10	-10.325
40	260.00	3456.00	25.00	22.90	-9.158
41	260.00	4608.00	21.00	19.81	-6.008
42	260.00	5770.00	18.00	17.69	-1.775

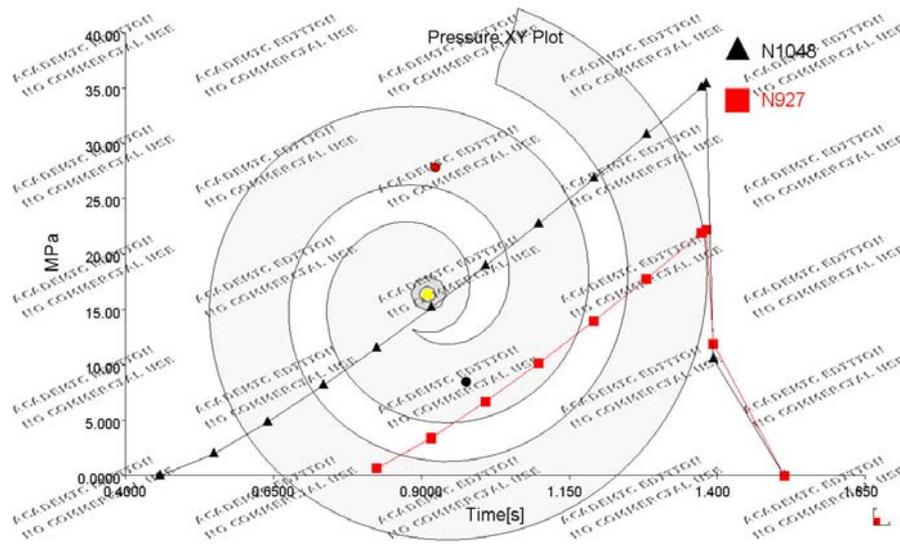
* Standard deviation 1.7839E-02

* MATERIAL COEFFICIENTS SUMMARY

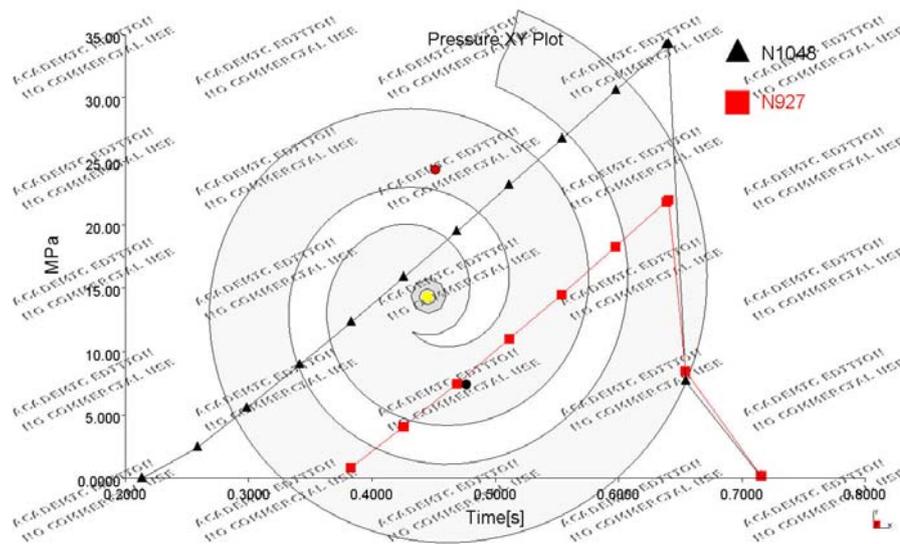
18838.3	,-0.504286	,-1.001360E-02,
220.0	1000.0	71.58
240.0	100.0	143.67
240.0	1000.0	57.66
240.0	10000.0	14.09
260.0	100.0	106.49
260.0	1000.0	47.95

GRAFICAS OBTENIDAS POR SIMULACION CON MOLDFLOW CON MODELO OBTENIDO EN REOMETRO

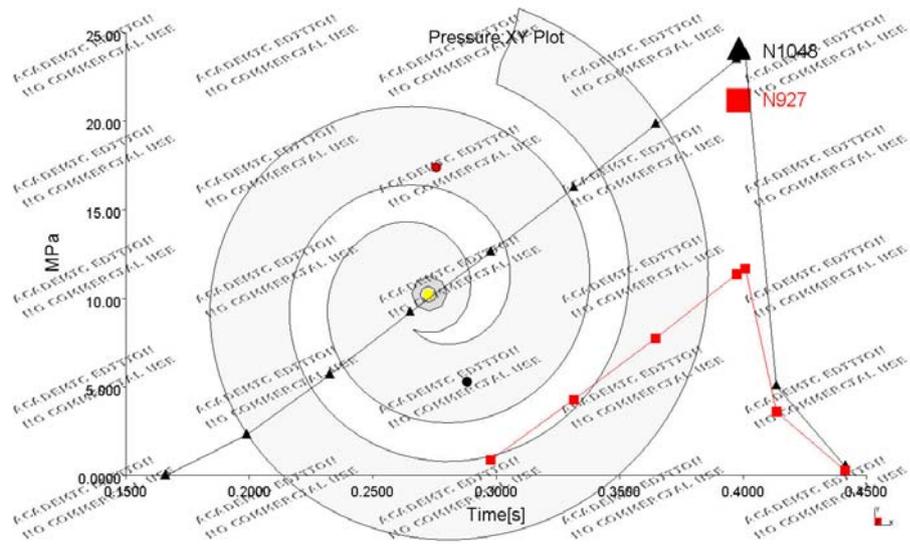
→ COMPARACION DE LAS CAIDAS DE PRESION ENTRE TRASNDUCTORES 1 Y 2 EN LA INYECCION DE ESPIRALES



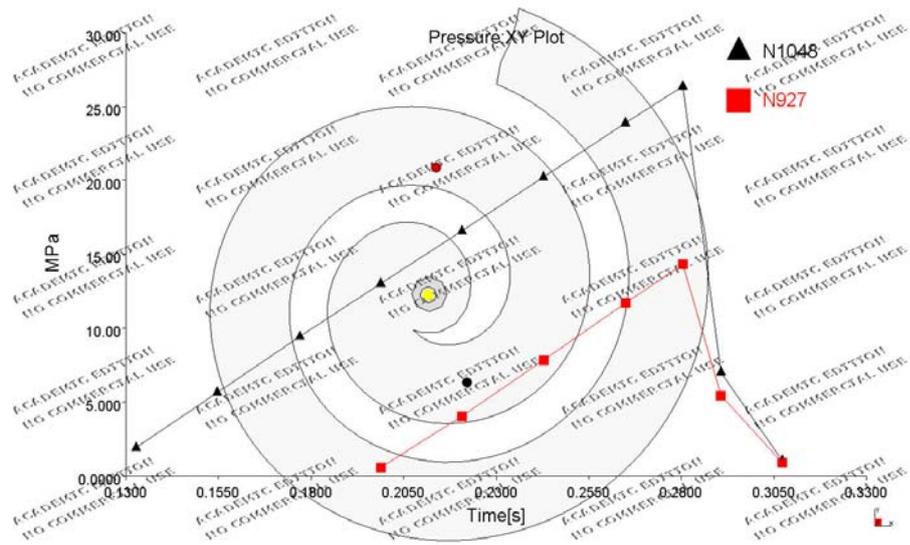
Gráfica Moldflow aplicando modelo reómetro 20% - 200°C



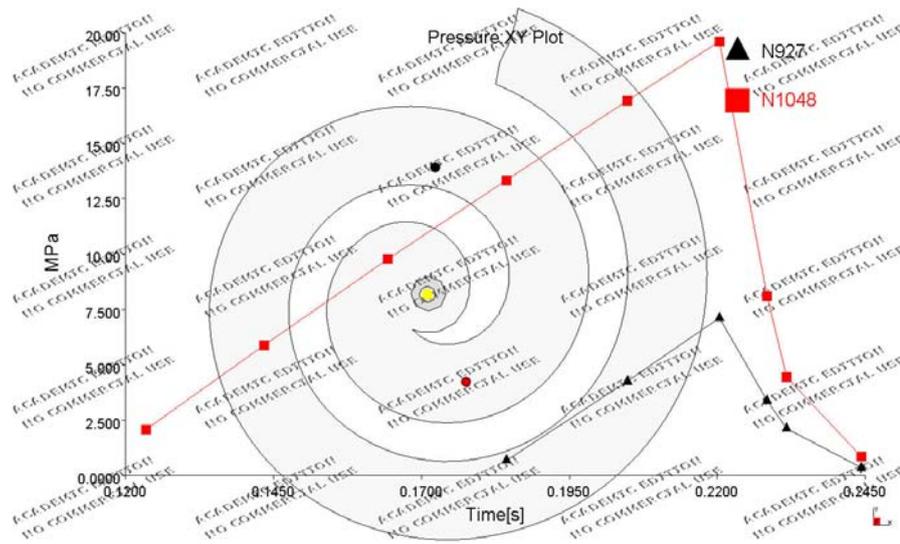
Gráfica Moldflow aplicando modelo reómetro 40% - 200°C



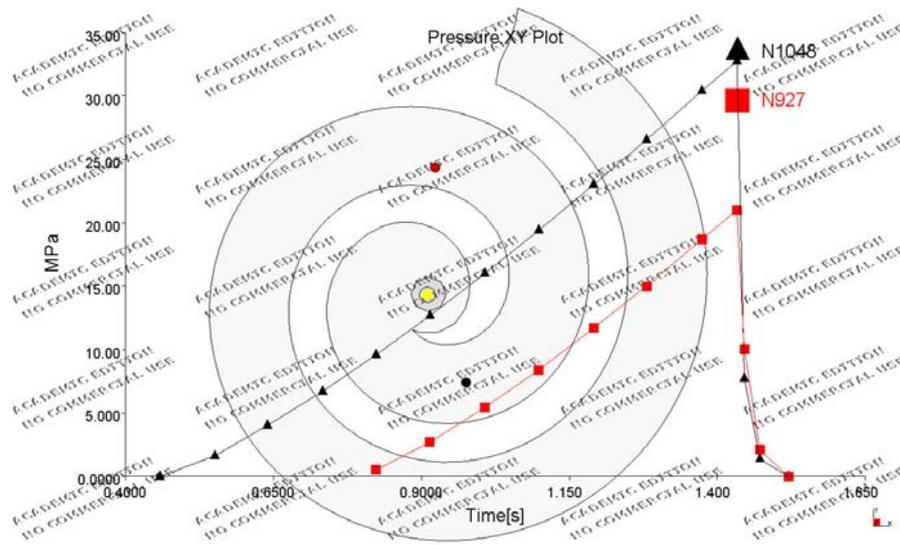
Gráfica Moldflow aplicando modelo reómetro 60% - 200°C



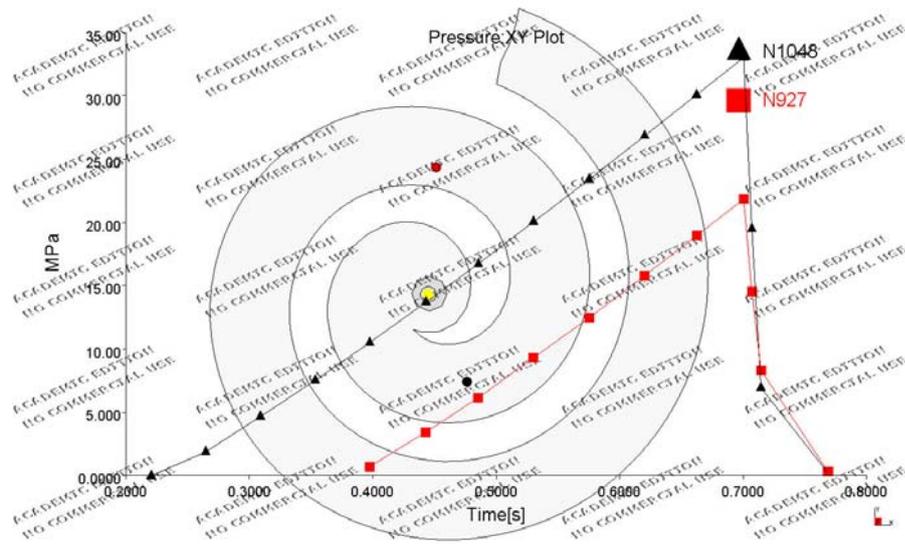
Gráfica Moldflow aplicando modelo reómetro 80% - 200°C



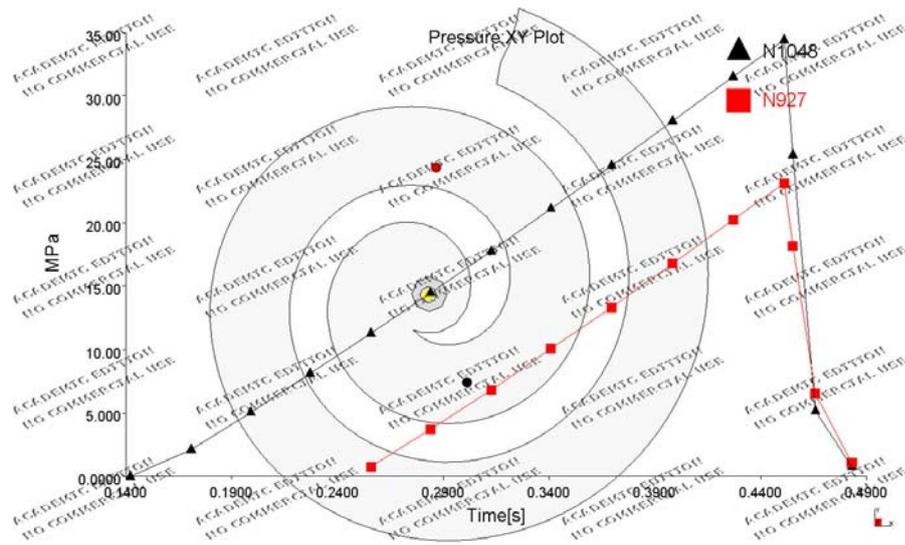
Gráfica Moldflow aplicando modelo reómetro 100% - 200°C



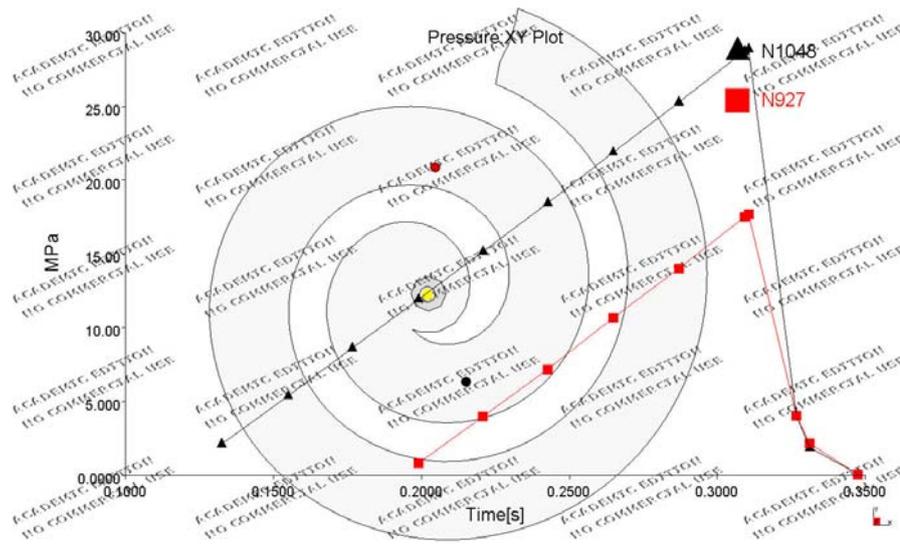
Gráfica Moldflow aplicando modelo reómetro 20% - 220°C



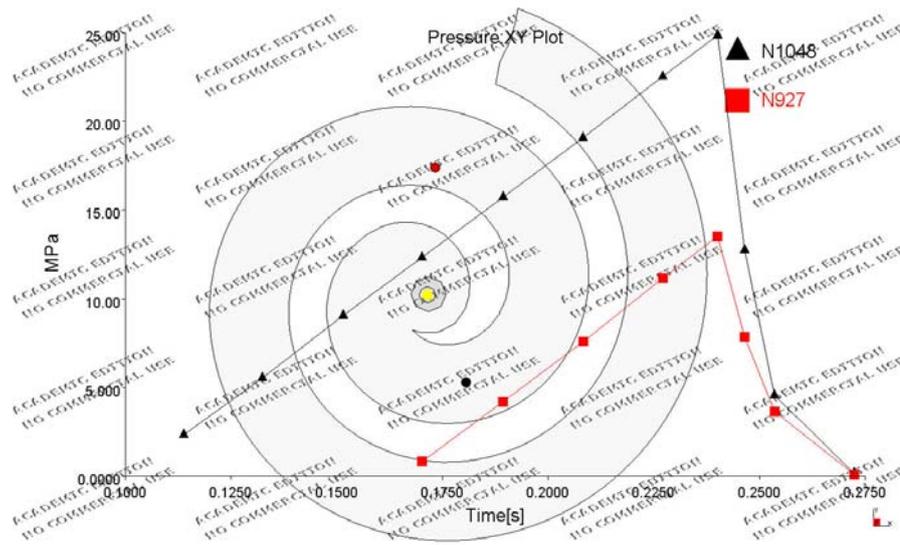
Gráfica Moldflow aplicando modelo reómetro 40% - 220°C



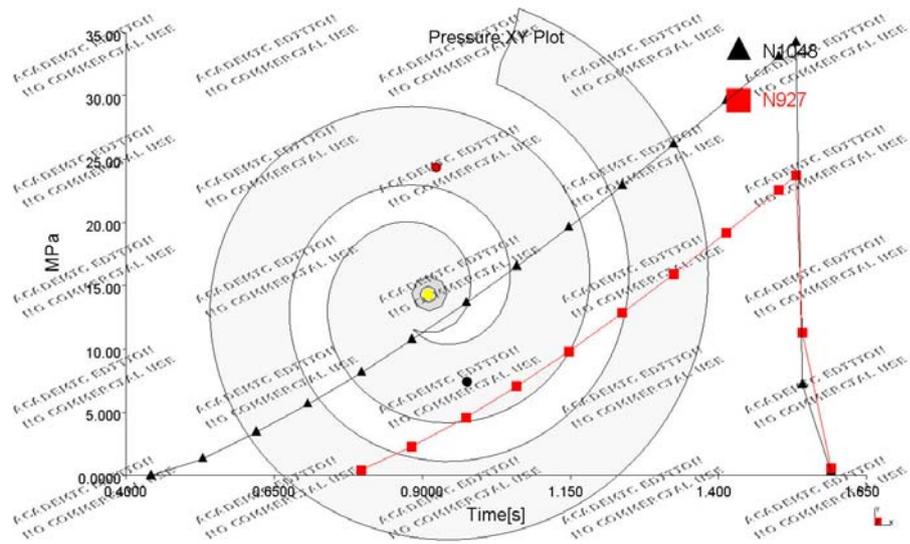
Gráfica Moldflow aplicando modelo reómetro 60% - 220°C



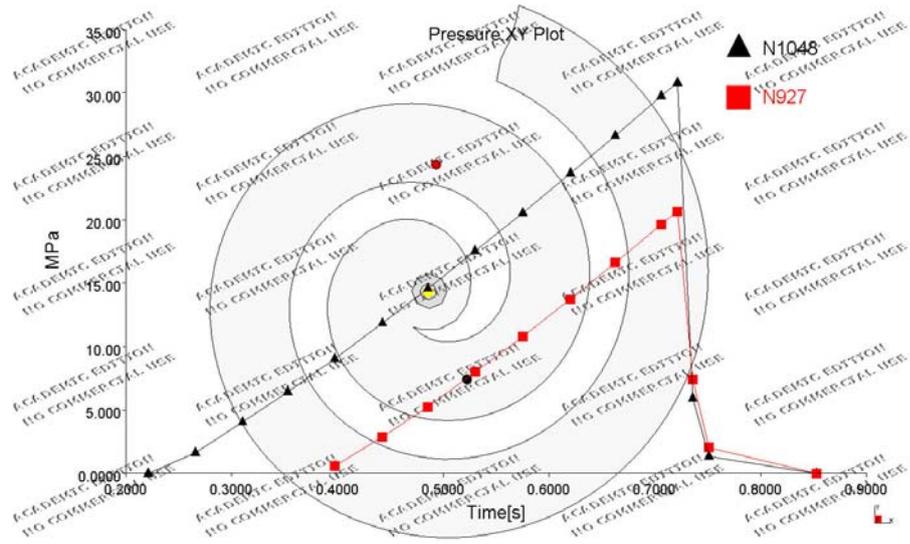
Gráfica Moldflow aplicando modelo reómetro 80% - 220°C



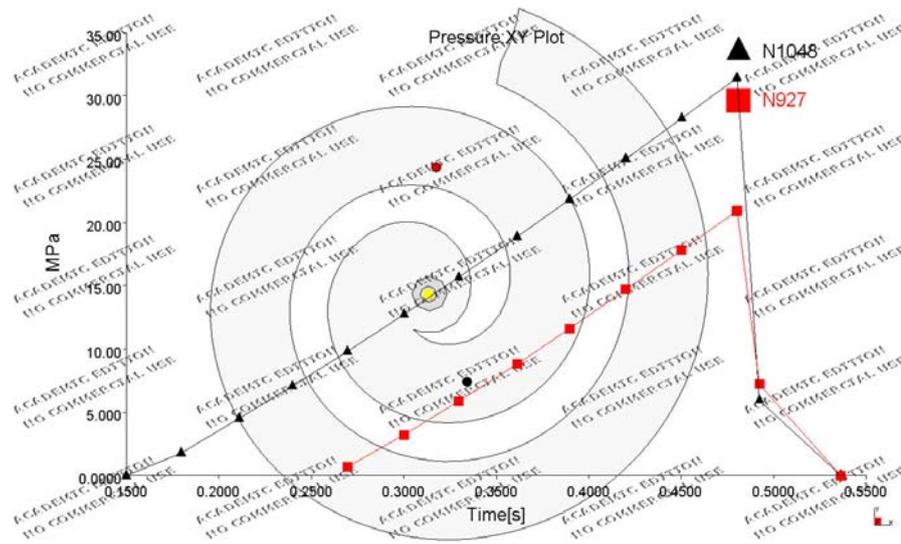
Gráfica Moldflow aplicando modelo reómetro 100% - 220°C



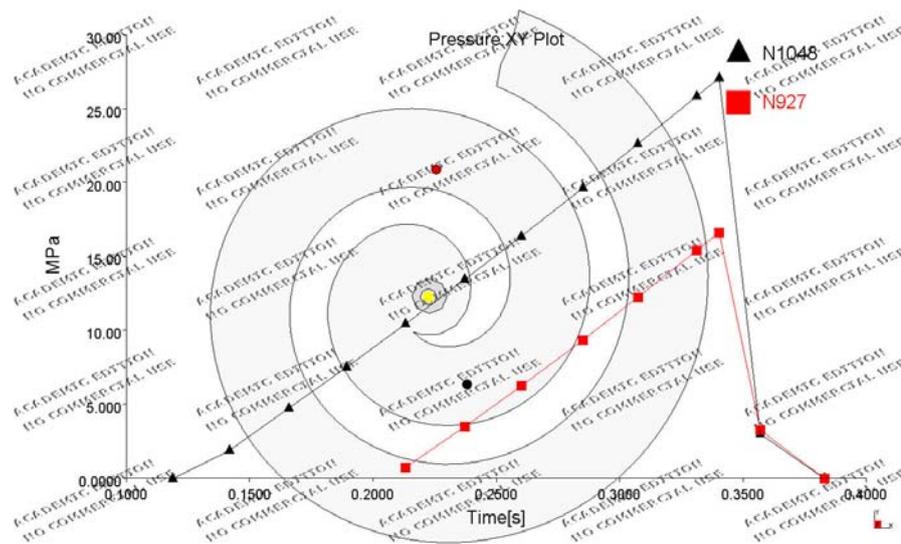
Gráfica Moldflow aplicando modelo reómetro 20% - 240°C



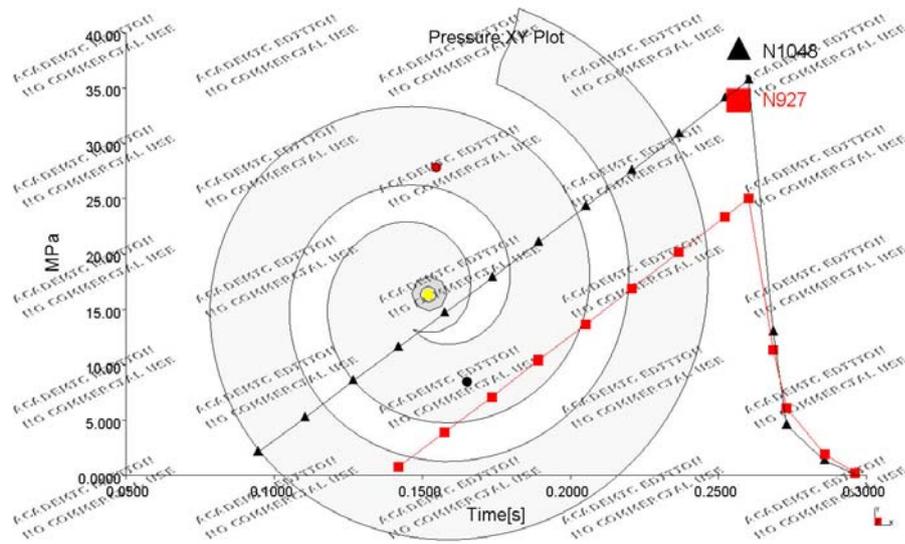
Gráfica Moldflow aplicando modelo reómetro 40% - 240°C



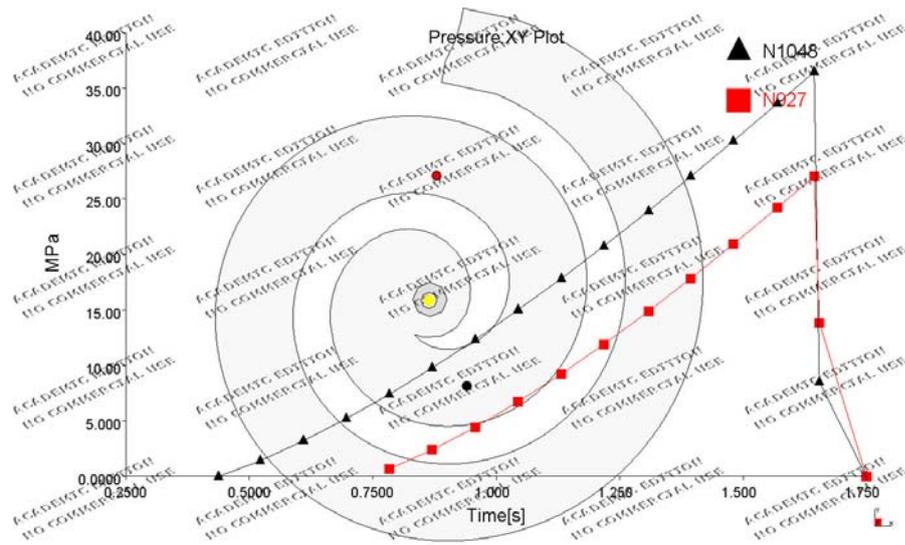
Gráfica Moldflow aplicando modelo reómetro 60% - 240°C



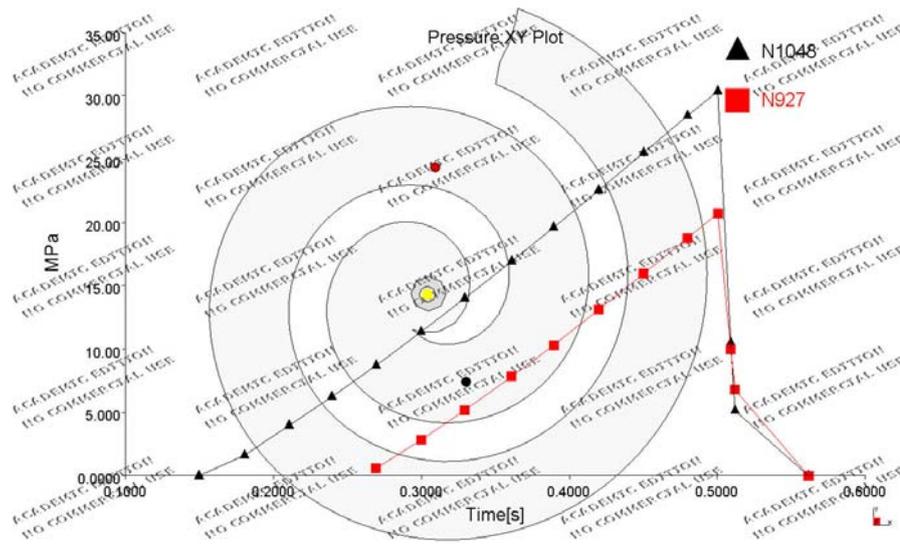
Gráfica Moldflow aplicando modelo reómetro 80% - 240°C



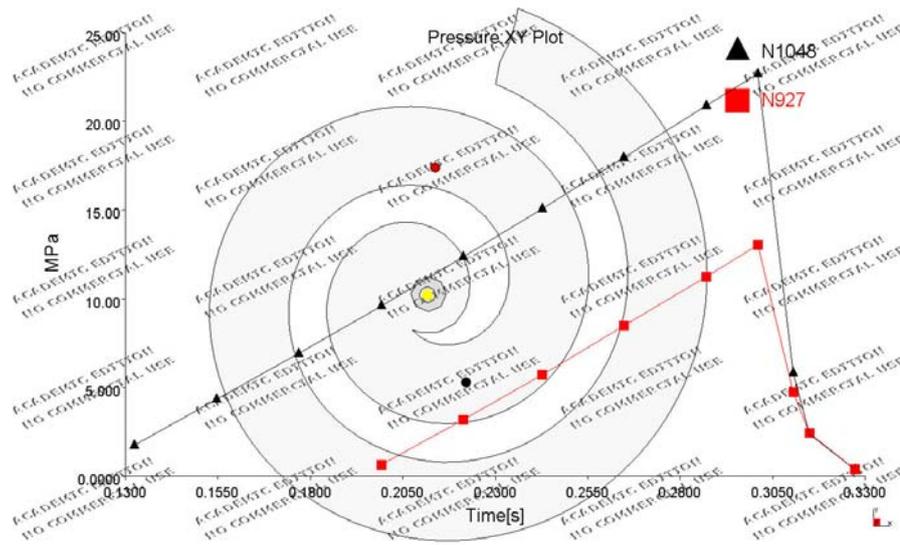
Gráfica Moldflow aplicando modelo reómetro 100% - 240°C



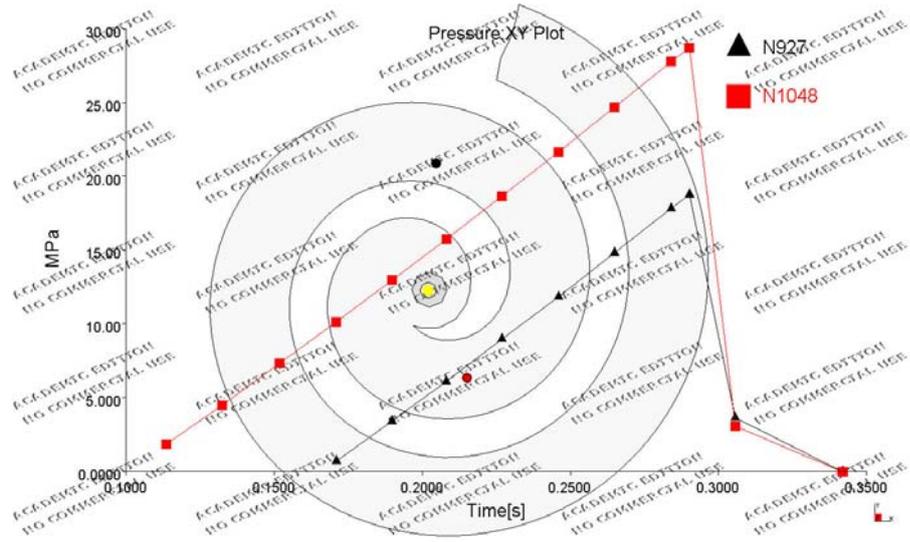
Gráfica Moldflow aplicando modelo reómetro 20% - 260°C



Gráfica Moldflow aplicando modelo reómetro 60% - 260°C



Gráfica Moldflow aplicando modelo reómetro 80% - 260°C



Gráfica Moldflow aplicando modelo reómetro 100% - 260°C

ANEXO 2 (Capítulo 6)

**DATOS EXPERIMENTALES Y TEORICOS DE INYECCION DE POLIPROPILENO SOBRE
CANDIDE**

ARCHIVO .STR OBTENIDO CON VISDAT →

**OBTENCION CONSTATES DE MODELO VISCOSO DE PP PHC31 SOBRE CANDIDE SIN NINGUNA
CORRECCION.**

THIS PROGRAM IS COPYRIGHT "COLIN AUSTIN R & D PTY LTD"
(C)1979 (C)1985 (C)1988 (C)1990 (C)1992
AND OPERATED UNDER LICENCE BY "MOLDFLOW PTY LTD"
VISDAT ... APPROXIMATION OF VISCOSITY EXPERIMENTAL DATA
VERSION 1.5.0
LAST REVISED 11 - MAR - 92

This is a revised viscosity graph fitting program -
modifications have been made to suit the new database
format and the editing program MADRAS.

The 1st order model is now fitted from a grid of points
generated by the 2nd order model - this is to reduce bias.

The program outputs the standard points that need to be
entered into the new database by program matdb and also
the old viscosity constants are given for users still
using the old database.

EXECUTED 01-JAN-94 0 :16
STORE FILE: CANSIN.STR
candide sin correccion_13_05_2009

No. temp. shear rate viscosity

Number of points 17

* 1-ST ORDER GRAPH FIT BASED ON ORIGINAL DATA

* Viscosity factor 1.447912E+05
* Shear factor -9.334478E-01
* Temp. factor -3.541576E-03

* Standard 1-st order data points

200.0	100.0	968.79
220.0	10000.0	12.26
240.0	1000.0	98.01

No.	temperature	shear rate	meas V	calc V	% error
1	190.00	403.00	300.60	273.27	-10.002
2	190.00	1398.00	65.60	85.57	23.341
3	190.00	2520.00	51.60	49.37	-4.514
4	190.00	3150.00	42.00	40.09	-4.769
5	190.00	3600.00	37.90	35.39	-7.092
6	210.00	403.00	263.00	254.58	-3.307
7	210.00	869.00	119.00	124.26	4.231
8	210.00	1680.00	65.40	67.16	2.615
9	210.00	2520.00	47.10	46.00	-2.402
10	210.00	3600.00	33.70	32.97	-2.214
11	210.00	4581.00	26.70	26.33	-1.410
12	230.00	420.00	239.70	228.20	-5.039
13	230.00	869.00	113.30	115.76	2.126
14	230.00	1800.00	55.10	58.66	6.072
15	230.00	2520.00	42.70	42.85	0.350
16	230.00	3876.00	28.60	28.67	0.241
17	230.00	4200.00	27.40	26.60	-3.011

* Standard deviation 1.9281E-02

* 2-ND ORDER GRAPH FIT

* Standard 2-nd order data points

200.0	1000.0	105.55
220.0	100.0	1597.69
220.0	1000.0	99.30
220.0	10000.0	16.54
240.0	100.0	1565.41
240.0	1000.0	92.92

A(1)= 14.746

A(2)= -2.0567

A(3)= 6.67588E-03

A(4)= 9.29476E-02

A(5)=-9.99583E-04

A(6)=-6.72415E-06

No.	temperature	shear rate	meas V	calc V	% error
1	190.00	403.00	300.60	281.26	-6.877
2	190.00	1398.00	65.60	79.49	17.479
3	190.00	2520.00	51.60	48.30	-6.823
4	190.00	3150.00	42.00	40.68	-3.248
5	190.00	3600.00	37.90	36.87	-2.802
6	210.00	403.00	263.00	270.18	2.656
7	210.00	869.00	119.00	117.82	-1.001
8	210.00	1680.00	65.40	63.10	-3.651
9	210.00	2520.00	47.10	44.73	-5.296
10	210.00	3600.00	33.70	33.90	0.582
11	210.00	4581.00	26.70	28.48	6.263
12	230.00	420.00	239.70	245.98	2.552
13	230.00	869.00	113.30	110.85	-2.207
14	230.00	1800.00	55.10	55.06	-0.068
15	230.00	2520.00	42.70	41.20	-3.641
16	230.00	3876.00	28.60	29.31	2.431
17	230.00	4200.00	27.40	27.61	0.778

* Standard deviation 1.4797E-02

***** The 2-nd order fit is unsatisfactory

- the 2-nd differential with respect to shear rate is positive

- the curve on a log viscosity versus log shear rate plot displays a minimum (and a maximum is required).

Either revise the experimental data or use the original 1-st order fit

* MATERIAL COEFFICIENTS SUMMARY

144791. , -0.933448 , -3.541576E-03,

ARCHIVO .STR OBTENIDO CON VISDAT →

**OBTENCION CONSTATES DE MODELO VISCOSO DE PP PHC31 SOBRE CANDIDE CON CRRECCION DE
CAPA FRIA Y DE DIAGONAL.**

THIS PROGRAM IS COPYRIGHT "COLIN AUSTIN R & D PTY LTD"
(C)1979 (C)1985 (C)1988 (C)1990 (C)1992
AND OPERATED UNDER LICENCE BY "MOLDFLOW PTY LTD"
VISDAT ... APPROXIMATION OF VISCOSITY EXPERIMENTAL DATA
VERSION 1.5.0
LAST REVISED 11 - MAR - 92

This is a revised viscosity graph fitting program -
modifications have been made to suit the new database
format and the editing program MADRAS.

The 1st order model is now fitted from a grid of points
generated by the 2nd order model - this is to reduce bias.

The program outputs the standard points that need to be
entered into the new database by program matdb and also
the old viscosity constants are given for users still
using the old database.

EXECUTED 19-JAN-94 23:10

STORE FILE: CANDIAG.STR

candide con correccion de capa fria y diagonal. 30-06-2009

No. temp. shear rate viscosity

Number of points 19

* 1-ST ORDER GRAPH FIT BASED ON ORIGINAL DATA

* Viscosity factor 1.808017E+05
* Shear factor -9.279263E-01
* Temp. factor -4.833732E-03

* Standard 1-st order data points

200.0	100.0	958.29
220.0	10000.0	12.12
240.0	1000.0	93.24

No.	temperature	shear rate	meas V	calc V	% error
1	190.00	392.00	289.20	283.12	-2.149
2	190.00	759.00	162.40	153.35	-5.900
3	190.00	1840.00	66.10	67.43	1.968
4	190.00	2378.00	52.70	53.15	0.838
5	190.00	2961.00	43.20	43.36	0.372
6	190.00	3372.00	39.20	38.43	-1.991
7	210.00	389.00	255.70	258.87	1.223
8	210.00	835.00	117.20	127.42	8.023
9	210.00	1590.00	66.30	70.10	5.416
10	210.00	2361.00	48.70	48.57	-0.267
11	210.00	3344.00	35.50	35.16	-0.956
12	210.00	4241.00	28.40	28.21	-0.690
13	230.00	404.00	235.50	226.90	-3.788
14	230.00	404.00	235.50	226.90	-3.788
15	230.00	830.00	112.80	116.33	3.032
16	230.00	1690.00	56.80	60.14	5.547
17	230.00	2347.00	44.70	44.34	-0.815

Anexo 2 (Capítulo 6) – Datos experimentales y teóricos inyección de polipropileno sobre CANDIDE

18	230.00	3576.00	30.60	30.00	-2.009
19	230.00	3864.00	29.40	27.92	-5.313

* Standard deviation 8.5684E-03

* 2-ND ORDER GRAPH FIT

* Standard 2-nd order data points

200.0	1000.0	108.30
220.0	100.0	1091.30
220.0	1000.0	97.76
220.0	10000.0	14.19
240.0	100.0	1042.36
240.0	1000.0	94.43

A(1)= 18.493

A(2)= -1.6256

A(3)=-4.23854E-02

A(4)= 4.55283E-02

A(5)= 2.43844E-04

A(6)= 8.47134E-05

No.	temperature	shear rate	meas V	calc V	% error
1	190.00	392.00	289.20	296.31	2.400
2	190.00	759.00	162.40	152.48	-6.503
3	190.00	1840.00	66.10	66.62	0.784
4	190.00	2378.00	52.70	53.12	0.790
5	190.00	2961.00	43.20	43.98	1.766
6	190.00	3372.00	39.20	39.40	0.507
7	210.00	389.00	255.70	259.42	1.434
8	210.00	835.00	117.20	121.17	3.277
9	210.00	1590.00	66.30	66.46	0.243
10	210.00	2361.00	48.70	46.84	-3.978
11	210.00	3344.00	35.50	34.83	-1.937
12	210.00	4241.00	28.40	28.63	0.796
13	230.00	404.00	235.50	231.95	-1.529
14	230.00	404.00	235.50	231.95	-1.529
15	230.00	830.00	112.80	113.70	0.788
16	230.00	1690.00	56.80	58.89	3.554
17	230.00	2347.00	44.70	44.14	-1.260
18	230.00	3576.00	30.60	30.94	1.112
19	230.00	3864.00	29.40	29.04	-1.248

* Standard deviation 5.5606E-03

***** The 2-nd order fit is unsatisfactory

- the 2-nd differential with respect to shear rate is positive

- the curve on a log viscosity versus log shear rate plot displays a minimum (and a maximum is required).

Either revise the experimental data or use the original 1-st order fit

* MATERIAL COEFFICIENTS SUMMARY

180802. , -0.927926 , -4.833732E-03,

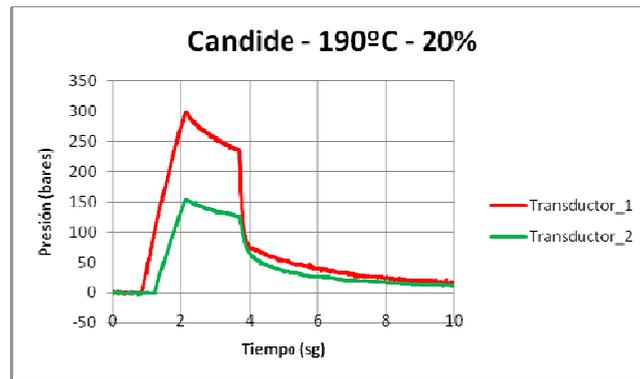
GRAFICAS OBTENIDAS CON MOLDE ESPIRAL MONITORIZADO

**GRAFICAS OBTENIDAS POR SIMULACION CON MOLDFLOW PARA LOS DISTINTOS MODELOS DE PP
PHC31 SOBRE CANDIDE**

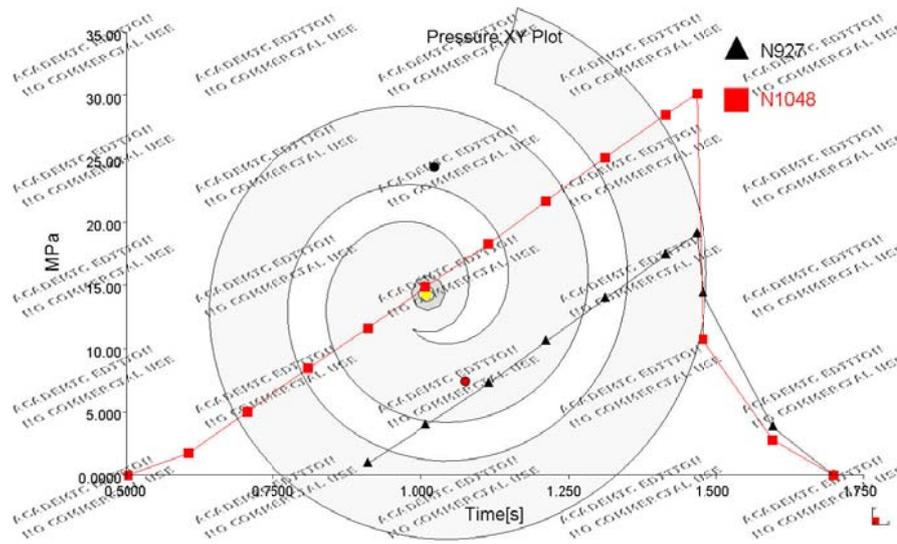
**→ COMPARACION DE LAS CAIDAS DE PRESION ENTRE TRASNDUCTORES 1 Y 2 EN LA
INYECCION DE ESPIRALES SOBRE CANDIDE**

Anexo 2 (Capítulo 6) – Datos experimentales y teóricos inyección de polipropileno sobre CANDIDE

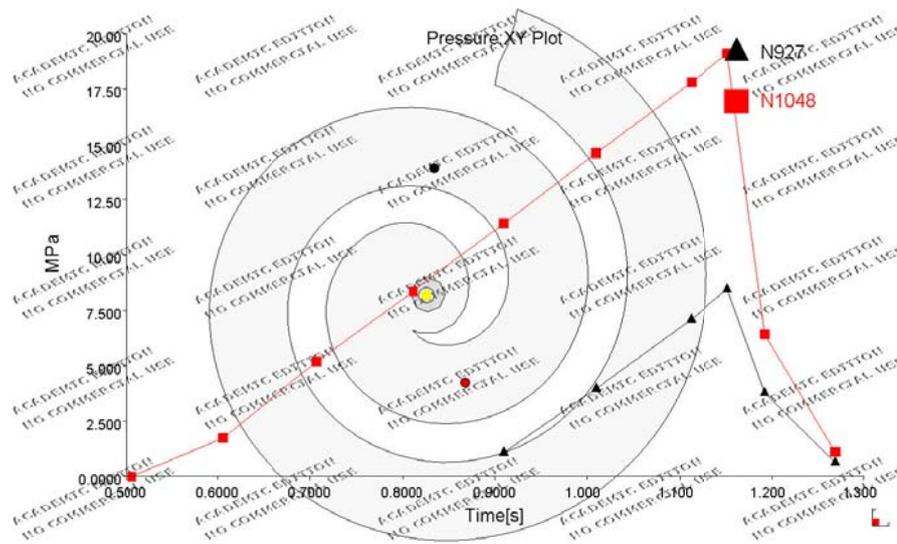
$\Delta P \rightarrow$ Ensayo a 20% de velocidad máxima de la máquina y 190°C de temperatura de inyección



Gráfica Captada por transductores 20% - 190°C

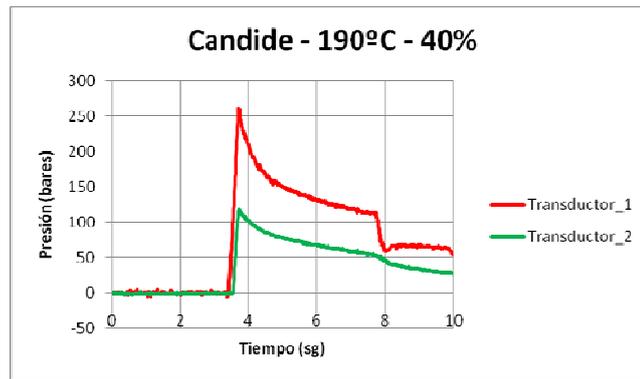


Gráfica Moldflow aplicando modelo sin correcciones 20% - 190°C

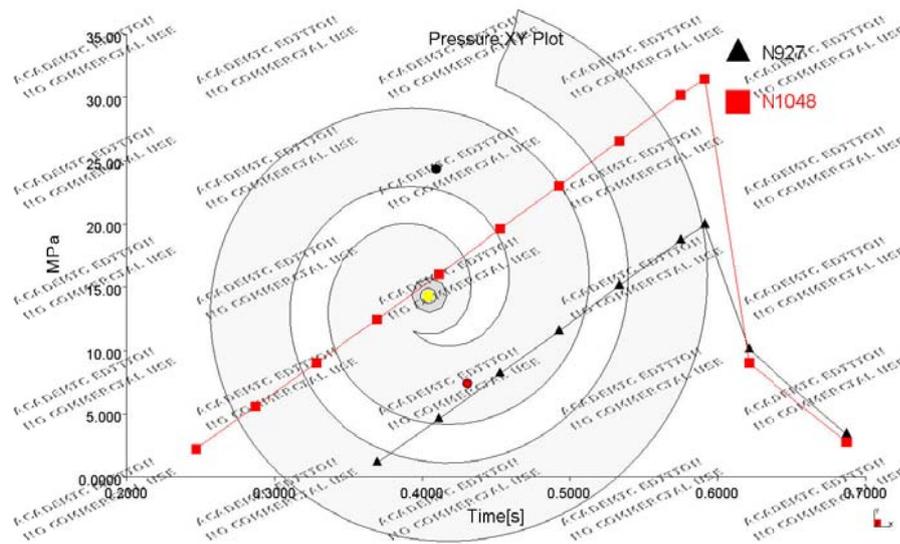


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 20% - 190°C

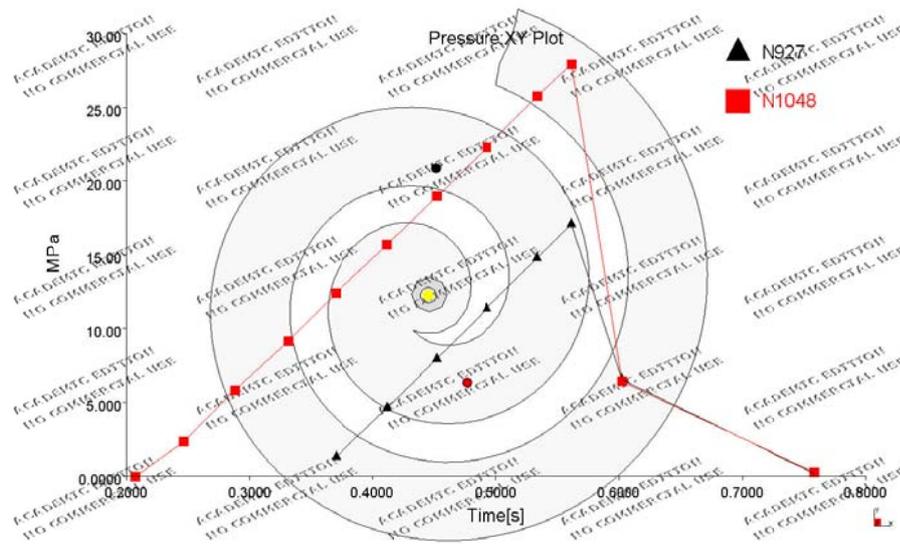
$\Delta P \rightarrow$ Ensayo a 40% de velocidad máxima de la máquina y 190°C de temperatura de inyección



Gráfica Captada por transductores 40% - 190°C



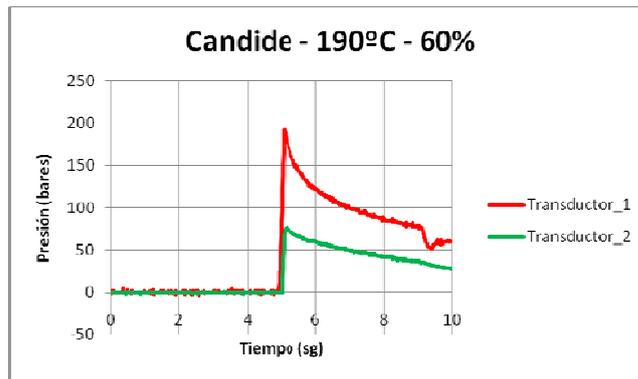
Gráfica Moldflow aplicando modelo sin correcciones 40% - 190°C



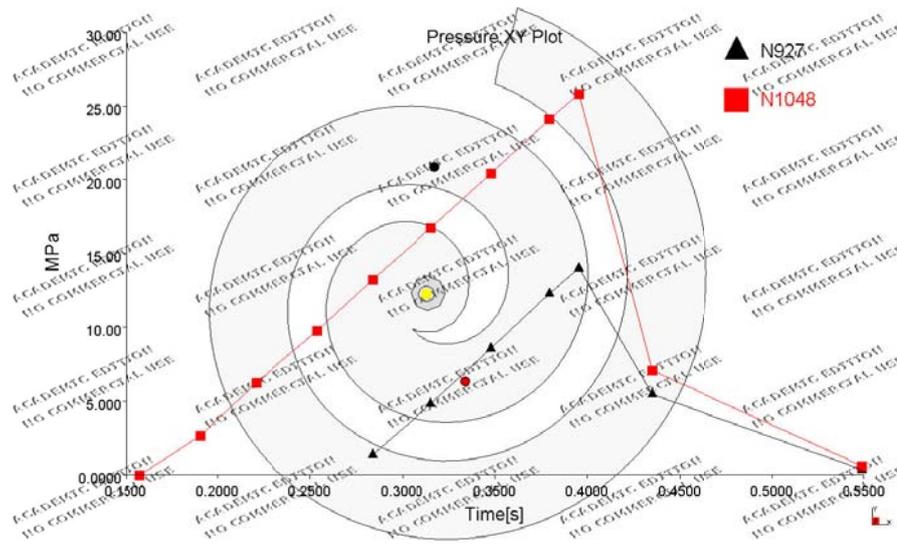
Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 40% - 190°C

Anexo 2 (Capítulo 6) – Datos experimentales y teóricos inyección de polipropileno sobre CANDIDE

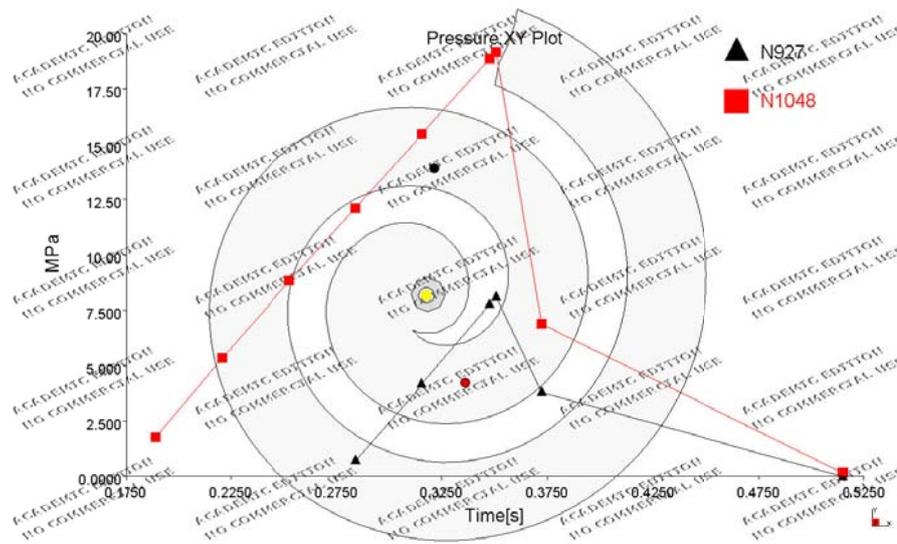
$\Delta P \rightarrow$ Ensayo a 60% de velocidad máxima de la máquina y 190°C de temperatura de inyección



Gráfica Captada por transductores 60% - 190°C

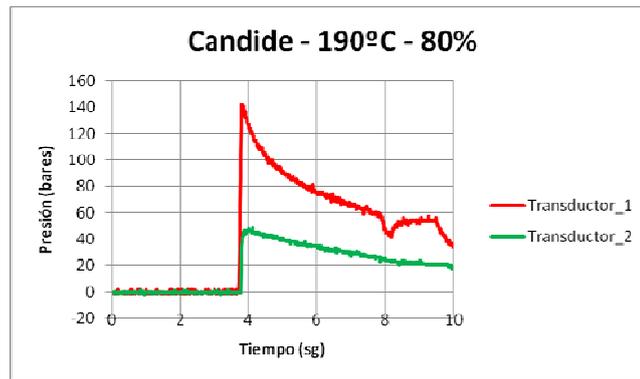


Gráfica Moldflow aplicando modelo sin correcciones 60% - 190°C

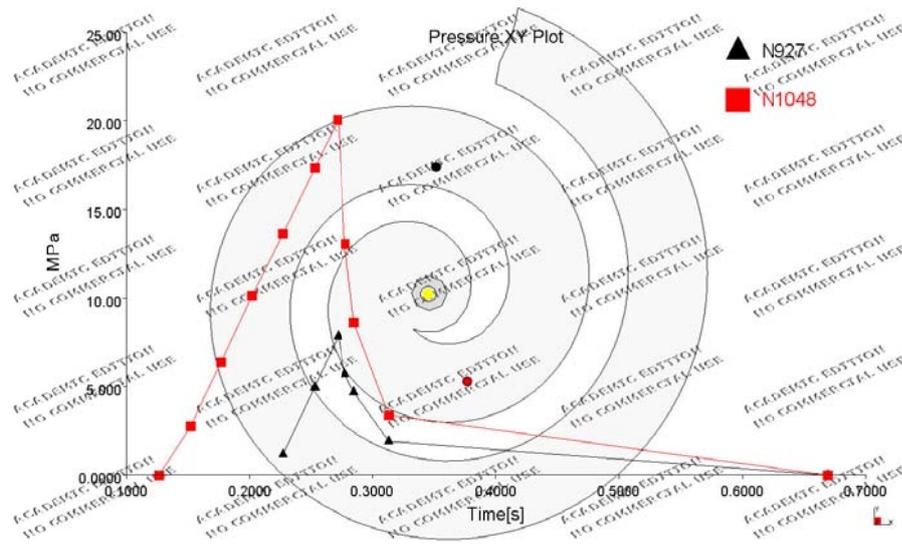


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 60% - 190°C

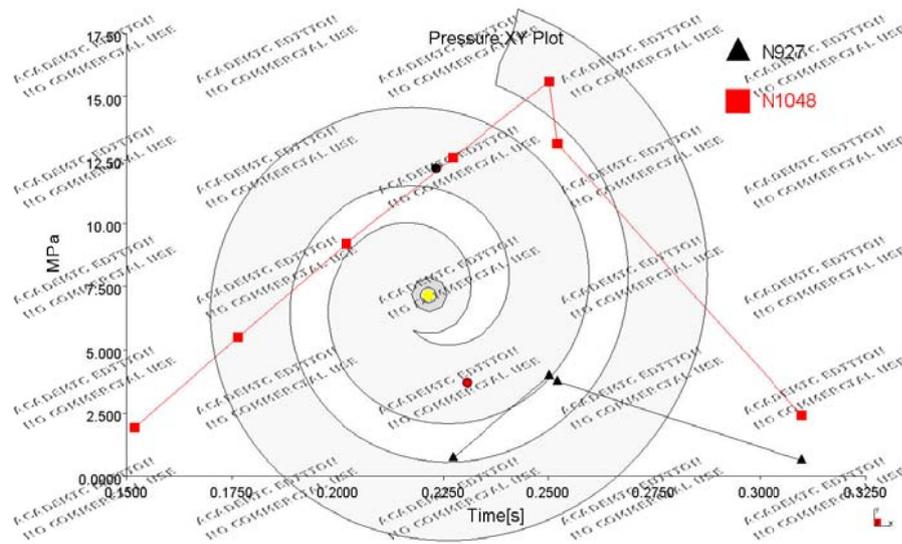
$\Delta P \rightarrow$ Ensayo a 80% de velocidad máxima de la máquina y 190°C de temperatura de inyección



Gráfica Captada por transductores 80% - 190°C



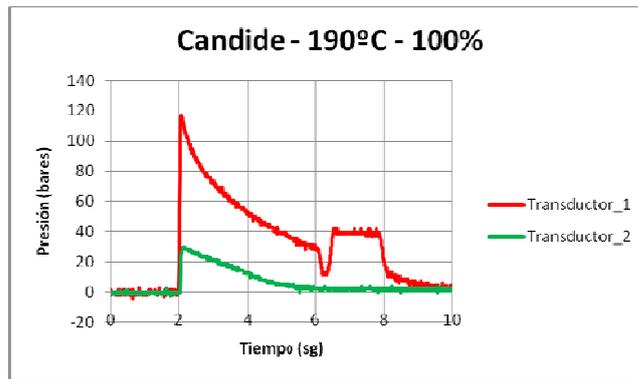
Gráfica Moldflow aplicando modelo sin correcciones 80% - 190°C



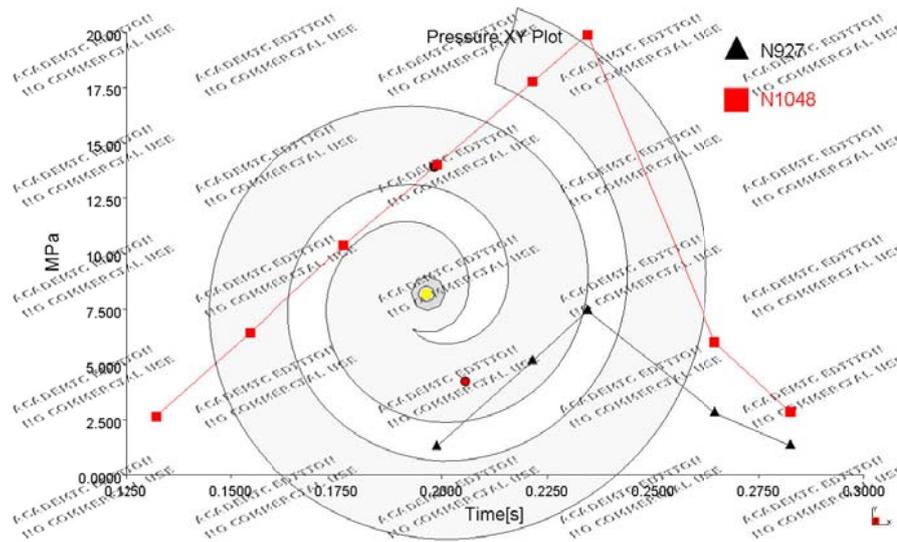
Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 80% - 190°C

Anexo 2 (Capítulo 6) – Datos experimentales y teóricos inyección de polipropileno sobre CANDIDE

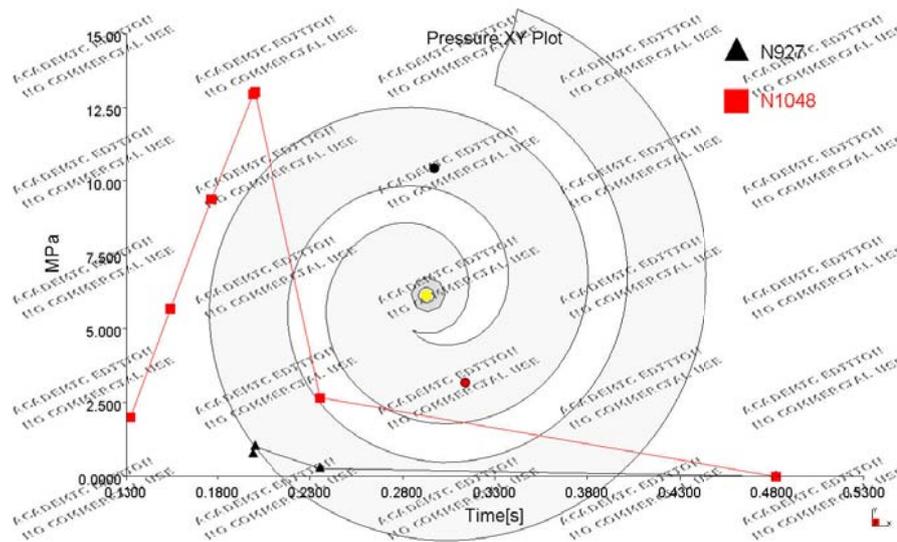
$\Delta P \rightarrow$ Ensayo a 100% de velocidad máxima de la máquina y 190°C de temperatura de inyección



Gráfica Captada por transductores 100% - 190°C

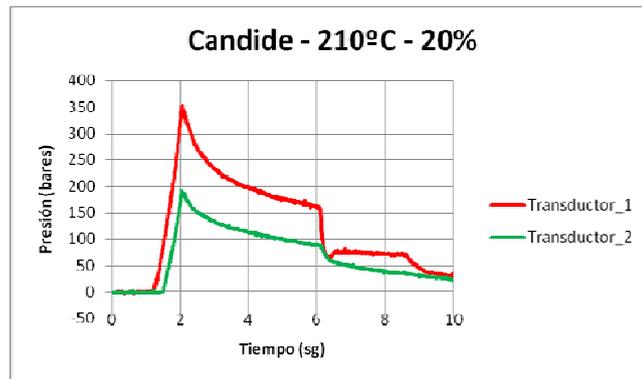


Gráfica Moldflow aplicando modelo sin correcciones 100% - 190°C

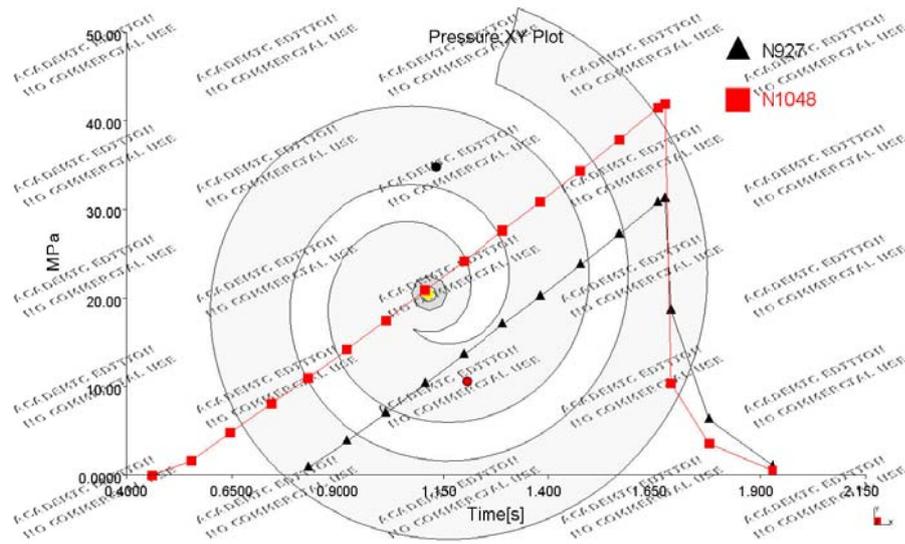


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 100% - 190°C

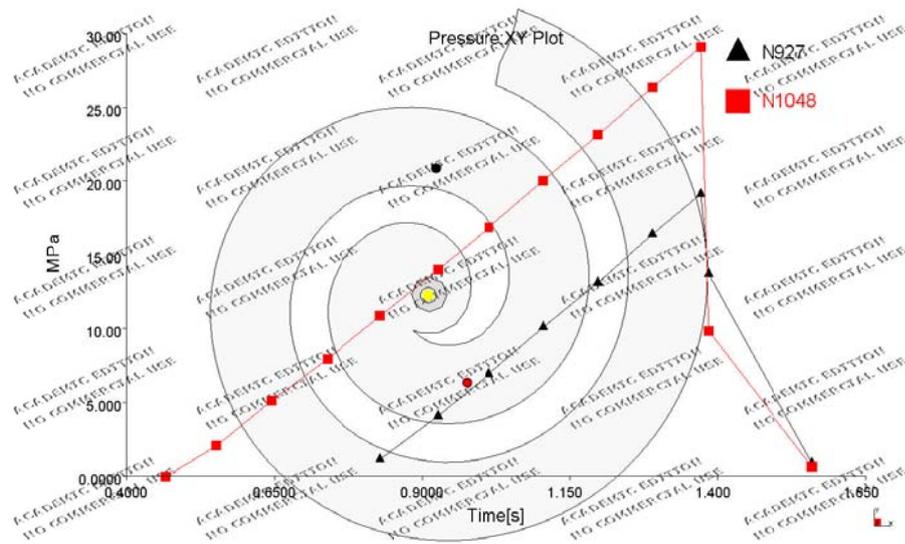
$\Delta P \rightarrow$ Ensayo a 20% de velocidad máxima de la máquina y 210°C de temperatura de inyección



Gráfica Captada por transductores 20% - 210°C



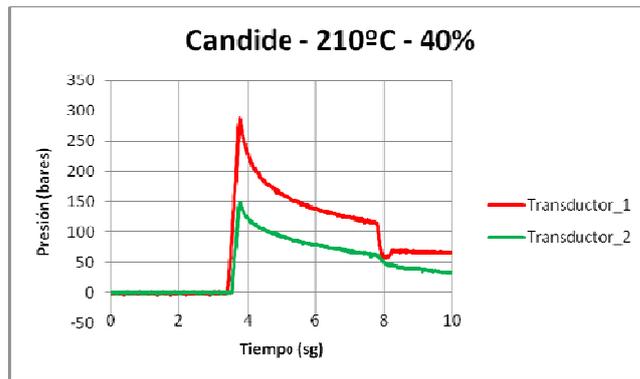
Gráfica Moldflow aplicando modelo sin correcciones 20% - 210°C



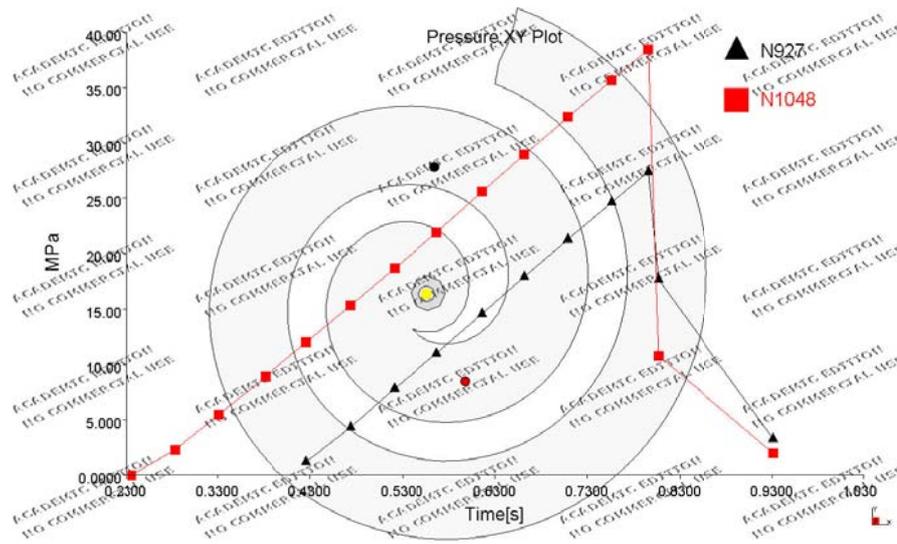
Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 20% - 210°C

Anexo 2 (Capítulo 6) – Datos experimentales y teóricos inyección de polipropileno sobre CANDIDE

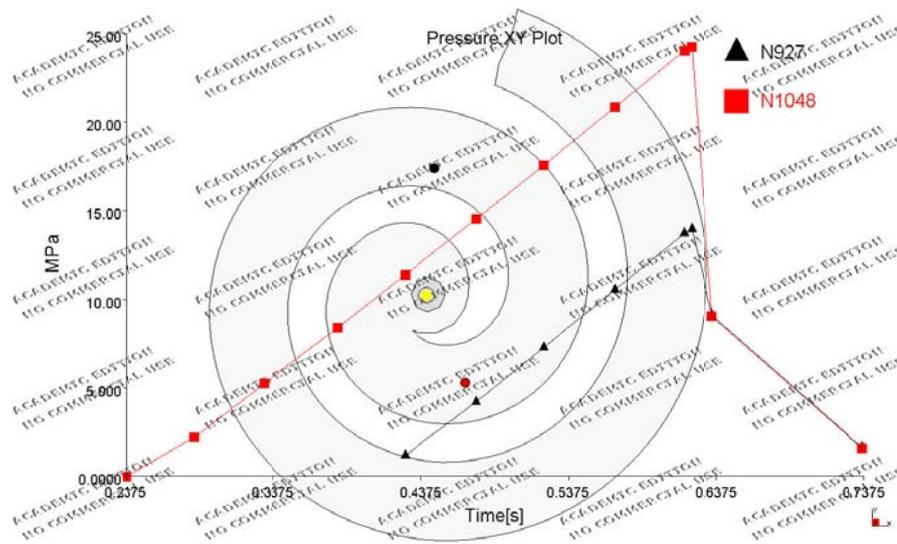
$\Delta P \rightarrow$ Ensayo a 40% de velocidad máxima de la máquina y 210°C de temperatura de inyección



Gráfica Captada por transductores 40% - 210°C

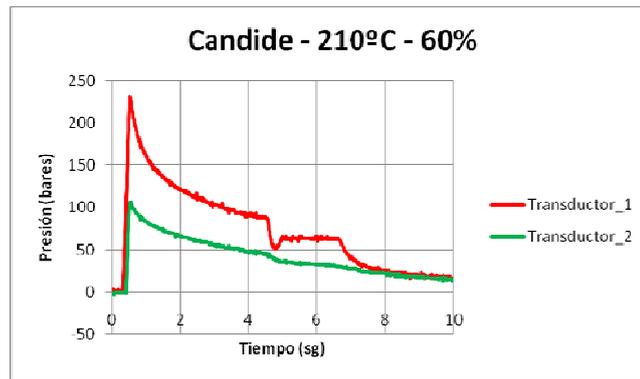


Gráfica Moldflow aplicando modelo sin correcciones 40% - 210°C

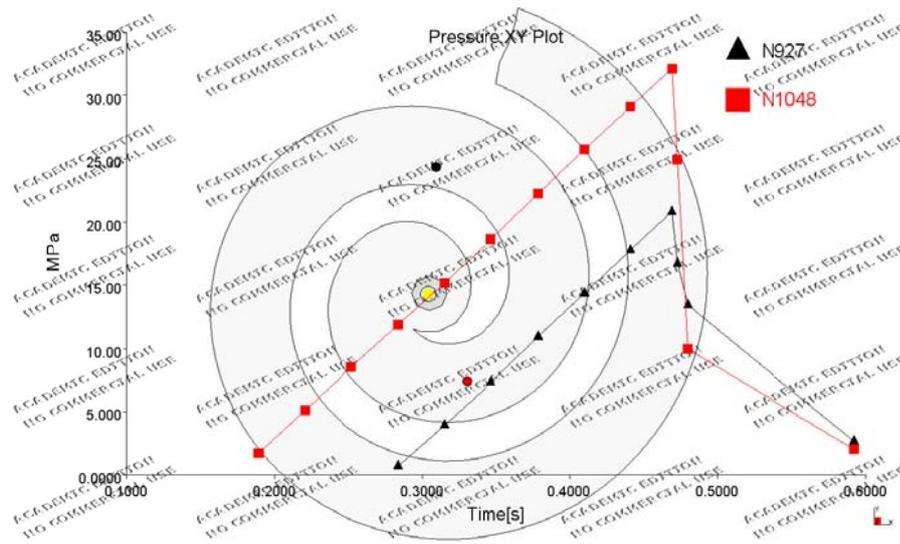


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 40% - 210°C

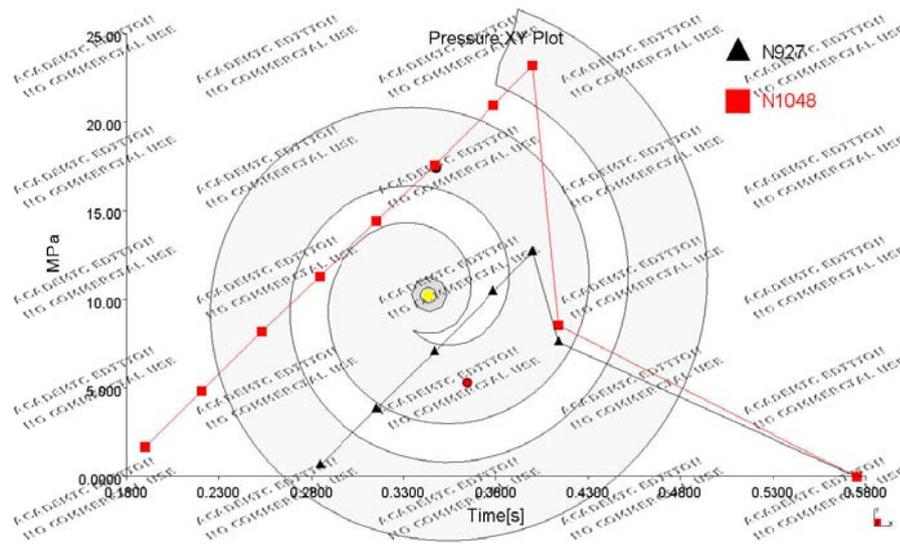
$\Delta P \rightarrow$ Ensayo a 60% de velocidad máxima de la máquina y 210°C de temperatura de inyección



Gráfica Captada por transductores 60% - 210°C



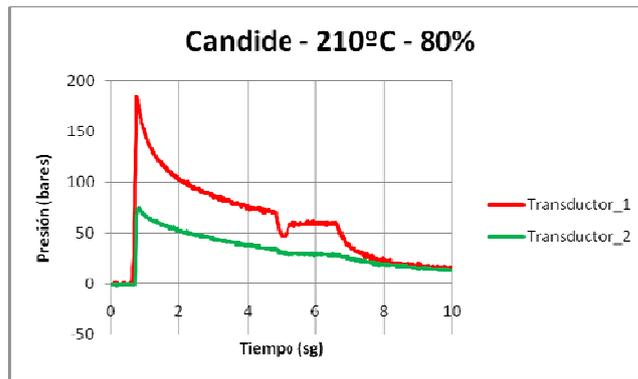
Gráfica Moldflow aplicando modelo sin correcciones 60% - 210°C



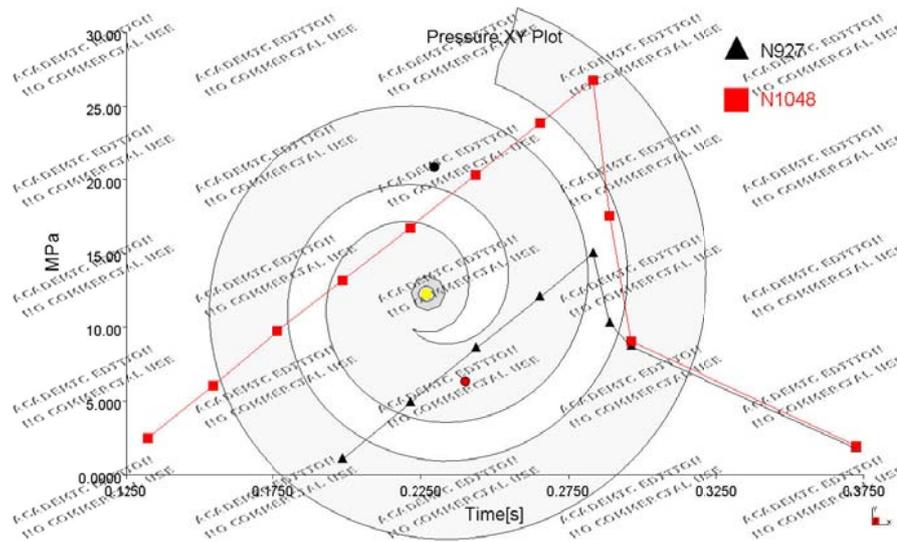
Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 60% - 210°C

Anexo 2 (Capítulo 6) – Datos experimentales y teóricos inyección de polipropileno sobre CANDIDE

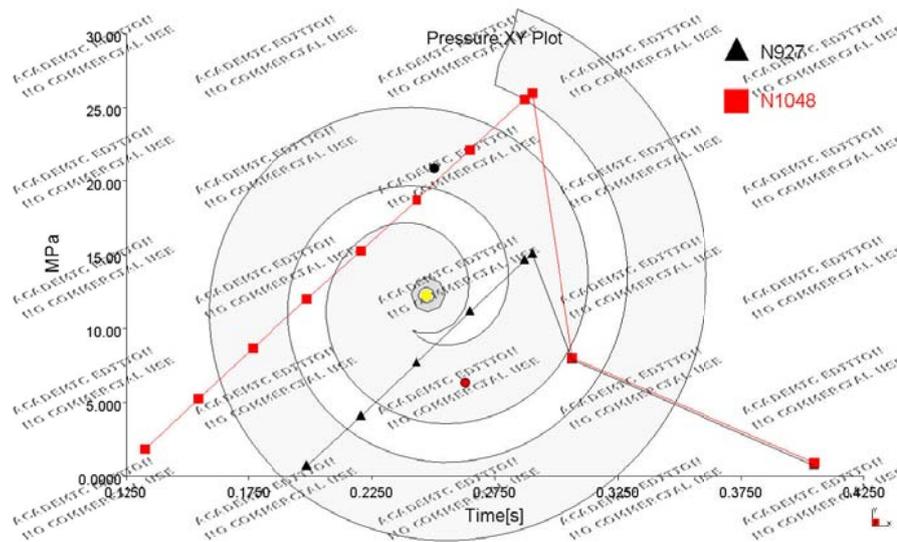
$\Delta P \rightarrow$ Ensayo a 80% de velocidad máxima de la máquina y 210°C de temperatura de inyección



Gráfica Captada por transductores 80% - 210°C

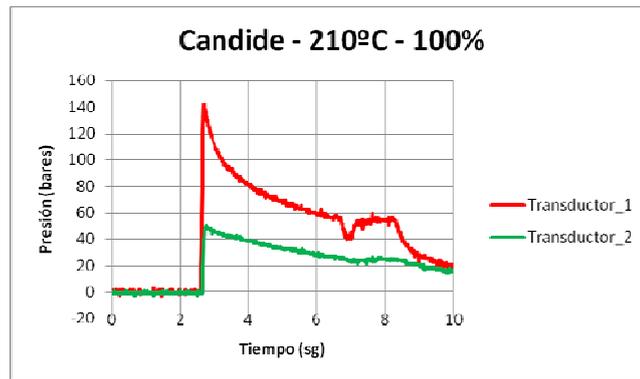


Gráfica Moldflow aplicando modelo sin correcciones 80% - 210°C

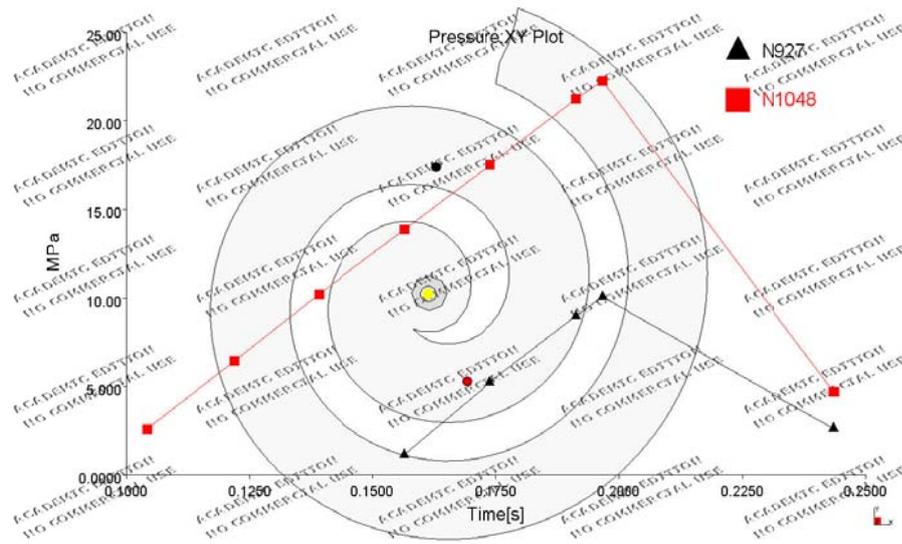


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 80% - 210°C

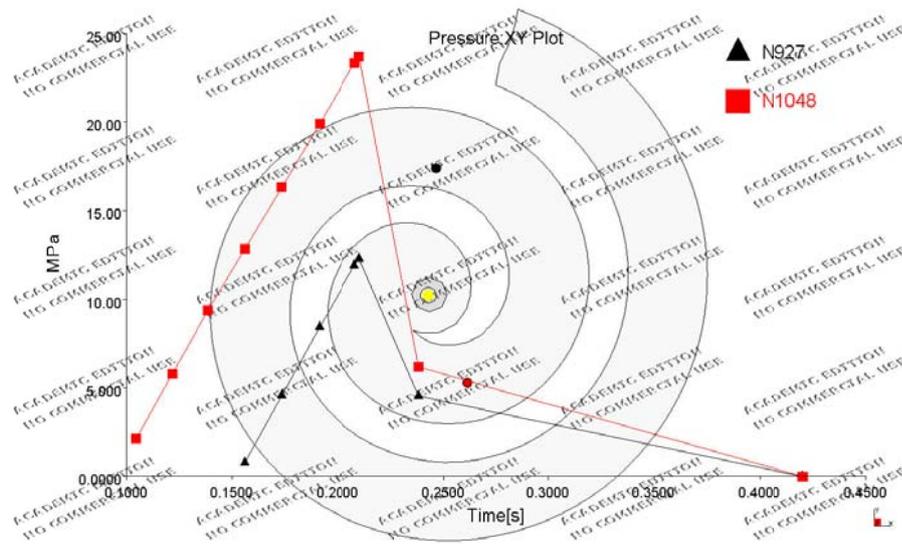
$\Delta P \rightarrow$ Ensayo a 100% de velocidad máxima de la máquina y 210°C de temperatura de inyección



Gráfica Captada por transductores 100% - 210°C



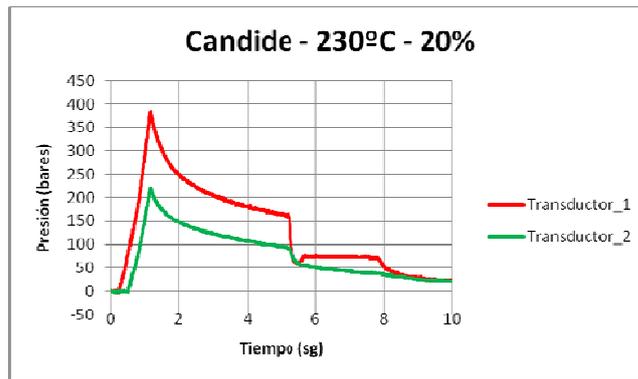
Gráfica Moldflow aplicando modelo sin correcciones 100% - 210°C



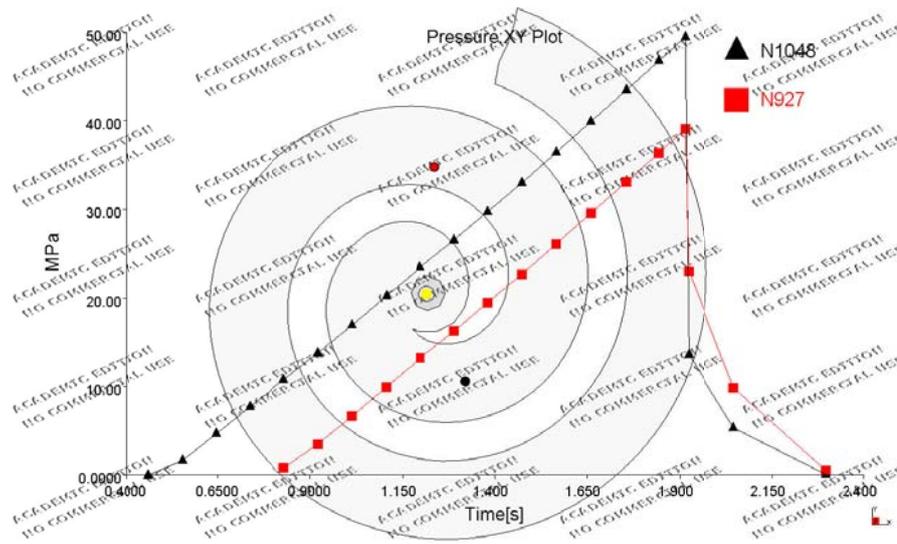
Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 100% - 210°C

Anexo 2 (Capítulo 6) – Datos experimentales y teóricos inyección de polipropileno sobre CANDIDE

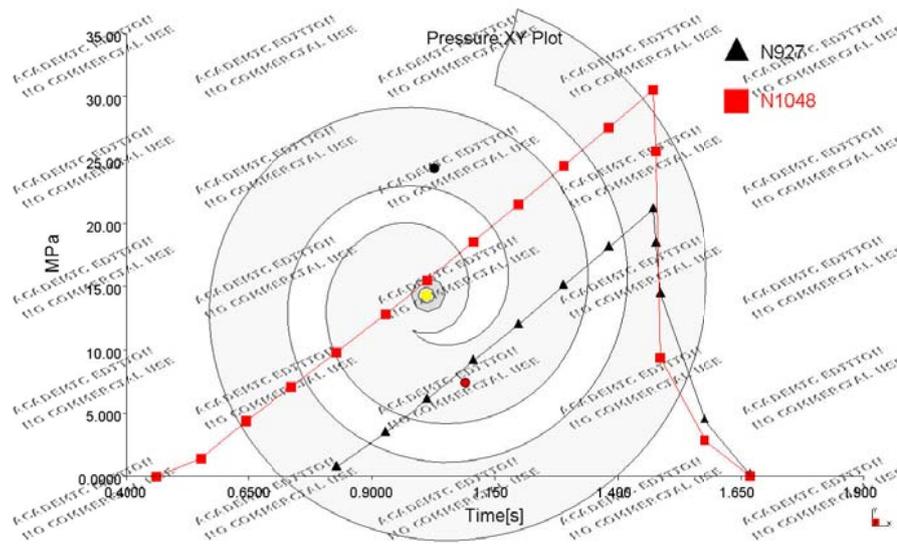
$\Delta P \rightarrow$ Ensayo a 20% de velocidad máxima de la máquina y 230°C de temperatura de inyección



Gráfica Captada por transductores 20% - 230°C

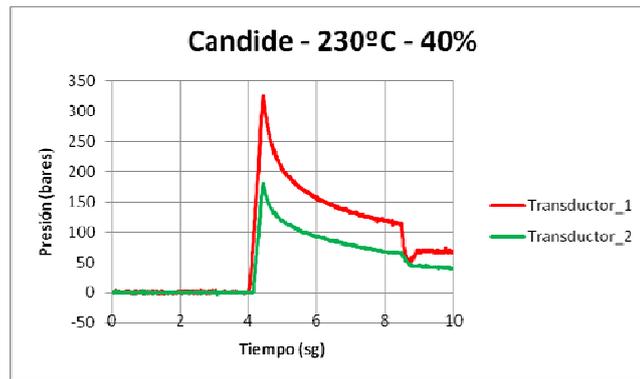


Gráfica Moldflow aplicando modelo sin correcciones 20% - 230°C

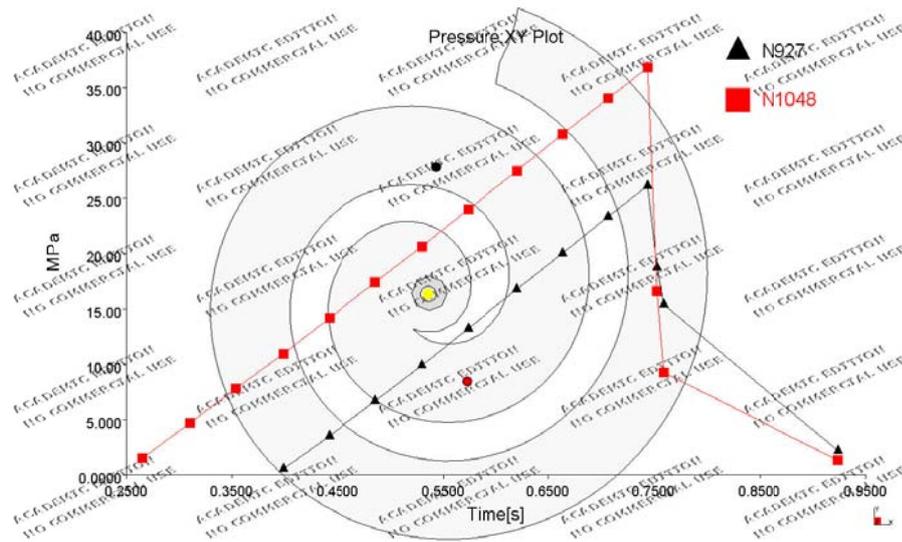


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 20% - 230°C

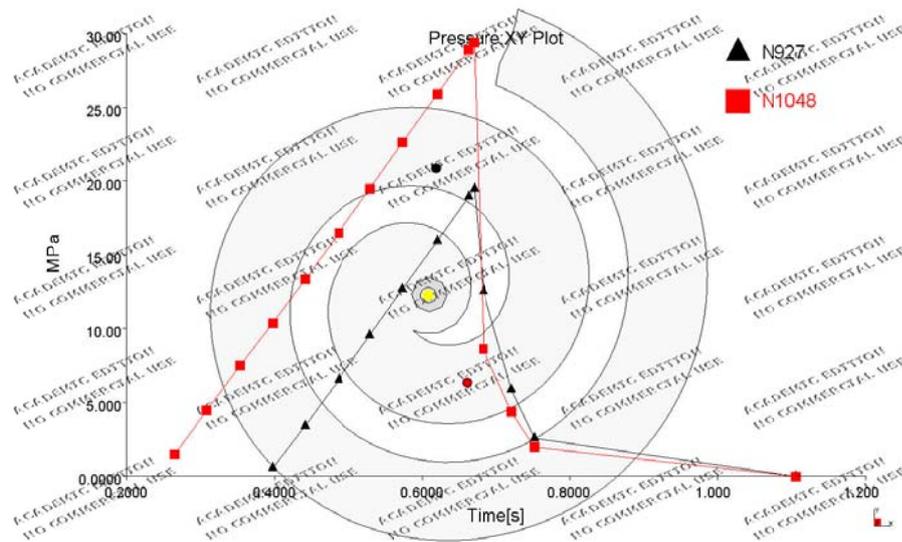
$\Delta P \rightarrow$ Ensayo a 40% de velocidad máxima de la máquina y 230°C de temperatura de inyección



Gráfica Captada por transductores 40% - 230°C



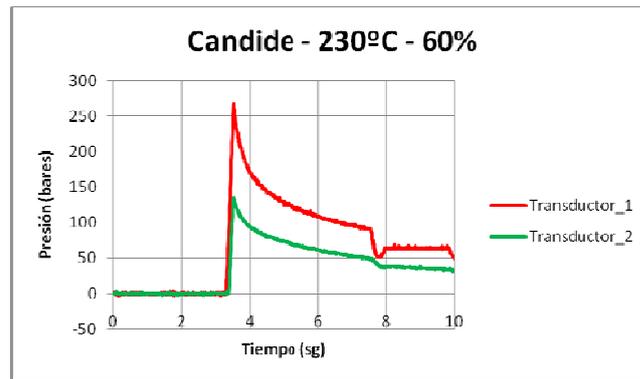
Gráfica Moldflow aplicando modelo sin correcciones 40% - 230°C



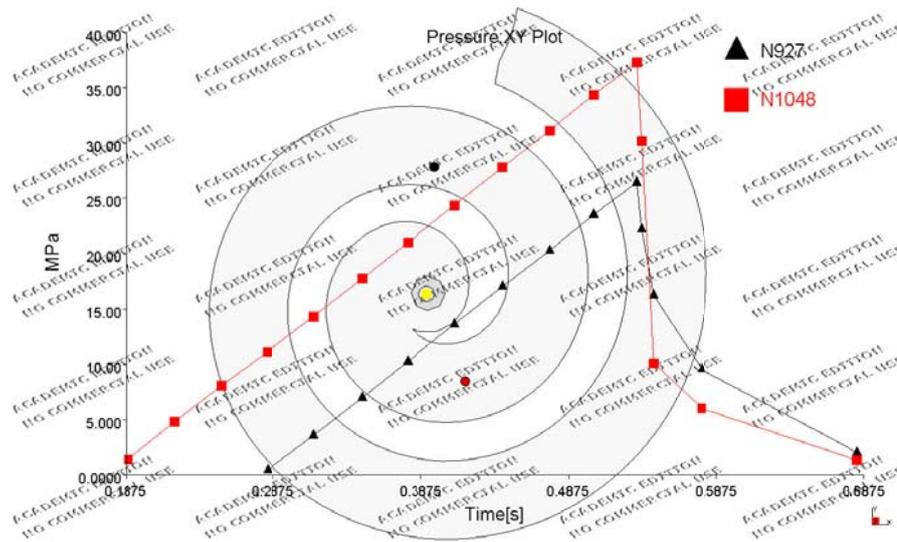
Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 40% - 230°C

Anexo 2 (Capítulo 6) – Datos experimentales y teóricos inyección de polipropileno sobre CANDIDE

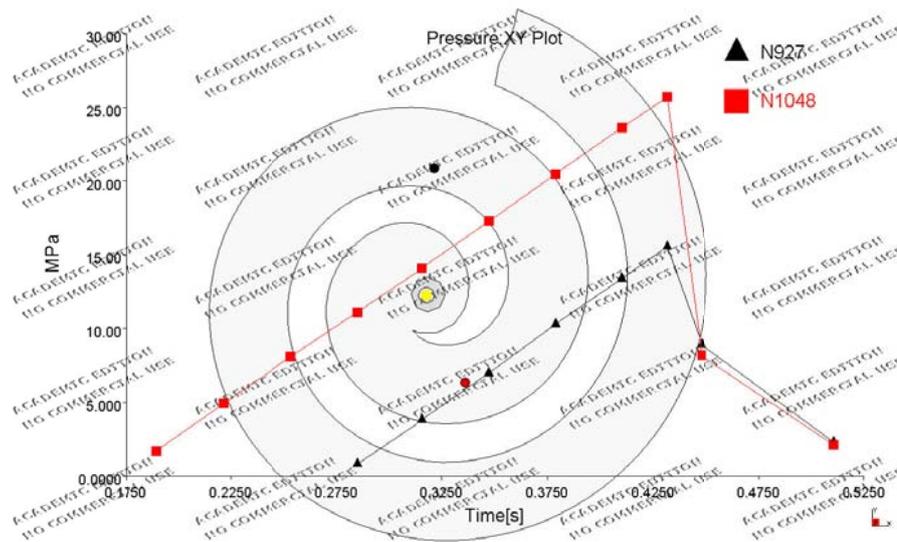
$\Delta P \rightarrow$ Ensayo a 60% de velocidad máxima de la máquina y 230°C de temperatura de inyección



Gráfica Captada por transductores 60% - 230°C

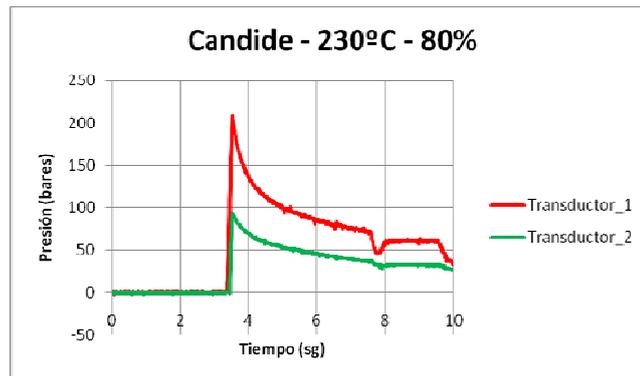


Gráfica Moldflow aplicando modelo sin correcciones 60% - 230°C

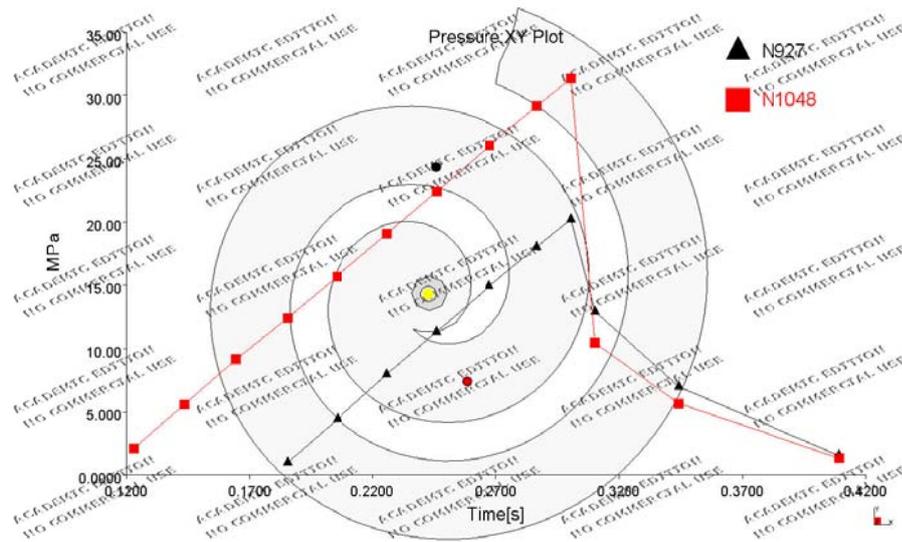


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 60% - 230°C

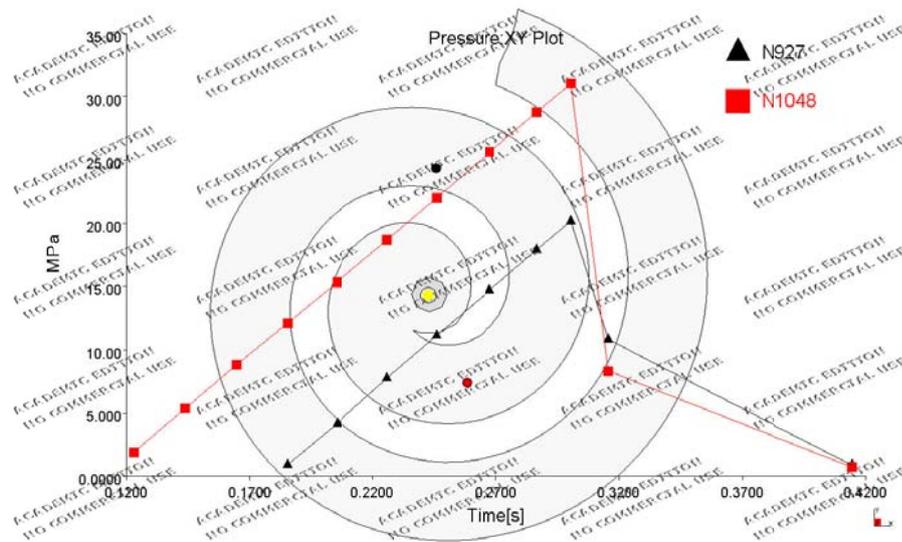
$\Delta P \rightarrow$ Ensayo a 80% de velocidad máxima de la máquina y 230°C de temperatura de inyección



Gráfica Captada por transductores 80% - 230°C



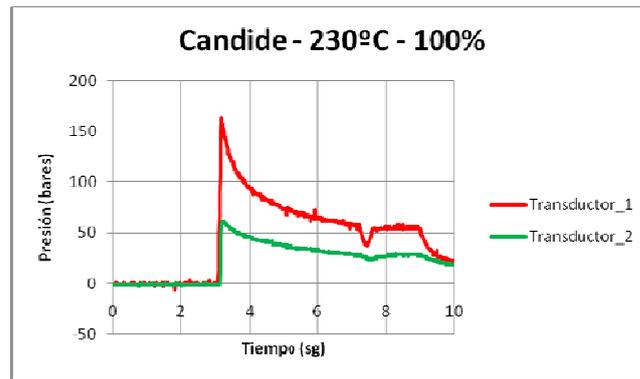
Gráfica Moldflow aplicando modelo sin correcciones 80% - 230°C



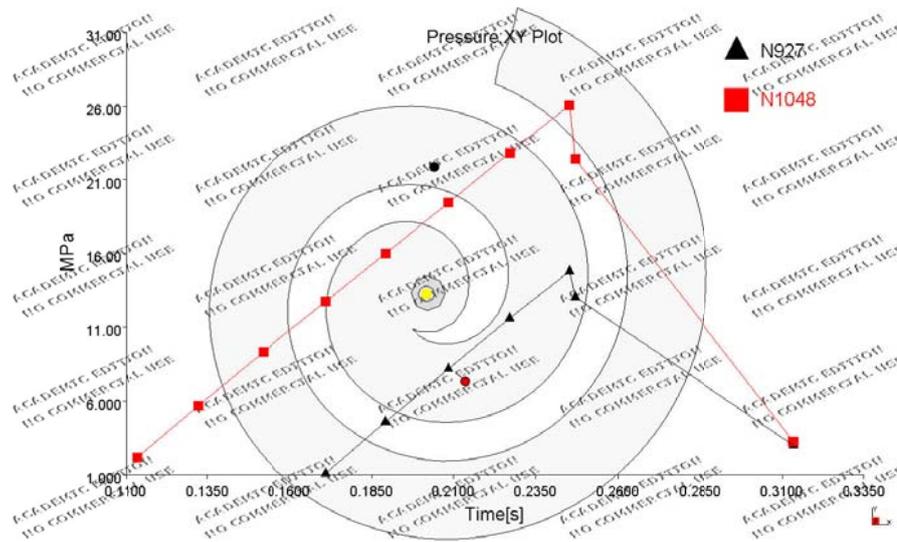
Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 80% - 230°C

Anexo 2 (Capítulo 6) – Datos experimentales y teóricos inyección de polipropileno sobre CANDIDE

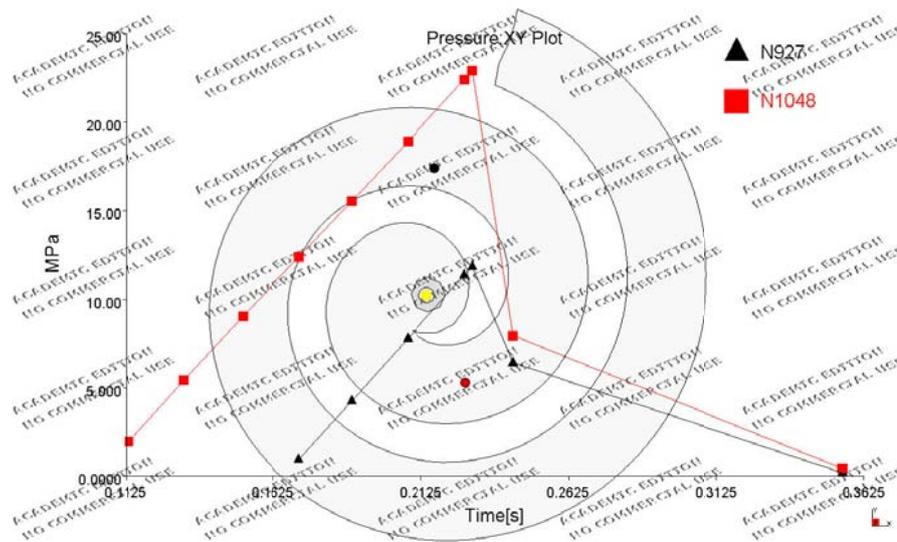
$\Delta P \rightarrow$ Ensayo a 100% de velocidad máxima de la máquina y 230°C de temperatura de inyección



Gráfica Captada por transductores 100% - 230°C



Gráfica Moldflow aplicando modelo sin correcciones 100% - 230°C



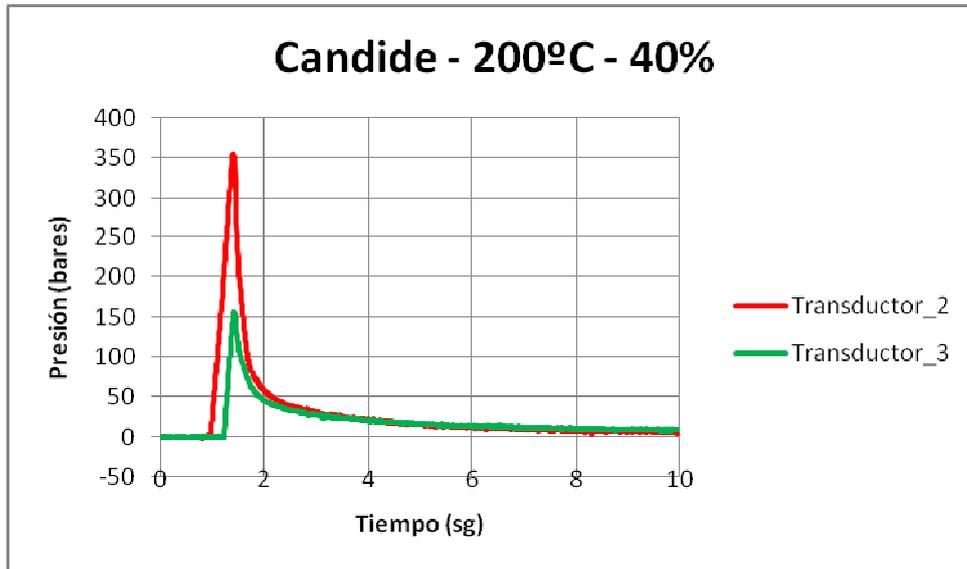
Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 100% - 230°C

GRAFICAS OBTENIDAS CON MOLDE ESPIRAL MONITORIZADO

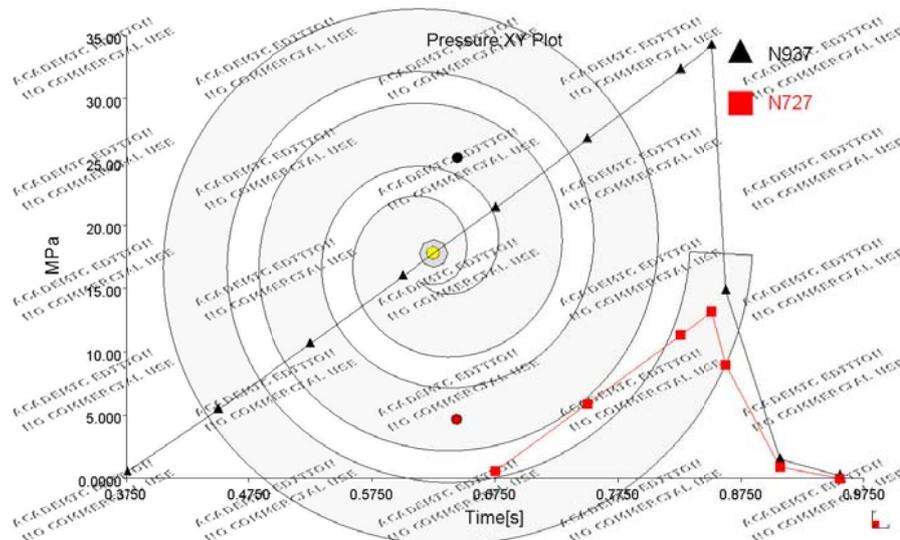
**GRAFICAS OBTENIDAS POR SIMULACION CON MOLDFLOW CON MODELO DE PP PHC31 SOBRE
CANDIDE CORREGIDO**

**→ COMPARACION DE LAS PRESIONES MAXIMAS MEDIDAS EN TRANSDUCTOR 2 Y
TRANSDUCTOR 3 EN LA INYECCION DE ESPIRALES SOBRE CANDIDE**

Presión máxima en T2 y T3 → 40% de velocidad máxima de máquina y 200°C

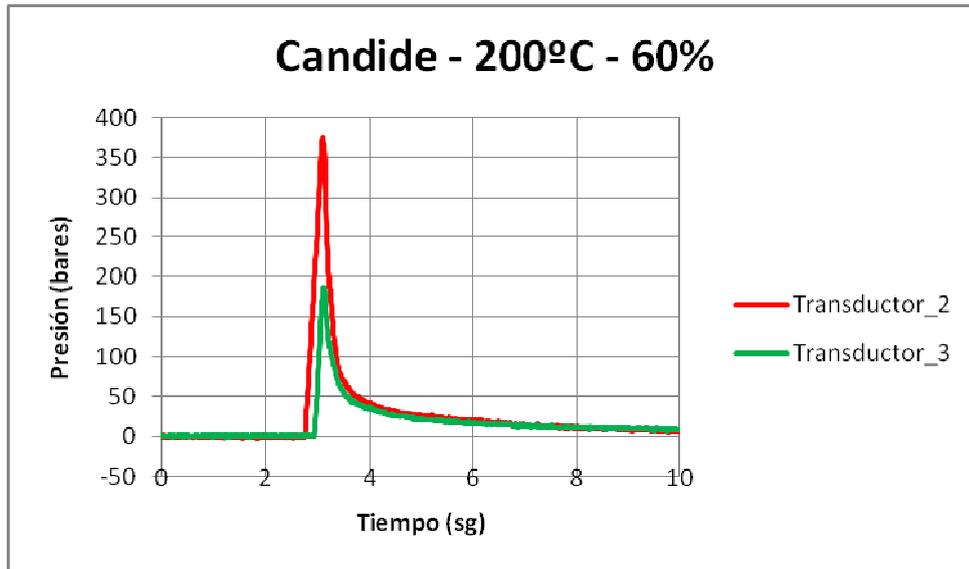


Gráfica Captada por transductores 40% - 200°C

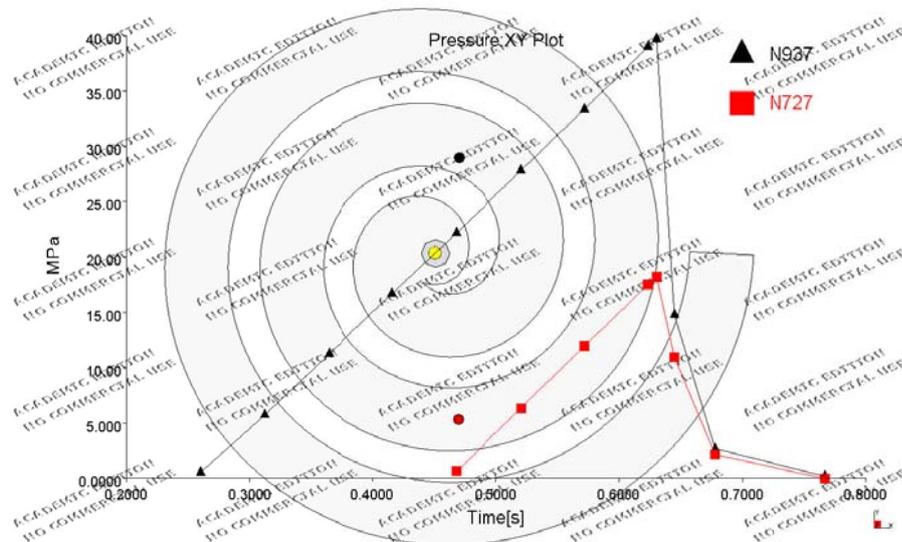


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 40% - 200°C

Presión máxima en T2 y T3 → 60% de velocidad máxima de máquina y 200°C

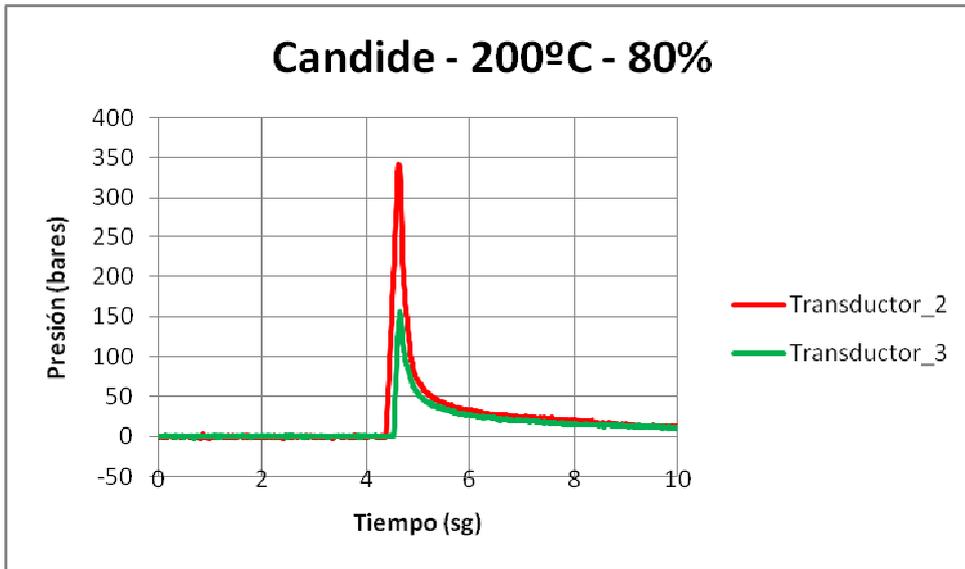


Gráfica Captada por transductores 60% - 200°C

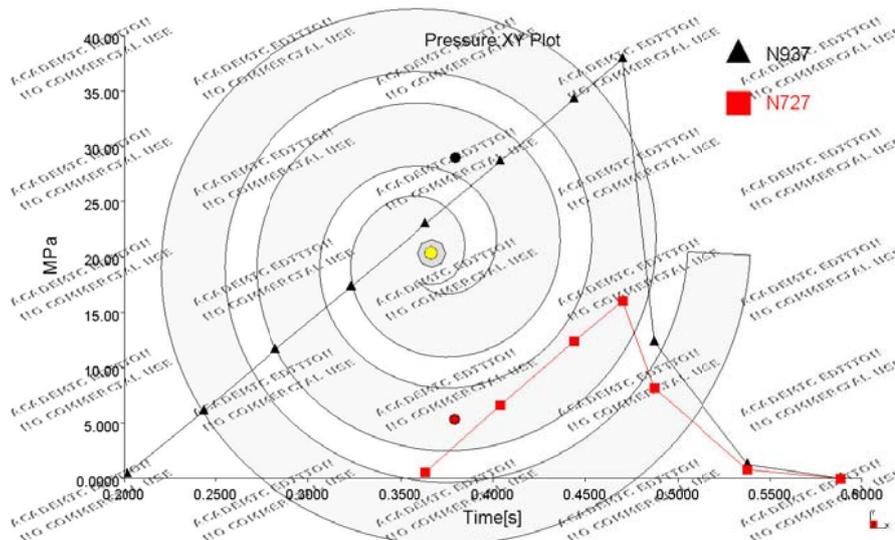


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 60% - 200°C

Presión máxima en T2 y T3 → 80% de velocidad máxima de máquina y 200°C

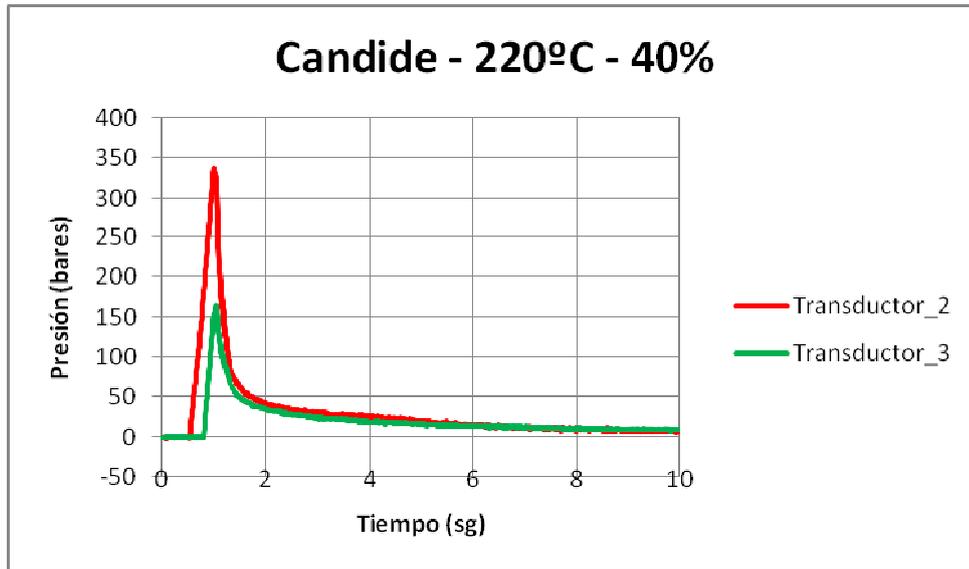


Gráfica Captada por transductores 80% - 200°C

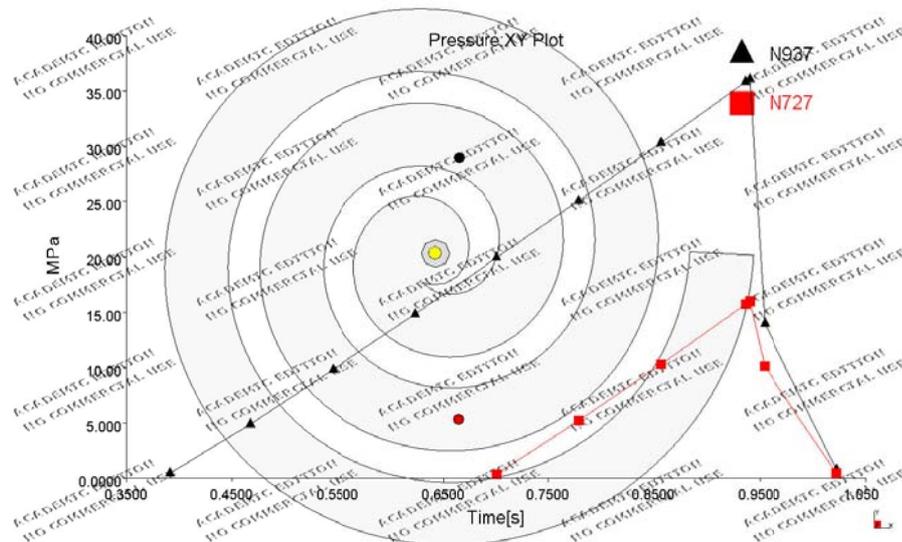


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 80% - 200°C

Presión máxima en T2 y T3 → 40% de velocidad máxima de máquina y 220°C

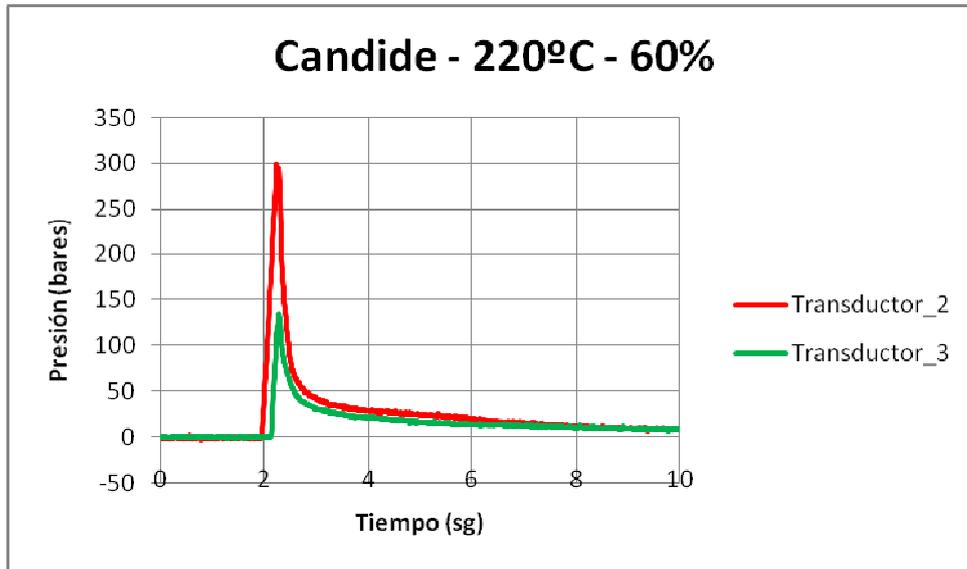


Gráfica Captada por transductores 40% - 220°C

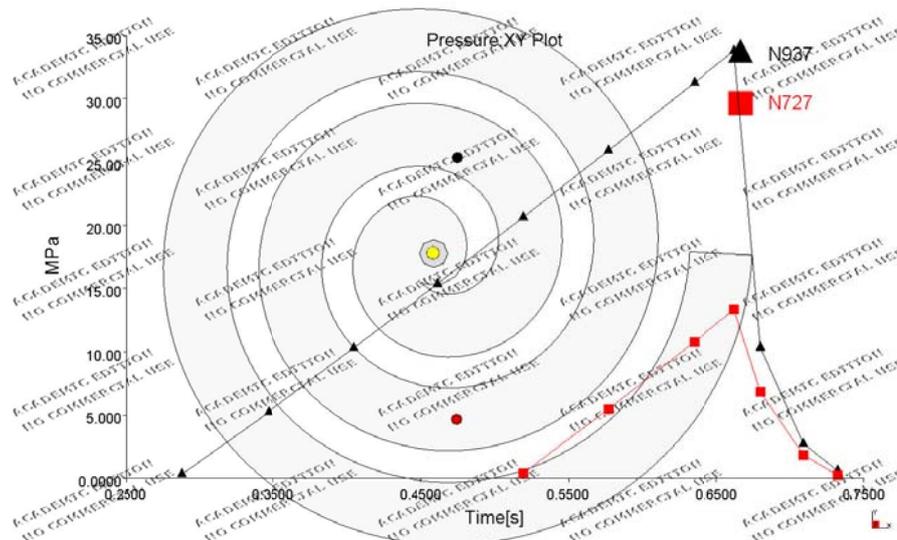


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 40% - 220°C

Presión máxima en T2 y T3 → 60% de velocidad máxima de máquina y 220°C

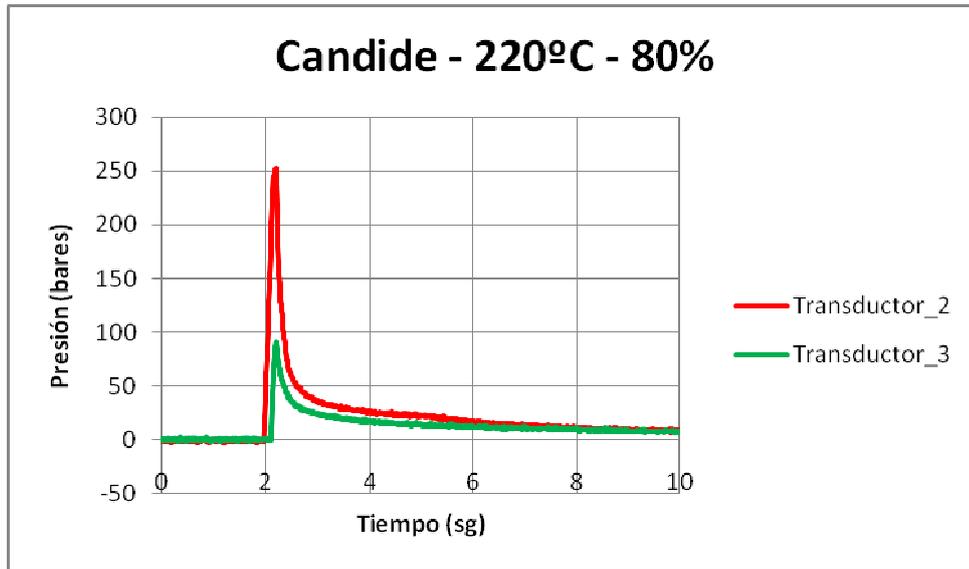


Gráfica Captada por transductores 60% - 220°C

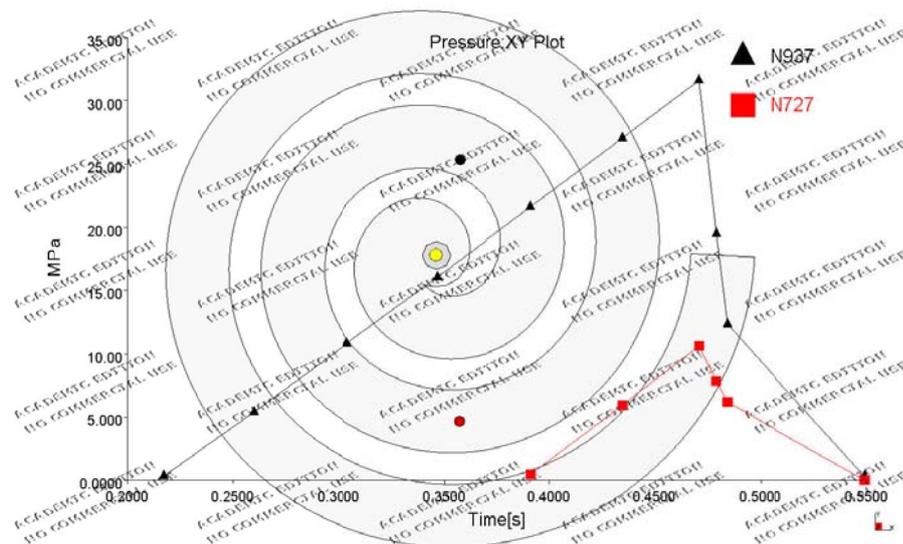


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 60% - 220°C

Presión máxima en T2 y T3 → 80% de velocidad máxima de máquina y 220°C

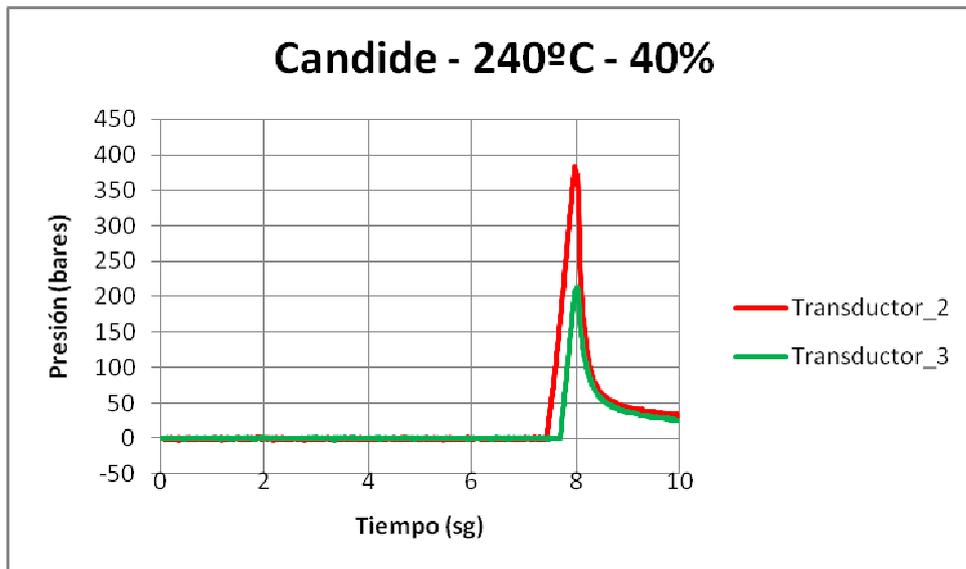


Gráfica Captada por transductores 80% - 220°C

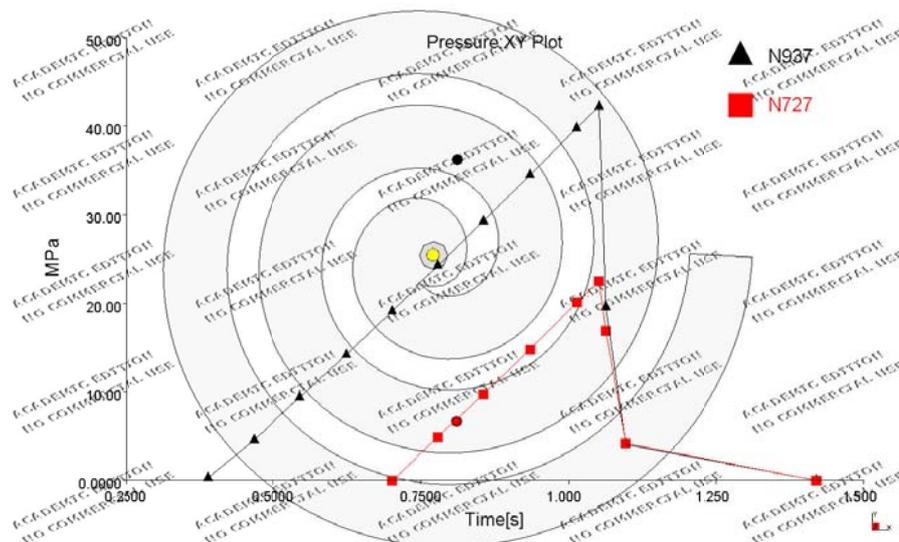


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 80% - 220°C

Presión máxima en T2 y T3 → 40% de velocidad máxima de máquina y 240°C

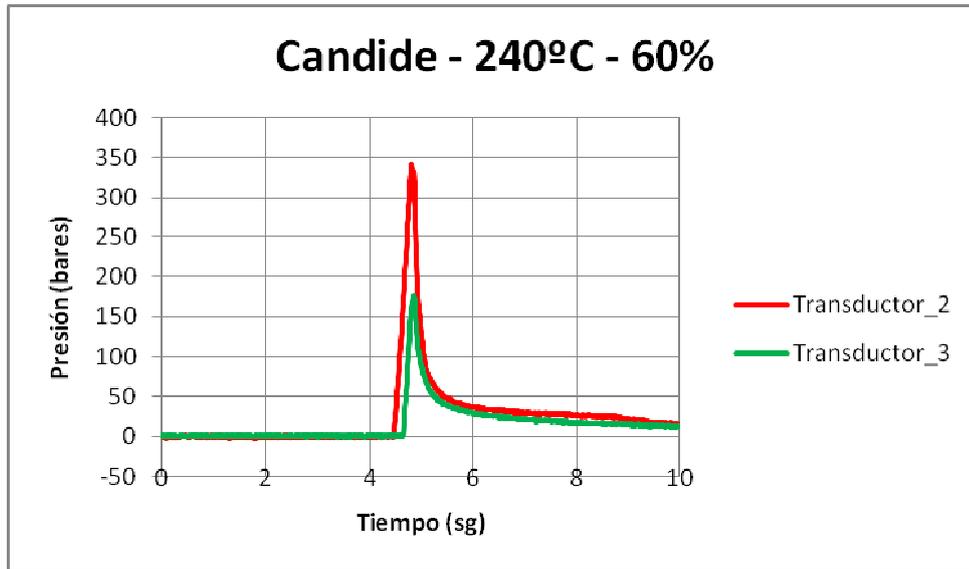


Gráfica Captada por transductores 40% - 240°C

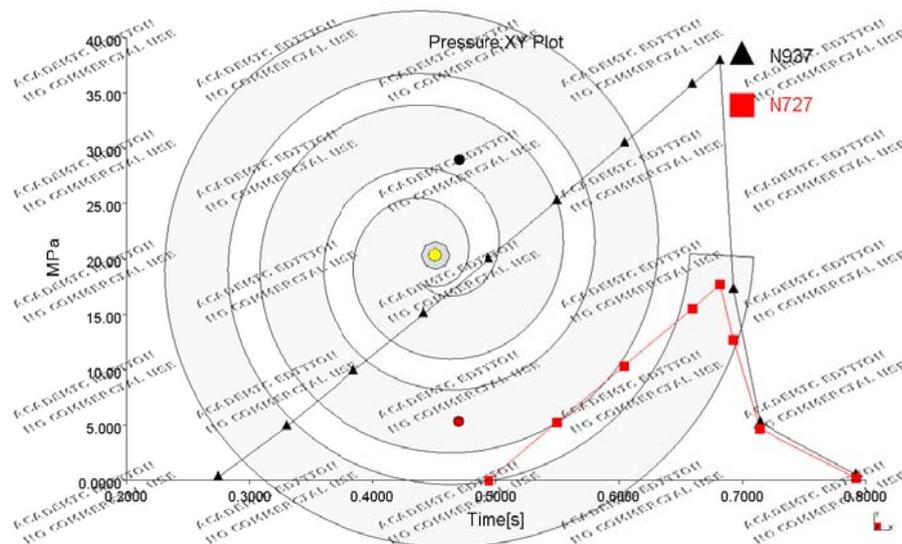


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 40% - 240°C

Presión máxima en T2 y T3 → 60% de velocidad máxima de máquina y 240°C

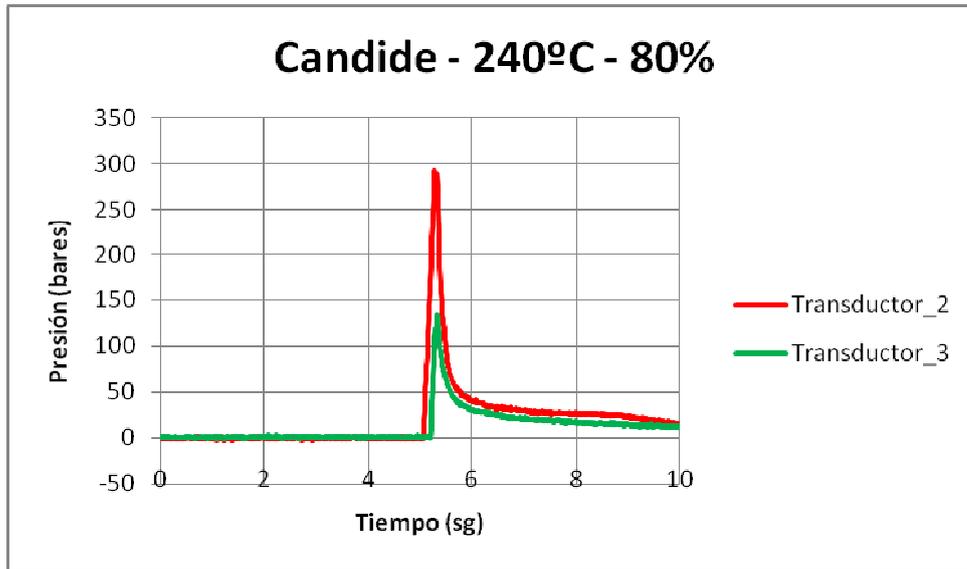


Gráfica Captada por transductores 60% - 240°C

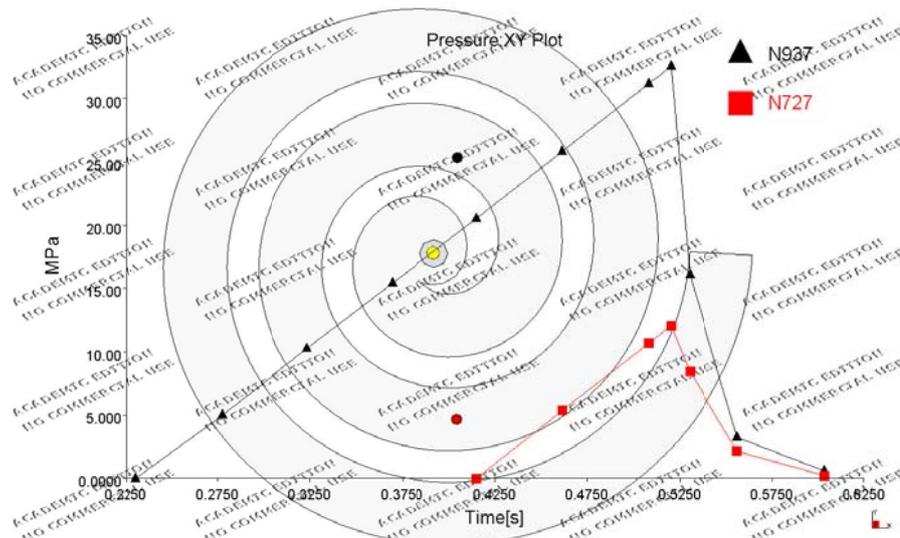


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 60% - 240°C

Presión máxima en T2 y T3 → 80% de velocidad máxima de máquina y 240°C



Gráfica Captada por transductores 80% - 240°C

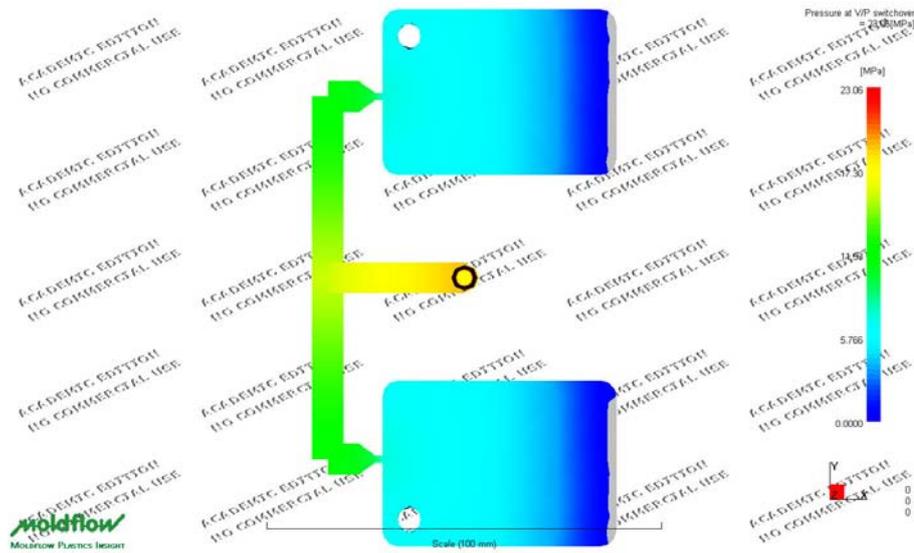


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 80% - 240°C

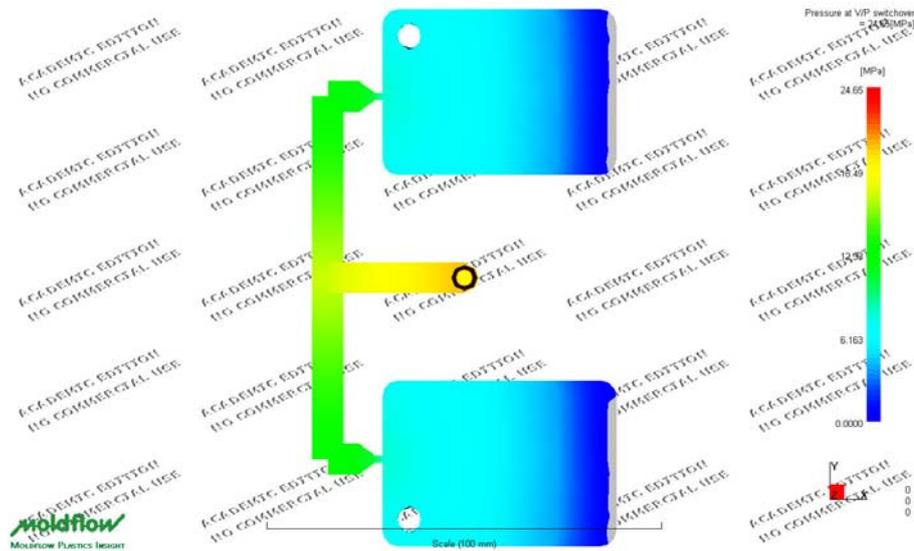
**DISTRIBUCION DE PRESIONES OBTENIDA POR SIMULACION CON MOLDFLOW CON MODELO DE PP
PHC31 SOBRE CANDIDE CORREGIDO**

**→ COMPARACION DE LAS PRESIONES MAXIMAS MEDIDAS EN MAQUINA Y OBTENIDAS CON
LA SIMULACION DE LLAVEROS SOBRE CANDIDE**

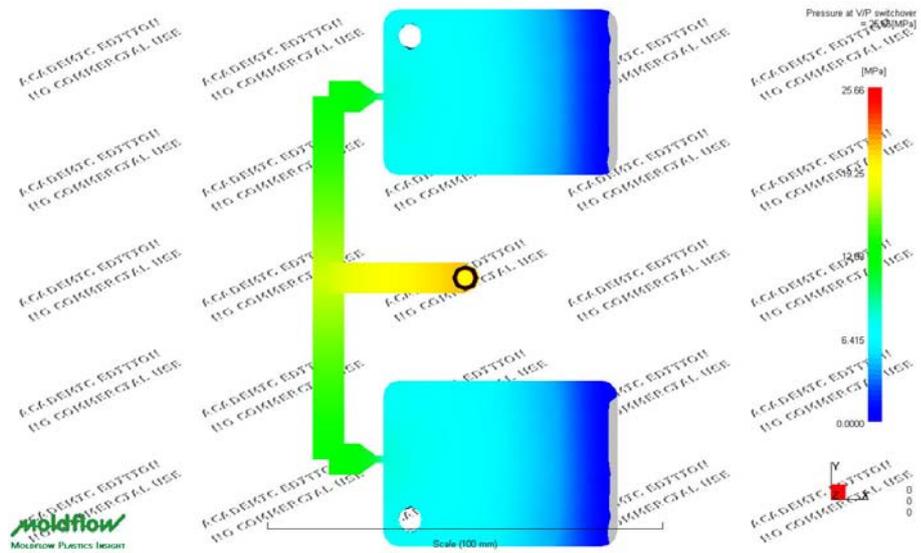
Presión máxima en de llenado en llaveros sobre Candide



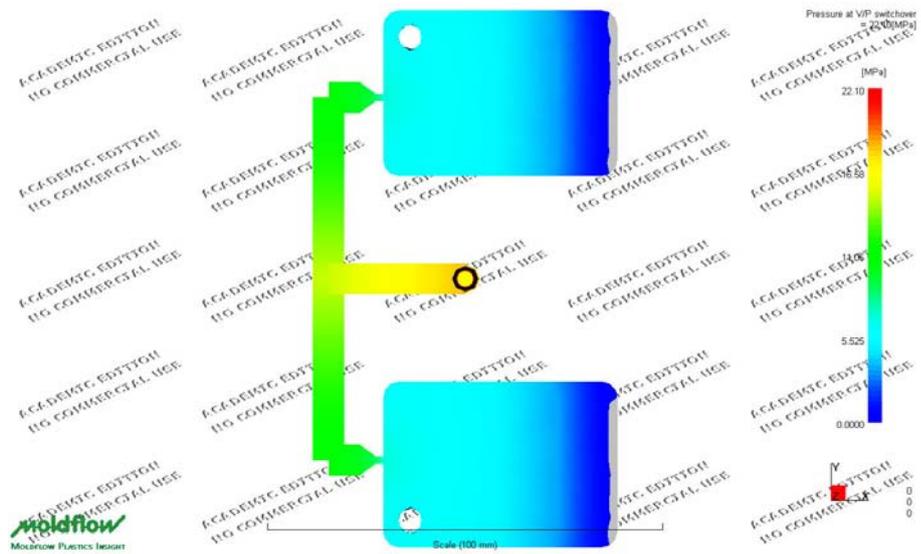
40% de velocidad máxima de máquina y 220°C



70% de velocidad máxima de máquina y 220°C

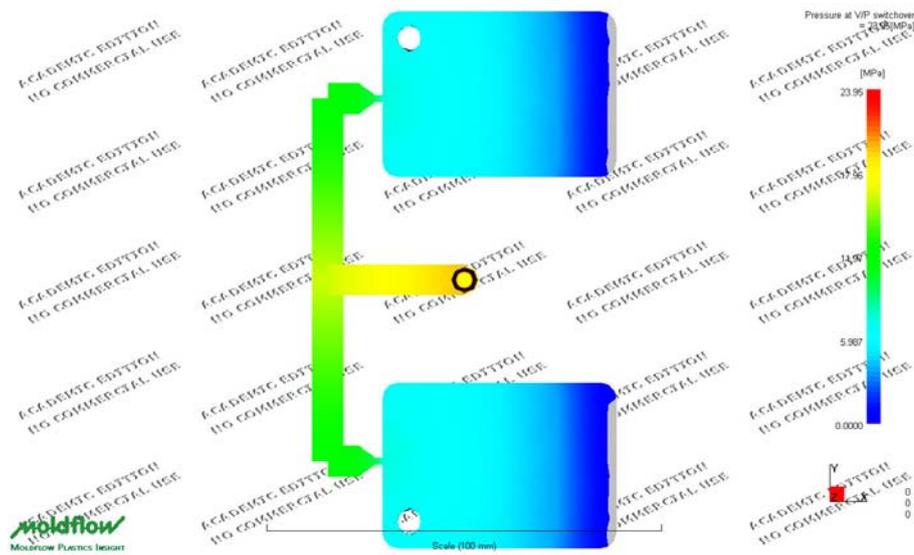


100% de velocidad máxima de máquina y 220°C

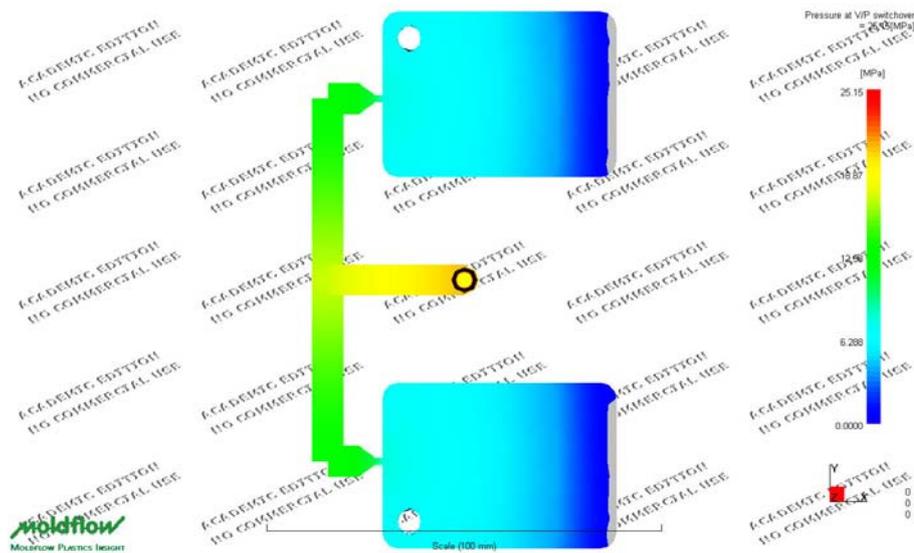


40% de velocidad máxima de máquina y 240°C

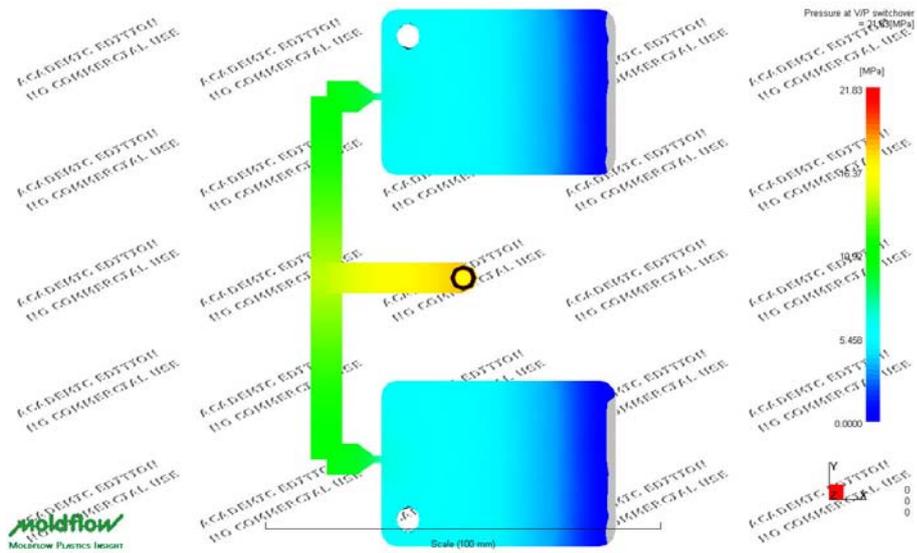
Anexo 2 (Capítulo 6) – Datos experimentales y teóricos inyección de polipropileno sobre CANDIDE



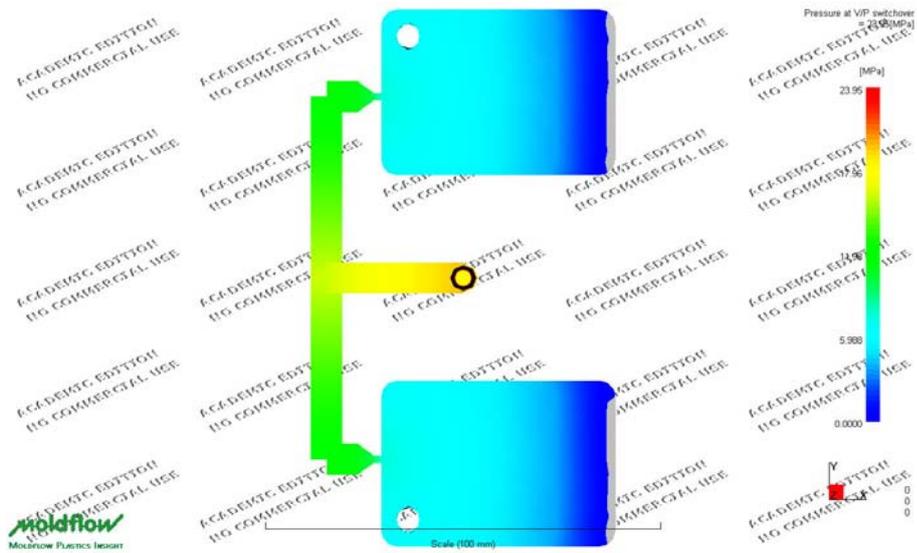
70% de velocidad máxima de máquina y 240°C



100% de velocidad máxima de máquina y 240°C

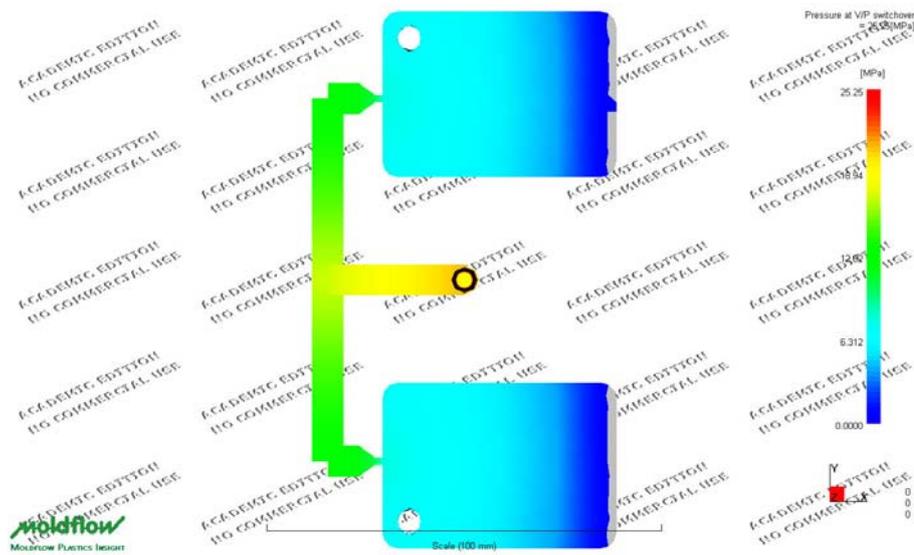


40% de velocidad máxima de máquina y 260°C



70% de velocidad máxima de máquina y 260°C

Anexo 2 (Capítulo 6) – Datos experimentales y teóricos inyección de polipropileno sobre CANDIDE



100% de velocidad máxima de máquina y 260°C

ANEXO 3 (Capítulo 6)

**DATOS EXPERIMENTALES Y TEORICOS DE INYECCION DE POLIPROPILENO SOBRE
MOSSA**

ARCHIVO .STR OBTENIDO CON VISDAT →

**OBTENCION CONSTATES DE MODELO VISCOSO DE PP PHC31 SOBRE MOSSA SIN NINGUNA
CORRECCION.**

THIS PROGRAM IS COPYRIGHT "COLIN AUSTIN R & D PTY LTD"
(C)1979 (C)1985 (C)1988 (C)1990 (C)1992
AND OPERATED UNDER LICENCE BY "MOLDFLOW PTY LTD"

VISDAT ... APPROXIMATION OF VISCOSITY EXPERIMENTAL DATA

VERSION 1.5.0

LAST REVISED 11 - MAR - 92

This is a revised viscosity graph fitting program -
modifications have been made to suit the new database
format and the editing program MADRAS.

The 1st order model is now fitted from a grid of points
generated by the 2nd order model - this is to reduce bias.

The program outputs the standard points that need to be
entered into the new database by program matdb and also
the old viscosity constants are given for users still
using the old database.

EXECUTED 01-JAN-94 3 :05

STORE FILE: MOSSIN.STR

modelo mossa sin ninguna corrección

No. temp. shear rate viscosity

Number of points 18

* 1-ST ORDER GRAPH FIT BASED ON ORIGINAL DATA

* Viscosity factor 1.756317E+05

* Shear factor -9.196996E-01

* Temp. factor -4.644984E-03

* Standard 1-st order data points

200.0 100.0 1004.03

220.0 10000.0 13.24

240.0 1000.0 100.31

No.	temperature	shear rate	meas V	calc V	% error
1	190.00	403.00	306.40	291.89	-4.971
2	190.00	775.00	158.30	159.97	1.042
3	190.00	1680.00	77.70	78.52	1.049
4	190.00	2400.00	55.80	56.56	1.350
5	190.00	3360.00	40.60	41.51	2.190
6	190.00	3600.00	39.00	38.96	-0.110
7	210.00	390.00	276.30	274.14	-0.788
8	210.00	826.00	136.90	137.48	0.419
9	210.00	1575.00	75.70	75.93	0.308
10	210.00	2520.00	49.00	49.28	0.576
11	210.00	2800.00	44.70	44.73	0.072
12	210.00	3360.00	38.60	37.83	-2.044
13	230.00	420.00	230.00	233.36	1.439
14	230.00	812.00	124.20	127.26	2.408
15	230.00	1737.00	62.10	63.24	1.801
16	230.00	2652.00	42.60	42.85	0.587
17	230.00	2964.00	39.60	38.68	-2.366

18	230.00	4200.00	29.00	28.08	-3.294
----	--------	---------	-------	-------	--------

* Standard deviation 4.6263E-03

* 2-ND ORDER GRAPH FIT

* Standard 2-nd order data points

200.0	1000.0	119.89
220.0	100.0	1015.54
220.0	1000.0	108.21
220.0	10000.0	14.70
240.0	100.0	865.98
240.0	1000.0	96.53

A(1)= 14.097

A(2)= -1.4515

A(3)=-5.70149E-03

A(4)= 2.29192E-02

A(5)= 9.78441E-04

A(6)=-1.47170E-05

No.	temperature	shear rate	meas V	calc V	% error
1	190.00	403.00	306.40	303.32	-1.014
2	190.00	775.00	158.30	160.26	1.222
3	190.00	1680.00	77.70	77.27	-0.563
4	190.00	2400.00	55.80	55.71	-0.162
5	190.00	3360.00	40.60	41.14	1.309
6	190.00	3600.00	39.00	38.68	-0.818
7	210.00	390.00	276.30	279.30	1.075
8	210.00	826.00	136.90	136.36	-0.393
9	210.00	1575.00	75.70	75.14	-0.746
10	210.00	2520.00	49.00	49.27	0.553
11	210.00	2800.00	44.70	44.89	0.418
12	210.00	3360.00	38.60	38.25	-0.922
13	230.00	420.00	230.00	229.29	-0.308
14	230.00	812.00	124.20	123.83	-0.297
15	230.00	1737.00	62.10	62.37	0.430
16	230.00	2652.00	42.60	43.07	1.095
17	230.00	2964.00	39.60	39.13	-1.198
18	230.00	4200.00	29.00	29.08	0.264

* Standard deviation 1.9418E-03

***** The 2-nd order fit is unsatisfactory

- the 2-nd differential with respect to shear rate is positive
- the curve on a log viscosity versus log shear rate plot displays a minimum (and a maximum is required).

Either revise the experimental data or use the original 1-st order fit

* MATERIAL COEFFICIENTS SUMMARY

175632. , -0.919700 , -4.644984E-03,

ARCHIVO .STR OBTENIDO CON VISDAT →

**OBTENCION CONSTATES DE MODELO VISCOSO DE PP PHC31 SOBRE MOSSA CON CRRECCION DE
CAPA FRIA Y DE DIAGONAL.**

THIS PROGRAM IS COPYRIGHT "COLIN AUSTIN R & D PTY LTD"
(C)1979 (C)1985 (C)1988 (C)1990 (C)1992
AND OPERATED UNDER LICENCE BY "MOLDFLOW PTY LTD"

VISDAT ... APPROXIMATION OF VISCOSITY EXPERIMENTAL DATA
VERSION 1.5.0

LAST REVISED 11 - MAR - 92

This is a revised viscosity graph fitting program -
modifications have been made to suit the new database
format and the editing program MADRAS.

The 1st order model is now fitted from a grid of points
generated by the 2nd order model - this is to reduce bias.

The program outputs the standard points that need to be
entered into the new database by program matdb and also
the old viscosity constants are given for users still
using the old database.

EXECUTED 01-JAN-94 3 :09

STORE FILE: MOSDIAG.STR

modelo mossa con correccion de capa fria y diagonal

No. temp. shear rate viscosity

Number of points 18

* 1-ST ORDER GRAPH FIT BASED ON ORIGINAL DATA

* Viscosity factor 1.343724E+05

* Shear factor -8.981203E-01

* Temp. factor -4.280029E-03

* Standard 1-st order data points

200.0 100.0 912.66

220.0 10000.0 13.39

240.0 1000.0 97.24

No.	temperature	shear rate	meas V	calc V	% error
1	190.00	392.00	294.70	279.29	-5.517
2	190.00	748.00	154.50	156.33	1.168
3	190.00	1595.00	78.40	79.19	0.999
4	190.00	2265.00	56.90	57.79	1.547
5	190.00	3158.00	41.80	42.88	2.517
6	190.00	3372.00	40.40	40.43	0.067
7	210.00	377.00	268.50	265.52	-1.122
8	210.00	793.00	134.80	136.17	1.003
9	210.00	1490.00	76.85	77.28	0.555
10	210.00	2361.00	50.77	51.11	0.668
11	210.00	2601.00	47.15	46.86	-0.629
12	210.00	3110.00	40.90	39.91	-2.489
13	230.00	404.00	226.00	229.06	1.335
14	230.00	776.00	123.70	127.45	2.943
15	230.00	1632.00	64.00	65.37	2.096
16	230.00	2470.00	44.70	45.05	0.787
17	230.00	2734.00	42.30	41.13	-2.852
18	230.00	3864.00	31.20	30.14	-3.504

* Standard deviation 5.2776E-03

* 2-ND ORDER GRAPH FIT

* Standard 2-nd order data points

200.0	1000.0	114.25
220.0	100.0	948.73
220.0	1000.0	103.88
220.0	10000.0	15.33
240.0	100.0	807.03
240.0	1000.0	93.04

A(1)= 14.089

A(2)= -1.5309

A(3)=-4.54107E-03

A(4)= 2.81632E-02

A(5)= 1.11827E-03

A(6)=-1.89061E-05

No.	temperature	shear rate	meas V	calc V	% error
1	190.00	392.00	294.70	291.57	-1.073
2	190.00	748.00	154.50	156.41	1.223
3	190.00	1595.00	78.40	77.68	-0.929
4	190.00	2265.00	56.90	56.79	-0.194
5	190.00	3158.00	41.80	42.47	1.589
6	190.00	3372.00	40.40	40.14	-0.650
7	210.00	377.00	268.50	271.58	1.134
8	210.00	793.00	134.80	134.91	0.080
9	210.00	1490.00	76.85	76.37	-0.633
10	210.00	2361.00	50.77	51.13	0.705
11	210.00	2601.00	47.15	47.07	-0.180
12	210.00	3110.00	40.90	40.45	-1.123
13	230.00	404.00	226.00	224.73	-0.567
14	230.00	776.00	123.70	123.49	-0.169
15	230.00	1632.00	64.00	64.30	0.463
16	230.00	2470.00	44.70	45.30	1.315
17	230.00	2734.00	42.30	41.63	-1.606
18	230.00	3864.00	31.20	31.37	0.538

* Standard deviation 2.2261E-03

***** The 2-nd order fit is unsatisfactory

- the 2-nd differential with respect to shear rate is positive

- the curve on a log viscosity versus log shear rate plot displays a minimum (and a maximum is required).

Either revise the experimental data or use the original 1-st order fit

* MATERIAL COEFFICIENTS SUMMARY

134372. , -0.898120 , -4.280029E-03,

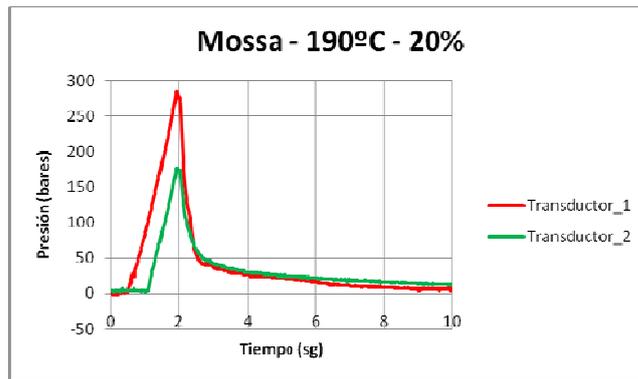
GRAFICAS OBTENIDAS CON MOLDE ESPIRAL MONITORIZADO

**GRAFICAS OBTENIDAS POR SIMULACION CON MOLDFLOW PARA LOS DISTINTOS MODELOS DE PP
PHC31 SOBRE MOSSA**

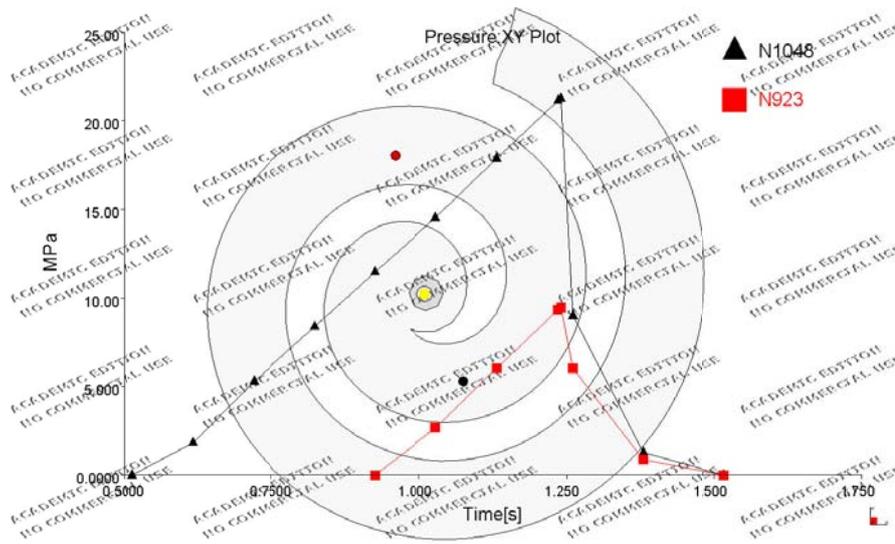
**→ COMPARACION DE LAS CAIDAS DE PRESION ENTRE TRASNDUCTORES 1 Y 2 EN LA
INYECCION DE ESPIRALES SOBRE MOSSA**

Anexo 3 (Capítulo 6) – Datos experimentales y teóricos inyección de polipropileno sobre MOSSA

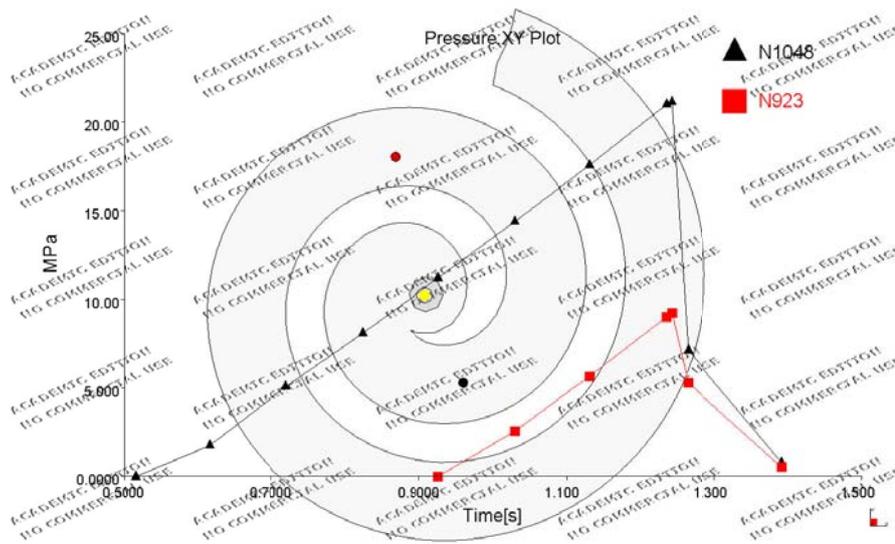
$\Delta P \rightarrow$ Ensayo a 20% de velocidad máxima de la máquina y 190°C de temperatura de inyección



Gráfica Captada por transductores 20% - 190°C

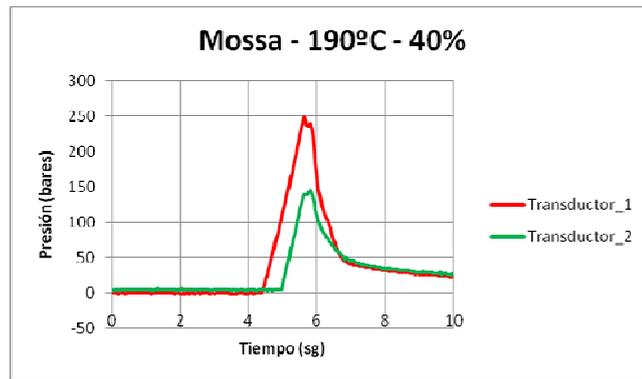


Gráfica Moldflow aplicando modelo sin correcciones 20% - 190°C

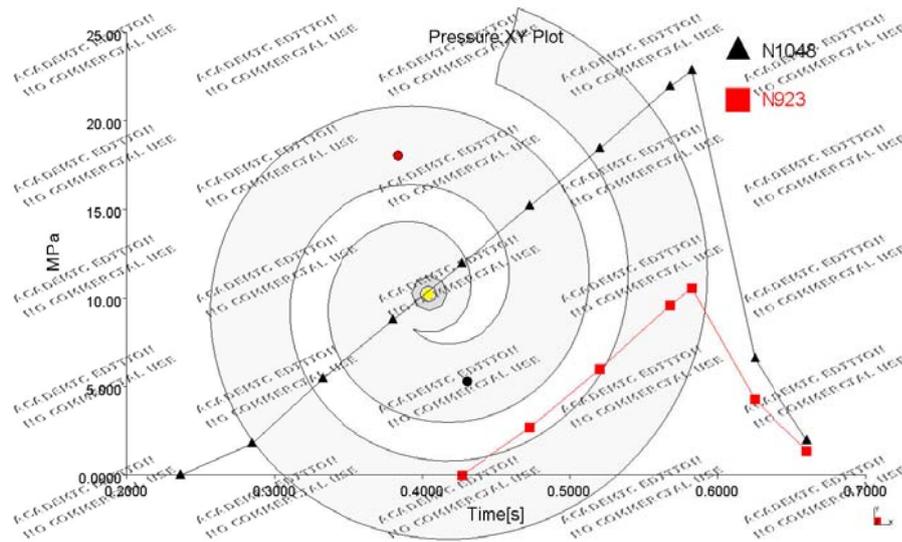


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 20% - 190°C

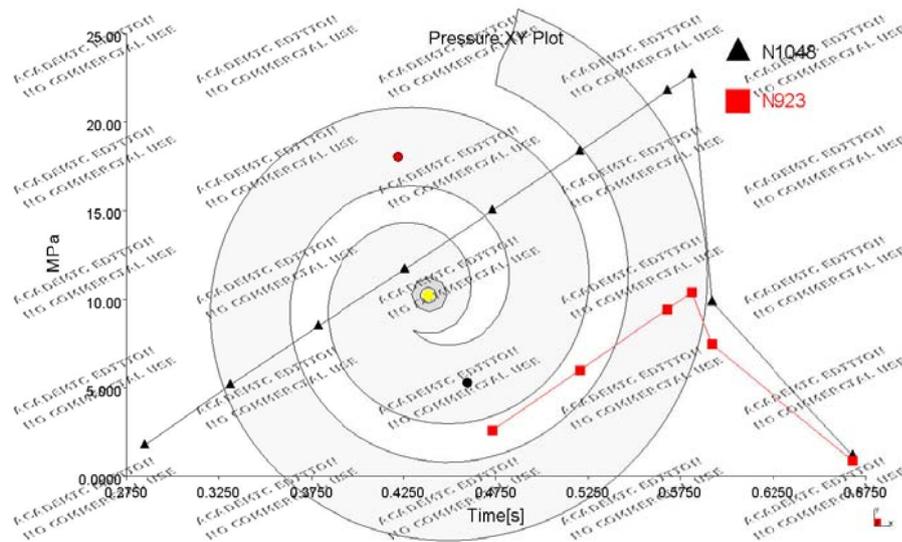
$\Delta P \rightarrow$ Ensayo a 40% de velocidad máxima de la máquina y 190°C de temperatura de inyección



Gráfica Captada por transductores 40% - 190°C



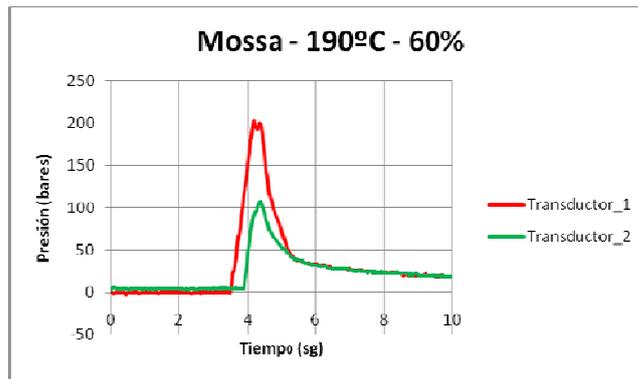
Gráfica Moldflow aplicando modelo sin correcciones 40% - 190°C



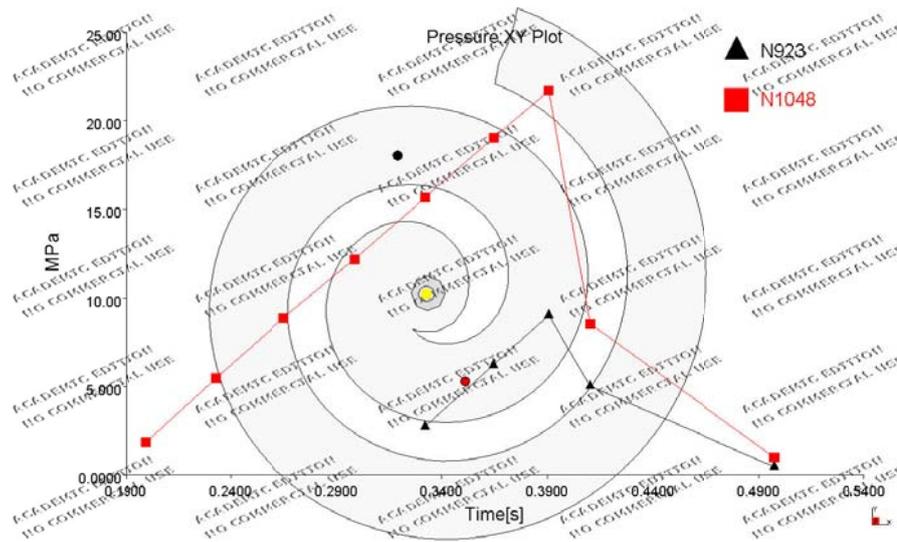
Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 40% - 190°C

Anexo 3 (Capítulo 6) – Datos experimentales y teóricos inyección de polipropileno sobre MOSSA

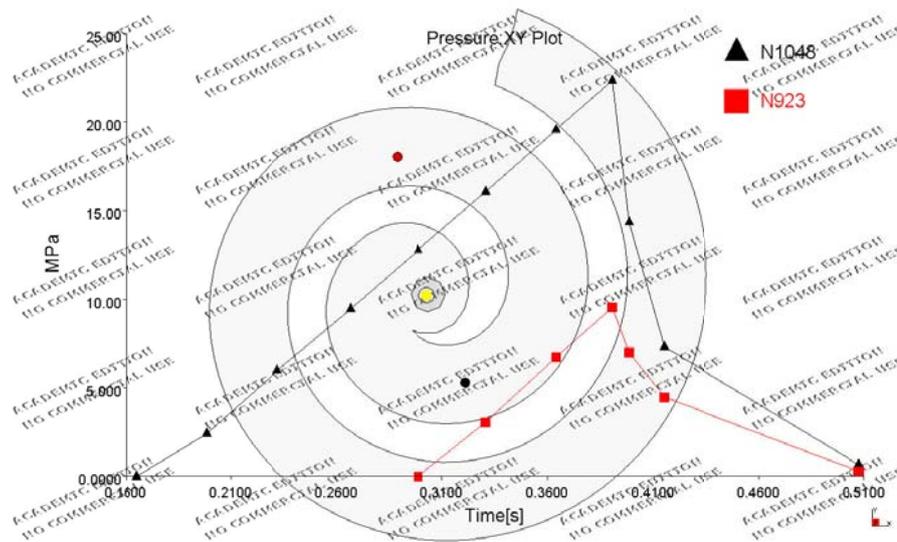
$\Delta P \rightarrow$ Ensayo a 60% de velocidad máxima de la máquina y 190°C de temperatura de inyección



Gráfica Captada por transductores 60% - 190°C

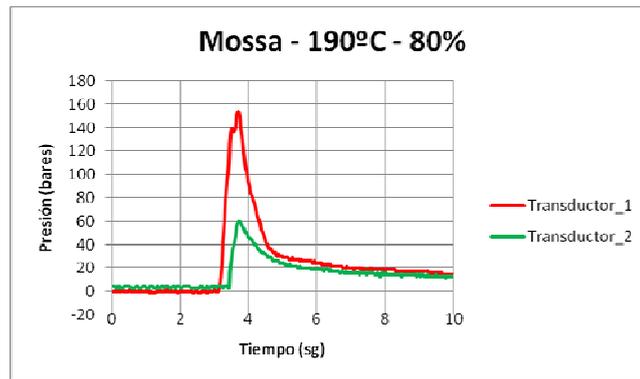


Gráfica Moldflow aplicando modelo sin correcciones 60% - 190°C

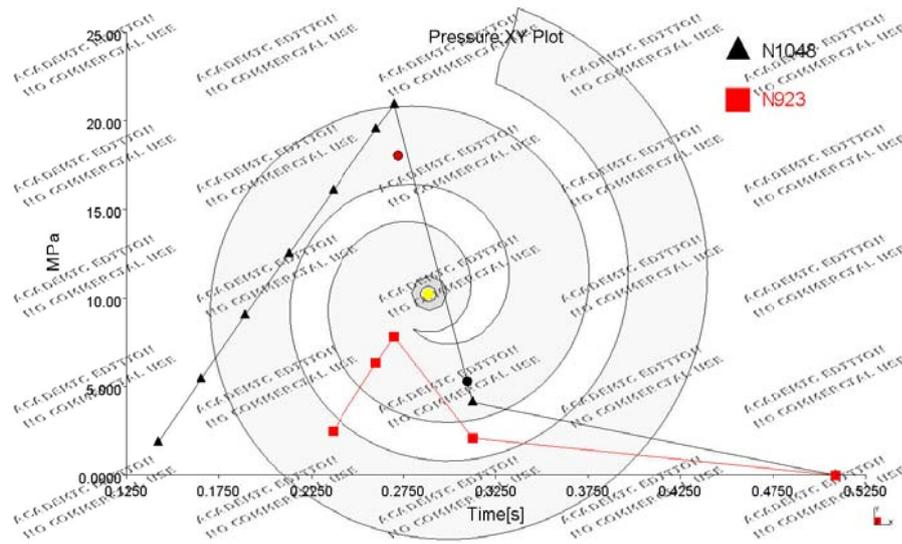


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 60% - 190°C

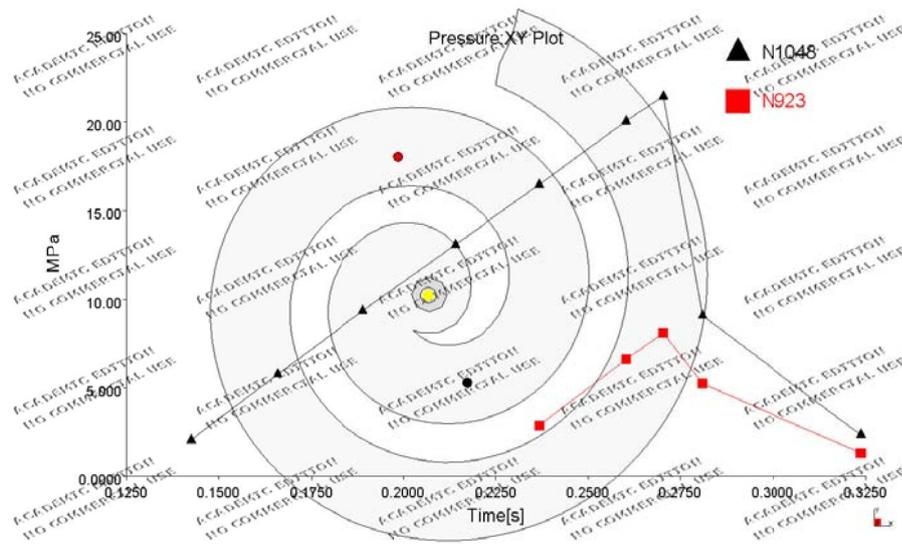
$\Delta P \rightarrow$ Ensayo a 80% de velocidad máxima de la máquina y 190°C de temperatura de inyección



Gráfica Captada por transductores 80% - 190°C



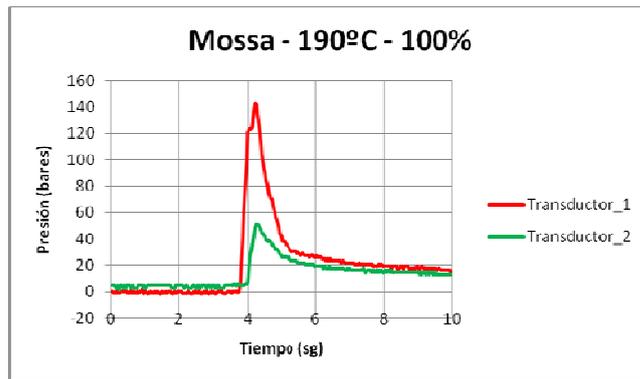
Gráfica Moldflow aplicando modelo sin correcciones 80% - 190°C



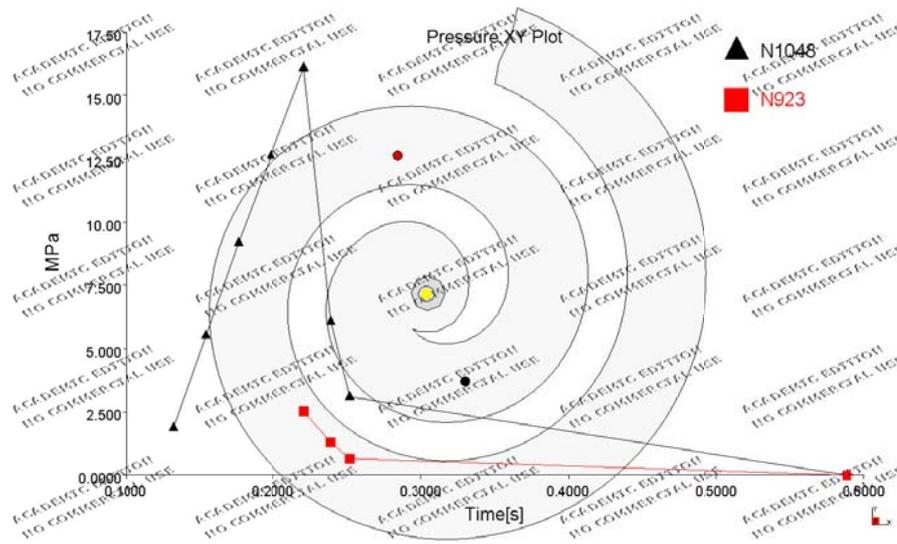
Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 80% - 190°C

Anexo 3 (Capítulo 6) – Datos experimentales y teóricos inyección de polipropileno sobre MOSSA

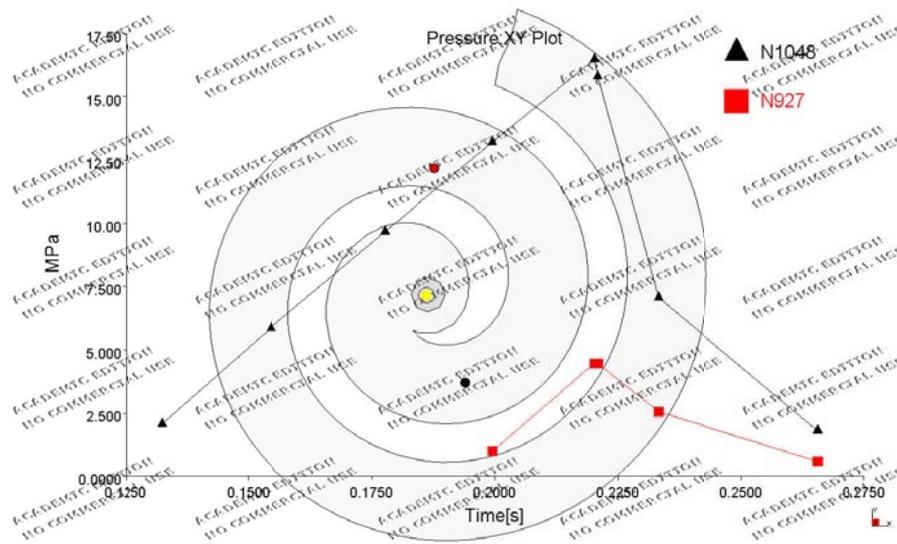
$\Delta P \rightarrow$ Ensayo a 100% de velocidad máxima de la máquina y 190°C de temperatura de inyección



Gráfica Captada por transductores 100% - 190°C

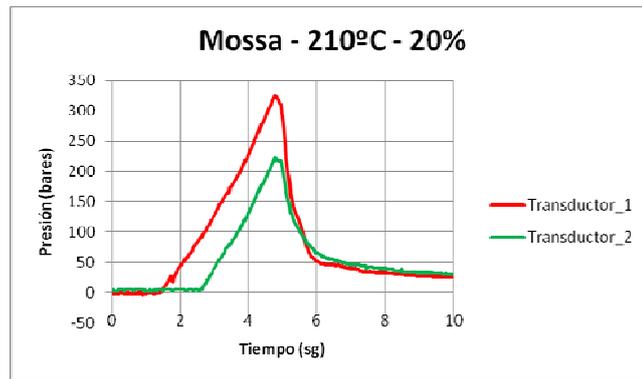


Gráfica Moldflow aplicando modelo sin correcciones 100% - 190°C

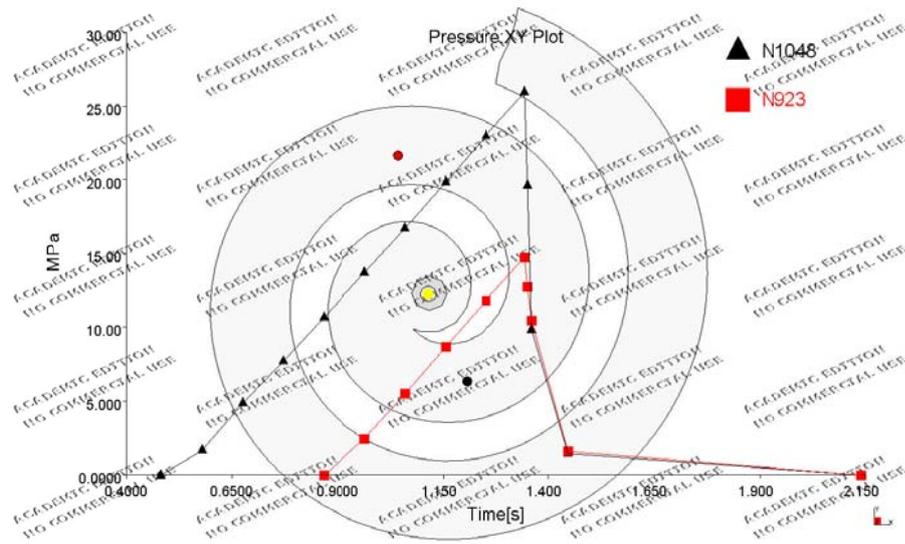


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 100% - 190°C

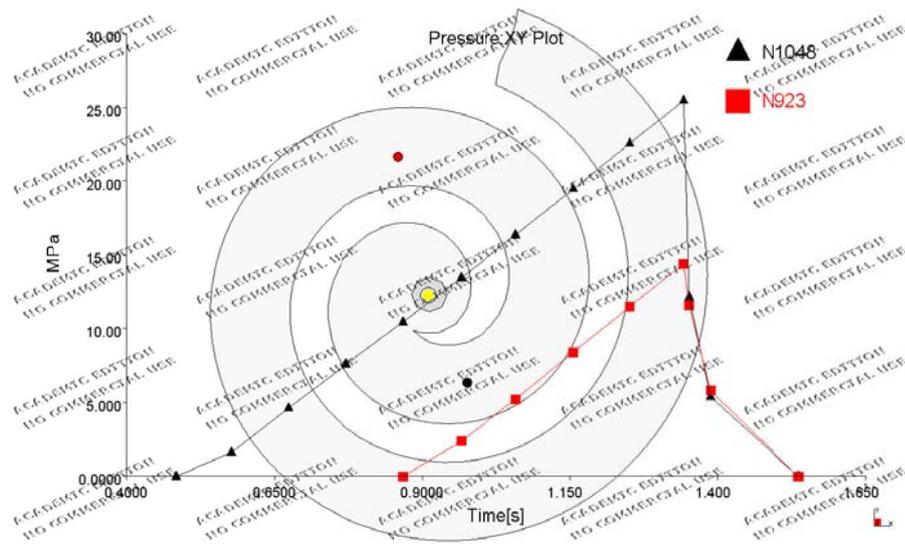
$\Delta P \rightarrow$ Ensayo a 20% de velocidad máxima de la máquina y 210°C de temperatura de inyección



Gráfica Captada por transductores 20% - 210°C



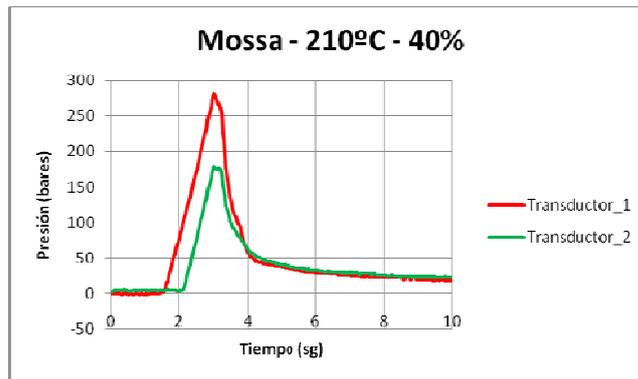
Gráfica Moldflow aplicando modelo sin correcciones 20% - 210°C



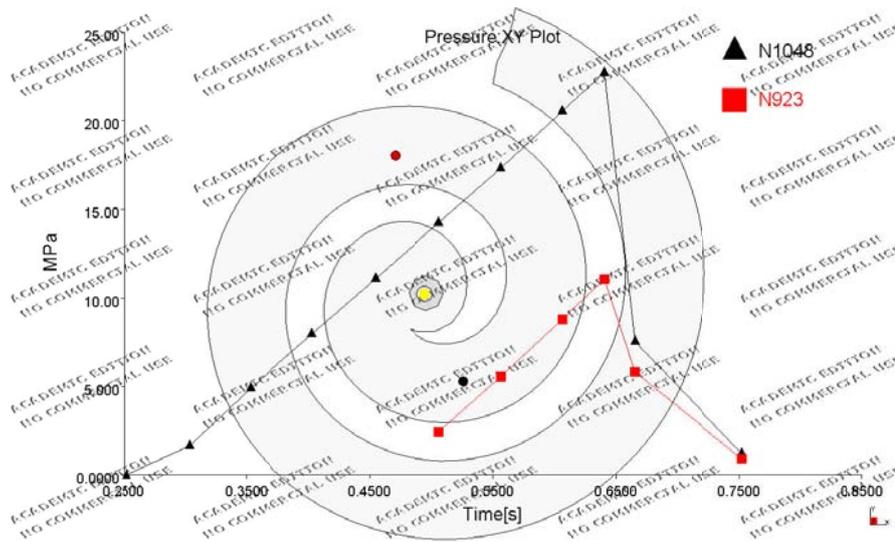
Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 20% - 210°C

Anexo 3 (Capítulo 6) – Datos experimentales y teóricos inyección de polipropileno sobre MOSSA

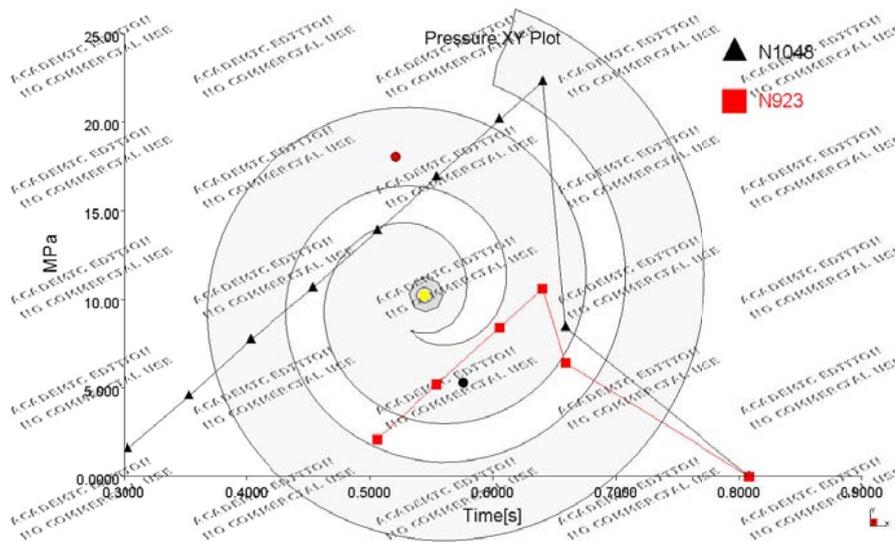
$\Delta P \rightarrow$ Ensayo a 40% de velocidad máxima de la máquina y 210°C de temperatura de inyección



Gráfica Captada por transductores 40% - 210°C

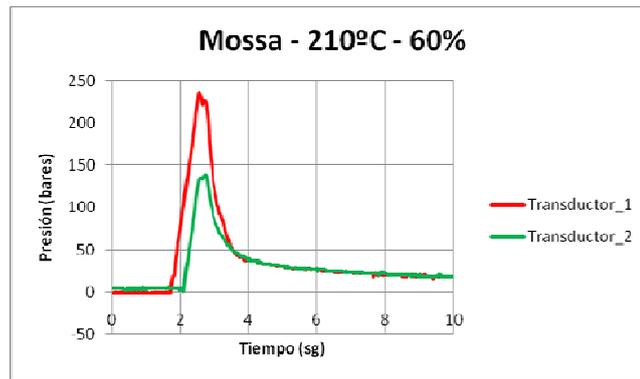


Gráfica Moldflow aplicando modelo sin correcciones 40% - 210°C

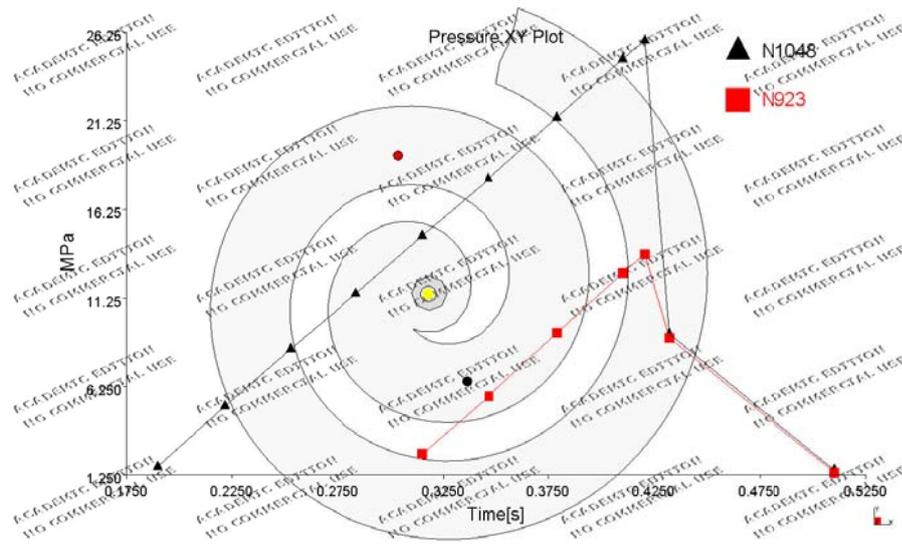


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 40% - 210°C

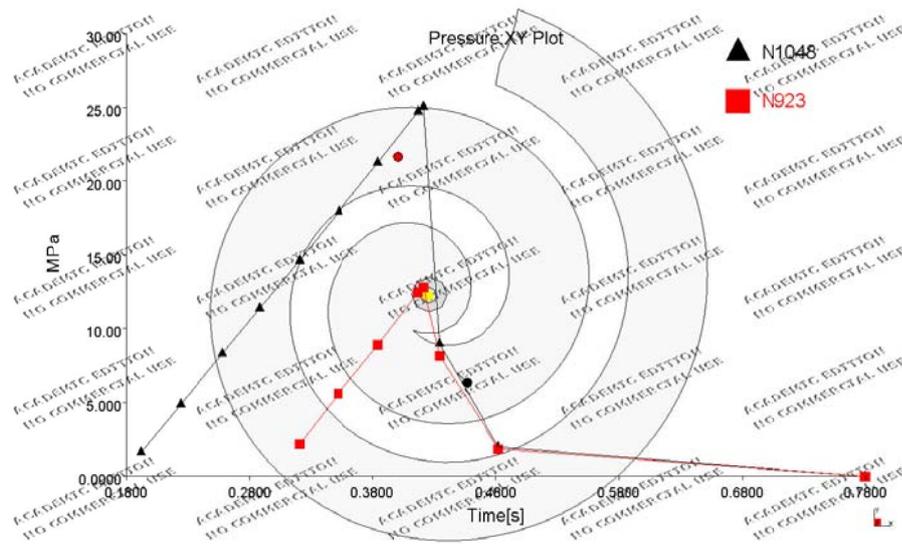
$\Delta P \rightarrow$ Ensayo a 60% de velocidad máxima de la máquina y 210°C de temperatura de inyección



Gráfica Captada por transductores 60% - 210°C



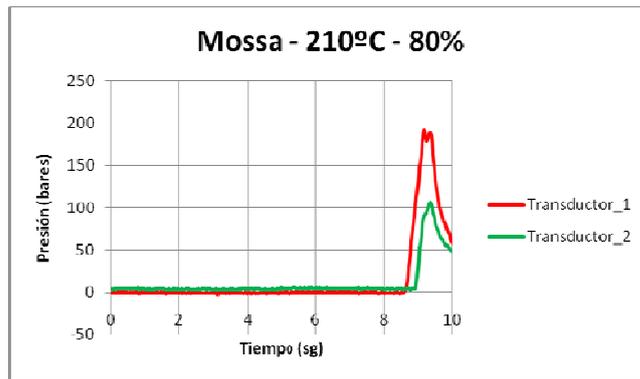
Gráfica Moldflow aplicando modelo sin correcciones 60% - 210°C



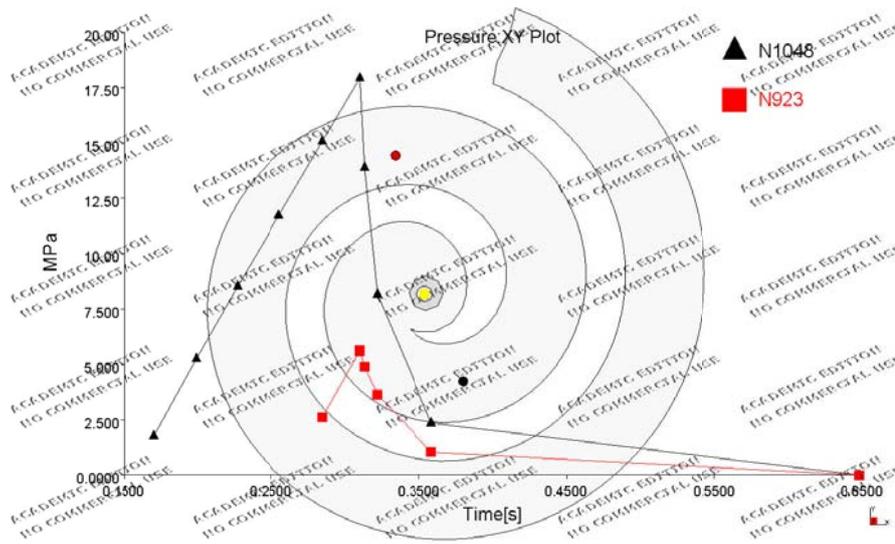
Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 60% - 210°C

Anexo 3 (Capítulo 6) – Datos experimentales y teóricos inyección de polipropileno sobre MOSSA

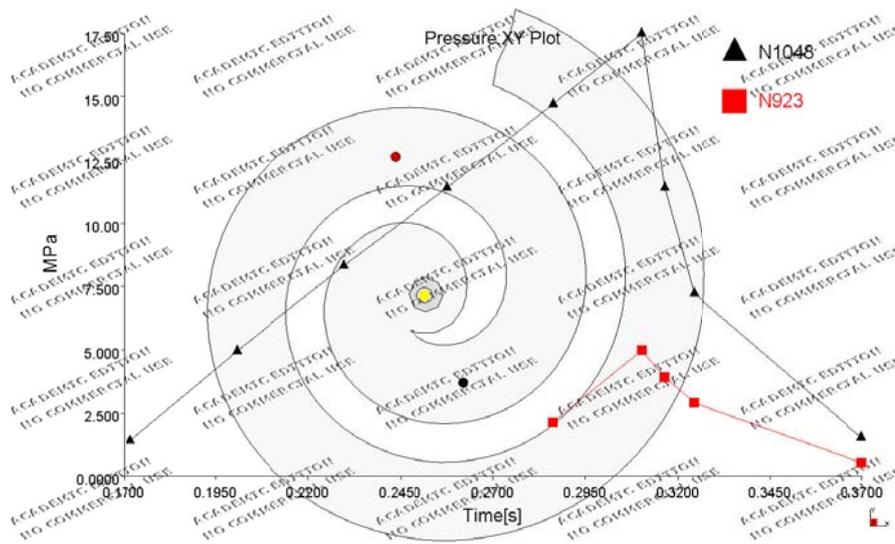
$\Delta P \rightarrow$ Ensayo a 80% de velocidad máxima de la máquina y 210°C de temperatura de inyección



Gráfica Captada por transductores 80% - 210°C

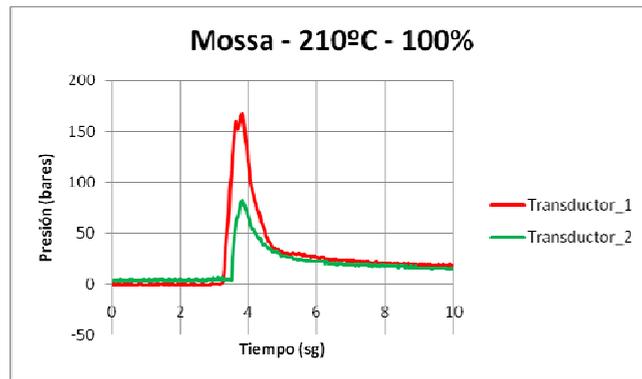


Gráfica Moldflow aplicando modelo sin correcciones 80% - 210°C

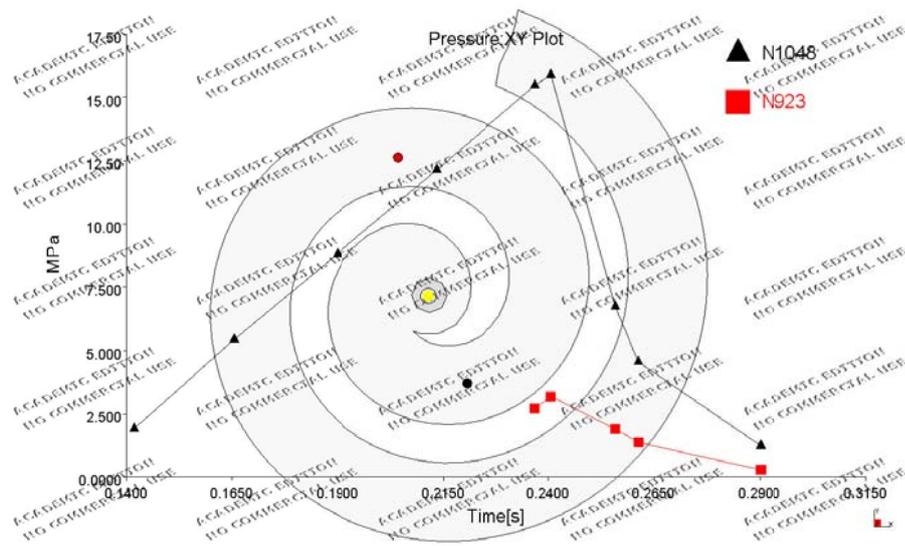


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 80% - 210°C

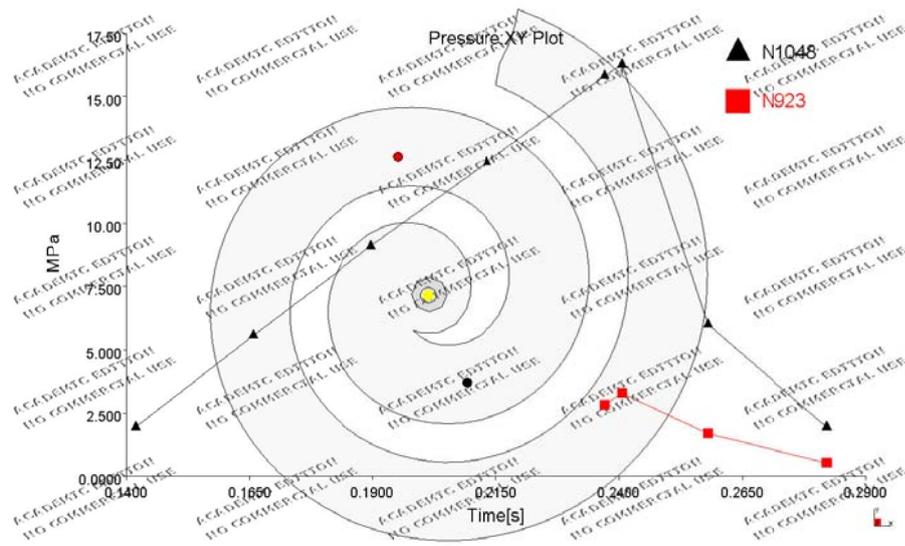
$\Delta P \rightarrow$ Ensayo a 100% de velocidad máxima de la máquina y 210°C de temperatura de inyección



Gráfica Captada por transductores 100% - 210°C



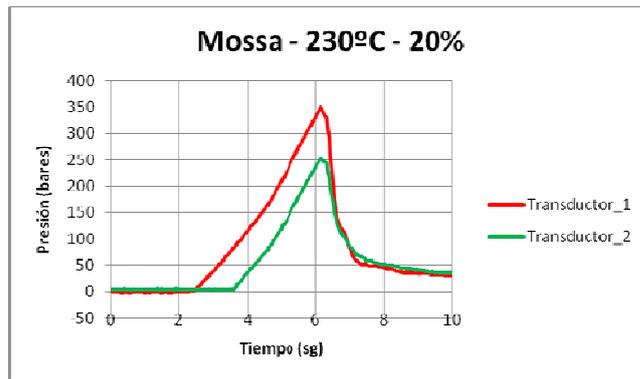
Gráfica Moldflow aplicando modelo sin correcciones 100% - 210°C



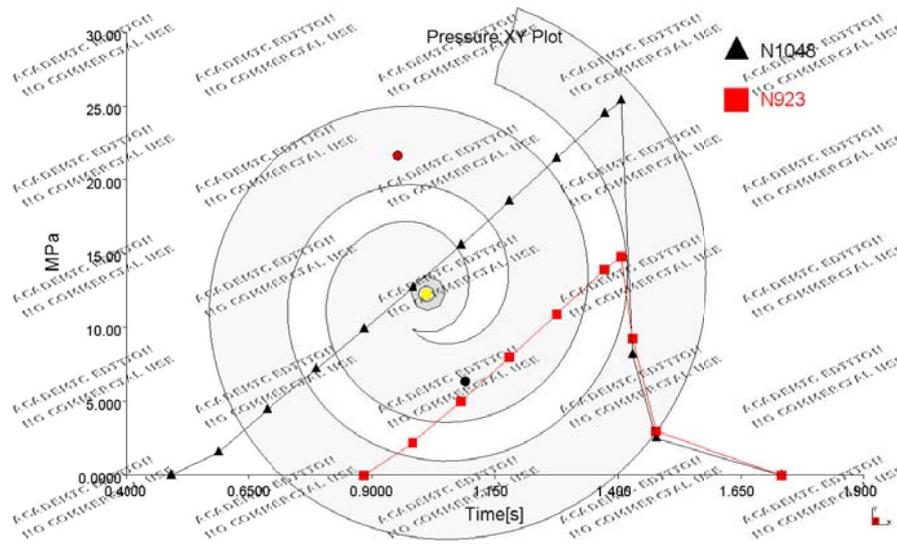
Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 100% - 210°C

Anexo 3 (Capítulo 6) – Datos experimentales y teóricos inyección de polipropileno sobre MOSSA

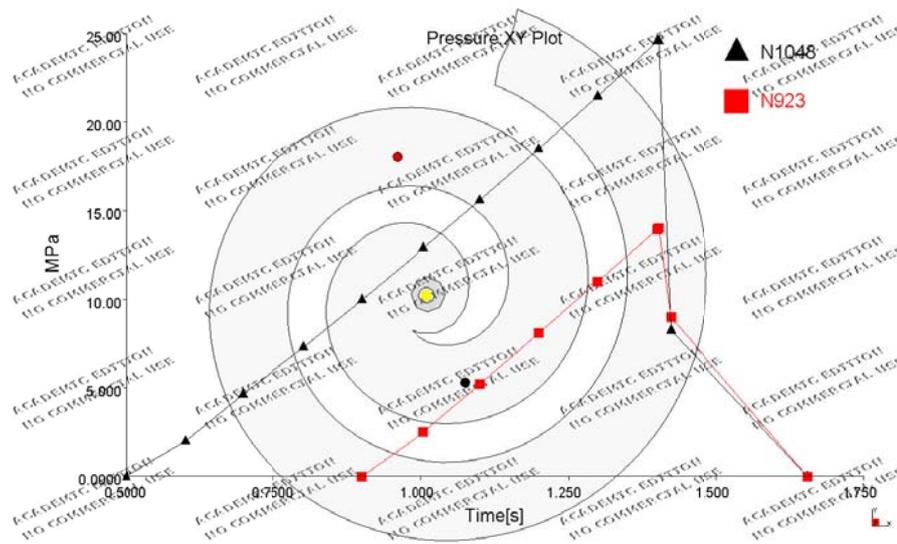
$\Delta P \rightarrow$ Ensayo a 20% de velocidad máxima de la máquina y 230°C de temperatura de inyección



Gráfica Captada por transductores 20% - 230°C

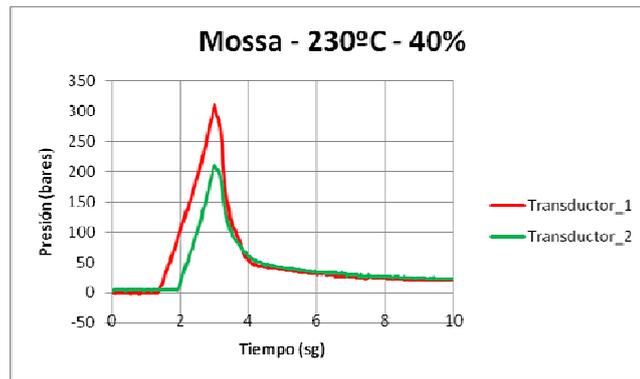


Gráfica Moldflow aplicando modelo sin correcciones 20% - 230°C

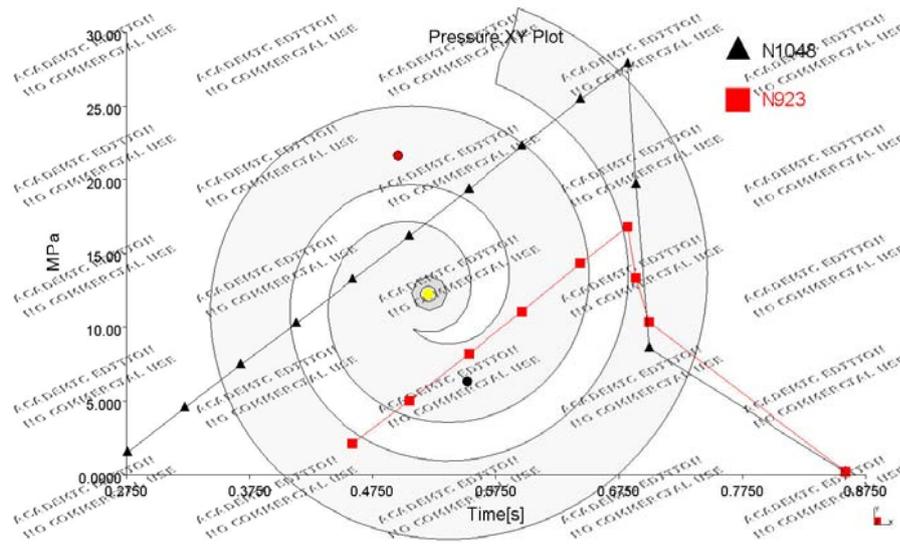


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 20% - 230°C

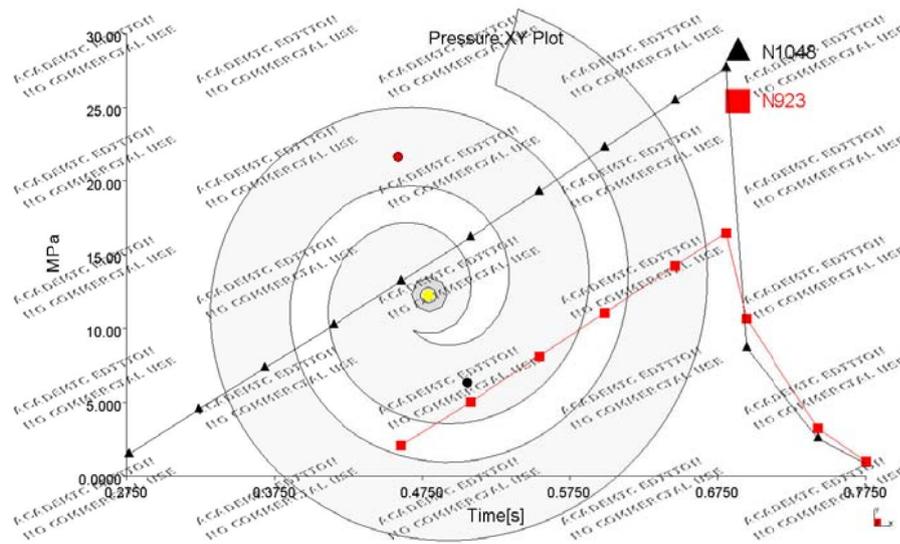
$\Delta P \rightarrow$ Ensayo a 40% de velocidad máxima de la máquina y 230°C de temperatura de inyección



Gráfica Captada por transductores 40% - 230°C



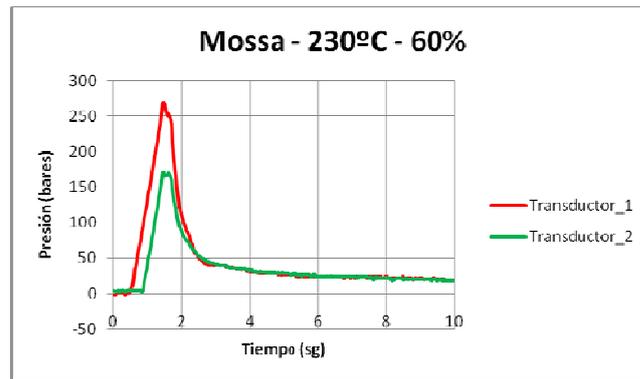
Gráfica Moldflow aplicando modelo sin correcciones 40% - 230°C



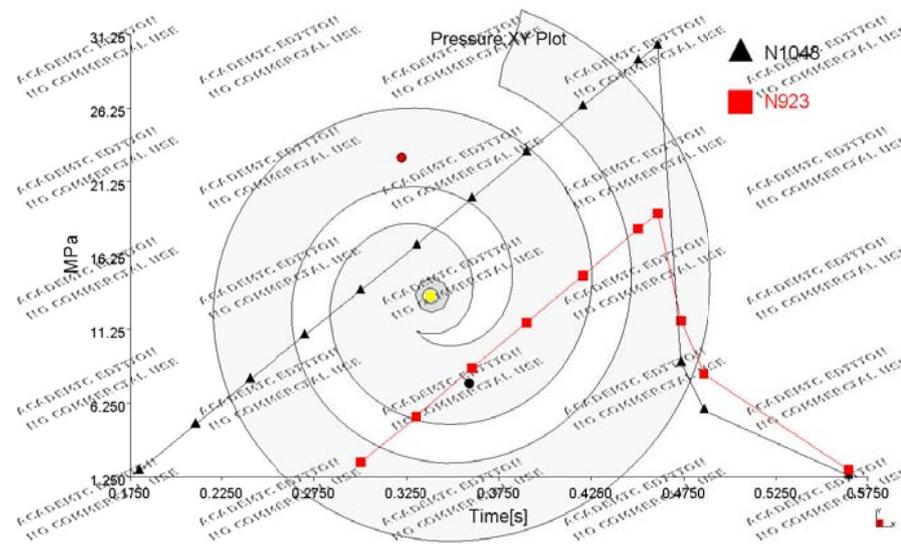
Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 40% - 230°C

Anexo 3 (Capítulo 6) – Datos experimentales y teóricos inyección de polipropileno sobre MOSSA

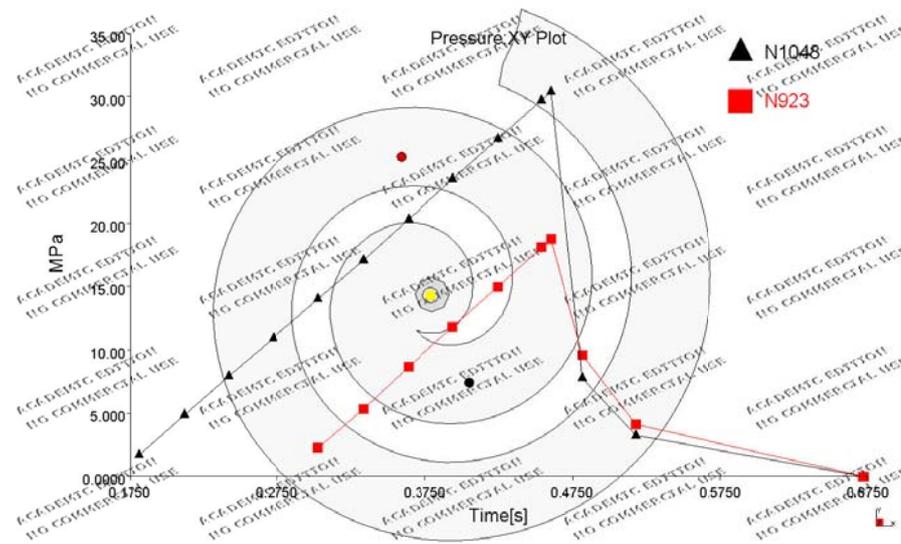
$\Delta P \rightarrow$ Ensayo a 60% de velocidad máxima de la máquina y 230°C de temperatura de inyección



Gráfica Captada por transductores 60% - 230°C

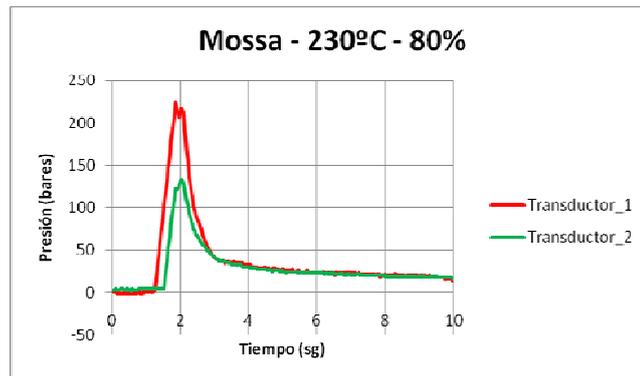


Gráfica Moldflow aplicando modelo sin correcciones 60% - 230°C

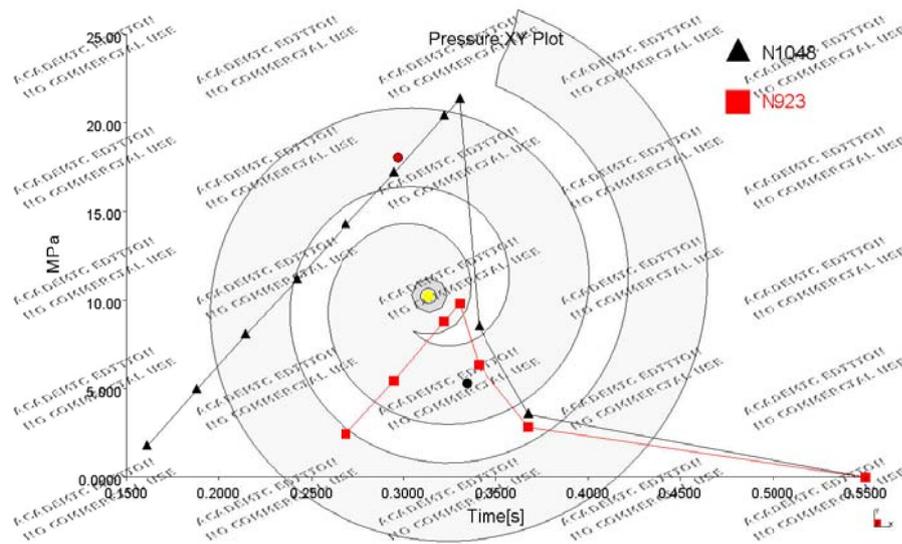


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 60% - 230°C

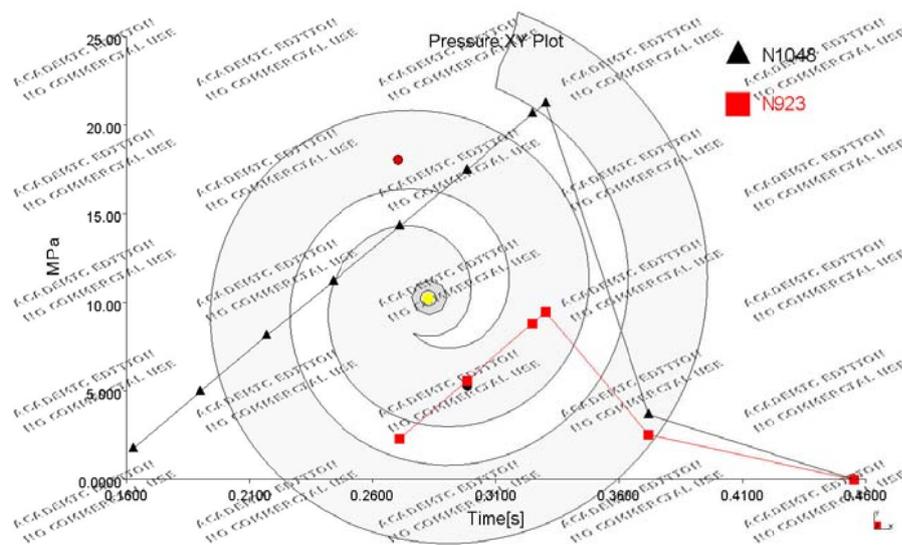
$\Delta P \rightarrow$ Ensayo a 80% de velocidad máxima de la máquina y 230°C de temperatura de inyección



Gráfica Captada por transductores 80% - 230°C



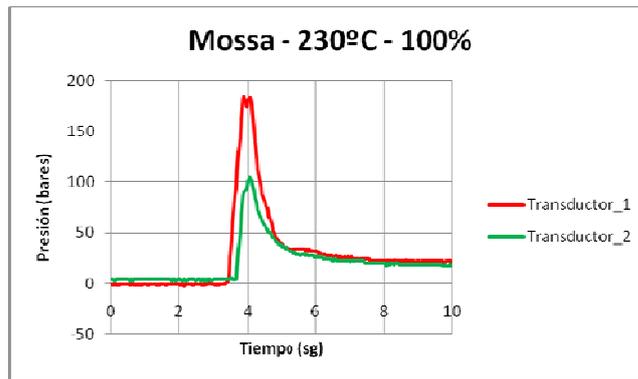
Gráfica Moldflow aplicando modelo sin correcciones 80% - 230°C



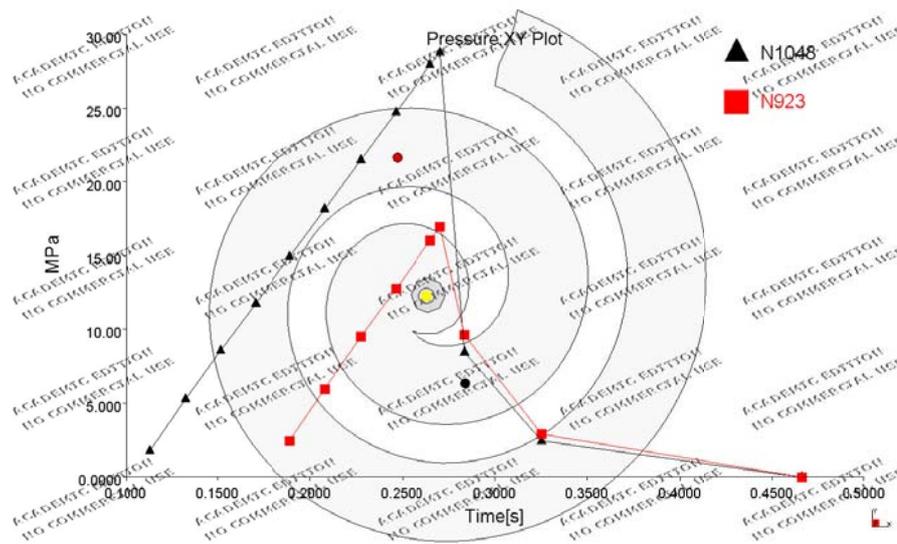
Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 80% - 230°C

Anexo 3 (Capítulo 6) – Datos experimentales y teóricos inyección de polipropileno sobre MOSSA

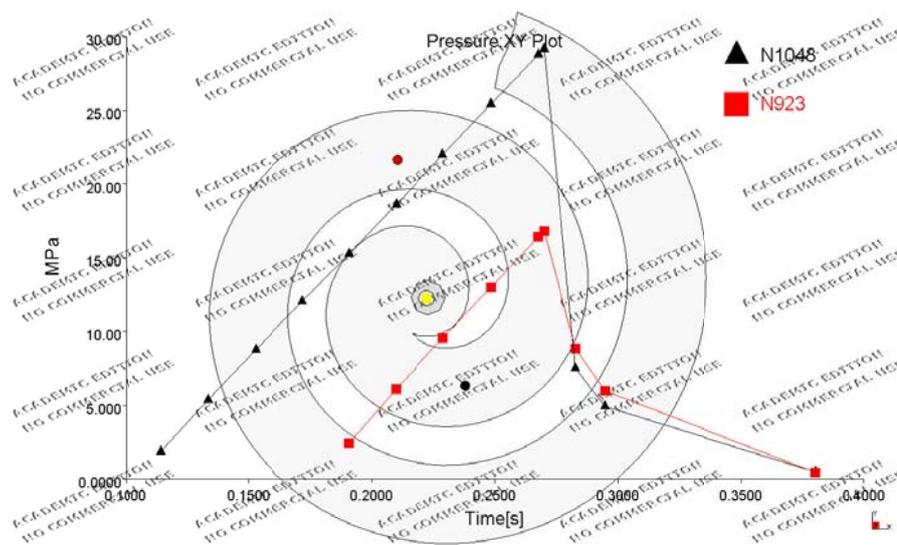
$\Delta P \rightarrow$ Ensayo a 100% de velocidad máxima de la máquina y 230°C de temperatura de inyección



Gráfica Captada por transductores 100% - 230°C



Gráfica Moldflow aplicando modelo sin correcciones 100% - 230°C



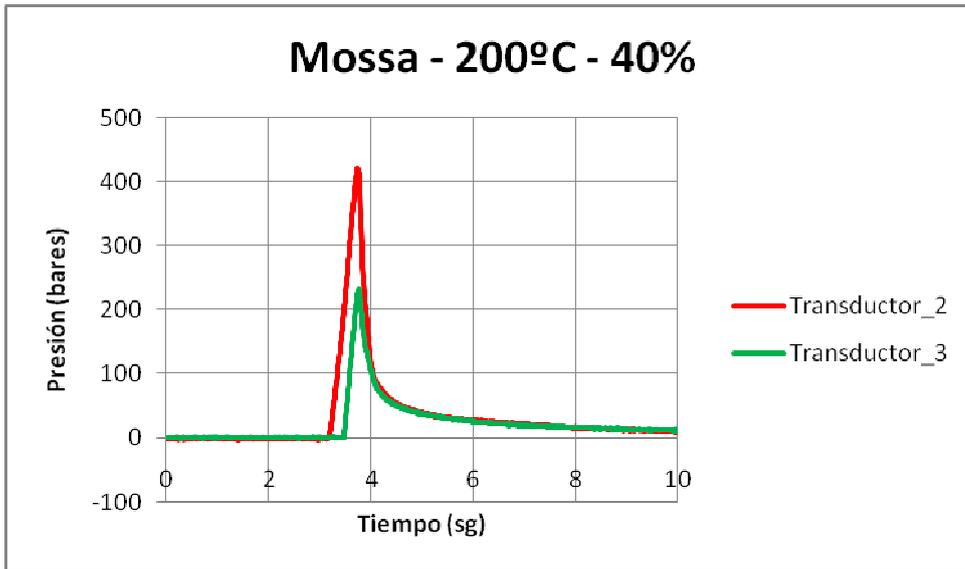
Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 100% - 230°C

GRAFICAS OBTENIDAS CON MOLDE ESPIRAL MONITORIZADO

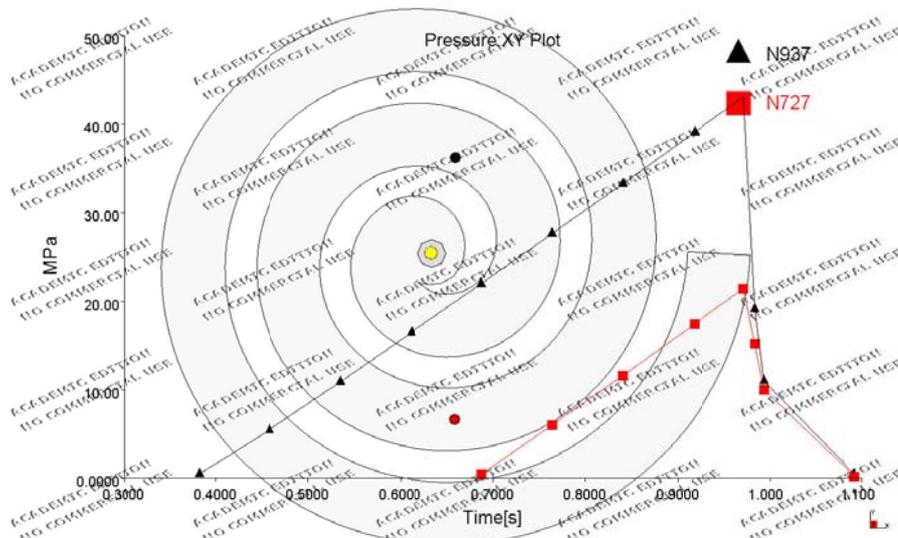
**GRAFICAS OBTENIDAS POR SIMULACION CON MOLDFLOW CON MODELO DE PP PHC31 SOBRE
MOSSA CORREGIDO**

**→ COMPARACION DE LAS PRESIONES MAXIMAS MEDIDAS EN TRANSDUCTOR 2 Y
TRANSDUCTOR 3 EN LA INYECCION DE ESPIRALES SOBRE MOSSA**

Presión máxima en T2 y T3 → 40% de velocidad máxima de máquina y 200°C

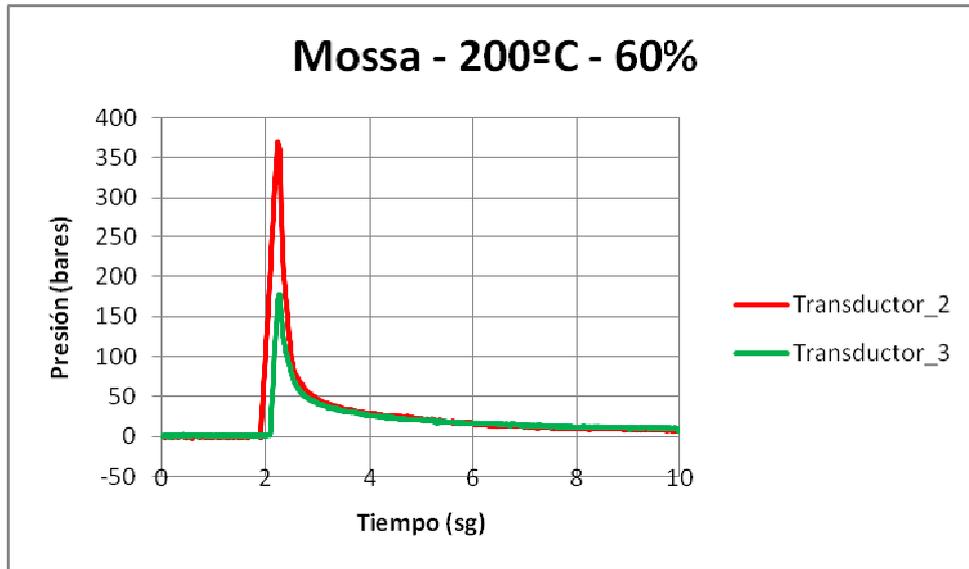


Gráfica Captada por transductores 40% - 200°C

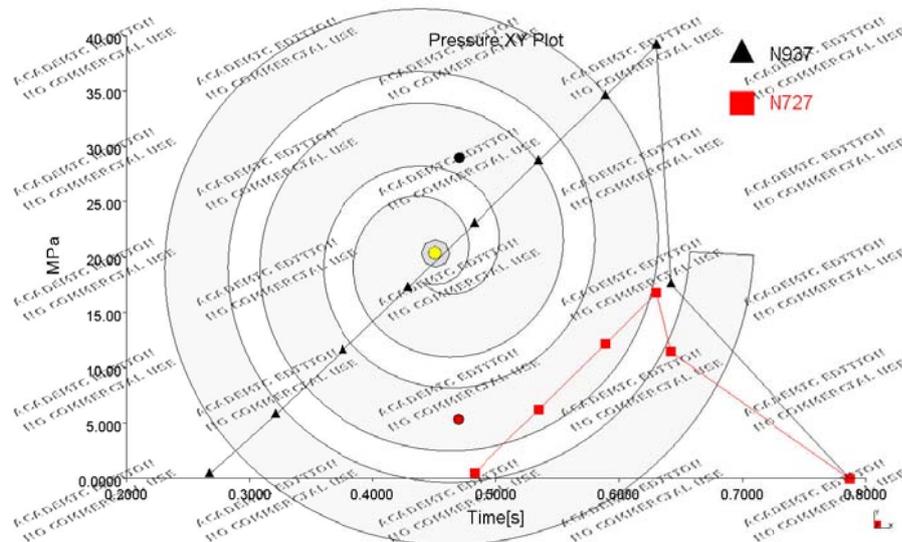


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 40% - 200°C

Presión máxima en T2 y T3 → 60% de velocidad máxima de máquina y 200°C

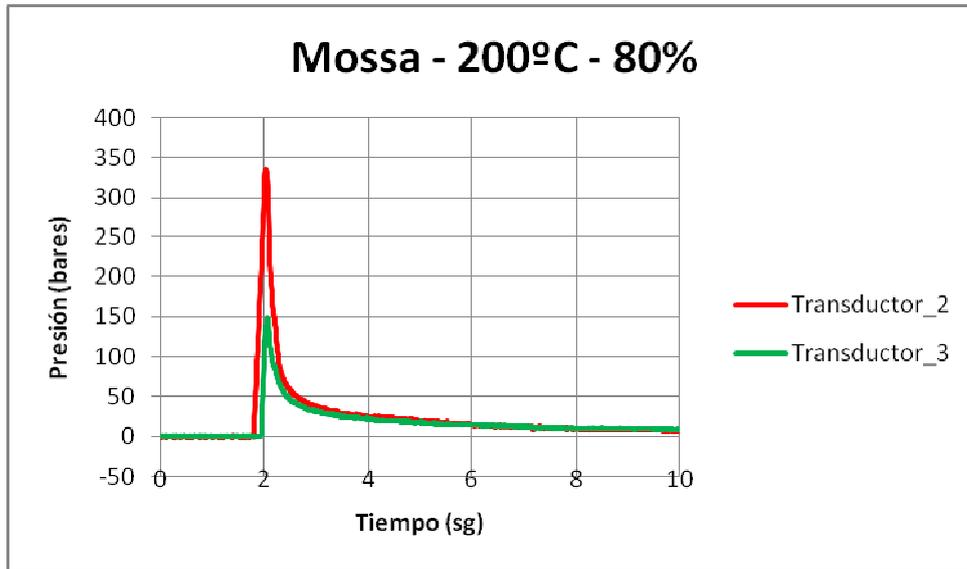


Gráfica Captada por transductores 60% - 200°C

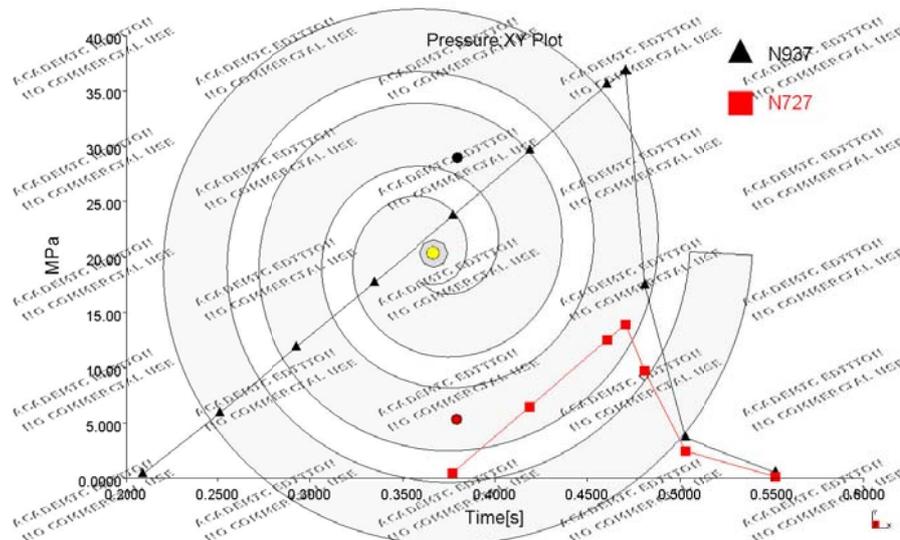


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 60% - 200°C

Presión máxima en T2 y T3 → 80% de velocidad máxima de máquina y 200°C

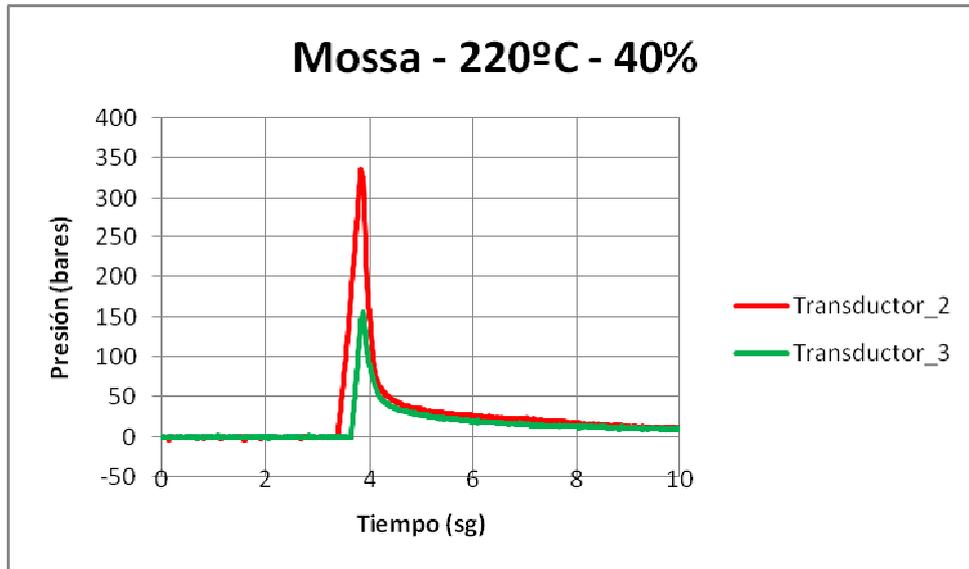


Gráfica Captada por transductores 80% - 200°C

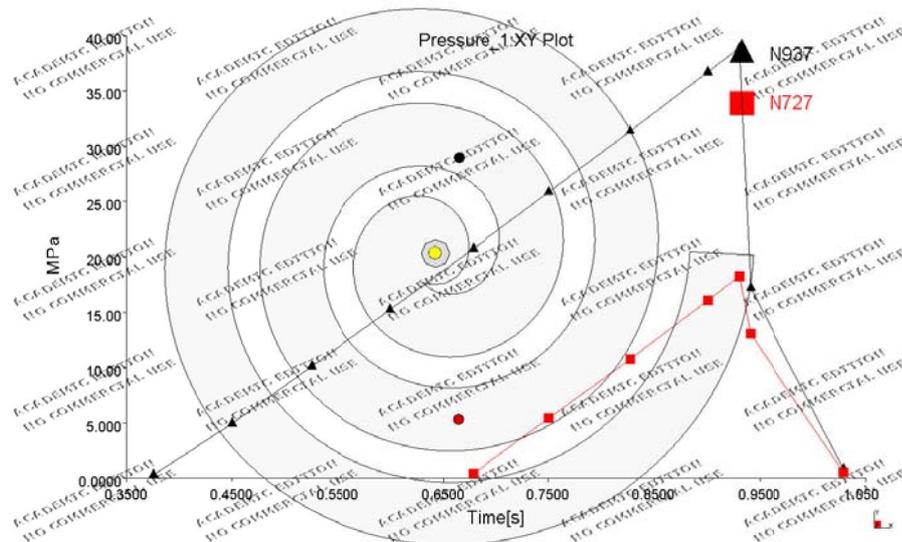


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 80% - 200°C

Presión máxima en T2 y T3 → 40% de velocidad máxima de máquina y 220°C

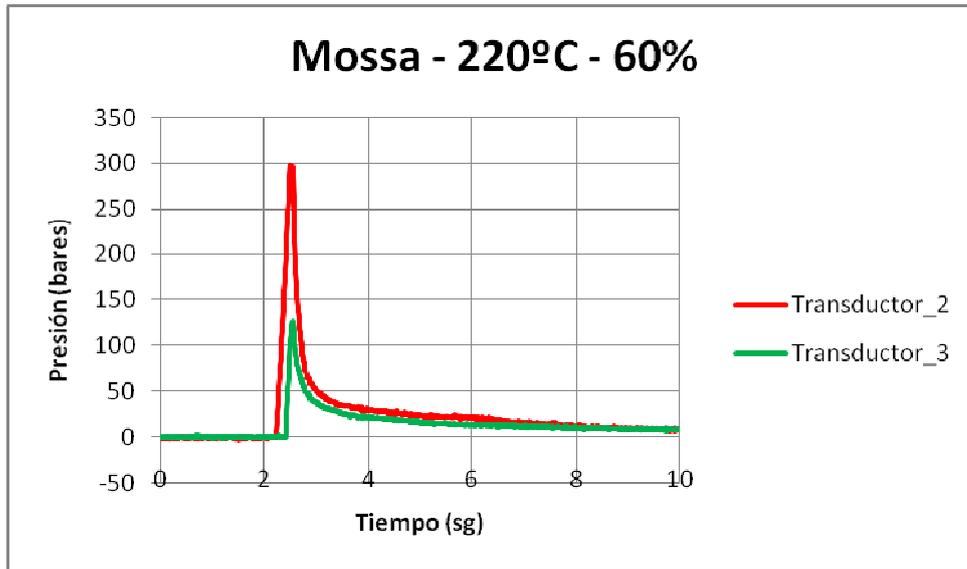


Gráfica Captada por transductores 40% - 220°C

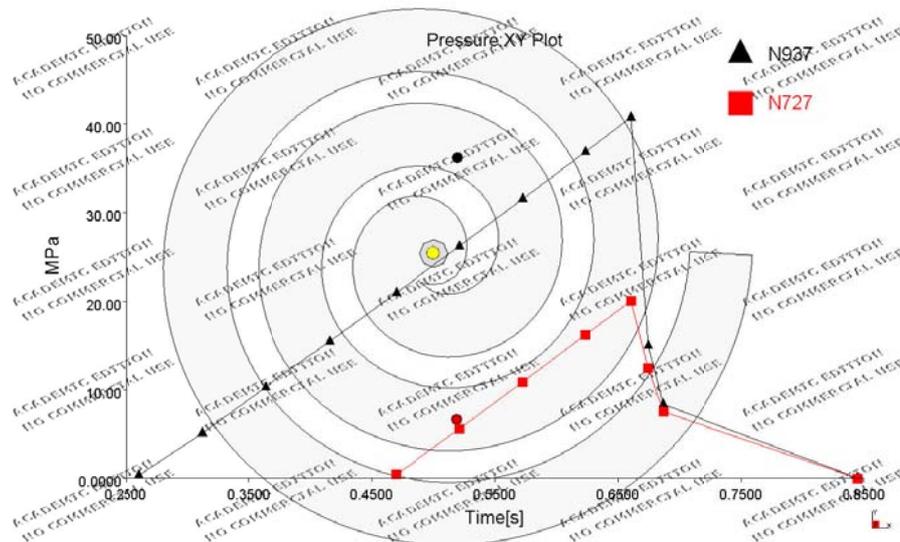


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 40% - 220°C

Presión máxima en T2 y T3 → 60% de velocidad máxima de máquina y 220°C

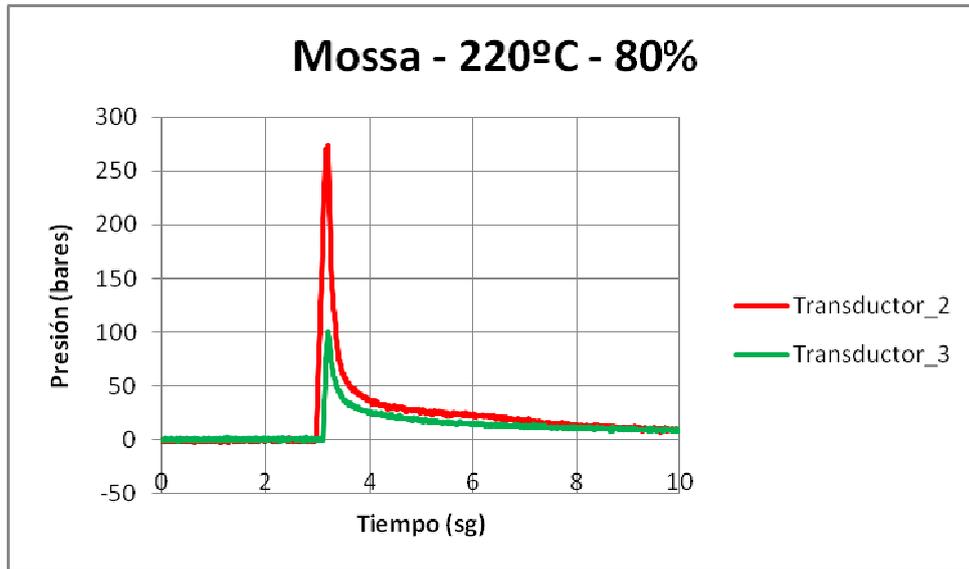


Gráfica Captada por transductores 60% - 220°C

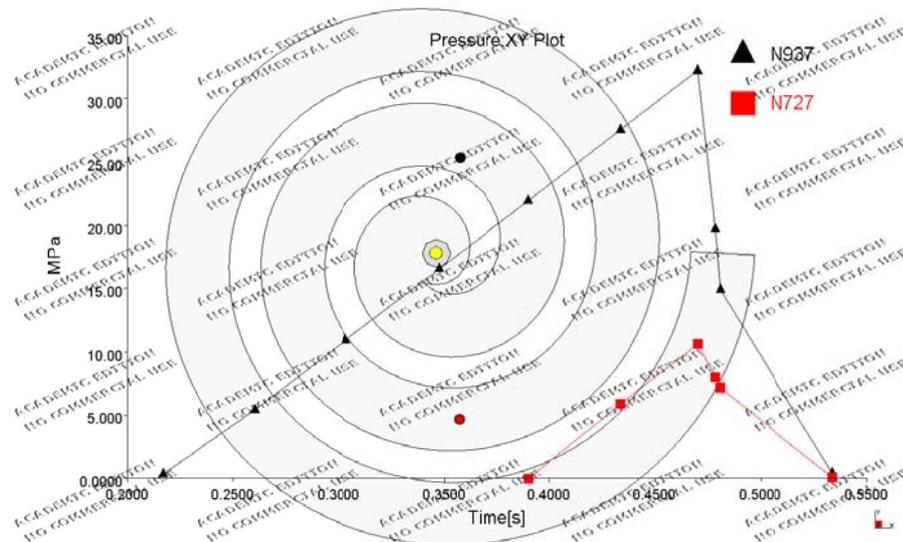


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 60% - 220°C

Presión máxima en T2 y T3 → 80% de velocidad máxima de máquina y 220°C

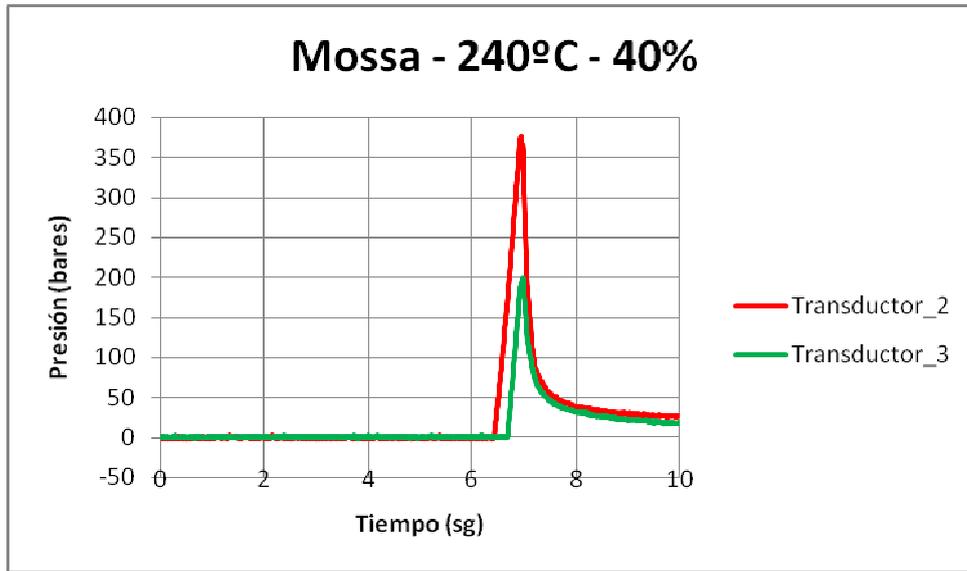


Gráfica Captada por transductores 80% - 220°C

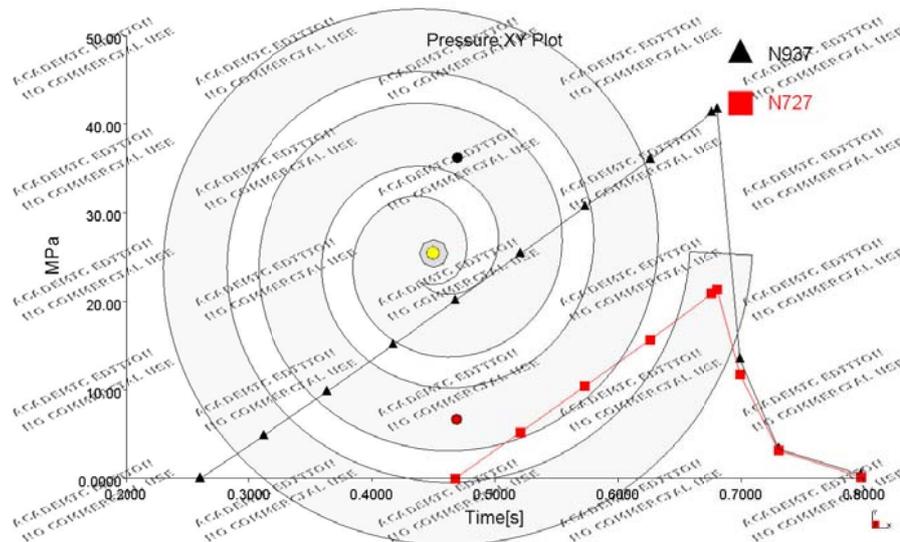


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 80% - 220°C

Presión máxima en T2 y T3 → 40% de velocidad máxima de máquina y 240°C

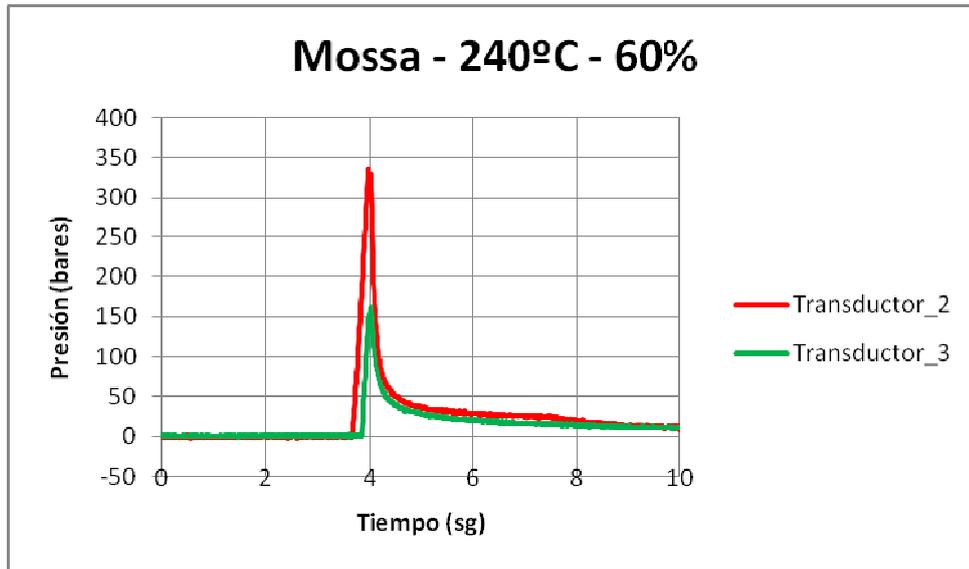


Gráfica Captada por transductores 40% - 240°C

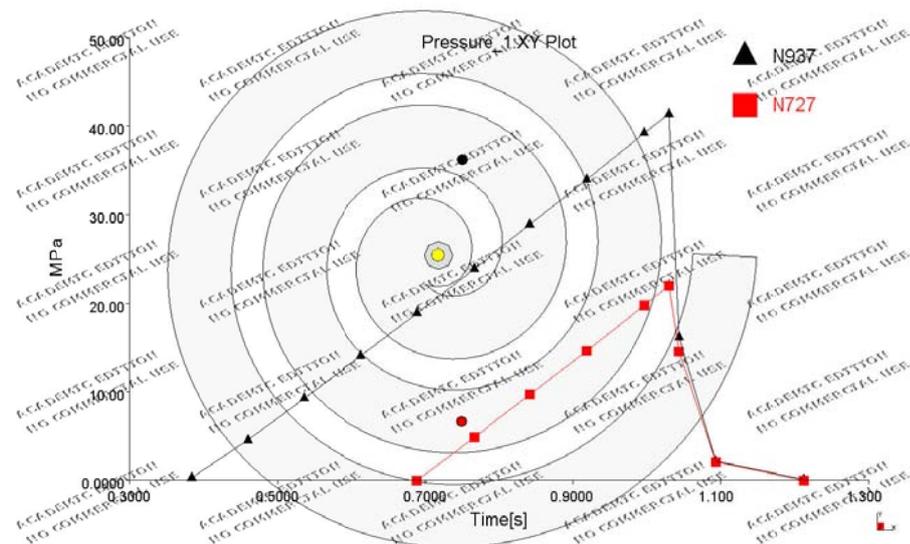


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 40% - 240°C

Presión máxima en T2 y T3 → 60% de velocidad máxima de máquina y 240°C

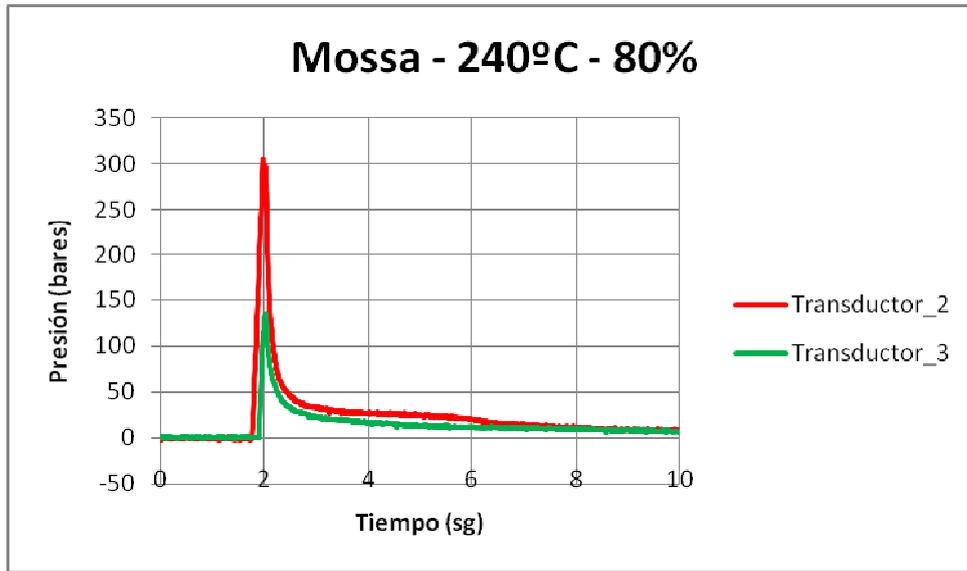


Gráfica Captada por transductores 60% - 240°C

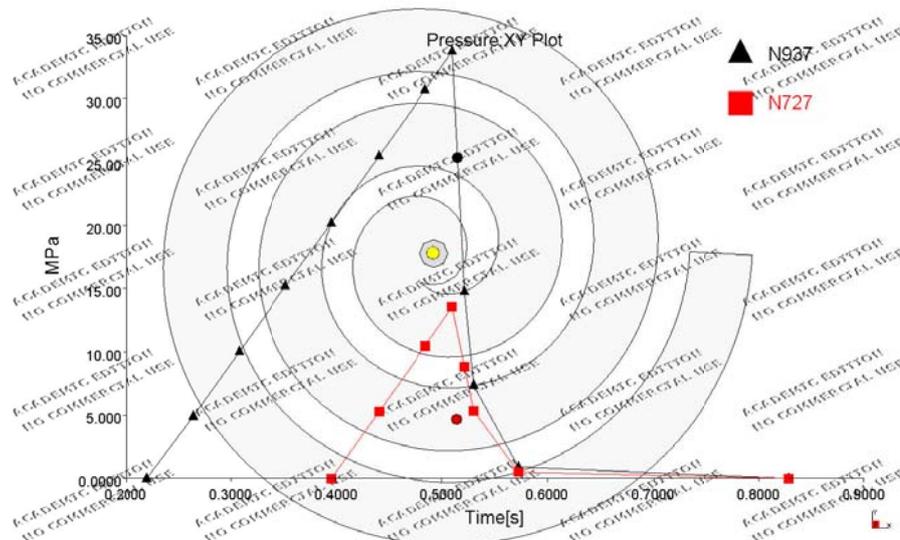


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 60% - 240°C

Presión máxima en T2 y T3 → 80% de velocidad máxima de máquina y 240°C



Gráfica Captada por transductores 80% - 240°C

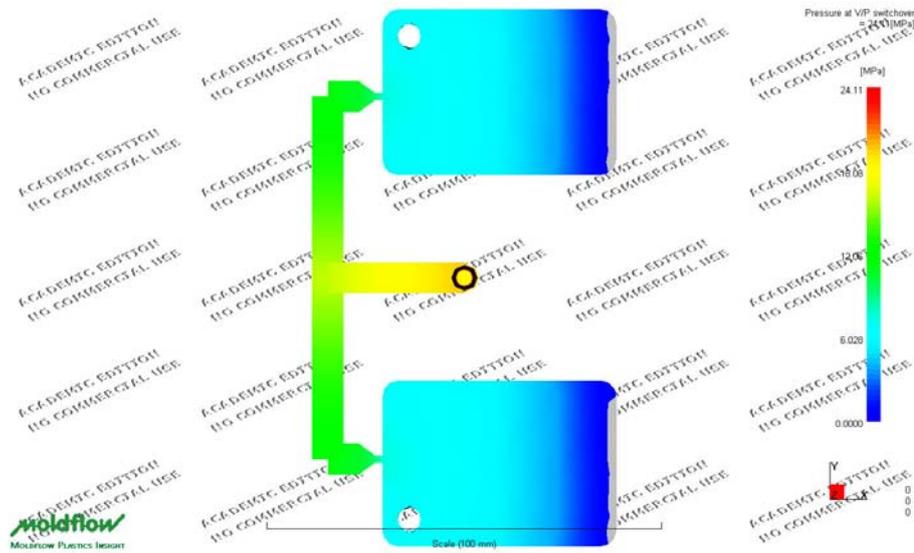


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 80% - 240°C

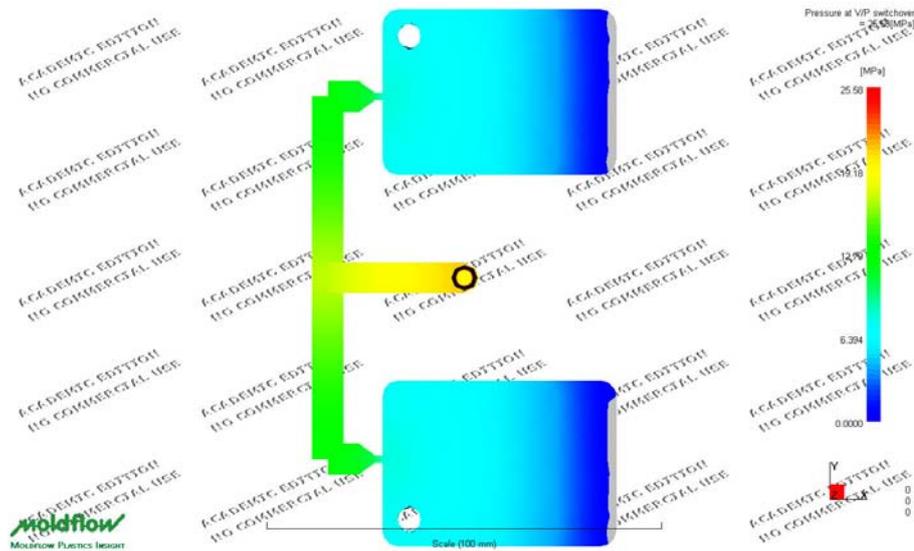
**DISTRIBUCION DE PRESIONES OBTENIDA POR SIMULACION CON MOLDFLOW CON MODELO DE PP
PHC31 SOBRE MOSSA CORREGIDO**

**→ COMPARACION DE LAS PRESIONES MAXIMAS MEDIDAS EN MAQUINA Y OBTENIDAS CON
LA SIMULACION DE LLAVEROS SOBRE MOSSA**

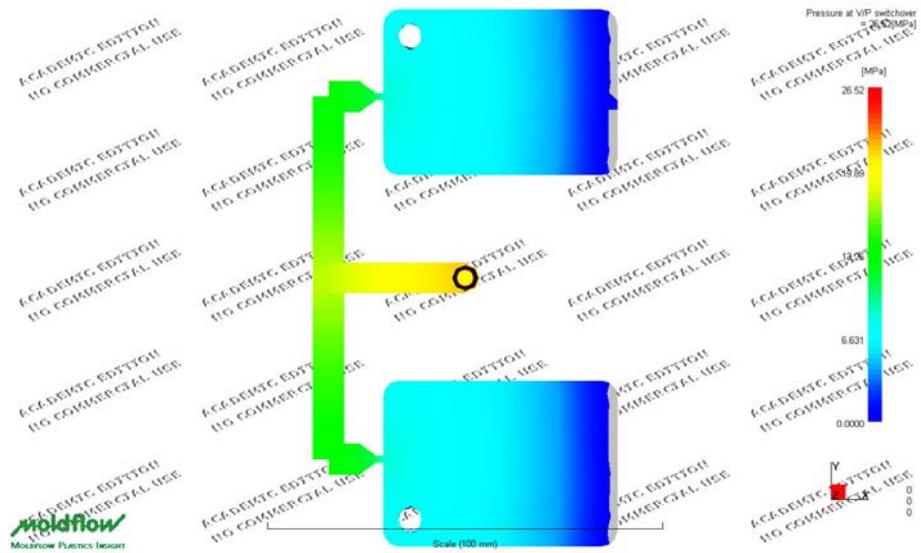
Presión máxima en de llenado en llaveros sobre MOSSA



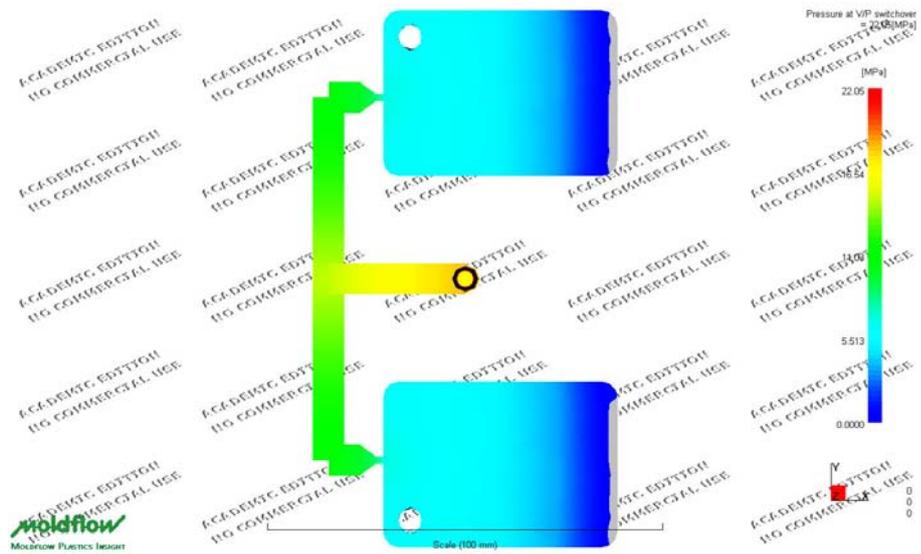
40% de velocidad máxima de máquina y 220°C



70% de velocidad máxima de máquina y 220°C

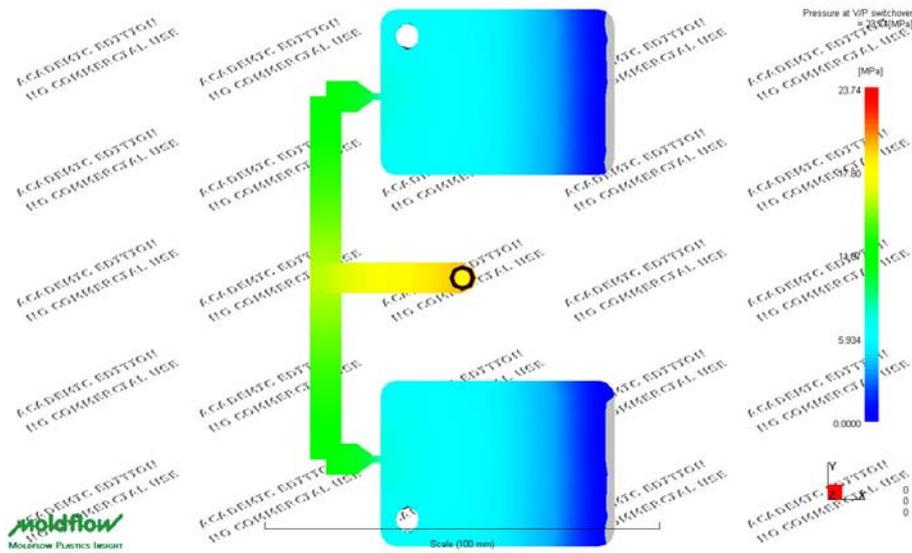


100% de velocidad máxima de máquina y 220°C

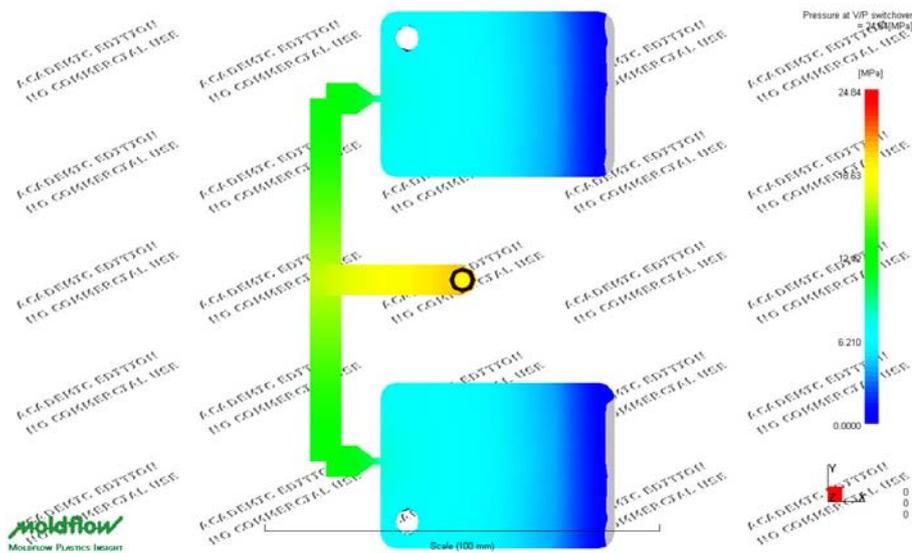


40% de velocidad máxima de máquina y 240°C

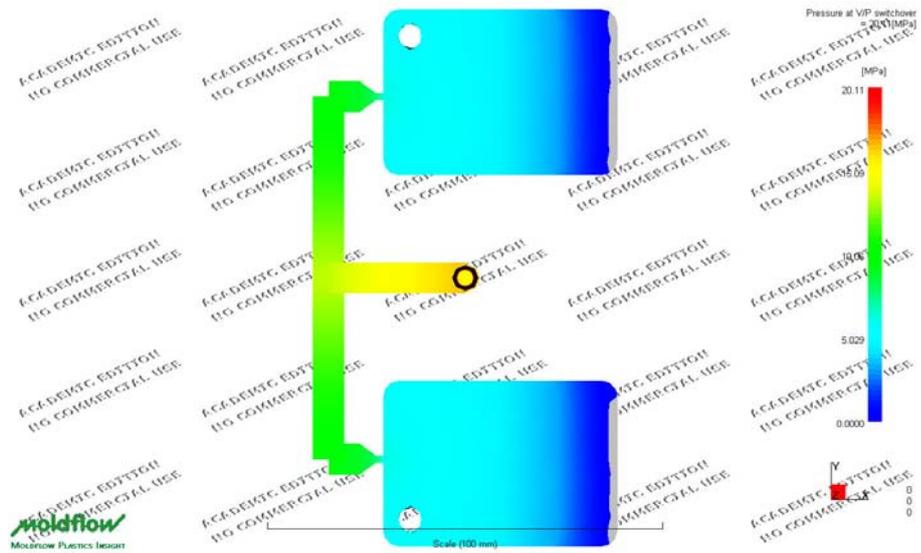
Anexo 3 (Capítulo 6) – Datos experimentales y teóricos inyección de polipropileno sobre MOSSA



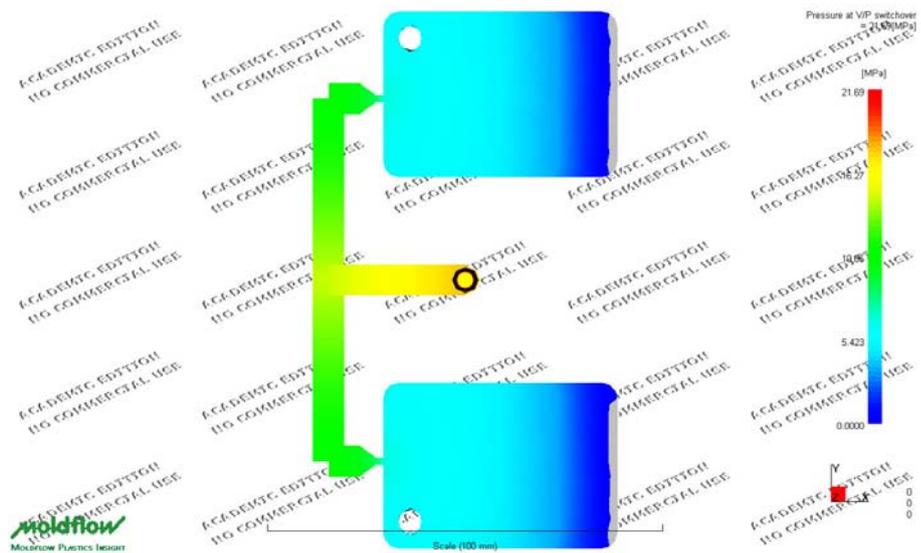
70% de velocidad máxima de máquina y 240°C



100% de velocidad máxima de máquina y 240°C

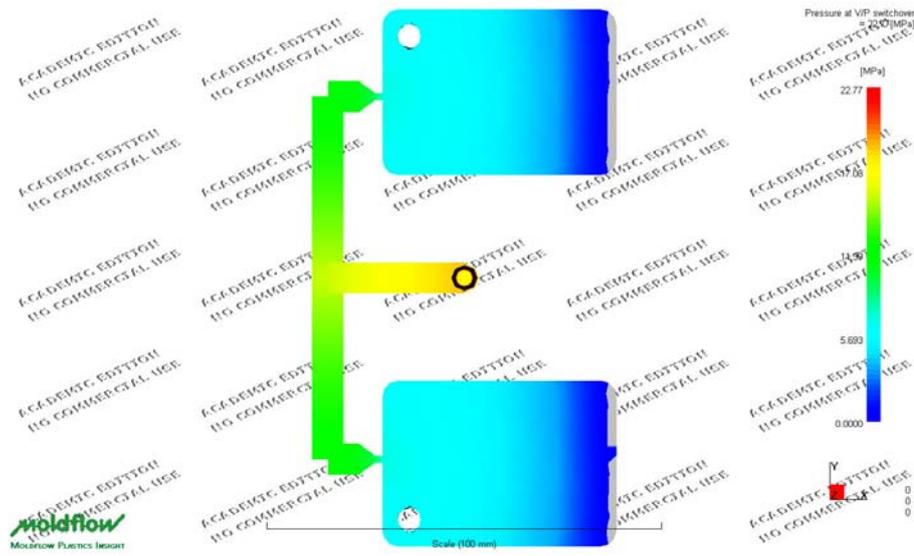


40% de velocidad máxima de máquina y 260°C



70% de velocidad máxima de máquina y 260°C

Anexo 3 (Capítulo 6) – Datos experimentales y teóricos inyección de polipropileno sobre MOSSA



100% de velocidad máxima de máquina y 260°C

ANEXO 4 (Capítulo 6)

**DATOS EXPERIMENTALES Y TEORICOS DE INYECCION DE POLIPROPILENO SOBRE
FALSET**

ARCHIVO .STR OBTENIDO CON VISDAT →

OBTENCION CONSTATES DE MODELO VISCOSO DE PP PHC31 SOBRE FALSET SIN NINGUNA
CORRECCION.

THIS PROGRAM IS COPYRIGHT "COLIN AUSTIN R & D PTY LTD"
(C)1979 (C)1985 (C)1988 (C)1990 (C)1992
AND OPERATED UNDER LICENCE BY "MOLDFLOW PTY LTD"

VISDAT ... APPROXIMATION OF VISCOSITY EXPERIMENTAL DATA
VERSION 1.5.0

LAST REVISED 11 - MAR - 92

This is a revised viscosity graph fitting program -
modifications have been made to suit the new database
format and the editing program MADRAS.

The 1st order model is now fitted from a grid of points
generated by the 2nd order model - this is to reduce bias.

The program outputs the standard points that need to be
entered into the new database by program matdb and also
the old viscosity constants are given for users still
using the old database.

EXECUTED 01-JAN-94 0 :14

STORE FILE: FALSIN.STR

modelo falset sin ninguna correccion

No. temp. shear rate viscosity

Number of points 18

* 1-ST ORDER GRAPH FIT BASED ON ORIGINAL DATA

* Viscosity factor 1.629904E+05

* Shear factor -9.188203E-01

* Temp. factor -4.418584E-03

* Standard 1-st order data points

200.0 100.0 978.88

220.0 10000.0 13.02

240.0 1000.0 98.89

No.	temperature	shear rate	meas V	calc V	% error
1	190.00	378.00	328.20	301.51	-8.851
2	190.00	840.00	136.30	144.77	5.849
3	190.00	1625.00	76.00	78.95	3.739
4	190.00	2400.00	54.80	55.18	0.682
5	190.00	3150.00	42.90	42.98	0.180
6	190.00	3876.00	35.90	35.52	-1.068
7	210.00	406.00	261.80	258.47	-1.288
8	210.00	826.00	130.50	134.59	3.036
9	210.00	1625.00	72.60	72.27	-0.451
10	210.00	2290.00	53.50	52.73	-1.452
11	210.00	3360.00	37.30	37.08	-0.601
12	210.00	4200.00	30.70	30.20	-1.642
13	230.00	406.00	235.10	236.61	0.638
14	230.00	868.00	113.10	117.71	3.920
15	230.00	1680.00	64.90	64.17	-1.140
16	230.00	2400.00	46.60	46.24	-0.784
17	230.00	3600.00	32.00	31.86	-0.451
18	230.00	3876.00	30.10	29.77	-1.122

* Standard deviation 7.2440E-03

* 2-ND ORDER GRAPH FIT

* Standard 2-nd order data points

200.0	1000.0	116.16
220.0	100.0	1066.84
220.0	1000.0	105.58
220.0	10000.0	14.88
240.0	100.0	926.70
240.0	1000.0	94.85

A(1)= 14.180

A(2)= -1.5494

A(3)=-3.70864E-03

A(4)= 3.33679E-02

A(5)= 7.30390E-04

A(6)=-1.45567E-05

No.	temperature	shear rate	meas V	calc V	% error
1	190.00	378.00	328.20	315.39	-4.061
2	190.00	840.00	136.30	143.31	4.889
3	190.00	1625.00	76.00	77.11	1.439
4	190.00	2400.00	54.80	54.20	-1.113
5	190.00	3150.00	42.90	42.64	-0.614
6	190.00	3876.00	35.90	35.63	-0.765
7	210.00	406.00	261.80	264.70	1.096
8	210.00	826.00	130.50	132.77	1.711
9	210.00	1625.00	72.60	70.99	-2.262
10	210.00	2290.00	53.50	52.29	-2.305
11	210.00	3360.00	37.30	37.51	0.552
12	210.00	4200.00	30.70	31.05	1.127
13	230.00	406.00	235.10	236.06	0.405
14	230.00	868.00	113.10	114.24	0.996
15	230.00	1680.00	64.90	62.73	-3.463
16	230.00	2400.00	46.60	45.93	-1.459
17	230.00	3600.00	32.00	32.56	1.722
18	230.00	3876.00	30.10	30.62	1.695

* Standard deviation 5.1773E-03

***** The 2-nd order fit is unsatisfactory

- the 2-nd differential with respect to shear rate is positive
- the curve on a log viscosity versus log shear rate plot displays a minimum (and a maximum is required).

Either revise the experimental data or use the original 1-st order fit

* MATERIAL COEFFICIENTS SUMMARY

162990. , -0.918820 , -4.418584E-03,

ARCHIVO .STR OBTENIDO CON VISDAT →

**OBTENCION CONSTATES DE MODELO VISCOSO DE PP PHC31 SOBRE FALSET CON CRRECCION DE
CAPA FRIA Y DE DIAGONAL.**

Anexo 4 (Capítulo 6) – Datos experimentales y teóricos inyección de polipropileno sobre FALSET

THIS PROGRAM IS COPYRIGHT "COLIN AUSTIN R & D PTY LTD"
(C)1979 (C)1985 (C)1988 (C)1990 (C)1992
AND OPERATED UNDER LICENCE BY "MOLDFLOW PTY LTD"
VISDAT ... APPROXIMATION OF VISCOSITY EXPERIMENTAL DATA
VERSION 1.5.0
LAST REVISED 11 - MAR - 92

This is a revised viscosity graph fitting program -
modifications have been made to suit the new database
format and the editing program MADRAS.

The 1st order model is now fitted from a grid of points
generated by the 2nd order model - this is to reduce bias.

The program outputs the standard points that need to be
entered into the new database by program matdb and also
the old viscosity constants are given for users still
using the old database.

EXECUTED 01-JAN-94 0 :30
STORE FILE: FALDIAG.STR
modelo falset corregido con capa fria y diagonal

No. temp. shear rate viscosity

Number of points 18

* 1-ST ORDER GRAPH FIT BASED ON ORIGINAL DATA

* Viscosity factor 1.129538E+05
* Shear factor -8.954885E-01
* Temp. factor -3.693654E-03

* Standard 1-st order data points

200.0	100.0	873.17
220.0	10000.0	13.12
240.0	1000.0	95.82

No.	temperature	shear rate	meas V	calc V	% error
1	190.00	387.00	286.00	269.68	-6.051
2	190.00	810.00	133.00	139.19	4.446
3	190.00	1555.00	75.40	77.62	2.856
4	190.00	2284.00	55.00	55.01	0.018
5	190.00	2982.00	43.50	43.32	-0.405
6	190.00	3663.00	36.00	36.04	0.101
7	210.00	397.00	249.00	244.82	-1.708
8	210.00	790.00	129.60	132.20	1.969
9	210.00	1547.00	72.90	72.42	-0.658
10	210.00	2169.00	54.30	53.51	-1.473
11	210.00	3173.00	38.00	38.06	0.166
12	210.00	3946.00	31.60	31.31	-0.919
13	230.00	393.00	228.50	229.46	0.417
14	230.00	827.00	113.40	117.86	3.782
15	230.00	1582.00	66.50	65.93	-0.861
16	230.00	2249.00	48.20	48.12	-0.176
17	230.00	3367.00	33.30	33.52	0.666
18	230.00	3614.00	32.30	31.46	-2.657

* Standard deviation 5.6347E-03

* 2-ND ORDER GRAPH FIT

* Standard 2-nd order data points

200.0	1000.0	109.90
220.0	100.0	921.46
220.0	1000.0	101.50
220.0	10000.0	14.62
240.0	100.0	816.60
240.0	1000.0	92.60

A(1)= 13.205

A(2)= -1.3881

A(3)=-1.92250E-03

A(4)= 2.53116E-02

A(5)= 6.30338E-04

A(6)=-1.52618E-05

No.	temperature	shear rate	meas V	calc V	% error
1	190.00	387.00	286.00	278.58	-2.663
2	190.00	810.00	133.00	138.31	3.839
3	190.00	1555.00	75.40	76.26	1.129
4	190.00	2284.00	55.00	54.23	-1.412
5	190.00	2982.00	43.50	43.00	-1.153
6	190.00	3663.00	36.00	36.05	0.126
7	210.00	397.00	249.00	249.62	0.250
8	210.00	790.00	129.60	131.15	1.179
9	210.00	1547.00	72.90	71.58	-1.843
10	210.00	2169.00	54.30	53.25	-1.973
11	210.00	3173.00	38.00	38.43	1.124
12	210.00	3946.00	31.60	31.99	1.206
13	230.00	393.00	228.50	228.64	0.063
14	230.00	827.00	113.40	115.16	1.525
15	230.00	1582.00	66.50	64.79	-2.637
16	230.00	2249.00	48.20	47.85	-0.722
17	230.00	3367.00	33.30	34.07	2.250
18	230.00	3614.00	32.30	32.12	-0.554

* Standard deviation 4.1746E-03

***** The 2-nd order fit is unsatisfactory

- the 2-nd differential with respect to shear rate is positive
- the curve on a log viscosity versus log shear rate plot displays a minimum (and a maximum is required).

Either revise the experimental data or use the original 1-st order fit

* MATERIAL COEFFICIENTS SUMMARY

112954. , -0.895489 , -3.693654E-03,

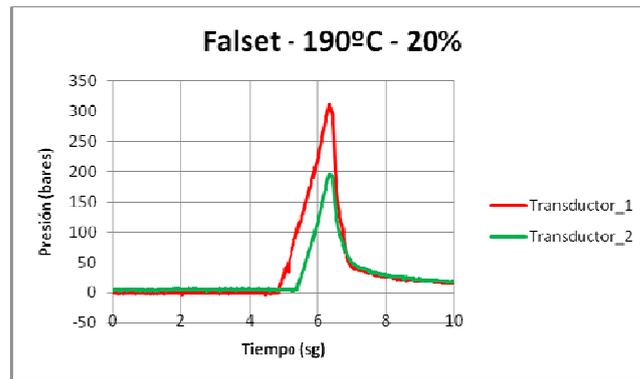
GRAFICAS OBTENIDAS CON MOLDE ESPIRAL MONITORIZADO

**GRAFICAS OBTENIDAS POR SIMULACION CON MOLDFLOW PARA LOS DISTINTOS MODELOS DE PP
PHC31 SOBRE FALSET**

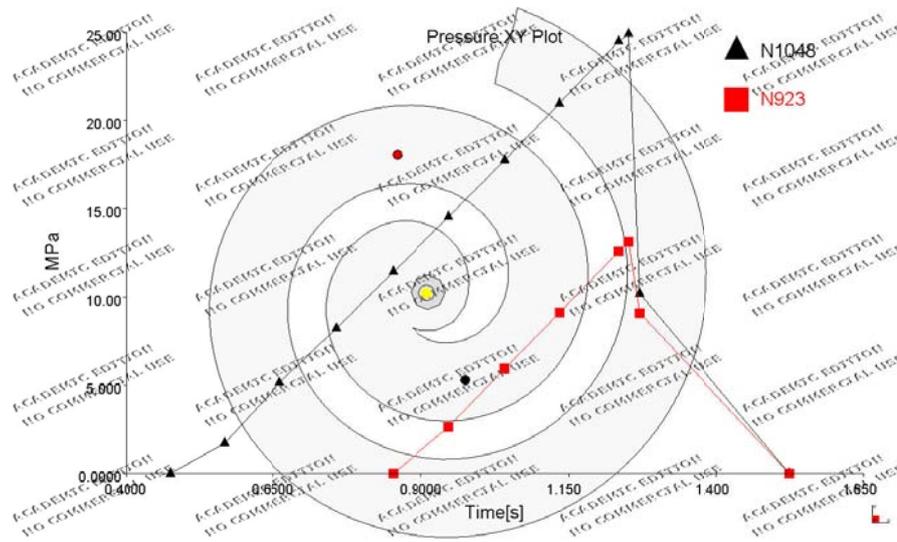
**→ COMPARACION DE LAS CAIDAS DE PRESION ENTRE TRASNDUCTORES 1 Y 2 EN LA
INYECCION DE ESPIRALES SOBRE FALSET**

Anexo 4 (Capítulo 6) – Datos experimentales y teóricos inyección de polipropileno sobre FALSET

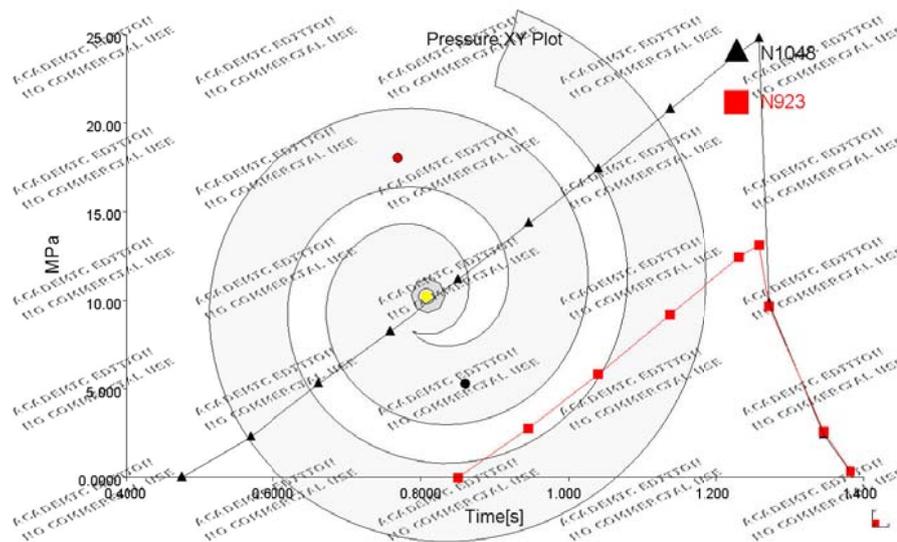
$\Delta P \rightarrow$ Ensayo a 20% de velocidad máxima de la máquina y 190°C de temperatura de inyección



Gráfica Captada por transductores 20% - 190°C

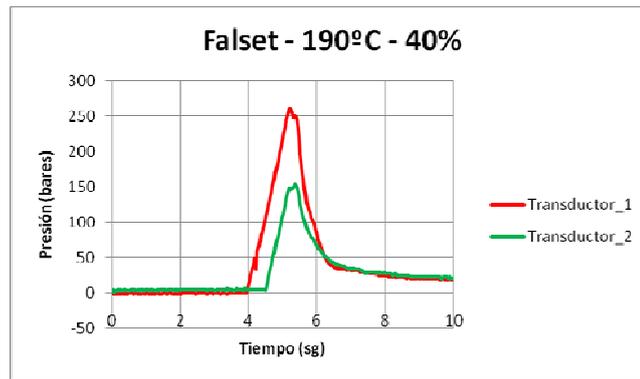


Gráfica Moldflow aplicando modelo sin correcciones 20% - 190°C

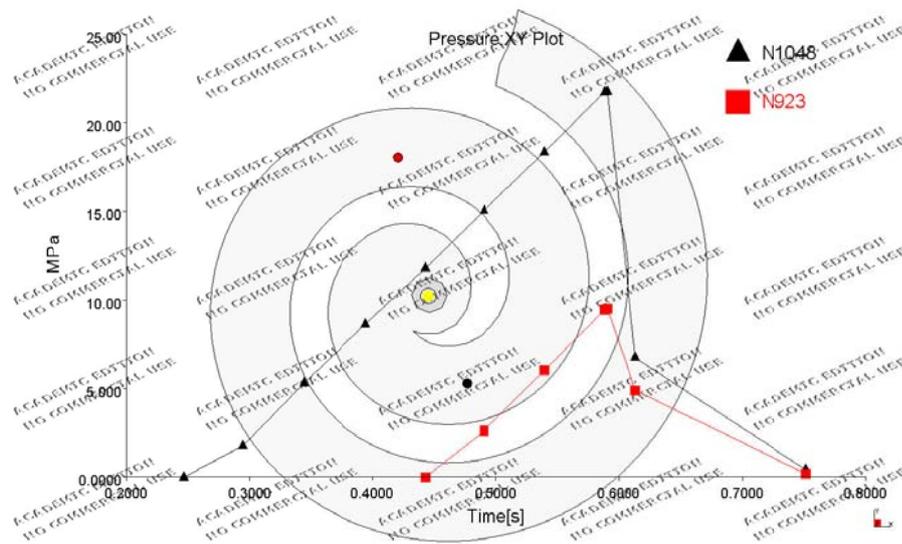


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 20% - 190°C

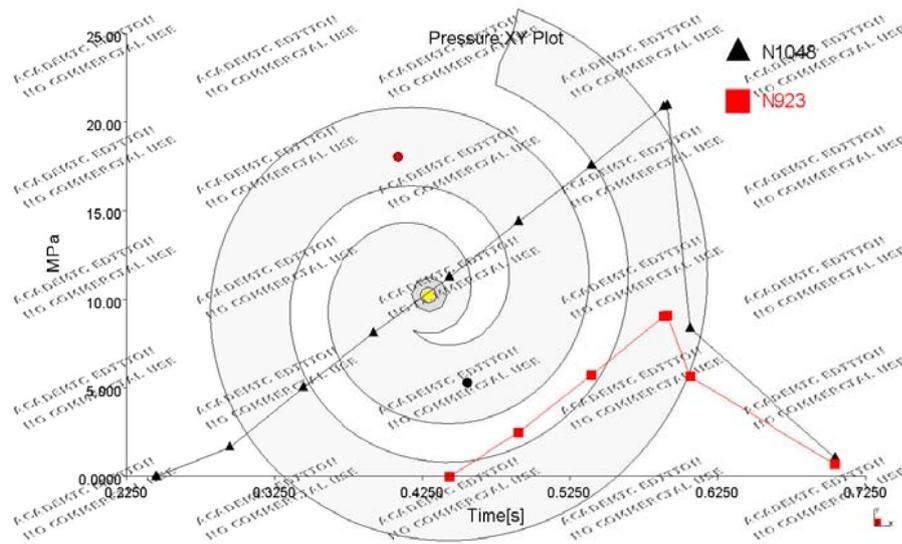
$\Delta P \rightarrow$ Ensayo a 40% de velocidad máxima de la máquina y 190°C de temperatura de inyección



Gráfica Captada por transductores 40% - 190°C



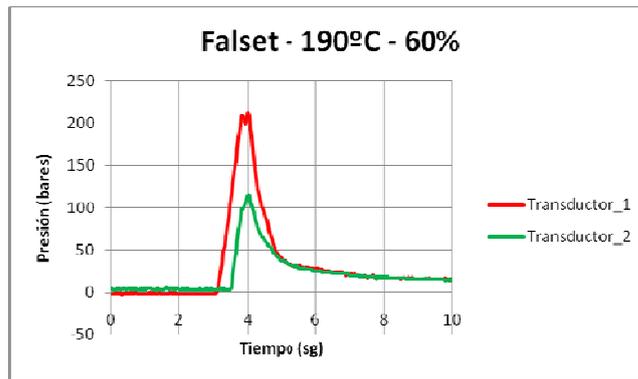
Gráfica Moldflow aplicando modelo sin correcciones 40% - 190°C



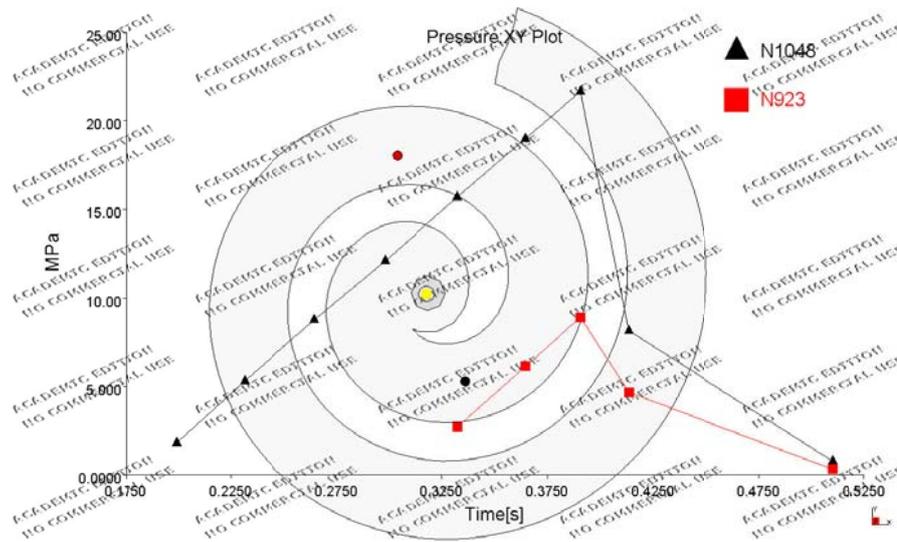
Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 40% - 190°C

Anexo 4 (Capítulo 6) – Datos experimentales y teóricos inyección de polipropileno sobre FALSET

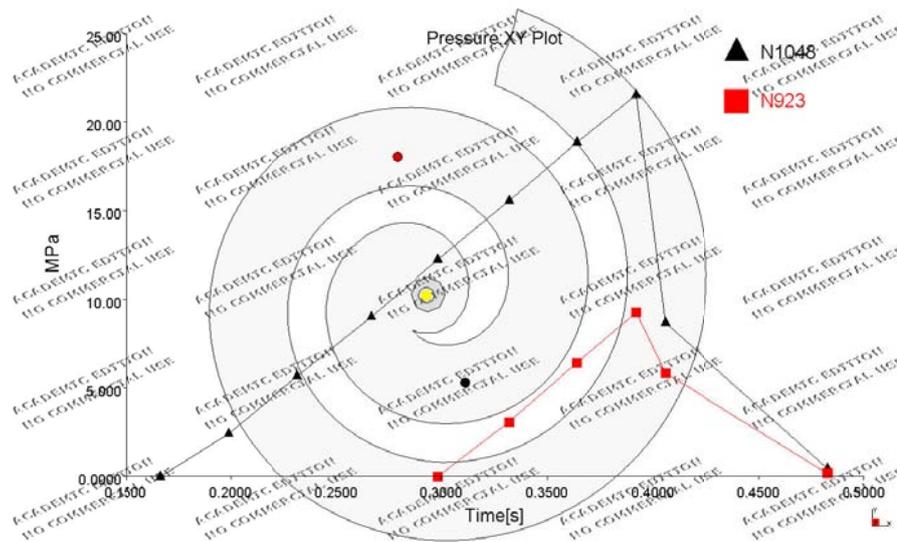
$\Delta P \rightarrow$ Ensayo a 60% de velocidad máxima de la máquina y 190°C de temperatura de inyección



Gráfica Captada por transductores 60% - 190°C

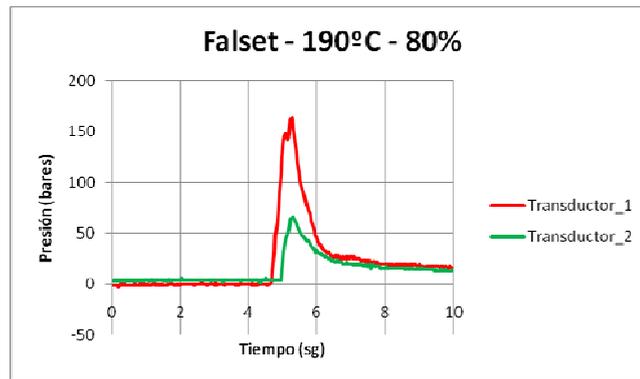


Gráfica Moldflow aplicando modelo sin correcciones 60% - 190°C

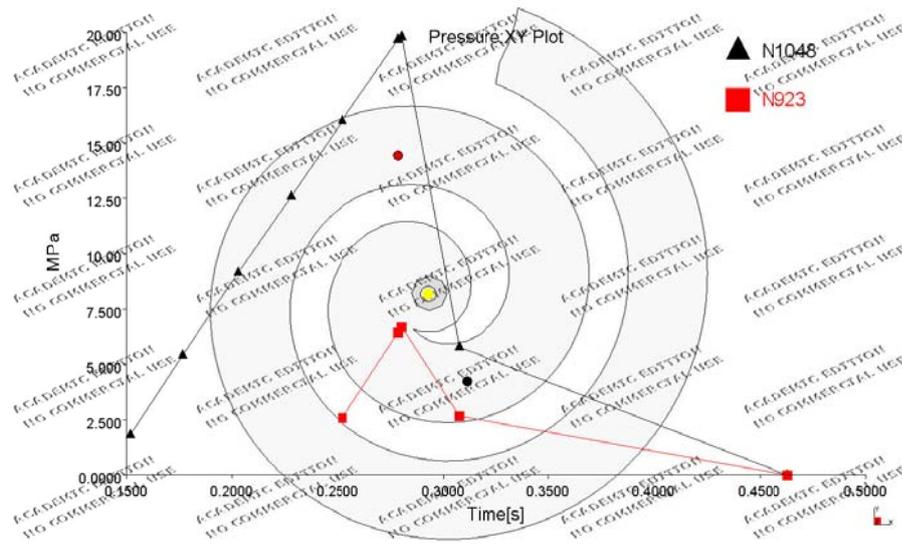


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 60% - 190°C

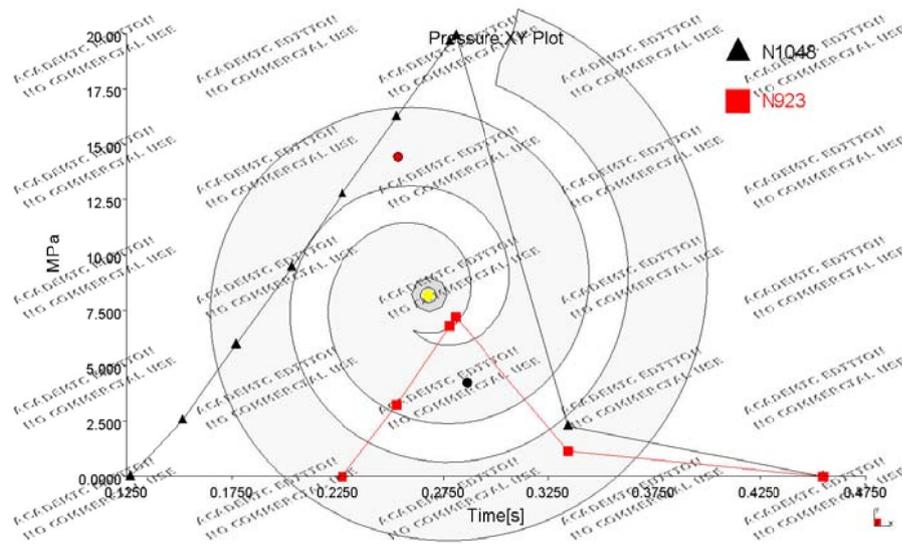
$\Delta P \rightarrow$ Ensayo a 80% de velocidad máxima de la máquina y 190°C de temperatura de inyección



Gráfica Captada por transductores 80% - 190°C



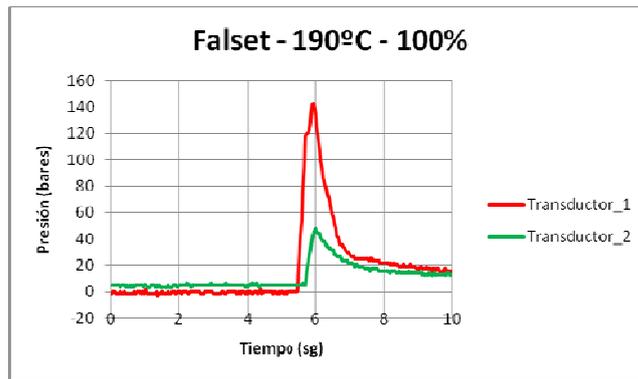
Gráfica Moldflow aplicando modelo sin correcciones 80% - 190°C



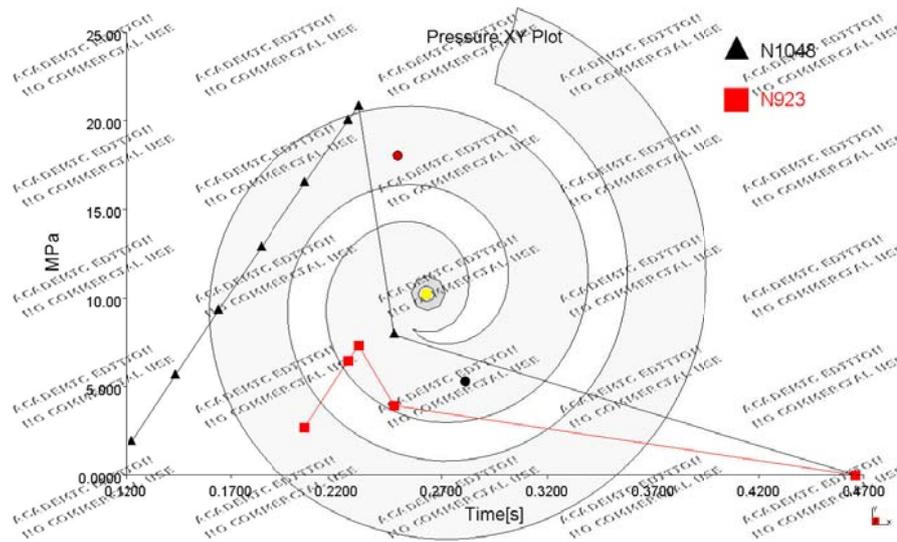
Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 80% - 190°C

Anexo 4 (Capítulo 6) – Datos experimentales y teóricos inyección de polipropileno sobre FALSET

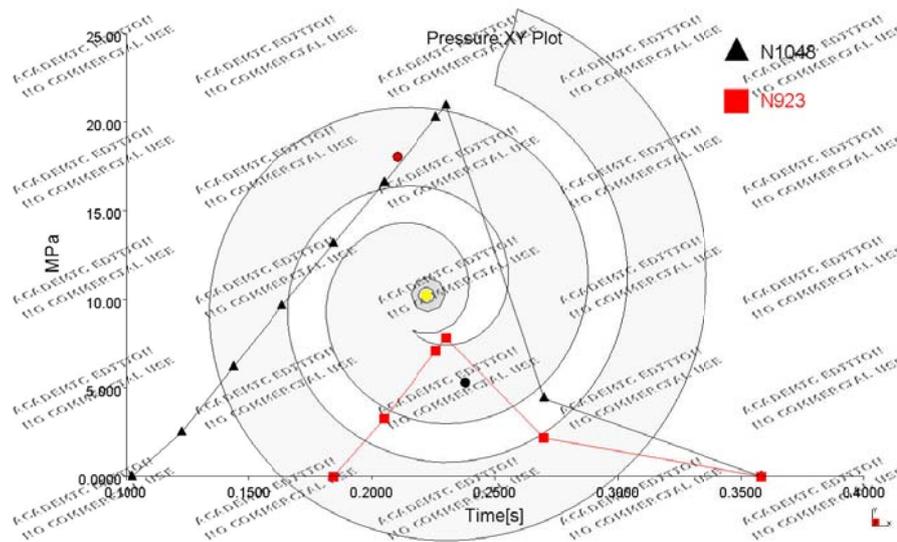
$\Delta P \rightarrow$ Ensayo a 100% de velocidad máxima de la máquina y 190°C de temperatura de inyección



Gráfica Captada por transductores 100% - 190°C

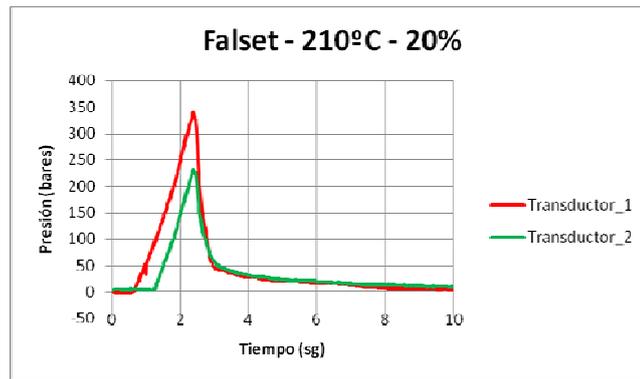


Gráfica Moldflow aplicando modelo sin correcciones 100% - 190°C

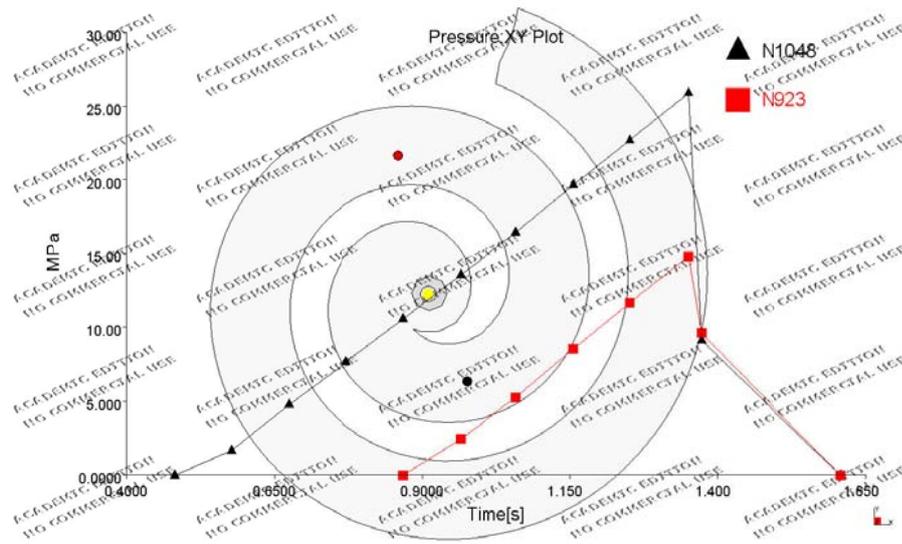


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 100% - 190°C

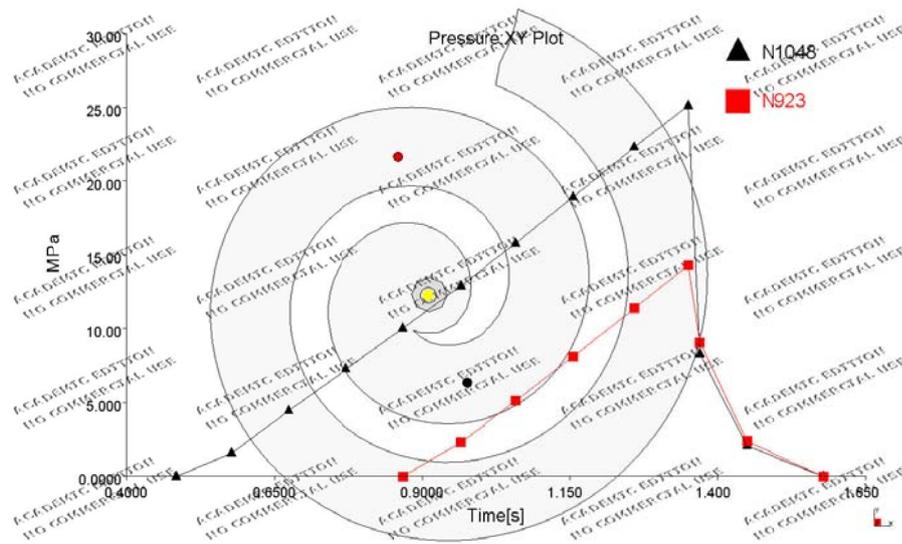
$\Delta P \rightarrow$ Ensayo a 20% de velocidad máxima de la máquina y 210°C de temperatura de inyección



Gráfica Captada por transductores 20% - 210°C



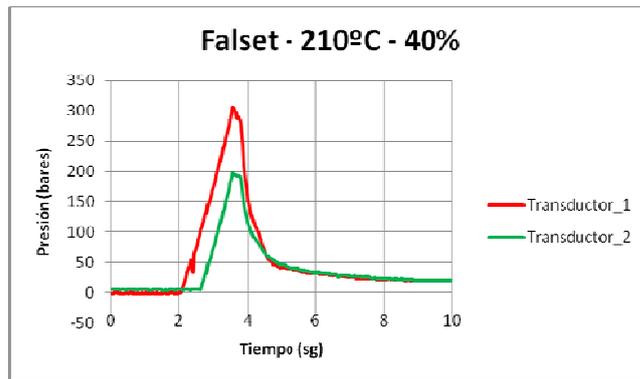
Gráfica Moldflow aplicando modelo sin correcciones 20% - 210°C



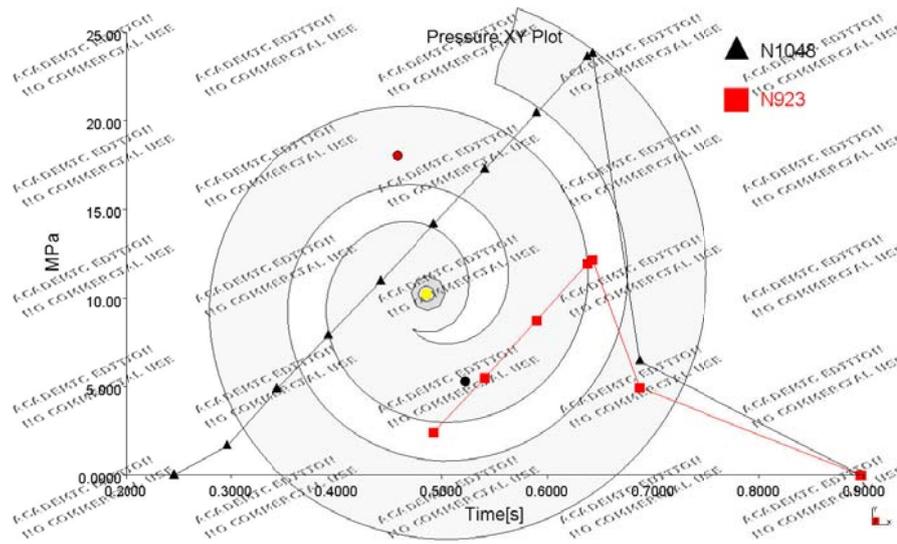
Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 20% - 210°C

Anexo 4 (Capítulo 6) – Datos experimentales y teóricos inyección de polipropileno sobre FALSET

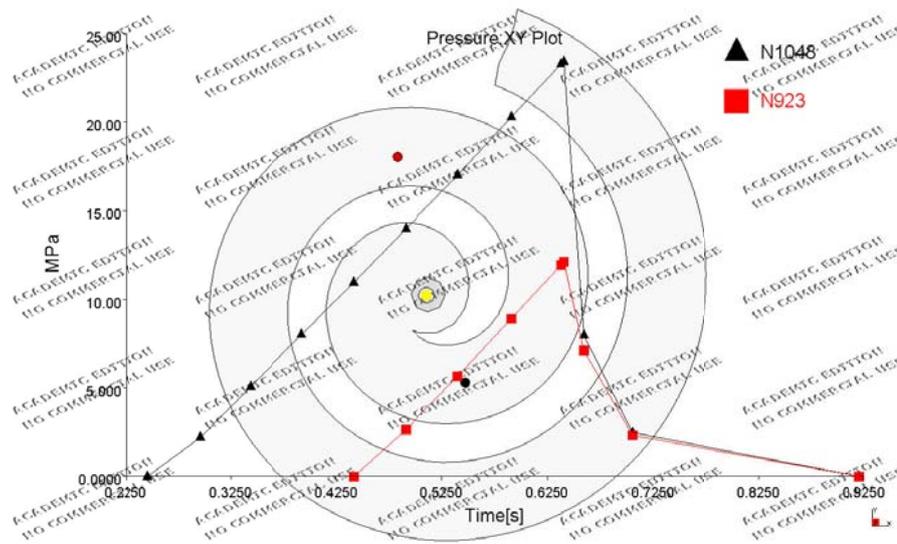
$\Delta P \rightarrow$ Ensayo a 40% de velocidad máxima de la máquina y 210°C de temperatura de inyección



Gráfica Captada por transductores 40% - 210°C

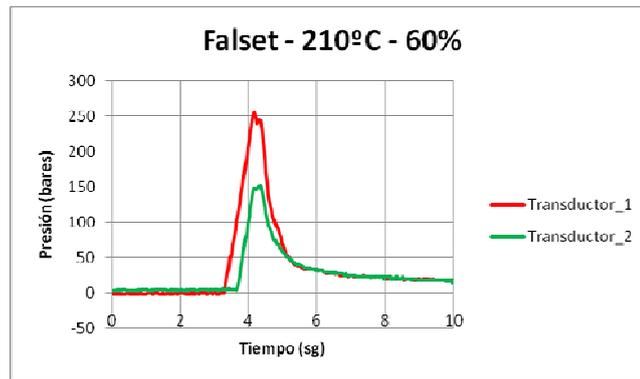


Gráfica Moldflow aplicando modelo sin correcciones 40% - 210°C

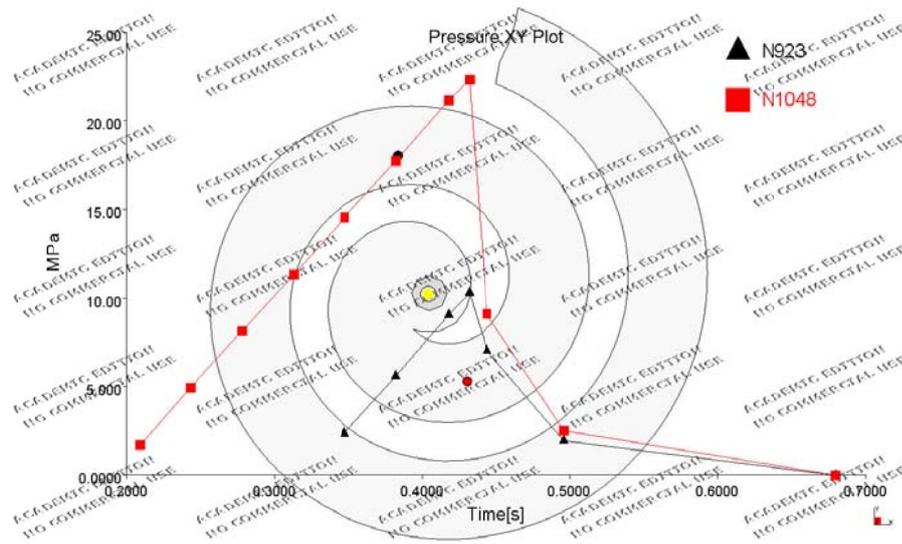


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 40% - 210°C

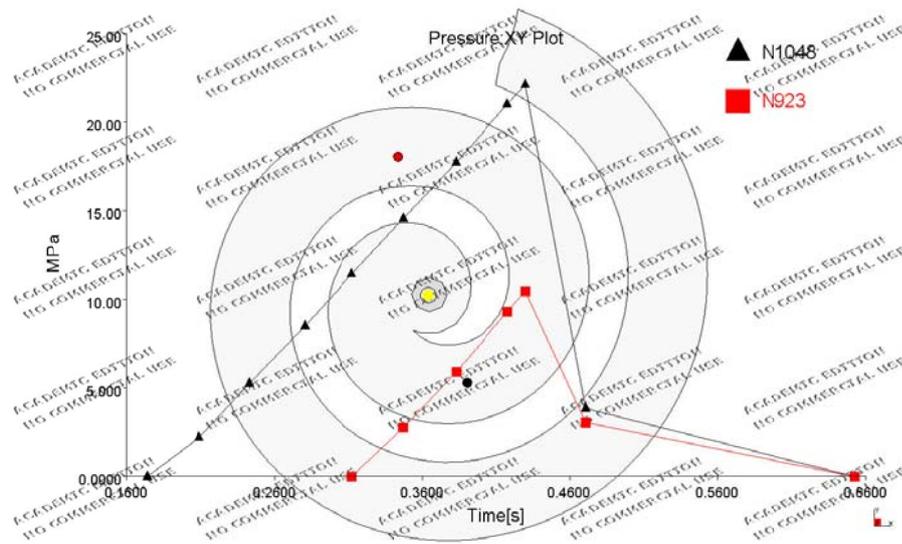
$\Delta P \rightarrow$ Ensayo a 60% de velocidad máxima de la máquina y 210°C de temperatura de inyección



Gráfica Captada por transductores 60% - 210°C



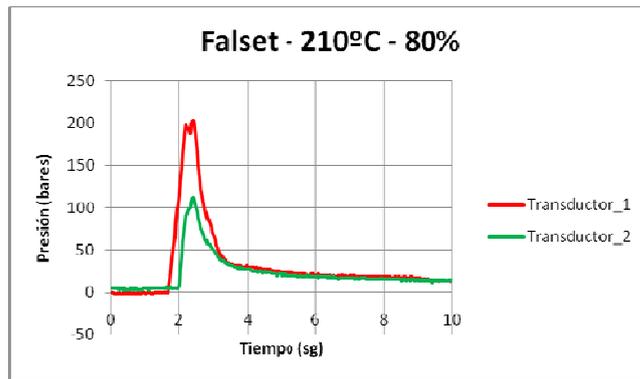
Gráfica Moldflow aplicando modelo sin correcciones 60% - 210°C



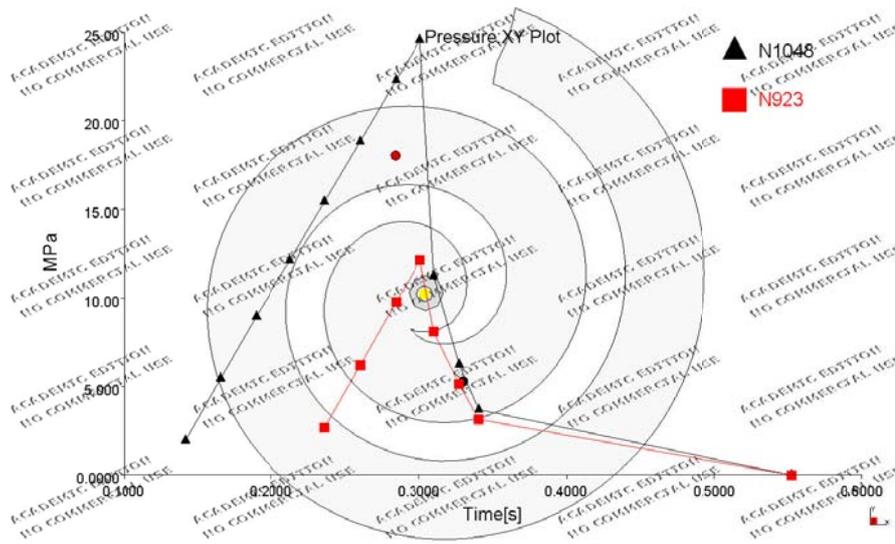
Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 60% - 210°C

Anexo 4 (Capítulo 6) – Datos experimentales y teóricos inyección de polipropileno sobre FALSET

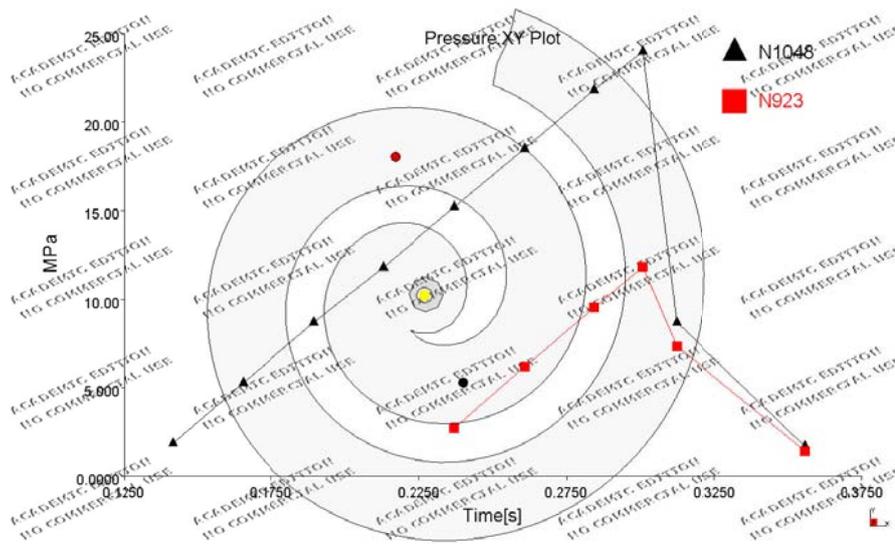
$\Delta P \rightarrow$ Ensayo a 80% de velocidad máxima de la máquina y 210°C de temperatura de inyección



Gráfica Captada por transductores 80% - 210°C

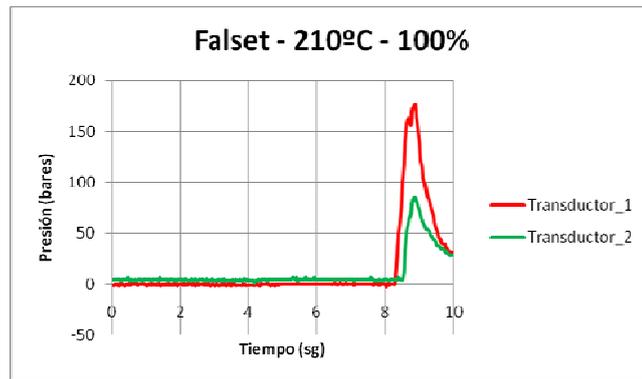


Gráfica Moldflow aplicando modelo sin correcciones 80% - 210°C

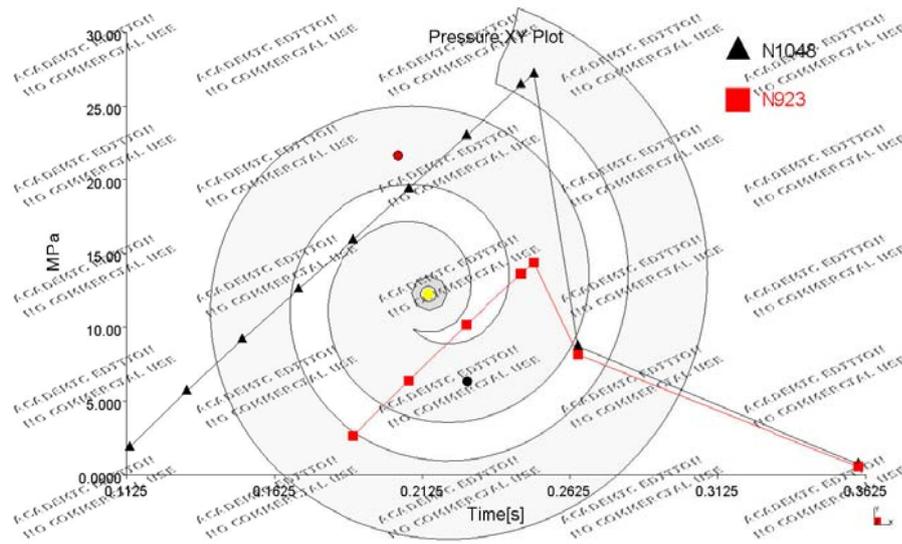


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 80% - 210°C

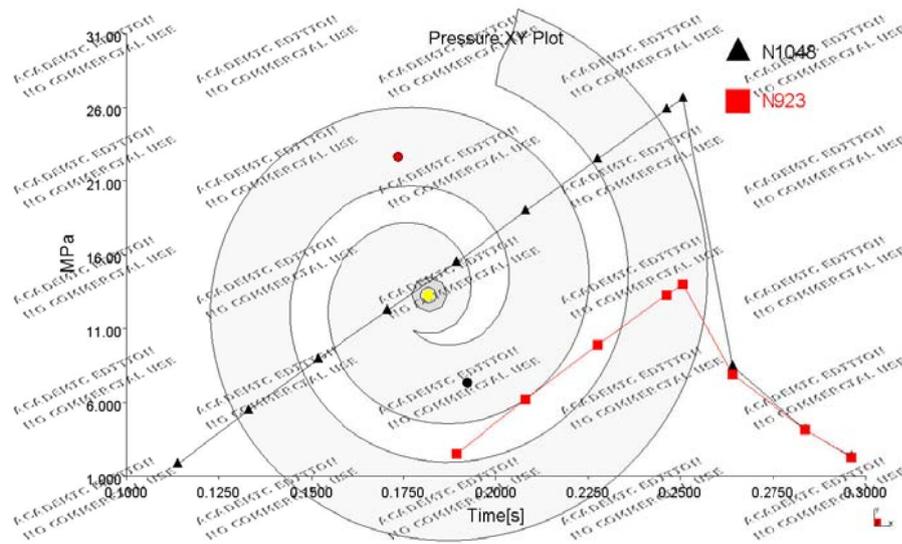
$\Delta P \rightarrow$ Ensayo a 100% de velocidad máxima de la máquina y 210°C de temperatura de inyección



Gráfica Captada por transductores 100% - 210°C



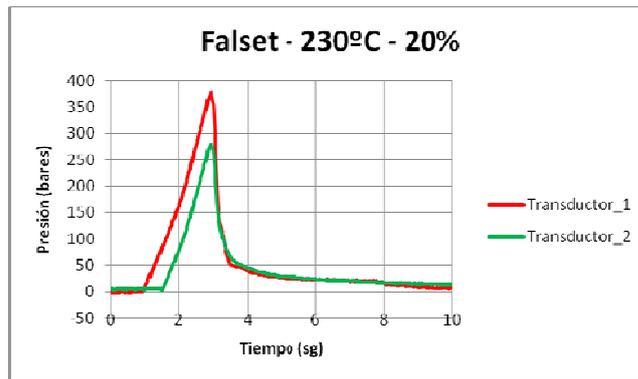
Gráfica Moldflow aplicando modelo sin correcciones 100% - 210°C



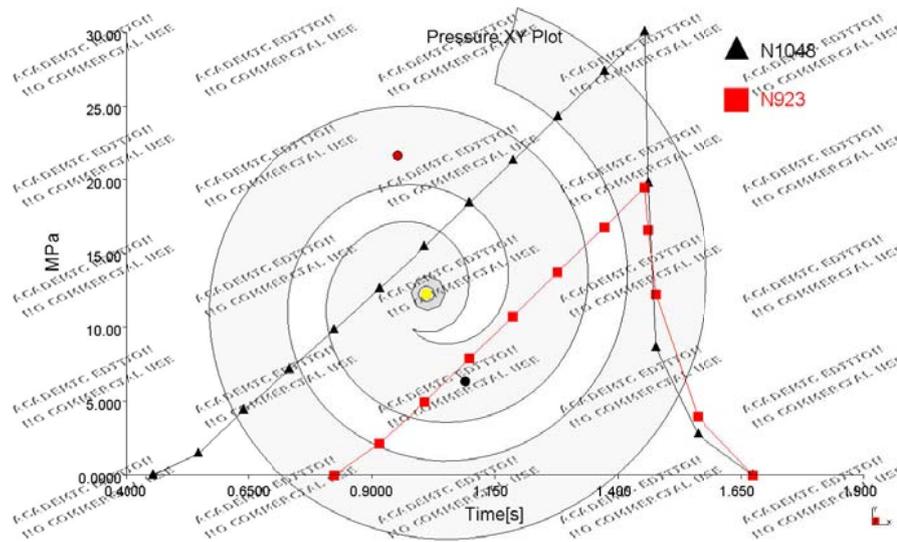
Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 100% - 210°C

Anexo 4 (Capítulo 6) – Datos experimentales y teóricos inyección de polipropileno sobre FALSET

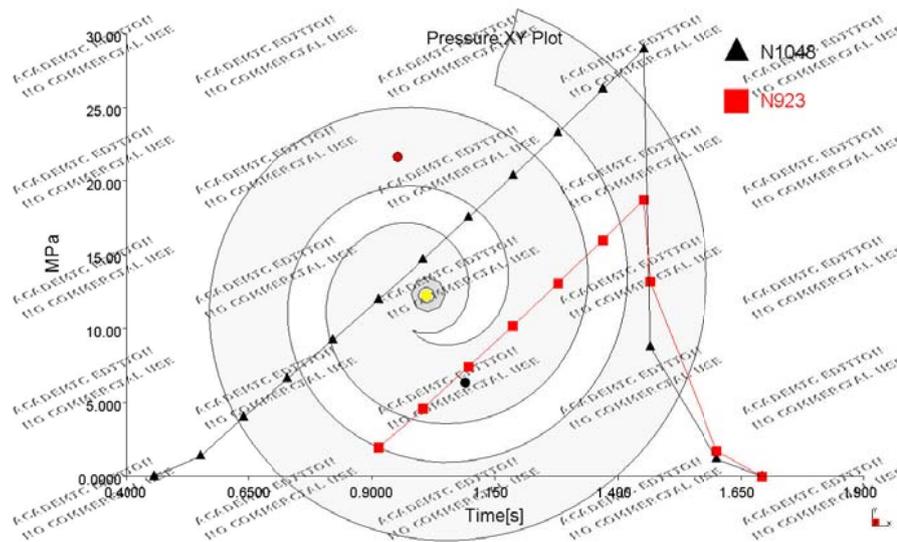
$\Delta P \rightarrow$ Ensayo a 20% de velocidad máxima de la máquina y 230°C de temperatura de inyección



Gráfica Captada por transductores 20% - 230°C

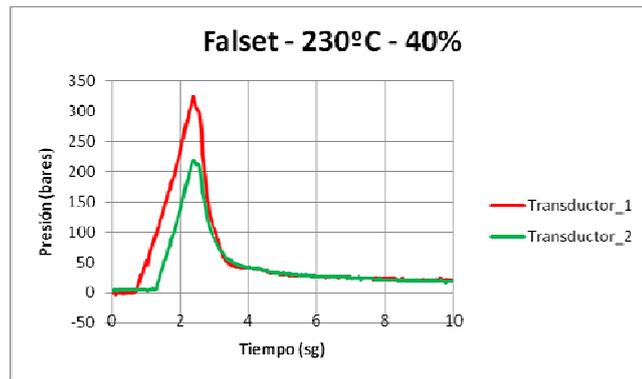


Gráfica Moldflow aplicando modelo sin correcciones 20% - 230°C

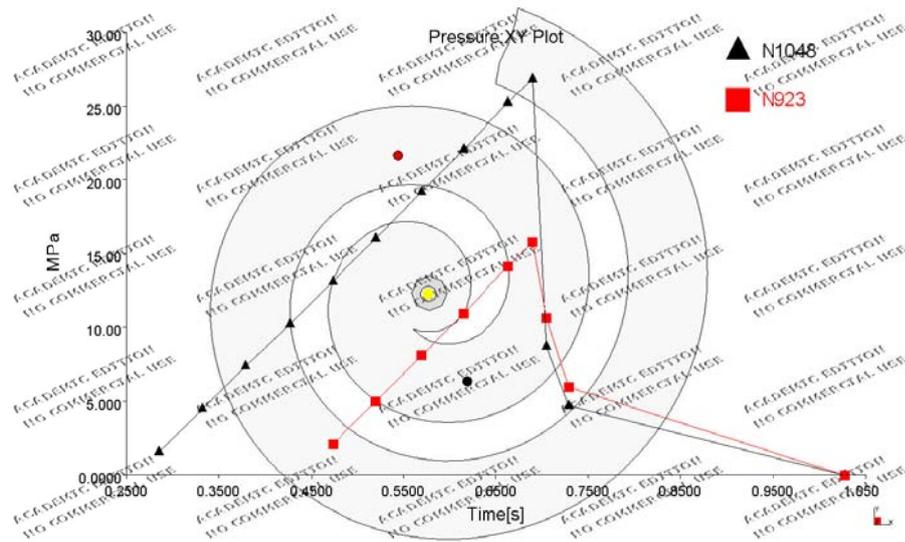


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 20% - 230°C

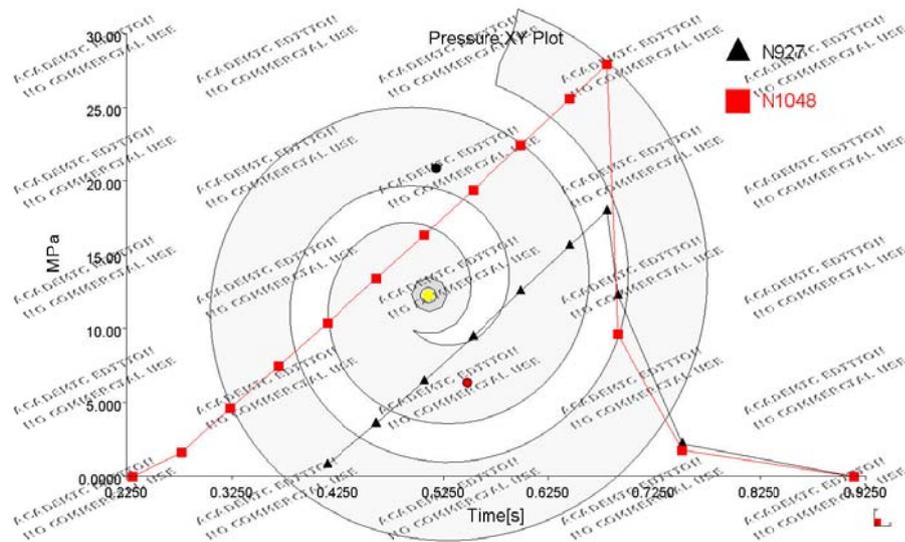
$\Delta P \rightarrow$ Ensayo a 40% de velocidad máxima de la máquina y 230°C de temperatura de inyección



Gráfica Captada por transductores 40% - 230°C



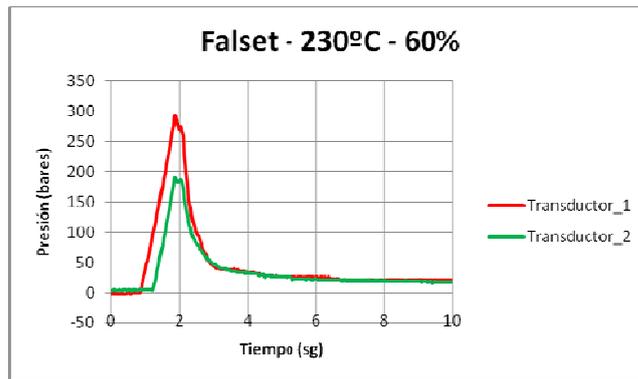
Gráfica Moldflow aplicando modelo sin correcciones 40% - 230°C



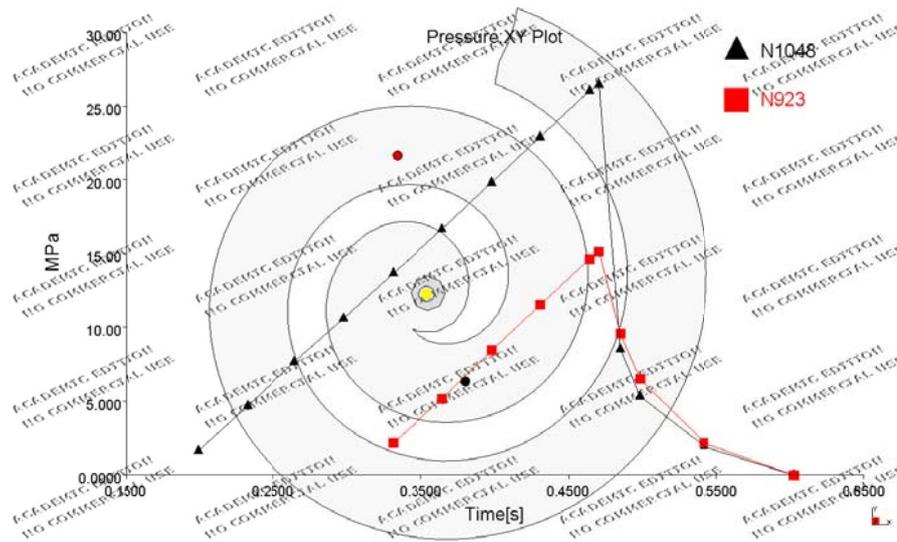
Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 40% - 230°C

Anexo 4 (Capítulo 6) – Datos experimentales y teóricos inyección de polipropileno sobre FALSET

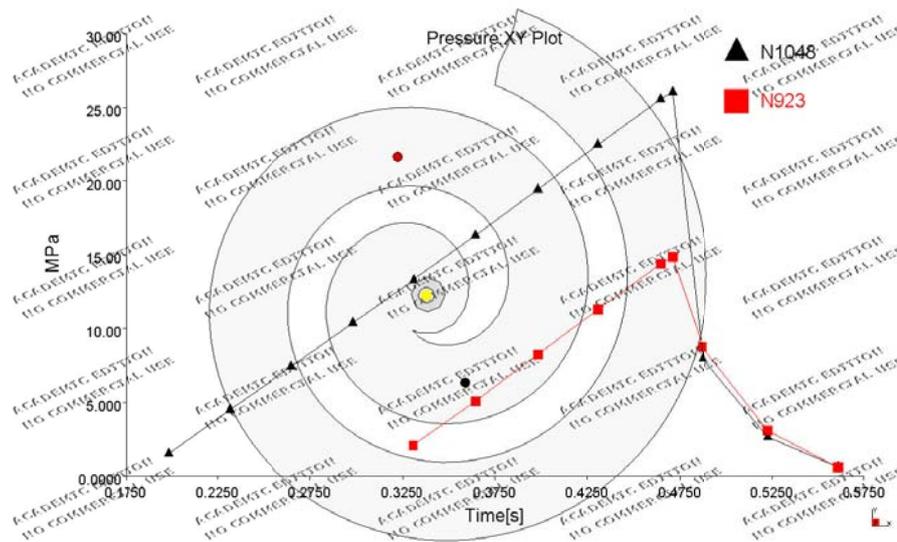
$\Delta P \rightarrow$ Ensayo a 60% de velocidad máxima de la máquina y 230°C de temperatura de inyección



Gráfica Captada por transductores 60% - 230°C

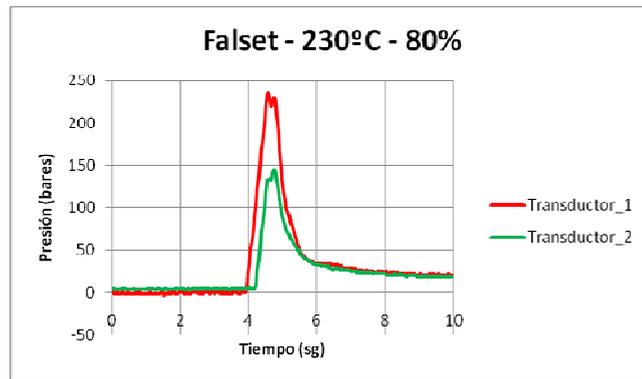


Gráfica Moldflow aplicando modelo sin correcciones 60% - 230°C

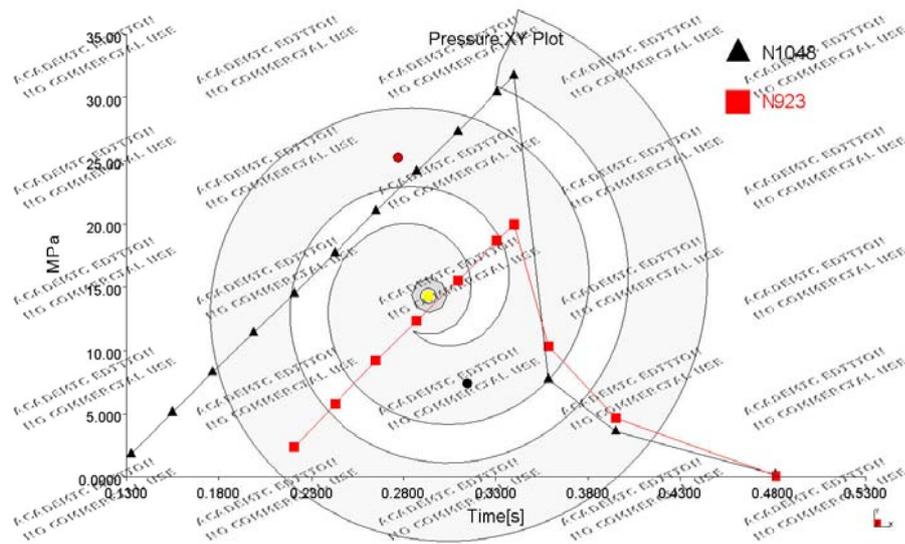


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 60% - 230°C

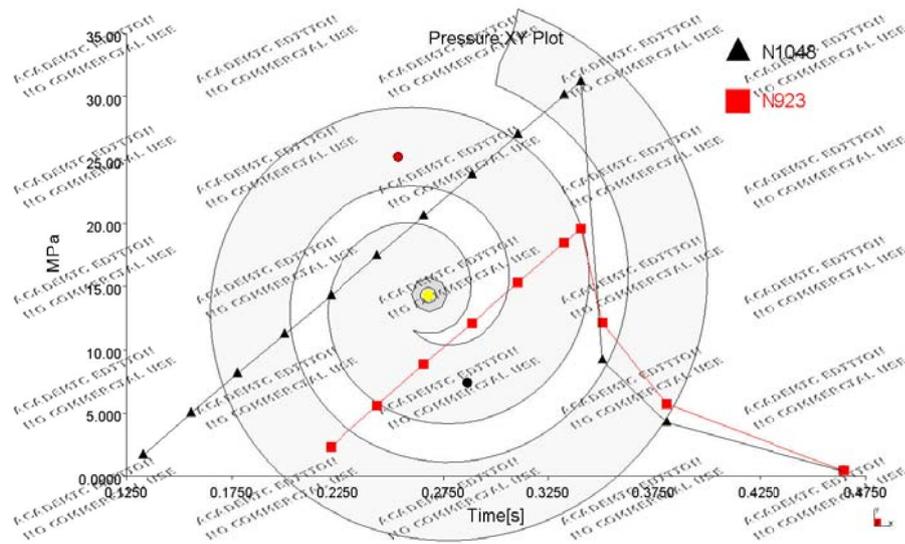
$\Delta P \rightarrow$ Ensayo a 80% de velocidad máxima de la máquina y 230°C de temperatura de inyección



Gráfica Captada por transductores 80% - 230°C



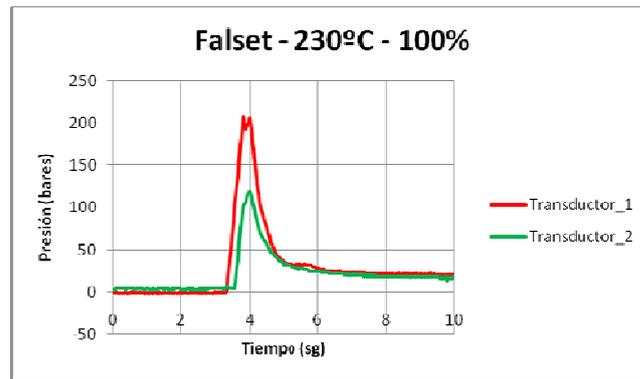
Gráfica Moldflow aplicando modelo sin correcciones 80% - 230°C



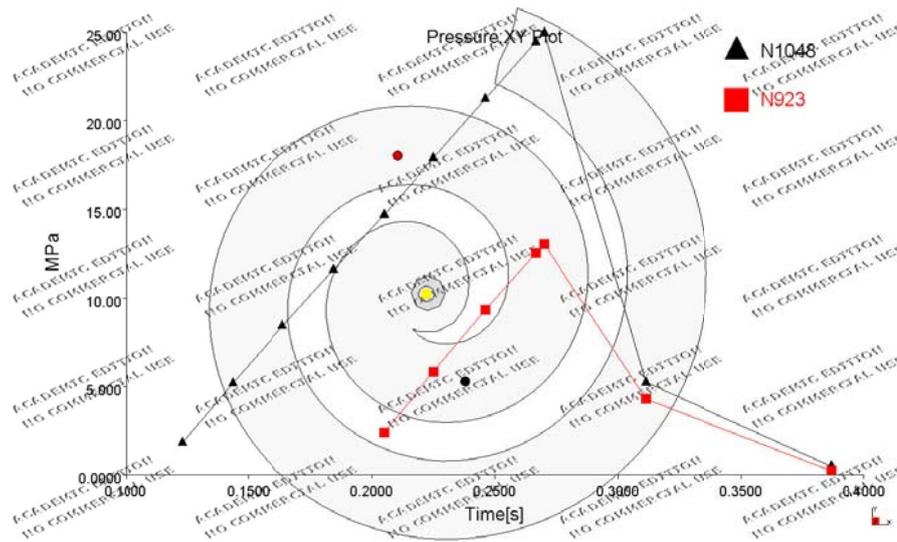
Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 80% - 230°C

Anexo 4 (Capítulo 6) – Datos experimentales y teóricos inyección de polipropileno sobre FALSET

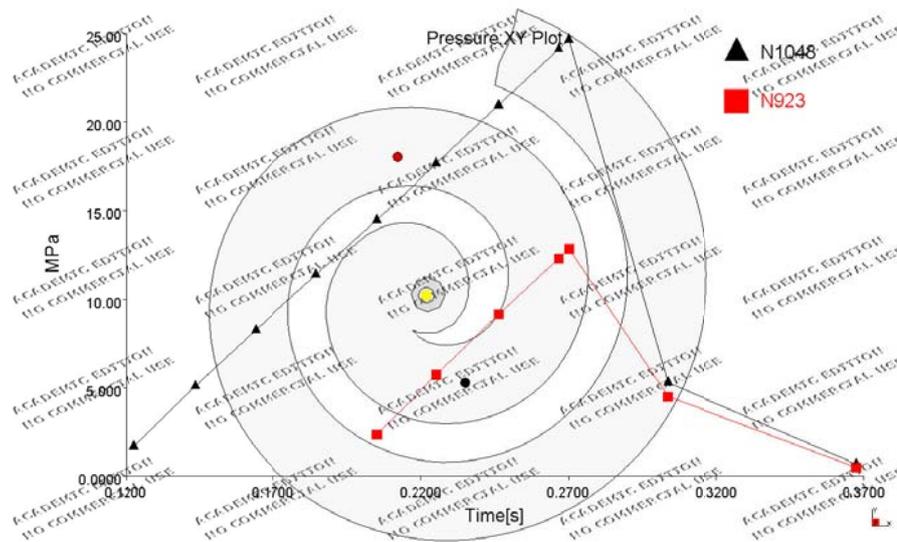
$\Delta P \rightarrow$ Ensayo a 100% de velocidad máxima de la máquina y 230°C de temperatura de inyección



Gráfica Captada por transductores 100% - 230°C



Gráfica Moldflow aplicando modelo sin correcciones 100% - 230°C



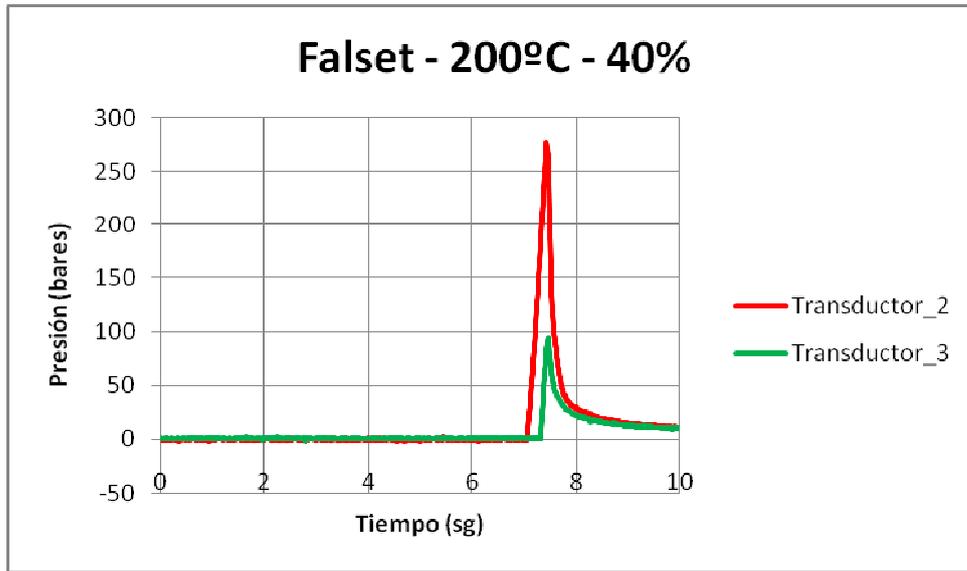
Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 100% - 230°C

GRAFICAS OBTENIDAS CON MOLDE ESPIRAL MONITORIZADO

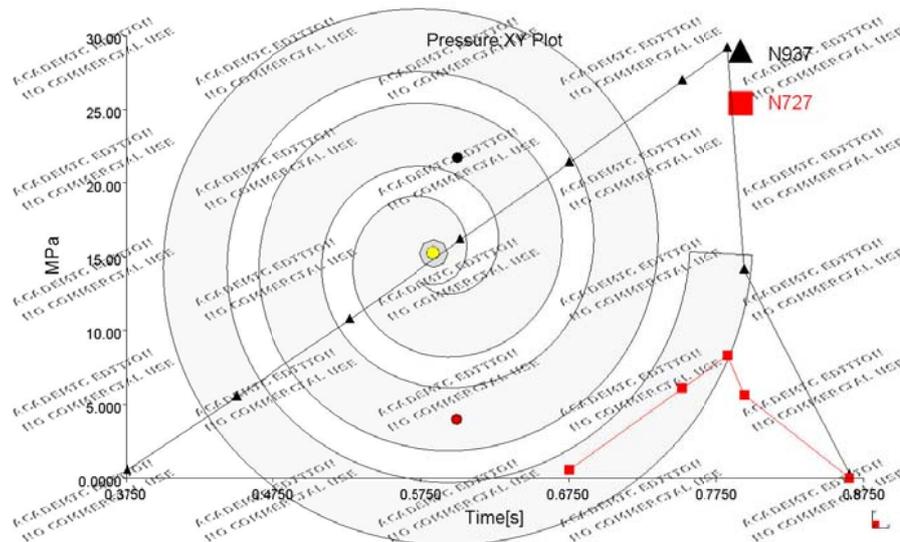
**GRAFICAS OBTENIDAS POR SIMULACION CON MOLDFLOW CON MODELO DE PP PHC31 SOBRE
FALSET CORREGIDO**

**→ COMPARACION DE LAS PRESIONES MAXIMAS MEDIDAS EN TRANSDUCTOR 2 Y
TRANSDUCTOR 3 EN LA INYECCION DE ESPIRALES SOBRE FALSET**

Presión máxima en T2 y T3 → 40% de velocidad máxima de máquina y 200°C

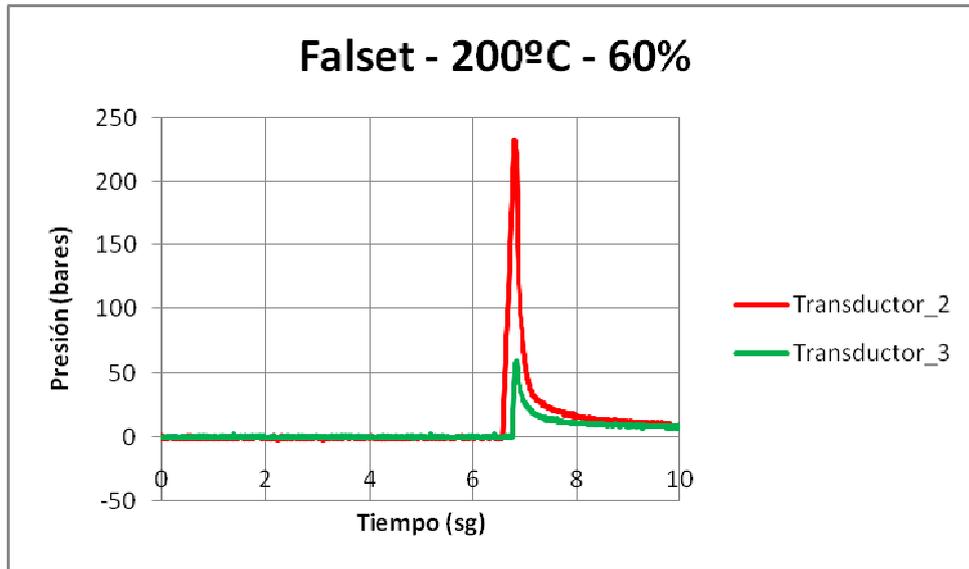


Gráfica Captada por transductores 40% - 200°C

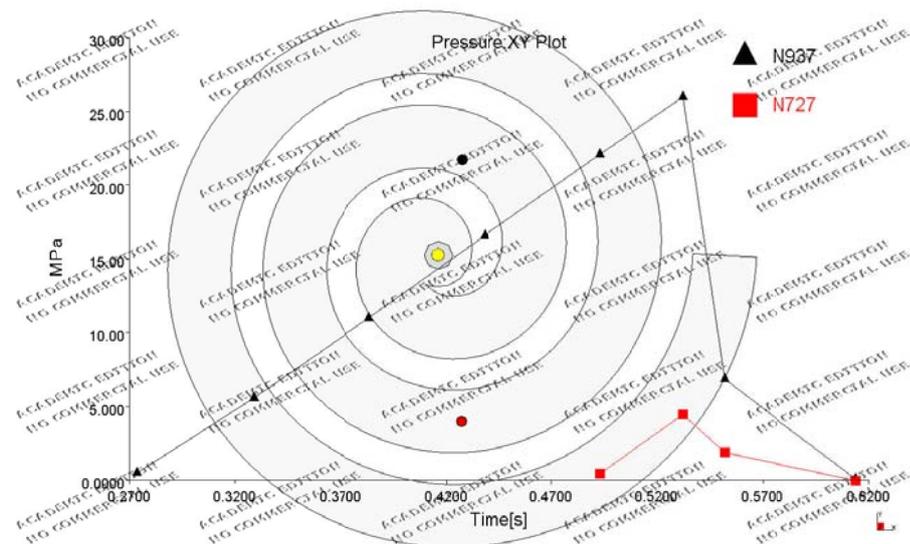


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 40% - 200°C

Presión máxima en T2 y T3 → 60% de velocidad máxima de máquina y 200°C

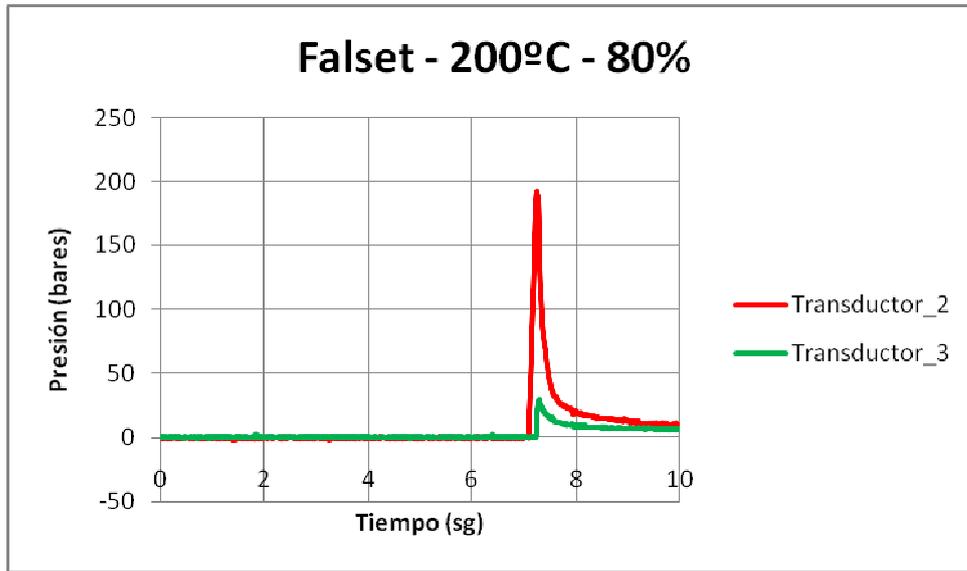


Gráfica Captada por transductores 60% - 200°C

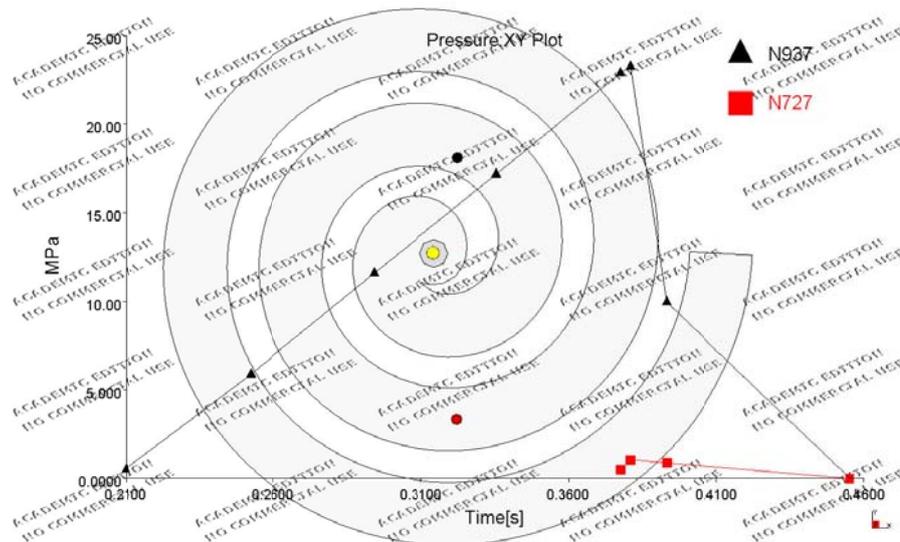


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 60% - 200°C

Presión máxima en T2 y T3 → 80% de velocidad máxima de máquina y 200°C

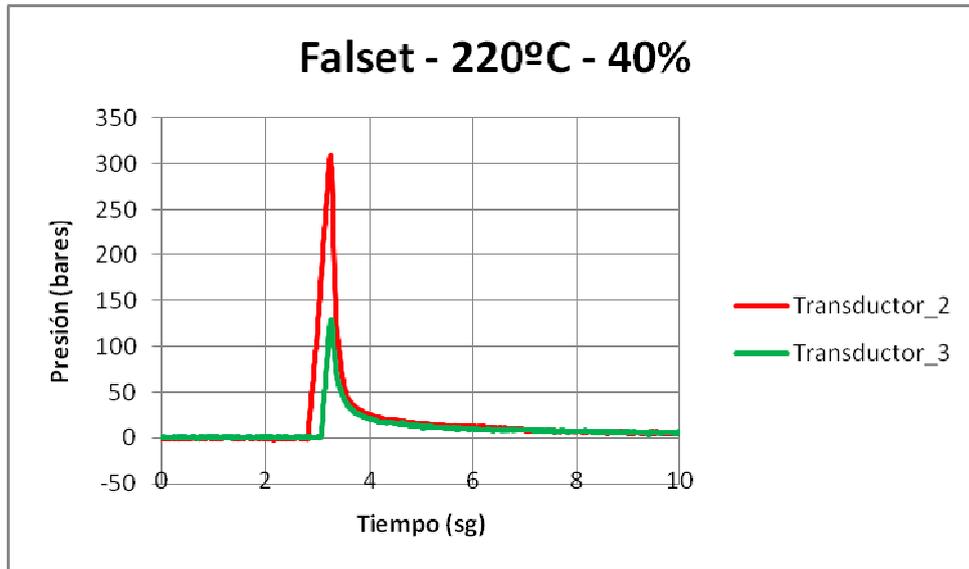


Gráfica Captada por transductores 80% - 200°C

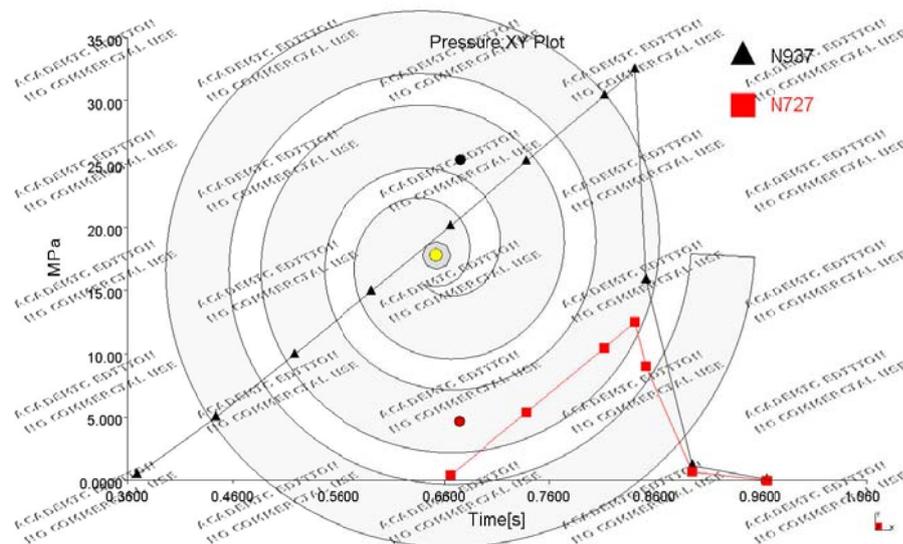


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 80% - 200°C

Presión máxima en T2 y T3 → 40% de velocidad máxima de máquina y 220°C

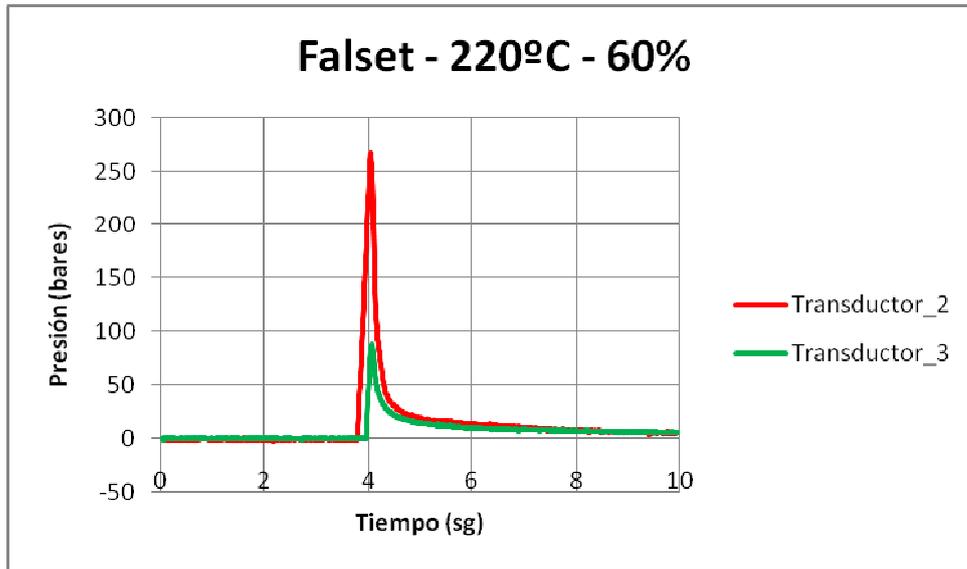


Gráfica Captada por transductores 40% - 220°C

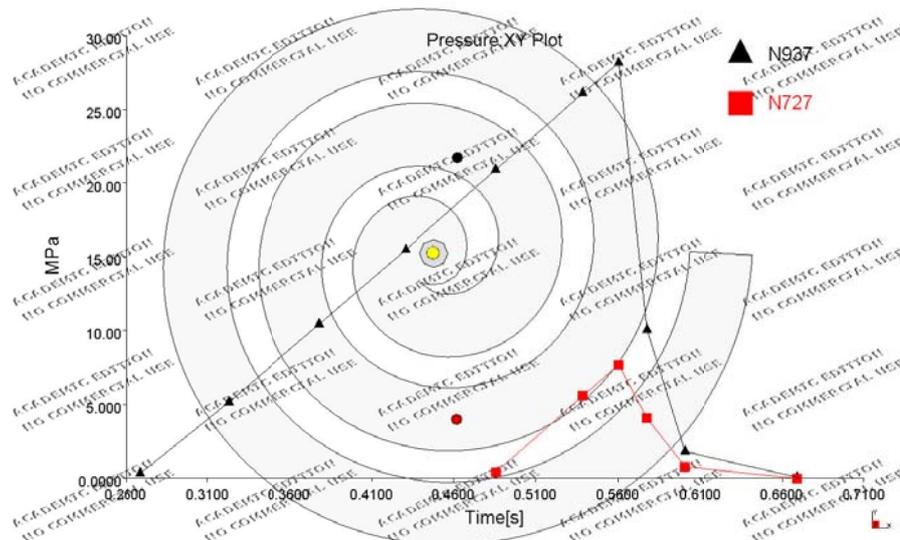


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 40% - 220°C

Presión máxima en T2 y T3 → 60% de velocidad máxima de máquina y 220°C

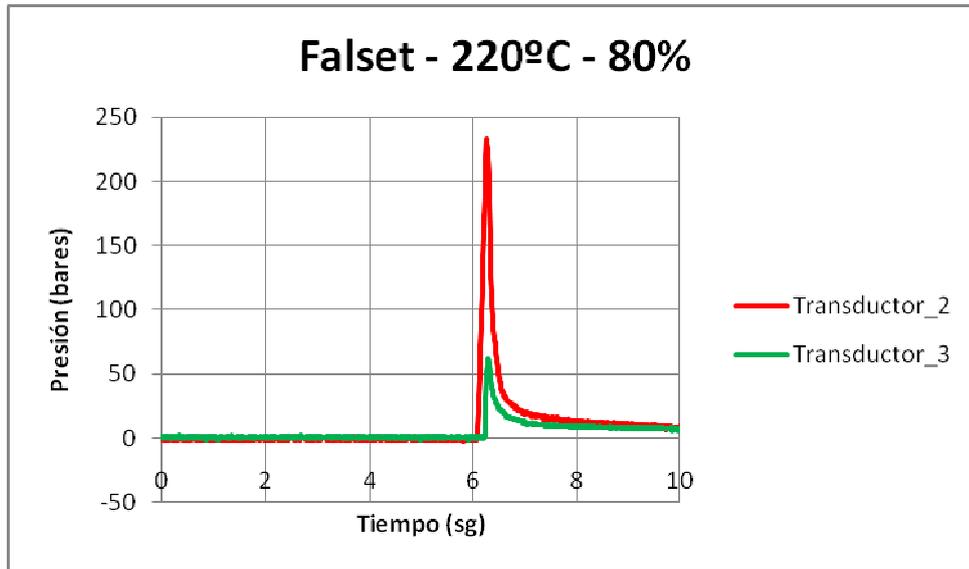


Gráfica Captada por transductores 60% - 220°C

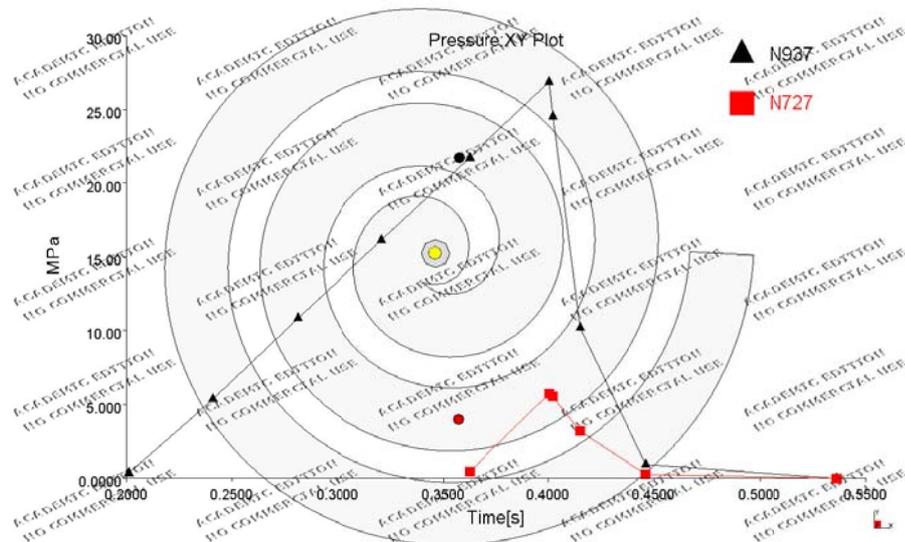


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 60% - 220°C

Presión máxima en T2 y T3 → 80% de velocidad máxima de máquina y 220°C

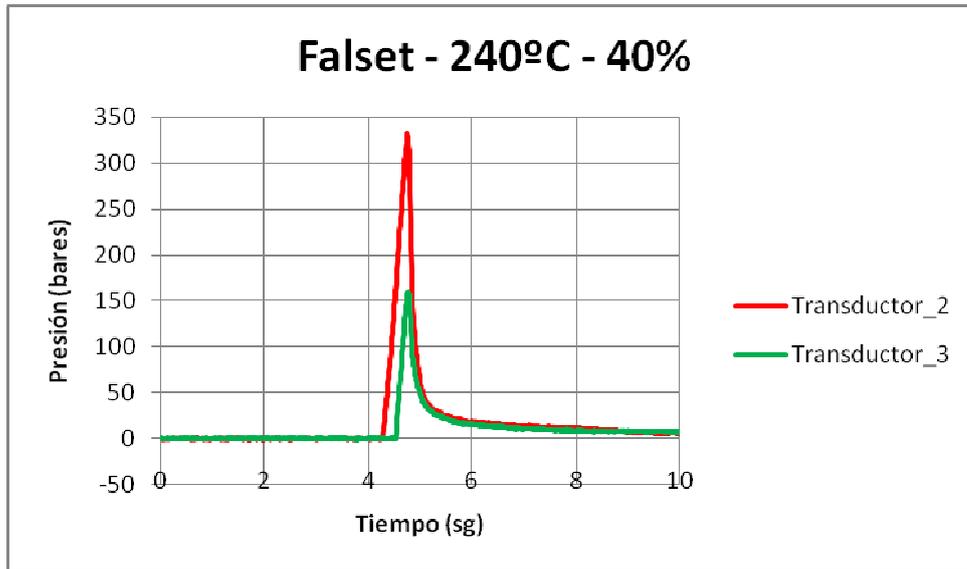


Gráfica Captada por transductores 80% - 220°C

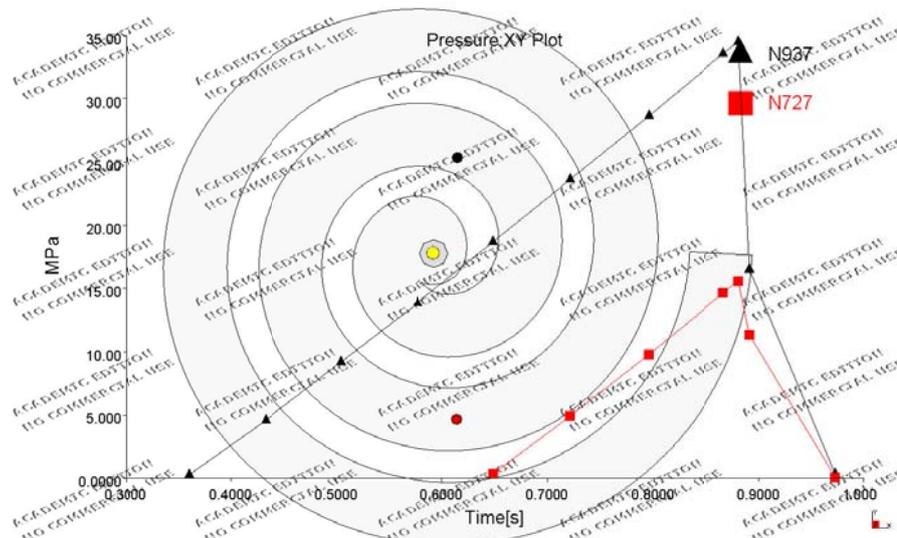


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 80% - 220°C

Presión máxima en T2 y T3 → 40% de velocidad máxima de máquina y 240°C

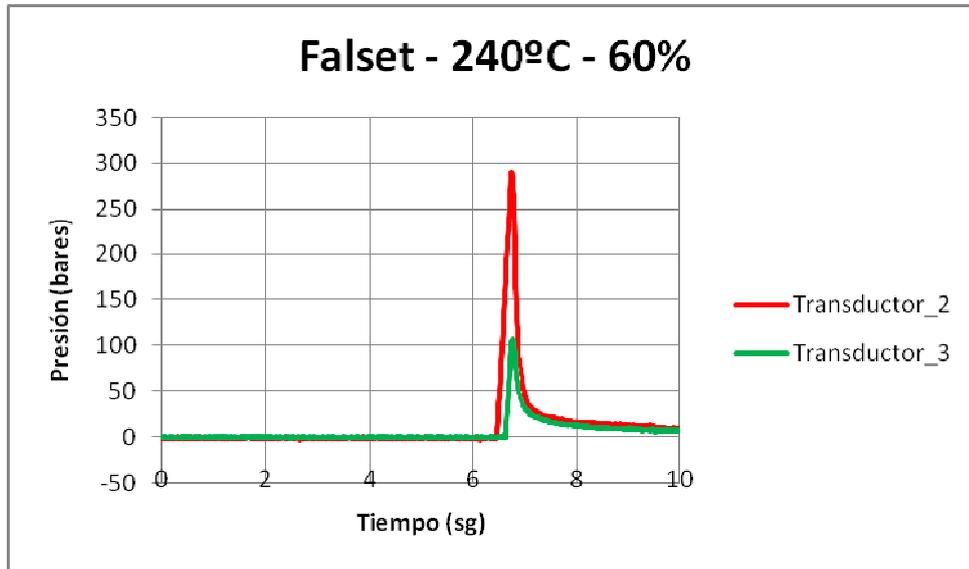


Gráfica Captada por transductores 40% - 240°C

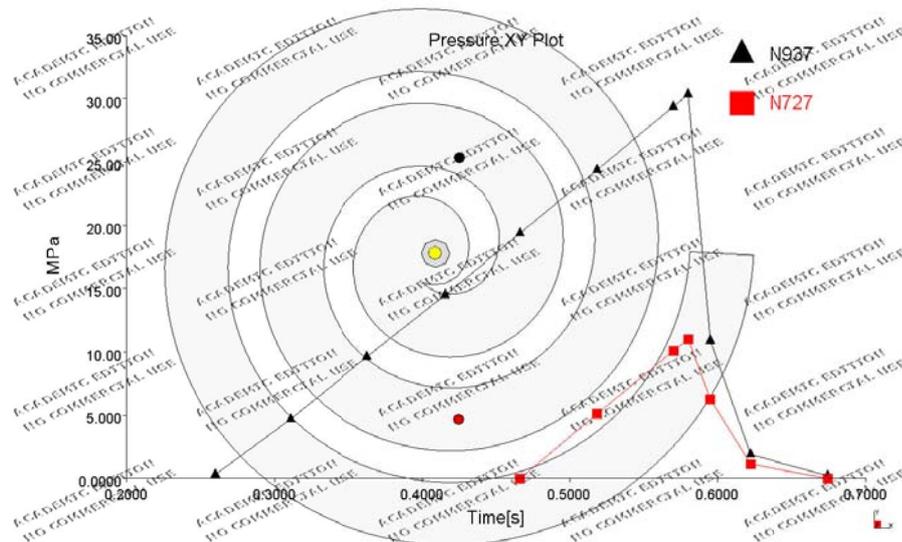


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 40% - 240°C

Presión máxima en T2 y T3 → 60% de velocidad máxima de máquina y 240°C

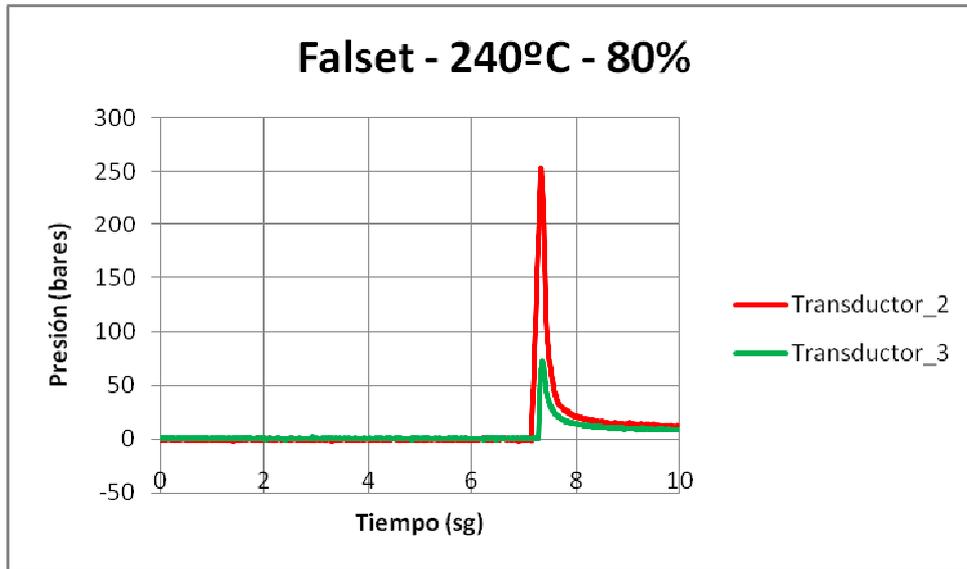


Gráfica Captada por transductores 60% - 240°C

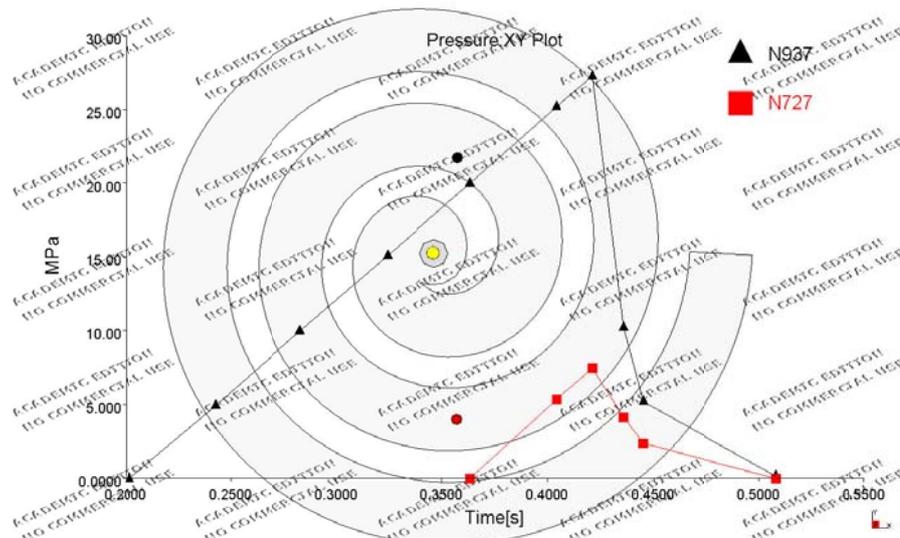


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 60% - 240°C

Presión máxima en T2 y T3 → 80% de velocidad máxima de máquina y 240°C



Gráfica Captada por transductores 80% - 240°C

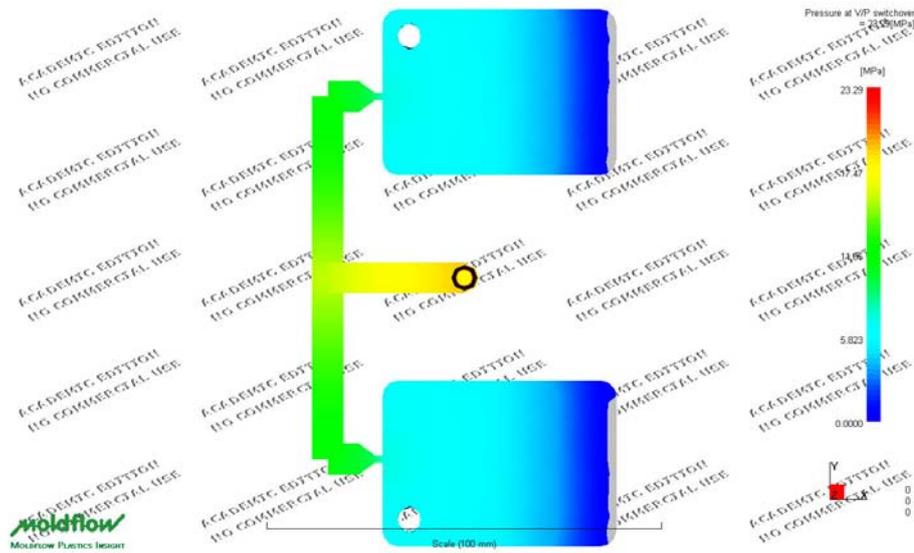


Gráfica Moldflow aplicando modelo con corrección de capa fría y diagonal 80% - 240°C

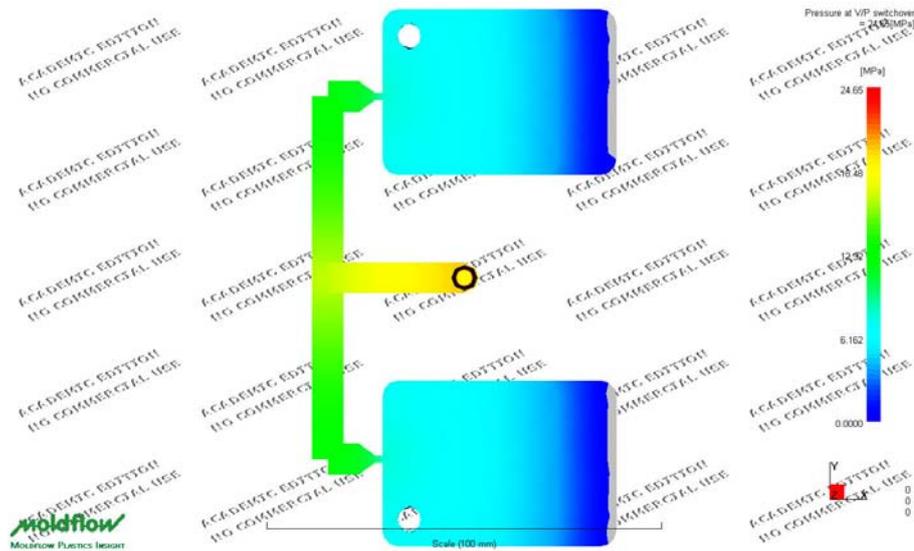
**DISTRIBUCION DE PRESIONES OBTENIDA POR SIMULACION CON MOLDFLOW CON MODELO DE PP
PHC31 SOBRE FALSET CORREGIDO**

**→ COMPARACION DE LAS PRESIONES MAXIMAS MEDIDAS EN MAQUINA Y OBTENIDAS CON
LA SIMULACION DE LLAVEROS SOBRE FALSET**

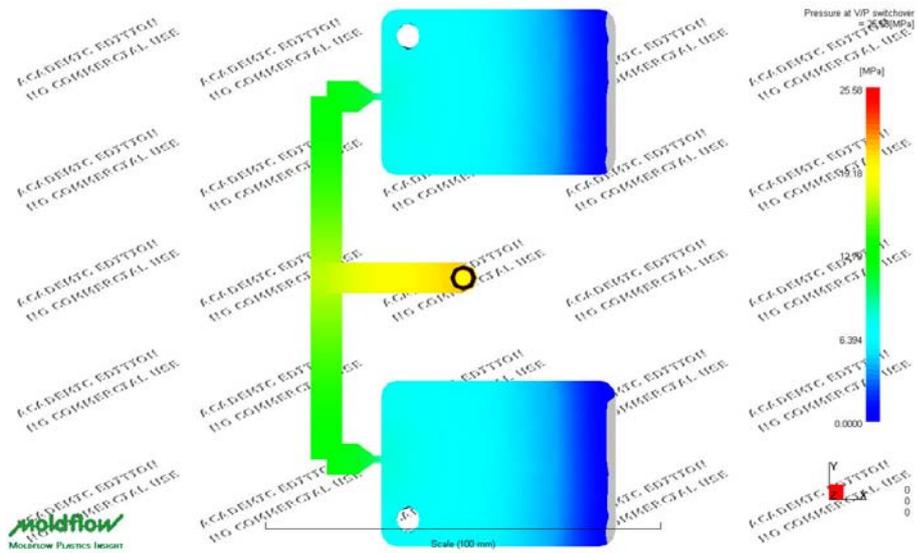
Presión máxima en de llenado en llaveros sobre FALSET



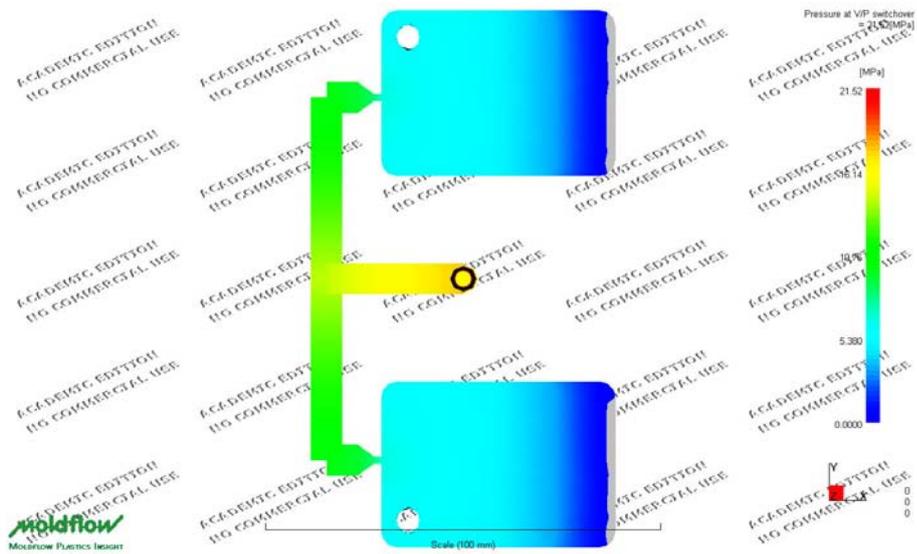
40% de velocidad máxima de máquina y 220°C



70% de velocidad máxima de máquina y 220°C

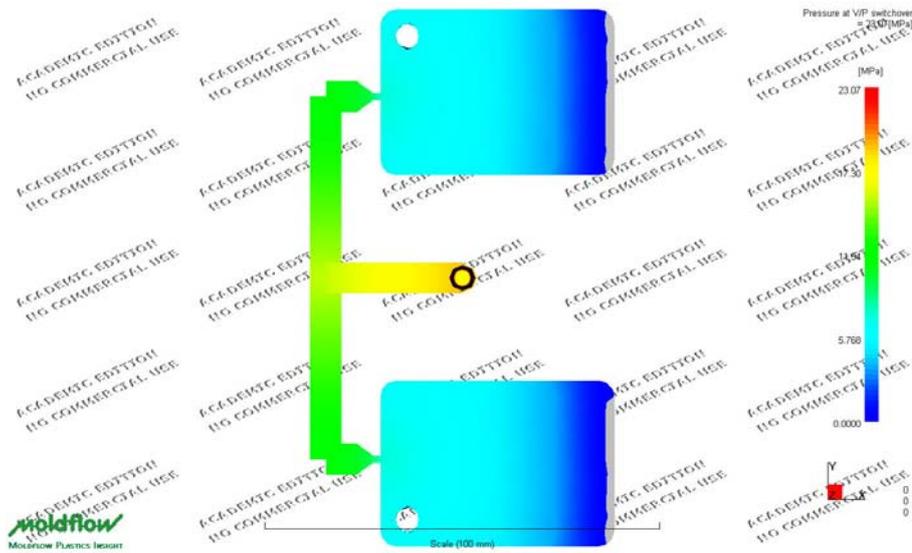


100% de velocidad máxima de máquina y 220°C

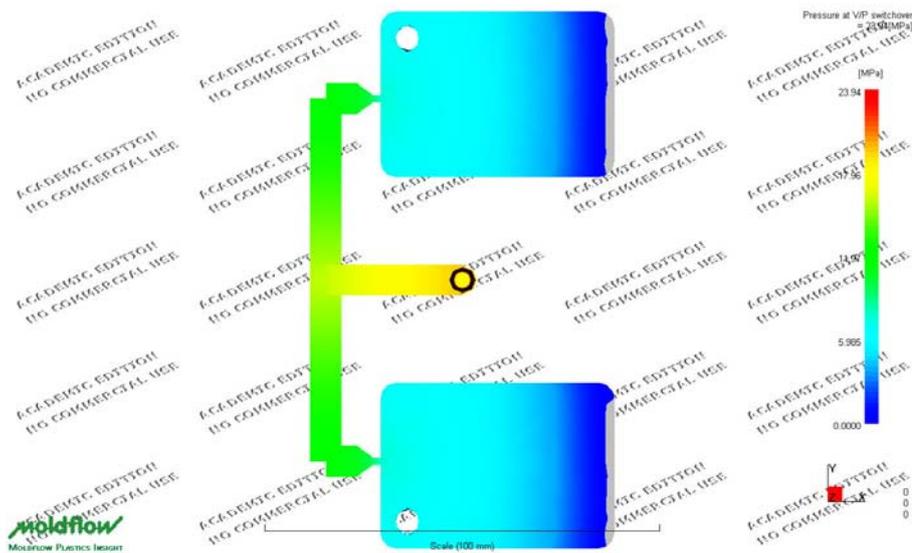


40% de velocidad máxima de máquina y 240°C

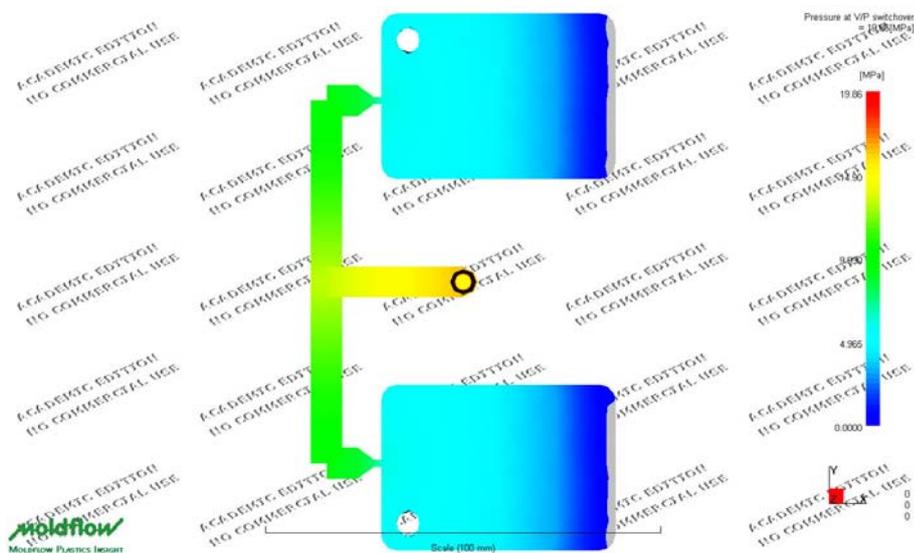
Anexo 4 (Capítulo 6) – Datos experimentales y teóricos inyección de polipropileno sobre FALSET



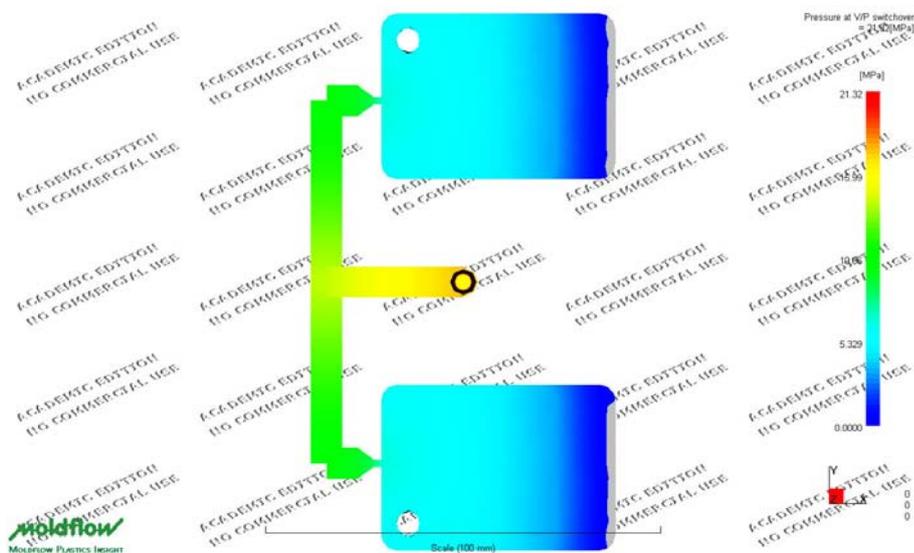
70% de velocidad máxima de máquina y 240°C



100% de velocidad máxima de máquina y 240°C

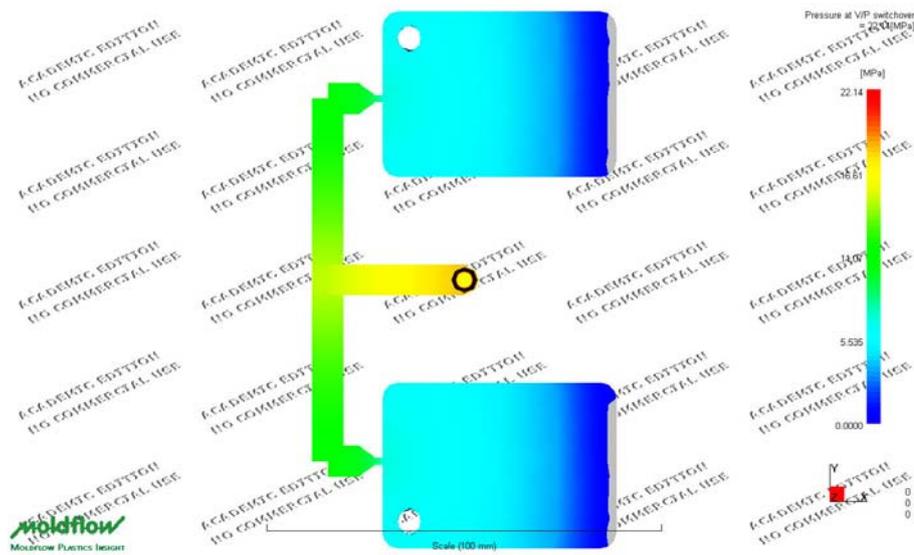


40% de velocidad máxima de máquina y 260°C



70% de velocidad máxima de máquina y 260°C

Anexo 4 (Capítulo 6) – Datos experimentales y teóricos inyección de polipropileno sobre FALSET



100% de velocidad máxima de máquina y 260°C