

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Estandarización del proceso de inyección en el laboratorio de polímeros del ITM

Daniel Arango Torres

Juan José Zapata Gómez

Ingeniería Electromecánica

**Director del trabajo de grado
Carlos Andrés Vargas Isaza**

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

28 de Marzo de 2016

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RESUMEN

En el procesamiento por inyección de termoplásticos es de vital importancia realizar una puesta a punto de las piezas a inyectar en un molde. Si esto no se realiza las piezas inyectadas obtenidas no cumplirán con los requerimientos de calidad, por ejemplo peso, mínimos defectos y deformaciones en las piezas inyectadas. Es por este motivo, que cuando se emprende la tarea de hacer el montaje de un molde de inyección nuevo en una inyectora o se cambia de materiales poliméricos se debe establecer una metodología para obtener el ajuste inicial adecuado del proceso de inyección.

En el laboratorio de materiales poliméricos del ITM se dispone de una inyectora de termoplásticos y un molde de probetas para pruebas mecánicas de tensión. Con estos equipos se prestan servicios de inyección y pruebas mecánicas de diferentes materiales poliméricos a empresas del sector.

Una actividad importante para realizar los servicios indicados es establecer las condiciones iniciales de inyección de los diferentes materiales poliméricos, siendo importante parametrizar y estandarizar una metodología de ajuste o puesta a punto del proceso de inyección de los diferentes materiales poliméricos y moldes a emplear en la inyectora del laboratorio, para de esta forma prestar un servicio eficiente y con calidad del equipo de procesamiento por inyección del laboratorio de polímeros del ITM.

Por lo antes mencionado es el propósito de este trabajo de grado, la integración y programación de una herramienta de cálculo elaborada en una tabla dinámica en el Excel con los parámetros del proceso de inyección, teniendo en cuenta el material a inyectar, condiciones del proceso de inyección y cantidad de material a inyectar, Facilitando así el proceso de inyección.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RECONOCIMIENTOS

De una forma muy emotiva todos los agradecimientos a el profesor Carlos Andrés Vargas Isaza por su gran capacitación para tratar temas de suma importancia en el desarrollo de este trabajo que fueron claves para ser contundentes con toma de decisiones para darle continuidad a este gran proceso, a las herramientas tecnológicas que fueron sumamente importantes para modelar el sistema de estandarización un gran reconocimiento, a nuestras familias por apoyarnos siempre sin lugar a duda con el proceso de investigación, y cada una de las personas que dieron esa colaboración no solo con conocimiento sino también a nivel emocional ya que como seres humanos es mucha motivación el cariño de los seres que nos rodean.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

ACRÓNIMOS

Inyección: Acción que consiste en introducir un sólido, líquido o un gas a presión en el interior de un cuerpo.

Milímetro (mm): Medida de longitud, de símbolo *mm*, que es igual a la milésima parte de un metro.

Gramo (g): Medida de masa, de símbolo *g*, que es igual a la milésima parte de un kilogramo.

Polipropileno: Polímero sintético obtenido por polimerización del propileno.

Norma ISO 9000: se refiere a la certificación que se otorga a las compañías que tienen procesos productivos de alta calidad.

Rpm: Número de rotaciones completadas cada minuto por un cuerpo que gira alrededor de un eje.

Polímero: Los polímeros se definen como macromoléculas compuestas por una o varias unidades químicas (monómeros) que se repiten a lo largo de toda una cadena. Los polímeros se producen por la unión de cientos de miles de moléculas pequeñas denominadas monómeros que forman enormes cadenas de las formas más diversas. Algunas parecen fideos, otras tienen ramificaciones. Algunas más se asemejan a las escaleras de mano y otras son como redes tridimensionales.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN.....	10
1.1 Justificación	11
1.2 Planteamiento del problema.....	11
1.3 OBJETIVOS.....	11
1.3.1 Generales.....	11
1.3.2 Específicos.....	11
2. MARCO TEÓRICO.....	12
2.1 Procesos de inyección.....	13
2.2 Cierre de molde.....	14
2.2.2 Fase de Llenado.....	14
2.2.3 Plastificación o dosificación.....	19
2.2.4 Apertura del molde y expulsión de la pieza.....	20
2.2.5 Enfriamiento.....	21
2.2.6 Parámetros de una Inyectora.....	21
2.2.7 Especificaciones de la maquina Inyectora del laboratorio de polímeros del ITM.....	23
2.2.8 Proceso de Inyección de termoplásticos.....	25
2.2.9 Optimización y ajuste del proceso de Inyección.....	25

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3. METODOLOGÍA	25
3.3.1 Estudio del proceso de inyeccion de piezas.....	27
3.3.2 Recopilacion de Informacion tecnica de propiedades generales de polimeros a inyectar.....	27
3.3.3 Generacion de una herramienta de calculo para la puesta a punto inicial del proceso de inyeccion.....	27
3.3.4 Validacion de la herramienta de calculo.....	27
3.3.5 Elaboracion del protocolo para el ajuste en el proceso de inyeccion e informe final.....	27
3.3.6 Se consulta en diferentes bases de datos y libros.....	28
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	30
4.1 El resultado que se logro.....	29
4.4.2 Longitud de llenado volumetrico.....	29
4.4.3 Cojin Calculado.....	29
4.4.4 Longitud total calculada.....	29
4.4.5 Tiempo de inyeccion calculado.....	29
4.4.6 Tiempo de Plastificacion	29
4.4.7 Tiempo de pospresion.....	30
4.4.8 Tiempo de enfriamiento.....	30
4.4.9 Tiempo de Ciclo.....	30
4.5.1 Caída de presión.....	31
4.5.2 Presion Hidraulica.....	33

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO...34

5.1 Se concluye afirmando que se desarrolla una herramienta.....34

5.5.2 En la organización de la tesis que aborda este trabajo de investigación.....34

5.5.3 Cabe resaltar las fortaleza con la que conto el equipo de trabajo..34

5.5.4 Se obtuvo una limitación.....34

5.5.5 Durante el desarrollo de investigación.....35

5.5.6 Se recomienda trabajar.....35

6. REFERENCIAS 39

7. APÉNDICE40

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

LISTA DE IMAGENES

	Pág.
Imagen 1 Cierre del molde , Fuente, (tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.co).....	10
Imagen 2 Fase de llenado, Fuente, (tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.co).....	15
Imagen 3 Plastificación o Dosificación, Fuente, (tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.co)	19
Imagen 4 Apertura del molde, Fuente, (tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.co)	20
Imagen 5 Inyectora Welltec 90F2v, Fuente, (Inyectora Welltec 90F2v (Fuente laboratorio Polímeros ITM)	23
Imagen 6 Relación de los tiempos de inyección en la máquina. Fuente (fotografía de inyectora welltec 90F2v laboratorio polímeros ITM).....	30
Imagen 7 Inyección calculada Vs inyección real, <i>Fuente</i> , (fotografía tomada en el laboratorio de polímeros ITM).....	32
Imagen 8 Peso teórico de la inyección.....	34

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Ficha técnica de la maquina Welltec 90 F 2v.....24

Tabla 2 Inyección experimental Vs inyección Calculada en polipropileno.....31

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Justificación:

Dentro de las prioridades del sistema de laboratorios del ITM, el laboratorio de materiales poliméricos y compuestos ha sido seleccionado para acreditar sus servicios. Por este motivo es importante estandarizar y generar procedimientos para cada uno de los equipos de laboratorio con los cuales se prestarán servicios de extensión para el ITM.

En este marco se requiere generar un proceso y una metodología de estandarización del proceso de inyección de la máquina inyectora del laboratorio, teniendo en cuenta que se pueden emplear en este equipo diferentes moldes y materiales a inyectar. Teniendo esta estandarización definida, se da respuesta a los requerimientos de la acreditación del laboratorio y se tendrá un proceso que permitirá un uso eficiente y óptimo de este equipo del laboratorio.

1.2 Planteamiento del problema

¿Cómo obtener una puesta a punto en el proceso de inyección de forma ágil y óptima de acuerdo con diferentes moldes y materiales a inyectar?

Con el desarrollo del proyecto se pretende dar respuesta a este interrogante, evaluando las diferentes estrategias posibles a emplear para esta actividad y determinando una metodología que se pueda estandarizar las diferentes configuraciones de moldes y polímeros a inyectar.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 General:

Estandarizar el proceso de inyección en el laboratorio de polímeros del ITM.

1.3.2 Específicos

- Determinar la capacidad actual de la máquina inyectora del laboratorio de polímeros del ITM y sus posibilidades de uso en moldes y materiales a inyectar.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Desarrollar una herramienta de cálculo y un protocolo que permita de forma rápida sugerir condiciones de proceso de inyección en la inyectora del ITM, para diferentes configuraciones de molde y polímeros a inyectar.

En la organización de la tesis que aborda este trabajo de investigación, se basa lo experimental que lleva a toma de datos en el laboratorio de polímeros para realizar comparaciones con la parte estandarizada que se logró establecer según la previa investigación de tiempos del ciclo de inyección y recorridos de plastificación, se identifica que dichos datos tomados luego de hacer la comparación el resultado es que las tablas elaboradas en Excel arrojan resultados muy similares. En conclusión el estudio muestra gran éxito en el resultado.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Procesos de inyección:

En los procesos de inyección del laboratorio de materiales poliméricos del ITM se evidencia la ausencia de procedimientos y metodologías, esto hace que se incurra en ineficiencia y se termine generando mayores costos, pérdida de tiempo y baja producción. Un molde en mal estado genera situaciones como:

Baja producción, re-proceso de productos, desperdicio de materia prima y daños en las máquinas de inyección. Lo anterior conduce a la producción de mercancías de muy mala calidad, principal motivo de reclamos, pérdida de clientes y de mercados. La estandarización en procesos de inyección es un campo muy amplio que, en Colombia y particularmente en Antioquia, está muy poco documentado, con el fin de conseguir niveles altos de competitividad en los procesos, se deben desarrollar metodologías para ser más versátiles y eficientes en este campo esto con el fin de alcanzar un nivel de talla mundial.

Proceso de inyección

“Es el proceso más importante que se utiliza para la fabricación de productos plásticos, donde más de un tercio de todos los materiales termoplásticos son moldeados por inyección. Este proceso se utiliza en la fabricación de grandes series de piezas, con formas complejas y un buen control dimensional” (Osswald, et al., 2008).

“Es el proceso mediante el cual se aplica calor a un material termoplástico para fundirlo, se plastifica, este material plastificado se puede hacer fluir mediante la aplicación de presión, llenando un molde donde el material se solidifica y toma la forma del molde” (Sánchez Valdés, et al., 2005)

La Norma ISO 9000 se refiere a la certificación que se otorga a la compañías que tienen procesos productivos de alta calidad, esta norma específica la manera como las organizaciones deben de operar sus estándares de calidad, niveles de servicio y tiempos de entrega, por tanto se incrementan las exigencias en los procesos productivos; de allí se deriva el interés por implementar esta norma en el laboratorio

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

de materiales poliméricos del ITM, se busca mejorar los siguientes procesos de producción:

- Estandarizar las actividades del personal que trabaja dentro de la organización por medio de la documentación.
- Incrementar la satisfacción del cliente al asegurar la calidad de los productos y servicios de manera consistente.
- Medir y monitorear el desempeño de los procesos.
- Reducir las incidencias negativas de producción o prestación de servicios.

El artículo “Energy performance evaluation and improvement of unit-manufacturing processes: injection molding case study” demuestra el interés de implementar estándares en el proceso de inyección con la energía como indicador de sostenibilidad, este estudio de caso, propone una guía basada en la ciencia para la energía, la predicción, la evaluación comparativa y la evaluación del desempeño, y la mejora para los procesos de unidad de producción. La guía considera diferentes factores de influencia tales como, geometría de la pieza, propiedades físicas y de procesamiento relacionados con el material y la información de los equipos de fabricación. (Madan, Jatinder Sant Instituto Longowal de Ingeniería y Tecnología, Sangrur, India) Autor Identificación: 16643394200 (fuente, base de datos ITM Scopus, 06 de mayo 2015).

2.2 Ciclo de moldeo

2.2.1 Cierre del molde.

Con el cierre del molde se inicia el ciclo, preparándolo para recibir la inyección del material fundido (Imagen 1). En esta fase se aplica la tuerza de cierre, que es aquella que hace la máquina para mantener cerrado el molde durante la inyección. Depende de la superficie proyectada de la pieza y de la presión real (presión específica), que se tiene en la cavidad del molde.

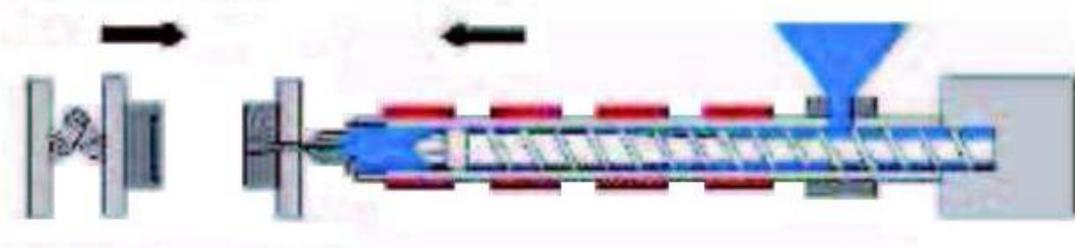


Imagen 1. Cierre del molde Fuente, (tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.co)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Inyección: En esta etapa se producen dos fases: fase de llenado y fase de mantenimiento.

2.2.2 Fase de llenado.

Una vez cerrado el molde y aplicada la fuerza de cierre, se inicia la fase de llenado del molde (inyección). El husillo de la unidad de inyección inyecta el material fundido, dentro del molde y a una presión elevada; al inyectar, el husillo avanza sin rotación (Imagen 2). La duración de esta etapa puede ser de décimas de segundo hasta varios segundos, dependiendo de la cantidad de material a inyectar y de las características del proceso.

Fases de llenado y mantenimiento



Imagen 2. Fase de llenado Fuente, (tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.co)

La finalidad de esta fase es llenar el molde con una cantidad suficiente de material. En la inyección son muy importantes las siguientes variables:

- Velocidad de inyección.
- Presión de inyección.
- Temperatura del material.

La unidad de cierre mueve las dos mitades del molde para unir las. Mediante una fuerza de ésta se cierra el molde herméticamente. La unidad de plastificación se mueve hacia el canal en el molde. La boquilla está abierta y el material que se encuentra delante del husillo es inyectado dentro del molde, por el movimiento de avance del mismo. Los sistemas hidráulicos deben ejercer grandes esfuerzos en la fase de inyección. Además de mantener la fuerza de cierre; han de ser capaces de inyectar el material dentro de la cavidad, a una presión elevada y

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

precisa. Así, el sistema hidráulico debe superar la resistencia ofrecida por la boquilla y por el molde.

En el comienzo de la operación de inyección, el material fundido y homogeneizado está localizado en la cámara de inyección; de esta manera, la unidad de plastificación se desplaza contra el molde para dejar pasar material dentro del molde. El sistema hidráulico ejerce presión sobre el husillo, el cual se mueve axialmente. Esta presión hace que el mismo se mueva hacia delante o hacia la boquilla. El material se expulsa fuera de la cámara de inyección y se introduce en la cavidad dentro del molde. El material fundido solidifica dentro de la cavidad para que la pieza moldeada pueda ser expulsada. Los moldes usados para materiales termoplásticos están sujetos al control de temperatura (enfriamiento).

Esto permite evacuar el calor, el cual ha sido introducido al fundir el material, para permitir solidificar el material.

Tan pronto como el material que se moldea contacta con el molde en la operación de inyección, comienza a enfriarse y a solidificar. Por este motivo la inyección debe ocurrir rápidamente, con lo que la cavidad se llena mientras que el material se encuentre fundido.

Esto requiere presiones muy grandes ya que el polímero inyectado es muy viscoso, a pesar de las temperaturas elevadas. El material fundido debe superar la resistencia ofrecida por la fricción, en la boquilla y cavidad. Las presiones, en el interior del molde, son altísimas a causa de la inyección; por lo que la unidad de cierre debe ser capaz de mantener el molde cerrado, en oposición a estas presiones.

La presión dentro del molde crece hasta un máximo valor, cuando ha sido transportado material suficiente; llenando completamente las cavidades (si bien, bajo ciertas condiciones, la presión máxima se puede alcanzar durante el mantenimiento). De esta manera, durante la inyección, las dos mitades del molde están completamente presionadas por el efecto de la fuerza de cierre. Ésta contrarresta a aquella que resulta de la inyección, ejercida desde el interior por el material. Si la fuerza de apertura del molde debido a la presión de inyección generada en el proceso es mayor que la fuerza de cierre, la línea de partición está forzada a abrirse; permitiendo al polímero que se moldea escapar

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

de la cavidad (con lo que se produce rebaba y se requiere un trabajo adicional con tal de eliminarla).

Durante el enfriamiento el material se contrae dentro del molde. Por este motivo se ha de añadir más material para que el volumen y el peso de la pieza sea el deseado. En esta fase de mantenimiento, que es posterior a la del llenado en la inyección, la presión interior de la pieza va disminuyendo. Esto ocurre ya que se va enfriando y aumentan las pérdidas de carga desde el husillo hasta el interior del molde. De esta manera, la velocidad de inyección del tornillo es baja porque tiene la finalidad de alimentar, con una cantidad suficiente de material, la cavidad; además de compensar las contracciones que sufre la pieza durante la solidificación.

Cuando la presión ha caído hasta el valor del entorno se puede dar por finalizada la fase de mantenimiento. Esta fase condiciona ciertas características de la pieza final, tales como el peso total, sus tolerancias dimensionales y características internas. Las variables que más afectan en esta fase son:

- Tiempo de mantenimiento de la segunda presión.
- La temperatura del molde.
- Nivel de presión de mantenimiento.

Este tiempo dependerá mucho del material que se esté inyectando y del espesor que tenga la pieza que se inyecte. Tiene especial relevancia cuando se emplean materiales semicristalinos, pues las diferencias de volúmenes específicos son considerables entre su estado líquido y el sólido.

Cuando tenemos un tiempo de mantenimiento correcto, se pueden obtener piezas con la compactación adecuada, estabilidad dimensional, ausencia de deformaciones y buenas propiedades mecánicas. Sin embargo, el conseguir dicho tiempo no es una garantía cuando se tiene un punto de inyección demasiado pequeño, pues este solidificará antes de que se llene la cavidad.

Para ajustar el tiempo de mantenimiento, se recurre a la construcción de una curva que relacione los pesos de las piezas inyectadas con el tiempo para la presión de mantenimiento. De esta forma, empezamos a inyectar con un tiempo

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

igual a cero, esto es, sin presión de mantenimiento. Se empieza la gráfica cuando se tenga la primera pieza completa, aunque no esté compactada. Se aumenta progresivamente el tiempo de mantenimiento, anotando los valores de tiempo y peso de la pieza, hasta que el peso se estabilice. Este resultado puede ser verificado por medio de un corte transversal de la pieza para asegurar la ausencia de porosidades.

Tan pronto como el material llena el molde, éste comienza a enfriarse. El enfriamiento comienza en las paredes del molde y se desplaza hacia el interior de la pieza. Durante un cierto tiempo, el material permanece fluido en la región interna de la pieza moldeada. Al enfriarse el polímero, este se contrae. Sí la presión, o un porcentaje de ella con la que se inyectó, se retira después de la fase de llenado, no será posible controlar las dimensiones de la pieza. Para evitarlo, mientras que la región interna de la pieza permanezca fluida, la presión sobre el material se mantiene. De esta manera, el nuevo material entra al molde para compensar la contracción (en cantidad suficiente).

La presión de mantenimiento generalmente es más baja que la presión de inyección en el llenado, pero si es demasiado baja, o se aplica en un período muy corto, entonces se obtienen piezas defectuosas. La curva de la presión interna del molde influye en la calidad de la producción y de las piezas.

Es importante que la transición de la fase de presión de llenado a la fase de la presión de mantenimiento suceda en el momento correcto. Como se observa en la gráfica presión vs tiempo (P-T), si la transición ocurre demasiado pronto la presión disminuye; por lo que será imposible llenar completamente la cavidad. Si ocurre demasiado tarde, se obtiene un pico de presión que puede dañar al molde.

En el comienzo de la fase de mantenimiento, la cavidad ya ha recibido la mayoría del material que necesita, pero una pequeña cantidad de material es inyectada para compensar la contracción. Incluso al final de esta fase, aún queda material sobrante en la cámara de inyección (al cual se llamara cojín). Este cojín fundido facilita que la presión sea transmitida entre el tornillo y la cavidad. El mismo se inyecta en el siguiente ciclo.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.2.3 Plastificación o dosificación.

Después de aplicar la presión de mantenimiento, comienza a girar el husillo; de forma que el material va pasando progresivamente de la tolva de alimentación a la cámara de inyección, homogeneizándose tanto su temperatura como su grado de mezcla (Imagen 3). Esta fase se realiza en forma paralela a la etapa de enfriamiento, acelerando así el tiempo total de ciclo. A medida que el husillo va transportando el material hacia delante, éste sufre un retroceso debido a la acumulación que se produce en la zona delantera. El retroceso del husillo finaliza cuando éste ha llegado a una posición definida con anterioridad. En este momento ya está todo preparado para poder inyectar la siguiente pieza. En la etapa de plastificación también intervienen otros factores importantes como:

- La velocidad de giro del husillo.
- La contrapresión.
- La succión.

Plastificación o dosificación y enfriamiento de la pieza



Imagen 3. Plastificación o dosificación. Fuente, (tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.co)

La velocidad de giro del husillo debe escogerse en función del diámetro del mismo y de la viscosidad del material. La velocidad óptima, es aquella para la que el tiempo de carga es igual al tiempo de refrigeración que necesita la pieza inyectada. Un tiempo largo de carga provoca una masa fundida homogénea. Una velocidad excesivamente alta puede generar la presencia de infundidos y una homogeneización insuficiente del material en el interior del cilindro.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

La contrapresión tiene como función principal, garantizar una adecuada plastificación y homogenización del material, también tiene como función, frenar el retroceso del husillo en la etapa de plastificación. Un aumento de la contrapresión implica que aumente el tiempo de plastificación, la compresión sobre el material y, por tanto, la cantidad de material acumulado y la temperatura de la masa fundida.

Al contrario, contrapresiones bajas pueden dar lugar a piezas inconsistentes y una insuficiente homogeneización del material. Por último, la succión se utiliza principalmente para reducir el goteo de material. Normalmente se suele trabajar con descompresión pequeña o nula.

2.2.4 Apertura del molde y expulsión de la pieza.

Cuando se considera que el material de la pieza ha alcanzado la temperatura denominada de expulsión, el molde se abre y se expulsa la pieza de su interior para reiniciar el ciclo de inyección (Imagen 4).

Apertura del molde y expulsión de la pieza

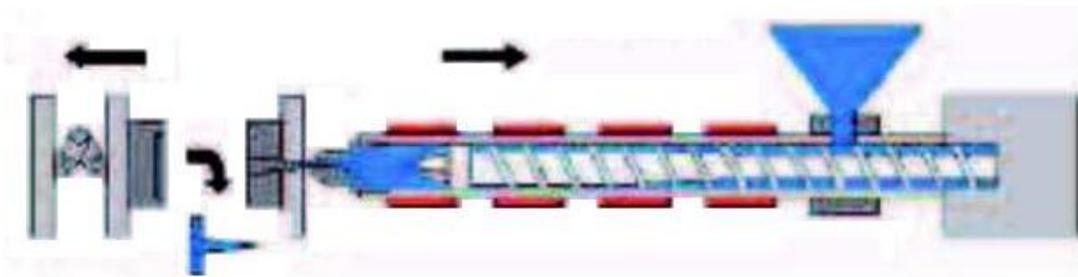


Imagen 4. Apertura del molde y expulsión de la pieza, Fuente, (tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.co)

2.2.5 Enfriamiento.

Esta fase comienza simultáneamente con la de llenado (inyección), dado que el material empieza a enfriarse tan pronto y toca la pared del molde. Finaliza cuando la pieza alcanza la temperatura adecuada para su extracción. De esta forma, esta fase del ciclo se solapa con las anteriores. En ocasiones es

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

necesario esperar un tiempo, entre la etapa de plastificación y la de apertura de molde, para que se produzca el enfriamiento requerido de la pieza. El objetivo de ello es conseguir una consistencia tal, que impida su deformación al ser expulsada. Las variables que más afecta en esta fase es la temperatura de molde.

La fase de mantenimiento termina cuando solidifica el bebedero o el punto de inyección. A partir de entonces ya no entra más material en la cavidad. Durante las fases de llenado y mantenimiento, el material dentro de la cavidad ya ha comenzado a solidificar contra la pared del molde que está más fría. Las capas más externas solidifican antes. El tiempo de enfriamiento empieza con la inyección.

El enfriamiento es más lento hacia el centro de la pieza ya que los plásticos son poco conductores del calor. El calor cedido por la solidificación se disipa a través de las capas más externas de las paredes del molde. El tiempo de enfriamiento depende del tipo de pieza que se enfría dentro del molde. No es necesario esperar que toda la pieza enfríe hasta la temperatura del mismo; sino que, es suficiente que estén frías las regiones externas de la pieza, para poder extraerla en condiciones estables. Con ello se consigue optimizar el tiempo de producción y así poder realizar el siguiente ciclo.

Durante la fase de enfriamiento se prepara el material en la unidad de plastificación, para la próxima inyección.

2.2.6 Parámetros de una inyectora

Las principales características utilizadas para dimensionar y comparar máquinas inyectoras son:

- Capacidad o fuerza de cierre (F_c): es la fuerza desarrollada por el sistema de cierre de la máquina para garantizar que el molde no se abra cuando se introduce el material a presión dentro de la cavidad.
- La fuerza máxima que puede desarrollar la maquina depende de sus características constructivas y no debe ser superada durante el proceso de inyección para no dañar la máquina y evitar la obtención de piezas defectuosas.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Capacidad de inyección: es el volumen de material que es capaz de suministrar la máquina en una inyección (cm^3/s). Es común dar este valor en gramos inyectados, tomando como referencia la densidad del poliestireno.
- Presión de inyección: es la presión máxima a la que puede bombear la unidad de inyección el material hacia el molde. Usualmente se trabaja a un 60% de esta presión o menos.
- Capacidad de plastificación: es la cantidad máxima de material que es capaz de suministrar el tornillo, por hora, cuando plastifica el material; se da en kg/h .
- Velocidad de inyección: consiste en la velocidad de desplazamiento que se comunica al tornillo de inyección para que introduzca el material en el interior del molde, lo cual condiciona el caudal de material que accede a la cavidad. Esta velocidad puede ser parametrizada entre 5 y 10 intervalos del recorrido del tornillo (dependiendo de las características de la máquina), de forma que puede ser variable en función de la posición del tornillo durante el proceso de inyección; se da en cm^3/s .

2.2.7 Especificaciones de la máquina inyectora del laboratorio de polímeros del ITM.

Maquina inyectora de procesos termoplásticos (Imagen 5), modelo Welltec 90F2v con capacidad de inyección 160(gr) y capacidad de cierre 90 (Ton), cuenta con un manual de operación S09 el cual explica el sistema de control de la máquina, incluye la descripción de diseño del panel, diseño de la pantalla, configuración de entrada y salida, explicación de la alarma y procedimiento de ajuste de la maquina (inyectora welltec 90F2v laboratorio de polímeros ITM).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Imagen 5. Fuente, (Inyectora Welltec 90F2v (Fuente laboratorio Polímeros ITM)

FICHA TECNICA DE LA MAQUINA INYECTORA WELLTEC 90F2V

Item	Unidades	90F2V		
Diámetro Husillo	Mm	30	35	40
Volumen de inyección teórico	cm ³	114	155	202
Peso de inyección	G	102	139	182
	Oz	3.6	4.9	6.4
Relación longitud / Diámetro	L/D	23.8	21.0	18.1
Presión de inyección	MPa	232	170	131
Velocidad de inyección	cm ³ /s	62	85	110
Carrera de inyección	mm	161		
Velocidad de rotación máxima	rpm	178		
Capacidad de plastificación	kg/h	29.2	39.8	54.0
Fuerza de la unidad de inyección	Ton	4.5		
Carrera de la unidad de inyección	Mm	255		
Fuerza de cierre	Ton	90		
Máxima luz	Mm	680		
Carrera de cierre	Mm	320		
Distancia entre barras	Mm	360*360		
Dimensiones mínimas del molde	Mm	250*250		
Rango de espesor del molde	Mm	150~360		
Fuerza de expulsión	Ton	2.5		
Carrera de expulsión	Mm	85		
Número de pines de expulsión	Unit	1		
Motor principal	Kw	7.5		
Sistema de presión	MPa	16		
Capacidad de la bomba hidráulica	L/min	54		
Número de zonas de calefacción	Unit	3+1		
Potencia de calentamiento	Kw	7.38		
Peso neto	Ton	2.8		
Capacidad de llenado de aceite	L	150		

Tabla 1. Fuente, (manual de operación de la maquina laboratorio polímeros ITM)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.2.8 Proceso de inyección de termoplásticos

La inyección de termoplásticos es un proceso en el cual se funde un polímero, por efecto del calor y la fricción. La máquina con el termoplástico en estado fundido, lo inyecta, dentro de las cavidades huecas de un molde, a una determinada presión, velocidad y temperatura. Después de un lapso el plástico fundido en el molde, va perdiendo su calor y se vuelve sólido adoptando la forma del recipiente que lo contiene. Este método se usa para fabricar objetos como utensilios de cocina, juguetes, moldes plásticos, entre otros. Se diferencia de las máquinas de extrusión porque el polímero es calentado y empujado por un tornillo sin fin y pasa a través de un orificio con forma de tubo, se producen por extrusión tuberías, perfiles, vigas y materiales similares.

El proceso de inyección inicia cuando el molde se encuentra cerrado y vacío, la unidad de inyección carga material y se llena de polímero fundido, se inyecta el polímero abriéndose la válvula y con el tornillo que actúa como un pistón, se hace pasar el material a través de una boquilla hacia las cavidades del molde. La presión se mantiene constante para lograr que la pieza tenga las dimensiones adecuadas pues al enfriarse tiende a contraerse. La presión se elimina, la válvula se cierra y el tornillo gira para cargar material; luego la pieza en el molde termina de enfriarse (haciéndose este tiempo es más costoso, pues es largo e interrumpe el proceso continuo) la prensa libera la presión y el molde se abre; los pines expulsan la parte moldeada fuera de la cavidad, la unidad de cierre vuelve a cerrar el molde y el ciclo puede reiniciarse.

Textoscientificos.com. polietileno <http://textoscientificos.com/polimeros/poliestireno>

Visitado el 06 de mayo de 2015

Wikipedia.com moldeo por inyección

http://Wikipedia.org/wiki/moldeo_por_inyecci%C3%Ba

Visitado el 06 de mayo de 2015

2.2.9 Optimización y ajuste del proceso de inyección

Se pretende Incrementar la productividad estandarizando los procesos, con los cuales se lograría un significativo impacto en los costos de producción, en la calidad de los productos fabricados y en el nivel del personal operativo y técnico en el laboratorio del ITM, Ya que el interés del ITM es asegurar a sus alumnos una educación a su medida.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

La máquina de inyección trabaja óptimamente siempre y cuando se realicen los mantenimientos y ajustes adecuados, si esto no ocurre el proceso pierde calidad en las piezas inyectadas y el tiempo de los ciclos se hace más extenso, aumentando el gasto energético. Con el presente proyecto se pretende generar estrategias para la optimización, vigilancia y documentación de procesos.

Con el diagrama de tiempo de ciclo y la medición de energía integrada se podrá realizar el análisis y la coordinación detallada de los procesos de producción y controlar los consumos generados. Deben considerarse tanto los efectos de rentabilidad como de eficiencia energética, procurando tiempos de ciclo cortos. Al mismo tiempo se debe comprobar si realmente son necesarios los valores máximos para obtener un proceso estable y seguro, ya que cuanto mayor es el valor ajustado se consume más energía. Por otro lado, los valores máximos solo tienen sentido si con ellos se puede reducir apreciablemente el tiempo de ciclo.

Algunos aspectos para tener en cuenta en el presente estudio son los siguientes:

- Adaptar individualmente los movimientos simultáneos con condiciones de arranque en función del recorrido o de la presión: configurar libremente el ciclo de producción ideal sin programas especiales.
- Aumentar moderadamente la velocidad del movimiento del molde: los movimientos muy rápidos solamente resultan razonables si con ello puede reducirse efectivamente el tiempo de ciclo (especialmente en máquinas grandes).
- Ajustar la apertura del molde adecuadamente.
- Ajustar la fuerza de cierre y de apoyo de la boquilla en función de la aplicación: donde sea posible, reducir estas fuerzas gradualmente durante el tiempo de enfriamiento residual.
- Utilizar el tiempo de enfriamiento completo para la dosificación: reducir en lo posible las revoluciones del husillo para la preparación de la masa fundida, a mayor número de revoluciones mayor demanda energética y esfuerzo del material.

<http://www.arburg.com/es/productos-y-servicios/global-services/trucos-y-consejos/optimizacion-de-procesos/> 06 de mayo de 2015

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3. METODOLOGÍA

El desarrollo del proyecto se contempla en las siguientes etapas:

3.3.1 Estudio del proceso de inyección de piezas: Este estudio involucra un proceso donde el estudiante es guiado por un asesor de proyecto, en el tema de las máquinas inyectoras, moldes de inyección y materiales poliméricos. Con el fin de que el estudiante adquiera conocimiento sobre los conceptos fundamentales y pueda abordar la tarea.

3.3.2 Se consulta en diferentes bases de datos y libros: con el fin de obtener todas las fórmulas para los pertinentes cálculos de inyección, se hace un filtro con el profesor asesor para utilizar solo información verídica y confiable, esto con el fin de que no afecte los cálculos a realizar, luego se procede a estructurar una tabla dinámica en Excel la cual nos permita obtener todos los cálculos necesarios, esta tabla se integra con listas despegables para la facilidad de quien desee utilizarla, se introduce todas las formulas previamente filtradas para obtener los resultados en una sola tabla, se procede hacer una validación con el profesor asesor el cual nos sugiere cambiar varios parámetros en la tabla e introducirle varios cálculos más, se vuelve hacer la validación de los cambios y parámetros modificados y se tiene la aprobación del profesor asesor, luego de esto se agenda una cita para hacer una práctica en el laboratorio con el fin de comparar datos calculados en la tabla dinámica con los datos reales que nos arroja la máquina, se identifica en la comparación de los resultados que la tabla dinámica tiene un margen de error mínimo el cual es aprobado por el profesor asesor sin modificaciones. Las fórmulas seleccionadas son las siguientes:

- Cálculo de la carrera de dosificación para cada una de las máquinas.

$$l = \frac{4000 W}{\pi D^2 \rho}$$

l = Longitud de plastificación (mm)

W = Peso (g)

D = Diámetro (mm)

ρ = Densidad a temp. proceso (g/cm³)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Se Define si la máquina es la adecuada para plastificar el material. $1 < R < 3$

$$R = \frac{D}{l}$$

$D =$ Diámetro (mm)

$l =$ Longitud de plastificación (mm)

- Cálculo de la velocidad de rotación del husillo permitida para máquina seleccionada si la máxima velocidad tangencial permitida para el material es de 0.6 m/s.

$$\eta = \frac{60000 V_T}{\pi D}$$

$\eta =$ Velocidad de rotación del husillo (rpm)

$V_T =$ Velocidad tangencial (m/s)

$D =$ Diámetro (mm)

- Estimación del tiempo de llenado volumétrico para una velocidad del frente de flujo (vff) de 200 mm/s

$$t_{iny} = \frac{d_L}{V_{ff}}$$

$t_{iny} =$ Tiempo de inyección (s)

$d_L =$ Mayor distancia de llenado (mm)

$V_{ff} =$ Velocidad del frente de flujo (mm/s)

$$V_{ff} = 200 \frac{\text{mm}}{\text{s}} \text{ Para espesores } > 1,5 \text{ mm}$$

$$V_{ff} = 800 \frac{\text{mm}}{\text{s}} \text{ Para espesores } 1,49 \text{ mm} > x > 1 \text{ mm}$$

$$V_{ff} = 200 \frac{\text{mm}}{\text{s}} \text{ Para espesores menores a } 1 \text{ mm}$$

- Estimación del punto de conmutación.

$$l = \frac{4000 W}{\pi D^2 \rho_{T\text{proceso}}}$$

$l =$ Longitud de plastificación (mm)

$W =$ Peso (g)

$D =$ Diámetro (mm)

$\rho_{T\text{proceso}} =$ Densidad a temp. proceso (g/cm³)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$\mathbf{Cojín = 0,1 D}$$

$$Cojín = Cojín (mm)$$

$$D = Diámetro (mm)$$

$$\mathbf{l_{Total} = l + Cojín}$$

$$l_{Total} = Longitud de plastificación total (mm)$$

$$l = Longitud de plastificación (mm)$$

$$Cojín = Cojín (mm)$$

$$l_v = \frac{4000 W}{\pi D^2 \rho_{Tambiente}}$$

$$l_v = Longitud de llenado volumetrico (mm)$$

$$W = Peso (g)$$

$$D = Diámetro (mm)$$

$$\rho_{Tproceso} = Densidad a temp. ambiente (g/cm3)$$

$$\mathbf{Conmutación = L_{Total} - l_v}$$

$$Conmutación = Conmutación (mm)$$

$$l_{Total} = Longitud de plastificación total (mm)$$

$$l_v = Longitud de llenado volumetrico (mm)$$

- Estimación de la presión de inyección durante el llenado volumétrico.

$$\Delta_p = \frac{12 \times \eta \times V \times L}{100000h^2}$$

$$\Delta_p = Caída de presión (N/mm^2)$$

$$\eta = Viscosidad (Pa.s)$$

$$V = Velocidad media de flujo (mm/s)$$

$$L = Recorrido de flujo (mm)$$

$$h = Espesor de la pieza (mm)$$

- Tiempo de enfriamiento teórico para una placa.

$$t_k = \frac{s^2}{\alpha \pi^2} \ln \left[\frac{8(\overline{T_M} - \overline{T_W})}{\pi^2(\overline{T_M} - \overline{T_W})} \right]$$

$$t_k = Tiempo de enfriamiento (s)$$

$$s = Espesor de la pieza (mm)$$

$$\alpha = Difusividad térmica efectiva (mm^2/s)$$

$$\overline{T_M} = Temp. media de la masa plástica (°C)$$

$$\overline{T_W} = Temperatura media de pared del molde (°C)$$

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$T_E = \text{Temperatura media de desmoldeo } (^{\circ}\text{C})$

- Estimación de la fuerza de cierre necesaria.

$$F = \left(\frac{\Delta P}{2}\right) A_{proy} \times 0,000124$$

$F = \text{Fuerza de cierre (ton US)}$
 $\Delta_p = \text{Caída de presión (bar)}$
 $A_{proy} = \text{Area proyectada (mm}^2\text{)}$

- Estimación del tiempo de plastificación.

$$t_p = \frac{\frac{W}{1000}}{\frac{F_m}{3600}}$$

$t_p = \text{Tiempo plastificación (s)}$
 $W = \text{Peso (g)}$
 $F_m = \text{Flujo masico inyectora (kg/h)}$

$$t_{pp} = \frac{t_k}{3}$$

$t_{pp} = \text{Tiempo pos presión (s)}$
 $t_k = \text{Tiempo de enfriamiento (s)}$

- Estimación el tiempo de ciclo.

$$t_{k \text{ restante}} = t_k - t_{iny} - t_{pp}$$

$t_{k \text{ restante}} = \text{Tiempo de enfriamiento restante}$
 $t_k = \text{Tiempo de enfriamiento (s)}$
 $t_{iny} = \text{Tiempo de inyección}$
 $t_{pp} = \text{Tiempo pos presión (s)}$

$$t_{ciclo} = t_{iny} + t_{pp} + t_{k \text{ restante}} + t_{mov}$$

$t_{ciclo} = \text{Tiempo de ciclo (s)}$
 $t_{iny} = \text{Tiempo de inyección (s)}$
 $t_{pp} = \text{Tiempo pos presión (s)}$
 $t_{k \text{ restante}} = \text{Tiempo de enfriamiento restante}$

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$t_{mov} = \text{Tiempo de movimientos de maquina (s)}$

Si t_k restante > t_p

$$t_{ciclo} = t_{iny} + t_{pp} + t_p + t_{mov}$$

$t_{ciclo} = \text{Tiempo de ciclo (s)}$

$t_{iny} = \text{Tiempo de inyección (s)}$

$t_{pp} = \text{Tiempo pos presión (s)}$

$t_{k \text{ restante}} = \text{Tiempo de enfriamiento restante}$

$t_{mov} = \text{Tiempo de movimientos de maquina (s)}$

Si t_k restante < t_p

3.3.3 Recopilación de información técnica de propiedades generales de polímeros a inyectar: Recopilación de información sobre las propiedades generales de los polímeros que son usualmente empleados en el proceso de inyección de termoplásticos, fichas técnicas que especifiquen: densidad, dimensiones, propiedades térmicas y condiciones de proceso recomendadas (temperaturas).

3.3.4 Generación de una herramienta de cálculo para la puesta a punto inicial del proceso de inyección: Se realizará un formato de cálculo en Excel para determinar los parámetros en el proceso de inyección de acuerdo al peso del producto y el tipo de polímero, para así sugerir condiciones de operación, tiempos de proceso, inyección, enfriamiento, ciclo y determinar si la máquina puede procesar el material bajo las condiciones establecidas.

3.3.5 Validación de la herramienta de cálculo: Se realizaran ensayos en la máquina de inyección del laboratorio de polímeros, con el molde que se dispone actualmente y empleando un polímero específico, con el fin de validar que el formato de cálculo permita facilitar la puesta a punto del proceso de inyección.

3.3.6 Elaboración del protocolo para el ajuste en el proceso de inyección e informe final: Se realizará un informe final donde se detallan todas las actividades y fases establecidas en el proyecto. También se redactará un protocolo o procedimiento de cómo realizar el ajuste del proceso de inyección asistido con el formato generado en la etapa anterior.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 El resultado que se logró identificar en esta investigación fue claro, preciso y contundente, ya que los tiempos de inyección comparados en la parte experimental con la parte de investigación y estudios previos, muestran que los resultados tienden a valores similares, ya que se implementaron formulas claras y de bases de datos seguras que nos permiten garantizar que los resultados arrojados por las tablas elaboradas en Excel tiendan a reducir las diferencias con los valores en la parte experimental , cabe notar que se utilizó una muestra de la gran cantidad de materiales que pueden implementarse en un proceso de inyección, es muy emotivo para esta investigación este gran resultado.

Se obtuvo una dificultad en la configuración de las formulas implementadas, ya que las formulas encontradas en la investigación no eran seguras y la información encontrada era confusa, luego de una ardua labor se logró con el objetivo de concluir con información segura y de fuentes de prestigio en este tema de inyección.

- **4.4.2 Longitud de llenado volumétrico** calculado 28,06 mm y real 32 mm, Se Identifica que el llenado volumétrico experimental tiene un desfase respecto al trabajo de estandarización de 4 mm de diferencia.
- **4.4.3 Cojín calculado** 3,5 mm y real 3,4 mm Esta diferencia puede darse por variaciones en la densidad del polímero a inyectar
- **4.4.4 Longitud total calculada** 38,10 mm^2 y real 38,1 mm^2
- **4.4.5 Tiempo de inyección calculado** 1,83 segundos y real 1,74 segundos, este tiempo Depende de la velocidad de inyección asumida dentro del molde para piezas de pared gruesa típicamente 200 mm/min y la programación real

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

del avance del tornillo en la inyectora. Se debe programar velocidades y avances del tornillo en la máquina para llegar a un valor similar al calculado.

- **4.4.6 Tiempo de plastificación calculado** 2,19 segundos y real 3,4 segundos, El tiempo de plastificación calculado es asumiendo que la maquina trabaja a la máxima capacidad y se estandariza plastificando poliestireno, no se trabaja al 100% de las RPM por eso da mayor tiempo de plastificación en la estandarización propuesta.
- **4.4.7 Tiempo de pos presión calculado** 10,63 segundos y real 10 segundos este es un valor que se ingresa de acuerdo a cálculos preliminares y se ingresa redondeando, ya que es un valor que se ingresa en la máquina.
- **4.4.8 Tiempo de enfriamiento restante calculado** 19,44 segundos y real 19,4 segundos, este es un valor que se ingresa de acuerdo a cálculos preliminares y se ingresa redondeando.
- **4.4.9 Tiempo de ciclo calculado** 45,00 segundos y real 47,64 segundos, el calculad es menor porque en la maquina no se tiene en cuenta el tiempo de apertura del molde de expulsión para los tiempos del ciclo.

Veces	Actual	Ultimo	
Ciclo	43.24	43.24	seg
Cierre de molde	3.94	3.94	seg
Injection Unit Forward	3.58	3.58	seg
Inyeccion	11.74	11.74	seg
Enfriamiento	19.40	19.40	seg
Plastificacion	3.40	3.40	seg
Injection Unit Backward	1.14	1.14	seg
Apertura de molde	3.66	3.66	seg
Expulsion	0.78	0.78	seg

Imagen 6. Relación de los tiempos de inyección en la máquina. (Fotografía de inyectora welltec 90F2v laboratorio polímeros ITM)

4.5.1 Caída de presión calculado $7,67 \text{ N/mm}^2$ y real 6 N/mm^2 , Se presenta diferencia ya que la caída de presión en la hoja de cálculo se determina a partir de un valor promedio de viscosidad del polímero, que en la realidad puede variar. Además la fórmula es una simplificación del comportamiento real de la caída de presión en un canal o cavidad del molde.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Tabla 2

La siguiente tabla muestra los datos tomados en una práctica de laboratorio inyectando polipropileno, se toman 11 datos como muestra de la práctica.

PRACTICA DE INYECCIÓN CON MATERIAL POLIPROPILENO

Inyección Experimental	Peso en Gramos	Inyección Estandarizada	peso en Gramos
1ra inyección	22,39g	1ra Inyección	24.3g
2da Inyección	22.38g	2da Inyección	24.3g
3ra Inyección	22.38g	3ra Inyección	24.3g
4ta Inyección	22.35g	4ta Inyección	24.3g
5ta Inyección	22.38g	5ta Inyección	24.3g
6ta Inyección	22.32g	6ta Inyección	24.3g
7ma Inyección	22.31	7ma Inyección	24.3g
8va Inyección	22.31g	8va Inyección	24.3g
9na Inyección	22.31g	9na Inyección	24.3g
10ma Inyección	22.32g	10ma Inyección	24.3g
11ma Inyección	22.31g	11ma Inyección	24.3g

Tabla 2. Inyección experimental vs inyección calculada en polipropileno

Cabe resaltar que el peso ideal fue tomado asumiendo que todo el producto inyectado se requiere compactar (**valor tomado de una simulación por computador, ver imagen 7**), incluyendo el sistema de alimentación. En la realidad solo se requiere compactar la pieza inyectada.

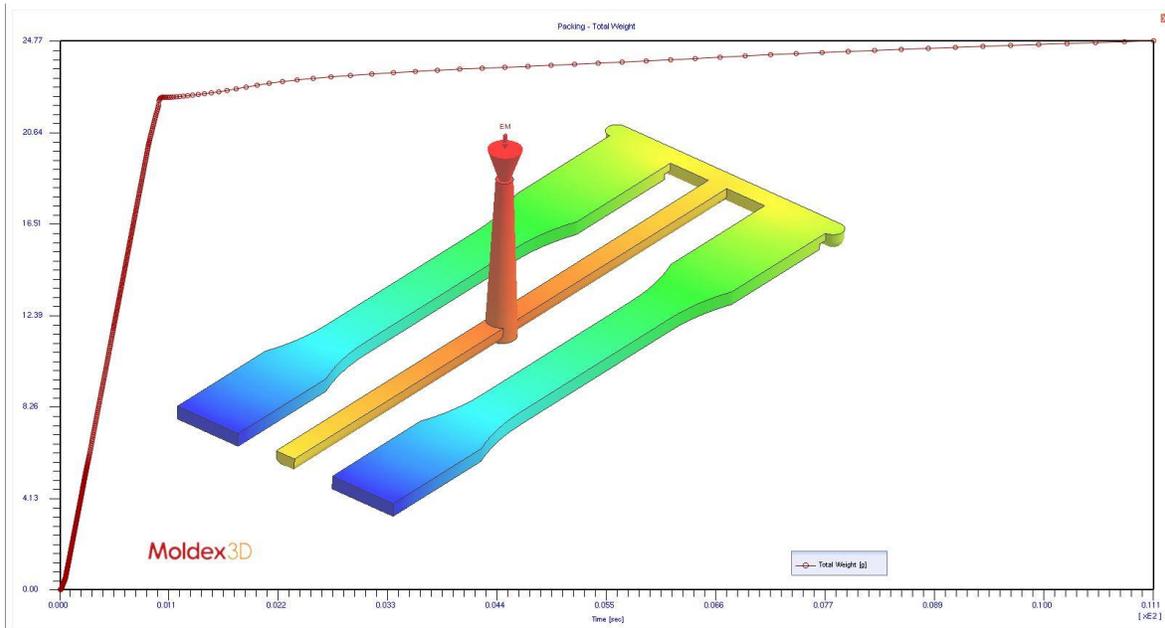


Imagen 7. Peso teórico de la inyección incluyendo el sistema de alimentación (24 g). Tomado de simulación software Moldex 3D, laboratorio de polímeros.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Esta es la comparación de las dos piezas con los valores calculados vs los valores reales.

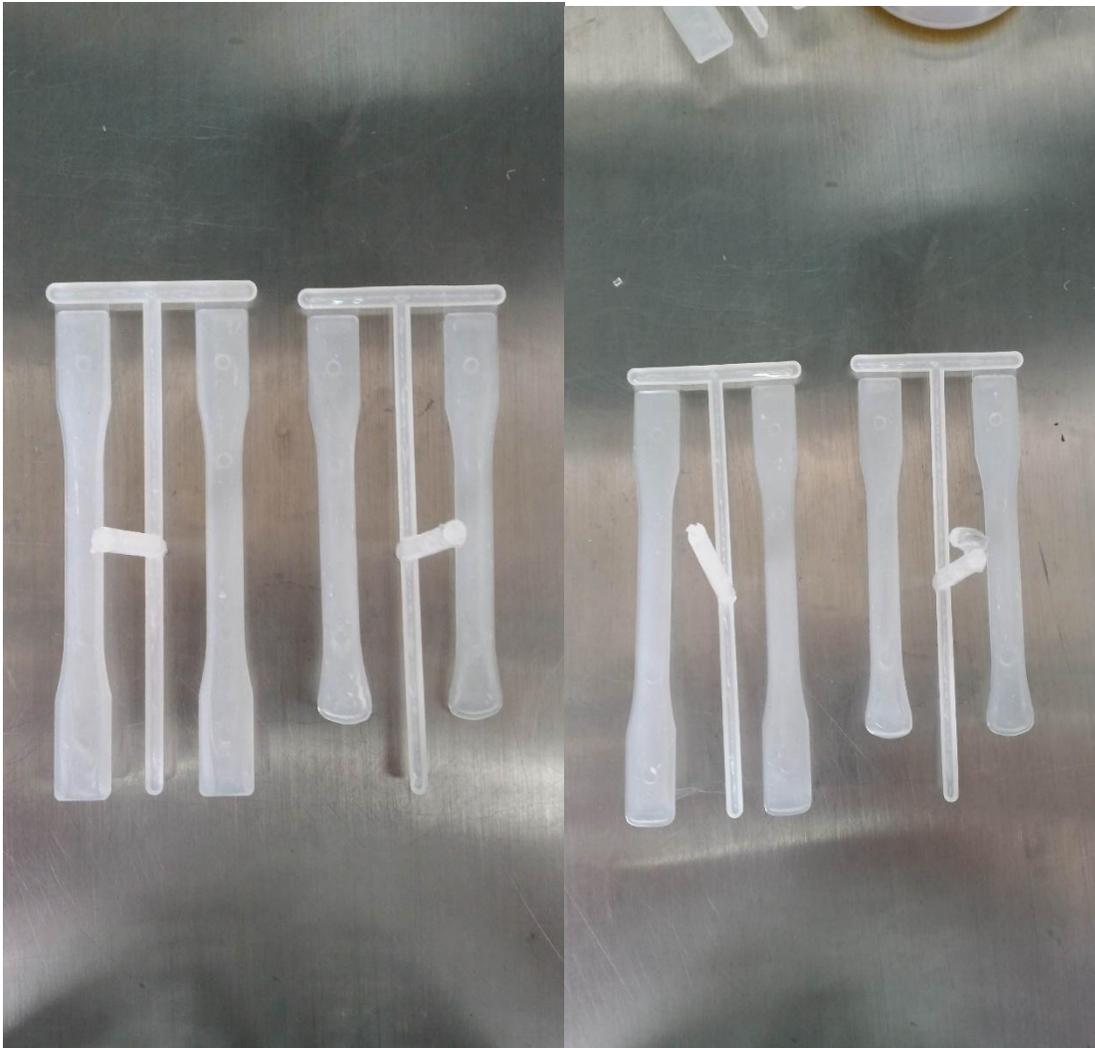


Imagen 8. Inyección calculada vs inyección real (llenado del volumen de la cavidad, sin presión de mantenimiento). Fuente, (fotografía tomada en el laboratorio de polímeros ITM)

En la tabla anterior analizamos que la inyección experimental en el laboratorio de polímeros en relación con la estandarización propuesta se obtiene una desviación de 1,92g, también se analiza la desviación en la inyección experimental con los distintos resultados mostrados en la práctica con el peso mayor en gramos en relación con el peso menor en gramos y nos da que es de 0,08g un valor casi despreciable en este tipo de procesos.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4.5.2 Se observa que la presión hidráulica es de 6 Mpa y en relación con la presión de la maquina se analiza que la presión de la maquina es 10 veces mayor a 6Mpa.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

5 CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

Se logró Estandarizar el proceso de inyección en el laboratorio de polímeros del ITM, las muestras tomadas en la práctica experimental comparadas con la tabla dinámica en Excel muestran un margen de error muy pequeño tolerable para este proceso, se obtuvo la capacidad actual de la máquina inyectora del laboratorio de polímeros del ITM y sus posibilidades de uso en moldes y materiales a inyectar.

- **5.1 Se concluye afirmando que se Desarrolla una herramienta** de cálculo y un protocolo que permite de forma rápida sugerir condiciones de proceso de inyección en la inyectora del ITM, para diferentes configuraciones de molde y polímeros a inyectar.
- **5.5.2 En la organización de la tesis que aborda este trabajo de investigación**, se basa lo experimental que lleva a toma de datos en el laboratorio de polímeros para realizar comparaciones con la parte estandarizada que se logró establecer según la previa investigación de tiempos de inyección, se identifica que dichos datos tomados luego de hacer la comparación el resultado es que las tablas elaboradas en Excel arrojan resultados muy similares. En conclusión el estudio muestra gran éxito en el resultado.
- **5.5.3 Cabe resaltar las fortaleza con la que conto el equipo de trabajo** quien estuvo siempre retroalimentándose de conocimiento con las base de datos de la universidad y conocimientos del docente asesor.
- **5.5.4 Se tuvo una limitación** ya que no es posible realizar practica experimental con todos los materiales que comúnmente son inyectados en una maquina inyectora, esto fue una restricción, sim embargos se tomó una muestra de material normalmente inyectado en el laboratorio de polímeros.
- **5.5.5 Durante el desarrollo de la investigación** y en la parte experimental se observa que al finalizar el proceso de inyección queda material que obstruye la salida de material que se inyecta en un próximo trabajo, generando pérdida de tiempo en un nuevo trabajo que se vaya a realizar en

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

la máquina de inyección, se le plantea al asesor la posibilidad de mejora y queda en banco de ideas para un próximo trabajo de grado

5.5.6 Se recomienda trabajar en una obstrucción de material que se observa en la máquina, ya que al finalizar el proceso de inyección queda material que obstruye la salida de material que se va a inyectar en el próximo trabajo, generando pérdida de tiempo en un nuevo trabajo que se realice en la máquina de inyección.

Este trabajo lo evaluamos con una aplicación futura y esta es poder socializar a las diferentes empresas donde se trabaje con este tipo de máquinas de inyección para proponerles tener un tabla dinámica la cual estandarice el proceso de inyección en el lugar de trabajo y sea un marco de referencia siempre que se desee poner en marcha algún tipo de trabajo en la máquina de inyección y minimizar el margen de error con los resultados obtenidos. Sería acompañado de una propuesta económica y así poder emprender en la industria inicialmente con esta propuesta, pero siempre con visión de negocio en todas las aplicaciones donde se pueda mejorar o transformar procesos para la optimización de recursos.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

6 REFERENCIAS

Optimización de procesos (Fuente, <http://www.plastico.com/temas/En-inyeccion,-la-optimizacion-de-los-procesos-esta-en-la-mira+3087172?pagina=1>) Diana Graciela maya, redactora técnica marzo de 2012 pág. 1-6 006 mayo de 2015

Energy performance evaluation and improvement of unit-manufacturing processes: injection molding case study (Madan, Jatinder Sant Instituto Longowal de Ingeniería y Tecnología, Sangrur, India Autor Identificación: 16643394200 (fuente, base de datos ITM Scopus, 06 de mayo 2015)

Norma ISO 9000, conjunto de normas sobre calidad y gestión de calidad, Medellín Colombia(fuente, http://es.wikipedia.org/wiki/Normas_ISO_9000 consultado 06 mayo 2015)

Manual y ficha técnica de inyectora welltec 90F2v laboratorio de materiales poliméricos ITM (Instituto Tecnológico Metropolitano) 06 mayo de 2015

Proceso de inyección de termoplásticos, Textoscientificos.com. Polietileno <http://textoscientificos.com/polimeros/poliestireno> 06 de mayo de 2015

Proceso de inyección de termoplásticos, Wikipedia.com moldeo por inyección http://Wikipedia.org/wiki/moldeo_por_inyecci%C3%Ba

06 de mayo de 2015

Optimización de procesos y ajustes de inyección, <http://www.arburg.com/es/productos-y-servicios/global-services/trucos-y-consejos/optimizacion-de-procesos/> 06 de mayo de 2015

<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.co/2011/06/inyeccion-de-materiales-plasticos-ii.html> 17 de febrero de 2016

7. APÉNDICE

Apéndice A. Hoja de cálculo de Excel

La hoja de cálculo 1 es la solución propuesta para el problema de la estandarización del proceso de inyección en el laboratorio de polímeros del ITM.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
2		Material	Densidad a temperatura ambiente	Densidad a temperatura inyección	Viscosidad media	Velocidad tangencial	Temperatura de inyección	Temperatura desmold	Temperatura pared	Difusividad Térmica	Peso	Diámetro	Mayor distancia de	Velocidad del frente	Espesor de la pieza	Área proyectada	Flujo máscico inyector	tiempo de movimiento	
3			ρ [g/cm ³]	ρ [g/cm ³]	η [Pa·s]	V_T [m/s]	T_M [°C]	T_E [°C]	T_W [°C]	α [mm ² /s]	Ψ [g]	ϕ [mm]	d_L [mm]	V_{ff} [mm/s]	S [mm]	A_{proj} [mm ²]	F_m	t_{mov} [s]	
4			#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A									
5																			
6																			
7																			
8		Longitud de	l [mm]	#N/A											r.p.m del	η	#N/A		
9																			
10		Longitud de llenado volumetric	l_v [mm]	#N/A															
11																			
12		R	#N/A																
13																			
14		Cojin [mm]	0																
15		Longitud total	l_{Total} [mm]	#N/A															
16		Conmutación [mm]	#N/A																
17																			
18																			
19		Tiempo de enfriamiento	t_k [s]	#N/A															
20																			
21		Tiempo de inyección	t_{ing} [s]	#DIV/0!															
22																			
23		Tiempo de plastificac	t_p [s]	#DIV/0!															
24																			
25		Tiempo de pospresión	t_{pp} [s]	#N/A															
26																			
27		Tiempo de enfriamiento restante	$t_{k\ restante}$ [s]	#N/A															
28																			
29		Tiempo de ciclo	t_{ciclo} [s]	#DIV/0!															
30																			
31		Tiempo de ciclo	t_{ciclo} [s]	#DIV/0!															
32																			
33																			
34																			

Hoja de Cálculo 1. Cálculos

En la casilla “Material” de la hoja de cálculo “Cálculos” se selecciona el polímero con el que se va hacer la inyección, los polímeros predeterminados para esta hoja de cálculo son ABS, PS, HIPS, SAN, LDPE, HDPE, PP, PA, POM, PBT, PET, PC, PMMA, PVC-plastificado y PVC – rígido; al seleccionar el material a inyectar las casillas “Densidad a temperatura ambiente”, “Densidad a temperatura inyección”, “Viscosidad media”, “Velocidad tangencial”, “Temperatura de inyección”, “Temperatura desmolde”, “Temperatura pared molde” y “Difusividad Térmica” se llenan automáticamente con los datos de la hoja de cálculo Tabla.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1											
2		Material	Densidad a temperatura ambiente [g/cm3]	Densidad a temperatura inyección [g/cm3]	Viscosidad media [Pa.s]	Velocidad tangencial [m/s]	Temperatura de inyección [°C]	Temperatura desmoldeo [°C]	Temperatura pared molde [°C]	Difusividad termica [mm2/s]	
3		ABS	1,05	0,95	100	0,6	230	65	55	0,085	
4		PS	1,04	0,99	150	1,0	230	60	30	0,085	
5		HIPS	1,05	0,95	90	1,0	220	40	30	0,085	
6		SAN	1,10	0,98	400	0,6	240	60	50	0,085	
7		LDPE	0,92	0,75	250	1,0	200	70	30	0,085	
8		HDPE	0,95	0,75	300	1,0	220	55	40	0,082	
9		PP	0,90	0,73	120	1,0	210	75	45	0,065	
10		PA	1,14	0,95	200	0,8	260	80	70	0,085	
11		POM	1,40	1,15	400	0,8	200	100	90	0,055	
12		PBT	1,33	1,20	1.000	0,8	250	80	70	0,080	
13		PET	1,36	1,20	800	0,8	240	100	90	0,080	
14		PC	1,20	0,97	400	0,4	290	100	80	0,110	
15		PMMA	1,12	0,96	800	0,4	230	85	70	0,070	
16		PVC-plasticado	1,30	1,02	400	0,2	190	70	40	0,070	
17		PVC - rígido	1,40	1,12	1.050	0,2	190	65	50	0,070	
18											

Hoja de Cálculo 2. Tabla

Para obtener los datos necesarios para ingresar a la máquina de inyección Welltec es necesario terminar de llenar los datos *“Peso”, “Diámetro”, “Mayor distancia de llenado”, “Velocidad del frente de flujo”, “Espesor de la pieza”, “Área proyectada”, “Flujo másico inyectora”* y *“tiempo de movimientos de maquina”* en el recuadro amarillo de la hoja de cálculo 1.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

FIRMA ESTUDIANTES	<div style="font-family: cursive; font-size: 1.2em; margin-bottom: 10px;"> Daniel Arango Torres Juan Jose Zapata Gomez </div> <hr/>
FIRMA ASESOR	<div style="font-family: cursive; font-size: 1.2em; margin-bottom: 10px;">  </div> <hr/>
FECHA ENTREGA: 18/04/16	

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD	<hr/> <hr/>	
RECHAZADO_	ACEPTADO___	ACEPTADO CON MODIFICACIONES___
ACTA NO. _____		
FECHA ENTREGA: _____		

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____	<hr/>
ACTA NO. _____	
FECHA ENTREGA: _____	