ANÁLISIS DEL PROCESO DE FABRICACIÓN POR INYECCIÓN DE PLÁSTICOS PARA LA PRODUCCIÓN DE UN BUJE UTILIZANDO MOLDFLOW

ANALYSIS OF THE MANUFACTURING PROCESS BY PLASTIC INJECTION FOR THE PRODUCTION OF A BUSHING USING MOLDFLOW

Jesús Vicente González Sosa
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, México
jvgs@azc.uam.mx

Yadira Zavala Osorio
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, México
yzo@azc.uam.mx

José Ángel Hernández Rodríguez
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, México
hrja@azc.uam.mx

Enrique Ávila Soler
Tecnológico Nacional de México / IT de Gustavo A. Madero, México
industrial014@gamadero.tecnm.mx

Recepción: 14/noviembre/2024 **Aceptación:** 14/marzo/2025

Resumen

El artículo presenta un estudio sobre la simulación de un buje utilizando el software Moldflow como herramienta de análisis para comprender su comportamiento bajo diversas condiciones de funcionamiento. Se llevó a cabo una investigación detallada de los parámetros relacionados con la geometría, el material y el proceso de fabricación, con el objetivo de optimizar el diseño y mejorar su rendimiento a futuro. Los resultados obtenidos ofrecen información valiosa para la toma de decisiones en el diseño y fabricación de componentes similares. En general, se evidencian mejoras significativas en la resistencia y durabilidad del buje mediante la optimización de su diseño y material. Además, se identificaron áreas de mejora en el proceso de fabricación que podrían aumentar la eficiencia y reducir costos. Estos resultados también contribuyen al perfeccionamiento del diseño y rendimiento de bujes y otros componentes en la ingeniería aplicada.

Palabras Clave: Diseño mecánico, Herramienta digital, Moldflow, Simulación.

Abstract

The paper presents a study on the simulation of a bushing using Moldflow software to better understand its behavior under different operating conditions. A detailed investigation of various parameters related to the bushing's geometry, material, and manufacturing process was conducted, with the goal of optimizing its design and improving performance in the future. The results provided valuable insights for decision-making in the design and manufacturing of similar components. Overall, significant improvements in the bushing's strength and durability were achieved through design and material refinement. Additionally, potential areas for process improvement were identified, which could enhance efficiency and reduce costs. These results contribute to the advancement of bushing design and performance, as well as similar components in applied engineering.

***Keywords**: Digital tooling, Mechanical design, Moldflow, Simulation.*

1. Introducción

Este artículo presenta un estudio detallado sobre la simulación de un buje utilizando la herramienta Moldflow. El buje es una pieza clave en numerosos sistemas de ingeniería, por lo que es fundamental comprender su comportamiento bajo distintas condiciones de operación. A través de este caso de estudio, se analizan los efectos de diversos parámetros de diseño en la calidad y el desempeño del buje, con el objetivo de optimizar su diseño y mejorar su durabilidad. Los resultados obtenidos demuestran la eficacia de utilizar Moldflow para el análisis de piezas críticas en ingeniería aplicada.

El moldeo por inyección de plásticos se ha convertido en una tecnología destacada empleada en numerosas aplicaciones industriales que utilizan plásticos. Este proceso incluye varias etapas: la inserción del material, la fusión, la inyección, el cierre del molde, la expulsión del molde y el enfriamiento. Durante el moldeo, influyen diversas variables, como la temperatura del material fundido y del molde, el tiempo de fusión e inyección, la presión de empaquetado y el tiempo de

enfriamiento. Para alcanzar una alta calidad en los productos, es esencial optimizar el rendimiento, maximizando la temperatura en la línea de soldadura y minimizando la fuerza de cierre necesaria [Mehta, 2023]. Por lo que este planteamiento permite considerar a Moldflow como herramienta fundamental para su uso en la evaluación de productos fabricados bajo este proceso de transformación de materiales.

Un aporte importante de este simulador es que los componentes reales elaborados constituyen la parte práctica de los casos de estudio y se producen como referencia [Oikonomou, 2023]. Se emplearon diversos métodos de evaluación para medir características morfológicas, tales como porosidades, densidades locales y distribuciones celulares.

El interés de analizar el proceso de inyección de plásticos radica en que dicho proceso es un método utilizado para fabricar componentes a partir de plásticos termoplásticos o termoestables. Los plásticos ofrecen varias ventajas, como su baja densidad, estabilidad química, alta resistencia específica, buena capacidad de conformación y facilidad para ser coloreados [Wang, 2023]. Por estas razones, en sectores como el automovilístico y aeroespacial, el reemplazo del acero por plástico se ha convertido en una de las principales tendencias de desarrollo en la industria automotriz.

El uso de la simulación de flujo en un molde y en una pieza a fabricar, permite observar que la herramienta disminuye el tiempo de procesamiento al ofrecer un resultado tentativo del proceso de inyección de plásticos, en donde se observan parámetros que a futuro sirven como variables de mejora [Shashank, 2023].

Mediante los experimentos asociados con la simulación de Moldflow [Li, 2024], se interpretan casos diversos para algunos de los parámetros de relevancia como lo es el aire atrapado, que físicamente es complicado observarlo durante la fabricación de un producto, por lo que la simulación ofrece conocer mas a detalle ese parámetro.

El uso de las simulaciones numéricas en los procesos de transformación ha crecido en los últimos años, de ello resultados en innovación y tecnología a nivel internacional, con esta primicia se identifica con mayor claridad que los simuladores tienen un área de oportunidad amplia en las aplicaciones de la ingeniería [Arès,

2023]. Con respecto a la herramienta a utilizar el entorno está compuesto por algoritmos que mejoran las condiciones para comprender detalladamente cada una de las etapas del proceso de inyección de plásticos.

En [Knoll, 2024], se resalta la importancia de la experimentación teórica y con simuladores, Moldflow, para el control en los moldes de inyección con complejidad determinada, por lo que no todo se enfoca en el producto sino también en las características y variables de control en el diseño de moldes.

El uso de Moldflow ha llegado al análisis de micro procesos como moldeo por microinyección para identificar [Liparoti, 2023], validar y experimentar fenómenos que el ojo humano no es capaz de observar, solo con microscopios, con esto se da pauta para aplicar estas herramientas en infinidad de aplicaciones reales de la ingeniería y que favorecen el desarrollo tecnológico.

En la siguiente sección, se describe de manera detallada el procedimiento a seguir para evaluar un caso de estudio utilizando Moldflow, presentando los resultados obtenidos y las propuestas para optimizar el análisis.

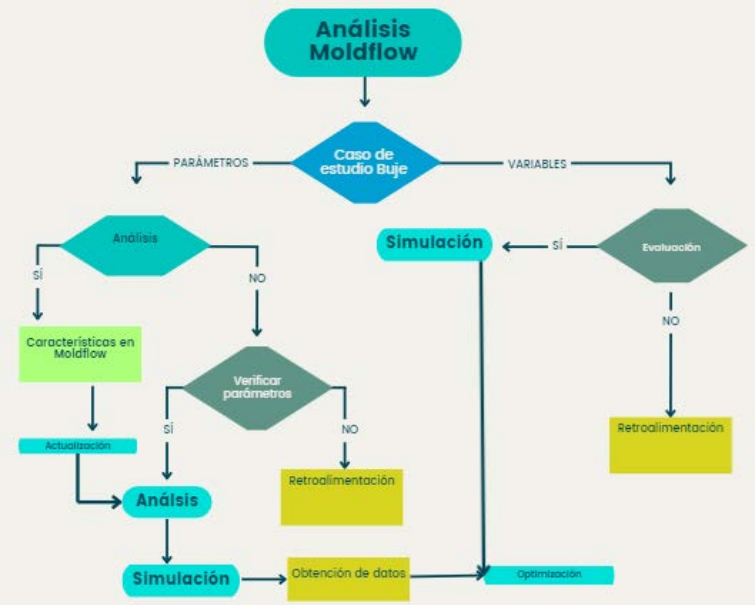
2. Métodos

El análisis de los resultados se realizó utilizando el software Moldflow, con el propósito de llevar a cabo simulaciones numéricas del proceso de fabricación del buje. Se efectuaron varias simulaciones para analizar el efecto de los cambios en la geometría, el material y las condiciones del proceso sobre las propiedades mecánicas y térmicas del buje. Asimismo, se reunieron datos experimentales con el fin de verificar los resultados obtenidos y llevar a cabo estudios comparativos para evaluar la exactitud y confiabilidad del modelo.

El software Moldflow es una herramienta utilizada para la validación del proceso de inyección de plásticos, especialmente en aplicaciones clave para el control de la calidad de los especímenes o productos fabricados.

Las etapas de aplicación de la herramienta computacional en el caso de estudio del buje, tiene el objetivo de analizar el proceso de fabricación y optimizar las variables y parámetros del producto, Figura 1. Incluye secciones de retroalimentación que facilitan el análisis y ajuste del proceso de simulación, contribuyendo así a optimizar

las condiciones operativas en el caso de estudio del buje. Es importante resaltar los parámetros que Moldflow utiliza para realizar las simulaciones.



Fuente: elaboración propia

Figura 1 Etapas de la aplicación Moldflow.

Los criterios específicos que se emplearán en cada simulación se presentan en las Tablas 1 y 2. Estos parámetros son esenciales para garantizar resultados precisos y efectivos en el análisis del proceso. Además, la retroalimentación facilita la mejora continua de la simulación, con el fin de optimizar la eficiencia en el rendimiento del buje. Los parámetros presentados en la Tabla 1 permiten identificar las posibles alternativas de mejora en el caso de estudio, así como ajustar el proceso de simulación según las condiciones necesarias para asegurar una fabricación adecuada del buje mediante el proceso de inyección de plásticos.

Por otro lado, se describe el proceso mediante el cual se utiliza la simulación como herramienta en el caso de estudio. Este enfoque permite seleccionar el punto de inyección que cumpla con los requisitos establecidos, basándose en los datos obtenidos de las simulaciones previas. A partir de estos resultados, se realizarán iteraciones que facilitarán la recopilación de la mayor cantidad de información posible, lo que contribuirá a una selección más precisa del punto de inyección en el proceso, para garantizar una fabricación adecuada del buje.

Tabla 1 Parámetros en la simulación con Moldflow.

Tiempo de llenado	Es el tiempo necesario para llenar el molde con el material plástico durante el proceso de inyección. Este tiempo es crucial, ya que influye en la calidad del producto final; un llenado demasiado lento puede causar defectos como la falta de llenado o la formación de burbujas de aire.
Patrón de llenado	Se refiere a la manera en que el material plástico fluye y llena el molde. El patrón de llenado es clave para entender cómo se distribuye el flujo en las cavidades, lo cual puede influir en la uniformidad del producto, la presión ejercida y el enfriamiento del material.
Temperatura del frente de flujo	Es la temperatura del material plástico en la interfaz entre el flujo y el área no llenada del molde. Mantener una temperatura adecuada en el frente de flujo es esencial para evitar problemas como la cristalización del polímero o la inyección de material en frío.
Líneas de soldadura	Son las líneas o marcas que se forman cuando dos frentes de flujo de material se encuentran y no se fusionan completamente. Estas líneas pueden debilitar la estructura del producto final, lo que representa una preocupación importante en el diseño del molde y la configuración del proceso de inyección.
Aire atrapado	Se refiere a la presencia de burbujas o bolsas de aire atrapadas en el molde que no pueden escapar durante el proceso de inyección. El aire atrapado puede generar defectos en la pieza final y afectar la uniformidad del llenado y el enfriamiento.
Porcentaje de resina congelada antes del empaquetamiento	Este término describe la cantidad de resina que se ha solidificado o enfriado antes de que se active el ciclo de empaquetamiento en el proceso de inyección. Un porcentaje elevado puede indicar problemas con el tiempo de inyección o temperatura.
Esfuerzo cortante	Es la resistencia del material a la deformación cuando se le aplica una carga cortante (tensión que actúa en direcciones opuestas). En el contexto del moldeo por inyección, el esfuerzo cortante es crucial para evaluar cómo se comportan los materiales durante el flujo y cómo responden a las fuerzas aplicadas.
Presión máxima (V/P)	Este término se refiere a la presión máxima que puede alcanzarse en la cavidad del molde en relación con el volumen de material inyectado. El análisis de esta presión es fundamental para prevenir fallos en el molde y asegurar que se logre la calidad deseada en la pieza moldeada.
Presión de cierre durante el ciclo de inyección	Es la fuerza necesaria para mantener el molde cerrado durante la inyección del material. Esta presión es crucial para prevenir fugas de material y deformaciones del molde. Un análisis adecuado de estas presiones y fuerzas asegura que el proceso de inyección se realice de manera eficiente y segura.

Fuente: elaboración propia

Tabla 2 Dimensiones del buje en el caso de estudio.

Descripción	**Medida [mm]**
Diámetro 1	22.00
Diámetro 2	17.10
Diámetro 3	15.00
Altura1	9.22
Altura 2	2.62

Fuente: elaboración propia

Caso de estudio

Para este análisis, se utiliza un buje de material plástico, fabricado mediante el proceso de inyección de plásticos. En la Figura 2 se muestra el caso de estudio, tanto en una fotografía (Figura 2a) como en su modelado en CAD (Figura 2b). Las dimensiones del buje se detallan en la Tabla 2, el tamaño reducido del buje sugiere una mayor complejidad en su proceso de fabricación. En este contexto, el uso de la

herramienta Moldflow ofrece una valiosa referencia para evaluar y optimizar las condiciones de producción mediante el proceso de inyección de plásticos.



a) Bujes de material plástico.



b) Modelo en CAD del buje.

Fuente: elaboración propia

Figura 2 Espécimen para simulación con Moldflow.

Selección del material

En este estudio se realizará un análisis del material utilizado para el buje, conocido como poliamida (Nylon o PA6), con el objetivo de resaltar los resultados que se acerquen al valor teórico de resistencia. Las propiedades físicas del material se detallan en la Tabla 3, se presenta una recopilación de datos teóricos sobre las propiedades físicas del material analizado en el caso de estudio. Esta información es crucial para comprender el comportamiento del material bajo diferentes condiciones y contribuir al avance del campo de la ingeniería.

Tabla 3 Propiedades físicas de materiales a evaluar con Moldflow.

Material	PA6
Dureza Shore D	$57.0 - 87.0$
Resistencia a la tracción (MPa)	$10.0 - 225$
Resistencia a la flexión (MPa)	$7.00 - 220$
Impacto Izod (J/cm)	0.30
Deformación $(\%)$	$1.50 - 200$
Acero sin aleación	7.85

Fuente: elaboración propia

Este artículo se centra en el material ampliamente utilizado en la industria para la fabricación de bujes, convirtiéndolo en un objeto de estudio relevante. La elección de este material permitirá realizar simulaciones precisas que contribuyan a obtener resultados significativos y satisfactorios. Este enfoque es clave para comprender y mejorar el rendimiento de los bujes en aplicaciones prácticas.

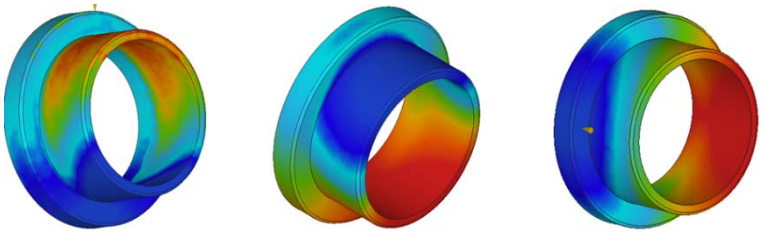
Después de revisar las propiedades físicas del material, se procede a realizar la simulación utilizando la herramienta Moldflow. Esto permite obtener información valiosa y aplicar el proceso de mejora que ofrecen los simuladores, con el objetivo de identificar las áreas de mayor y menor riesgo durante la simulación.

Simulación con Moldflow

El principal objetivo de aplicar Moldflow en el diseño y análisis de un buje de material plástico es optimizar el proceso de inyección, asegurando una distribución uniforme del material y minimizando defectos como vacíos o deformaciones.

Moldflow permite simular el flujo del plástico en el molde, facilitando los ajustes en el diseño para mejorar la calidad del producto final y reducir los costos de producción. Además, favorece la evaluación del desempeño del material e identifica posibles problemas antes de la fabricación.

En la Figura 3 se muestran tres casos en los que varía la ubicación de los puntos de inyección para la fabricación del buje.



a) Punto de inyección 1. *b) Punto de inyección 2.* *c) Punto de inyección 3.*
Fuente: elaboración propia

Figura 3 Tres puntos de inyección para estudio con Moldflow.

En la simulación de Moldflow presentada en la Figura 3, se seleccionan tres puntos diferentes para realizar el proceso de inyección. El objetivo de esta evaluación es analizar, utilizando la mayor cantidad de parámetros proporcionados por el simulador, cuál de estos tres escenarios es el más eficiente. Al considerar diversos factores, se busca realizar un análisis exhaustivo que permita determinar la opción óptima para la inyección. Esta metodología no solo facilitará la identificación del escenario más eficaz, sino que también contribuirá a mejorar el diseño y la producción del buje. A través de esta simulación, se espera obtener datos precisos

que respalden la toma de decisiones en futuros procesos de manufactura. En última instancia, el objetivo es maximizar la eficiencia y la calidad del producto final.

El primer punto de inyección o caso presenta los siguientes datos, que se muestran en la Tabla 4. Los datos presentados en la Tabla 4 revelan que la temperatura de la superficie del molde se refiere a la temperatura a la que se inyecta el plástico. Este factor es crucial, ya que un molde más frío puede facilitar la solidificación del material, lo que contribuye a obtener piezas más consistentes. Sin embargo, es esencial encontrar un equilibrio adecuado, ya que temperaturas excesivamente bajas pueden causar deformaciones indeseadas en el producto final. Por lo tanto, la gestión precisa de la temperatura del molde es fundamental para optimizar tanto la calidad como la integridad de las piezas inyectadas. En resumen, una correcta regulación térmica es clave para lograr un proceso de inyección eficiente y sin fallos.

Tabla 4 Datos del primer punto de inyección.

Parámetro	**Descripción y/o valor**
Material	Generic PA6
Estructura del material	Cristalina
Temperatura de masa fundida	$250\ °C$
Temperatura de la superficie del molde	$80\ °C$
Timpo de llenado	$0.20\ s$
Presión de conmutación	$10.8\ MPa$
Conmutación de velocidad/presión	99.632%
Conmutación de velocidad/presión en el tiempo	$0.20\ s$
Tiempo de compactación	$4.15\ s$
Presión de compactación máxima	$34.6\ MPa$
Peso total de la pieza	$9.365E-04\ kg$
Tiempo de refrigeración	$2.56\ s$
Tolerancia de contracción de molde	1.109%
Deflexión total fuera del plano	$0.10\ mm$

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 5 se presentan los datos correspondientes al segundo punto de inyección dentro de la simulación. En relación con los datos presentados, el tiempo de compactación se refiere al período durante el cual el material permanece presionado dentro del molde, después de haber completado el proceso de llenado. Este tiempo es crucial, ya que permite que el material se asiente adecuadamente y adquiera la forma deseada. Al comparar este parámetro con la información de la Tabla 4, se observa una disminución en el tiempo de compactación respecto al

primer punto de inyección, lo que podría indicar una mejora en la eficiencia del proceso de moldeo. En la Tabla 6 se presentan los mismos datos, pero correspondientes al tercer punto de inyección, el cual se diferencia por su ubicación en la base del diámetro mayor del buje. En este caso, se ha seleccionado esta área como parte esencial del espécimen de prueba.

Tabla 5 Datos del segundo punto de inyección.

Parámetro	Descripción y/o valor
Material	Generic PA6
Estructura del material	Cristalina
Temperatura de masa fundida	$250\ °C$
Temperatura de la superficie del molde	$80\ °C$
Timpo de llenado	$0.21\ s$
Presión de conmutación	$16.9\ MPa$
Conmutación de velocidad/presión	99.643%
Conmutación de velocidad/presión en el tiempo	$0.20\ s$
Tiempo de compactación	$2.97\ s$
Presión de compactación máxima	$38.8\ MPa$
Peso total de la pieza	$9.209E-04\ kg$
Tiempo de refrigeración	$3.60\ s$
Tolerancia de contracción de molde	1.223%
Deflexión total fuera del plano	$0.09\ mm$

Fuente: elaboración propia

Tabla 6 Datos del tercer punto de inyección tres.

Parámetro	Descripción y/o valor
Material	Generic PA6
Estructura del material	Cristalina
Temperatura de masa fundida	$250\ °C$
Temperatura de la superficie del molde	$80\ °C$
Timpo de llenado	$0.21\ s$
Presión de conmutación	$10.7\ MPa$
Conmutación de velocidad/presión	99.671%
Conmutación de velocidad/presión en el tiempo	$0.20\ s$
Tiempo de compactación	$4.29\ s$
Presión de compactación máxima	$34.5\ MPa$
Peso total de la pieza	$9.371E-04\ kg$
Tiempo de refrigeración	$2.80\ s$
Tolerancia de contracción de molde	1.102%
Deflexión total fuera del plano	$0.11\ mm$

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 6, un aspecto clave a destacar es la tolerancia de contracción del molde, que indica la cantidad de contracción que experimenta el material al enfriarse. Considerar estos porcentajes es esencial para asegurar que las piezas finales cumplan con las especificaciones dimensionales requeridas

Con la información obtenida de las simulaciones, se ha elaborado la Tabla 7, que presenta algunos parámetros adicionales encontrados durante la experimentación con el software Moldflow. Al examinar los datos presentados en la Tabla 7, se puede concluir que el espécimen más adecuado para el proceso de inyección, con el simulador, es el 3, ya que presenta la menor cantidad de burbujas de aire, lo cual contribuye a prevenir la porosidad del buje. No obstante, la elección del producto con las mejores características se llevará a cabo en la sección de resultados, donde se considerarán los datos de las Tablas 3, 4, 5, 6 y 7.

Tabla 7 Parámetros obtenidos de las simulaciones.

Especimen	Defecto visual	Rechupes	Líneas de soldadura	Deflexión máxima	Burbujas de aire
1	1	0	1	0.14 supera 0.12	5
2	1	0	1	0.14 supera 0.13	11
3	1	0	1	0.14 supera 0.12	2

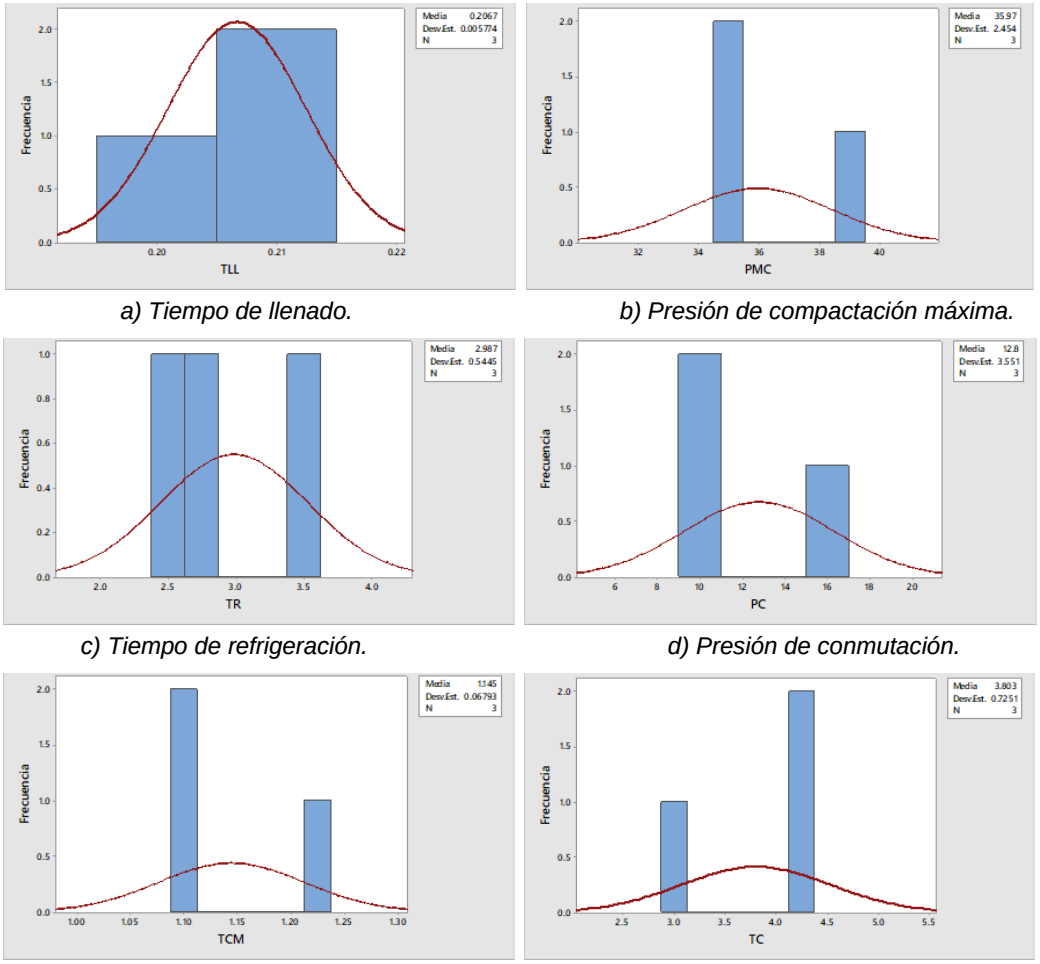
Fuente: elaboración propia

3. Resultados

Se presentan los resultados obtenidos de la simulación detallada realizada con el software Moldflow. A través de una serie de gráficas, se ilustra el comportamiento de la simulación en el contexto del caso de estudio del buje, lo que permite comprender mejor las dinámicas del flujo de material y la distribución del calor durante el proceso de inyección. En la Figura 4 se muestran los histogramas con datos estadísticos que proporcionan una alternativa para optimizar el proceso de inyección. Los histogramas del tiempo (llenado, refrigeración y compactación) que se observan, muestran cómo varía el tiempo necesario para completar cada fase del proceso. Una mayor frecuencia en un rango específico indica que la mayoría de los ensayos o piezas se realizaron dentro de ese tiempo. Si la distribución es asimétrica, podría sugerir problemas de flujo o configuraciones no óptimas en el proceso de inyección, debido a la presión y tolerancia de compactación.

La Tabla 8 contiene los datos estadísticos para identificar la simulación óptima en los tres casos de ubicación del punto de inyección. Se observa que el tiempo medio de llenado es corto y eficiente, con una baja desviación estándar que indica

consistencia en los ciclos de producción. En cambio, el tiempo de compactación es considerablemente mayor y presenta una desviación estándar más alta, lo que sugiere variabilidad que podría ser mejorada para aumentar la eficiencia y uniformidad del proceso.



a) Tiempo de llenado. *b) Presión de compactación máxima.*

c) Tiempo de refrigeración. *d) Presión de conmutación.*

e) Tiempo de compactación. *f) Tolerancia de contracción de molde.*

Fuente: elaboración propia

Figura 4 Histogramas para la simulación del buje.

Tabla 8 Datos estadísticos de la simulación en un buje.

Variable	Media	Desv. Est.
Tiempo de llenado (TLL)	0.206	0.0057
Tiempo de compactación (TC)	3.803	0.7251
Tiempo de refrigeración (TR)	2.987	0.5445
Presión máxima de compactación (PMC)	35.97	2.454
Tolerancia de contracción del molde (TCM)	1.145	0.0679
Presión de conmutación (PC)	12.8	3.551

Fuente: elaboración propia

El tiempo de refrigeración se encuentra en un rango similar al de compactación, pero con una desviación estándar menor, lo que indica que este proceso es más consistente. No obstante, es necesario evaluar si $2.987\ s$ es un tiempo óptimo para el tipo de material y producto que se está fabricando.

La maxima presión alta y su elevada desviación estándar indican variabilidad en la aplicación de presión durante la compactación, lo que podría afectar la calidad del producto final. Se recomienda un monitoreo y control más riguroso de esta variable.

Por otro lado, la tolerancia de contracción es relativamente baja, lo que puede ser positivo, ya que sugiere que el molde está bien diseñado y controlado. La baja desviación estándar indica una buena consistencia en la contracción, lo que puede mejorar la calidad final del producto.

La presión de conmutación presenta una media aún más alta, pero con una desviación estándar considerablemente mayor. Esto sugiere una gran variabilidad en su aplicación, lo que podría afectar tanto la eficiencia del proceso como la calidad del producto.

4. Discusión

En la actualidad el uso de herramientas digitales para la evaluación y mejora de procesos ha incrementado el interés en las comunidades académicas y de investigación, de ello se desprende este trabajo. Por lo que es importante mencionar y coincidir con [Ding, 2021], que el moldeo por inyección exige un control preciso de diversas condiciones de procesamiento, tales como el volumen de inyección, la temperatura del molde, la cantidad de gas dosificado y la velocidad de inyección. Estos factores son cruciales para minimizar las marcas de playa en la superficie de las piezas y asegurar la producción de componentes plásticos con diferentes tamaños de célula distribuidos a lo largo de la pieza. Esta variabilidad puede provocar diferencias en las propiedades mecánicas de una zona a otra dentro del mismo componente, logrando involucrar para ello simuladores como Moldflow y empatar las características físicas con las virtuales.

En este contexto, es fundamental crear modelos en 3D para facilitar la observación virtual, similar a un prototipo, lo que permite identificar con mayor claridad los puntos

que requieren modificaciones para mejorar el producto y, por consiguiente, el proceso de fabricación. El análisis de flujo desempeña un papel esencial en el estudio específico de las propiedades del material utilizado en la elaboración del ejemplar [Huang, 2023]. En este trabajo, se han considerado las propiedades físicas del material para la simulación del caso de estudio. El uso de simuladores como Moldflow ayuda a detectar errores en la simulación del flujo, trampas de aire y líneas de soldadura, analizando diversas posiciones del punto de inyección. Este enfoque es esencial en el estudio de [Goutham, 2022], y compararlo con la simulación del buje en este trabajo. El análisis se centra en productos elaborados mediante inyección de plásticos, lo que permite identificar oportunidades de mejora en la aplicación del simulador en contextos específicos de la ingeniería.

El estudio se destaca por utilizar una herramienta flexible y de uso intuitivo para abordar problemas complejos, MoldFlow, a diferencia de otros softwares similares, ofrece una interfaz más accesible y un proceso de simulación optimizado, lo que facilita su adopción por usuarios con distintos niveles de experiencia [Autodesk Inc., 2021]. Entre sus principales ventajas se encuentran la capacidad de realizar análisis detallados de flujo de materiales y la integración con otras aplicaciones de diseño, lo cual lo convierte en una opción versátil para el diseño y la optimización de procesos de inyección [Shen, 2017]. Sin embargo, frente a otras alternativas, como Autodesk Simulation y SolidWorks Plastics, Mold Flow puede tener limitaciones en cuanto a la velocidad de procesamiento o el costo de las licencias, aspectos que son importantes de considerar al seleccionar la herramienta adecuada para cada proyecto [Choi, 2018].

5. Conclusiones

En general, los datos indican que algunos procesos, como el tiempo de llenado y la tolerancia de contracción, son consistentes y eficientes, mientras que otros, como el tiempo de compactación y la presión de conmutación, muestran mayor variabilidad, lo que podría ser motivo de preocupación. Prestar especial atención a las variables con alta desviación estándar podría contribuir a lograr un proceso más estandarizado y eficiente. El uso del simulador Moldflow permite analizar

específicamente los tiempos y las presiones durante el proceso de producción, revelando tanto aspectos positivos como áreas de mejora que pueden optimizar la eficiencia y la calidad del producto final.

El tiempo de llenado destaca por su brevedad y consistencia, lo que refleja un proceso eficiente. Sin embargo, el tiempo de compactación, aunque más prolongado, muestra una variabilidad considerable, lo que sugiere la necesidad de una revisión detallada para estandarizar y mejorar este paso crítico. Por otro lado, el tiempo de refrigeración, aunque más homogéneo que el de compactación, debe ser evaluado para asegurar que se ajusta a las especificaciones del material utilizado. La máxima presión alta y su considerable desviación estándar indican inconsistencia en la aplicación de la presión, lo que podría afectar la calidad del producto. Por lo tanto, es crucial implementar un monitoreo más riguroso de esta variable. Además, aunque la baja tolerancia de contracción sugiere un buen control del molde, la variabilidad observada en la presión de conmutación plantea riesgos para la eficiencia y calidad del proceso, lo que requiere una atención particular.

El uso del simulador Moldflow en el análisis de un buje fabricado en PA6 mediante inyección de plásticos ha demostrado ser una herramienta esencial en el proceso de diseño y optimización. Este software permite predecir y resolver problemas relacionados con la fluidez del material, la temperatura y el tiempo de ciclo, mejorando así la calidad del producto final.

En el futuro, esta metodología facilitará el análisis de diversos tipos de materiales en distintas disciplinas de la ingeniería.

6. Bibliografía y Referencias

[1] Arès, F.; Delbergue, D.; Demers, V. Injection Flow Rate Threshold Preventing Atypical In-Cavity Pressure during Low-Pressure Powder Injection Molding. Powders, 2, 709–726. 2023.

[2] Autodesk Inc. Mold Flow Simulation vs. SolidWorks Plastics: A Feature Comparison. Autodesk Technical White Paper. 2021.

[3] Choi, J., & Park, S. Evaluating the Performance of Plastic Injection Simulation Tools. Polymer Engineering & Science, 58(7), 1093-1101. 2018.

[4] Ding, Y.; Hassan, M.H.; Bakker, O.; Hinduja, S.; Bártolo, P. A Review on Microcellular Injection Moulding. Materials, 14, 4209. 2021.

[5] Goutham, P. K., Ramesha, N. Moldflow analysis for optimization of gate location in an injection moulding tool for an electric meter box. International Journal of Creative Research Thoughts (IJCRT). Vol. 10, no. 7, pp. e722-e727. 2022.

[6] Huang, X., Zhang, W., & Wang, Y. Inverse Reconstruction of Rearview Mirror Shell and Mold Flow Analysis. Journal of Physics: Conference Series, 2562(1), 012048. 2023.

[7] Knoll, J.; Heim, H. P. Analysis of the Similarity between Injection Molding Simulation and Experiment. Polymers, 16, 1265, 2024.

[8] Li, J.; Ong, Y.C.; Wan Muhamad, W.M. Optimization Design of Injection Mold Conformal Cooling Channel for Improving Cooling Rate. Processes, 12, 1232. 2024.

[9] Liparoti, S.; De Piano, G.; Salomone, R.; Pantani, R. Analysis of Weld Lines in Micro-Injection Molding. Materials, 16, 6053. 2023.

[10] Mehta, E, Padhi, S. Performance analysis of plastic injection molding using particle swarm based modified sequential quadratic programming algorithm multi objective optimization model. Journal of Theoretical and Applied Information Technology. Vol. 101, no. 3, pp. 1053-1066. 2023.

[11] Oikonomou, D.; Heim, H. P. Analysis and Validation of Varied Simulation Parameters in the Context of Thermoplastic Foams and Special Injection Molding Processes. Polymers, 15(9), 2119, 2023.

[12] Shashank, S., Sudeep, I., Nagaraja, R. Design and plastic flow analysis of a 16-cavity injection mold for a 2-pole automobile wiring harness connector. International Journal of Engineering Technology and Management Sciences, Vol. 5, no. 7, pp. 260-268. 2023.

[13] Shen, Z., et al. Comparative Analysis of Injection Molding Simulation Tools: Mold Flow, Autodesk Simulation, and SolidWorks Plastics. Journal of Manufacturing Processes, 25, 122-131. 2017.

[14] Wang, Y.; Lee, C. Design and Optimization of Conformal Cooling Channels for Increasing Cooling Efficiency in Injection Molding. Appl. Sci., 13, 7437. 2023.