

Artículo de Investigación

Finite Element Analysis (FEA) Simulation of an Injection Mold for IPR-2E System (Injection Polymer Recycled-Two Stages)

Citación: Lombana, E; Bucheli, D; Satizabal, V; Muñoz Chaves J.A. Simulación Por Elementos Finitos De Un Molde De Inyección Para El Sistema IPR 2E (Inyección De Polímeros Reciclados De Dos Etapas. I + T + C Investigación, Tecnología y Ciencia. Vol 1. Num. 16. 2022.

Nota del editor: Sello editorial Unicomfacauca se mantiene neutral con respecto a los reclamos derivados de los resultados e esta publicación



Derechos de autor: © 2022 por los autores. Presentado para posible publicación en acceso abierto bajo los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Attribution (CC BY NC SA) (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es_ES)

Simulación Por Elementos Finitos De Un Molde De Inyección Para El Sistema IPR 2E (Inyección De Polímeros Reciclados De Dos Etapas)

Edgar Lombana ^{1,*} , Diego Bucheli ² , Victor Satizabal ³ , Javier Andrés Muñoz Chaves ⁴ 

¹ Corporación Universitaria Comfacauca; edgarlombana@unicomfacauca.edu.co

² Corporación Universitaria Comfacauca; diegobucheli@unicomfacauca.edu.co

³ Corporación Universitaria Comfacauca; victorsatizabal@unicomfacauca.edu.co

⁴ Corporación Universitaria Comfacauca; jmunoz@unicomfacauca.edu.co

*Correspondencia: edgarlombana@unicomfacauca.edu.co

Resumen: El objetivo de este estudio es evaluar y optimizar aspectos clave del proceso de inyección, como el tiempo, la presión y la capacidad de llenado, antes de la fabricación física del molde. El estudio utiliza la simulación de elementos finitos con SolidWorks Plastic como herramienta computacional para analizar el rendimiento de dos diseños de canal de inyección, designados H y TAO. Estos canales se prueban para evaluar varios parámetros relacionados con el proceso de inyección. Se determinó que el canal H quedaba descalificado debido a la presencia de líneas de soldadura, que podían comprometer la integridad de las piezas y afectar a la precisión de las pruebas destructivas. El canal TAO, por el contrario, resultó ser muy eficaz en el llenado de la cavidad, ofreciendo tiempos de proceso óptimos y presiones finales excelentes, sin líneas de soldadura perjudiciales. Estos resultados apoyan la selección del canal TAO como la opción preferida para el proceso de llenado del molde del sistema IPR-2E. Así pues, la simulación por elementos finitos está demostrando ser una herramienta esencial en la ingeniería de procesos de moldeo, ya que permite conservar recursos, mejorar la calidad de las piezas y reducir la probabilidad de que se produzcan costosos defectos.

Palabras clave: Inyección de polímeros; Análisis por elementos finitos; Molde; SolidWorks Plastics.

Abstract: The purpose of the study is to evaluate and optimize key aspects of the injection process, including time, pressure, and fill ability, prior to physical mold fabrication. The study uses finite element simulation with SolidWorks Plastic as the computational tool to analyze the performance of two injection channel designs, designated H and TAO. These channels are tested to evaluate several parameters related to the injection process. It was determined that the H channel was disqualified due to the presence of weld lines, which could compromise the integrity of the parts and affect the accuracy of destructive testing. The TAO channel, on the other hand, was found to be highly efficient in filling the cavity, offering optimal process times and excellent final pressures, with no detrimental weld lines. These results support the selection of the TAO channel as the preferred choice for the mold filling process of the IPR-2E system. Thus, finite element simulation is proving to be an essential tool in molding process engineering, conserving resources, improving part quality, and reducing the likelihood of costly defects.

Keywords: Polymer Injection; Finite Element Analysis; Mold; SolidWorks Plastics.

1. Introducción

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), en su informe del 2021, destaca que los desechos plásticos generan contaminación desde donde se originan hasta su destino final en el mar, en donde representan más del 80% de los residuos sólidos encontrados [1]. Por lo que tomar una acción pertinente y enfocada en los objetivos de desarrollo sostenible es de vital importancia para dar un enfoque más preciso a esta investigación, los objetivos a destacar son: “Producción y consumo responsable” que es el objetivo número 12 y “Vida submarina” que es el objetivo 14[2].

En los objetivos de desarrollo sostenible anteriormente mencionados se destacan la producción responsable de la demanda de artículos de uso cotidiano, es decir, tener una visión más amplia de su circulación en cuanto a las etapas de distribución, consumo y su destino final. Por otro lado, la vida submarina, se debe tomar en cuenta, ya que esta es la más afectada por los desechos plásticos sólidos que llegan al mar mediante vías fluviales, las cuales son contaminadas directamente por personas aledañas a las afluentes. Esto conlleva a un deterioro progresivo de la calidad del hábitat de las especies marinas y con ello un déficit en la salud de estas [2].

Ante el manejo adecuado de los recursos y para evitar contaminación por plásticos las simulaciones en computadora, son cruciales en la ingeniería e industria. Permiten evaluar y perfeccionar diseños antes de la producción física, brindando beneficios clave. Los ingenieros pueden analizar el rendimiento de productos antes de construirlos, ahorrando tiempo y costos al detectar problemas en etapas iniciales. Esto se traduce en una optimización de diseño, donde se prueban configuraciones, materiales y parámetros para lograr productos más eficientes y ligeros. Además, se reduce la necesidad de crear múltiples prototipos físicos, lo que ahorra recursos [3].

Por otro lado, el CAE (Ingeniería Asistida por Computadora), usa herramientas de software que proporcionan el análisis de ingeniería (es decir, térmico, de estrés, físico, etc.) de un diseño CAD, con base en análisis de elementos finitos. De forma general, la ingeniería asistida por ordenador, consta de tres etapas que son, el preprocesamiento, la resolución y el post procesamiento. En la primera etapa, se plantea el sistema y se parametriza teniendo en cuenta las condiciones y características relevantes para el funcionamiento; en la segunda etapa, se resuelve mediante modelos matemáticos y/ o geometría; en la tercera etapa se muestran los resultados del análisis [3].

En particular, la industria manufacturera dedicada a la fabricación de piezas a base de polímeros ha implementado el proceso de simulación como componente esencial para desarrollar moldes más eficientes para la reproducción en masa [4]. En este caso, la simulación permite tener una visión del funcionamiento de los dispositivos o sistemas en proceso de desarrollo, con ello se pueden predecir errores de forma precisa, además de establecer parámetros óptimos de manipulación, con el fin de reducir el número de prototipos necesarios, tiempo y costos de producción [5].

De esta forma, este trabajo busca a través de herramientas computacionales CAD/CAE la optimización del llenado de un molde de inyección para la fabricación de probetas para ensayos mecánicos de tracción en base a la norma ISO 527-2.

2. Materiales y métodos

En cuanto a este estudio se parte de la primera etapa del CAE que es proponer un diseño parametrizado con condiciones reales, para ello se tuvo en cuenta el diseño de probetas con la norma ISO 527-2 que plantea probetas con sus respectivas medidas en una doble clasificación 1A y 1B estas son ideales para estandarizar pruebas entre la comunidad científica, y la norma ASTM D638 que posee 5 clasificaciones distintas de probetas con variación en tamaño, además establece estándares más complejos para realizar las pruebas destructivas[6].

Para la segunda etapa se emplea el análisis de elementos finitos (FEA) que para términos más simplificados en el software SolidWorks se denomina “mallado” y consiste en dividir la pieza en elementos individuales interconectados por puntos llamados nodos [7].

Esta investigación en particular se basó en la norma ISO-527-2 DE 2012 para ensayos de tracción [8]. En este documento se encuentran dos probetas las cuales varían en sus dimensiones, para este caso en particular se decidió incluir las dos en un molde en distribución paralela y vertical, y se optó en cambiar la forma de los canales de colada para obtener el modelo más viable que permita un llenado adecuado del molde a fin de realizar su posterior mecanización física. Para el desarrollo del molde se usó el software SolidWorks y su complemento SolidWorks Plastics.

Una vez realizadas estas etapas se pueden visualizar los resultados de la simulación en una serie de ventanas. El diagrama de flujo de la figura 1 muestra el proceso para creación y simulación del comportamiento del molde durante el proceso de inyección.

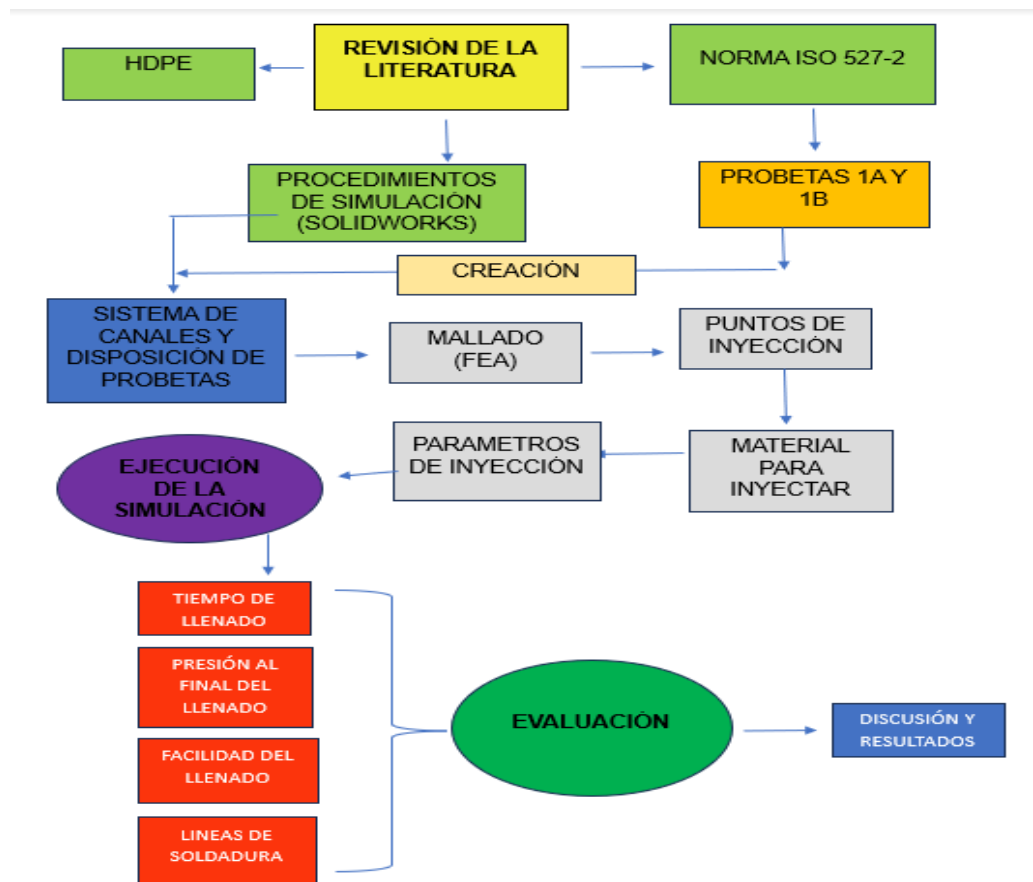


Figura 1. Diagrama de flujo (Fuente propia)

3. Resultados y discusión

El software SolidWorks es incapaz de reconocer una pieza creada para ser puesta en simulación, por tal razón, inicialmente se realiza el proceso de mallado. Vale destacar que este puede ser manual o automático, en este caso se optó por un mallado de Shell de variación manual para que la pieza a simular se dividiese en pequeñas secciones de triángulos distribuidos en la forma de la pieza que se va a trabajar. Para esta investigación se usaron triángulos equiláteros de 1 mm de longitud, esta distribución puede observarse en la figura 2.

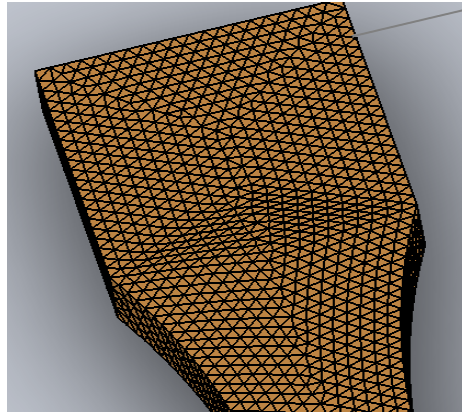


Figura 2. Diseño del mallado tipo Shell de la probeta de ensayos mecánicos (Fuente propia)

En relación con la definición de canales de croquizado, se definieron dos, denominados de canal tao y canal H (Figura 3). Los canales se diseñaron en un plano convenido para dicha tarea, y con el paso completado fue posible definir el punto de inyección, el tamaño del canal de colada, en este caso para la simulación y para evitar problemas con el posterior mecanizado se decidió tomar el canal cilíndrico y de radio igual en todos los sectores de la trayectoria trazada como canal.

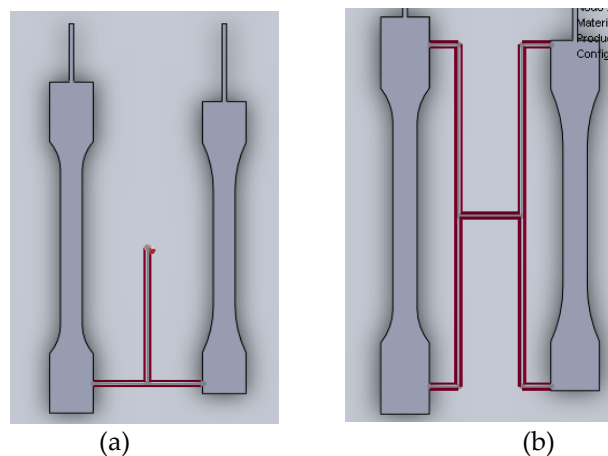


Figura 3. Diseño CAD de los canales de llenado para la probeta de ensayos mecánicos (a) Canal Tao (b) Canal en H (Fuente propia)

En particular, los modelos de control de temperatura implican gastos, y detalles específicos para su implementación, para este caso en particular se evaluó la viabilidad de omitir un control de temperatura y con ello un molde precalentado. Así, se estableció la temperatura ambiente (20°C), como la temperatura de operación del molde, además, una presión predefinida por el software de 100 MPa y los otros parámetros por defecto, ya que

son irrelevantes en este caso, debido a la ausencia de corazón en el molde. Para efectos de la simulación de flujo y/o deformación, el estudio va dirigido al flujo del polietileno de alta densidad (HDPE) por lo que se lo define por defecto y el software proporciona parámetros tales como, viscosidad, tasa de cizallamiento, entre otras. SolidWorks ofrece la ventaja de crear un informe con las características principales de la simulación, otorgando información de importancia para el diseño de un molde de inyección, por ejemplo, el tiempo de llenado, la presión al final del llenado, temperatura media al final del llenado, tasa de cizallamiento, facilidad del llenado, contribución de llenado, entre otras.

Al concluir con el proceso de simulación se obtuvieron los siguientes resultados evidenciando en todas las simulaciones obtenidas las líneas de soldadura. Así, se destacan como esenciales las pruebas de, Tiempo de llenado, Presión final de llenado y Facilidad de llenado. Las figuras 4 y 5, presentan los resultados obtenidos para cada una de las configuraciones planteadas.

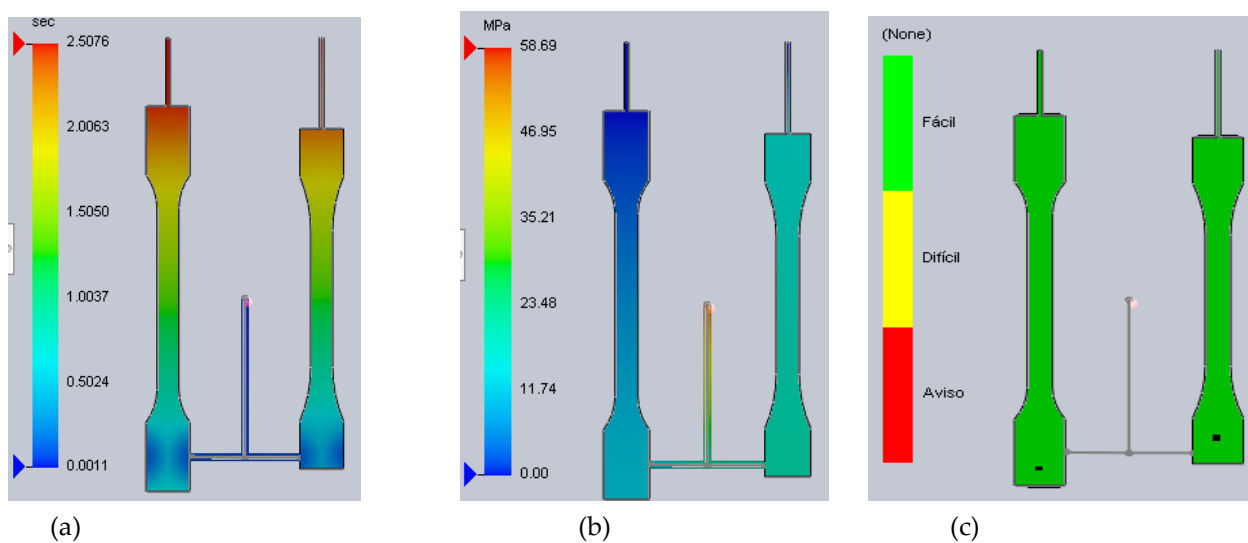


Figura 4. (a) Tiempo de llenado CANAL TAO **(b)** Presión al final del llenado CANAL TAO **(c)** Facilidad del llenado CANAL TAO (Fuente propia)

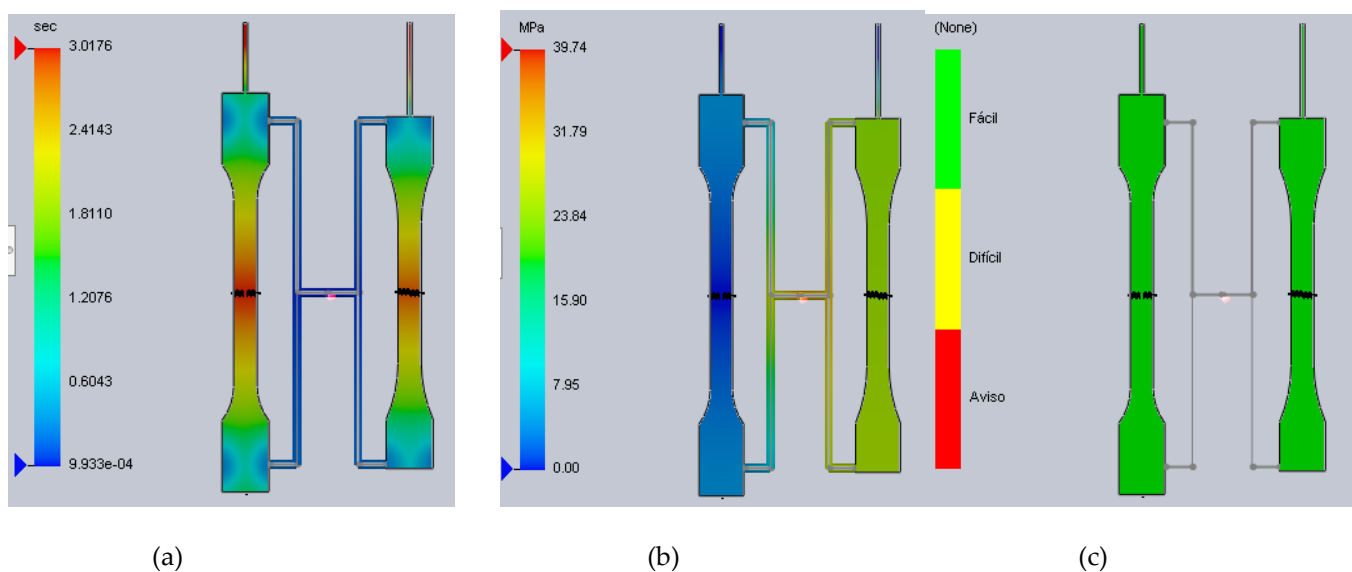


Figura 5. (a) Tiempo de llenado CANAL H **(b)** Presión al final del llenado CANAL H **(c)** Facilidad del llenado CANAL H (Fuente propia)

La evaluación de los gráficos obtenidos se lleva a cabo considerando la función prevista para las piezas fabricadas. En esta situación específica, las probetas están destinadas a someterse a una prueba de esfuerzo-deformación. Como es ampliamente conocido, en tales ensayos, las piezas suelen romperse en su parte central. Por lo tanto, resulta inviable que estas piezas presenten trampas de aire, porosidad o marcas de soldadura en especialmente en la región central.

Los resultados obtenidos permitieron descartar de inmediato el uso del canal H como opción válida. Esto se debe a que el canal H presenta líneas de soldadura en el centro de la pieza, lo que podría inducir errores significativos en los ensayos destructivos. La pieza podría romperse con facilidad, lo que afectaría la precisión de los resultados y su capacidad para reflejar la resistencia real del material moldeado.

Por otro lado, ambos canales son eficientes para lograr un llenado completo de la cavidad en un tiempo de llenado adecuado, 2,5 s para el canal TAO y 3s para el canal H. Sin embargo, en cuanto a las presiones, el canal H muestra una caída imprecisa. Esto podría resultar en una falta de presión adecuada en una de las dos probetas, lo que podría llevar a la formación de una sección transversal porosa, un material no homogéneo o incluso la rotura de la pieza durante el proceso de moldeo.

Al comparar todas las características entre los dos canales, se observa que el canal H solo presenta una ventaja en cuanto a la facilidad de llenado, un parámetro que es igualmente favorable para ambos canales. En lo que respecta a los demás parámetros, el canal H no resulta viable. Por el contrario, el canal TAO ofrece no solo un llenado eficiente, sino también un tiempo de proceso óptimo y una presión final excelente al final del llenado. Además, lo más importante, no presenta líneas de soldadura que puedan comprometer la integridad de la pieza ni influir en los ensayos destructivos de tracción.

De esta forma se destacan las ventajas significativas de utilizar la simulación por elementos finitos en el diseño de moldes de inyección, pues permite evaluar y optimizar aspectos clave del proceso de moldeo, como el tiempo, la presión y la facilidad de llenado, antes de la fabricación física del molde. Esto no solo ahorra tiempo y recursos, sino que también mejora la calidad de las piezas moldeadas y reduce la probabilidad de defectos costosos. La simulación se revela como una herramienta invaluable en la ingeniería de procesos de moldeo.

5. Conclusiones

Con base en la simulación por elementos finitos del molde de inyección para el sistema IPR-2E, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

La presencia de líneas de soldadura en el canal H lo descalifica como una opción válida para el diseño del molde. Estas líneas podrían introducir errores significativos en los ensayos destructivos, ya que la pieza se volvería frágil y propensa a romperse fácilmente. Esto comprometería la precisión de los resultados y su capacidad para representar la resistencia real del material inyectado.

Ambos canales demostraron ser eficientes para lograr un llenado completo de la cavidad en tiempos similares, con una diferencia mínima de menos de un segundo entre ellos. Esto asegura una producción eficiente y evita problemas como la formación de burbujas de aire o áreas insuficientemente llenas en las piezas moldeadas.

El canal H mostró una caída imprecisa en las presiones durante el proceso de llenado. Esto podría resultar en una falta de presión adecuada en una de las dos probetas, lo que podría llevar a la formación de una sección transversal porosa, un material no homogéneo o incluso la rotura de la pieza durante el proceso de extracción del molde.

En comparación con el canal H, el canal TAO sobresale en varios aspectos. Ofrece un llenado eficiente, un tiempo de proceso óptimo y una presión final excelente al final del llenado. Además, su mayor ventaja radica en la ausencia de líneas de soldadura que puedan afectar negativamente la integridad de la pieza o influir en los ensayos destructivos de tracción. Estos resultados respaldan la elección del canal TAO como la opción más viable para el proceso de llenado del molde de inyección para el sistema IPR-2E.

Contribuciones de autor: Conceptualización, Edgar Lombana, Diego Bucheli, Victor Satizabal y Javier Munoz; Metodología, Edgar Lombana, Diego Bucheli, Victor Satizabal y Javier Munoz; Software, Edgar Lombana, Diego Bucheli y Victor Satizabal; Validación, Edgar Lombana, Diego Bucheli, Victor Satizabal y Javier Munoz; Análisis formal, Edgar Lombana, Diego Bucheli, Victor Satizabal y Javier Munoz; Investigación, Edgar Lombana, Diego Bucheli y Victor Satizabal; Recursos, Javier Munoz; Redacción — preparación del borrador original, Edgar Lombana, Diego Bucheli y Victor Satizabal; Redacción: revisión y edición, Javier Munoz; Supervisión, Javier Munoz; Administración de proyectos, Javier Munoz; Adquisición de financiación, Javier Munoz.

Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito

Fondos: Esta investigación fue financiada por la Vicerrectoría de Investigación y Extensión de la Corporación Universitaria Comfacauca a través del proyecto “Introducción de los procesos de manufactura a la economía circular para el aprovechamiento de residuos plásticos generados en la ciudad de Popayán: FASE 2” aprobado en la convocatoria interna de proyectos de grupo de investigación del año 2022, proyectos de grupo de Investigación tipo UEES, con código VRIE2022-02G.

Agradecimientos: Los autores agradecen a la Vicerrectoría de Investigación y Extensión de la Corporación Universitaria Comfacauca por el financiamiento del proyecto. Al personal gestor de la Línea de Ingeniería y Diseño de la Red Tecnoparque Nodo Popayán por la asesoría y acompañamiento en el desarrollo del trabajo.

Conflictos de interés: Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés

Referencias

1. PNUMA. 2021. “De La Contaminación a La Solución: Una Evaluación Global de La Basura Marina y La Contaminación Plástica.” 2021. <https://www.unep.org/resources/pollution-solution-global-assessment-marine-litter-and-plastic-pollution>.
2. ONU. 2023. “Objetivos de Desarrollo Sostenible.” 2023. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>.
3. SIEMENS. 2022. “Ingeniería Asistida Por Computador.” 2022. <https://www.plm.automation.siemens.com/global/es/our-story/glossary/computer-aided-engineering-cae/13112>.
4. Baum, Markus, Fabian Jasser, Michael Stricker, Denis Anders, and Simone Lake. 2022. “Numerical Simulation of the Mold Filling Process and Its Experimental Validation.” *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 120 (5–6): 3065–76. <https://doi.org/10.1007/s00170-022-08888-9>.
5. Bolaños Plata, Omar. 2014. “Importancia de La Simulación En La Mejora de Procesos.” *AANA Journal* 76 (5): 381–82. <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/5884/tesis.pdf?sequence=1>.
6. Roel, Zwich. 2019. “ASTM D638, Propiedades de Tracción Plástico.” 2019. <https://www.zwickroell.com/es/sectores/plasticos/termoplasticos-y-materiales-termoendurecibles/propiedades-de-traccion-astm-d638/>.
7. Systems, Dassault. 2021. “Conceptos Básicos Del Análisis.” 2021. https://help.solidworks.com/2021/spanish/SolidWorks/cworks/c_Basic_Concepts_of_Analysis.htm.
8. Preview, Teh Standard. 2012. ISO 527-2, issued 2012. <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/99bacfc6-205e-4e39-83a7-df1da8959cfa/iso-527-2-2012>.

9. J. D. M.- Bautista, "Evolução do software de simulação para projeto e construção na indústria," *Polo del Conoc.*, vol. 5, no. 08, pp. 1333–1343, 2020, doi: 10.23857/pc.v5i8.1665
10. D. Morelli and S. Nieva, "La Evolución Del Software Libre Cad Para Modelado Paramétrico Tridimensional," *Congr. Argentino Ing.*, p. 15, 2018