

Diseño y construcción de una máquina inyectora de plástico para aplicaciones didácticas

Design, and construction of a plastic injection machine for educational applications

Ricardo Escarcega Romero ^a, Erik Gayosso Guevara ^b, José L. Rodríguez Muñoz ^c, Ventura Rodríguez Lugo ^d, Jorge Zuno Silva ^e, Carlos E. Borja Soto ^f

Abstract:

This work presents the design, construction, and commissioning of a small-capacity plastic injector for educational applications. The design of each of the components that make up the system was carried out using SolidWorks software, as well as its respective assembly. To control the on and off of the heater, as well as the motor in the plastic injector, a W1209 temperature controller was used, which operates with a voltage of 12V DC and a type K thermocouple with an operating range of -200°C to 1100°C. To verify that the system works correctly, an experimental test was first conducted using silicone as the working material, and the results showed proper system operation and the conditions for melting the material were achieved. Subsequently, Polypropylene (PP), High-Density Polyethylene (HDPE), and Polyvinyl Chloride (PVC) were tested and compared under the same conditions. The results demonstrated a correct operation of the experimental prototype, determining that the materials can correctly reach their melting temperatures, with PVC requiring the highest operating temperature ($T_{PVC}=175^{\circ}\text{C}$), followed by Polypropylene ($T_{PP}=165^{\circ}\text{C}$) and finally high-density polyethylene ($T_{HDPE}=110^{\circ}\text{C}$), whose optimal operating conditions were achieved at 85, 85 and 39 minutes, respectively, of his operation.

Keywords:

Plastic injection, control system, temperature, materials

Resumen:

En este trabajo se presenta el diseño, construcción y puesta en marcha de una inyectora de plástico de pequeña capacidad para aplicaciones didácticas. El modelado y diseño de cada uno de los componentes que integran el sistema se llevaron a cabo utilizando el software SolidWorks, incluyendo el desarrollo de su ensamble. Para controlar el encendido y apagado de la resistencia, así como la del motor eléctrico, modelo: QG6VDC, el cual opera a una velocidad de 12000 rpm, una corriente de 0.1-2 A y un torque máximo de 10-20 Nm. en la inyectora de plástico, se utilizó un control de temperatura W1209 el cual funciona con un voltaje de 12V DC y un termopar tipo K con rango de operación de -200°C a 1100°C. Para verificar que el sistema funciona correctamente, primeramente, se realizó una prueba experimental empleando el silicón que se usó para la prueba experimental fue el tipo EVA (acetato de etileno y vinilo) ya que es el más común y económico, ideal para pistolas de baja o media temperatura. Como material de trabajo, los resultados mostraron un correcto funcionamiento del sistema y se lograron alcanzar las condiciones de temperatura para fundir el material. Posteriormente, Polipropileno (PP), Polietileno de alta densidad (HDPE) y Cloruro de Polivinilo (PVC) fueron ensayados y

^a Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Escuela Superior de Ciudad Sahagún | Ciudad Sahagún-Hidalgo | México, <https://orcid.org/0009-0005-0911-077X>, Email: es399409@uaeh.edu.mx

^b Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Escuela Superior de Ciudad Sahagún | Ciudad Sahagún-Hidalgo | México, <https://orcid.org/0009-0003-7822-4899>, Email: ga404868@uaeh.edu.mx

^c Autor de Correspondencia, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Escuela Superior de Ciudad Sahagún | Ciudad Sahagún-Hidalgo | México, <https://orcid.org/0000-0002-4108-9414>, Email: jose_rodriguez@uaeh.edu.mx

^d Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Área Académica de Ciencias de la Tierra y Materiales | Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería | México, <https://orcid.org/0000-0001-8767-032X>, Email: venturar165@gmail.com

^e Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Escuela Superior de Ciudad Sahagún | Ciudad Sahagún-Hidalgo | México, <https://orcid.org/0000-0002-1997-5399>, Email: jorge_zuno@uaeh.edu.mx

^f Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Escuela Superior de Ciudad Sahagún | Ciudad Sahagún-Hidalgo | México, <https://orcid.org/0000-0003-3385-8348>, Email: carlos_borja@uaeh.edu.mx

comparados bajo las mismas condiciones de operación. Los resultados demostraron un correcto funcionamiento del prototipo experimental, determinando que los materiales pueden alcanzar correctamente sus temperaturas de fundición, siendo el PVC el que mayor temperatura de operación requiere ($T_{PVC}=175^{\circ}\text{C}$), seguido del Polipropileno ($T_{PP}=165^{\circ}\text{C}$) y finalmente el Polietileno de alta densidad ($T_{HDPE}=110^{\circ}\text{C}$), cuyas condiciones óptimas de operación se lograron a los 85, 85 y 39 minutos, respectivamente de su operación.

Palabras Clave:

Inyectora de plástico, sistema de control, temperatura, materiales

Introducción

Las máquinas inyectoras de plástico surgieron en 1872 con el diseño de los hermanos Hyatt y evolucionaron rápidamente con la invención de materiales como la baquelita en 1907. Años más tarde, James Hendry revolucionó la eficiencia del proceso mediante el uso del tornillo sinfín en este tipo de dispositivos. Sin embargo, no fue hasta los años 50 que se implementó la automatización y los controles electrónicos mejorando la producción masiva en las inyectoras de plástico y en la actualidad estas máquinas incorporan tecnología sostenible y conectividad inteligente bajo la Industria 4.0 (Méndez, 2016). Por otra parte, la industria del plástico ha sido una de las más dinámicas en las últimas tres décadas, pero el proceso de fabricación de piezas plásticas se lleva a cabo con tecnologías que no son las más adecuadas para asegurar una producción de calidad. Este problema está vinculado a aspectos como el diseño, la operación y el control de los equipos utilizados en las empresas (Vela, 2009).

La inyección de plástico es una de las metodologías más destacadas para procesar este material, ya que permite la producción de piezas con geometrías complejas de manera eficiente y accesible. Para llevar a cabo este proceso, es fundamental contar con una prensa de inyección, la cual ha experimentado avances significativos en tiempos recientes, mejorando tanto su facilidad de uso como su capacidad para ajustar la inyección de acuerdo con las necesidades específicas de cada operación (Núñez, 2011). Cabe mencionar que, en las inyectoras de plástico, la unidad de inyección se encarga de fundir, mezclar e inyectar el plástico, utilizando husillos variados según el tipo de material. Durante este procedimiento, es crucial controlar parámetros como la temperatura, la capacidad del plástico para absorber calor y, en algunos casos, la cantidad de calor requerida para realizar el cambio de estado. A medida que el plástico se calienta, su viscosidad disminuye, lo que favorece el flujo, aunque esto también exige ajustes precisos en la temperatura y la velocidad (Marcelo, 2009).

En el desarrollo de este tipo de dispositivos existe una gran variedad de trabajos con inyectoras de plástico que se enfocan en el diseño, análisis, así como la instrumentación y control, con el objetivo de mejorar sus prestaciones energéticas y la calidad del producto. Tal es el caso de Molina, 2009 quien diseñó e implementó un sistema de control para una inyectora de plástico utilizando un Controlador Lógico Programable (PLC), ayudando a que el operador pudiera interactuar con el proceso de producción de piezas de plástico a través del uso de una computadora. Los autores concluyeron que, la construcción de la inyectora se puede trabajar sin inconvenientes de forma automática y/o semiautomática, donde el operador tiene gran importancia en las condiciones de operación del sistema y la calidad del producto. García-Montoya et al., 2013 demostraron la adecuación tecnológica de una inyectora de plástico implementada en el laboratorio de mecánica en la Universidad Tecnológica de Pereira mediante un sistema de control, supervisión y adquisición de datos (SCADA). Los autores concluyeron que las condiciones de temperatura en el tubo de plastificación permiten mantener las condiciones adecuadas de funcionamiento de la unidad. Canteros, et al., 2018 propusieron el diseño en una herramienta de modelado 3D y realizaron el cálculo de una inyectora de plástico para aplicaciones de baja capacidad de producción. Derivado de su estudio, los autores demuestran la factibilidad en su construcción y que el diseño realizado a través de dicha herramienta computacional puede ser implementado sin dificultad para geometrías de husillos de 40 mm de diámetro, lo cual contribuiría en la reducción de plástico en toda la región de Argentina. Martínez et al., 2018 realizaron el diseño de una máquina inyectora de termoplásticos de alta y baja densidad de 200-300 gramos, además analizaron el llenado de la pieza y la cantidad de inyección por medio del método de simulación de Elementos Finitos (FEM), determinando que los esfuerzos de tensión, flexión y el factor de seguridad juegan un papel determinante en su diseño estructural. La comparativa fue realizada empleando NYLON PA6 y Polietileno lineal de baja densidad (LLDPE), concluyendo que el NYLON PA6 presenta un menor tiempo de llenado del molde y las propiedades mecánicas presentan una mayor resistencia a la tracción, buena tenacidad, dureza, y resistencia a la abrasión, en comparación con aquellas obtenidas por el LLDPE. Armijos, 2019 también realizó la automatización y control de una inyectora de plástico empleando un PLC y una interfaz hombre-máquina (HMI), así como el uso del software FluidSIM para observar el

comportamiento fluido-mecánico del sistema. Como conclusiones los autores encontraron que los tiempos de fabricación de piezas se pueden reducir hasta en un 85%. Jurado Páramo et al. (2019) realizaron una metodología para simular el moldeo por inyección utilizando el software ANSYS Workbench® 14.5. Además, para el proceso de inyección del plástico utilizaron el software CFX® y Fluent® para realizar una comparación teórica de los resultados. Los autores concluyeron que la simulación realizada en este tipo de softwares resulta adecuada debido a que las condiciones de presión y temperatura pueden ser estudiadas, así como el análisis estructural de los componentes que conforman el sistema, lo cual es directamente aplicable para el correcto funcionamiento de los moldes.

Por su parte, Lavin Daniel, 2021 instaló un robot para poder sustituir el trabajo humano de carga y descarga entre dos inyectoras, por un proceso automatizado con un sistema de seis ejes controlado eléctricamente (KUKA), mediante el software KUKA HMI Easy. Derivado de su estudio, los autores encontraron que los resultados fueron satisfactorios, debido a que estas implementaciones reducen la labor humana y los accidentes laborales en ese ámbito. Pérez Colibrí et al., 2021 adecuaron una inyectora de plástico con ayuda del mantenimiento correctivo, además los autores le agregaron a la máquina un sistema de control TECH 2 y un panel HMI V8, estos en conjunto son un controlador HMI diseñado específicamente para máquinas de moldeo por inyección. Los autores concluyeron que con la implementación de un panel de monitoreo y control de la máquina, esta resulta ser más eficiente, ya que con ellos se pueden controlar múltiples variables del proceso de moldeo. Amargo Prato et al. (2021) realizaron el diseño y los cálculos de resistencia y deformación en una inyectora de plásticos por medio del uso del método de elementos finitos. Para determinar la factibilidad de su construcción durante la realización de piezas pequeñas con dimensiones menores a los 15 cm³, como resultado obtuvieron una ficha técnica del sistema para todo el proceso de construcción de la inyectora de plástico. Mantilla Rodríguez et al., (2022) desarrollaron y diseñaron una máquina inyectora de plástico automatizada utilizando herramientas de simulación para mejorar el rendimiento y la productividad en el reciclaje de plásticos. La automatización de la inyectora de plástico permitió aumentar el rendimiento de 75% a 97% y la productividad de 28 botellas a 37 botellas por minuto, evidenciando mejoras significativas en comparación con una máquina manual. Rojas-Campuzano et al., 2022 añadieron un sistema automatizado de recolección y análisis de datos por medio del uso de la técnica Machine Learning. Los autores concluyeron que por los resultados obtenidos presentan mejoras significativas dentro del departamento de producción y calidad de la planta, lo cual permitió observar las diferentes paradas que puede tener

la máquina para evitar o corregir fallos. Vera et al., 2023 pusieron en marcha el funcionamiento en el sistema de extracción de una inyectora de plástico, así como el diseño y simulación del sistema. Al finalizar con su estudio, los autores pudieron poner en marcha la inyectora de plástico, la cual se encuentra instalada dentro de las instalaciones del Instituto Superior Tecnológico Tsáchila de la ciudad de Santo Domingo. Segura Alarcón et al., 2024 diseñaron y fabricaron una inyectora de plástico con compresión neumática con la finalidad de reciclar y reutilizar los desechos de PLA de impresoras 3D en el laboratorio de manufactura digital de la facultad de ingeniería de la Universidad de Concepción en Chile. Los autores obtuvieron resultados satisfactorios, ya que lograron darle otra utilidad al PLA desperdiciado. Vilatuña Catagña et al., 2024 realizaron el mantenimiento correctivo y preventivo a una máquina inyectora de plástico del taller de máquinas herramientas del bloque Tecnológico Universitario Vida Nueva, los autores concluyeron que al realizar un mantenimiento correctivo y preventivo a este tipo de máquinas es muy complejo debido a la gran cantidad de componentes que contienen este tipo de sistemas.

Dentro de la literatura revisada existe una variedad de trabajos que se enfocan en el diseño, construcción, así como la instrumentación y control de diversos tipos de inyectoras de plástico para diversas aplicaciones y capacidades. Es por ello que el presente trabajo tiene como finalidad el diseño, construcción y puesta en marcha de una máquina inyectora de plástico con fines educativos, la cual permita el monitoreo y control de las condiciones de operación de la máquina inyectora de plástico, lo que ayudará a comprender los parámetros que afectan la calidad del producto. Para ello, tres materiales fueron analizados y comparados para determinar la calidad y el correcto funcionamiento del sistema.

Desarrollo

La máquina inyectora de plástico para fines didácticos se muestra en la Figura 1. El diseño está constituido de un tornillo sinfín, cilíndrico o cañón, una boquilla, una tolva, husillo y los calefactores, un motor u con sensor controlador W1209. La tolva es el componente donde se almacena el material plástico antes de su introducción en la unidad de inyección. Este elemento asegura un flujo constante y controlado del material hacia el husillo, mientras el motor eléctrico, es la fuente de energía principal que impulsa los componentes mecánicos de la máquina de inyección (SEOMoldblade, 2024). A su vez, el tornillo sinfín es el encargado de transportar el material a lo largo del cañón, el cual es calentado por medio de una resistencia eléctrica hasta que es fundido y

transportado hasta la boquilla, donde el plástico fundido se inyecta en la cavidad del molde (Víctor, 2022). Por otro lado, la función principal del husillo es homogeneizar el material plástico, además de impulsarlo hacia la boquilla inyectora. El husillo gira dentro del cilindro de inyección, generando calor por fricción y ayudando al proceso de fundición, mientras los calefactores, compuestos por diferentes resistencias, situados alrededor del cilindro, complementan este proceso al proporcionar el calor adicional necesario para mantener el plástico en su estado líquido. Finalmente, el sensor W1209 es el encargado de medir la temperatura en tiempo real y controlar el encendido y apagado de la resistencia calefactora.

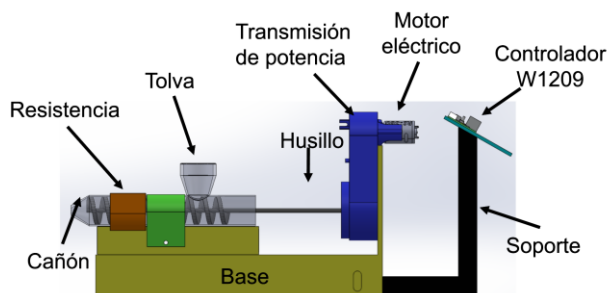


Figura 1. Componentes de la máquina de inyección de plástico. Fuente: Elaboración propia.

Para realizar el proceso de construcción de este prototipo y las pruebas experimentales, primeramente, se procedió al diseño de cada uno de los componentes que conforman el sistema por medio del software de modelado en 3D, así como la elaboración de piezas de forma independiente. Además, de ayudar en la realización de ensamblajes sencillos o complejos, así como la realización de la simulación y análisis del sistema para determinar su correcto funcionamiento.

Es importante mencionar que este es un prototipo para uso didáctico por lo que se consideró un tamaño pequeño para su fácil manipulación.

Con respecto al diseño, se construyeron once piezas en el programa CAD de entorno 3D para posteriormente realizar un ensamblaje en el mismo software. Inicialmente se realizó el diseño del soporte del controlador que está constituido por dos PTR conectados a 90° de 24 mm x 24 mm, cuyas longitudes son de 117 mm y 195 mm, respectivamente (véase la Figura 2), cuyo material es de acero A36. Cabe mencionar que este acero es de bajo contenido de carbono (<0.25%), resistente a bajas y altas temperaturas y presenta una resistencia a la tracción que oscila entre 400-550 MPa (58,000-79,800 psi).

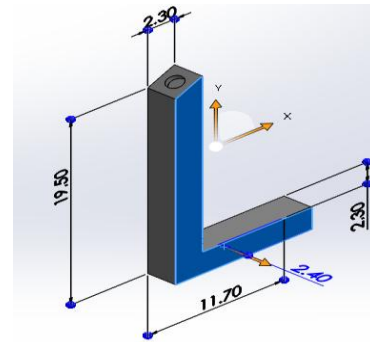


Figura 2. Soporte del controlador. Fuente: Elaboración propia.

Para soportar el controlador W1209, se realizó una placa cuyas medidas son de 200 mm x 95.1 mm (véase la Figura 3) y se empleó acero A36 como material de fabricación, similar al utilizado para el soporte del controlador, esto ayudará a que no sufra daños estructurales al momento de su funcionamiento.

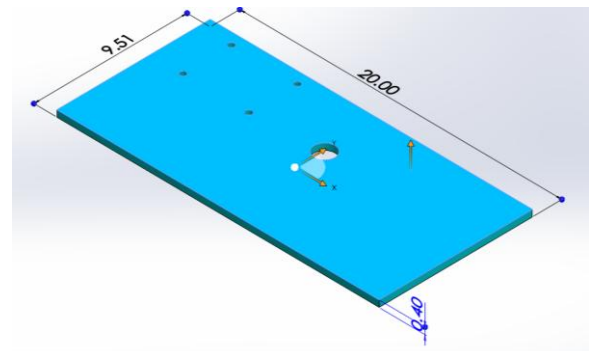


Figura 3. Placa-Soporte del controlador W1209. Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, se diseñó la estructura donde se colocará el cañón con la tolva, empleando como material de construcción un acero A36. Esta base cuenta con las siguientes dimensiones: largo de 355 mm x 100 mm de ancho, 50 mm de altura, así como un espesor de 4 mm. Además, tendrá una placa ubicada en la parte lateral que servirá de apoyo para colocar el motor que a su vez transmitirá la potencia al husillo, cuyas medidas son de 185 mm de largo y 100 mm de ancho, así como 6 mm de espesor (véase la Figura 4). Así mismo, en la parte superior de la base se cuenta con otro PTR cuyas dimensiones son de 40 mm de largo, 35 mm de ancho y un espesor de 3 mm. Además, se realizó un corte cuadrado de 44 mm donde estará ubicada la resistencia calefactora.

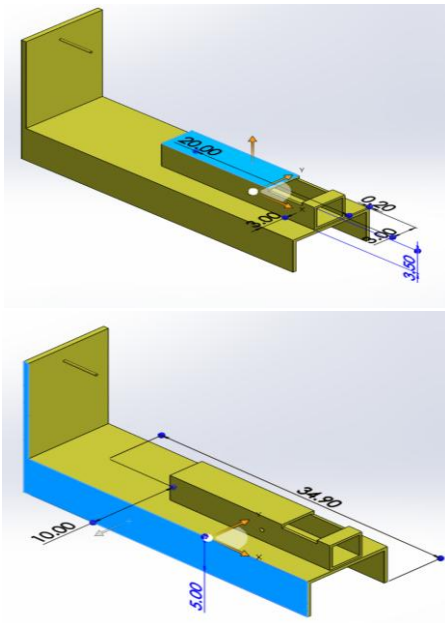


Figura 4. Base del cañón. Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, se realizó una caja donde se colocará el sistema de transmisión, dicha caja será fabricada de material ABS donde se realizó una perforación de un diámetro de 70 mm, con un espesor de 10 mm, al cual se le adiciona el soporte del motor de 6V DC. (Ver Figura 5)

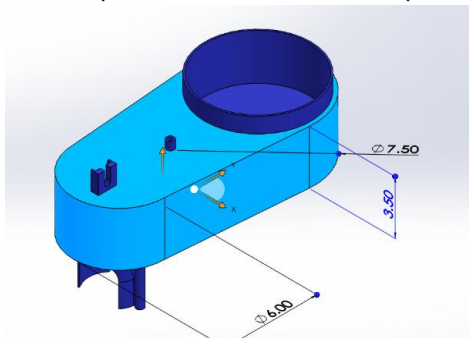


Figura 5. Caja de transmisión del sistema. Fuente: Elaboración propia.

Para el diseño del cañón, el husillo, la tolva y la tapa del cañón se tomaron en cuenta las medidas de la estructura central, las cuales se mencionaron previamente. Para el cañón se utilizaron las siguientes medidas, de diámetro interior 34.7 mm, un diámetro exterior de 38 mm y una longitud de 200 mm, también se le agregó una punta de diámetro exterior e interior de 13 mm y 6 mm, respectivamente. Cabe mencionar que esta pieza fue diseñada con acero inoxidable 304, el cual es un acero inoxidable austenítico que contiene principalmente manganeso (2.0%), Níquel (10.5%), Nitrógeno (0.10%) y carbono (0.08%), estos elementos hacen al acero inoxidable un material con excelencia en soldabilidad y con una alta resistencia a la corrosión (Ainoxas,2016), así como una resistencia de entre 110 y 460 MPa (García,

2023). Para la tolva se utilizó el mismo material, y se le dieron las siguientes medidas; un diámetro exterior de 44.4 mm y un diámetro interior de 37 mm con una longitud de 38.40 mm llegando a la parte más reducida, la cual tiene un diámetro exterior de 28.29 mm y un diámetro interno de 24.56 mm (ver Figura 6).

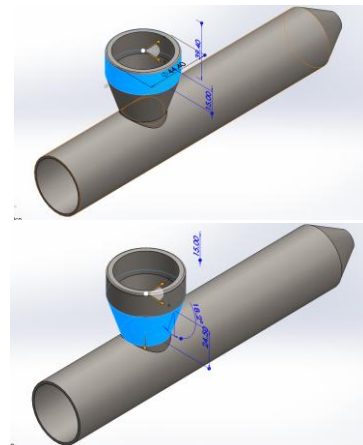


Figura 6. Cañón con tolva. Fuente: Elaboración propia.

El husillo es uno de los componentes principales en la inyectora de plástico, por tal motivo, es primordial seleccionar el tipo de material y su configuración para asegurar un correcto funcionamiento (Figura 7). Para tal caso, se estableció un diámetro de 15.875 mm y una longitud de 316 mm. Las hélices cuentan con una altura de 10.125 mm y un espesor de 5 mm (ver figura 6) y el material fue fabricado de acero a 36, las medidas de las hélices son las siguientes, una profundidad de 10.6 mm un espesor de 5 mm y una separación entre hélices de 12.5 mm, con un ángulo de 20°. Es importante mencionar que el material de fabricación del husillo es el mismo que se empleó para la base, placa de control, estructura del soporte y soporte de la resistencia

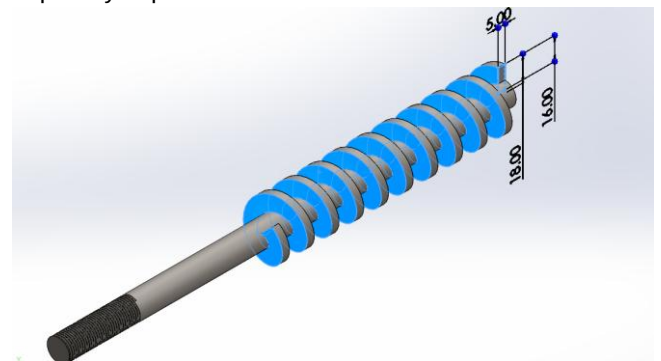


Figura 7. Dimensiones del husillo. Fuente: Elaboración propia.

La tapa del cañón se elaboró con un material de plástico ABS, el cual es un Acrilonitrilo Butadieno Estireno, que se caracteriza por ser ligero, resistente, fácil de moldear,

presentar buena resistencia a impactos y a temperaturas no muy elevadas, cuyo valor es de aproximadamente 74 MPa (Aceromafe, 2023). Además, esta pieza cuenta con las siguientes medidas: diámetro mayor de 36 mm, así como un diámetro menor de 34 mm, la cual va colocada en la parte trasera del cañón, cubriendo al eje del husillo, esto con la finalidad de que el plástico fundido no se escape entre el espacio generado entre el husillo y el cañón (ver Figura 8).

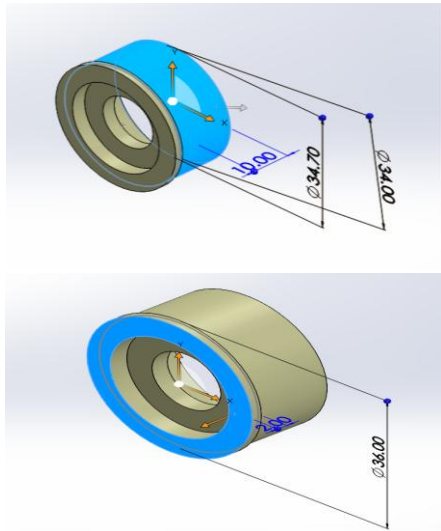


Figura 7. Centrador del Husillo. Fuente: Elaboración propia.

Considerando cada uno de los componentes de la inyectora de plástico, se procedió a la realización del ensamble. En la Figura 8 se muestra el prototipo final diseñado por medio de una del software en 3D.

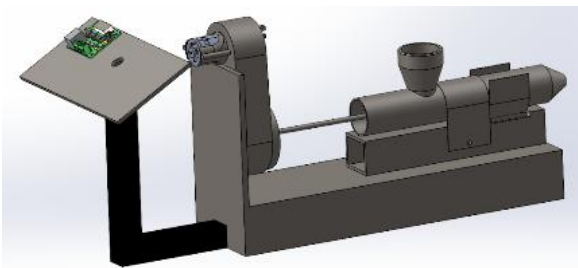


Figura 8. Diseño final de la inyectora. Fuente: Elaboración propia.

Es importante mencionar que se empleó un motor de 6 VDC para transmitir la potencia al sistema de transmisión y con esto al husillo en la inyectora de plástico didáctica. El modelo del motor empleado en el presente proyecto es un QG6VDC con un peso de 65 gramos, el cual opera a una velocidad de 12000 rpm, una corriente de 0.1-2 A y un torque máximo de 10-20 Nm. Además, cuenta con un diámetro de eje de 2.3 mm, una longitud del motor de 38

mm y diámetro del motor de 24 mm.

Sistema de control

En la Figura 9 se puede observar el sistema de control empleado para monitorear la temperatura en el cañón, así como para controlar el encendido y apagado de la resistencia calefactora. Para este caso, el sensor W1209 está encargado de medir la temperatura de la resistencia calefactora que se encuentra en contacto con el cañón de la inyectora de plástico. La lectura es registrada por medio de una pantalla LCD de tres dígitos, la cual permite monitorear el valor de temperatura en tiempo real con un rango de -50 a 110°C . Además, este cuenta con las siguientes dimensiones: 48 mm de largo, 40 mm de largo y 14 mm de espesor, y funciona conectando el sensor de coeficiente de temperatura negativo (NTC) en el lugar indicado en el W1209. Luego, se conecta la resistencia a las terminales K0 (Común - COM) y K1 (Normalmente Abierto - NO), donde uno de los cables de la resistencia va al terminal K0 (Amarillo) y el otro al terminal K1 (Verde) que a su vez debe estar conectado a un voltaje de alimentación a 110V y una corriente de operación de 35 mA. Esto permitirá que el relé del módulo controle cuándo el encendido y apagado de la resistencia calefactora. Para su funcionamiento, el sensor requiere una alimentación de 12V DC, el cual es conectado a una terminal positiva a 12V de la fuente de alimentación (rojo) y la otra terminal a GND (negro), lo cual garantiza su correcto funcionamiento. Finalmente, se ajustará el sensor-controlador para que la resistencia se encienda cuando la temperatura esté debajo de 30°C y se apagará cuando la temperatura suba a 90°C .

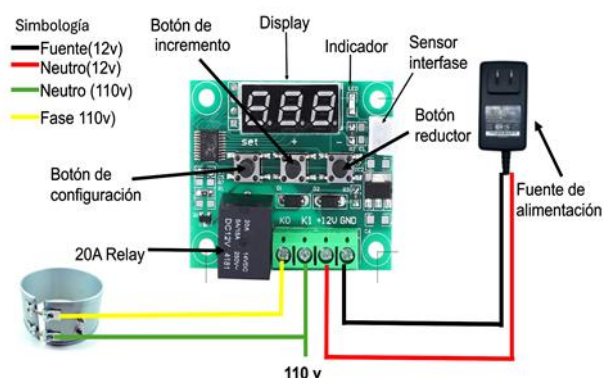


Figura 9. Sensor-controlador W1209. Fuente: Elaboración propia.

La figura muestra el punto exacto en el que se colocó el termopar tipo K en contacto con el cañón de la inyectora. Este sensor es fundamental porque:

1. Monitoreo de temperatura: Permite medir la temperatura real en la zona de calentamiento donde el material plástico comienza a fundirse.
2. Control automático: Está conectado al módulo controlador W1209, que regula el encendido y apagado de la resistencia calefactora según los valores programados, evitando sobrecalentamiento o enfriamiento.
3. Garantía del proceso: La posición del termopar asegura que la lectura refleje de manera precisa el estado térmico del material, lo que permite mantener condiciones óptimas de operación y asegurar que el plástico alcance su punto de fusión antes de ser inyectado.
4. Seguridad y eficiencia: Gracias a esta ubicación estratégica, se logra una respuesta rápida en la regulación de la resistencia, mejorando la eficiencia energética y reduciendo riesgos en el funcionamiento del prototipo.

La Figura 10 ilustra la localización del termopar en el cañón de la inyectora, evidenciando su papel como elemento clave para el control térmico del sistema y la correcta fundición del material plástico.

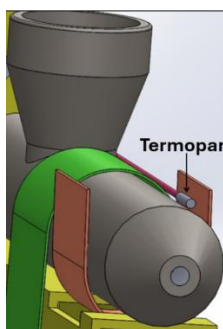


Figura 10. Ubicación del termopar en la máquina de inyección de plástico. Fuente: Elaboración propia.

Resultados

Antes de hacer las pruebas pertinentes con los materiales plásticos, se decidió realizar una primera prueba con silicón, el cual tiene una temperatura de fusión de 120°C y es fácilmente de conseguir. Para esto, se encendió la resistencia calefactora hasta que alcanzara la temperatura de fusión del material. Posteriormente, se hace encender el motor, el cual transmite potencia al sistema de transmisión, así como el movimiento al husillo que se encarga de transportar el silicón desde la tolva hasta la zona de calentamiento. En la zona de calentamiento, el material absorbe calor proveniente de la zona de calentamiento hasta que se convierte completamente en líquido, para posteriormente salir por el inyector y completar el ciclo (Figura 11). Los resultados mostraron que la inyectora de plástico funciona

adecuadamente, desde que se pueden monitorear y controlar las condiciones de operación de la máquina, así como determinar los tiempos entre cada etapa durante el proceso de fusión del plástico. De la figura también se puede observar que el material fluye adecuadamente a través del husillo sin ninguna dificultad, lo que permitió un buen flujo de material a través de la boquilla y demostrar la funcionalidad del sistema.



Figura 11. Proceso de fusión del silicón. Fuente: Fuente: Elaboración propia.

Una vez que se determinó que la inyectora de plástico funciona correctamente, se realizaron las pruebas experimentales a tres diferentes tipos de plástico; Polipropileno (PP), Polietileno de alta densidad (HDPE) y Cloruro de Polivinilo (PVC) (ver Figura 12).



Figura 12. Materiales empleados en la realización de pruebas experimentales. Fuente: Elaboración propia.

Para la realización de las pruebas experimentales con el PP, HDPE y PVC, se determinaron las propiedades y temperatura de fundición de cada uno de ellos y los resultados son mostrados en la Tabla 1. De los tres materiales, el PVC es el material con la mayor temperatura de fundición con valores que oscilan entre los 160-210°C, seguido del PP cuya temperatura de fundición oscila entre los 160-170°C y finalmente, el HDPE, el cual se funde entre 105-115°C.

Tabla 1. Materiales para la realización de pruebas experimentales. Fuente: Elaboración propia.

Material	Propiedades físicas	Temperatura de fundición
Polipropileno (PP)	Ligero, resistente al impacto y a la fatiga, buena estabilidad térmica.	160-170°C.
Polietileno de alta densidad (HDPE)	Flexible, translúcido, baja rigidez, buena resistencia química.	105-115°C.
Cloruro de Polivinilo (PVC)	Rígido o flexible según aditivos, resistente al desgaste y la intemperie.	160-210°C, dependiendo de la formulación.

Antes de realizar el proceso de fundición de los materiales, primeramente, se tomaron los tiempos de calentamiento en cada uno de los componentes que conforman la inyectora de plástico, los cuales fueron medidos con la ayuda de un cronómetro y el sistema de control de temperatura, y los resultados obtenidos fueron registrados cada 20 segundos hasta alcanzar las condiciones adecuada de operación (175°C para el PVC, 165 para el PP y 110°C correspondientes al HDPE). En la Figura 13 se muestran las variaciones de temperatura que se obtuvo en el husillo durante la prueba de calentamiento. Como se muestra en la figura, este componente comienza el proceso de calentamiento desde una temperatura ambiente de 23.2°C. A los 20 segundos se tomó una segunda lectura y el registro marcó un incremento de temperatura de 12.5°C. Esto se debe a que el husillo está fabricado con material de acero A36 y tener un grosor de 15.875 mm, se comienza a transferir calor desde la resistencia hasta el interior del cañón, lo que provoca que se eleve la temperatura del husillo hasta alcanzar las óptimas condiciones de operación, el cual corresponde a 115°C a los 150 segundos de haber realizado la medición.

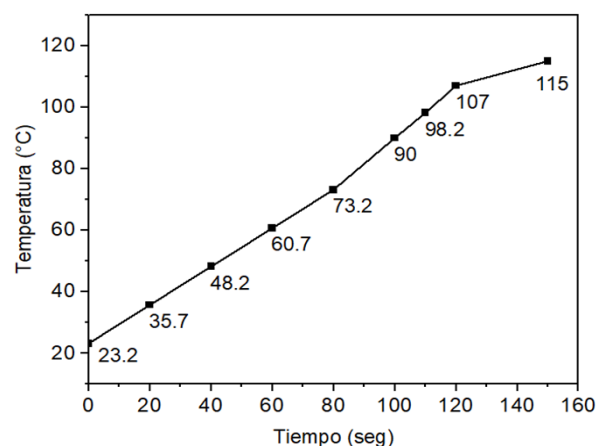


Figura 13. Temperatura de calentamiento del husillo. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 14 se muestran las mediciones de temperatura en el interior del cañón de la inyectora de plástico. Para este caso se realizó el mismo procedimiento planteado para el husillo, donde la temperatura fue aumentando de forma gradual, desde la temperatura ambiente (23.2°C) hasta alcanzar la máxima temperatura de operación (120°C). Las mediciones fueron realizadas en intervalos de 20 segundos, mostrando que el cañón aumentó su temperatura desde las condiciones ambientales hasta alcanzar un valor de 38.68°C a los 20 segundos de haber comenzado la prueba, posteriormente, la temperatura en el cañón continúa incrementándose con intervalos de aproximadamente 15°C hasta alcanzar su máximo valor a los 120 segundos de haberse realizado la prueba.

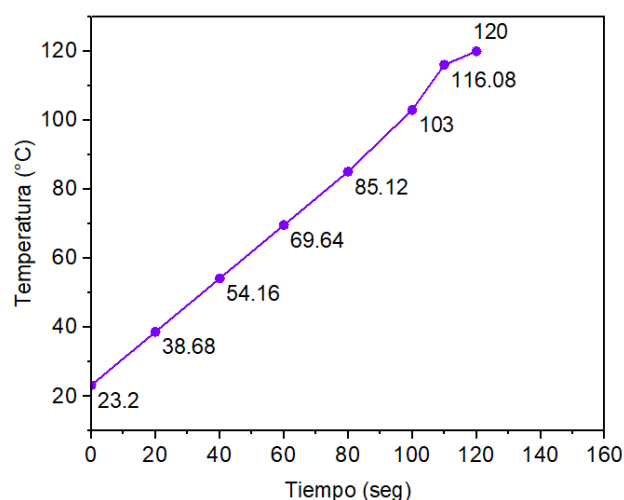


Figura 14. Temperatura de calentamiento del cañón. Fuente: Elaboración propia.

El perfil de temperatura relacionado a la resistencia calefactora se ilustra en la Figura 15. Este componente es utilizado para garantizar las condiciones adecuadas de

temperatura en cada uno de sus componentes de la inyectora de plástico y que el material se pueda fundir completamente. Se puede observar que el proceso de calentamiento duró 150 segundos para lo cual, la temperatura se incrementó de 23.2°C hasta 175°C, para lo cual se corrobora el correcto funcionamiento del sistema.

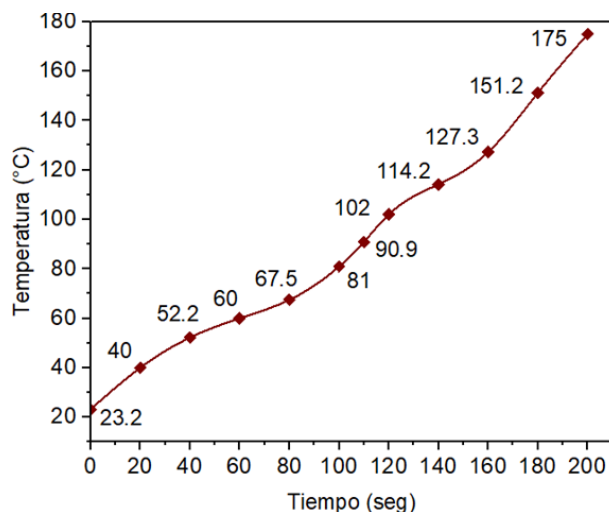


Figura 15. Medición de la temperatura de calentamiento de la resistencia. Fuente: Elaboración propia.

En el caso del proceso de calentamiento total de la máquina, se tomaron las pruebas de calentamiento en intervalos de 6 minutos, llegando a la temperatura de 120°C a los 54 minutos de haber realizado la prueba. Se puede apreciar el incremento de temperatura fue en promedio de 14°C y se realizó un registro de 10 datos hasta alcanzar las óptimas condiciones de operación. realizados fue de 10. El perfil de temperatura se ilustra en el Figura 16.

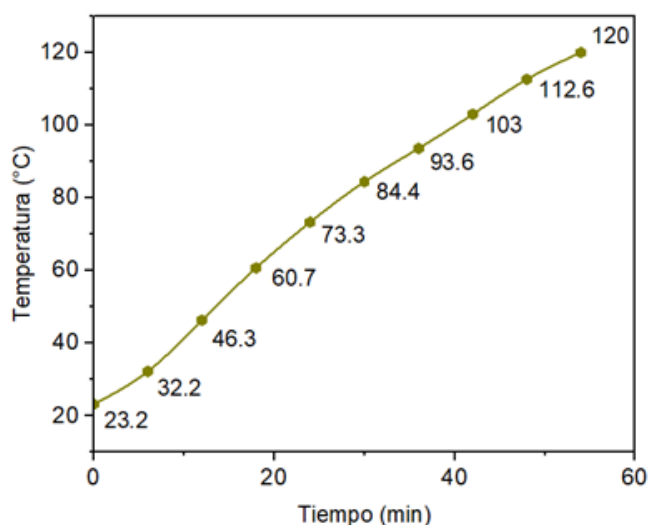


Figura 16. Temperatura de calentamiento de la máquina. Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, se realizaron las pruebas experimentales a los tres materiales. En la Figura 17 se muestra el proceso de fundición del PVC, en el cual se puede observar el perfil de temperatura, así como el tiempo que tarda en fundir todo el material. Para pasar desde el punto de solidificación hasta la fundición del PVC, se requirió un tiempo total de 85 minutos. Durante este periodo de tiempo, se inyectó un volumen específico de material en la tolva y se esperó hasta que este fuera completamente expulsado a través del inyector, definiendo lo que se denomina ciclo experimental. Al final de cada ciclo de experimentación se concluye la prueba y se deja enfriar hasta comenzar una nueva prueba.

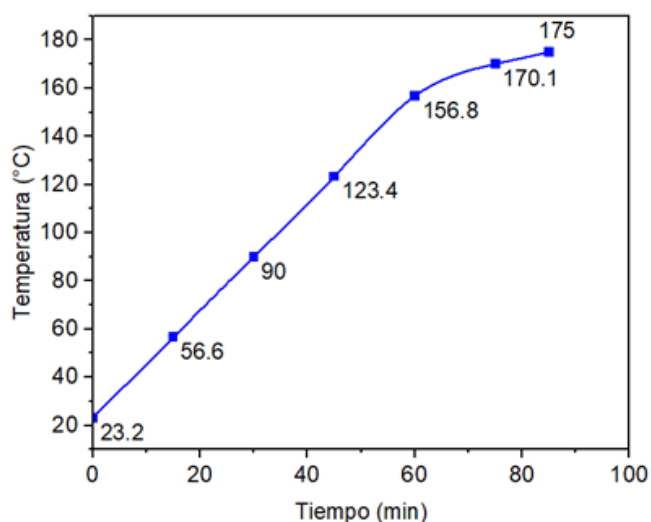


Figura 17. Temperatura de fusión del PVC. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 18 se muestra la prueba realizada con el polipropileno en la inyectora de plástico, la cual fue realizada a las mismas condiciones de operación y bajo el mismo tiempo de trabajo. Los resultados mostraron que, a los 85 minutos de haber comenzado la prueba, la temperatura del material alcanzó los 165°C, los cuales son adecuados para que el material fluya a través de la zona de calentamiento hacia la boquilla y posteriormente enviarlo al molde para darle su forma final. También se observa que el proceso de calentamiento se va realizando de forma gradual hasta alcanzar las condiciones adecuadas de operación de la unidad.

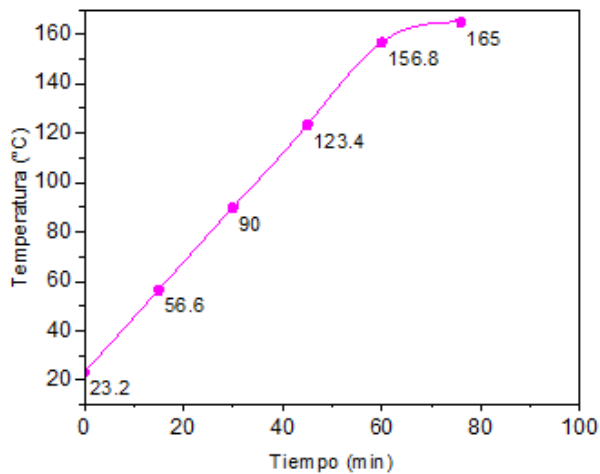


Figura 18. Temperatura de fusión del PP. Fuente: Elaboración propia.

Para el caso del HDPE, el proceso de moldeo puede resultar en un menor tiempo, debido a que se requieren de 39 minutos para alcanzar la temperatura de fundición del material (ver Figura 19). Se puede apreciar que el comportamiento térmico del material es completamente lineal, cuyos incrementos de temperatura que se registraron en cada etapa del proceso fueron de aproximadamente 33°C.

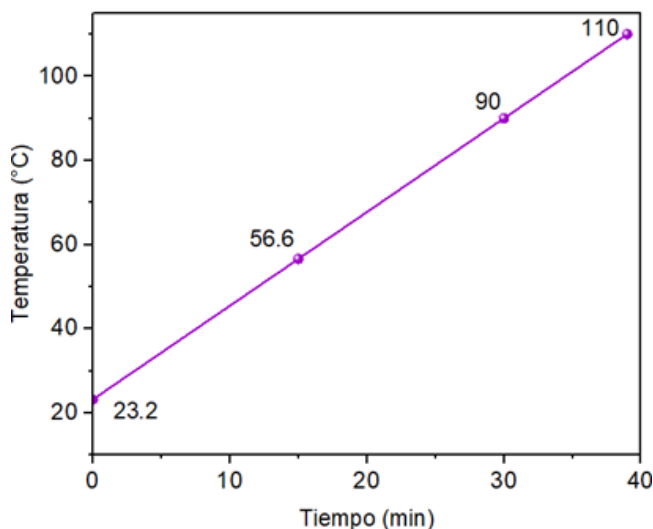


Figura 19. Temperatura de fusión del HDPE. Fuente: Elaboración propia.

La cantidad de material usado por prueba y sus parámetros de operación fueron los siguientes:

- Cantidad de material por prueba: especificar gramos de polímero cargados en la tolva por ciclo (ejemplo: 30–50 g por inyección).
- Temperatura del husillo: valores específicos según el material (PP: ~180–200 °C, PVC: ~160–180 °C).

- Presión de inyección: en bar o MPa, para controlar el llenado.
- Tiempo de ciclo: dividido en fases (inyección, enfriamiento, expulsión).
- Velocidad de husillo: en rpm, para homogeneidad de la plastificación.

Con estos datos, se puede comparar el desempeño de materiales y optimizar la capacidad productiva de la máquina.

Aunque el polipropileno (PP) y el policloruro de vinilo (PVC) presentan diferencias en sus propiedades térmicas y de procesamiento, el hecho de que ambos presenten tiempos similares en la inyectora puede explicarse por:

- Capacidad térmica y diseño del husillo: el husillo no alcanza la sensibilidad suficiente para reflejar las diferencias de calor específico entre ambos materiales, provocando tiempos de calentamiento y plastificación equivalentes.
- Escala de la máquina: al ser un prototipo didáctico, los rangos de temperatura y presión están limitados, lo que uniformiza el comportamiento de materiales distintos.
- Condiciones experimentales fijas: si se usó la misma temperatura de consigna y presión de inyección, ambos materiales se adaptaron al proceso bajo esas condiciones, sin aprovechar su ventana óptima de operación.
- Transferencia de calor similar en el sistema: la geometría del husillo y la potencia de calentamiento favorecieron un perfil térmico homogéneo, reduciendo las diferencias esperadas entre PP y PVC.

Esto sugiere que con un control más refinado sobre las condiciones de temperatura y flujo se podrían evidenciar mejor las diferencias entre ambos plásticos.

Conclusiones

El presente trabajo tiene como objetivo el diseño y construcción de una inyectora de plástico de pequeña capacidad para aplicaciones didácticas. El diseño de cada uno de los componentes que conforman el sistema fue realizado con la ayuda del programa SolidWorks, el cual también ayudó en la realización del ensamble final. Para determinar la funcionalidad de la misma, tres materiales fueron ensayados y comparados bajo las mismas condiciones de operación (Polipropileno (PP), Polietileno de alta densidad (HDPE) y Cloruro de Polivinilo (PVC)). Además, para monitorear y controlar las condiciones de operación, un sistema W1209 fue incorporado. Derivado de los resultados se puede concluir que los materiales pueden alcanzar correctamente las temperaturas de fundición, siendo el

PVC el que mayor temperatura de operación requiere ($T_{PVC}=175^{\circ}\text{C}$), seguido del Polipropileno ($T_{PP}=165^{\circ}\text{C}$) y finalmente el Polietileno de alta densidad ($T_{HDPE}=110^{\circ}\text{C}$). Los tiempos requeridos para lograr las óptimas condiciones de operación de la máquina para el PP, HDPE y PVC fueron de 85, 85 y 39 minutos, respectivamente.

La presente investigación también permite demostrar que el diseño y construcción de una inyectora de plástico didáctica es bastante factible y funcional ofreciendo un sistema el cual puede ser monitoreado y controlado en tiempo real, el cual ayude a los estudiantes de ingeniería mecánica a entender mejor su principio de funcionamiento, así como los parámetros de operación que contribuyen en su correcto funcionamiento.

Dentro del trabajo futuro es evaluar diferentes materiales de construcción de la inyectora de plástico que tengan una mayor conductividad térmica, facilitando el calentamiento progresivo del husillo, así como un sistema de control más robusto que permita medir con mayor exactitud una mayor cantidad de parámetros de operación del prototipo construido y de esta manera poder ampliar su capacidad de producción, los cuales son:

- Temperatura del husillo y de las resistencias eléctricas (control preciso del calentamiento).
- Presión de inyección (para asegurar el llenado uniforme del molde).
- Velocidad de giro del husillo (que influye en la plastificación del polímero).
- Tiempo de inyección y de enfriamiento (ciclos de operación).
- Consumo eléctrico del sistema.
- Caudal del material fundido hacia el molde.

Estos parámetros son claves para evaluar la estabilidad, eficiencia y repetibilidad de la producción.

Finalmente, la construcción de la máquina inyectora permitió validar su funcionamiento, demostrando su potencial como herramienta didáctica en el campo de la producción de plásticos. Más allá de corroborar su operatividad, el prototipo evidencia la viabilidad de fabricar equipos de bajo costo para fines educativos, ampliando las posibilidades de enseñanza en procesos de transformación de polímeros.

Los resultados obtenidos confirman que el diseño puede adaptarse a diferentes termoplásticos, aunque existen retos técnicos asociados al control de temperatura, velocidad, flujo y estabilidad del proceso. La mejora en estos aspectos, junto con la integración de sistemas de control más robustos y materiales de mayor conductividad térmica, implicaría no solo un aumento su eficiencia y precisión, sino también la posibilidad de escalar la máquina hacia aplicaciones productivas.

De este modo, el proyecto trasciende la validación experimental inicial y plantea un camino hacia la innovación en equipos didácticos y de pequeña escala, contribuyendo a la formación práctica de estudiantes y al desarrollo de alternativas accesibles para emprendedores del sector plástico.

Referencias

- García Montoya, J. J., Hernández Hernández, E. A., & Muñoz Valencia, L. F. (2013). Adecuación tecnológica de la máquina de inyección de plástico del laboratorio de mecánica, de la Universidad Tecnológica de Pereira. Recuperada de: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1635>.
- Molina Vela, E. M. (2009). Diseño e implementación del sistema de control para una inyectora de plástico (Bachelor 's thesis, QUITO/EPN/2009). Recuperada de: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1635>
- Canteros, M. L., & Hüwel, E. E. (2018). Diseño de máquina inyectora de plástico para uso de laboratorio. Recuperada de: https://www.researchgate.net/profile/Maria_Canteros/publication/340886391_DISENO_Y_CALCULO_DE_UNA_INYECTORA_DE_PLASTICOS_PARA_USO_DE_LABORATORIO/links/5ea2a87392851c87d1b1016b/DISENO-Y-CALCULO-DE-UNA-INYECTORA-DE-PLASTICOS-PARA-USO-DE-LABORATORIO.pdf
- Martínez Garcés, L. D., & Pallo Oña, W. F. (2018). Diseño de una máquina inyectora de termoplásticos de baja y alta densidad. Universidad Técnica de Cotopaxi. Recuperada de <https://repositorio.utc.edu.ec/server/api/core/bitstreams/a1a7f17c-0956-4d13-89f8-ee2188d9f3e5/content>
- Armijos Sánchez, E. G., & Vivas Quimbata, M. A. (2019). Automatización de una inyectora de plástico para la empresa Iball (Bachelor's thesis). Recuperada de: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17129>
- Pérez Colibrí, K. A., & Vásquez Vásquez, D. A. (2021). Repotenciación de una inyectora de plástico ARBURG ALLROUNDER 320M 500-210 del año 1992 (Bachelor 's thesis). Recuperada de: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21432>
- Amargo Prato, S., Friol, G. F., Hermida, J. M., & Hirsch, C. G. (2021). Diseño y cálculo de una inyectora de plástico para piezas pequeñas [Proyecto final, Universidad Tecnológica Nacional]. Repositorio Institucional Abierto UTN. Recuperada de: <https://ria.utn.edu.ar/handle/20.500.12272/6106>
- Lavín Lavín, D. (2021). Implantación de una celda robotizada para la carga y descarga de cepillos de dientes en inyectoras. Recuperada de: <http://hdl.handle.net/10902/22617>
- Jurado Páramo, J., Reveles Arredondo, J. F., Plascencia Mora, H., & Aguilera Gómez, E. (2019). Análisis de un proceso de inyección de plástico por interacción fluido estructural y cambio de estado. Acta Universitaria, 29, 1–18. Recuperada de: <https://www.actauniversitaria.ugto.mx/index.php/acta/article/view/21>
- Mantilla Rodríguez, L. A., Álvarez Vargas, F. A., Carrascal Santa, M. L. C., Cerna Caballero, A. H., Romero Noriega, E. A., Blas Ávalos, A. G., & Contreras Vigo, J. B. (2022). Diseño y simulación de sistema para una inyectora de plástico reciclado. INGnosis, 8(2), 01–07. <https://doi.org/10.18050/ingnosis.v8i2.2474>. Recuperada de: <https://revistas.ucv.edu.pe/index.php/ingnosis/article/view/2474>
- Campuzano, W. P. R., Salazar, J. A. P., & Ramos, M. M. M. (2022). Sistema automático de adquisición y análisis de datos con machine learning para el control de calidad en una máquina de inyección de plástico. Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional, 7(2), 4. Recuperada de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8354876>
- Vera, K. A. T., Nieto, F. J. R., Sánchez, S. I. B. (2023). Diseño y simulación de un sistema de extracción alternativo para la máquina inyectora de

- plástico PET de la carrera TSMI. Revista Social Fronteriza, 3(5), 77-93.
[https://doi.org/10.59814/resofro.2023.3\(5\)77-93](https://doi.org/10.59814/resofro.2023.3(5)77-93)
- Segura Alarcón, D. N. (2024). Diseño y fabricación de una máquina inyectora de plástico con compresión neumática para reciclaje de PLA (Doctoral dissertation, Universidad de Concepción). Recuperada de: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1635https://repositorio.udec.cl/handle/11594/9341>
- Vilatuña Catagña, A. A. (2024). Mantenimiento correctivo y preventivo de una máquina inyectora Trubor modelo 75-RS-51/2. Recuperada de: <http://dspace.istvidanueva.edu.ec/handle/123456789/434>
- Aeromaquinados (2022). Partes de una Inyectora de Plástico. Recuperada de: <https://www.linkedin.com/in/victor-hugo-morales-acevedo-54a140206>.
- SEOMoldblade. (2024). Partes de la Máquina de Inyección - Moldblade. Moldblade. Recuperada de: <https://moldblade.com/partes-de-la-maquina-de-inyeccion/>
- Méndez, D. (2016). Historia de la Máquina de Moldeo por Inyección de Plástico – Tkno | Inyección de Plástico | Tuercas Remachables | Empaque | Maquinados | Regatones | Push Pin | Niveladores. Tkno.mx. Recuperada de: <https://www.tkno.mx/historia-de-la-maquina-de-moldeo-por-inyeccion-de-plastico/>
- García, E. (2023). ¿Qué es el Acero inoxidable? Composición y Propiedades. Ferretería Y Suministros Industriales Online. - Todoparalaindustria.com. Recuperada de: <https://todoparalaindustria.com/blogs/blog/que-es-el-acero-inoxidable-composicion-y-propiedades?srltid=AfmBOoo1B4Wgr9ggRZZsAgbSR2go9Q>
- Redacción Aceromafe. (2023). Características del material ABS y por qué usarlo | Aceromafe. Aceromafe. Recuperada de: <https://www.aceromafe.com/material-abs/>
- Núñez LLuglla, W. G. (2011). Inyección de plástico en la empresa Halley Corporación, deficiencia en la producción en moldes pequeños, análisis y alternativa de solución. Recuperada de: <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/1605>
- Cariñanos, P., Ruiz-Peñuela, S., Casans, A., Cazorla, A., Rejano, F., Ontiveros, A., ... & Titos, G. (2025). Assessment of potential sources of airborne pollen in a high-mountain mediterranean natural environment. Atmospheric Environment, 340, 120917. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2024.120917>