

---

# Diseño e implementación de una máquina de inyección de plástico manual

---

Julio Alberto Valdez Herrera





UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ingeniería



**Diseño e implementación de una máquina de inyección de  
plástico manual**

Trabajo de graduación presentado por Julio Alberto Valdez Herrera  
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecatrónica

Guatemala,

2025



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ingeniería




**Diseño e implementación de una máquina de inyección de  
plástico manual**

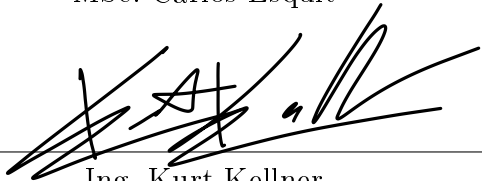
Trabajo de graduación presentado por Julio Alberto Valdez Herrera  
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecatrónica

Guatemala,

2025

Vo.Bo.:

(f)   
MSc. Carlos Esquit

(f)   
Ing. Kurt Kellner

<b>Índice de figuras</b>	<b>VI</b>
<b>Índice de cuadros</b>	<b>VII</b>
<b>Resumen</b>	<b>VIII</b>
<b>Abstract</b>	<b>IX</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Antecedentes</b>	<b>2</b>
2.1. Precious Plastic . . . . .	2
2.2. Máquina de inyección original de Precious Plastic . . . . .	3
<b>3. Justificación</b>	<b>6</b>
<b>4. Objetivos</b>	<b>7</b>
4.1. Objetivo general . . . . .	7
4.2. Objetivos específicos . . . . .	7
<b>5. Hipótesis</b>	<b>8</b>
<b>6. Marco teórico</b>	<b>9</b>
6.1. Inyectora de plástico . . . . .	9
6.2. Características de una inyectora de plástico . . . . .	10
6.3. Tipos de plásticos y códigos de identificación (SPI) . . . . .	11
6.4. Tabla de comparación para reciclaje en inyectora de plástico . . . . .	12
6.5. Diseño de mecanismo . . . . .	13
6.6. Calor específico . . . . .	15
<b>7. Diseño de la máquina</b>	<b>16</b>
7.1. Diseño de máquina de inyectora de plástico manual . . . . .	16
7.2. Cálculos estructurales de la máquina . . . . .	21
7.3. Consideraciones de expansión térmica . . . . .	25

7.4. Capacidad de almacenamiento de material en el barril de la inyectora . . . . .	27
7.5. Aplicación de la capacidad de plástico por ciclo al diseño del barril . . . . .	28
<b>8. Sistema eléctrico</b>	<b>29</b>
8.1. Sistema eléctrico . . . . .	29
8.2. Diagrama de conexiones eléctricas . . . . .	31
<b>9. Construcción de la máquina</b>	<b>33</b>
<b>10. Diseño y características del molde</b>	<b>37</b>
<b>11. Ensayos de fusión, inyección y resultados obtenidos</b>	<b>41</b>
<b>12. Conclusiones</b>	<b>45</b>
<b>13. Recomendaciones</b>	<b>46</b>
<b>14. Referencias</b>	<b>47</b>
<b>15. Anexos</b>	<b>50</b>

---

## Índice de figuras

---

1.	Bloques de construcción hechos con plástico reciclado . . . . .	3
2.	Máquina de inyección de Precious. . . . .	4
3.	IMK2. . . . .	5
4.	Propuesta de máquina inyectora de plástico manual . . . . .	17
5.	Estructura . . . . .	18
6.	Palanca . . . . .	18
7.	Acoplador . . . . .	19
8.	Vástago . . . . .	19
9.	Barril . . . . .	20
10.	Eje de 15cm . . . . .	20
11.	Eje de 60cm . . . . .	20
12.	Eje de 60cm . . . . .	21
13.	Gráfica de dilatación volumétrica . . . . .	27
14.	Controlador de temperatura PID . . . . .	29
15.	Relé de estado sólido . . . . .	30
16.	Sensor tipo K . . . . .	30
17.	Resistencia tipo banda . . . . .	31
18.	Diagrama de conexiones eléctricas . . . . .	32
19.	Rectificado de perfiles de acero . . . . .	33
20.	Proceso de soldadura de la máquina . . . . .	34
21.	Mecanizado de tubo de acero . . . . .	34
22.	Caja eléctrica . . . . .	35
23.	Ensamblaje completo . . . . .	36
24.	Tapadera de molde . . . . .	38
25.	Ejemplo de molde para inyección . . . . .	39
26.	Tapadera del molde: vista superior . . . . .	39
27.	Tapadera del molde: vista inferior . . . . .	40
28.	Molde ensamblado . . . . .	40
29.	Prueba de temperatura . . . . .	42

30.	Prueba de derretimiento del material . . . . .	43
31.	Prueba de llenado de cavidades . . . . .	43
32.	Piezas obtenidas tras la inyección de PP en diferentes moldes . . . . .	44
33.	Símbolo de SPI número del 1 al 7. . . . .	50

---

## Índice de cuadros

---

1.	Clasificación de plásticos, temperaturas de fusión, nivel de seguridad y recomendaciones de uso . . . . .	12
2.	Seguridad al usar diferentes tipos de plásticos . . . . .	13
3.	Coefficientes de dilatación volumétrica de algunos metales . . . . .	14
4.	Calor específico de algunos polímeros y su clasificación SPI . . . . .	15
5.	Partes principales de la máquina. . . . .	36
6.	Elementos del molde . . . . .	38
7.	Lista de materiales . . . . .	51

EL presente proyecto describe el diseño y construcción de una máquina manual de inyección de plástico con fines didácticos y de apoyo al reciclaje en la Universidad del Valle de Guatemala. El proyecto surge ante la necesidad de contar con un equipo de pequeño tamaño, bajo costo y fácil operación, que permita transformar residuos plásticos en piezas útiles y, al mismo tiempo, servir como plataforma de enseñanza en cursos de manufactura y automatización.

El trabajo inicia con una revisión del proceso de inyección de polímeros y de los parámetros de diseño relevantes: capacidad volumétrica del barril, masa de plástico por ciclo, presión de inyección y dilatación térmica del conjunto barril-vástago. Estas ecuaciones se aplican para dimensionar el barril (capacidad aproximada de  $428 \text{ cm}^3$ ), estimar la masa procesable por ciclo para materiales como PLA y verificar que la expansión térmica no genere interferencias durante la operación.

Posteriormente se desarrolla el diseño mecánico y eléctrico de la máquina, incluyendo el mecanismo biela-manivela-corredera, la selección de materiales estructurales y el sistema de calentamiento mediante resistencias tipo banda. Finalmente, se construye y pone a prueba el prototipo, evaluando el derretimiento del material, el llenado de cavidades y el funcionamiento general del sistema de sujeción de moldes. Los resultados muestran que la máquina cumple con los requisitos de funcionalidad y uso didáctico planteados, constituyendo una base para futuras mejoras y aplicaciones en un laboratorio de reciclaje universitario.

A manual plastic injection machine was developed to support the creation of the future recycling laboratory at Universidad del Valle de Guatemala (UVG). The project arises from the need for low-cost equipment capable of transforming plastic waste into useful parts for educational and prototyping activities, since the university currently does not have accessible machinery for this purpose. The machine uses a four-bar crank–slider injection mechanism, designed to improve the efficiency and reliability of the process. CAD modeling and structural analysis were carried out to ensure that the components operate within safe limits. In addition, molds were designed to manufacture technical parts from recycled plastics. The result is a functional and cost-effective piece of equipment that strengthens the laboratory’s capabilities and promotes practices aligned with the circular economy within the university community.

# CAPÍTULO 1

---

## Introducción

---

En este trabajo se explora en profundidad la propuesta del movimiento social Precious Plastic, creado por Dave Hakkens en 2013. Este movimiento tiene como meta reciclar plástico mediante el desarrollo de máquinas que sean simples, económicas y fáciles de construir. Estas máquinas permiten convertir plásticos en nuevos productos, fomentando la creatividad, la innovación y la autogestión en la producción. Uno de los diferentes dispositivos que ofrece Precious Plastic es la inyectora manual de plástico, la cual destaca por su habilidad para crear piezas con un alto nivel de detalle al utilizar moldes intercambiables.

Inspirado en esto, el proyecto propone un diseño e implementación de una máquina de inyección de plástico manual para el Departamento de Electrónica, Mecatrónica y Biomédica de la Universidad del Valle de Guatemala. El prototipo incorpora un mecanismo manivela–corredora de cuatro barras que representa una variación respecto al diseño original de Precious Plastic con el objetivo de mejorar la eficiencia del sistema de inyección y garantizar un funcionamiento confiable. Por lo que la máquina no solo servirá para procesar plásticos reciclados, sino también como un recurso educativo que integra conocimientos de diseño mecánico, manufactura y análisis estructural, contribuyendo al desarrollo de proyectos académicos y fomentando la innovación en prototipado y emprendimiento.

### 2.1. Precious Plastic

Precious Plastic[1] es un proyecto desarrollado por Dave Hakkens en 2013 en los Países Bajos, cuyo objetivo es luchar contra la contaminación plástica. Para ello, se diseñó una serie de herramientas y máquinas que permiten reciclar y dar un segundo uso a los plásticos. El propósito principal es socializar y valorizar el plástico para eliminar por completo su desperdicio y reducir la demanda de plástico nuevo, cerrando los bucles de los materiales y educando a personas de todo el mundo.

Precious Plastic propone a su comunidad la creación de un laboratorio de reciclaje local[2], conformado por cuatro máquinas diseñadas bajo los principios de ser fáciles de construir, operar y mantener, utilizando materiales accesibles y económicos. Estas máquinas permiten cubrir todo el proceso de reciclaje del plástico, desde su reducción inicial hasta la creación de nuevos productos:

- **Trituradora:** esta máquina se encarga de cortar el plástico en piezas más pequeñas, facilitando su procesamiento posterior.
- **Extrusora:** calienta el plástico y lo transporta por medio de un tornillo sin fin hasta una boquilla, generando filamento de manera continua.
- **Compresora:** funciona como un horno, calentando el plástico en moldes. Luego se aplica presión para formar placas rectangulares o formas específicas, según el molde.
- **Inyectora:** derrite el plástico y lo inyecta a presión en moldes cerrados, permitiendo la fabricación de piezas pequeñas con un buen nivel de detalle.

Luego de que el plástico se procesa, los residuos pueden convertirse en diferentes objetos[3], como platos, juguetes, joyas, piezas de construcción, engranajes, muebles, materiales de construcción, entre otros. Gracias a esto, es posible crear una economía circular, disminuyendo

los residuos plásticos y aumentando la conciencia social sobre temas de reciclaje, cambio climático y finanzas.

**Figura 1.** Bloques de construcción hechos con plástico reciclado



Nota. Bloques de construcción hechos con plástico reciclado.

## 2.2. Máquina de inyección original de Precious Plastic

La primera máquina de inyección de plástico[4] desarrollada por Precious Plastic funde plástico reciclado y luego lo inyecta en moldes de forma manual para fabricar objetos pequeños como herramientas, llaveros o juguetes. Esta máquina es sencilla de usar y de bajo costo, ya que está pensada para ser construida fácilmente utilizando herramientas básicas.

Las principales características de esta máquina son:

- Sistema manual con palanca para inyección
- Calentadores eléctricos
- Bajo costo
- Fácil de construir

A medida que la comunidad de Precious Plastic creció, sus miembros fueron modificando y agregando más herramientas y mejoras a las inyectoras. Entre estas se encuentran los controladores PID y los termopares, que permiten un mejor control de la temperatura del cilindro. Además, se utilizaron materiales de mayor calidad, capaces de soportar altas temperaturas.

**Figura 2.** Máquina de inyección de Precious.



Nota. Máquina inyectora manual creada por la comunidad de Precious Plastic.

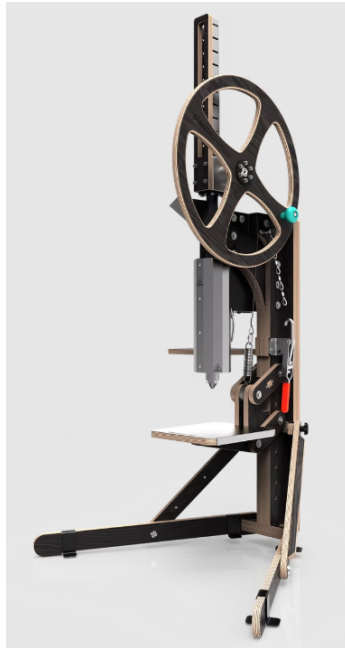
### **2.2.1. Injection Moulding Machine 2 (IMK2)[5]**

Este modelo de inyectora manual incorpora un volante de inercia que permite un control preciso sobre la fuerza aplicada y el flujo del plástico inyectado en el molde, mejorando la calidad del producto final y reduciendo el desperdicio de material. Esta característica resulta especialmente útil en procesos de moldeo que requieren precisión y repetibilidad.

Además, cuenta con un soporte al final de la extrusora, equipado con un sistema de presión por resortes, que facilita el alineado y llenado del molde, asegurando una inyección uniforme. Esta mejora incrementa la eficiencia operativa y reduce la fatiga del usuario al momento de sostener o posicionar el molde.

Otra ventaja significativa de esta máquina es su portabilidad. Con un peso de solo 30.5 kg y unas dimensiones de 90 x 70 x 160 cm (largo x ancho x alto), puede ser instalada en espacios reducidos o incluso sobre mesas de trabajo estándar. Esto la convierte en una excelente opción para talleres pequeños, laboratorios educativos, makerspaces o proyectos de emprendimiento, donde el espacio y la movilidad son factores clave.

**Figura 3.** IMK2.



Nota. Máquina inyectora manual comercial IMK2

El Departamento de Electrónica, Mecatrónica y Biomédica se encuentra en proceso de desarrollar un laboratorio de reciclaje. La implementación de una máquina de inyección de plástico manual permitirá transformar residuos plásticos en nuevos productos mediante el uso de moldes intercambiables, adaptables a distintos proyectos.

El uso de esta máquina en la UVG generará un espacio de investigación que permitirá experimentar con distintos tipos de plásticos y optimizar tanto la inyectora como los moldes, según las necesidades específicas de la institución. Este proyecto no solo promueve el reciclaje práctico, sino que también integra conocimientos de diseño mecánico, manufactura y creatividad aplicada, constituyéndose en una herramienta valiosa para la formación técnica y la promoción de iniciativas sustentables.

Asimismo, el diseño y fabricación de moldes personalizados permite producir piezas con mayor resistencia y precisión, agilizando el proceso de producción. La posibilidad de crear moldes a medida ofrece la capacidad de desarrollar piezas técnicas con un alto nivel de detalle, facilitando la elaboración de prototipos y optimizando la fabricación en serie. Esto contribuye a reducir significativamente los tiempos de producción.

A futuro, este laboratorio podría abrirse al público para impulsar emprendimiento y la innovación, brindando acceso a una herramienta que facilita la creación de productos en serie. De esta manera, se sigue la filosofía de Precious Plastic, promoviendo soluciones locales, sostenibles y accesibles para el aprovechamiento del plástico reciclado.

### 4.1. Objetivo general

Implementar una máquina de inyección de plástico manual basada en los diseños de Precious Plastic, para el laboratorio de reciclaje del Departamento de Electrónica, Mecatrónica y Biomédica de la Universidad del Valle de Guatemala.

### 4.2. Objetivos específicos

- Realizar en computadora el diseño mecánico de la máquina de inyección manual, incorporando un mecanismo de inyección compacto, con dimensiones de  $1 \times 140 \times 1$  metros y conexión eléctrica de 240V.
- Fabricar una máquina de inyección de plástico completamente funcional.
- Diseñar los planos eléctricos para el funcionamiento de la máquina de inyección de plástico, incluyendo el sistema de calefacción, alimentación eléctrica y elementos de control.
- Diseñar moldes intercambiables para la creación de piezas técnicas.
- Desarrollar un manual de uso y mantenimiento de la máquina.

El problema central que aborda este trabajo es la ausencia de infraestructura y equipamiento de bajo costo para el reciclaje de plásticos en la Universidad del Valle de Guatemala (UVG). Actualmente, la institución no cuenta con un laboratorio de reciclaje ni con máquinas accesibles que permitan transformar los residuos plásticos generados en el campus en piezas útiles para prácticas académicas y proyectos de prototipado. Esta carencia limita:

- el aprovechamiento de los residuos plásticos como recurso didáctico y de innovación;
- la realización de experimentos y proyectos relacionados con economía circular, manufactura sostenible y reciclaje;
- las oportunidades de vincular a estudiantes y docentes en iniciativas de investigación aplicada y emprendimiento en torno al reciclaje.

Las alternativas comerciales disponibles en el mercado suelen estar diseñadas para procesos industriales de mayor escala, con altos costos de adquisición y mantenimiento, requerimientos de potencia elevados y poca flexibilidad para adaptarse a un entorno académico. Esto dificulta su implementación en un laboratorio universitario que requiere equipos compactos, seguros, portátiles y de operación sencilla.

En este contexto, el problema de diseño se formula como la necesidad de contar con un equipo de transformación de residuos plásticos que:

- tenga un costo accesible y pueda fabricarse con materiales y procesos disponibles localmente;
- permita trabajar con diferentes tipos de plásticos reciclados mediante el uso de moldes intercambiables;
- sea adecuado para actividades de docencia, investigación y extensión, facilitando su uso por parte de estudiantes y personal académico.

## 6.1. Inyectora de plástico

Las inyectoras de plástico son máquinas que utilizan calor para derretir materiales plásticos, los cuales luego son inyectados a presión en moldes donde se enfrían y se solidifican para la creación de piezas u objetos [6].

El proceso de inyección consiste en agregar el plástico en una tolva, desde donde se traslada a un cilindro que lo calienta mediante resistencias eléctricas. Una vez que el plástico está completamente fundido, se inyecta a presión hacia los moldes [7].

Existen diferentes tipos de moldeo de plástico, entre los cuales se encuentran:

- **Moldeo por sopladobibid:** este proceso se utiliza principalmente para fabricar piezas huecas de plástico, vidrio o metal. El plástico se funde en forma de *parison*, se sujeta en un molde y se introduce aire comprimido, lo que hace que el material se expanda y adopte la forma del molde. Finalmente, se deja enfriar, se abre el molde y se expulsa la pieza [8].
- **Moldeo por compresión:** el material se precalienta y luego se coloca en un molde cerrado con fuerza. Se le aplica presión para que el material se distribuya en todas las direcciones hasta que se enfríe y solidifique [8].
- **Moldeo por vacío:** en este proceso, una lámina de plástico se calienta, se estira sobre el molde y se ajusta mediante vacío. Es una técnica versátil que permite moldear fácilmente casi cualquier forma [8].

## 6.2. Características de una inyectora de plástico

### 6.2.1. Parámetros de diseño de la inyectora

En una máquina de inyección manual, tres parámetros geométricos son críticos para su desempeño: la capacidad de material del barril, la cantidad de plástico que se puede plastificar por ciclo y la presión con la que el material fundido es empujado hacia el molde. Estos parámetros determinan el tamaño máximo de las piezas que pueden fabricarse, el tiempo de calentamiento y el esfuerzo mecánico que debe soportar el mecanismo de inyección.

#### Capacidad de material del barril

La capacidad de material del barril se define como el volumen máximo disponible para almacenar plástico durante un ciclo de trabajo. En la máquina diseñada, el barril se modela como un cilindro de diámetro  $D$  y longitud  $L$ , por lo que su volumen útil se obtiene mediante:

$$C = \frac{\pi}{4} D^2 L \quad (1)$$

donde  $C$  es la capacidad máxima ( $\text{cm}^3$ ),  $D$  es el diámetro interno del barril y  $L$  es su longitud. Esta expresión se utiliza posteriormente para seleccionar las dimensiones del barril de manera que el volumen disponible sea suficiente para llenar las cavidades de los moldes considerados, sin sobredimensionar el sistema de calefacción.

#### Capacidad de plástico por ciclo [9]

Además del volumen geométrico, es necesario estimar cuánta masa de plástico puede procesarse por ciclo. Suponiendo que el material de alimentación se introduce en forma de pequeños cubos o escamas de volumen  $V_{\text{part}}$ , el número máximo de partículas que caben en el barril se aproxima como:

$$N_{\text{max}} = \frac{C}{V_{\text{part}}} \quad (2)$$

Sin embargo, debido a los huecos entre partículas y a la geometría real del barril, sólo se alcanza un porcentaje de llenado efectivo. Por ello se introduce un factor de aprovechamiento  $\eta$  (entre 0.5 y 0.8), de modo que el número real de partículas es:

$$N_{\text{real}} = \eta N_{\text{max}} \quad (3)$$

La masa de plástico disponible por ciclo se obtiene como:

$$m = N_{\text{real}} \rho V_{\text{part}} \quad (4)$$

donde  $\rho$  es la densidad del polímero. Este cálculo permite verificar que la máquina puede procesar la cantidad de material necesaria para los moldes utilizados en las pruebas experimentales.

### Presión de inyección

La presión de inyección es la presión ejercida sobre el plástico fundido dentro del barril cuando el usuario acciona la palanca. Se calcula como:

$$P = \frac{F}{A} \quad (5)$$

donde  $F$  es la fuerza transmitida por el mecanismo al pistón y  $A$  es el área interna del barril. A partir de este parámetro se evalúa si la máquina es capaz de vencer la resistencia al flujo del material dentro de los canales del molde. En el Capítulo ?? se muestra cómo, a partir del análisis estático del mecanismo biela–manivela–corredera, se obtiene la fuerza  $F$  disponible en el pistón y se verifica que la presión generada es suficiente para llenar completamente las cavidades del molde.

## 6.3. Tipos de plásticos y códigos de identificación (SPI)

El código de identificación de plásticos de la SPI[10] es un conjunto de símbolos que aparecen en los productos plásticos. Estos símbolos permiten identificar la resina utilizada y facilitan su separación para el reciclaje. Fue desarrollado en 1988 por la Sociedad de la Industria del Plástico (hoy Asociación de la Industria del Plástico, PIA) y, desde 2008, es administrado por ASTM International.

El símbolo es un triángulo de Möbius con un número del 1 al 7 en su interior. Esta clasificación informa sobre la composición y características específicas de cada tipo de plástico.

Es importante no mezclar plásticos de diferentes categorías al reciclar, ya que algunos no son compatibles y pueden perder sus propiedades.

### 6.3.1. Clasificación de plásticos según la SPI

- **Número 1: PET o PETE (Polietileno tereftalato):** este tipo de plástico se utiliza en envases alimentarios debido a su ligereza, bajo costo y gran posibilidad de reciclaje. Este material es considerado como un material circular, ya que puede ser reciclado y volver a convertirse en lo que era [11].
- **Número 2: HDPE (Polietileno de alta densidad):** se utiliza para plásticos que pueden resistir productos químicos. Suele ser poco flexible, pero es fácil de manejar y fabricar. Se caracteriza por su resistencia, versatilidad y capacidad de soportar altas temperaturas[12].

- **Número 3: PVC (Cloruro de polivinilo):** este material se destaca por contener cloro, lo que hace que su proceso de reciclaje sea más complejo. Se caracteriza por su alta resistencia a los ácidos, su dureza, ligereza y su alta resistencia al fuego [12].
- **Número 4: LDPE (Polietileno de baja densidad):** es un plástico flexible, resistente y económico. Suele producirse a partir de gases naturales y, una vez reciclado, puede volver a usarse para crear los mismos productos[11].
- **Número 5: PP (Polipropileno):**es un material muy utilizado en envases aptos para microondas. Se caracteriza por ser versátil, muy resistente al calor, tener una alta dureza y funcionar como barrera al vapor[11].
- **Número 6: PS (Poliestireno):** es un plástico versátil, comúnmente usado en forma de espuma o en estado rígido. Es conocido por su ligereza, resistencia y propiedades aislantes. Sin embargo, su reciclaje suele ser costoso debido a que debe transformarse mediante calor[12].
- **Número 7: Otros (mezclas):** en este grupo se encuentra una gran variedad de plásticos que suelen ser difíciles de reciclar, ya que en su composición pueden combinarse diferentes tipos de polímeros[11].

#### 6.4. Tabla de comparación para reciclaje en inyectora de plástico

En la siguiente tabla se comparan algunos plásticos de uso común para su reciclaje en inyectoras de plástico, debido a que no todos los plásticos son seguros de manipular en ambientes cerrados, con poca ventilación o sin protección. Por ello, se proporciona información sobre su clasificación SPI, temperatura de fusión, nivel de seguridad (Cuadro 1) y recomendaciones para manipulación en distintos ambientes (Cuadro 2).

**Cuadro 1.** Clasificación de plásticos, temperaturas de fusión, nivel de seguridad y recomendaciones de uso

Clasificación	Tipo de plástico	Temp. de fusión (°C) [13]	Nivel de seguridad
1	PET	260–280	Moderado
2	HDPE	210–270	Seguro
3	PVC	170–190	Peligroso
4	LDPE	180–240	Seguro
5	PP	240–290	Seguro
6	PS	170–280	Peligroso
7	PLA	180–220	Seguro
8	ABS	190–270	Peligroso
9	TPU	160–220	Peligroso

Nota: El nivel de seguridad se basa en los efectos sobre la salud respiratoria durante el procesamiento del plástico. Aquellos clasificados como moderados o peligroso deben manipularse en lugares abiertos o, si se trabaja en espacios cerrados, utilizando mascarilla para evitar la inhalación de vapores.

**Cuadro 2.** Seguridad al usar diferentes tipos de plásticos

Clasificación	Tipo de plástico	Recomendaciones para manipulación [14]
1	PET	Ventilación moderada; evitar sobrecalentar
2	HDPE	Puede usarse en espacios cerrados
3	PVC	Ambientes abiertos; mascarilla y extractor de humo
4	LDPE	Ambientes ventilados; evitar quemar
5	PP	Ambientes ventilados; evitar quemar
6	PS	Ambientes abiertos; mascarilla y extractor de humo
7	PLA	Espacios cerrados con poca ventilación
8	ABS	Ambientes abiertos; mascarilla y extractor de humo
9	TPU	Ambientes abiertos; mascarilla y extractor de humo

Nota. El uso recomendado se refiere a las condiciones mínimas de ventilación y protección recomendadas durante el proceso de inyección de cada plástico.

## 6.5. Diseño de mecanismo

### 6.5.1. Mecanismo biela-manivela-corredera

Es un sistema mecánico que consta de cuatro elementos :

- **Manivela:** barra que gira alrededor de un eje fijo.
- **Biela:** barra intermedia que une la manivela con la corredera.
- **Corredera:** pieza que se mueve en línea recta.
- **Batidor (tierra):** pieza fija donde se montan los demás elementos.

Su función es transformar un movimiento rotacional en un movimiento traslacional (o viceversa). La manivela gira en torno a un eje y transmite el movimiento a la corredera, que se desplaza en línea recta gracias a la guía[15].

Las ecuaciones (4.16a) y (4.16b) (7), de Norton [15] (p. 132) [15] describen relaciones fundamentales del mecanismo. La ecuación (6) permite determinar el ángulo que se forma entre el acoplador y la corredera, mientras que la ecuación (7) se utiliza para calcular el desplazamiento horizontal del deslizador.

$$\theta_{3_1} = \arcsin\left(\frac{a \sin \theta_2 - c}{b}\right) \quad (6)$$

$$d = a \cos \theta_2 - b \cos \theta_3 \quad (7)$$

Donde:

- $a$  = longitud del eslabón  $O_2A$
- $b$  = longitud del eslabón  $AB$
- $c$  = longitud del eslabón  $BR_4$  (desplazamiento vertical hasta el deslizador)
- $d$  = desplazamiento horizontal del deslizador
- $\theta_2$  = ángulo de entrada (manivela respecto al eje  $X$ )
- $\theta_3$  = ángulo de la biela respecto al eje  $X$
- $\theta_4$  = ángulo del deslizador o corredera (generalmente  $0$  o  $\pi$ )
- $O_2$  = punto fijo de rotación de la manivela
- $A$  = unión entre manivela y biela
- $B$  = unión entre biela y corredera (deslizador)

### Dilatación volumétrica térmica

La dilatación volumétrica es un fenómeno físico en el cual los cuerpos cambian su volumen al variar la temperatura, causado por el movimiento intenso de las partículas [16].

Cuando un material se calienta, los átomos comienzan a excitarse y se separan, aumentando el tamaño del material. Por el contrario, al enfriarse, los átomos dejan de excitarse y se comprimen, disminuyendo el tamaño del material.

**Cuadro 3.** Coeficientes de dilatación volumétrica de algunos metales

Material	Coeficiente de dilatación volumétrica $\beta$ ( $1/^\circ C$ )
Aluminio	$75 \times 10^{-6}$
Cobre	$17 \times 10^{-6}$
Hierro o acero	$35 \times 10^{-6}$
Latón	$56 \times 10^{-6}$

Nota. Según la Tabla 17.2 de (young , (2013), p. 558) [17], se muestran algunos coeficientes de expansión volumétrica de diferentes materiales.

La dilatación térmica se calcula mediante:

$$\Delta V = \beta \cdot V \cdot \Delta T \tag{8}$$

Donde:

- $\Delta V$  = dilatación volumétrica ( $m^3$ )
- $\beta$  = coeficiente de expansión volumétrica ( $1/^\circ C$ )

- $V$  = volumen inicial del material ( $m^3$ )
- $\Delta T$  = variación de temperatura ( $^{\circ}C$ )

## 6.6. Calor específico

Es la cantidad de energía que se requiere para elevar la unidad de masa de una sustancia en una unidad de temperatura [18] ; en otras palabras, es la cantidad de calor que se requiere para elevar la temperatura de un material determinado en  $1^{\circ}C$  o K, a una temperatura específica. Se expresa en J/kg.

En 4 se muestra el calor específico de algunos polímeros a  $20^{\circ}C$  y su clasificación SPI.

**Cuadro 4.** Calor específico de algunos polímeros y su clasificación SPI

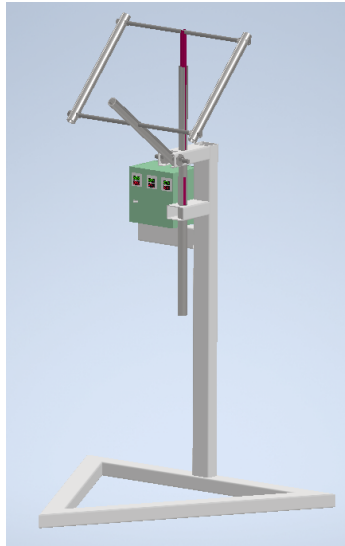
Clasificación	Tipo de plástico	Calor específico (kJ/kg)
PVC	3	1.0 – 1.5 [19]
PS	6	1.3 – 1.5 [20]
PE	2	1.8 – 2.3 [21]
PLA	7	1.18 – 1.21 [22]
ABS	7	1.3 – 1.5 [21]
TPU	7	1.45 – 1.70 [23]

Nota. La columna “Tipo de plástico” indica el código de resina SPI: 1 PET, 2 HDPE, 3 PVC, 4 LDPE, 5 PP, 6 PS y 7 otros plásticos. Los valores de calor específico son aproximados y pueden variar según el grado del polímero, los aditivos y la temperatura de operación.

### 7.1. Diseño de máquina de inyectora de plástico manual

Para la fabricación de la máquina de inyección de plástico se tomó como referencia e inspiración los modelos creados por la comunidad de *Precious Plastic* [1]. Sin embargo, a diferencia de dichos modelos, en esta versión se modificó el sistema de inyección, el cual consiste en un mecanismo manivela-corredera de cuatro barras, con el objetivo de mejorar la eficiencia y la simplicidad del proceso.

**Figura 4.** Propuesta de máquina inyectora de plástico manual

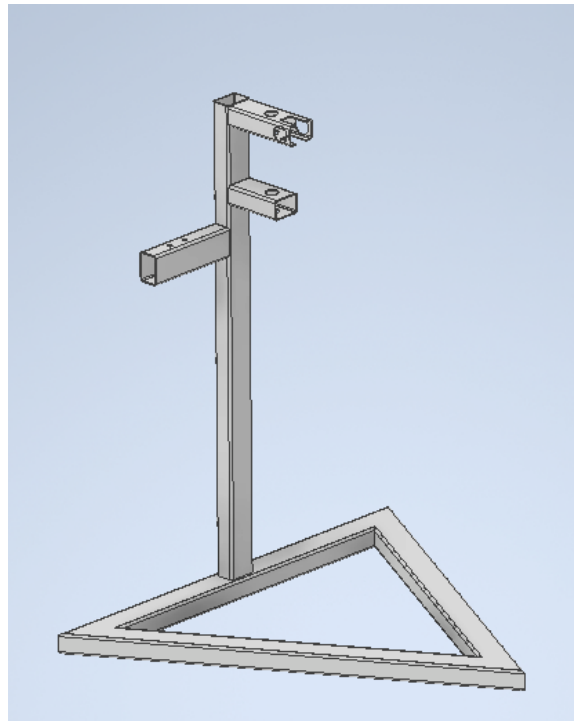


Nota. Propuesta de máquina inyectora de plástico manual de diseño propio.

A continuación, se describen los principales componentes diseñados para el prototipo:

- **Estructura:** constituye el esqueleto de la máquina y su función principal es sostener el barril, el mecanismo de manivela-corredera y la caja eléctrica. Presenta unas dimensiones de  $1.00 \times 1.00 \times 1.40$  m y está compuesta por perfiles de acero de  $3'' \times 2''$ , garantizando rigidez y estabilidad.

**Figura 5.** Estructura



Nota. Propuesta de estructura de diseño propio.

- **Palanca:** es la pieza en la que se aplica la fuerza para accionar el mecanismo. Tiene una longitud de 46 cm y consta de dos agujeros transversales de 15 mm de diámetro para unirse con el acoplador y la estructura. Está elaborada con un tubo de acero negro de 1".

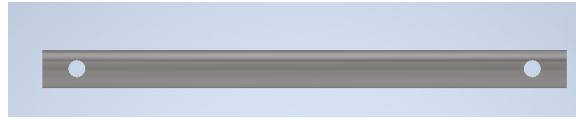
**Figura 6.** Palanca



Nota. Propuesta de palanca de diseño propio.

- **Acoplador:** conecta la manivela con la corredera. Se compone de dos piezas de 40 cm de longitud, cada una con dos agujeros transversales de 15 mm de diámetro. Está fabricado en tubo de acero negro de 1".

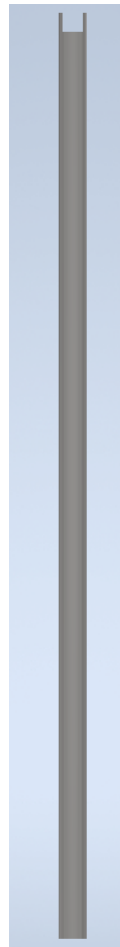
**Figura 7.** Acoplador



Nota. Propuesta de Acoplador de diseño propio.

- **Vástago:** encargado de ejercer la presión necesaria para inyectar el plástico fundido. Consta de un tubo de  $1/2''$ , con un corte superior en el que se suelda un eje conectado al acoplador.

**Figura 8.** Vástago



Nota. Propuesta de vástago de diseño propio.

- **Barril:** sirve para almacenar y fundir el plástico, además de guiar el desplazamiento del vástago. Se fabricó con un tubo negro liso de  $1''$ , al que se añadió un cavidad destinado a conectar una tolva que facilita la alimentación del material.

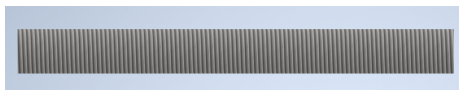
**Figura 9.** Barril



Nota. Propuesta de Barril de diseño propio.

- **Ejes:** el mecanismo incluye dos ejes de 15 mm de diámetro, uno de 15 cm y otro de 60 cm de longitud, cuya función es unir y transmitir movimiento entre los componentes.

**Figura 10.** Eje de 15cm



Nota. Propuesta de eje de 15cm de diseño propio.

**Figura 11.** Eje de 60cm



Nota. Propuesta de eje de 60cm de diseño propio.

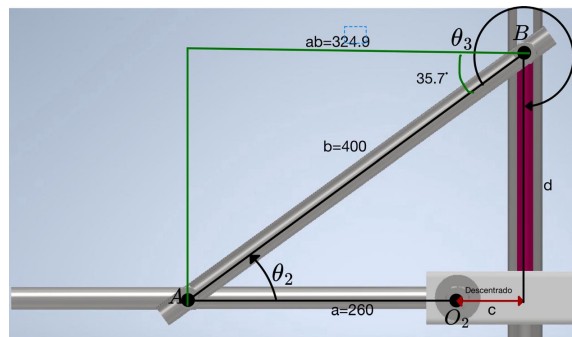
Para la validación del nuevo modelo es necesario calcular la fuerza ejercida en el barril, así como evaluar las capacidades térmicas del sistema. Estos análisis permitirán comprobar que el diseño cumple con los requerimientos funcionales y de seguridad establecidos.

## 7.2. Cálculos estructurales de la máquina

### Cálculo de la fuerza ejercida en el pistón

El objetivo de este capítulo es estimar la fuerza que llega al pistón a partir de la fuerza aplicada por el usuario en la palanca y verificar que los elementos del mecanismo operan dentro de un margen de seguridad adecuado. Para ello se modeló el sistema manivela-corredera como se muestra en la Figura 12 y se aplicaron las ecuaciones de equilibrio estático.

Figura 12. Eje de 60cm



Nota. Propuesta de eje de 60cm de diseño propio.

En la operación típica de la máquina, el usuario aplica una fuerza aproximada de 50 N sobre el extremo de la palanca, con una longitud efectiva de 0.46 m. Esta fuerza se transmite a través del acoplador hasta el vástago del pistón, generando una presión interna en el barril según la expresión presentada en la sección de marco teórico. El análisis permite determinar la relación entre la fuerza de entrada y la fuerza sobre el pistón, así como las reacciones en los apoyos del mecanismo.

A continuación se presentan las ecuaciones principales del equilibrio y los resultados obtenidos.

Donde:

- $l_1 = \text{largo total de la manivela}$
- $l_2 = \text{largo de la manivela hasta la unión con el acoplador}$
- $b = \text{largo del acoplador}$
- $\theta_2 = \text{ángulo respecto a la horizontal}$
- $\theta_3 = \text{ángulo respecto a la corredera}$

Se define el pivote como  $O_2$  y se realiza la sumatoria de fuerzas:

$$\begin{aligned}
\sum F_y &= 0 \\
-F + b_y - a_y &= 0 \\
b_y &= F + a_y
\end{aligned} \tag{9}$$

$$\begin{aligned}
\sum F_x &= 0 \\
-a_x + b_x &= 0 \\
b_x &= a_x
\end{aligned} \tag{10}$$

$$\begin{aligned}
\sum M_b &= 0 \\
-b_y \cdot l_2 \cos(\theta_2) - b_x \cdot l_2 \sin(\theta_2) + F \cdot l_1 \sin(\theta_2) &= 0 \\
b_x &= \frac{-F \cdot l_1 \sin(\theta_2) - b_y \cdot l_2 \cos(\theta_2)}{l_2 \sin(\theta_2)}
\end{aligned} \tag{11}$$

$$\begin{aligned}
\sum F_{b,y} &= 0 \\
b_{2y} - C_y &= 0 \\
C_y &= b_{2y}
\end{aligned} \tag{12}$$

$$\begin{aligned}
\sum F_{b,x} &= 0 \\
b_{2x} - C_x &= 0 \\
C_x &= -b_{2x}
\end{aligned} \tag{13}$$

$$\begin{aligned}
\sum M_c &= 0 \\
-C_y \cdot L \cos(\theta_2) - C_x \cdot L \sin(\theta_2) &= 0
\end{aligned} \tag{14}$$

Se observa que, tras aplicar las condiciones de equilibrio, las siguientes variables resultan equivalentes:

$$\begin{aligned}
C_y &= B_y = B_{2y} \\
C_x &= -B_x = B_{2x} = A_x
\end{aligned}$$

Se puede observar que se cuenta con la mayoría de las variables necesarias; adicionalmente, es posible asumir algunas, las cuales se presentan a continuación:

- $F = 50 \text{ N}$
- $l_1 = 0.46 \text{ m}$

- $l_2 = 0.26 \text{ m}$
- $L = 0.40 \text{ m}$
- $\theta_2 = 10^\circ$

El ángulo  $\theta_2$  corresponde a la movilidad de la palanca, el cual puede variar entre  $90^\circ$  y  $0^\circ$ . En este ejemplo se asignará un valor de  $10^\circ$ .

Sin embargo, aún queda una variable por determinar,  $\theta_3$ , por lo que se hace uso de la (6). Para ello se definen los siguientes parámetros:

- $a = 260 \text{ mm}$
- $b = 400 \text{ mm}$
- $c = 64.9 \text{ mm}$
- $\theta_2 = 10^\circ$

Debido a que en nuestro diagrama el movimiento no es exactamente igual al indicado por la fórmula, es necesario realizar algunos ajustes. En particular, la corredera está girada  $90^\circ$ , por lo que la manivela se considera negativa. De esta manera, se tienen los siguientes parámetros:

- $\theta_2 = 90^\circ - 10^\circ = 80^\circ$
- $a = 260 \text{ mm}$
- $b = 400 \text{ mm}$
- $c = -64.9 \text{ mm}$

La ecuación para determinar  $\theta_3$  es la (6):

$$\theta_3 = \arcsin \left( \frac{a \cdot \sin(\theta_2) - c}{b} \right)$$

Sustituyendo los valores numéricos:

$$\theta_3 = \arcsin \left( \frac{260 \cdot \sin(80^\circ) + 64.9}{400} \right)$$

Por lo tanto:

$$\theta_3 = 53.36^\circ$$

Con los valores definidos previamente, podemos comenzar con el despeje de las fórmulas de las ecuaciones (1) a (6). Suponiendo que en la palanca se aplica una fuerza de  $50 \text{ N}$ , se obtiene lo siguiente:

(9)

$$b_y = 50N + a_y$$

(11)

$$b_x = \frac{-50N \cdot (0.46m) \cdot \sin(10^\circ) - b_y \cdot 0.26m \cdot \cos(10^\circ)}{0.26m \cdot \sin(10^\circ)}$$
$$b_x = -b_y(5.6762) + 88.5557$$

(14)

$$-c_y \cdot 0.40m \cdot \cos(43.36^\circ) - c_x \cdot 0.40m \cdot \sin(53.36^\circ) = 0$$
$$-c_y \cdot 0.2387 - c_x \cdot 0.3209 = 0$$
$$c_y = \frac{c_x \cdot 0.3209}{0.2387}$$

Podemos reemplazar los valores en las ecuaciones (9), (11) y (14), quedando de la siguiente manera: Reemplazamos ahora la ecuación (6) con las ecuaciones (1) y (2):

$$b_y = 50N + a_y$$

$$b_x = a_x$$

Recordando que:

$$c_y = b_y = b_{2y}$$

$$c_x = -b_x = b_{2x} = a_x$$

Por lo tanto, al reemplazar estos valores, la ecuación queda expresada como:

$$a_y + 50N = a_x \cdot \tan(53.36^\circ)$$

Despejando  $a_y$ :

$$a_y = -50N + a_x \cdot \tan(53.36^\circ)$$

$$a_y = -50N + b_x \cdot (-1.3443) \tag{15}$$

Como  $a_x = b_x$ , sustituimos  $b_x$  en la ecuación (11):

$$a_y = -50N + b_x \cdot (-1.3443)$$

$$a_y = -50N + (b_x(5.6712) + 88.4615)(-1.3443)$$

$$a_y = b_x \cdot 7.6237 - 168.9187 \quad (16)$$

Reemplazamos la (16) con la ecuación (9) para encontrar el valor de  $a_y$  :

$$a_y = (a_y + 50N) \cdot 7.6237 - 168.9187$$

$$a_y = a_y(7.6237) + 212.2663$$

$$a_y = -32.0464N$$

Con este valor, se puede reemplazar  $a_y$  en la ecuación (9) para encontrar  $B_y$ :

$$b_y = 50N + A_y$$

$$b_y = 50N + (-32.04N)$$

$$b_y = 17.96N$$

Finalmente, se sustituye  $b_y$  en la ecuación (11) para encontrar  $b_x$ :

$$b_x = -(17.96)(5.6762) + 88.5557$$

$$b_x = -12.5N$$

El análisis confirma que las fuerzas transmitidas por el mecanismo son compatibles con las dimensiones y materiales seleccionados, garantizando un margen adecuado de seguridad y un esfuerzo de operación cómodo para el usuario.

### 7.3. Consideraciones de expansión térmica

Debido a que es necesario mantener una fricción mínima, se debe calcular la expansión térmica que sufren el barril y el vástago. Una fricción excesiva podría provocar desajustes, permitiendo que al momento de inyectar parte del material se escape entre el barril y el vástago. Asimismo, un exceso de fuerza podría ocasionar la fractura de algún componente del pistón.

Para este análisis se utiliza la ecuación correspondiente para calcular la expansión térmica entre los elementos del pistón. Se asume que tanto el barril como el vástago se calientan de manera uniforme y que la temperatura inicial es la ambiental ( $25^\circ\text{C}$ ), mientras que la temperatura final es de  $300^\circ\text{C}$ .

Barril

- $V = 670.70 \times 10^{-6} \text{ m}^3$
- $\beta_{\text{acero}} = 35 \times 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}}$  (ver Tabla 3)
- $\Delta T = (300^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}) = 275^\circ\text{C}$

La variación de volumen se obtiene con la ecuación (8):

$$\begin{aligned}\Delta V &= \beta \cdot V \cdot \Delta T \\ \Delta V &= 35 \times 10^{-6} \frac{1}{^{\circ}C} \cdot 670.70 \times 10^{-6} m^3 \cdot 275^{\circ}C \\ \Delta V &= 6.4558 \times 10^{-6} m^3\end{aligned}$$

Por lo tanto, el volumen total del barril es:

$$\begin{aligned}V_{\text{total}} &= V + \Delta V \\ V_{\text{total}} &= 670.70 \times 10^{-6} m^3 + 6.4558 \times 10^{-6} m^3 \\ V_{\text{total}} &= 677.156 \times 10^{-6} m^3\end{aligned}$$

Vástago

- $V = 470.485 \times 10^{-6} m^3$
- $\beta_{\text{acero}} = 35 \times 10^{-6} \frac{1}{^{\circ}C}$  (ver Tabla 3)
- $\Delta T = (300^{\circ}C - 25^{\circ}C) = 275^{\circ}C$

La variación de volumen se obtiene con la ecuación (8):

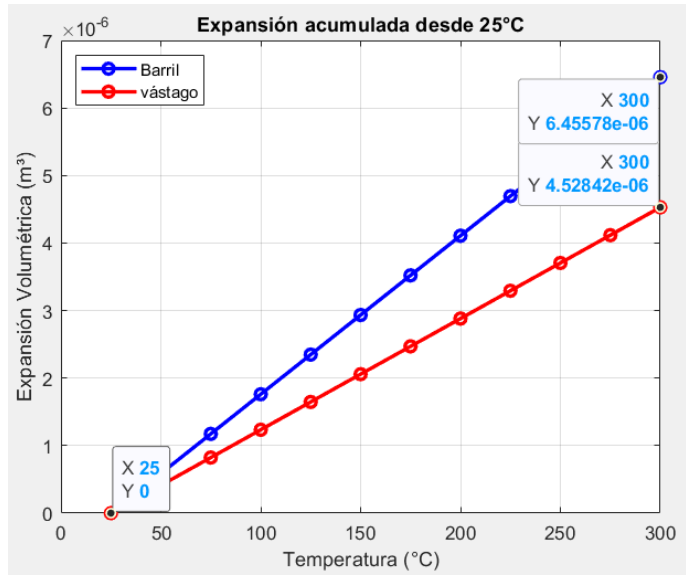
$$\begin{aligned}\Delta V &= \beta \cdot V \cdot \Delta T \\ \Delta V &= 35 \times 10^{-6} \frac{1}{^{\circ}C} \cdot 4.7048 \times 10^{-4} m^3 \cdot (300^{\circ}C - 25^{\circ}C) \\ \Delta V &= 4.5284 \times 10^{-6} m^3\end{aligned}$$

Por lo tanto, se calcula la expansión total del vástago:

$$\begin{aligned}V_{\text{total}} &= V + \Delta V \\ V_{\text{total}} &= 470.485 \times 10^{-6} m^3 + 4.5284 \times 10^{-6} m^3 \\ V_{\text{total}} &= 475.0134 \times 10^{-6} m^3\end{aligned}$$

A continuación se muestra una gráfica que representa cómo el barril y el vástago se expanden conforme aumenta la temperatura:

Figura 13. Gráfica de dilatación volumétrica



Los componentes no se expanden lo suficiente como para provocar una interferencia significativa en el sistema.

#### 7.4. Capacidad de almacenamiento de material en el barril de la inyectora

La capacidad de almacenamiento del barril define el volumen máximo de plástico sólido que puede introducirse en la máquina por ciclo. Este parámetro es importante porque determina el tamaño máximo de las piezas que se pueden inyectar y evita sobredimensionar el sistema de calentamiento.

Para el prototipo construido se seleccionó un diámetro interno de  $D = 33$  mm y una longitud efectiva de calentamiento de  $L = 50$  cm. Convirtiendo el diámetro a centímetros ( $D = 3.3$  cm) y sustituyendo en la ecuación (1) se obtiene:

$$C = \frac{\pi}{4}(3.3 \text{ cm})^2(50 \text{ cm})$$

$$\approx 4.28 \times 10^2 \text{ cm}^3$$

Por lo tanto, la capacidad de almacenamiento del barril es aproximadamente:

$$C \approx 428 \text{ cm}^3 \quad (17)$$

Dado que  $1 \text{ cm}^3 = 1 \text{ mL}$ , el barril puede contener alrededor de 428 mL de plástico.

Este valor se utilizó como criterio de diseño para garantizar que el volumen de material disponible por ciclo fuera suficiente para llenar las cavidades de los moldes considerados, dejando un margen de seguridad para posibles pérdidas en los canales de alimentación. Al mismo tiempo, se evitó escoger un volumen excesivo que incrementara innecesariamente el tiempo de calentamiento y la potencia requerida en las resistencias eléctricas.

## 7.5. Aplicación de la capacidad de plástico por ciclo al diseño del barril

En el marco teórico se definió la capacidad volumétrica del barril  $C$  y se relacionó con la cantidad de plástico que puede procesarse por ciclo mediante las ecuaciones (2)–(4). A partir de la capacidad calculada para el prototipo,  $C = 428 \text{ cm}^3$ , se realiza a continuación un ejemplo para PLA, que fue uno de los materiales empleados en las pruebas experimentales.

Se supone que el material de alimentación se introduce en forma de pequeños cubos de arista 3 mm, por lo que el volumen de cada partícula es

$$V_{\text{part}} = (0.3 \text{ cm})^3 = 0.027 \text{ cm}^3.$$

Usando la ecuación de número máximo de partículas en el barril, ecuación (2), se tiene:

$$N_{\text{max}} = \frac{C}{V_{\text{part}}} = \frac{428 \text{ cm}^3}{0.027 \text{ cm}^3} \approx 1.6 \times 10^4 \text{ partículas.}$$

Debido a los huecos entre partículas, sólo una fracción de este volumen se aprovecha efectivamente. Considerando un porcentaje de llenado  $\eta = 0.7$ , la ecuación (3) da:

$$N_{\text{real}} = \eta N_{\text{max}} \approx 0.7 \times 1.6 \times 10^4 \approx 1.1 \times 10^4 \text{ partículas.}$$

Tomando una densidad típica para PLA de  $\rho = 1.24 \text{ g/cm}^3$  y aplicando la ecuación de masa de plástico por ciclo, ecuación (4), se obtiene:

$$\begin{aligned} m &= N_{\text{real}} \rho V_{\text{part}} \\ &\approx 1.1 \times 10^4 \times 1.24 \text{ g/cm}^3 \times 0.027 \text{ cm}^3 \\ &\approx 3.7 \times 10^2 \text{ g.} \end{aligned}$$

Es decir, el barril puede almacenar aproximadamente 0.37 kg de PLA por ciclo bajo las condiciones asumidas.

## 8.1. Sistema eléctrico

### Selección de elementos:

**Controlador de temperatura PID:** Este dispositivo permite al usuario definir la temperatura que se desea mantener en el sistema, mostrando tanto la temperatura objetivo como la actual. Además, permite configurar el sistema eléctrico para adaptarse a diferentes condiciones. En este caso se utilizaron tres PID de la marca AGPTEK.

**Figura 14.** Controlador de temperatura PID



Nota. Controlador de temperatura PID utilizado para la inyectora.

**Relé de estado sólido (SSR):** estos dispositivos actúan como interruptores controlados por la señal enviada por el controlador de temperatura, encendiendo o apagando los calefactores según la temperatura indicada. Se seleccionó un relé SSR-40DA con su respec-

tivo disipador de calor.

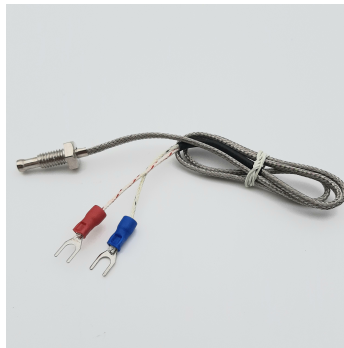
**Figura 15.** Relé de estado sólido



Nota. SSR utilizado para la inyectora.

**Sensor de temperatura:** este dispositivo mide la temperatura del barril y envía la señal al PID. Se seleccionó un sensor tipo K de 4.5 mm, el cual se coloca entre una resistencia y el barril.

**Figura 16.** Sensor tipo K



Nota. Sensor tipo K utilizado para la inyectora.

**Resistencia tipo banda:** son las encargadas de calentar el barril, transmitiendo el calor necesario para derretir el plástico.

**Figura 17.** Resistencia tipo banda



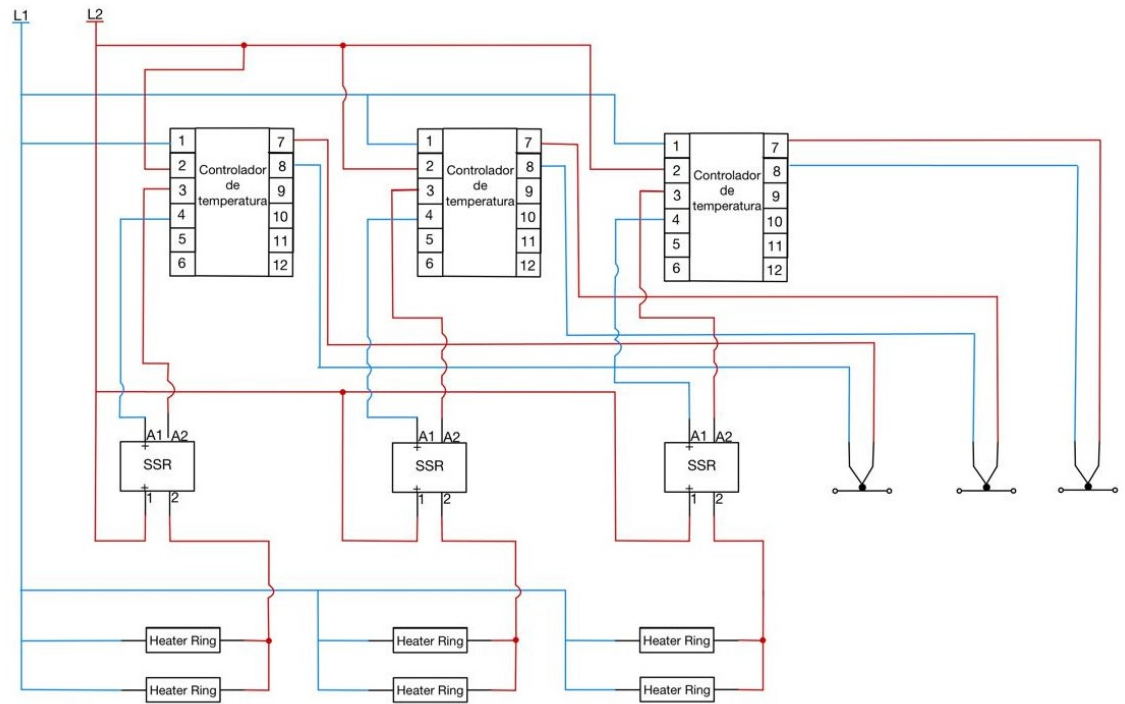
Nota. Resistencia tipo banda utilizada para la inyectora.

## 8.2. Diagrama de conexiones eléctricas

Con los componentes seleccionados, se procedió al armado de las conexiones eléctricas. Para ello, se diseñó el siguiente diagrama eléctrico, en el cual se muestran las conexiones entre los controladores de temperatura PID, los relés de estado sólido (SSR), los sensores tipo K y las resistencias tipo banda.

En el diagrama, el color rojo representa la fase y el color azul el neutro, lo que permite identificar de forma clara la trayectoria de la alimentación eléctrica hacia cada uno de los elementos del sistema. Este diseño asegura una distribución adecuada de la potencia hacia los calefactores y una correcta sincronización entre los sensores, los controladores y los actuadores encargados del calentamiento del barril.

Figura 18. Diagrama de conexiones eléctricas



Nota. Diagrama de conexiones eléctricas, donde el color rojo representa la fase y el azul el neutro.

---

### Construcción de la máquina

---

A partir de los planos realizados, se inició el proceso de corte de las diferentes partes de la máquina. Para ello se emplearon diversas herramientas, destacando el uso de una pulidora con disco fino, la cual permitió obtener cortes limpios y precisos en los perfiles y tubos de acero. Una vez realizados los cortes, se procedió a la rectificación de las piezas en el laboratorio de máquinas y herramientas de la UVG, utilizando fresadoras para escuadrar los perfiles y abrir las cavidades destinadas a los ejes, y el torno para rectificar y ajustar los tubos.

**Figura 19.** Rectificado de perfiles de acero



Nota. Proceso de rectificado de perfiles de acero con la fresadora.

Con las partes ya cortadas y rectificadas, se llevó a cabo el proceso de soldadura. Se uti-

lizaron electrodos E6013, adecuados por su resistencia de 60 ksi, suficiente para los esfuerzos calculados, además de ser consumibles de fácil acceso y uso en aplicaciones generales.

**Figura 20.** Proceso de soldadura de la máquina



Nota. Soldadura de la máquina con electrodo E6013.

Después de soldar la estructura principal, se continuó con el mecanizado de componentes específicos, como el tubo del barril. En esta etapa se utilizó la fresadora para realizar la apertura del barril, necesaria para la guía de la corredera y para la entrada de la tolva.

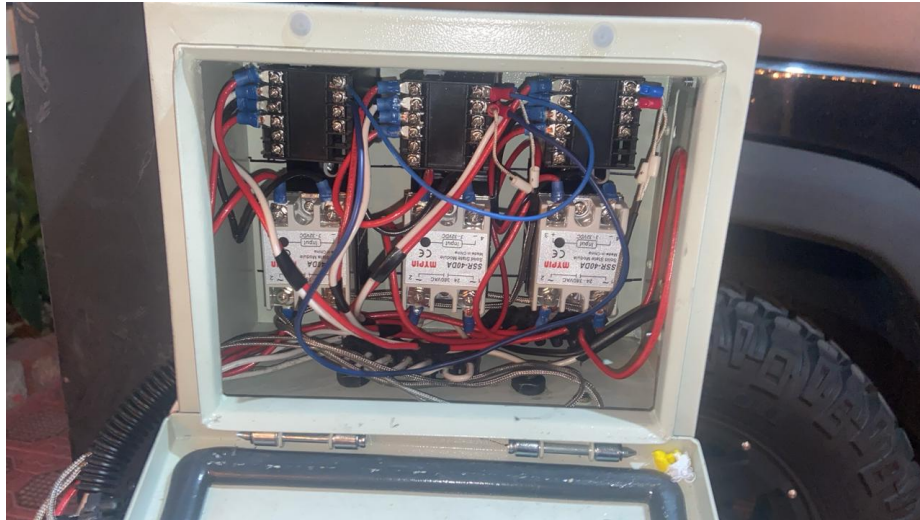
**Figura 21.** Mecanizado de tubo de acero



Nota. Mecanizado de tubo de acero para realizar la apertura de la guía de la corredera y la entrada para la tolva con la fresadora.

Posteriormente, se procedió a realizar las conexiones del sistema eléctrico. Se instalaron los controladores de temperatura y se cablearon sus respectivas salidas hacia los relevadores de estado sólido, las resistencias de banda y los sensores de temperatura. Además, se efectuaron pruebas para verificar el correcto funcionamiento del sistema de control térmico.

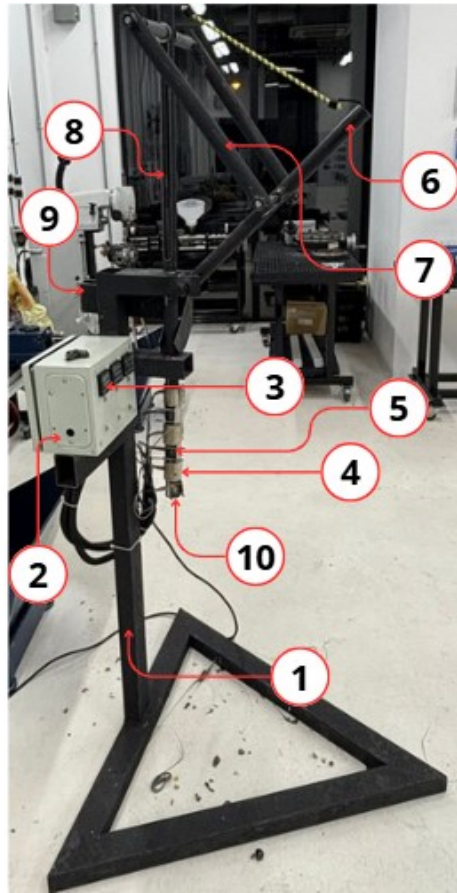
**Figura 22.** Caja eléctrica



Nota. Caja eléctrica con las conexiones de alimentación, los relés y los sensores.

Finalmente, se realizó el ensamblaje general de la máquina. Se montaron todos los elementos mecánicos en su posición correspondiente, se instalaron sistemas de sujeción como tornillos y tuercas, y se integró completamente el sistema eléctrico, dejando la máquina lista para pruebas y operación.

**Figura 23.** Ensamblaje completo



Nota. Ensamblaje completo de la inyectora de plástico.

**Cuadro 5.** Partes principales de la máquina.

No.	Parte
1	Estructura
2	Caja eléctrica
3	PID de temperatura
4	Resistencias de banda
5	Barril
6	Palanca de acción
7	Balancín
8	Corredera
9	Tolva
10	Boquilla

Nota. Partes principales de la inyectora de plástico construida, correspondientes a la numeración mostrada en la Figura 23.

---

### Diseño y características del molde

---

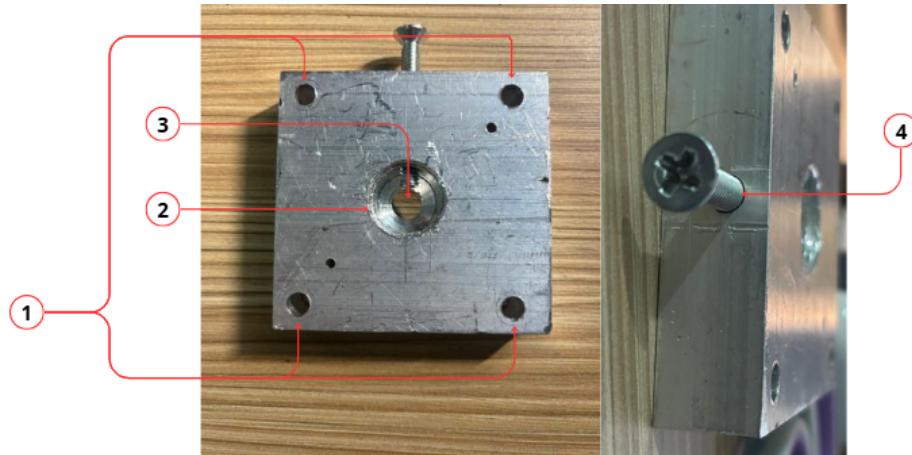
Debido a limitaciones en el uso de la CNC de la universidad, se emplearon moldes previamente maquinados pertenecientes a otro proyecto académico. Estos moldes tienen dimensiones de  $3 \times 3 \times 3/4$  pulgadas, lo cual restringió la posibilidad de realizar pruebas con moldes de mayor tamaño.

Para que un molde pueda ser utilizado en la inyectora, debe contar con características específicas en función de su geometría, su volumen interno y la evacuación de aire.

En el primer diseño se utilizó un molde de  $3 \times 3 \times 3/4$  pulgadas con una cavidad realizada mediante fresado CNC, la cual ocupa la mayor parte del volumen disponible. Para permitir su uso en el proceso de inyección, se fabricó una tapadera con las mismas dimensiones del molde.

Esta tapadera se perforó en el centro, dejando un espesor remanente de aproximadamente 3 mm, y posteriormente se realizó una segunda cavidad de menor diámetro alineado con el agujero de la boquilla, de modo que funcionara como canal de inyección del material fundido.

**Figura 24.** Tapadera de molde



Nota. Identificación de los elementos funcionales de la tapadera del molde.

**Cuadro 6.** Elementos del molde

No.	Elemento
1	Agujeros de sujeción entre molde y tapadera
2	Agujero guía para alineación con la boquilla
3	Agujero de cavidad (conexión hacia el canal de inyección)
4	Agujero roscado para el tornillo de sujeción a la boquilla

*Nota: Los elementos listados forman parte del sistema de cierre y sujeción del molde.*

Además, se añadieron múltiples cavidades de ventilación distribuidos en diferentes zonas de la pieza, permitiendo la salida del aire atrapado durante la inyección y evitando defectos como vacíos o llenados incompletos.

Para asegurar el molde a la inyectora, se mecanizó un cavidad lateral alineado con el canal de inyección, al cual se le añadió una rosca interna. Esta cavidad permite insertar dos tornillos que fijan firmemente el molde a la boquilla de la máquina, garantizando un cierre estable durante la operación.

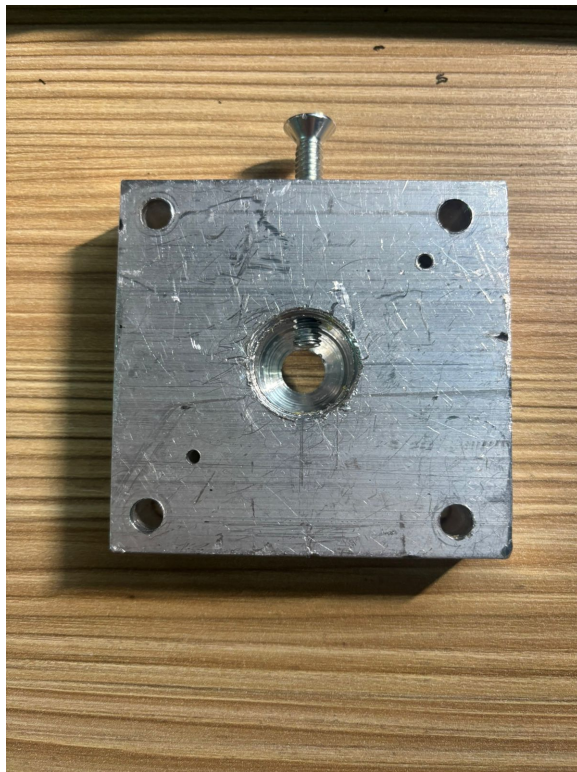
Finalmente, tanto la tapadera como el molde cuentan con un contorno exterior mecanizado, en el cual se perforaron agujeros coincidentes entre ambas piezas. Estas cavidades permiten colocar tornillos y tuercas que actúan como sistema de prensado, manteniendo ambas mitades del molde perfectamente alineadas y cerradas durante la inyección del material plástico.

**Figura 25.** Ejemplo de molde para inyección



Nota. Ejemplo de molde donde se pueden observar las cavidades de sujeción.

**Figura 26.** Tapadera del molde: vista superior



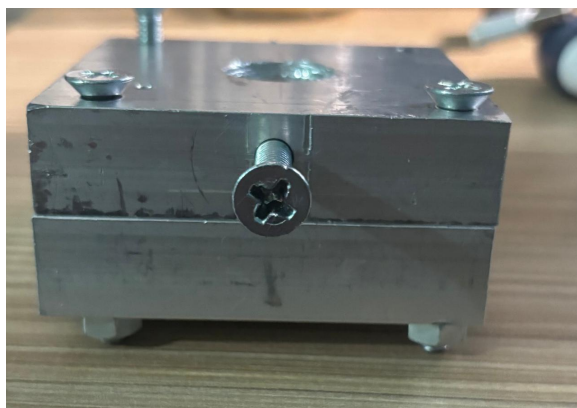
Nota. Vista superior de la tapadera del molde.

**Figura 27.** Tapadera del molde: vista inferior



Nota. Vista inferior de la tapadera del molde.

**Figura 28.** Molde ensamblado



Nota. Ensamblaje del molde con la tapadera.

---

## Ensayos de fusión, inyección y resultados obtenidos

---

Luego de completar el ensamblaje mecánico y eléctrico de la máquina inyectora, se procedió a realizar una serie de pruebas experimentales con el objetivo de validar su funcionamiento, su capacidad operativa y el cumplimiento de los requerimientos establecidos en el diseño. Estas pruebas permitieron evaluar tanto el desempeño térmico del sistema como su capacidad real de plastificación e inyección de materiales termoplásticos.

La primera etapa consistió en la prueba de temperatura, fundamental para garantizar la eficiencia del proceso de fusión del plástico. Para ello, la máquina se conectó a una alimentación de 110 V y se monitorizó el incremento térmico mediante los controladores PID. Los resultados demostraron que el sistema es capaz de alcanzar una temperatura máxima de 260 °C de forma estable, evidenciando un adecuado funcionamiento del conjunto todos los componentes.

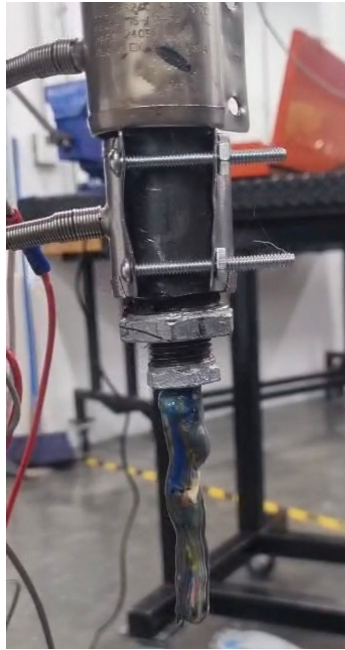
**Figura 29.** Prueba de temperatura



Nota. Prueba de temperatura en la que se espera que el sistema alcance la temperatura establecida.

Posteriormente, se realizaron pruebas de derretimiento empleando PLA y PP, dos materiales de características térmicas diferentes pero ampliamente utilizados en procesos de inyección a pequeña escala. En esta etapa se verificó la capacidad del cilindro para llevar el material a un estado semilíquido homogéneo. Se observó que el tiempo requerido para alcanzar una viscosidad óptima oscila entre 10 y 15 minutos, dependiendo del material. Asimismo, se confirmó que la temperatura alcanzada es suficiente para garantizar la fluidez necesaria para llenar las cavidades del molde sin obstrucciones.

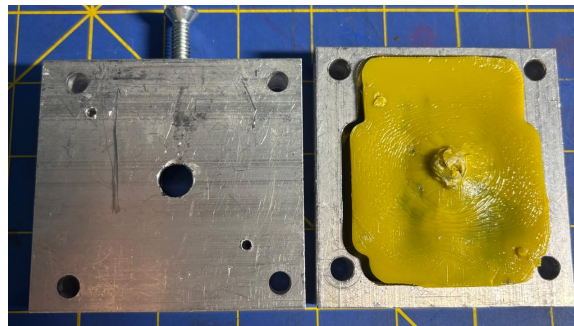
**Figura 30.** Prueba de derretimiento del material



Nota. PLA fundido alcanzando viscosidad óptima para inyección.

Una vez validado el proceso de plastificación, se continuó con las pruebas de inyección, en las cuales se evaluó la capacidad de la máquina para desplazar el material fundido hacia el interior del molde. Estas pruebas permitieron comprobar que el sistema puede llenar completamente cavidades de geometrías variadas, siempre que el molde cuente con cavidades adecuados de ventilación. La presencia de estas cavidades resultó esencial para permitir la salida del aire atrapado, evitando defectos típicos como vacíos, incompletos o puntos fríos durante la inyección.

**Figura 31.** Prueba de llenado de cavidades

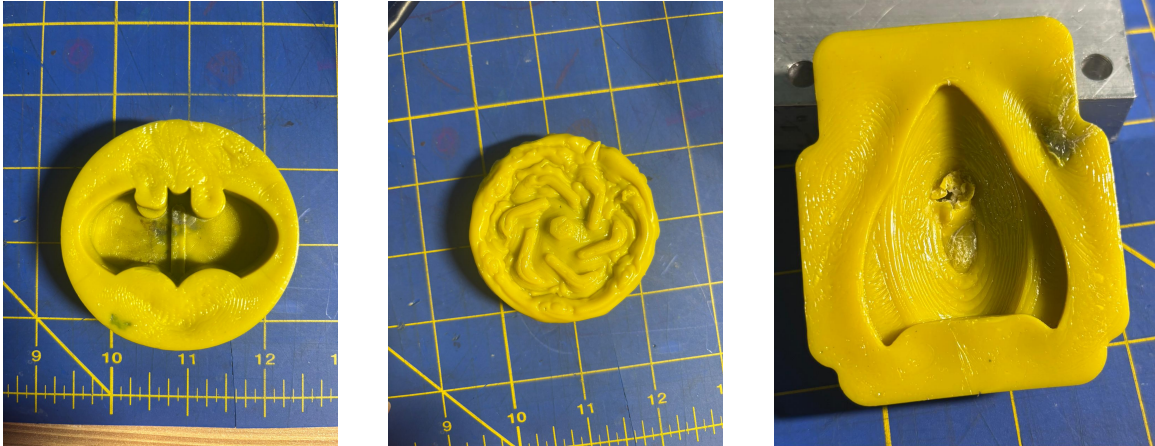


Nota. Prueba de llenado de cavidades utilizando PP fundido.

Finalmente, se realizaron pruebas con moldes de distintas geometrías, confirmando que la máquina mantiene un comportamiento consistente y es capaz de adaptarse a diferentes

configuraciones sin comprometer la calidad de llenado. Esta etapa permitió validar la versatilidad del diseño, así como la correcta integración entre el sistema de calentamiento, el mecanismo de inyección y el sistema de fijación de moldes.

**Figura 32.** Piezas obtenidas tras la inyección de PP en diferentes moldes



- Se implementó una máquina de inyección manual funcional, cumpliendo el objetivo general al adaptar y mejorar los principios de Precious Plastic para su integración en el laboratorio de reciclaje de la UVG.
- El mecanismo de inyección funcionó correctamente, permitiendo fundir y extruir materiales plásticos reciclados como PLA y PP, alcanzando la temperatura necesaria para su procesamiento.
- La máquina fabricada alcanzó un funcionamiento completo, permitiendo fundir materiales reciclados como PLA y PP, llenar moldes de distintas geometrías y producir piezas con buena forma, lo que confirma que el equipo cumple su propósito de prototipado y experimentación.
- Se diseñaron y utilizaron moldes intercambiables, los cuales pudieron fijarse a la boquilla con el sistema de sujeción desarrollado, sin necesidad de herramientas externas. Las piezas resultantes demostraron que los moldes funcionan adecuadamente para la creación de prototipos técnicos.
- El diseño mecánico del mecanismo de inyección se validó con éxito. El sistema manivela-corredera operó de forma estable, con suficiente fuerza para fundir y desplazar el plástico, demostrado por las pruebas de inyección y llenado de cavidades.

- Implementar estudios comparativos de desempeño con distintos tipos de plásticos reciclados, a fin de optimizar parámetros de inyección y definir las aplicaciones más adecuadas.
- Diseñar un protocolo de seguridad que incluya ventilación, uso de equipo de protección personal y procedimientos de operación estandarizados para prevenir riesgos durante la manipulación de plásticos.
- Para mayor exactitud del tubo, se recomienda hacerlo mecanizado a partir de una barra de acero negro, en lugar de un tubo comercial, debido a que la mayoría de los tubos comerciales no son completamente circulares, causando fugas en el barril.
- Agregar una caja eléctrica más grande, para mayor facilidad de manipulación de los cables en caso de que sea necesario hacer cambios.
- Agregar un fondo a la base, para evitar que se derrame material y se ensucie el lugar en el que se trabaja.
- Cambiar las resistencias a unas del diámetro del tubo, para que este sea capaz de derretir el material con uniformidad, mayor eficiencia y velocidad.

- [1] P. Plastic, *Precious plastic*, Recuperado de <https://www.preciousplastic.com/>, n.d. dirección: <https://www.preciousplastic.com/>.
- [2] A. P. plastic., *Precious plastic recycling machines*, Recuperado de <https://community.preciousplastic.com/academy/intro>, n.d. dirección: <https://community.preciousplastic.com/academy/intro>.
- [3] P. plastic products, *convertir el plástico en plástico precioso*, Recuperado de <https://www.preciousplastic.com/solutions/prods>, n.d. dirección: <https://www.preciousplastic.com/solutions/prods>.
- [4] A. P. plastic., *Build an Injection Machine*, Recuperado de <https://community.preciousplastic.com/academy/build/injection>, n.d. dirección: <https://community.preciousplastic.com/academy/build/injection>.
- [5] Plasticpreneur, *IMK2 Injection Moulding Machine | plasticpreneur*, Recuperado de <https://www.plasticpreneur.com/imk2injectionmachine>, n.d. dirección: <https://www.plasticpreneur.com/imk2injectionmachine>.
- [6] W. Jimena, *Inyectores de plástico: funciones y beneficios en la fabricación de pieza*, Recuperado de <https://klumex.com/blog/inyectores-de-plastico/>, ene. de 2024. dirección: <https://klumex.com/blog/inyectores-de-plastico/>.
- [7] SEOMoldblade, *Fases del Ciclo de Inyección - Moldblade*, Recuperado de <https://moldblade.com/fases-del-ciclo-de-inyeccion/>, abr. de 2024. dirección: <https://moldblade.com/fases-del-ciclo-de-inyeccion/>.
- [8] D. Systèmes, *Moldeo por inyección*, Recuperado de <https://www.3ds.com/es/make/guide/process/injection-molding>, 2023. dirección: <https://www.3ds.com/es/make/guide/process/injection-molding>.
- [9] OpenAI, *ChatGPT (versión GPT-5.1 Thinking) [Modelo de lenguaje grande]*, 2025. dirección: <https://chat.openai.com/>.

- [10] J. Knapp, *What is the SPI Resin Identification Code?* Recuperado de <https://www.foamequipment.com/blog/bid/38348/plastic-recycling-resin-identification-codes>, n.d. dirección: <https://www.foamequipment.com/blog/bid/38348/plastic-recycling-resin-identification-codes>.
- [11] F. Aquae, *Clasificación de los plásticos y su reciclaje*, Recuperado de <https://www.fundacionaquae.org/wiki/tipos-de-plasticos/>, 2021. dirección: <https://www.fundacionaquae.org/wiki/tipos-de-plasticos/>.
- [12] N. Geographic, *Estos son los 7 tipos de plásticos que existen en el mundo y los objetos cotidianos en los que se encuentran*, Recuperado de <https://www.nationalgeographicla.com/medio-ambiente/2024/04/estos-son-los-7-tipos-de-plasticos-que-existen-en-el-mundo-y-los-objetos-cotidianos-en-los-que-se-encuentran>, 2024. dirección: <https://www.nationalgeographicla.com/medio-ambiente/2024/04/estos-son-los-7-tipos-de-plasticos-que-existen-en-el-mundo-y-los-objetos-cotidianos-en-los-que-se-encuentran>.
- [13] G. Leo, *Punto de fusión de los plásticos | La guía básica*, Recuperado de <https://www.madearia.com/es/blog/melting-point-of-plastics/>, 2024. dirección: <https://www.madearia.com/es/blog/melting-point-of-plastics/>.
- [14] SP Group, *Códigos de identificación de plásticos*, Recuperado de <https://www.spg-pack.com/blog/codigos-identificacion-plasticos/>, 2021. dirección: <https://www.spg-pack.com/blog/codigos-identificacion-plasticos/>.
- [15] R. L. Norton, *Diseño de maquinaria: Síntesis y análisis de máquinas y mecanismos*, México, 2013.
- [16] W. Moebs, S. J. Ling y J. Sanny. «1.3 Dilatación térmica - Física universitaria volumen 2 | OpenStax.» Consultado el 16 de febrero de 2026. dirección: <https://openstax.org/books/f%C3%ADsica-universitaria-volumen-2/pages/1-3-dilatacion-termica>.
- [17] H. D. Young y R. A. Freedman, *Física Universitaria con Física Moderna, Volumen 2*, México, 2013.
- [18] Universidad Politécnica de Madrid, *Primer Principio de la Termodinámica. Calor*, Recuperado de <https://www2.montes.upm.es/dptos/digfa/cfisica/termo1p/calor.html>, n.d. dirección: <https://www2.montes.upm.es/dptos/digfa/cfisica/termo1p/calor.html>.
- [19] Plasticbages, *Tablas con las características técnicas y propiedades del PVC (policloruro de vinilo) en formato de barras y placas*, Recuperado de <https://www.plasticbages.com/caracteristicaspvc.html>, n.d. dirección: <https://www.plasticbages.com/caracteristicaspvc.html>.
- [20] CTE WEB, *Materiales de construcción*, Recuperado de <http://cte-web.iccl.es/materiales.php?a=16>, n.d. dirección: <http://cte-web.iccl.es/materiales.php?a=16>.
- [21] E. Frazier, *Mechanical, Thermal & UV Performance of ABS Plastic - Jaycon | Product Design, PCB & Injection Molding*, Jaycon, Recuperado de <https://www.jaycon.com/mechanical-thermal-uv-performance-of-abs-plastic/>, abr. de 2025. dirección: <https://www.jaycon.com/mechanical-thermal-uv-performance-of-abs-plastic/>.

- [22] Plásticos Brello, *PLA ácido poliláctico*, Recuperado de <https://plasticos-brello.com/material/pla-acido-polilactico/>, abr. de 2022. dirección: <https://plasticos-brello.com/material/pla-acido-polilactico/>.
- [23] Covestro AG, *Thermal properties | Technology by Covestro*, Recuperado de <https://solutions.covestro.com/en/highlights/articles/theme/product-technology/thermal-properties-tpu>, n.d. dirección: <https://solutions.covestro.com/en/highlights/articles/theme/product-technology/thermal-properties-tpu>.

Figura 33. Símbolo de SPI número del 1 al 7.



Nota. Símbolos de SPI utilizados para clasificar diferentes tipos de plásticos

**Cuadro 7.** Lista de materiales

No.	Componente	Material / especificación
<b>Estructura mecánica</b>		
1	Estructura principal	Perfiles y tubos de acero al carbono soldados.
2	Barril	Tubo de acero negro de 1" y 50 cm de longitud.
3	Vástago	Tubo de acero de 1/2" con eje soldado.
4	Acoplador	Tubo de acero negro de 1" con taladros de 15 mm.
5	Ejes	Barras de acero de Ø15 mm.
6	Palanca de acción	Elemento de acero para accionamiento manual.
7	Balancín	Elemento de acero que transmite el movimiento.
8	Corredera	Bloque de acero guiado sobre la estructura.
9	Tolva	Chapa de acero doblada para alimentación de plástico.
10	Boquilla	Pieza de acero mecanizada para inyección al molde.
11	Caja eléctrica	Caja metálica para controladores y conexiones.
12	Tornillería y tuercas	Elementos de sujeción en acero, varios tamaños.
13	Electrodos de soldadura	Electrodo revestido E6013.
<b>Sistema eléctrico y control</b>		
14	Controlador PID	Controlador de temperatura PID marca AGPTEK.
15	Relé de estado sólido	Relé SSR-40DA con disipador de calor.
16	Sensor de temperatura	Termopar tipo K Ø4.5 mm.
17	Resistencia tipo banda	Resistencia de banda 150 W, 110 V, montada al barril.
18	Cable de potencia	Cable de cobre AWG 10 con aislamiento en PVC.
19	Terminal tipo horquilla	Terminal de latón tipo "U" con forro.
20	Terminal macho	Terminal de latón redonda macho, con forro.
21	Terminal hembra	Terminal de latón redonda hembra, con forro.

Los planos eléctricos y el diseño CAD de la máquina se encuentran disponibles en el repositorio digital de la Universidad del Valle de Guatemala, accesible en el siguiente enlace:

[https://uvgtt.sharepoint.com/:f:/r/sites/Test399/Documentos%20compartidos/24%20-%20Laboratorio%20de%20reciclaje/2025/2025\\_julio\\_valdez\\_inyectora/CAD?csf=1&web=1&e=Y7IDtp](https://uvgtt.sharepoint.com/:f:/r/sites/Test399/Documentos%20compartidos/24%20-%20Laboratorio%20de%20reciclaje/2025/2025_julio_valdez_inyectora/CAD?csf=1&web=1&e=Y7IDtp)

