

---

# Renovación de una máquina recicladora de botellas PET para la producción de filamento 3D

---

Kevin René Alarcón Calderón





UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ingeniería



**Renovación de una máquina recicladora de botellas PET para  
la producción de filamento 3D**


Trabajo de graduación presentado por Kevin René Alarcón Calderón  
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecatrónica

Guatemala,

2025

Vo.Bo.:

(f)   
MBA Pedro Castillo

(f)   
M.Sc. Carlos Esquit

Fecha de aprobación: Guatemala, 20 de noviembre de 2025.

En primer lugar, agradezco a Dios, por brindarme fortaleza, sabiduría y la oportunidad de culminar esta etapa tan importante de mi formación académica.

A mi familia, por su apoyo incondicional, sus enseñanzas y por ser el pilar fundamental que me ha permitido alcanzar cada una de mis metas. Su esfuerzo, dedicación y confianza han sido esenciales a lo largo de todo este proceso.

Expreso también mi agradecimiento a mi asesor, Ing. Pedro Castillo, por su guía, compromiso y acompañamiento durante el desarrollo de este proyecto. Sus conocimientos y orientación fueron fundamentales para la culminación satisfactoria de este trabajo.

Finalmente, agradezco a mi pareja y amigos, quienes me brindaron ánimo, compañía y comprensión en los momentos más desafiantes. Su apoyo hizo posible mantener la motivación y avanzar con firmeza hasta el final.

<b>Prefacio</b>	<b>I</b>
<b>Índice de figuras</b>	<b>V</b>
<b>Resumen</b>	<b>VI</b>
<b>Abstract</b>	<b>VII</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Antecedentes</b>	<b>3</b>
2.1. Implementación de una Recicladora Recreator 3D . . . . .	3
2.2. Recreator 3D . . . . .	4
2.3. Producción de filamento 3D con PET reciclado en 3D Market . . . . .	5
2.4. Polyformer . . . . .	5
<b>3. Justificación</b>	<b>7</b>
<b>4. Objetivos</b>	<b>8</b>
4.1. Objetivo general . . . . .	8
4.2. Objetivos específicos . . . . .	8
<b>5. Hipótesis</b>	<b>9</b>
<b>6. Marco teórico</b>	<b>10</b>
6.1. Extrusión de polímeros . . . . .	10
6.2. Enfriamiento en la extrusión de polímeros . . . . .	11
6.3. Sistemas de corte de botellas . . . . .	11
6.4. Torque . . . . .	12
6.5. Regulador de voltaje . . . . .	12
6.6. Diseño 3D . . . . .	13
6.7. Mini-Rambo . . . . .	14
6.8. Termistor de un extrusor . . . . .	15

<b>7. Metodología</b>	<b>16</b>
7.1. Descripción de la máquina base . . . . .	16
7.2. Criterios de remodelación . . . . .	20
7.3. Herramientas utilizadas . . . . .	21
7.4. Selección de materiales . . . . .	22
<b>8. Diseño y fabricación de los nuevos componentes</b>	<b>25</b>
8.1. Máquina cortadora de botellas . . . . .	25
8.2. Sistema de extrusión mejorado . . . . .	33
8.3. Rediseño de componentes complementarios . . . . .	36
8.4. Carcasa de acrílico . . . . .	40
8.5. Determinación del perfil óptimo para impresión 3D . . . . .	45
<b>9. Conclusiones</b>	<b>47</b>
<b>10.Recomendaciones</b>	<b>48</b>
<b>11.Referencias</b>	<b>49</b>
<b>12.Anexos</b>	<b>51</b>
12.1. Planos de piezas diseñadas o modificadas . . . . .	51

---

## Índice de figuras

---

Figura 1.	Recreator 3D [1] . . . . .	4
Figura 2.	Modelo Recreator 3D [3] . . . . .	4
Figura 3.	Proceso de reciclaje de Recreator 3D [3] . . . . .	4
Figura 4.	Máquinas recicladoras de 3D Market [4] . . . . .	5
Figura 5.	Modelo polyformer [6] . . . . .	6
Figura 6.	Implementaciones en máquina polyformer [5] . . . . .	6
Figura 7.	Partes de un extrusor [8] . . . . .	10
Figura 8.	Enfriamiento en el proceso de extrusión [10] . . . . .	11
Figura 9.	Cortador de botellas [3] . . . . .	11
Figura 10.	Momento de fuerza [12] . . . . .	12
Figura 11.	Regulador MT3608 [14] . . . . .	13
Figura 12.	Proceso del modelado 3D . . . . .	14
Figura 13.	Placa Mini Rambo 1.3a [16] . . . . .	15
Figura 14.	Termistor [17] . . . . .	15
Figura 15.	Máquina recicladora de botellas [6] . . . . .	17
Figura 16.	Mecanismo de corte inicial . . . . .	18
Figura 17.	Material con forma de U . . . . .	19
Figura 18.	Sistema de extrusión inicial . . . . .	19
Figura 19.	Sistema de dirección de filamento . . . . .	19
Figura 20.	Carcasa inicial de máquina . . . . .	20
Figura 21.	Mecanismos de corte . . . . .	25
Figura 22.	Tiras PET producidas y cojinetes afilados para el sistema de corte . . . . .	26
Figura 23.	Estabilizador para mecanismo de corte [22] . . . . .	26
Figura 24.	Base de la barra estabilizadora . . . . .	27
Figura 25.	Estabilizador fabricado . . . . .	27
Figura 26.	Base para motor rediseñada . . . . .	28
Figura 27.	Sistema de engranajes . . . . .	29
Figura 28.	Eje de transmisión . . . . .	29
Figura 29.	Ensamble del mecanismo motorizado . . . . .	30
Figura 30.	Componentes de alimentación . . . . .	30

Figura 31.	Modificación servomotor . . . . .	31
Figura 32.	Ensamble del módulo . . . . .	31
Figura 33.	Base para el sistema . . . . .	32
Figura 34.	Ensamble de la máquina de corte . . . . .	32
Figura 35.	Hotend de un extrusor MK8 . . . . .	33
Figura 36.	Base original del extrusor MK8 . . . . .	33
Figura 37.	Base metálica . . . . .	34
Figura 38.	Base térmica de polietileno . . . . .	34
Figura 39.	Hotend original y modificado . . . . .	35
Figura 40.	Sistema de extrusión renovado . . . . .	35
Figura 41.	Diseño e implementación de cubierta para el sistema de extrusión . .	36
Figura 42.	Eje de guía . . . . .	36
Figura 43.	Soporte derecho rediseñado . . . . .	37
Figura 44.	Sistema de dirección mejorado . . . . .	37
Figura 45.	Soporte para pantalla . . . . .	38
Figura 46.	Pantalla renovada . . . . .	38
Figura 47.	Rediseño del eje para porta carrete . . . . .	39
Figura 48.	Porta carrete de tiras PET . . . . .	39
Figura 49.	Pieza a modificar para interruptor . . . . .	40
Figura 50.	Medición de diámetros . . . . .	41
Figura 51.	Pieza para el interruptor . . . . .	41
Figura 52.	Piezas manchadas . . . . .	42
Figura 53.	Bloque de piezas . . . . .	43
Figura 54.	Conexiones para implementación del interruptor . . . . .	43
Figura 55.	Ensamble final de la carcasa con piezas de acrílico. . . . .	44
Figura 56.	Parámetros de impresión . . . . .	45
Figura 57.	Comparación de impresiones realizadas . . . . .	46
Figura 58.	Ensamblaje completo de la máquina . . . . .	52
Figura 59.	Base rediseñada para servomotor . . . . .	53
Figura 60.	Base de engranajes planetarios . . . . .	54
Figura 61.	Eje de transmisión del mecanismo motorizado . . . . .	55
Figura 62.	Carcasa inferior del módulo de control para servomotor . . . . .	56
Figura 63.	Carcasa superior del módulo de control para servomotor . . . . .	57
Figura 64.	Base para estabilizador del mecanismo de corte . . . . .	58
Figura 65.	Barra estabilizadora . . . . .	59
Figura 66.	Base para la máquina cortadora de botellas . . . . .	60
Figura 67.	Adaptador para la memoria SD de la pantalla . . . . .	61
Figura 68.	Base para el porta bobinas de tiras PET . . . . .	62
Figura 69.	Eje de base para el porta bobinas de tiras PET . . . . .	63
Figura 70.	Base térmica para el extrusor . . . . .	64
Figura 71.	Base no térmica para el extrusor que se ensambla a la recicladora . .	65
Figura 72.	Cobertor para el hotend del extrusor . . . . .	66
Figura 73.	Base derecha del mecanismo de guía para el filamento . . . . .	67
Figura 74.	Eje para el mecanismo de guía de filamento . . . . .	68
Figura 75.	Pieza de carcasa modificada para ensamblaje de interruptor . . . . .	69

El proyecto *Implementación de una recicladora Recreator 3D* fue desarrollado inicialmente por Renato Mendizábal, quien construyó una máquina capaz de fabricar filamento para impresión 3D a partir de botellas PET. Sin embargo, el prototipo presentaba diversas limitaciones en su funcionamiento y estructura, por lo que fue necesario realizar una remodelación completa del sistema.

El objetivo principal del rediseño fue mejorar los aspectos funcionales y estructurales de la máquina para obtener un filamento de mayor calidad y optimizar el proceso de impresión 3D. Tras identificar las limitaciones existentes, se rediseñaron los sistemas relevantes empleando componentes y materiales más adecuados —como aluminio, acrílico y ácido poliláctico (PLA)— con el fin de incrementar la estabilidad y rigidez de la máquina.

Como resultado, se obtuvo un equipo capaz de producir filamento con un diámetro más constante y un mejor acabado, además de contar con una estructura más funcional y un aspecto visual mejorado. Finalmente, se fabricó suficiente filamento para realizar múltiples pruebas de impresión 3D con distintos parámetros. A partir de estas pruebas, se determinó una configuración óptima del software de laminado 3D que permitió obtener impresiones con buen acabado y mayor consistencia utilizando el filamento reciclado.

**Palabras clave:** reciclaje de PET, impresión 3D, filamento reciclado, extrusión de polímeros, diseño mecánico.

The project *Implementation of a Recreator 3D Recycler* was initially developed by Renato Mendizábal, who built a machine capable of producing 3D-printing filament from PET bottles. However, the prototype presented several operational and structural limitations, making it necessary to carry out a complete redesign of the system.

The main objective of the redesign was to improve the functional and structural aspects of the machine in order to obtain higher-quality filament and optimize the 3D printing process. After identifying the existing limitations, the relevant subsystems were redesigned using more suitable components and materials—such as aluminum, acrylic, and polylactic acid (PLA)—to increase the stability and rigidity of the machine.

As a result, the improved equipment was able to produce filament with a more consistent diameter and better surface quality, in addition to having a more functional structure and an enhanced visual appearance. Finally, enough filament was produced to conduct multiple 3D-printing tests under varying parameters. Based on these tests, an optimal configuration of the 3D slicing software was determined, enabling prints with better finish and higher consistency when using the recycled filament.

**Keywords:** PET recycling, 3D printing, recycled filament, polymer extrusion, mechanical design.

# CAPÍTULO 1

---

## Introducción

---

El presente trabajo aborda la remodelación de una máquina Recreator 3D la cual es una recicladora de botellas PET para la fabricación de filamento 3D. Esta máquina fue desarrollada por el estudiante Renato Mendizábal en 2023 en la Universidad del Valle de Guatemala. Mediante procesos térmicos, el material PET se calienta hasta su punto de fusión y, a través de un extrusor, se moldea en forma cilíndrica para obtener filamento. Proyectos similares se han implementado en distintas partes del mundo por profesionales en diseño industrial, quienes han desarrollado sus propias máquinas recicladoras, lo que evidencia la importancia de este tipo de iniciativas en el contexto de la fabricación sostenible.

La característica principal de la máquina recicladora es su capacidad de reducir la contaminación generada por botellas plásticas, al transformarlas en filamento para impresión 3D, un insumo cada vez más demandado en la industria y la educación. De esta manera, la máquina no solo aprovecha un residuo común y contaminante como el PET, sino que también impulsa un modelo de economía circular al convertir desechos en un recurso de alto valor. Además, su construcción mediante la reutilización de componentes de proyectos anteriores refuerza su carácter sostenible, ya que la propia máquina se concibe como un ejemplo de reciclaje aplicado a la innovación tecnológica.

Aunque la máquina cumplía con sus funciones básicas, se identificaron ciertas limitaciones en su estructura y su funcionamiento general, lo cual impulsó la necesidad de su remodelación. Mejorar su desempeño era fundamental, ya que este proyecto puede sentar las bases para la creación de un laboratorio de reciclaje dentro de la Universidad del Valle de Guatemala. Asimismo, la máquina remodelada puede apoyar el aprendizaje al fomentar la innovación sostenible y la integración de sistemas mecánicos, electrónicos y de control aplicados a la manufactura. Además, tiene el potencial de ser utilizada en exposiciones académicas, promoviendo la innovación tecnológica, la conciencia ambiental y la aplicación de materiales reciclados en procesos de fabricación aditiva.

El proyecto de remodelación de la máquina recicladora de botellas Recreator 3D se llevó a cabo mediante un enfoque metodológico dividido en fases, con el objetivo de mantener un procedimiento estructurado y un orden cronológico durante todo el desarrollo. La metodología inició con un análisis del diseño original, mediante el cual se identificaron limitaciones en el sistema de corte, el sistema de extrusión y la carcasa, así como la necesidad de optimizar diversos aspectos de la máquina. Con base en esto, se seleccionaron las herramientas y métodos de fabricación adecuados para el rediseño e implementación de los nuevos componentes.

Se seleccionaron los materiales a utilizar en los nuevos componentes, ya que los empleados en la máquina presentaban baja resistencia y un alto nivel de desgaste con el tiempo. Con base en estas limitaciones, se eligieron materiales más adecuados, entre los cuales destacan el acrílico, el aluminio y el PLA.

Se decidió separar el mecanismo de corte de la máquina recicladora debido al esfuerzo de tracción excesivo que se generaba en el motor de embobinado al realizar simultáneamente el corte de las tiras PET y su extrusión. Para resolverlo, se diseñó un nuevo sistema para el seccionado de botellas PET, al cual se incorporó un accionamiento motorizado que permitió acelerar el proceso y obtener bobinas de tiras PET.

Se procedió con la fabricación del nuevo sistema de extrusión. Para ello, se seleccionó el hotend a utilizar y se realizaron modificaciones internas que mejoraron la transición de las tiras PET durante el proceso de extrusión. Posteriormente, se fabricó una nueva base para el hotend y se efectuó el ensamblaje completo del sistema.

Se rediseñaron varios componentes de la máquina que requerían mejoras. Además, se modificaron el mecanismo de guía del filamento y el soporte de la pantalla, utilizando materiales más resistentes que proporcionaron mayor rigidez y un mejor acabado visual. Asimismo, debido a la separación del sistema de corte mencionada, fue necesario fabricar un soporte para las bobinas de tiras PET para su uso en la máquina recicladora.

Se rediseñaron determinadas piezas de la carcasa de la máquina, incorporando un interruptor de encendido y apagado con el propósito de incrementar la seguridad operativa. Una vez completada la fabricación de todas las nuevas piezas, se procedió con su ensamblaje en la máquina recicladora, concluyendo así las nuevas implementaciones del sistema.

Finalmente, se efectuaron pruebas de corte de tiras PET y de extrusión utilizando la máquina recicladora. Una vez obtenido el filamento, se llevaron a cabo múltiples pruebas de impresión 3D con el objetivo de determinar una configuración óptima del software de laminado, logrando impresiones de buena calidad y consistencia. Gracias a esta metodología estructurada, se logró una máquina recicladora de filamento más eficiente, confiable y segura, con un diseño mejorado tanto en funcionalidad como en estética.

### **2.1. Implementación de una Recicladora Recreator 3D**

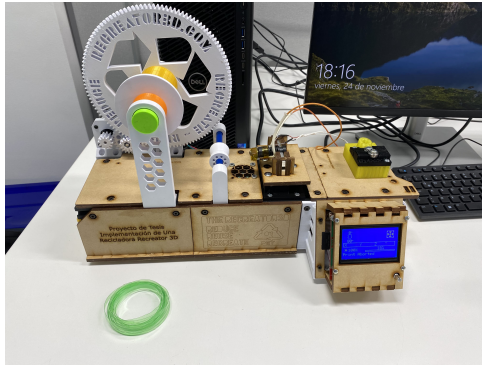
La recicladora de botellas formadora de filamento para impresión 3D es una máquina en creciente popularidad durante los últimos años. Esta máquina permite abordar la problemática del exceso de botellas plásticas mediante un proceso de reciclaje adecuado. Además, produce un material cada vez más demandado: el filamento para impresión 3D. Renato Mendizábal fabricó una máquina basada en el diseño Recreator 3D [1], con el propósito de replicar el proceso de reciclaje de botellas PET para la producción de filamento destinado a impresión 3D.

Para el desarrollo de la máquina se emplearon diversos componentes electrónicos. Entre ellos se destaca el uso de una fuente de alimentación, encargada de suministrar energía a todos los circuitos del sistema; así como de una tarjeta controladora la cual posee el software Marlin de una impresora 3D y una pantalla que funciona como interfaz para el control de los procesos. Además, se utilizó un extrusor para darle forma de filamento a las tiras PET y un motor paso a paso acoplado a un sistema de engranajes, encargado de producir bobinas de filamento. Finalmente, se incorporaron dos ventiladores, destinados a la disipación térmica tanto del sistema electrónico como del extrusor. Estos dispositivos fueron reprogramados para adecuarlos a los requerimientos de esta máquina (Figura 1).

Entre otros componentes relevantes, en la parte superior de la máquina se incorporó un cortador de botellas construido con cojinetes, el cual permite generar tiras a partir de botellas plásticas. Asimismo, se diseñó una guía para el filamento que facilita su conducción hacia la bobina, optimizando el proceso de embobinado.

Con esta máquina se obtuvo un filamento extruido con un diámetro promedio de 1.78 mm, ligeramente por encima del valor objetivo de 1.75 mm. Esta variación se atribuye a posibles inexactitudes en el desplazamiento angular recorrido por el motor de embobinado, así como a problemas en la sujeción del filamento en la bobina.

**Figura 1.** Recreator 3D [1]



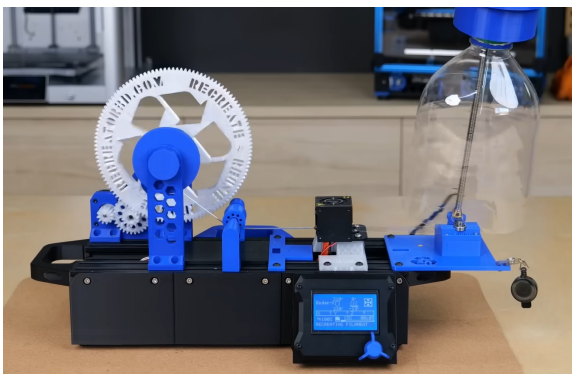
Nota. Máquina recicladora Recreator 3D implementada por Renato Mendizabal.

## 2.2. Recreator 3D

Joshua Taylor diseñó una recicladora de botellas para la fabricación de filamento destinado a impresión 3D, reutilizando los principales componentes de una impresora Ender 3 [2]. Su propuesta se ha consolidado como una de las opciones más accesibles y funcionales dentro de la comunidad (Figura 2).

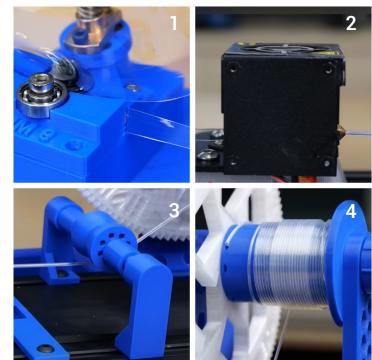
Su proceso de reciclaje se detalla a continuación: primero, se corta la base de la botella plástica y se coloca sobre el mecanismo de corte (1). Este dispositivo genera tiras de PET de ancho uniforme, que luego son conducidas al extrusor (2), encargado de transformarlas en filamento. A continuación, el filamento extruido pasa por un sistema de guía (3), que asegura su correcta alineación durante el proceso de embobinado (4). Este último mecanismo también se encarga de traccionar el filamento, garantizando un enrollado continuo (Figura 3).

**Figura 2.** Modelo Recreator 3D [3]



Nota. Modelo Recreator 3D de Joshua Taylor.

**Figura 3.** Proceso de reciclaje de Recreator 3D [3]



Nota. (1) Corte, (2) extrusión, (3) guía, (4) embobinado.

## 2.3. Producción de filamento 3D con PET reciclado en 3D Market

La empresa mexicana de impresoras 3D, 3D Market [4], ha implementado un proceso de reciclaje que aprovecha botellas PET como materia prima para la producción de filamento para impresión 3D. Este proceso se divide en tres fases: trituración, secado y fundición del material (Figura 4), con el objetivo de conseguir un filamento lo más consistente posible. Se utiliza una trituradora de plásticos para convertir las botellas en pequeños fragmentos. Luego, con un secador de polímeros, se procede a eliminar la humedad de estos fragmentos, ya que, según 3D Market, “el PET es altamente higroscópico, lo que significa que absorbe humedad fácilmente. Si no se seca adecuadamente, la humedad puede causar burbujas o imperfecciones en el filamento final”. Una vez que el material está seco, se introduce en un extrusor, el cual le da forma de filamento.

**Figura 4.** Máquinas recicladoras de 3D Market [4]



Nota. Proceso de triturado, secado y extrusión de 3D Market.

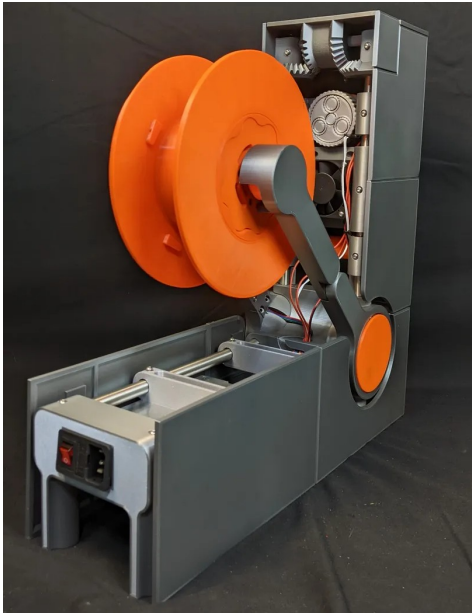
## 2.4. Polyformer

Reiten Cheng diseñó una recicladora de botellas que transforma PET en filamento para impresión 3D [5]. Esta máquina, de código abierto, puede ser modificada según las necesidades del usuario. A diferencia de otros modelos, esta máquina no posee un cortador de tiras ya que utiliza tiras de PET como insumo, por lo que es necesario cortar previamente las botellas mediante un mecanismo externo, tal como se puede ver en las Figuras 5 y 6. Estas tiras se enrollan en un pequeño carrete que las guía hacia un extrusor ubicado en la parte trasera de la máquina (1), donde se les da forma de filamento. Posteriormente, el filamento pasa por un sistema de guía que lo dirige adecuadamente hacia el carrete de embobinado, situado en la parte frontal.

El mecanismo de embobinado también se encarga de traccionar el filamento, garantizando una extrusión y un enrollado continuos. Para su implementación, se utilizó una caja de engranajes cicloidal (3), ya que la alta carga y la considerable distancia al centro de rotación representan un desafío significativo en el diseño de la unidad de accionamiento.

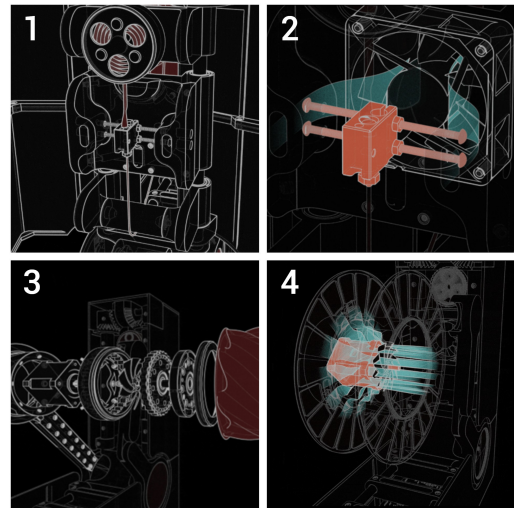
Entre otras implementaciones, se diseñó un sistema de enfriamiento para el filamento recién extruido (2), con el objetivo de obtener un material más consistente. Asimismo, se incorporó un sistema de refrigeración para el motor que acciona el carrete de filamento (4), garantizando un funcionamiento estable y prolongando la vida útil de los componentes.

**Figura 5.** Modelo polyformer [6]



Nota. Modelo Polyformer implementado por Reiten Cheng.

**Figura 6.** Implementaciones en máquina polyformer [5]



Nota. (1) Extrusión, (2) enfriamiento del extrusor, (3) engranajes cicloidales, (4) enfriamiento del motor.

La contaminación por desechos plásticos continúa en aumento, ya que este material es uno de los más utilizados en la vida cotidiana especialmente en productos de un sólo uso, como la botella de bebidas gaseosas. Esto contribuye significativamente al deterioro y contaminación ambiental. Según la Universidad del Valle de Guatemala [7], en muchos países sólo el 6 % de las botellas plásticas utilizadas se reciclan.

Para resolver esta problemática de contaminación se han desarrollado diferentes maneras de reciclar el plástico. Queriendo cumplir este objetivo, Renato Mendizabal diseñó y fabricó una máquina que permite transformar botellas PET en filamento para impresión 3D. Esta máquina no solo provee una solución para mitigar los desechos plásticos sino también permite crear algo que hoy en día es muy útil para el diseño y modelado 3D.

Aunque esta máquina cumple con su función principal, todavía presenta áreas de mejora. Como se mencionó en la sección Implementación de una Recicladora Recreator 3D, la máquina no logra producir un filamento con un diámetro exacto de 1.75 mm, debido a problemas en la distancia angular recorrida por el motor y en la sujeción del filamento durante el embobinado.

El desarrollo de esta máquina será un gran avance para el diseño e innovación de máquinas recicladoras dentro de las instalaciones de UVG, y el filamento fabricado será de gran utilidad como insumo para los laboratorios de impresión 3D de la universidad, sirviendo también como fundamento para la creación de un laboratorio de reciclaje en la institución.

#### 4.1. Objetivo general

Rediseñar y optimizar la máquina recicladora de botellas, para mejorar su eficiencia y funcionalidad.

#### 4.2. Objetivos específicos

- Diseñar un mecanismo que permita cortar botellas plásticas en tiras de PET con un ancho constante.
- Producir un filamento de diámetro uniforme mediante un sistema de extrusión basado en un bloque calefactor de impresora 3D.
- Garantizar una impresión 3D de alta calidad utilizando el filamento fabricado mediante una configuración óptima del software de laminado 3D.

El presente proyecto tuvo como alcance el rediseño, mejora y optimización sistémica de una máquina recicladora de botellas PET destinada a la fabricación de filamento para impresión 3D. El trabajo abarca todas las etapas necesarias para transformar el prototipo existente en un sistema con funcionamiento más confiable y controlado, con características de seguridad reforzada y mayor consistencia en la producción de filamento, con el objetivo de facilitar su uso en entornos de investigación, educación y manufactura.

El proyecto también contempló el diseño e implementación de un sistema de corte automático, con el fin de automatizar la producción de tiras PET y garantizar un flujo continuo de material durante el proceso de extrusión.

Asimismo, se desarrolló un sistema de extrusión mejorado, incorporando un nuevo hotend de uso común en impresoras 3D comerciales. Se incluyó el diseño y fabricación de una nueva base metálica para este sistema de extrusión, además de una capa aislante que optimiza la disipación térmica y mejora la seguridad del usuario.

El alcance también incluyó la integración de mejoras eléctricas y de seguridad, como la instalación de un interruptor general que permite controlar el encendido y apagado de la máquina, así como la reorganización del cableado para un funcionamiento más ordenado.

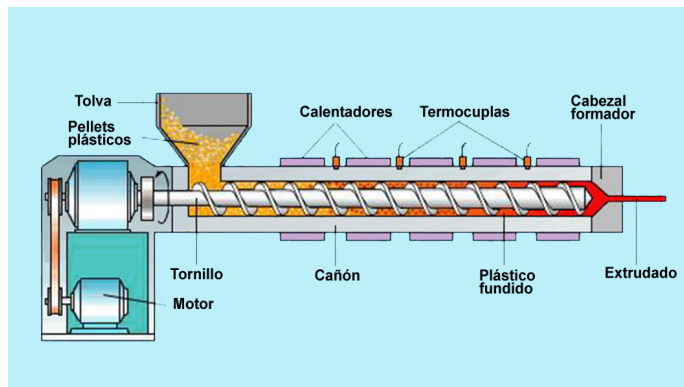
Finalmente, se realizaron pruebas funcionales y de validación de cada uno de los subsistemas diseñados para comprobar su correcto desempeño y compatibilidad con el conjunto, asegurando que la máquina rediseñada realice una producción continua de filamento 3D a partir de botellas PET recicladas.

## 6.1. Extrusión de polímeros

La extrusión es un proceso de transformación de polímeros ampliamente utilizado en la industria plástica, que consiste en calentar y fundir el material para someterlo a presión constante mediante un tornillo giratorio dentro de un cilindro calefaccionado (Figura 7). Este elemento transporta, comprime y funde el polímero hasta obtener una masa uniforme, que luego es impulsada a través de un dado o boquilla, otorgándole una forma continua y definida. Gracias a esta técnica se pueden fabricar productos como tuberías de agua y drenaje, mangueras, perfiles de construcción, filamentos para impresión 3D, envases y recubrimientos de cables eléctricos.

El material polimérico suele introducirse al extrusor en forma de *pellets* o polvo a través de una tolva, lo que permite mantener un flujo constante, evitar atascos y reducir el desperdicio de materia prima [8].

**Figura 7.** Partes de un extrusor [8]

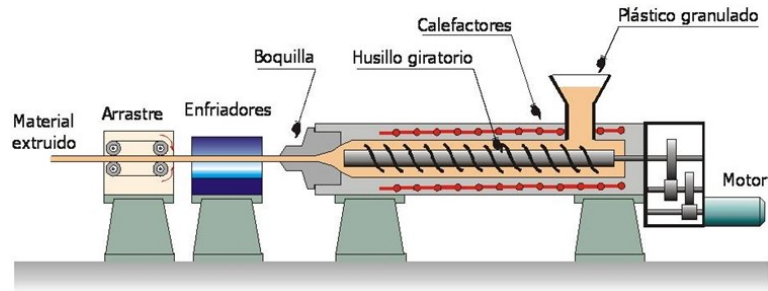


Nota. Partes principales que conforman un extrusor de polímeros.

## 6.2. Enfriamiento en la extrusión de polímeros

El enfriamiento en la extrusión de plásticos consiste en reducir la temperatura del material recién extruido por debajo de su punto de fusión para solidificarlo y que así mantenga la forma deseada (Figura 8). El proceso de enfriamiento permite optimizar la velocidad de producción, el acabado superficial y la resistencia mecánica del material por lo que es una parte fundamental en la fabricación de plásticos. Los métodos de enfriamiento en la extrusión de plásticos incluyen el enfriamiento por agua, por aire y el enfriamiento combinado, cada una elegida según material, la geometría del producto y las necesidades en la producción [9].

**Figura 8.** Enfriamiento en el proceso de extrusión [10]

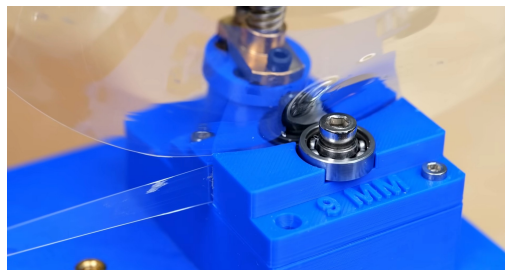


Nota. Sistema de enfriamiento en el proceso de extrusión de polímeros.

## 6.3. Sistemas de corte de botellas

Los mecanismos para transformar botellas PET en tiras continuas pueden clasificarse en tres categorías principales. Los mecanismos manuales emplean guías con cuchillas o cojinetes (Figura 9), donde el usuario aplica la tracción de forma directa; son simples, pero dependen de la habilidad del operador. Los mecanismos parcialmente automáticos incorporan sistemas de arrastre o guías móviles que aseguran mayor uniformidad en el corte, reduciendo la intervención humana. Finalmente, los mecanismos automatizados integran motores y mecanismos de alimentación que garantizan precisión en el ancho de las tiras y permiten ajustar parámetros según la aplicación.

**Figura 9.** Cortador de botellas [3]



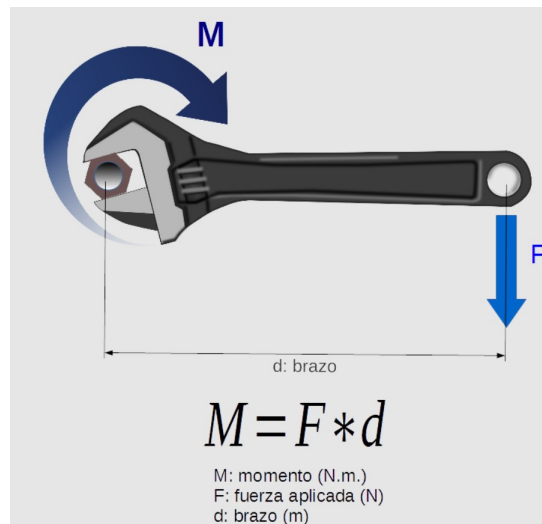
Nota. Cortador de botellas que utiliza cojinetes como elemento de corte.

## 6.4. Torque

El torque es la magnitud que mide la capacidad de una fuerza para hacer girar un objeto alrededor de un eje definido, denominado eje de rotación o pivote (Figura 10). La fórmula del torque relaciona la fuerza aplicada y la distancia entre el punto de aplicación de dicha fuerza y el eje de rotación del objeto [11]. De manera análoga a como una fuerza lineal produce una aceleración lineal, el torque genera una aceleración angular, por lo que suele considerarse el equivalente rotacional de la fuerza.

Existen dos tipos principales de torque: estático y dinámico. El estático es aquel que, aunque aplicado, no produce aceleración angular; un ejemplo común se observa al intentar empujar una puerta cerrada que permanece inmóvil. En contraste, el torque dinámico sí genera aceleración angular, como ocurre cuando un automóvil de carreras arranca y comienza a incrementar su velocidad.

**Figura 10.** Momento de fuerza [12]



Nota. Objeto sometido a un momento de fuerza.

## 6.5. Regulador de voltaje

Un regulador de voltaje es un dispositivo electrónico cuya función principal es mantener un voltaje de salida constante, aun cuando existan variaciones en el voltaje de entrada o en la corriente demandada por la carga. Entre los tipos más comunes se encuentran los lineales, los de baja caída (LDO) y los conmutados [13].

Este tipo de reguladores integrados utilizan un convertidor DC-DC que permite elevar el voltaje de entrada. Además, incorporan un inductor de potencia que almacena energía y la libera al aumentar el voltaje; un potenciómetro que ajusta el nivel de salida requerido, y capacitores que estabilizan tanto la entrada como la salida, reduciendo el rizado o variaciones bruscas (Figura 11).

Una de sus aplicaciones comunes es la alimentación de motores de corriente directa, los cuales requieren voltajes estables para garantizar un funcionamiento adecuado. Estos motores no pueden alimentarse directamente de la red eléctrica, ya que esta proporciona corriente alterna (AC). En este contexto, los reguladores con entrada USB-C permiten aprovechar cargadores o adaptadores conectados a la red, transformando la corriente alterna en una salida de corriente directa regulada y adecuada para distintos dispositivos, entre ellos motores DC. Esta característica los convierte en una solución práctica y estandarizada para la alimentación de sistemas electrónicos y de control.

**Figura 11.** Regulador MT3608 [14]



Nota. Regulador de voltaje Boost Step-UP MT3608 con entrada USB-C.

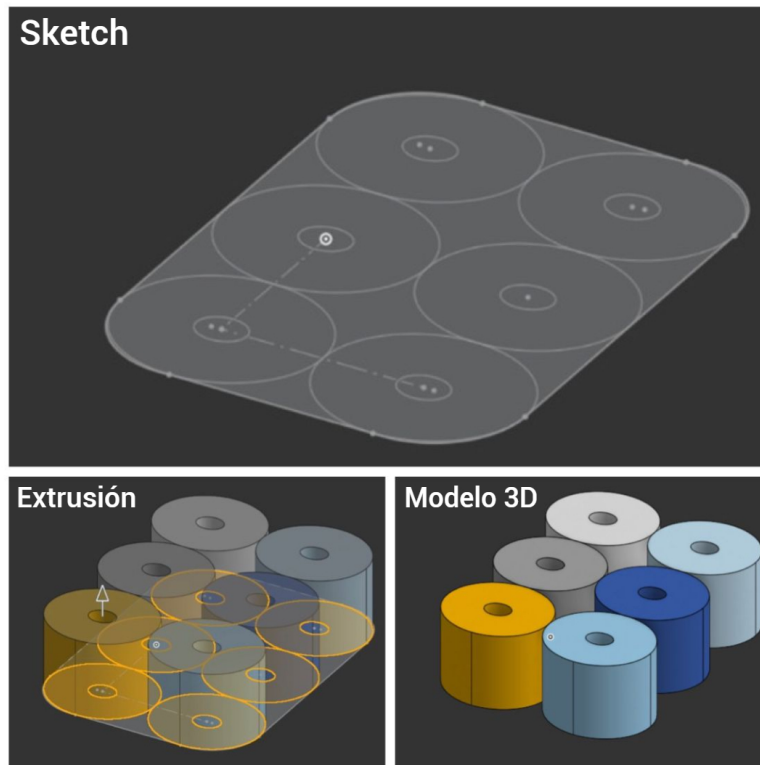
## 6.6. Diseño 3D

El modelado 3D consiste en crear la imagen digital tridimensional de un objeto mediante un software CAD (Computer Aided Design). Gracias a los algoritmos del programa se genera una representación matemática en tres dimensiones basada en vértices o puntos con coordenadas espaciales de un elemento, conectados por líneas llamadas aristas, sean rectas o curvas, que forman superficies de caras o polígonos. El diseño 3D ofrece la posibilidad de elaborar piezas con diferentes grados de complejidad, y actualmente tiene aplicaciones en una amplia variedad de proyectos [15].

### Funciones de modelado 3D

En el modelado 3D existen múltiples funciones que permiten darle diferentes geometrías al objeto que se está diseñando, estas funciones se dividen en dos apartados principalmente los cuales son el *Bosquejo* (funciones de dibujo) y *Modelado 3D* (funciones para darle forma al objeto). En el apartado de *Bosquejo* están todas las funciones para poder crear un dibujo el cual será la base del modelo 3D, se pueden crear círculos, cuadrados, líneas, arcos y muchos otros estilos. En el apartado de *Modelado 3D* se encuentran todas las funciones con las cuales se le puede dar una forma tridimensional al sketch previamente dibujado, entre estas funciones están: Extrusión, revolución, barrido, etc. Cada una de estas funciones permiten darle una geometría distinta al modelo (Figura 12).

**Figura 12.** Proceso del modelado 3D



Nota. Proceso de modelado en el cual se realiza un sketch y se procede a extruirlo creando el modelo 3D del sketch.

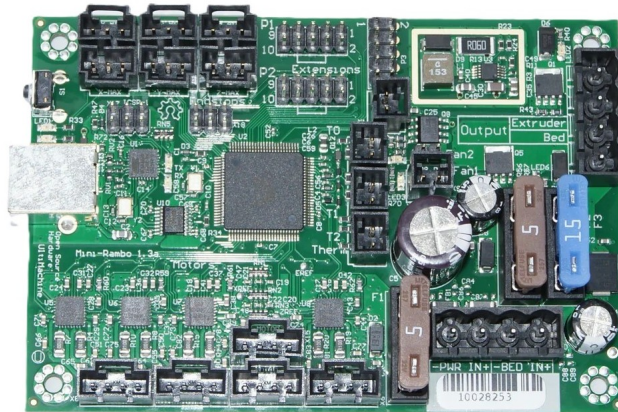
## 6.7. Mini-Rambo

La placa Mini-Rambo v1.3 es un sistema electrónico de control diseñado para impresoras 3D dentro del marco del proyecto RepRap. Se trata de una versión compacta y simplificada de la placa RAMBo (RepRap Arduino-compatible MotherBoard), integrando en un solo circuito los controladores de motores paso a paso, fusibles de protección, salidas para resistencias calefactoras, ventiladores y sensores de temperatura [16].

Entre sus características principales se incluyen: controladores para cinco motores paso a paso, salidas MOSFET de alta potencia para extrusores y cama caliente, así como entradas para finales de carrera y termistores. La placa está equipada con fusibles de protección y bornes de conexión robustos, lo que aumenta su confiabilidad en aplicaciones prolongadas (Figura 13).

Gracias a su compatibilidad con *firmware* de código abierto como Marlin, la Mini-Rambo se integra fácilmente en proyectos de impresión 3D, permitiendo configuraciones flexibles y adaptables a distintos diseños de máquinas. Esto la convierte en una opción ampliamente utilizada, ya que combina versatilidad, bajo costo relativo y una arquitectura probada en diversos prototipos de fabricación aditiva.

**Figura 13.** Placa Mini Rambo 1.3a [16]

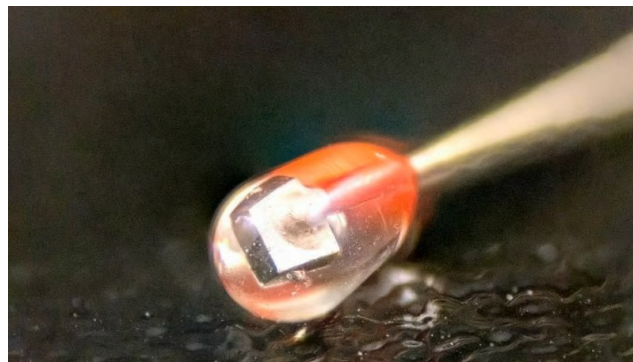


Nota. Vista superior de la placa Mini Rambo 1.3a en la cual se pueden observar las entradas y salidas que posee la placa.

## 6.8. Termistor de un extrusor

El termistor es el sensor más habitual para la medición de temperatura en impresoras 3D (Figura 14). Regular la temperatura tanto de la boquilla como de la cama caliente resulta esencial para asegurar impresiones de calidad. También existen diferentes tecnologías para este propósito —como los termopares o los detectores de temperatura de resistencia (RTD)—, los cuales poseen una buena precisión y estabilidad. Los termistores se dividen en dos categorías: de coeficiente de temperatura negativo (NTC) y de coeficiente de temperatura positivo (PTC). Los modelos usados en impresoras 3D suelen ser NTC, caracterizados porque su resistencia disminuye a medida que aumenta la temperatura. En cambio, los PTC incrementan su resistencia con el calor y suelen aplicarse como fusibles eléctricos de tipo reinicializable [17].

**Figura 14.** Termistor [17]



Nota. Vista microscópica de un termistor.

## 7.1. Descripción de la máquina base

### 7.1.1. Componentes principales actuales

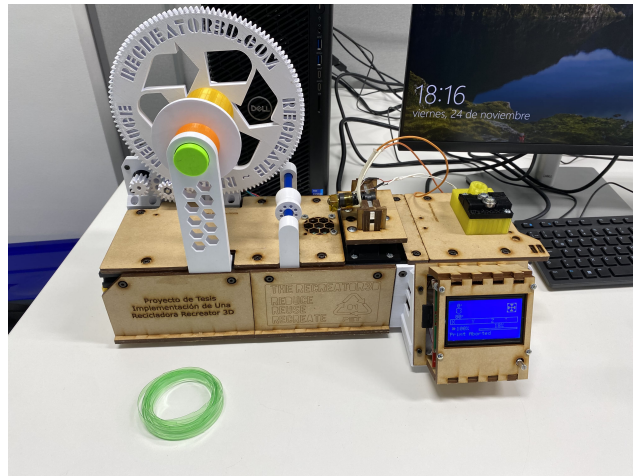
Este proyecto consistió en la remodelación de una máquina recicladora de botellas para la fabricación de filamento 3D. La máquina estaba compuesta por diversos componentes que permitían la regulación y fabricación del filamento para su posterior uso. A continuación, se describe a detalle cada uno de estos componentes.

- **Fuente de poder:** la máquina cuenta con una fuente de poder del tipo AC-DC, necesaria para la alimentación de los distintos módulos electrónicos. Esta conversión es fundamental, ya que todos los componentes de la máquina funcionan con voltajes de corriente continua (generalmente 12V o 24V). Además, la fuente regula y estabiliza el suministro eléctrico, evitando variaciones que podrían dañar los componentes sensibles de la máquina.
- **Placa controladora:** el sistema de control está basado en una placa *Mini-Rambo*, la cual centraliza y coordina las funciones principales de la máquina. Entre sus funciones se incluyen el control de los motores paso a paso que giran la bobina, la gestión de la temperatura en el extrusor mediante la lectura de sensores (termistores), y la comunicación con la interfaz de usuario a través de la pantalla LCD. La placa integra tanto el microcontrolador como los controladores necesarios para el manejo eficiente de los motores y periféricos, convirtiéndose en el “cerebro” del sistema.
- **Pantalla LCD:** el equipo incorpora una pantalla LCD que sirve como interfaz directa con el usuario. A través de esta pantalla es posible configurar y monitorear distintos

parámetros operativos de la máquina, tales como la temperatura deseada en el extrusor, el desplazamiento angular del motor paso a paso, y la activación del sistema de enfriamiento. La LCD facilita la interacción sin necesidad de recurrir a una computadora externa, brindando un control intuitivo y práctico sobre el funcionamiento del sistema.

- **Extrusor:** el extrusor de la máquina está fabricado en plástico industrial resistente y se encuentra montado sobre una placa metálica. Esta placa cumple la función de base rígida, asegurando la estabilidad mecánica y evitando el contacto directo con las piezas estructurales de MDF (fibra de densidad media), que podrían dañarse por el calor generado en el proceso de extrusión. El extrusor es el componente encargado de fundir y moldear el material de manera controlada, siendo clave en la calidad final de las piezas producidas.
- **Cortador de botellas:** el sistema de corte empleado en la máquina es un mecanismo construido con cojinetes 625Z, los cuales permiten guiar y mantener estable el movimiento de la botella durante el proceso de corte. Este cortador transforma botellas plásticas recicladas en tiras continuas de PET, que posteriormente serán alimentadas al extrusor para producir filamento. Gracias a este componente, la máquina integra un sistema de preparación del material para su posterior extrusión.
- **Carcasa:** la estructura externa y algunas partes internas de la máquina están fabricadas de MDF (fibra de densidad media) y PLA (ácido poliláctico) (Figura 15). El MDF se utiliza en las superficies de mayor tamaño, proporcionando rigidez estructural y facilidad de mecanizado. Por su parte, el PLA se emplea en piezas más complejas y detalladas, las cuales son fabricadas mediante impresión 3D.

**Figura 15.** Máquina recicladora de botellas [6]



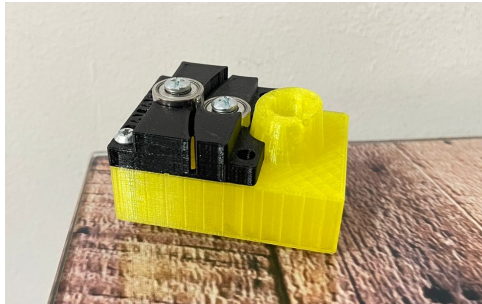
Nota. Estado inicial de la máquina recicladora de botellas.

### 7.1.2. Limitaciones detectadas en su funcionamiento actual

La máquina, en su fase inicial, presentaba un diseño y construcción adecuados que le permitían cumplir con las funciones para las que fue creada. No obstante, a partir de distintas pruebas realizadas se identificó que ciertos componentes, aunque operativos, no alcanzaban el nivel de eficiencia esperado. Por esta razón, se consideró necesaria su actualización o rediseño para mejorar el desempeño global del sistema. Los componentes identificados fueron los siguientes:

- **Cortador de botellas:** el sistema de corte inicial de la máquina no lograba realizar de manera eficiente el seccionamiento de las botellas plásticas. Como resultado, el proceso de producción de tiras PET se veía interrumpido y el material obtenido presentaba irregularidades dimensionales que afectan directamente la calidad del filamento posterior. Esta limitación evidenció la necesidad de rediseñar el mecanismo de corte o incorporar elementos adicionales que aseguraran una mayor efectividad en esta etapa inicial del reciclaje (Figura 16).

**Figura 16.** Mecanismo de corte inicial



Nota. Mecanismo de corte utilizado inicialmente en la máquina recicladora.

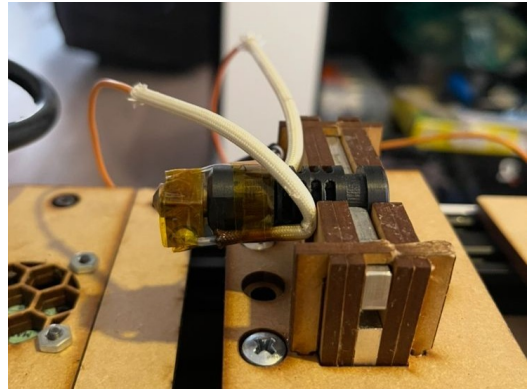
- **Sistema de extrusión:** el extrusor utilizado anteriormente lograba producir filamento, pero no con la calidad requerida, ya que las tiras de PET no llegaban a cerrarse completamente durante el proceso de fusión. Esto provocaba que el material saliese con una sección transversal en forma de “U” (Figura 17), lo que impedía su utilización en impresoras 3D al no garantizar un diámetro uniforme. Además, aunque el extrusor contaba con una base metálica, no era lo suficientemente estable y estaba instalada muy cerca de componentes fabricados en MDF (fibra de densidad media) (Figura 18), lo cual representaba un riesgo potencial de incendio debido a las altas temperaturas alcanzadas durante la extrusión. Estas deficiencias no solo comprometían la seguridad del equipo, sino que también reducían la eficiencia y confiabilidad del sistema de producción de filamento.

**Figura 17.** Material con forma de U



Nota. Material extruido con extrusor inicial.

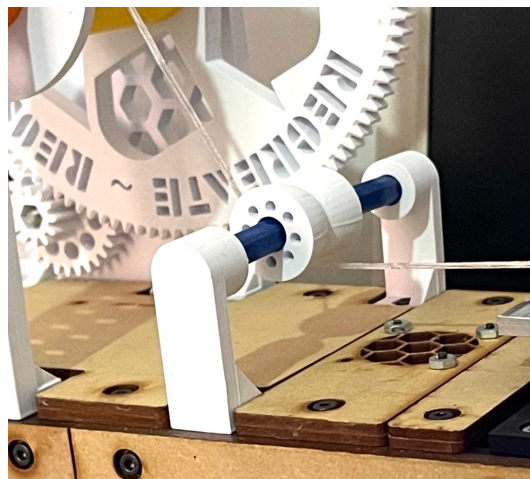
**Figura 18.** Sistema de extrusión inicial



Nota. Sistema de extrusión utilizado inicialmente que presentaba fallas al extruir filamento.

- **Sistema de dirección del filamento:** el filamento producido se va depositando en un carrete cilíndrico que lo enrolla hasta formar una bobina lista para su uso posterior. Anteriormente se empleaba un sistema que guiaba el filamento hacia la bobina con el objetivo de que se enrollara de manera ordenada, similar a los rollos de filamento 3D comerciales disponibles en la industria. Sin embargo, este mecanismo presentaba limitaciones estructurales, ya que el eje, al estar fabricado en PLA, tendía a flexionarse durante el guiado del filamento hacia la bobina (Figura 19). Esta deficiencia generaba altos esfuerzos en la pieza y dificultaba el depósito uniforme del filamento, lo cual podía afectar su posterior uso en impresoras 3D y comprometer la calidad final del producto.

**Figura 19.** Sistema de dirección de filamento



Nota. Estado inicial del sistema de dirección de filamento en el cual se puede observar al eje sometido a flexión.

- **Material de carcasa:** como se mencionó anteriormente, la carcasa de la máquina estaba construida principalmente en MDF (fibra de densidad media). Este material, si bien ofrece una rigidez adecuada y una apariencia estética aceptable, presenta limitaciones importantes en términos de durabilidad. Con el paso del tiempo, el MDF tiende a deteriorarse debido a su baja resistencia mecánica frente al desgaste y a su nula impermeabilidad (Figura 20), lo que lo hace vulnerable a la humedad y a posibles deformaciones. Estas características reducen la vida útil de la estructura y comprometen la seguridad de los componentes internos. Por esta razón, se vuelve necesario considerar materiales alternativos que aporten mayor resistencia, estabilidad y protección a largo plazo.

**Figura 20.** Carcasa inicial de máquina



Nota. Carcasa de máquina inicial fabricada en MDF.

## 7.2. Criterios de remodelación

El rediseño y remodelación de la máquina estuvo fundamentado en una serie de criterios esenciales que buscan garantizar un funcionamiento óptimo, resultados precisos y un uso seguro para los usuarios. Además, cada criterio se definió en función de las limitaciones detectadas en el prototipo original, lo que permitió establecer un marco de referencia claro para orientar las modificaciones tanto mecánicas como electrónicas.

- **Eficiencia:** el objetivo principal en este aspecto fue optimizar el uso de los recursos disponibles durante el proceso de producción de filamento. Actualmente, se observa un desperdicio significativo de botellas plásticas debido a cortes inadecuados de las tiras PET y problemas en la extrusión. La remodelación busca implementar mejoras en el sistema de corte, extrusión y control de temperatura, con el fin de minimizar el material desperdiciado, reducir los tiempos de procesamiento y aumentar la productividad de la máquina.
- **Funcionalidad:** se pretende que la máquina opere de manera más estable y confiable, garantizando la producción continua de filamento con las características adecuadas para su posterior uso en impresión 3D. Esto incluye corregir errores existentes en

hardware y software, optimizar la sincronización de los componentes electrónicos y mejorar la respuesta de los sistemas de control. De esta manera, se logra un desempeño más uniforme, evitando interrupciones y defectos en el producto final.

- **Seguridad:** la seguridad del usuario es un criterio prioritario. Anteriormente, ciertas partes de la máquina estaban expuestas, lo que representaba riesgos de quemaduras y posibles incendios en la carcasa. El rediseño incorporará elementos de protección como cubiertas, barreras térmicas y sistemas de aislamiento eléctrico garantizando un entorno de trabajo más seguro y confiable.
- **Apariencia:** la estética de la máquina también formó parte de los criterios de remodelación. Aunque la máquina poseía un diseño aceptable, se buscó mejorar su apariencia mediante la selección de materiales más duraderos y visualmente atractivos. Esto incluye superficies lisas, acabados resistentes al calor y componentes que transmitan robustez y profesionalismo, mejorando la percepción del usuario y la aceptación del proyecto.

### 7.3. Herramientas utilizadas

En el rediseño de este proyecto se emplearon distintas herramientas tanto de software como de hardware, orientadas al diseño, fabricación y validación de las nuevas partes de la máquina. Dado que la máquina integra componentes fabricados en diferentes materiales, fue necesario recurrir a diversos métodos de manufactura, que incluyen procesos de impresión 3D, corte y ensamble de piezas. El uso de estas herramientas permitió llevar un control más preciso del diseño, optimizar tiempos de fabricación y garantizar la calidad de las modificaciones implementadas.

- **Autodesk Inventor:** es un software de diseño 3D que fue de gran utilidad para el rediseño de piezas obsoletas y la creación de componentes con geometrías complejas. Su capacidad de generar modelos tridimensionales permitió realizar pruebas de encaje entre diferentes piezas y obtener vistas previas realistas antes de la fabricación. Además, facilitó la detección temprana de interferencias y errores de diseño, lo que contribuyó a optimizar tiempo y recursos en la etapa de construcción.
- **UltiMaker Cura:** es un software de laminado 3D que permite exportar los modelos diseñados en Inventor al formato `.gcode`, el cual puede ser interpretado directamente por las impresoras 3D. Su uso fue fundamental para definir parámetros de impresión como velocidad, temperatura y relleno, asegurando que las piezas producidas tengan la resistencia y precisión adecuadas. De esta manera, actúa como un puente esencial entre el diseño digital y la fabricación física.
- **Impresión 3D:** la impresión 3D fue el método de fabricación más utilizado en este proyecto, ya que permitió realizar pruebas rápidas con piezas de geometrías complejas. Este proceso de manufactura aditiva ofrece la ventaja de crear prototipos funcionales en tiempos reducidos, con un nivel aceptable de resistencia mecánica y térmica. Gracias a esta técnica se pudieron fabricar componentes que soportan condiciones de operación reales, facilitando iteraciones rápidas durante el rediseño.

- **Corte láser:** se utilizó como segundo método de fabricación más relevante, dado que permite elaborar piezas planas y rígidas en 2D con alta precisión. Su implementación resultó esencial en la construcción de la nueva carcasa de la máquina, garantizando bordes limpios y un acabado uniforme. Además, la rapidez de este proceso permitió producir varias piezas de gran tamaño en un corto período de tiempo, optimizando la fase de construcción.
- **Torneado:** método de fabricación que permite dar forma a piezas cilíndricas con medidas muy precisas, lo cual fue fundamental para la creación de ejes y componentes rotacionales de la máquina. También permitió la apertura de agujeros en piezas de tamaño reducido que requieren tolerancias ajustadas y movimientos controlados. Su uso aseguró la alineación adecuada de los sistemas móviles, incrementando la confiabilidad del conjunto mecánico.
- **Fresado:** proceso de corte y desprendimiento de material mediante una herramienta giratoria con múltiples filos, llamada fresa, que permite dar forma a piezas metálicas. En este proyecto, se utilizó para la fabricación de bloques de aluminio que sirven como bases de componentes sometidos a altas temperaturas. El fresado aseguró piezas con superficies planas y resistentes, evitando deformaciones por calor y contribuyendo a la seguridad de la máquina en operación.

## 7.4. Selección de materiales

En el proceso de remodelación de la máquina, se evaluaron diversos materiales con el objetivo de garantizar mayor durabilidad, resistencia mecánica y seguridad en el funcionamiento general del equipo. En este sentido, los materiales escogidos buscaron superar las limitaciones del diseño inicial y responder de forma más eficiente a las condiciones reales de uso a las que estará sometida la máquina recicladora de filamento.

### 7.4.1. Carcasa

En primer lugar, se consideró el reemplazo del MDF por acrílico. El MDF, aunque es un material bastante accesible y sencillo de trabajar con herramientas convencionales, presenta deficiencias importantes que afectan su desempeño a mediano y largo plazo. Entre las principales limitaciones de este material se encuentran su baja resistencia a la humedad y su escasa durabilidad frente al desgaste. Con el paso del tiempo, la exposición a ambientes húmedos o simplemente al contacto con líquidos puede ocasionar que el MDF se hinche, pierda rigidez estructural y se deteriore rápidamente. Esto implica que, aunque resulte económico en la etapa inicial, a largo plazo se convierte en un material poco confiable para una máquina que debe funcionar de manera constante y segura.

El acrílico, en contraste, representa una alternativa más adecuada para la carcasa. Si bien su costo es superior al del MDF, sus propiedades mecánicas y estéticas compensan ampliamente esta diferencia. Se trata de un material impermeable con alta resistencia al desgaste y con una superficie rígida que mantiene su integridad estructural durante largos períodos de uso. Además, ofrece una ventaja estética y funcional importante: su transparencia. Esta

característica permite observar el interior de la máquina sin necesidad de desmontarla, lo que facilita la supervisión de su funcionamiento, el monitoreo de posibles fallas y el mantenimiento preventivo. También aporta un acabado visual más moderno y profesional, lo que mejora la presentación del equipo en entornos académicos, de investigación o incluso de uso industrial. El Cuadro 1 muestra de forma más detallada las principales diferencias entre ambos materiales.

**Cuadro 1.** Comparativa entre MDF y acrílico [18] [19]

<b>Criterio</b>	<b>MDF (fibra de densidad media)</b>	<b>Acrílico</b>
Resistencia mecánica	Moderada, puede fracturarse con impactos	Alta, más rígido y resistente
Resistencia a la humedad	Muy baja, se hincha y deteriora con el agua	Buena, no se ve afectado por la humedad
Durabilidad	Se desgasta con el tiempo y con el uso continuo	Larga vida útil, conserva apariencia
Estética	Acabado opaco y uniforme, pero poco moderno	Transparente, permite visualizar el interior
Facilidad de fabricación	Fácil de cortar y mecanizar	Requiere corte láser o mecanizado especializado
Costo	Bajo	Moderado, más caro que MDF

Nota. Comparación entre características del MDF y el acrílico para la nueva carcasa de la máquina.

#### 7.4.2. Sistema de extrusión y guía de filamento

Por otra parte, se decidió emplear aluminio en componentes que están sometidos a altas temperaturas o a esfuerzos mecánicos considerables. En el diseño original, algunas de estas piezas se fabricaban en materiales plásticos como el PLA, lo cual, aunque funcional en las primeras fases, representa una limitación importante. El PLA, al ser un polímero biodegradable, posee buenas características para prototipado rápido y piezas de geometría compleja, pero su resistencia térmica es limitada, llegando a deformarse cuando se expone de manera continua a temperaturas superiores a los 60 °C. Esto resulta crítico en una máquina que trabaja con extrusión de PET, donde ciertas partes alcanzan temperaturas elevadas durante el proceso.

En cambio, el aluminio aporta rigidez y una excelente conductividad térmica. Esto lo convierte en un material idóneo para soportes, bases o elementos que se encuentran en contacto cercano con el sistema de extrusión. Además, el aluminio no solo mejora la seguridad operativa, al minimizar el riesgo de deformaciones o fallas por temperatura, sino que también prolonga la vida útil de los componentes críticos. En términos mecánicos, ofrece una resistencia adecuada frente a vibraciones y esfuerzos repetitivos, lo cual contribuye a que el sistema funcione con mayor confiabilidad.

### 7.4.3. Piezas complementarias

Por último, se mantuvo el uso del PLA (ácido poliláctico) como material complementario, particularmente en piezas que presentan geometrías complejas y que no requieren soportar grandes cargas o temperaturas extremas. El PLA es uno de los plásticos más utilizados en impresión 3D debido a su facilidad de procesado, su bajo costo y su disponibilidad en el mercado. Aunque no posee la misma resistencia térmica ni mecánica que otros materiales, resulta altamente ventajoso en la fase de prototipado y pruebas iniciales. Gracias a este material fue posible fabricar rápidamente diferentes diseños, realizar ajustes y validar encajes entre piezas antes de proceder a fabricarlas en materiales más robustos como el aluminio o el acrílico. De esta manera, el PLA desempeña un papel fundamental en la metodología de rediseño, al reducir los costos y tiempos asociados a la experimentación y al permitir una mayor flexibilidad durante la fase de iteración de prototipos.

En conjunto, la selección de acrílico, aluminio y PLA establece un balance adecuado entre resistencia estructural, seguridad, facilidad de fabricación y viabilidad económica. Cada uno de estos materiales cumple una función específica dentro de la máquina, y su combinación asegura que el rediseño no solo resuelva las limitaciones detectadas en el diseño original, sino que también optimice el rendimiento y la confiabilidad del sistema.

## 8.1. Máquina cortadora de botellas

### 8.1.1. Pruebas de mecanismos de corte

Para iniciar la implementación del nuevo sistema cortador de botellas, se realizó primero una investigación sobre diferentes mecanismos de corte con el objetivo de fabricar dos versiones y comparar su desempeño en términos de calidad de corte, estabilidad y uniformidad. Como resultado, se seleccionó un modelo que utiliza una cuchilla como elemento cortante desarrollado por Battleduck94 y publicado en Cults3D [20]. También se seleccionó otro mecanismo que utiliza cojinetes como elemento de corte desarrollado por CreatividadYReparacion y publicado en Thingiverse [21]. Ambos mecanismos se reprodujeron fielmente al diseño original con el objetivo de realizar comparaciones de facilidad y precisión en el corte de tiras PET (Figura 21).

**Figura 21.** Mecanismos de corte



Nota. Comparación de mecanismos de corte con cuchilla y cojinetes.

Al realizar las pruebas correspondientes con cada uno de los mecanismos, se observó que el mecanismo basado en cojinetes producía tiras de PET más uniformes, por lo que se optó por utilizarlo como sistema de corte (Figura 22(a)). En este diseño, el elemento de corte proviene de la fricción entre los cojinetes, por lo que fue necesario afilar sus bordes con una pulidora para lograr un corte más suave y preciso (Figura 22(b)).

**Figura 22.** Tiras PET producidas y cojinetes afilados para el sistema de corte



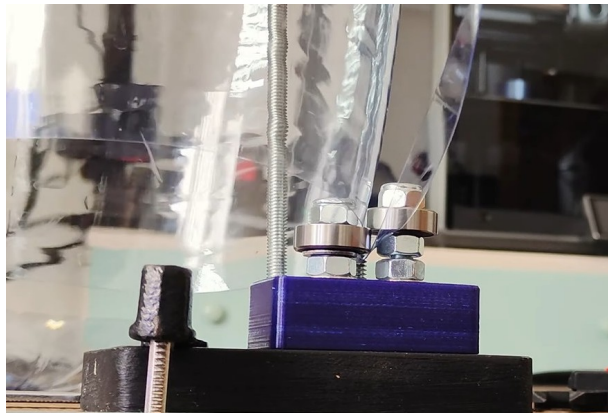
Nota. (a) Rollo de tiras PET producido por mecanismo con cojinetes.

Nota. (b) Comparación entre cojinete afilado y original.

### 8.1.2. Fabricación de estabilizador de botellas

Todos los mecanismos de corte cuentan con un estabilizador para las botellas que se cortan, el cual consiste en una barra fija colocada de forma vertical y paralela al sistema de corte. Esta barra permite mantener las botellas en una posición estable y alineada durante el proceso de corte (Figura 23).

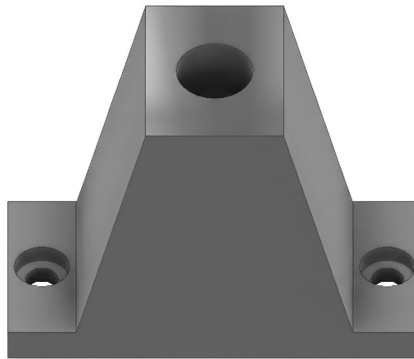
**Figura 23.** Estabilizador para mecanismo de corte [22]



Nota. Mecanismo de corte que utiliza una barra de acero como estabilizador para las botellas.

Se decidió utilizar una varilla de acero inoxidable de 8 mm de diámetro y 35 cm de largo, ya que estas dimensiones proporcionan la rigidez necesaria para el estabilizador y la altura adecuada para sostener botellas de hasta 2.5 litros. Además, este material ofrece buena resistencia al desgaste y a la fricción, y es fácil de maquinar [23]. Ya definido el diámetro de la barra, se procedió a diseñar una base que permitiera sostenerla y fijarla a la estructura donde se ubicaría todo el mecanismo de corte (Figura 24).

**Figura 24.** Base de la barra estabilizadora



Nota. Base diseñada para el eje a utilizar como barra estabilizadora.

Con ambos componentes listos, se procedió a ensamblar la barra de acero en la base diseñada, obteniendo así un estabilizador de botella listo para fijarse a la estructura del mecanismo de corte (Figura 25).

**Figura 25.** Estabilizador fabricado



Nota. Estabilizador para el mecanismo de corte de botellas.

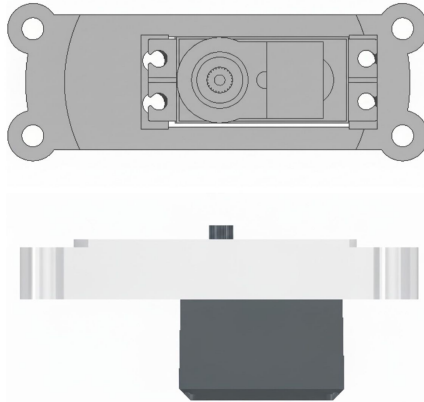
### 8.1.3. Implementación de mecanismo motorizado

La implementación del nuevo mecanismo de corte en la máquina no solo implicó la fabricación del cortador de botellas mencionado anteriormente, sino también la incorporación de un sistema motorizado que realizara el corte de forma automática. Esto se realizó con el fin de acelerar la producción de tiras PET y separar el mecanismo de corte de la máquina principal, ya que el motor de embobinado se veía forzado al realizar simultáneamente el corte de las botellas y el proceso de extrusión.

Para implementar este sistema, se seleccionó un mecanismo que utiliza un motor DC con una caja de doble reducción por engranajes planetarios, desarrollado por Shoaib Khan y publicado en Thingiverse [24]. El diseño original estaba pensado para emplear un motor DC 775; sin embargo, en esta implementación se optó por un servomotor MG996R de 360°, con el objetivo de eliminar una de las etapas de reducción del mecanismo y simplificar su funcionamiento. Debido a este cambio, fue necesario rediseñar la base de acople del motor. Para ello, se extrajo el modelo 3D del servomotor con el fin de obtener las dimensiones necesarias.

Una vez obtenidas las dimensiones necesarias del servomotor, se procedió a modificar la base de acople, asegurando que los orificios de sujeción coincidieran correctamente con los del motor. Además, se verificó que el engranaje de salida del servomotor quedara completamente centrado en la base rediseñada tal como se muestra en la Figura 26.

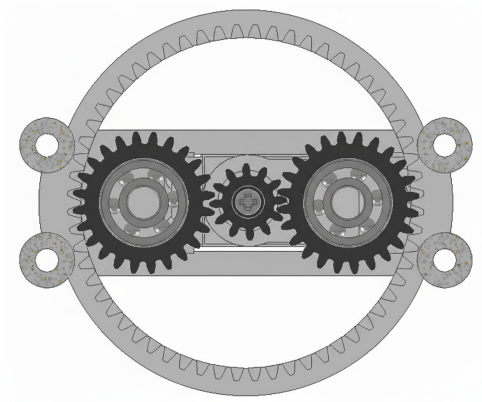
**Figura 26.** Base para motor rediseñada



Nota. Modelo de la base rediseñada para el uso de un servomotor.

Durante la impresión 3D de las piezas del mecanismo, se detectaron desajustes en la etapa de reducción, ya que los engranajes quedaban demasiado ajustados entre sí, lo que reducía el torque en la salida del sistema. Para corregirlo, fue necesario ajustar ligeramente la escala de los engranajes planetarios, evitando así el roce con la base dentada sobre la cual giran (Figura 27).

**Figura 27.** Sistema de engranajes



Nota. Simulación de ajuste entre los engranajes del sistema.

Todas las piezas del modelo se fabricaron mediante impresión 3D, a excepción de una: el eje encargado de transmitir el torque desde el sistema de reducción hacia la salida. Este componente se fabricó en acero inoxidable, ya que las versiones impresas en 3D tendían a pandearse debido al alto torque requerido durante el corte de las botellas (Figura 28).

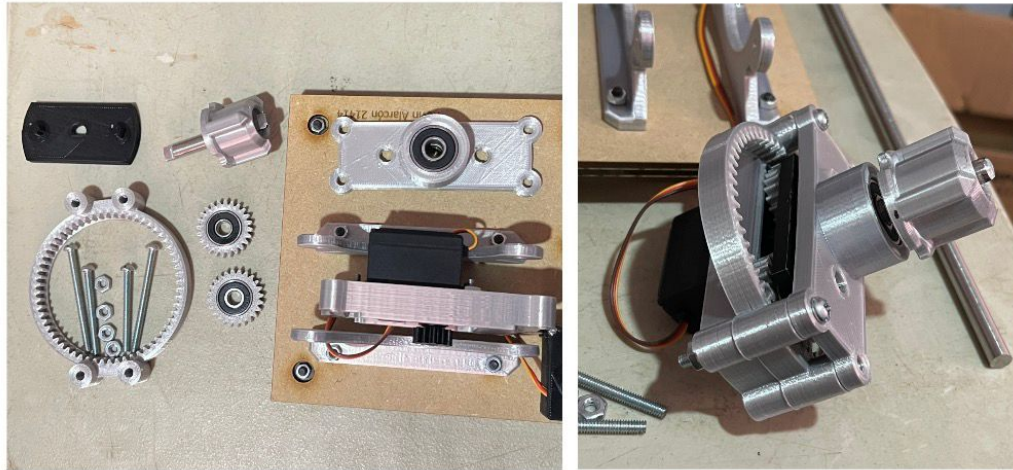
**Figura 28.** Eje de transmisión



Nota. Eje de transmisión de torque fabricado en acero inoxidable.

Una vez listas todas las piezas del mecanismo motorizado, se procedió con su ensamblaje utilizando herramientas como desarmadores y martillos para ajustar las distintas piezas en su lugar (Figura 29).

**Figura 29.** Ensamble del mecanismo motorizado



Nota. Piezas y ensamble del mecanismo motorizado.

#### 8.1.4. Módulo de alimentación para servomotor

Todo motor DC requiere una fuente de alimentación adecuada para su correcto funcionamiento. En este caso, al emplearse un servomotor en el mecanismo motorizado, fue necesario fabricar un módulo de control que permitiera gestionar su encendido, apagado y dirección de giro.

Inicialmente, se consideró utilizar un *tester* de servomotor como placa de control; sin embargo, durante las pruebas se observó que la corriente demandada por el servomotor excedía la capacidad del tester. Por esta razón, se optó por incorporar un regulador de voltaje DC MT3608 (Figura 30), capaz de suministrar hasta 2 A de corriente y voltajes entre 5 V y 28 V DC [14]. Además, se implementó un interruptor de seis pines para controlar tanto el encendido y apagado como la dirección de giro del servomotor.

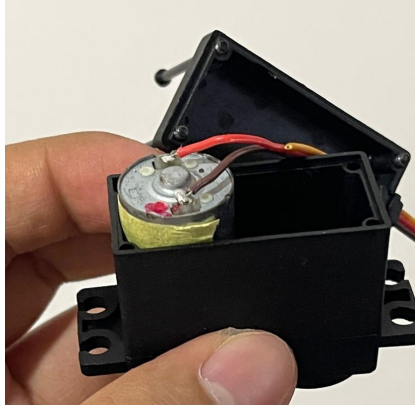
**Figura 30.** Componentes de alimentación



Nota. Conexión de componentes de alimentación para controlar el servomotor.

Un servomotor, a diferencia de un motor DC convencional, requiere además del voltaje de alimentación una señal PWM para su funcionamiento. Sin embargo, en este mecanismo no se necesitaban ángulos específicos, sino únicamente generar un giro continuo, similar al de un motor DC. Por ello, se modificó internamente el servomotor retirando la placa controladora y el cable de señal, y soldando directamente los cables de voltaje y tierra al motor DC interno (Figura 31). Con esta modificación, el servomotor pudo ser alimentado mediante el regulador, funcionando como un motor DC común.

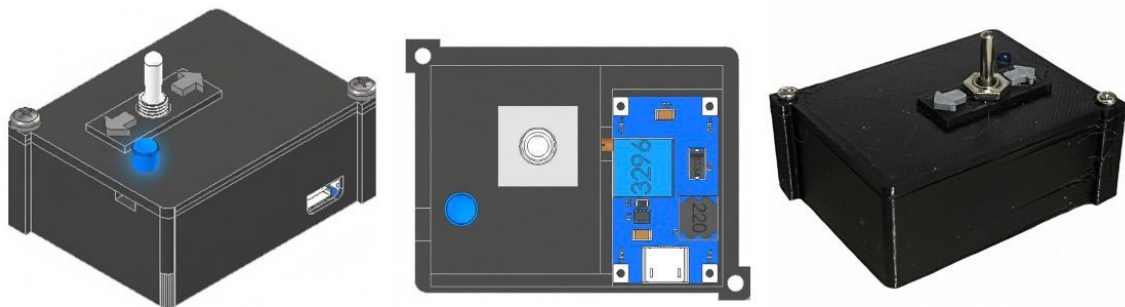
**Figura 31.** Modificación servomotor



Nota. Modificación interna al servomotor retirando placa controladora.

Una vez definido el método de alimentación y modificado el servomotor, se procedió a diseñar una carcasa para el módulo de alimentación, considerando las dimensiones de los componentes para garantizar un adecuado ajuste e integración. Posteriormente, se realizó un ensamble digital de todas las piezas con el fin de verificar los ajustes antes de proceder con la impresión 3D y el montaje físico de la carcasa (Figura 32).

**Figura 32.** Ensamble del módulo

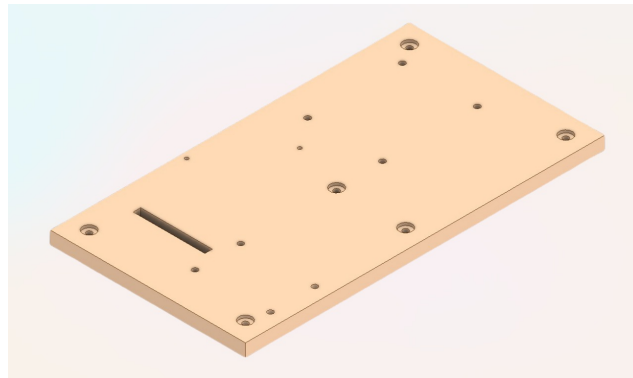


Nota. Ensamble digital y físico de todos los componentes del módulo.

### 8.1.5. Diseño y fabricación de la base del sistema de corte

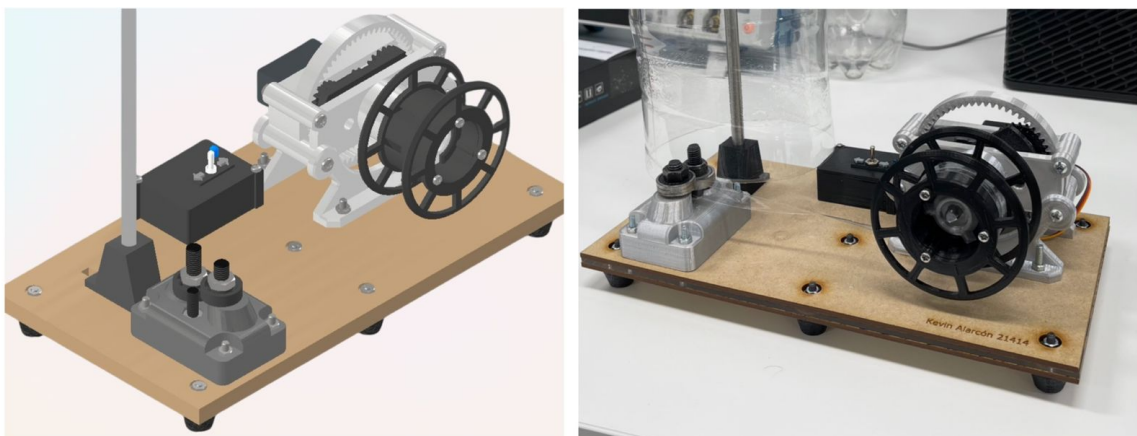
Una vez reunidos los componentes que formarían parte del nuevo sistema de corte de botellas, se procedió con el diseño de una base destinada a alojar y fijar cada uno de los elementos mediante tornillos. En el diseño, se consideraron los diámetros y longitudes de los tornillos necesarios para el montaje, así como el espacio requerido entre los componentes para garantizar un ajuste adecuado (Figura 33). Además, se añadieron patas de hule impresas en 3D, con el propósito de mejorar la estabilidad y el agarre del sistema sobre las superficies de trabajo.

**Figura 33.** Base para el sistema



Tras completar el diseño de la base, se efectuó el ensamblaje digital del mecanismo con el propósito de validar el resultado final antes de su fabricación. Posteriormente, se realizó el corte láser de la base; una vez obtenida, se procedió con el armado completo de la máquina de corte (Figura 34).

**Figura 34.** Ensamble de la máquina de corte



Nota. Ensamble digital y físico de los componentes de la máquina cortadora.

## 8.2. Sistema de extrusión mejorado

Para iniciar la fabricación del nuevo sistema de extrusión, se decidió emplear el hotend del extrusor MK8, utilizado comúnmente en impresoras 3D de la marca Creality, como las series Ender (Ender 3, Ender 5) y CR-10 (CR-10, CR-10 S4/S5) **SFMK8**. Este modelo fue seleccionado por su alta capacidad de temperatura, bajo costo y amplia disponibilidad de repuestos en el mercado (Figura 35).

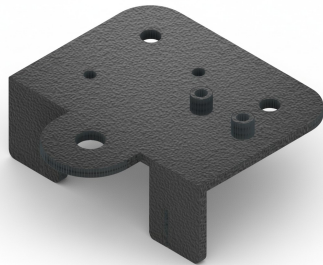
**Figura 35.** Hotend de un extrusor MK8



Nota. Hotend MK8 utilizado en el nuevo sistema de extrusión.

Una vez definido el hotend a utilizar, se procedió al diseño y fabricación de una nueva placa metálica de montaje que funcione como intermediario entre el hotend y la base de PLA existente. Esta base de PLA es la que conecta el sistema de extrusión directamente a la estructura de la máquina; sin embargo, al estar en contacto con altas temperaturas, es necesario incluir un elemento metálico que soporte el calor generado por el hotend y ayude a disiparlo antes de que llegue a la pieza impresa. Para ello, se tomó como referencia la base metálica original del extrusor MK8 (Figura 36), obteniendo su modelo 3D con el fin de medir con precisión las dimensiones y distancias de los orificios necesarios para realizar el ensamble adecuado del sistema.

**Figura 36.** Base original del extrusor MK8



Nota. Modelo 3D de la base original del extrusor MK8.

Una vez definidas las medidas necesarias para la fabricación de la base, se procedió a maquinarse un bloque de aluminio mediante el proceso de fresado. Posteriormente, se determinaron las posiciones de los orificios requeridos sobre la base ya maquinada y, mediante el

proceso de taladrado, se realizaron los agujeros en las ubicaciones correspondientes (Figura 37). De esta manera, se obtuvo una base metálica adecuada para el montaje del sistema de extrusión.

**Figura 37.** Base metálica



Nota. Base metálica maquinada en aluminio para el sistema de extrusión.

Sin embargo, durante las pruebas iniciales se observó que la base de aluminio alcanzaba temperaturas relativamente altas debido a la conducción térmica proveniente del hotend, lo que podría representar un riesgo de quemaduras en caso de contacto accidental. Para solucionar este problema, se decidió fabricar una segunda pieza con las mismas dimensiones, pero utilizando Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular (UHMWPE) (Figura 38), un material con capacidad de soportar temperaturas de hasta 110 °C sin deformarse y con excelentes propiedades de aislamiento térmico [25]. Esta nueva placa se colocó sobre la base metálica original, actuando como una barrera aislante que reduce el riesgo térmico sin comprometer la estabilidad estructural del sistema.

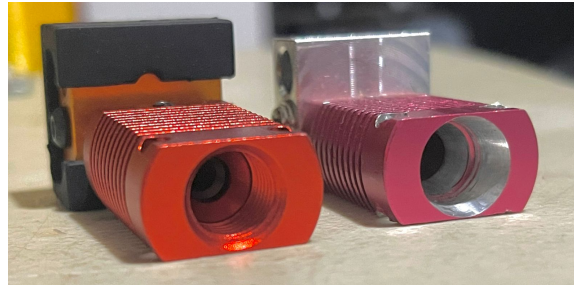
**Figura 38.** Base térmica de polietileno



Nota. Base de polietileno de ultra alto peso molecular para aislar la temperatura de la base del extrusor.

Con la base del extrusor ya fabricada, se continuó con la modificación del hotend para adaptarlo a los requerimientos de la máquina. Para poder extruir el material PET, fue necesario que el hotend proporcionara una transición suave, de modo que las tiras pudieran moldearse sin dificultad. Por esta razón, se taladró la entrada del hotend utilizando una broca cónica. La forma cónica en la entrada permite que el material se moldee de manera más uniforme y progresiva, a diferencia del diseño original, que presentaba una transición más rígida durante el proceso de extrusión (Figura 39).

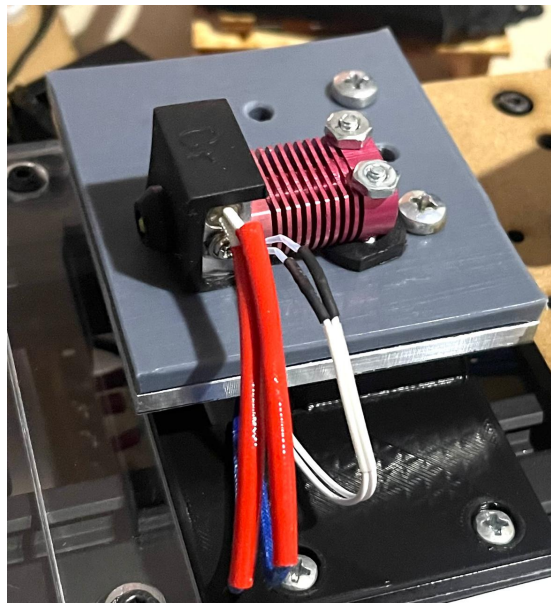
**Figura 39.** Hotend original y modificado



Nota. Comparación entre hotend original y modificado con entrada cónica.

Se procedió a ensamblar el hotend utilizando las piezas base fabricadas previamente, empleando tornillos y tuercas para asegurar todo el sistema. Dado que la máquina ya contaba con un sistema de extrusión original, se reutilizaron el termistor y la resistencia del extrusor, adaptándolos al nuevo hotend MK8 que se implementaría, completando así la instalación del nuevo sistema de extrusión (Figura 40).

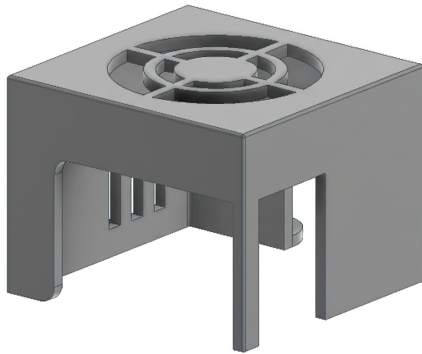
**Figura 40.** Sistema de extrusión renovado



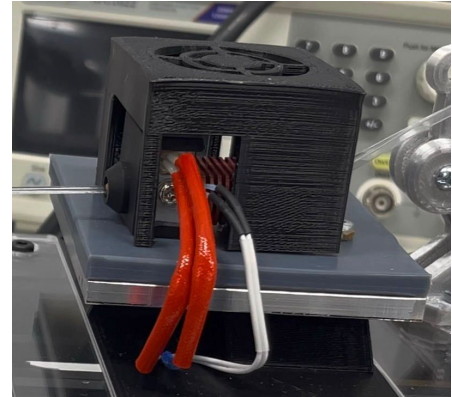
Nota. Sistema de extrusión ensamblado e implementado en la máquina recicladora.

Debido a que el sistema de extrusión alcanzaba temperaturas de hasta 250 °C, existía el riesgo de que el usuario se quemara accidentalmente al manipular la máquina. Por esta razón, se diseñó una cubierta que aislara térmicamente el hotend del entorno. El diseño de la pieza se realizó en 3D y posteriormente se imprimió en PLA para su instalación sobre el sistema de extrusión (Figura 41).

**Figura 41.** Diseño e implementación de cubierta para el sistema de extrusión



Nota. Diseño 3D de la cubierta del hotend.



Nota. Sistema de extrusión con cubierta finalizado.

## 8.3. Rediseño de componentes complementarios

### 8.3.1. Rediseño del sistema de dirección del filamento

El sistema original contaba con un eje fabricado en material PLA mediante impresión 3D, el cual tendía a pandearse durante la guía del filamento debido a la fuerza requerida para su extrusión. Considerando esta limitación, se fabricó un eje sólido de acero inoxidable con un diámetro de 8 mm y una longitud de 13 cm (Figura 42). Esto proporcionó mayor rigidez y estabilidad durante el proceso de extrusión y guiado del filamento hacia el mecanismo de embobinado.

**Figura 42.** Eje de guía



Nota. Eje fabricado en acero inoxidable para el sistema de dirección del filamento.

Al ya tener el eje para el sistema, se procedió a rediseñar los soportes laterales originales. Se modificaron parámetros como el diámetro del agujero para el eje y la altura del soporte, ya que el sistema de extrusión fabricado en la Sección 8.2 era más alto que el original (Figura 43). Esta diferencia en altura podía ocasionar irregularidades durante el proceso de extrusión.

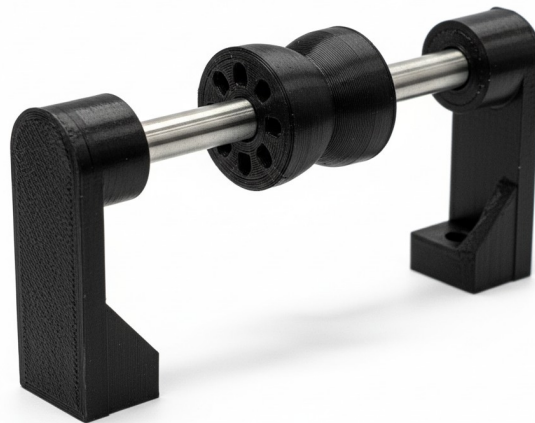
**Figura 43.** Soporte derecho rediseñado



Nota. Modelo CAD del soporte derecho del sistema de dirección.

Una vez finalizados los rediseños, se procedió a fabricar las piezas mediante impresión 3D. Posteriormente, se realizó el ensamble completo del sistema y su acople en la máquina recicladora (Figura 44).

**Figura 44.** Sistema de dirección mejorado

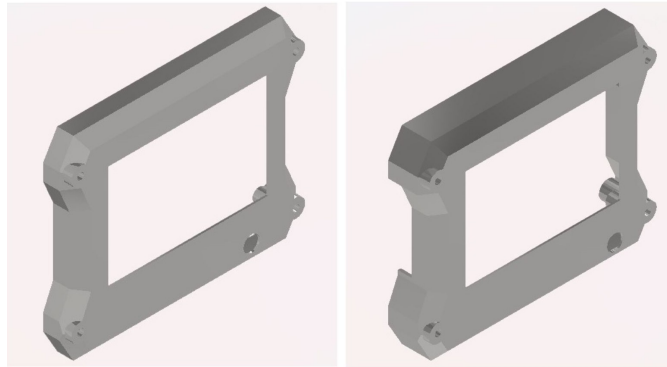


Nota. Nuevo sistema de dirección de filamento finalizado.

### 8.3.2. Rediseño de soporte para pantalla de control

Inicialmente, el soporte de la pantalla de la máquina recicladora presentaba cierta inestabilidad y desgaste. Con el objetivo de mejorar este aspecto, se decidió implementar el soporte original utilizado en la máquina *Recreator 3D*, desarrollado por Joshua Taylor y publicado en Printables [26]. El soporte proporcionado por Taylor se ajustaba adecuadamente a la pantalla de la máquina; sin embargo, durante la impresión y el ensamblaje se identificó un inconveniente: el diseño no contemplaba el uso de una memoria SD en la pantalla. Por esta razón, fue necesario rediseñar el soporte, incorporando un espacio para la ranura de la memoria y ajustando su altura para mejorar el acoplamiento general (Figura 45).

**Figura 45.** Soporte para pantalla



Nota. Comparación entre versión original y rediseñada del soporte para la pantalla de control.

Una vez finalizado el diseño del soporte, se procedió a fabricarlo mediante impresión 3D. Además, se diseñó un adaptador para la memoria SD con el fin de mejorar su accesibilidad, ya que el nuevo soporte limitaba el espacio para retirarla. Finalmente, ambos componentes fueron ensamblados en la máquina recicladora, logrando una integración estable y funcional (Figura 46).

**Figura 46.** Pantalla renovada

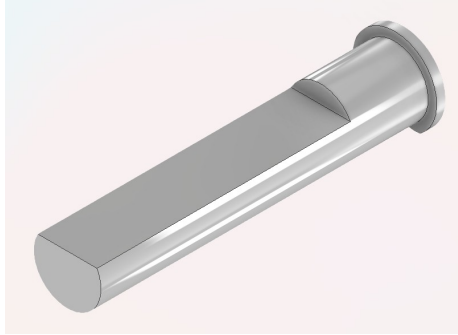


Nota. Resultado final de la implementación de un nuevo soporte para la pantalla de control.

### 8.3.3. Implementación de soporte para carrete de tiras PET

Para aprovechar los rollos de tiras de PET generados por la máquina de corte implementada en la Sección 8.1, fue necesario fabricar un soporte en la máquina recicladora que sirviera como entrada para el sistema de extrusión. Se reutilizaron los modelos 3D del mecanismo motorizado fabricado en la sección antes mencionada; únicamente fue necesario rediseñar el eje destinado a soportar la bobina de tiras de PET (Figura 47).

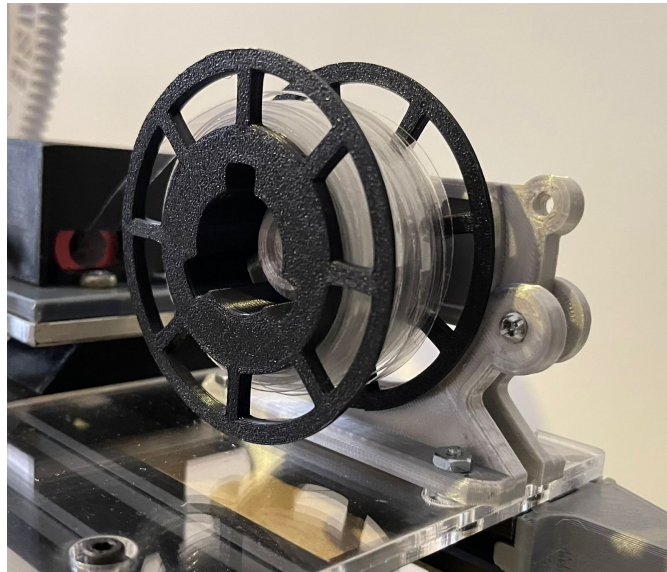
**Figura 47.** Rediseño del eje para porta carrete



Nota. Modelo 3D del eje rediseñado para el porta carrete de tiras PET.

Una vez finalizado el diseño del eje, se procedió a fabricar las piezas a utilizar mediante impresión 3D. Posteriormente, con todas las piezas impresas, se realizó el ensamble del porta carrete y su implementación en la máquina recicladora (Figura 48).

**Figura 48.** Porta carrete de tiras PET



Nota. Porta carrete de tiras PET terminado e implementado en la máquina recicladora.

## 8.4. Carcasa de acrílico

### 8.4.1. Recopilación y clasificación de piezas iniciales

La máquina en su versión inicial contaba con una carcasa de MDF, la cual, como se analizó en el Capítulo 7, presentaba limitaciones en cuanto a durabilidad y resistencia. Con base en dicho análisis, se seleccionó el acrílico como material sustituto por su mejor desempeño estructural y estético.

El proceso de rediseño inició con la extracción de los modelos 3D de la carcasa original a partir del proyecto de tesis de Renato Mendizábal [1]. Todas las piezas fueron clasificadas según su posición dentro de la carcasa, se dividieron en cuatro grupos los cuales fueron piezas frontales, posteriores, superiores e inferiores. Posteriormente, se adaptaron las dimensiones y geometrías para que fueran compatibles con el nuevo material y con los métodos de fabricación seleccionados, en este caso corte láser.

### 8.4.2. Proceso de rediseño CAD de la carcasa

La gran mayoría de las piezas originales presentaban un buen diseño y pudieron reutilizarse en la implementación de la nueva carcasa. Sin embargo, fue necesario realizar ajustes puntuales para incorporar funciones adicionales y mejorar la seguridad del equipo. Entre ellas, se requirió rediseñar una pieza específica para la salida del cable de la fuente hacia el exterior. Este cambio fue indispensable, ya que se buscaba integrar un interruptor de apagado/encendido en la máquina. En el modelo original, la máquina se encendía automáticamente al conectarse al tomacorriente, lo cual representaba una limitación tanto a nivel práctico como de seguridad.

El primer paso consistió en identificar dentro del conjunto CAD la pieza que debía modificarse, esta pieza estaba ubicada en la parte posterior izquierda por lo que se extrajo del grupo de piezas posteriores de la carcasa, para luego abrirla en el software Autodesk Inventor (Figura 49). Esto permitió trabajar directamente sobre el diseño existente y realizar los ajustes necesarios en su geometría, asegurando la compatibilidad con el resto de componentes de la carcasa.

**Figura 49.** Pieza a modificar para interruptor



Nota. Pieza posterior izquierda que se requería modificar para la implementación del interruptor.

Ya identificada la pieza se procedió a medir el diámetro del interruptor y del cable de alimentación (Figura 50), esto para diseñar los agujeros en la pieza con las tolerancias correctas para que encajaran correctamente al momento del ensamblaje.

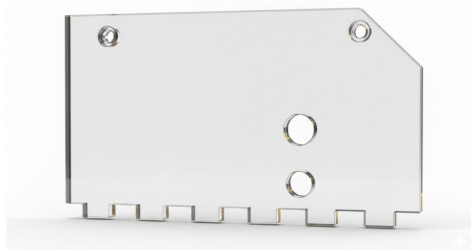
**Figura 50.** Medición de diámetros



Nota. Medidas de base interruptor y cable de alimentación.

Después de tener las medidas necesarias se procedió a dibujar el boceto de los agujeros y se extruyeron dándole el nuevo diseño a la pieza (Figura 51).

**Figura 51.** Pieza para el interruptor



Nota. Resultado final de la pieza para implementar el interruptor.

Con la pieza ya finalizada en el entorno CAD, se procedió a organizar todos los modelos en planos de fabricación, con el fin de prepararlos para su posterior producción mediante corte láser. Este proceso será descrito con mayor detalle en la sección Corte láser de las piezas, donde se explica paso a paso la transición del diseño digital a la materialización física de las piezas.

### 8.4.3. Corte láser de las piezas

Las piezas destinadas al corte por láser fueron diseñadas tomando en cuenta las regulaciones establecidas por la Universidad del Valle de Guatemala para el uso de las cortadoras láser, las cuales permiten trabajar con láminas de acrílico con un grosor comprendido entre 3 mm y 6 mm. Por este motivo, se optó por utilizar acrílico de 3 mm de grosor, el cual ofrece un buen equilibrio entre resistencia estructural y facilidad de corte.

Se preparó la plancha de acrílico para el proceso de corte. Un aspecto importante a considerar durante esta etapa es que las láminas de acrílico cuentan con una película protectora adhesiva en ambas caras. Para realizar el corte con láser, es necesario retirar una de estas películas, dejando la otra intacta. Además, se debe verificar que la película restante no presente rupturas o daños, ya que cualquier irregularidad puede generar imperfecciones en los bordes o superficies de las piezas resultantes. Finalmente, se exportó el plano de todas las piezas en formato PDF, ya que es el tipo de archivo compatible con la cortadora láser PLS 4.75 disponible en el laboratorio D-Hive, y se procedió a realizar el corte completo de las piezas diseñadas.

#### 8.4.4. Ensamblaje de la carcasa en acrílico

Debido a que la máquina original utilizaba láminas de MDF con un espesor de 6 mm y no se contaba con material de ese grosor, se optó por cortar cada pieza dos veces a partir de láminas de 3 mm, de forma que al unirlos se alcanzara el espesor requerido.

Para la unión de cada par de piezas, se empleó adhesivo cianoacrilato (Super Glue), seleccionado por su rápida fijación y alta resistencia en uniones de acrílico. Durante este proceso fue necesario aplicar el adhesivo con extrema precaución, aplicando únicamente una gota en cada una de las esquinas de la pieza, ya que un exceso puede generar manchas superficiales y afectar el acabado estético del conjunto, tal como se observa en la Figura 52.

**Figura 52.** Piezas manchadas



Nota. Piezas manchadas por aplicación incorrecta de cianoacrilato.

Una vez que los pares de piezas estuvieron adheridos, se procedió con el ensamblaje de los componentes laterales junto con las piezas inferiores, ya que en conjunto conforman un único módulo estructural (Figura 53). Este módulo funciona como un segmento fundamental de la carcasa total de la máquina, sobre el cual se montarán los demás componentes del sistema.

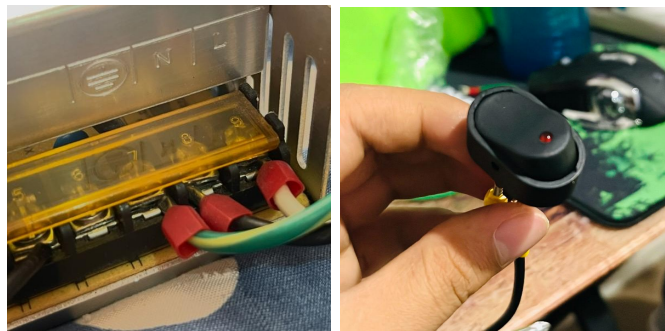
**Figura 53.** Bloque de piezas



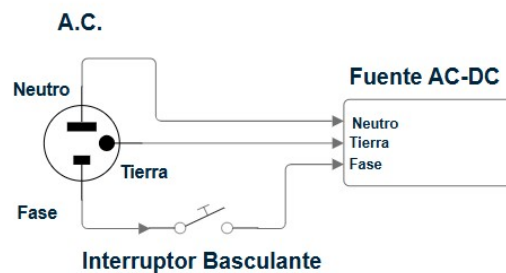
Nota. Bloque que une dos piezas laterales con una inferior.

Antes de iniciar con el ensamblaje de las nuevas piezas en la máquina, se implementó la conexión del interruptor mencionado anteriormente. Para ello, se realizaron las conexiones de la fuente de alimentación de corriente continua DC (Figura 54(a)) y el interruptor (Figura 54(b)) tal como se muestra en el diagrama de conexiones de la Figura 54(c).

**Figura 54.** Conexiones para implementación del interruptor



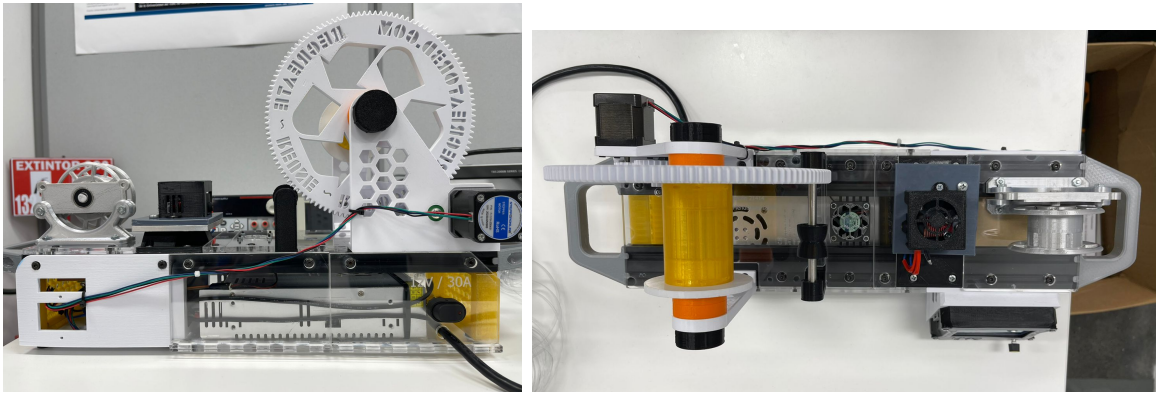
Nota. (a) Cables de tierra, Nota. (b) Interruptor a neutro y fase de fuente DC. implementar en la máquina.



Nota. (c) Diagrama de conexiones para implementación del interruptor.

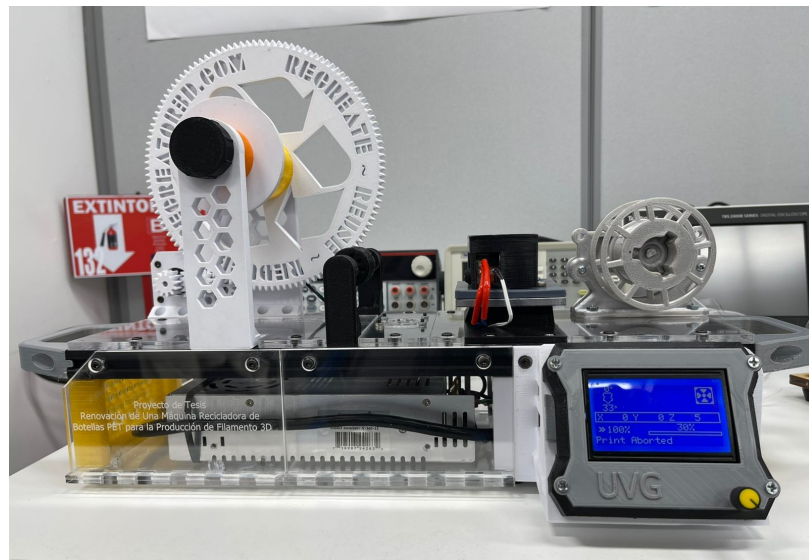
Con la conexión del interruptor correctamente implementada, se procedió al ensamblaje final de las nuevas piezas de acrílico en la máquina. En esta etapa se instalaron los paneles rediseñados y se integró el interruptor en la estructura, asegurando tanto la protección de los componentes internos como un encendido y apagado más seguro y controlado. A continuación, se presentan imágenes del resultado final de la máquina con las nuevas piezas ensambladas (Figura 55).

**Figura 55.** Ensamble final de la carcasa con piezas de acrílico.



Nota. Vista posterior de la máquina.

Nota. Vista superior de la máquina.



Nota. Vista frontal de la máquina.

Finalmente, con todas las piezas ensambladas y el interruptor correctamente conectado, la máquina quedó completamente rediseñada con su nueva carcasa de acrílico, cumpliendo con los objetivos planteados y mejorando su seguridad y estética.

## 8.5. Determinación del perfil óptimo para impresión 3D

El filamento producido por la máquina recicladora está fabricado a partir de PET, un material altamente higroscópico, es decir, que absorbe humedad con facilidad. Además, debido a que se obtiene a partir de tiras PET, durante la extrusión estas tienden a cerrarse, generando un filamento con una sección transversal hueca. Ambas condiciones pueden ocasionar impresiones 3D inconsistentes y de baja calidad.

Por ello, fue necesario realizar diversas pruebas de impresión utilizando un modelo 3D llamado *Benchy*, diseñado específicamente para evaluar y calibrar impresoras 3D. En cada impresión se fueron ajustando los parámetros del software de laminado 3D (Figura 56) con el objetivo de determinar una configuración óptima que permitiera obtener impresiones con buen acabado y mayor consistencia.

**Figura 56.** Parámetros de impresión

Prueba 1		
Capa	0.2	mm
Relleno	40	%
T. Impresión	255	°C
T. Cama	80	°C
Velocidad	40	mm/s
D. Retracción	1.6	mm
V. Retracción	25	mm/s

Prueba 2		
Capa	0.2	mm
Relleno	40	%
T. Impresión	260	°C
T. Cama	80	°C
Velocidad	40	mm/s
D. Retracción	1.6	mm
V. Retracción	25	mm/s

Prueba 3		
Capa	0.2	mm
Relleno	40	%
T. Impresión	260	°C
T. Cama	80	°C
Velocidad	40	mm/s
D. Retracción	1.8	mm
V. Retracción	30	mm/s

Prueba 4		
Capa	0.2	mm
Relleno	40	%
T. Impresión	255	°C
T. Cama	80	°C
Velocidad	40	mm/s
D. Retracción	1.8	mm
V. Retracción	30	mm/s

Prueba 5		
Capa	0.2	mm
Relleno	40	%
T. Impresión	260	°C
T. Cama	80	°C
Velocidad	40	mm/s
D. Retracción	2	mm
V. Retracción	35	mm/s

Prueba 6		
Capa	0.2	mm
Relleno	40	%
T. Impresión	260	°C
T. Cama	80	°C
Velocidad	40	mm/s
D. Retracción	2.5	mm
V. Retracción	35	mm/s

Nota. Parámetros del software de laminado utilizados en las pruebas de impresión 3D.

Al realizar las diferentes pruebas de impresión, se determinó la configuración más adecuada basándose en el acabado y la calidad de los resultados obtenidos. Se seleccionó la configuración número 6, ya que fue la que mostró el mejor desempeño durante las pruebas. Finalmente, se fabricó una base comparativa para mostrar cada una de las impresiones realizadas junto con sus respectivos parámetros de impresión (Figura 57).

Figura 57. Comparación de impresiones realizadas



Nota. Base comparativa de las diferentes impresiones realizadas con sus respectivos parámetros de impresión.

- Se diseñó y fabricó un sistema automático de corte de botellas que entrega tiras de PET con un ancho uniforme de 8 mm.
- Con el sistema de extrusión mejorado, se logró producir filamento con un diámetro constante de 1.7 mm.
- Se determinó una configuración óptima del software de laminado 3D, logrando impresiones de buena calidad utilizando el filamento fabricado.

## CAPÍTULO 10

---

### Recomendaciones

---

- Fabricar el sistema de reducción por engranajes del cortador automático de botellas en un material más resistente, como aluminio o acero, con el fin de mejorar su durabilidad, aumentar la vida útil del mecanismo y garantizar un funcionamiento más eficiente durante ciclos prolongados de trabajo.
- Incorporar diferentes programas que modifiquen el desplazamiento angular del motor de embobinado con base en el tamaño de la botella para que opere hasta que el material se agote por completo, garantizando así un proceso continuo y eficiente.
- Diseñar e implementar un sistema de empalme que permita unir el filamento fabricado en diferentes ciclos de producción, con el objetivo de conformar bobinas continuas de aproximadamente 1 kg. Esto permitirá un mejor aprovechamiento del material, además de que facilitará el almacenamiento y su utilización en impresoras 3D comerciales.
- Automatizar la máquina cortadora de botellas mediante la implementación de un sistema que estabilice el envase y evite que las irregularidades en el corte inicial afecten la uniformidad del ancho de las tiras PET.

- 
- [1] R. Mendizábal, “Implementación de una Recicladora Recreator 3D”, Tesis de licenciatura, Universidad del Valle de Guatemala, Guatemala, 2023.
  - [2] J. Taylor, “The Recreator 3D: Crea filamento 3D de PET1 reciclado”, 2021, [Online]. <https://hackaday.io/project/185867/instructions>.
  - [3] CNC Kitchen, “Reciclaje de botellas PET: residuos convertidos en filamentos para impresión 3D”, 2024, [Online]. [https://www.youtube.com/watch?v=1yIe1Pp\\_Nrg](https://www.youtube.com/watch?v=1yIe1Pp_Nrg).
  - [4] 3D Market, “Recicla tus Impresiones 3D en 3D Market”, s.f. [Online]. <https://www.3dmarket.mx/recicla-reusa-y-reimprime-con-3d-market/>.
  - [5] R. Cheng, “Una innovación mecánica impulsada por el diseño”, 2023, [Online]. <https://www.reiten.design/polyformer/process>.
  - [6] R. Cheng, “Polyformer”, 2023, [Online]. <https://www.printables.com/model/296063-polyformer>.
  - [7] P. Barrera, “¿Qué debes saber sobre los plásticos reciclables y biodegradables?” 2024, [Online]. <https://noticias.uvg.edu.gt/que-debes-saber-sobre-los-plasticos-reciclables-y-biodegradables/>.
  - [8] M. Sánchez, “Extrusor de polímeros, ¿qué es y cómo funciona?” 2020, [Online]. <https://www.anahuac.mx/mexico/noticias/Extrusor-de-polimeros-que-es-y-como-funciona>.
  - [9] J. Li, “¿Qué papel desempeña el enfriamiento en la extrusión de plásticos?” 2025, [Online]. <https://uplastech.com/es/papel-de-la-refrigeracion-en-la-extrusion-de-plasticos/>.
  - [10] Seguas, “Refrigeración en el proceso de extrusión de plástico”, s.f. [Online]. <https://www.seguas.com/refrigeracion-en-el-proceso-de-extrusion-de-plastico/>.
  - [11] El equipo de Albert, “¿Qué es el torque?: Repaso de AP Physics 1”, 2025, [Online]. <https://www.albert.io/blog/what-is-torque-ap-physics-1-review/>.
  - [12] A. Anand, “¿Qué es el torque?” s.f. [Online]. <https://byjus.com/physics/torque/>.

- [13] Torex, “¿Qué es un regulador de voltaje?” 2023, [Online]. [https://product.torexsemi.com/en/technical-support/techinfo/doc\\_2049](https://product.torexsemi.com/en/technical-support/techinfo/doc_2049).
- [14] OXDEA, “Módulo Regulador de Voltaje Boost Step-UP 2A”, s.f. [Online]. <https://oxdea.gt/product/modulo-regulador-de-voltaje-boost-step-up-2a-con-entrada-tipo-cmt3608/>.
- [15] J. Saavedra, “¿Qué es el modelado 3D y cómo funciona?” 2023, [Online]. <https://ebac.mx/blog/que-es-el-modelado-3d>.
- [16] RepRap, “Mini Rambo”, 2018, [Online]. <https://reprap.org/wiki/MiniRambo>.
- [17] K. Douglas, “Termistor de impresora 3D: Todo lo que necesitas saber”, 2021, [Online]. <https://all3dp.com/2/3d-printer-thermistor/>.
- [18] Alejandro, “Características de los tableros o madera MDF”, s.f. [Online]. <https://www.maderasantana.com/caracteristicas-tableros-madera-mdf/>.
- [19] Pochteca Papel, “¿Para qué sirven las placas de acrílico? Descubre usos que no imaginas”, 2024, [Online]. <https://tiendapapel.pochteca.com.mx/blog/para-que-sirven-las-placas-de-acrilico-descubre-usos-que-no-imaginas.html>.
- [20] Battleduck94, “Cortador de botellas PET montable”, 2022, [Online]. <https://cults3d.com/es/usuarios/Battleduck94/modelos-3d>.
- [21] CreatividadYReparacion, “Cortadora de botellas PET con rodamientos 608”, 2023, [Online]. <https://www.thingiverse.com/CreatividadYReparacion/designs>.
- [22] Función 3D, “Cortador de botellas con guía variable, sin cuchillas”, 2024, [Online]. <https://www.youtube.com/watch?v=hEdDhRgakms>.
- [23] E. Aceros, “Acero maxival”, s.f. [Online]. <https://euroacerossa.com/acero-inoxidable-maxival-304-aisi-304/>.
- [24] S. Khan, “Planetary gear for PET recycling”, 2023, [Online]. <https://www.thingiverse.com/shoaibkhan786/designs>.
- [25] Poly Fluoro, “Ultra-high-molecular-weight polyethylene (UHMWPE)”, 2024, [Online]. <https://polyfluorold.com/blog/ultra-high-molecular-weight-polyethylene-uhmwpe-the-polymer-that-just-wont-wear-itself-out/>.
- [26] J. Taylor, “Recreator 3D MK5Kit ender3 pultrusion unit”, 2025, [Online]. <https://www.printables.com/model/179820-recreator-3d-mk5kit-ender3-pultrusion-unit>.

## **12.1. Planos de piezas diseñadas o modificadas**

En esta sección, se incluyen los planos de las piezas rediseñadas o de diseño propio. El primer conjunto corresponde a la máquina cortadora de botellas mientras que el segundo corresponde a la máquina recicladora.

### 12.1.1. Planos realizados para la máquina cortadora de botellas

Figura 58. Ensamblaje completo de la máquina

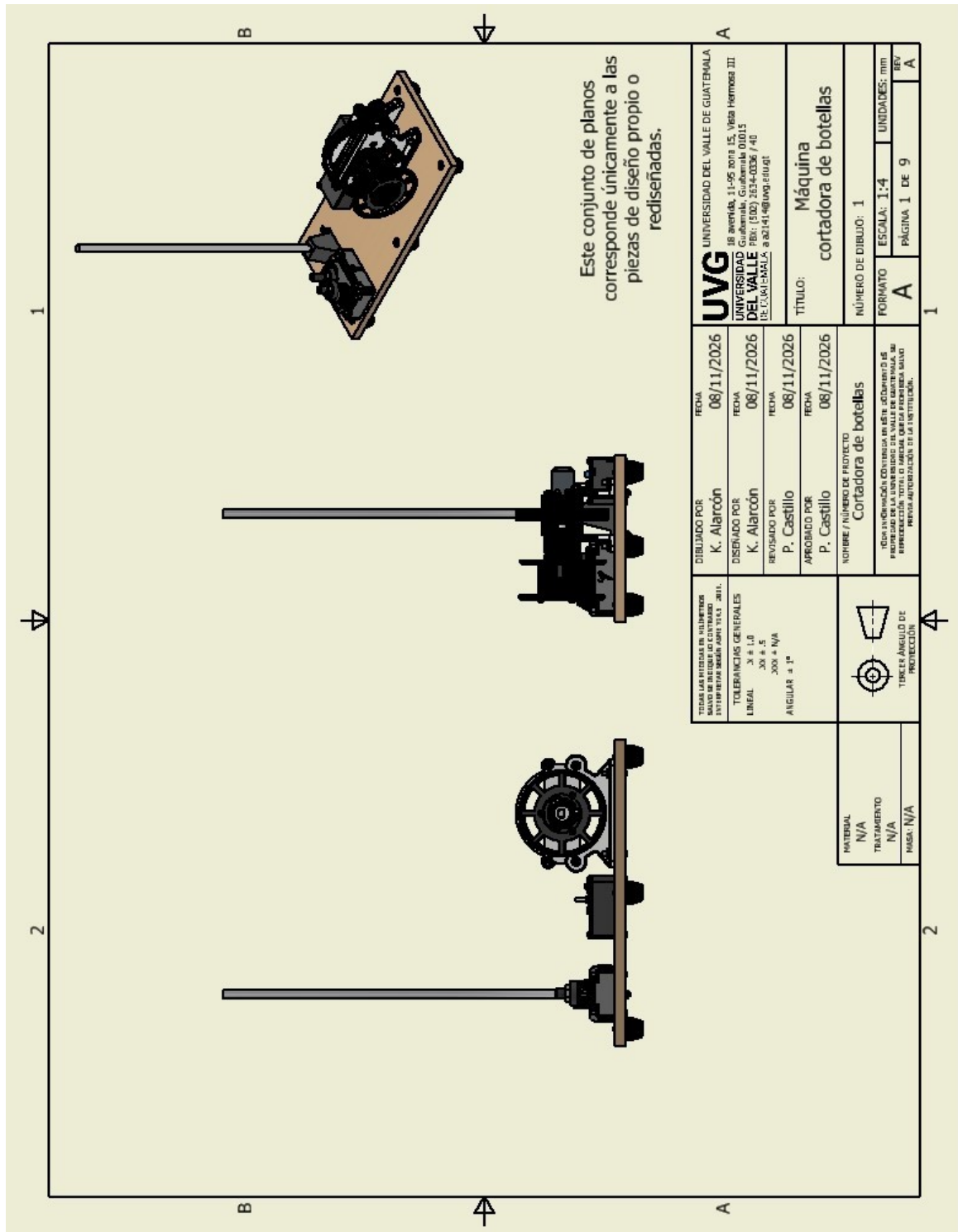


Figura 59. Base rediseñada para servomotor

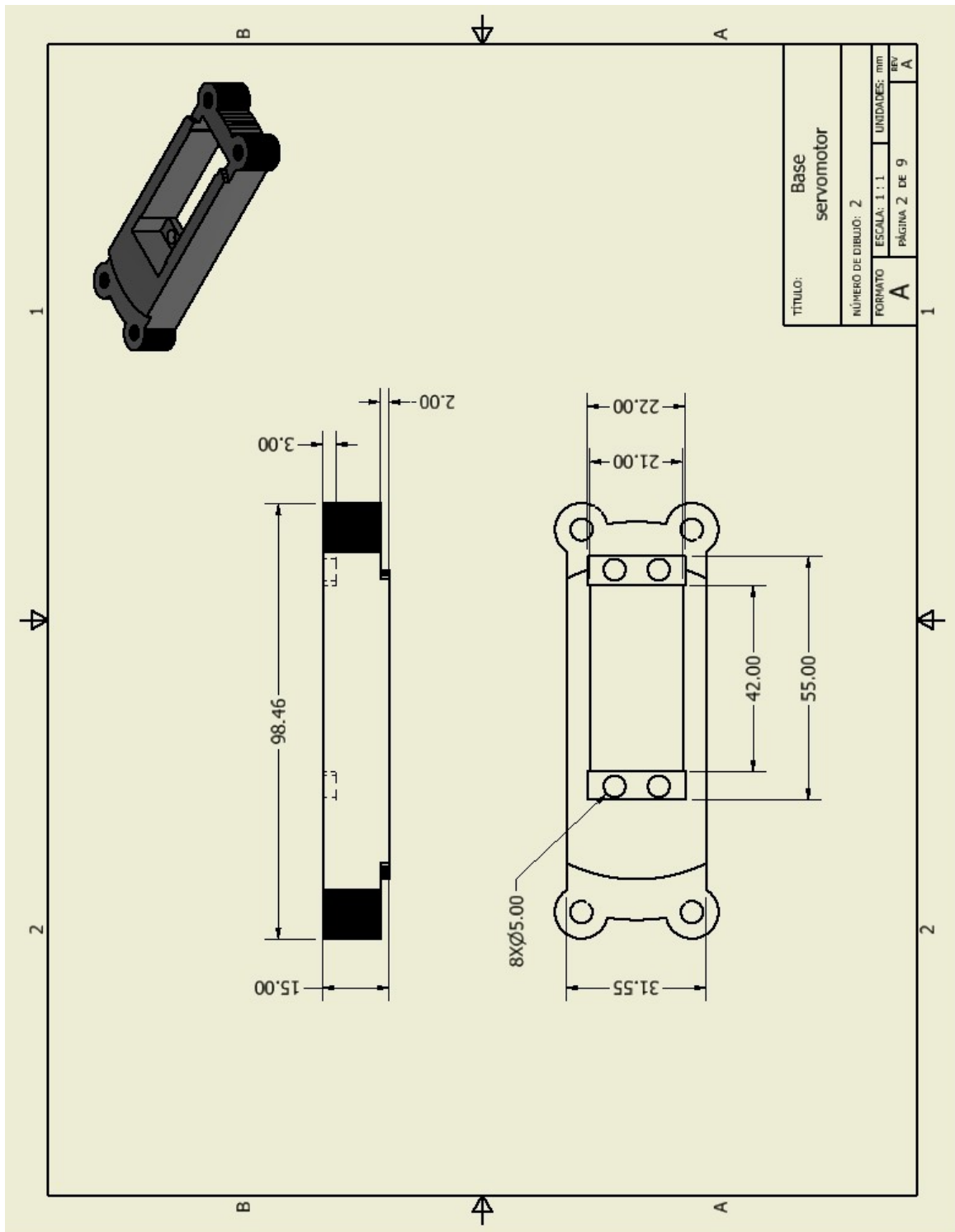


Figura 60. Base de engranajes planetarios

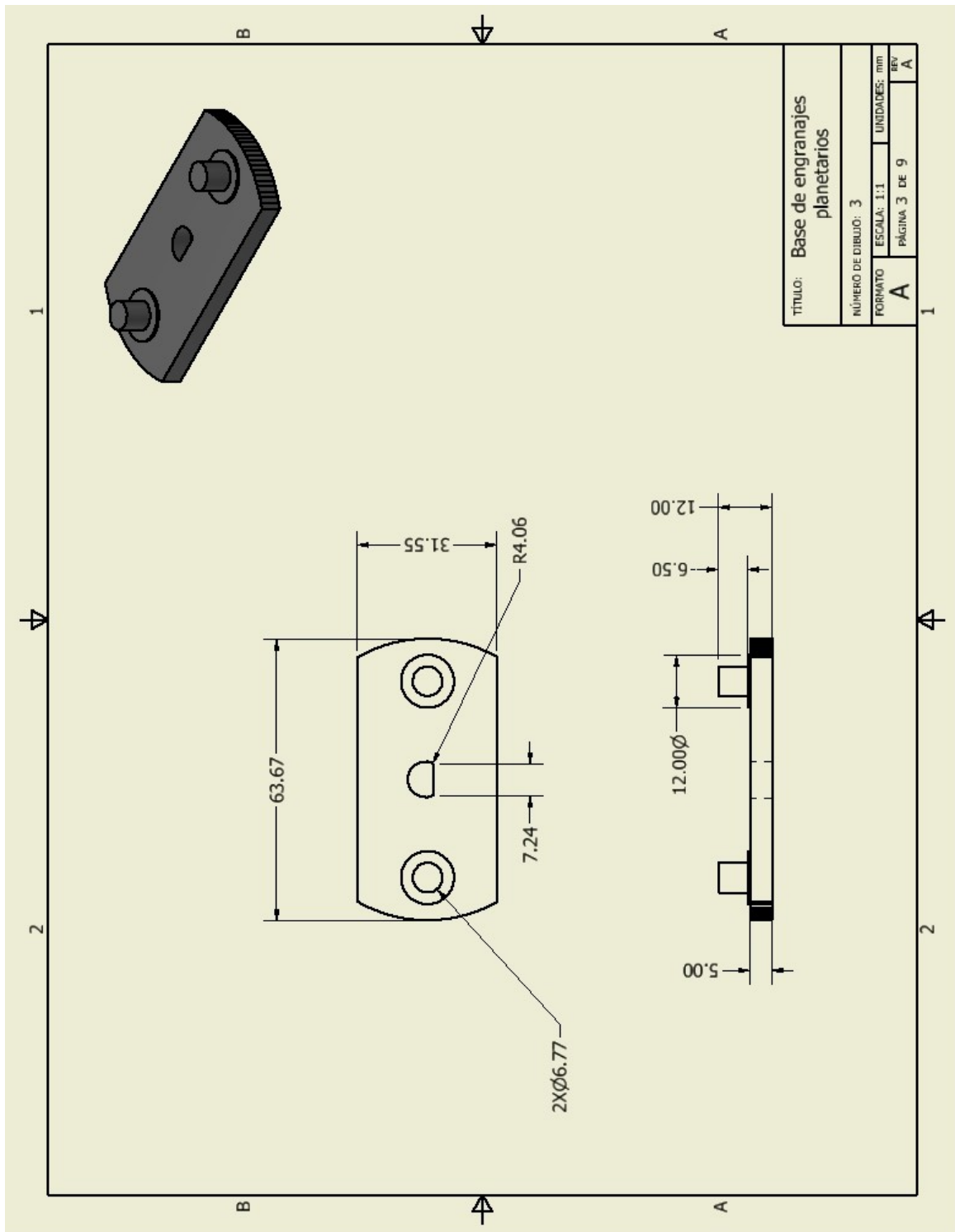


Figura 61. Eje de transmisión del mecanismo motorizado

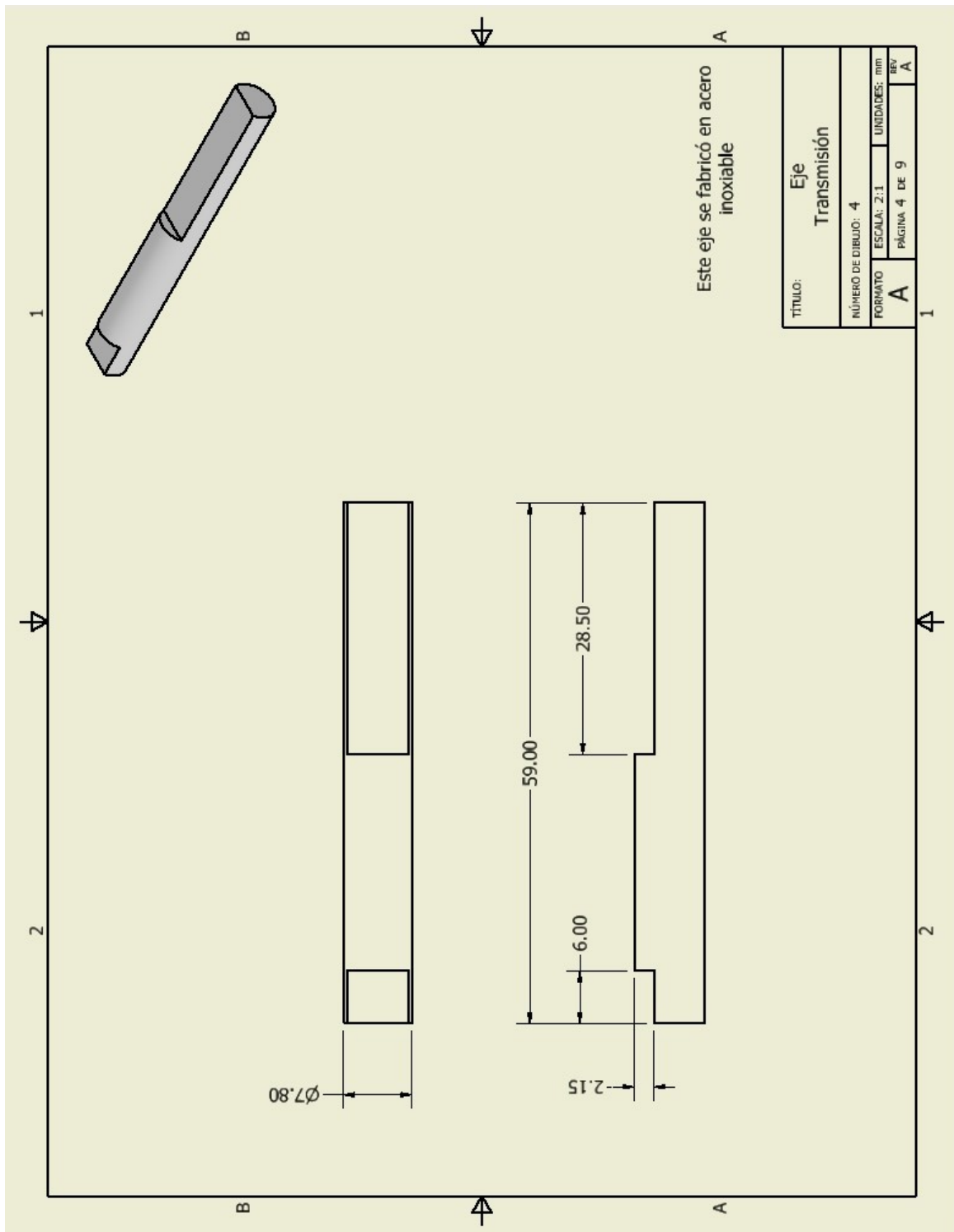


Figura 62. Carcasa inferior del módulo de control para servomotor

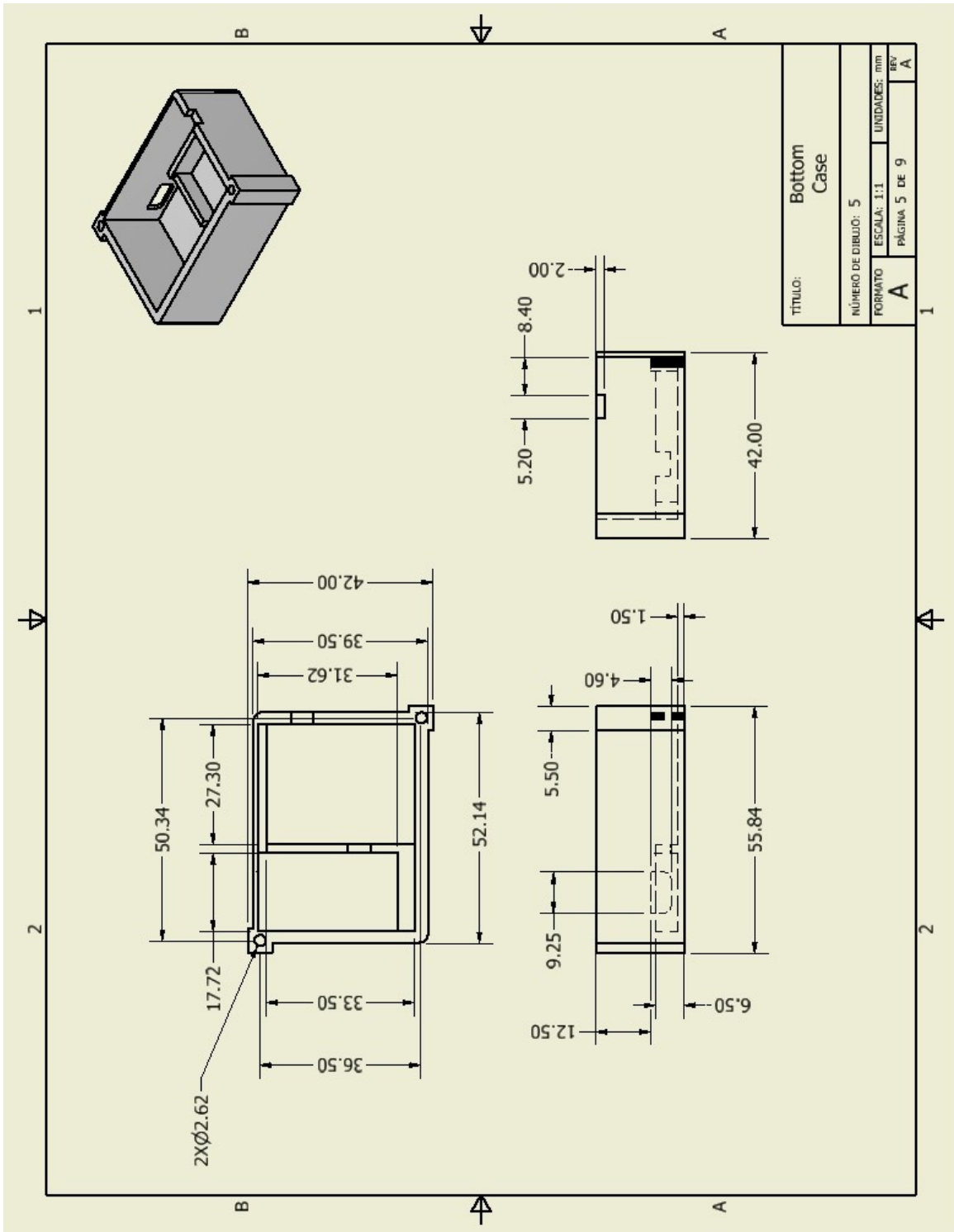


Figura 63. Carcasa superior del módulo de control para servomotor

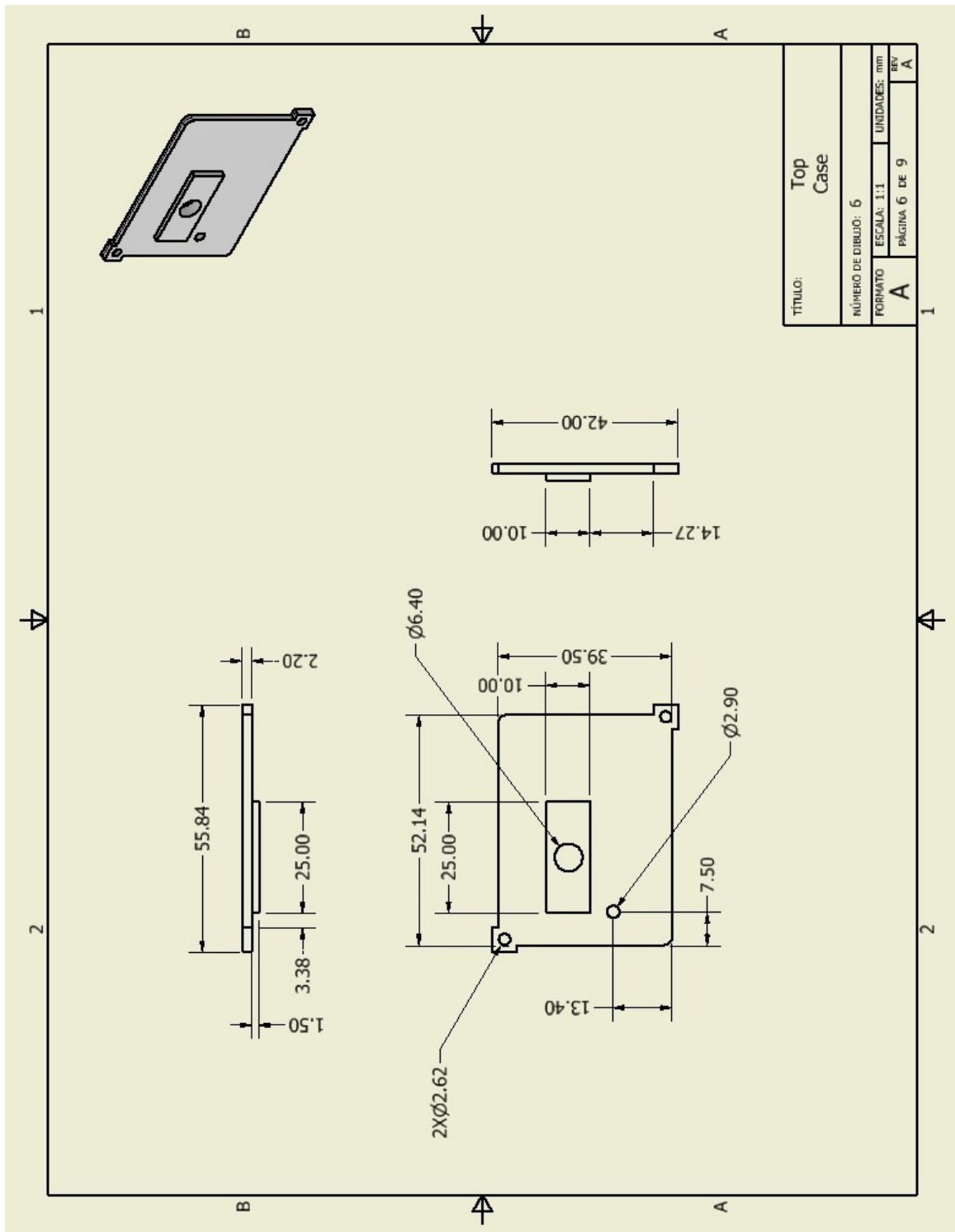


Figura 64. Base para estabilizador del mecanismo de corte

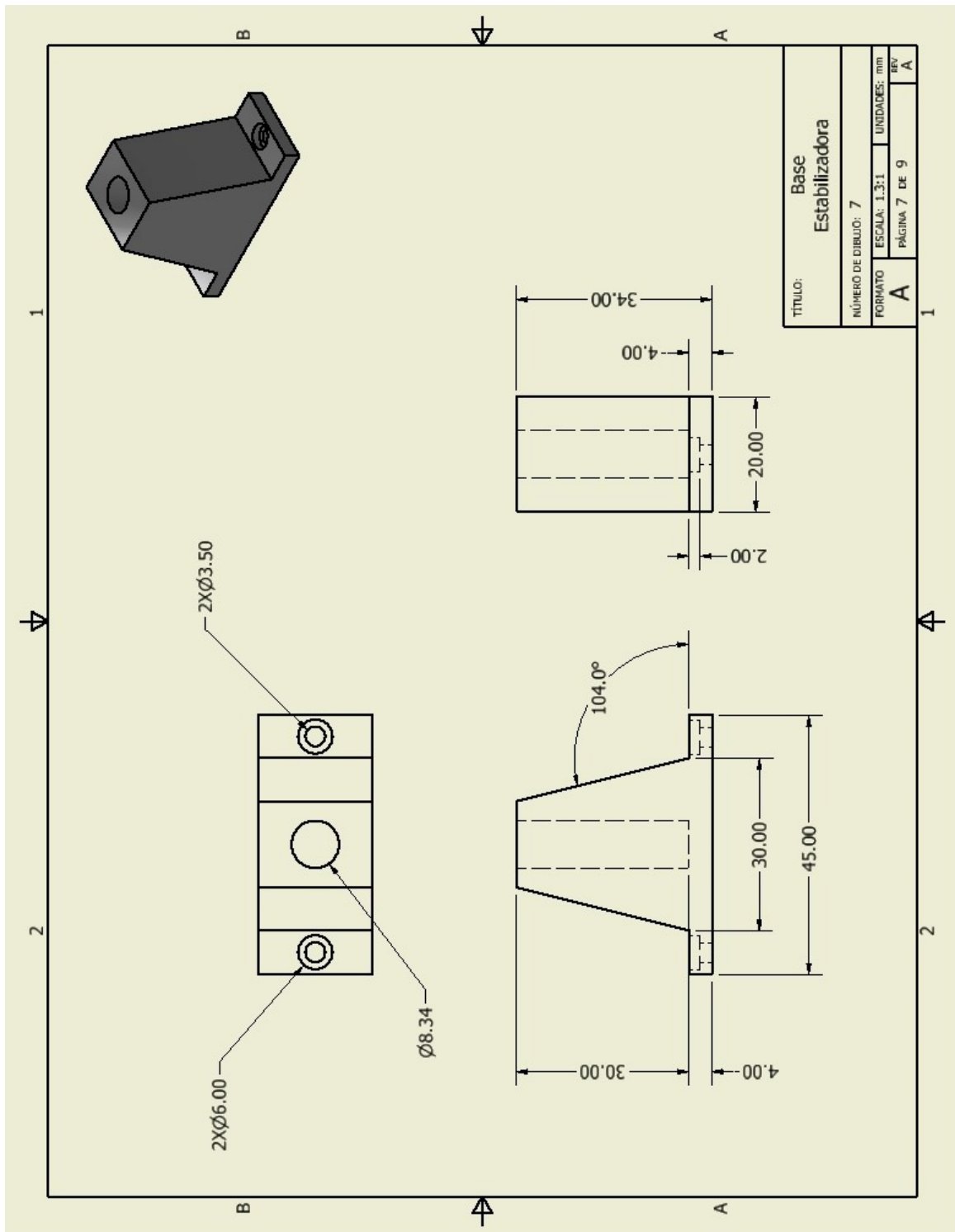


Figura 65. Barra estabilizadora

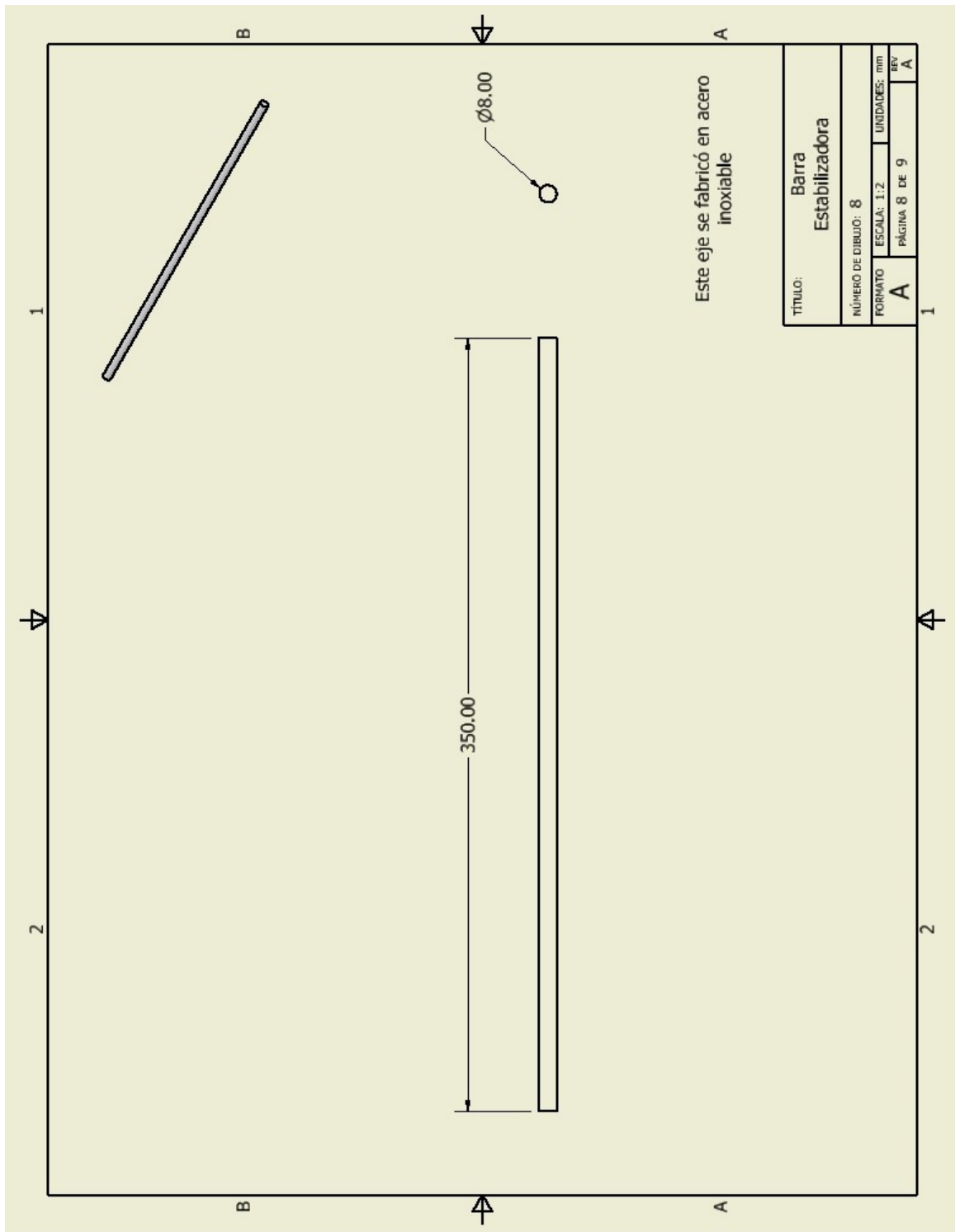
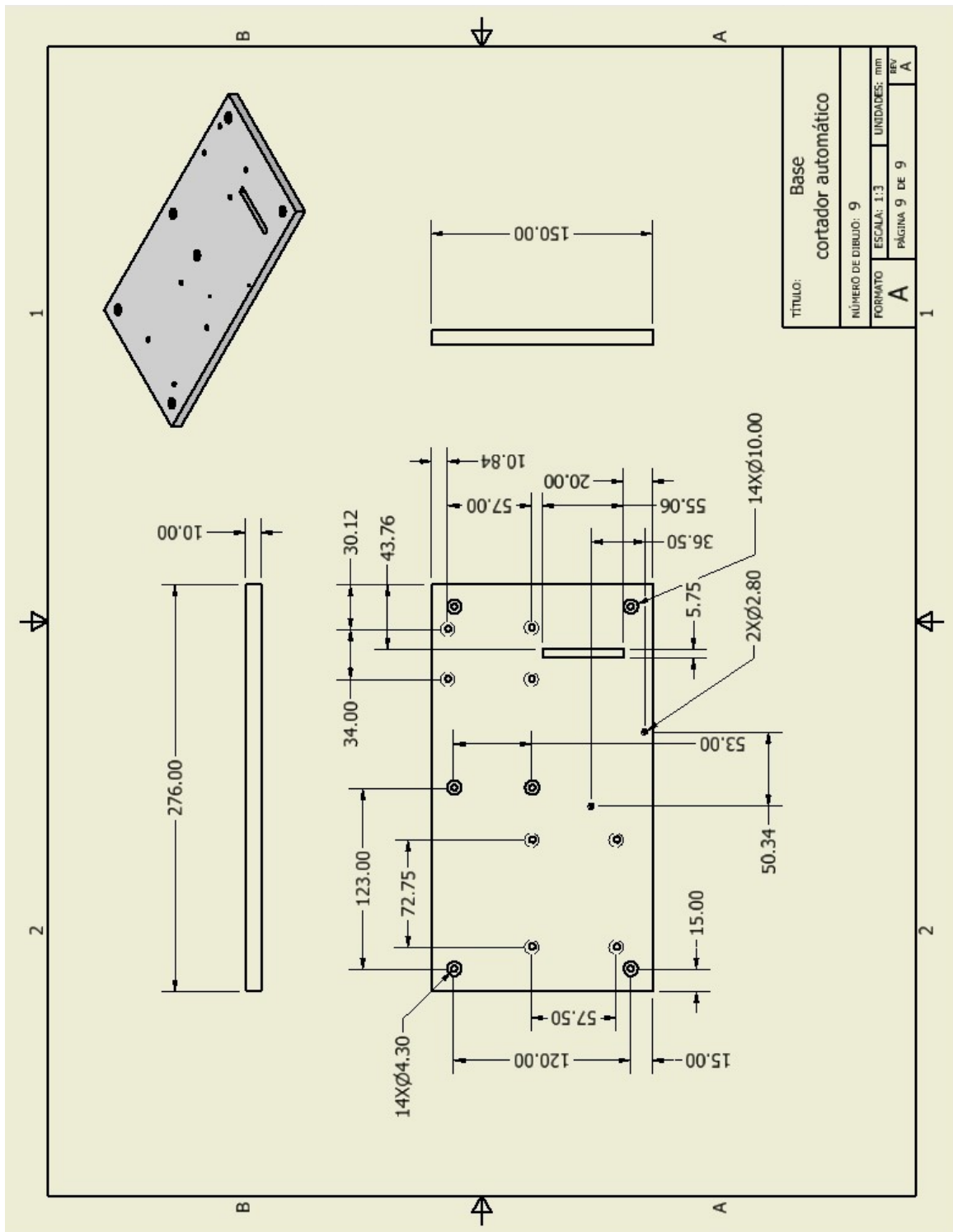


Figura 66. Base para la máquina cortadora de botellas



### 12.1.2. Planos realizados para la máquina recicladora

Figura 67. Adaptador para la memoria SD de la pantalla

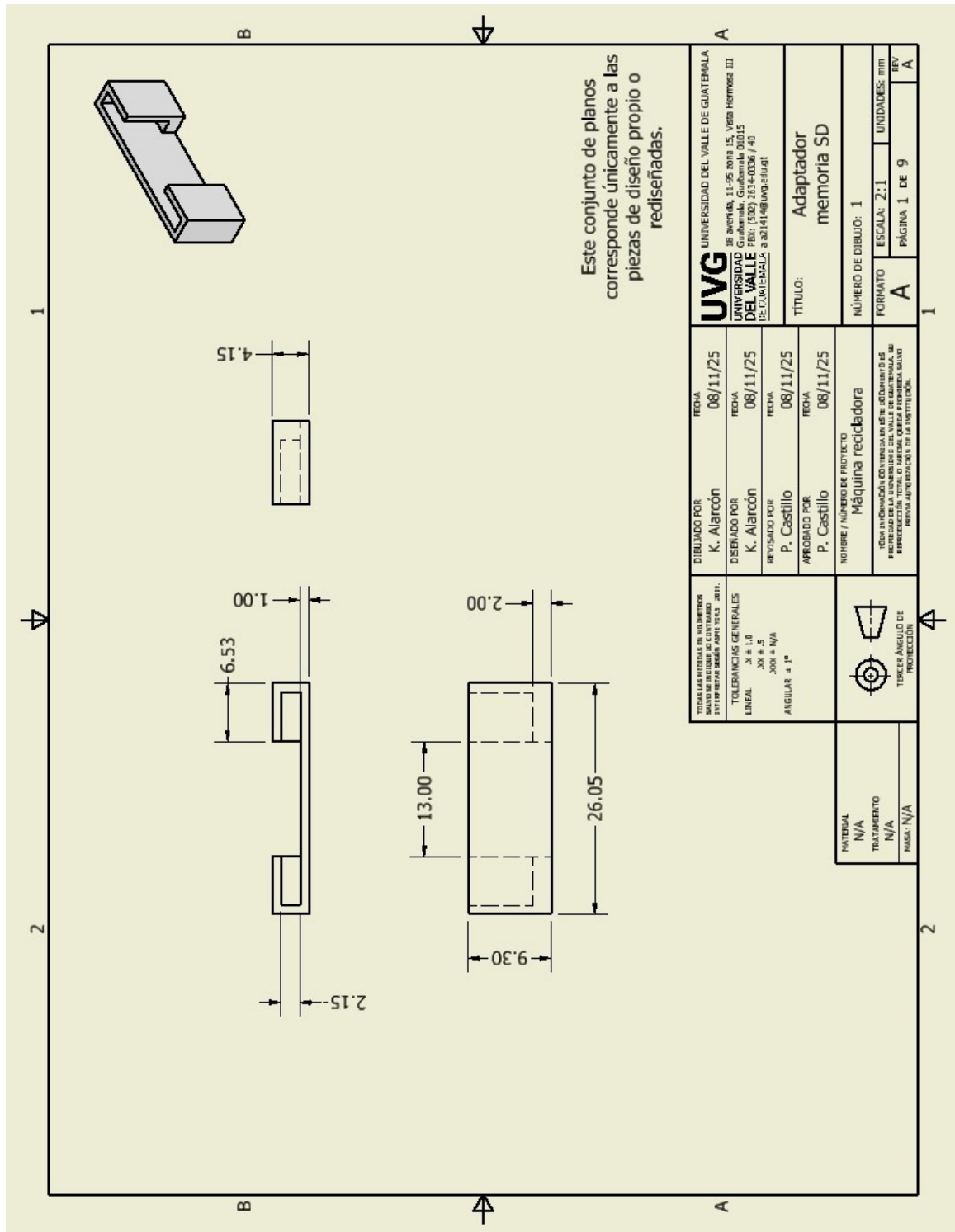


Figura 68. Base para el porta bobinas de tiras PET

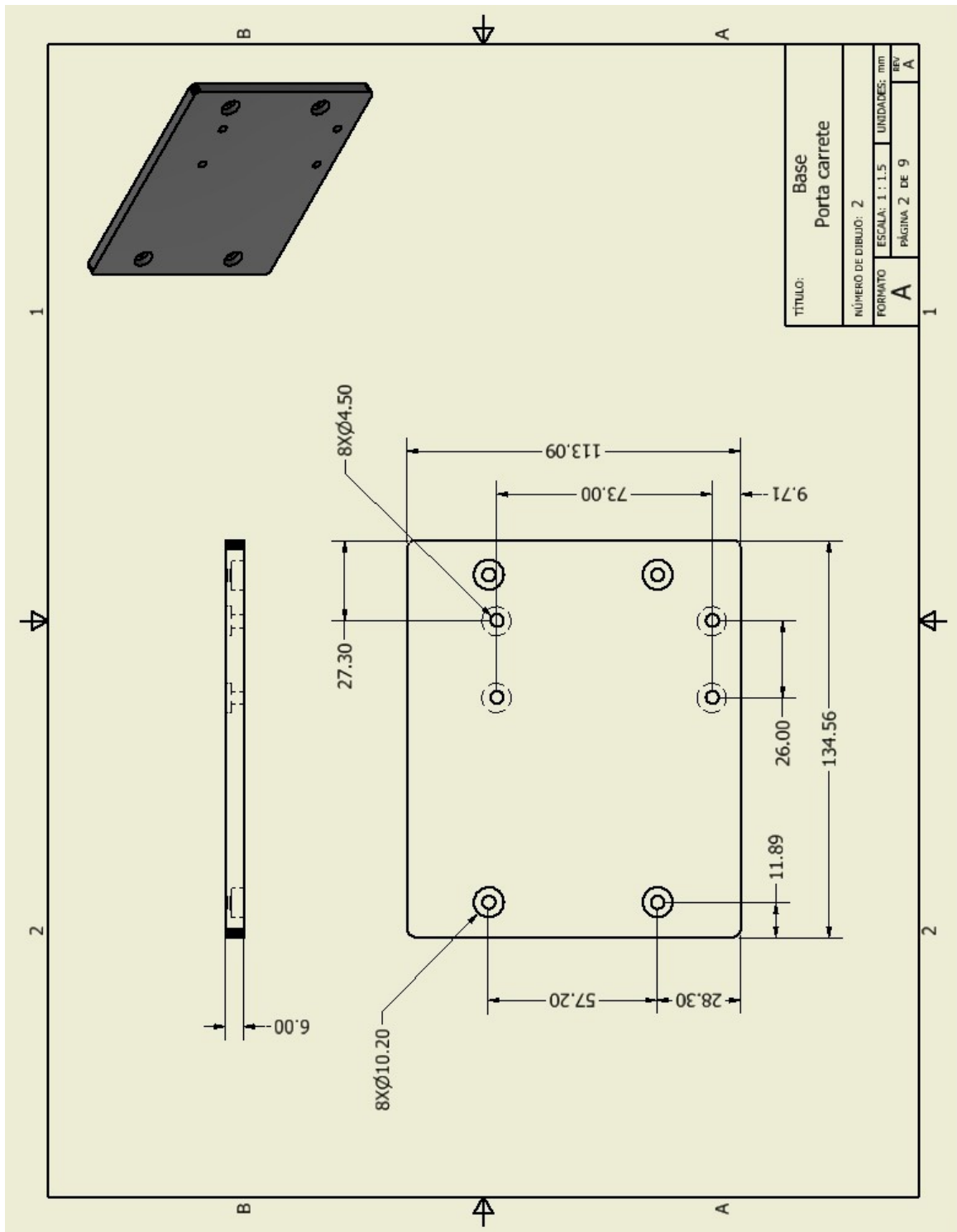


Figura 69. Eje de base para el porta bobinas de tiras PET

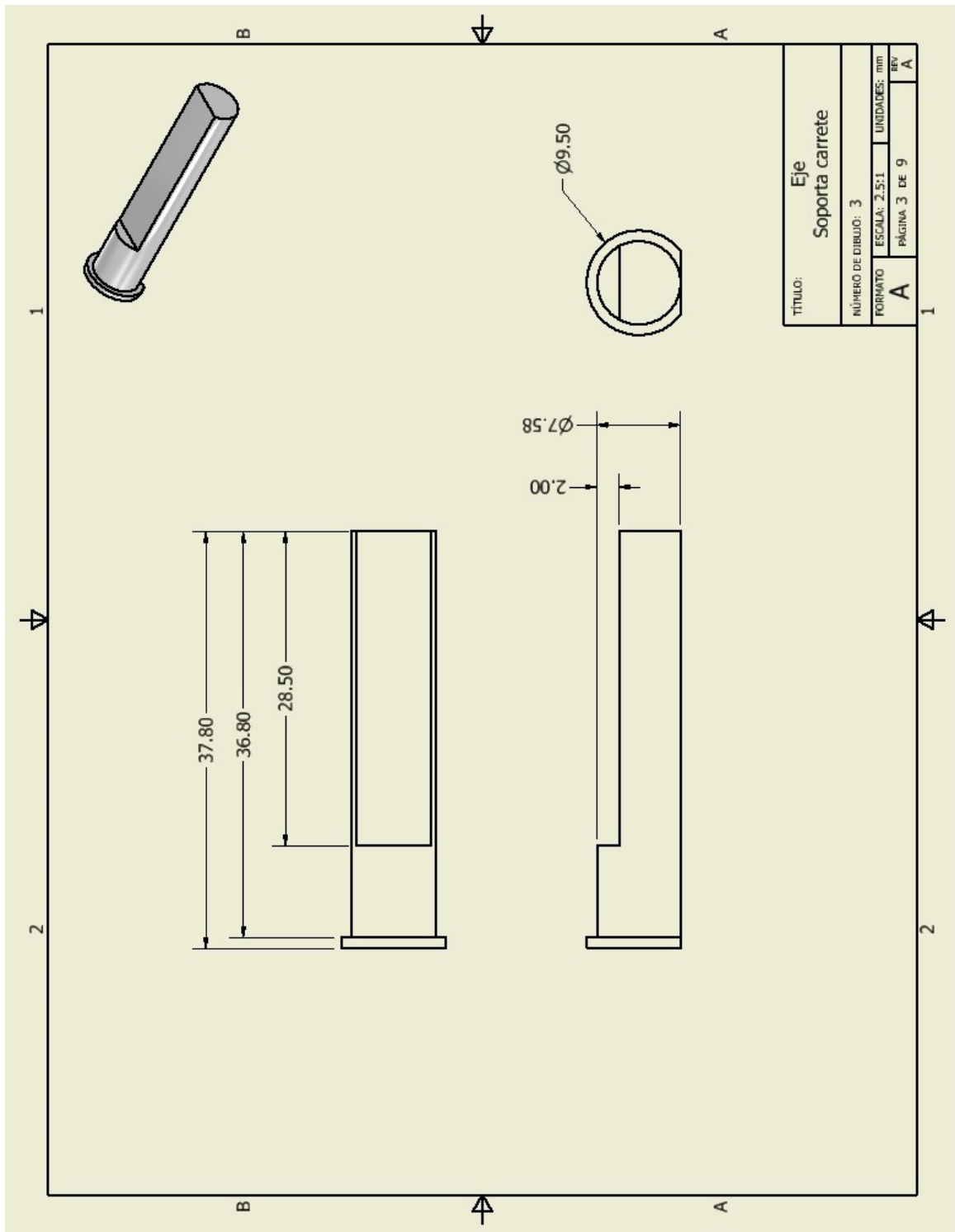


Figura 70. Base térmica para el extrusor

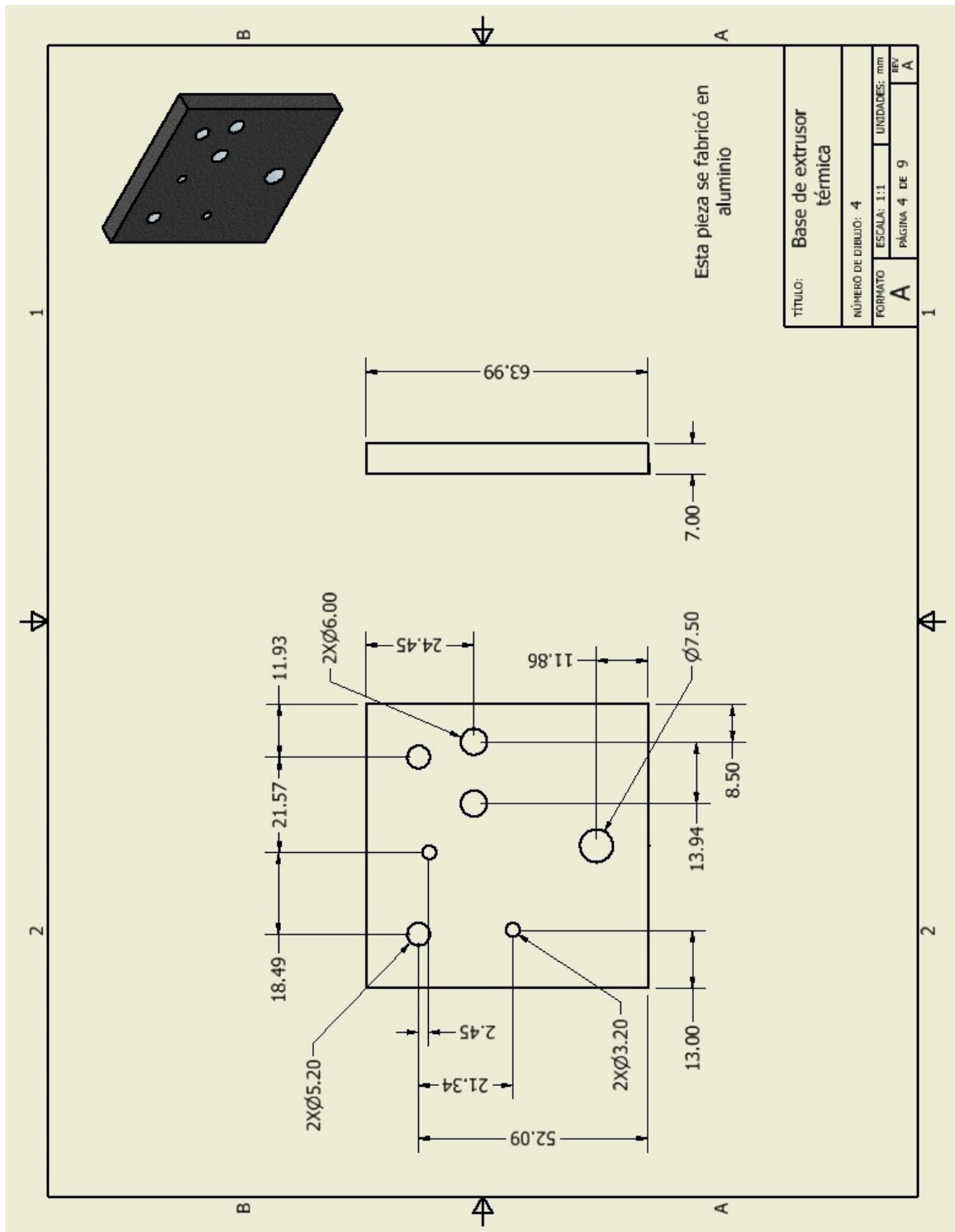


Figura 71. Base no térmica para el extrusor que se ensambla a la recicladora

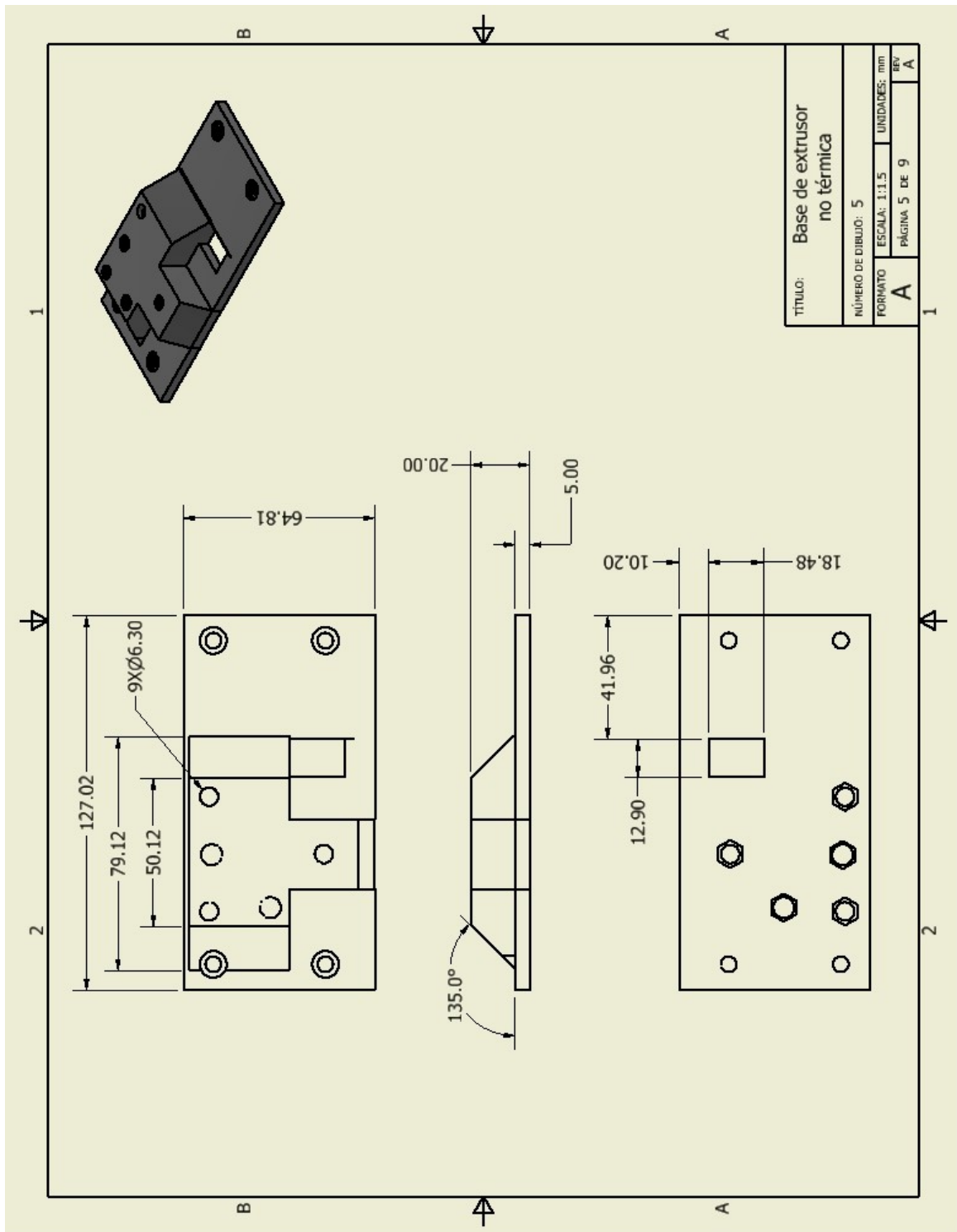


Figura 72. Cobertor para el hotend del extrusor

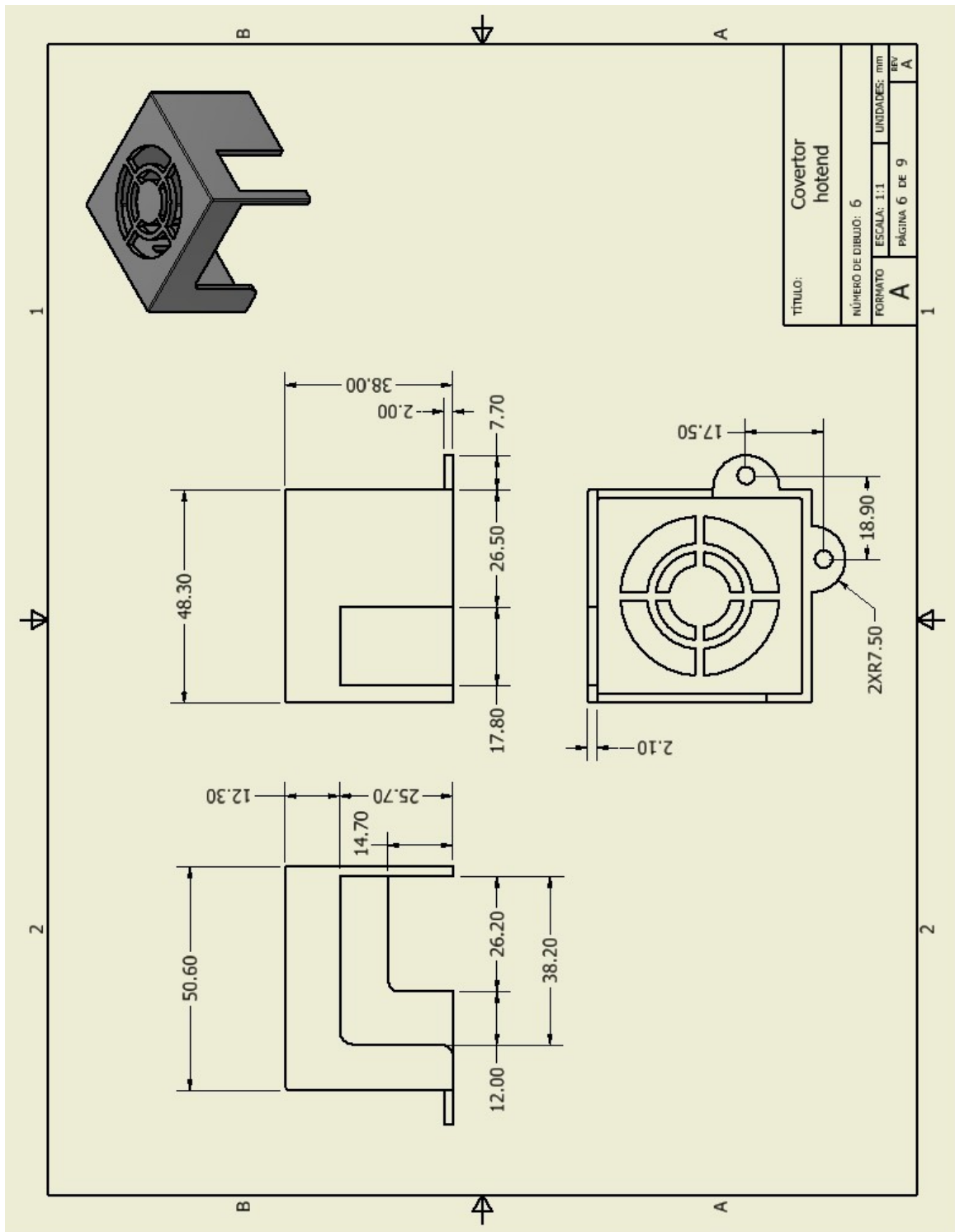


Figura 73. Base derecha del mecanismo de guía para el filamento

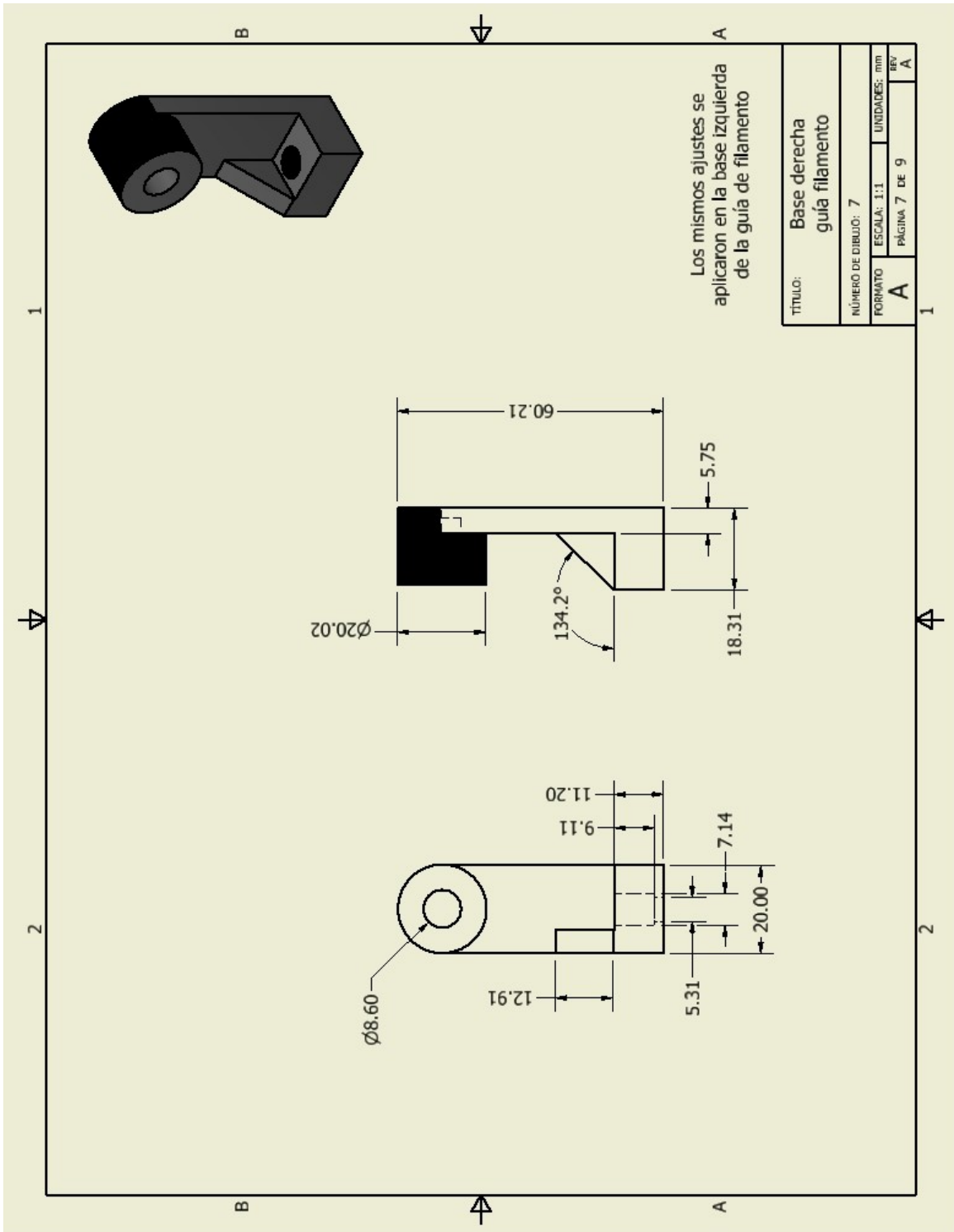


Figura 74. Eje para el mecanismo de guía de filamento

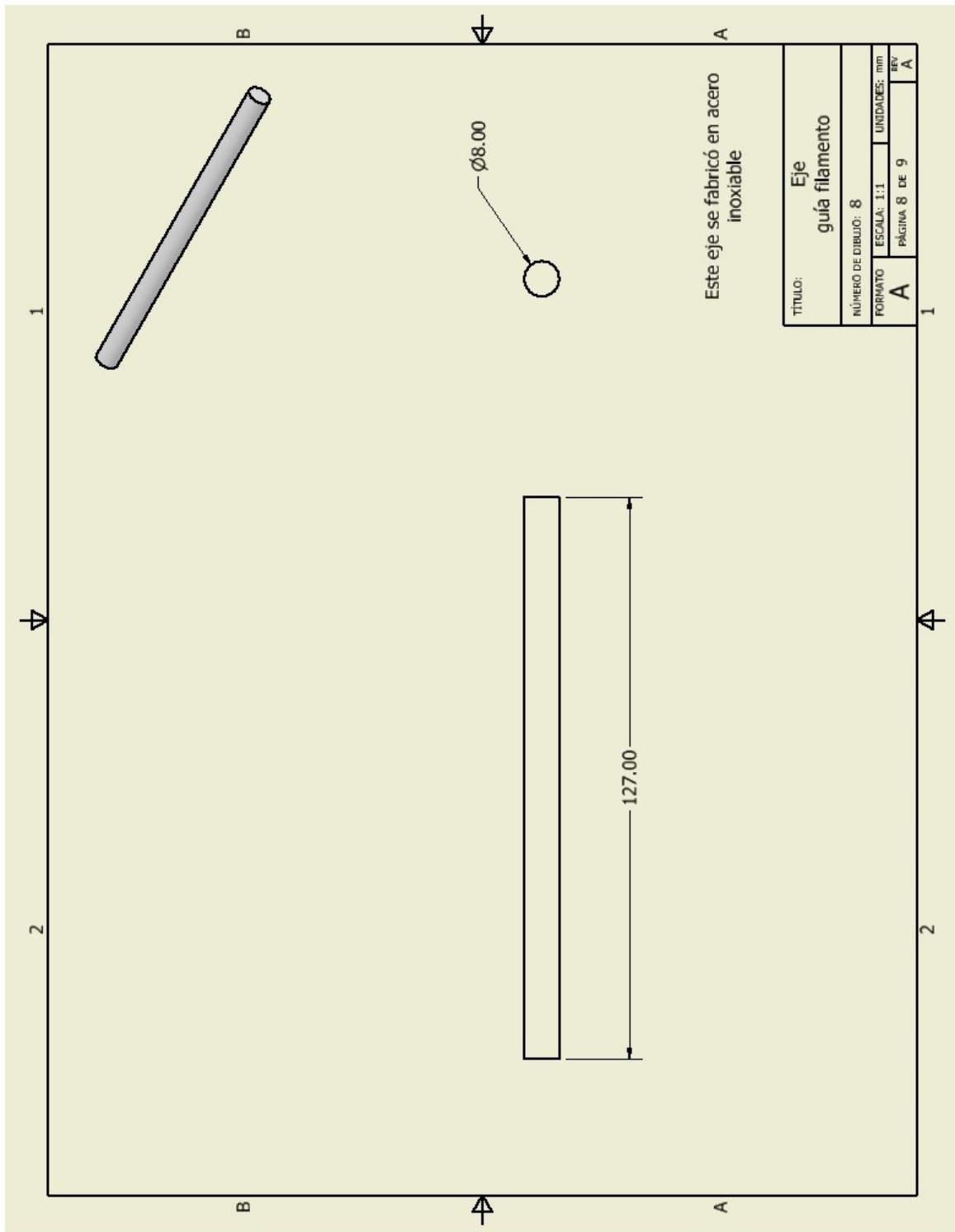


Figura 75. Pieza de carcasa modificada para ensamblaje de interruptor

