



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA
Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE ELECTRICIDAD

**MÁQUINA PARA GENERAR FILAMENTO A PARTIR DE
BOTELLAS RECICLADAS COMO COMPLEMENTO PARA LA
MÁQUINA DE RECICLAJE PICHAYBOT**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRICIDAD**

AUTOR: EDISSON ALEXANDER CALLE MALO

JIMMY JAVIER LOPEZ ÑAUTA

DIRECTOR: ING. CARLOS MAURICIO ORELLANA UGUÑA.

CUENCA - ECUADOR

2025

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,

INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE ELECTRICIDAD

**MÁQUINA PARA GENERAR FILAMENTO A PARTIR DE
BOTELLAS RECICLADAS COMO COMPLEMENTO PARA LA
MÁQUINA DE RECICLAJE PICHAYBOT**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRICIDAD**

AUTOR: EDISSON ALEXANDER CALLE MALO

JIMMY JAVIER LOPEZ ÑAUTA

DIRECTOR: ING. CARLOS MAURICIO ORELLANA UGUÑA.

CUENCA - ECUADOR

2025

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y RESPONSABILIDAD

Edisson Alexander Calle Malo y **Jimmy Javier Lopez Ñauta** portadore(a)s de las cédulas de ciudadanía N° **0150368926** y **0106509060**. Declaramos ser autore(a)s de la obra: **“Máquina para generar filamento a partir de botellas recicladas como complemento para la máquina de reciclaje PICHAYBOT”**, sobre la cual nos hacemos responsables sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaramos que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaramos finalmente que nuestra obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también nos responsabilizamos y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, **23 de julio de 2025**



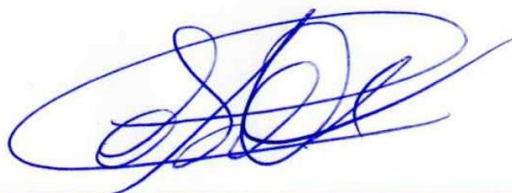
F:
Edisson Alexander Calle Malo
0150368926



F:
Jimmy Javier Lopez Ñauta
0106509060

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Edison Alexander Calle Malo y Jimmy Javier Lopez Nauta, bajo mi supervisión.



ING. CARLOS MAURICIO ORELLANA UGUÑA

DIRECTOR

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación se lo dedico, en primer lugar, a Dios, quien bendice y guía cada paso que doy, llevándome siempre por el camino del bien y protegiéndome en cada etapa de este recorrido.

A mi amada madre, Patricia Malo, cuyo amor y apoyo incondicional han sido la base de mi vida académica y personal. Nunca me ha dejado desamparado y siempre ha tenido un consejo listo para ofrecerme. A mi querido padre, Xavier Calle, mi guía e inspiración. Gracias a su ejemplo y a sus sabias palabras, logré culminar mis estudios. De él aprendí que rendirse nunca es una opción y encontré en sus enseñanzas el impulso necesario para seguir adelante.

A mis hermanos, Mateo y Joseline, mis compañeros de risas y aventuras, quienes, con su apoyo y ánimo constante, me acompañaron en los momentos difíciles, recordando siempre la importancia de la familia.

A mi adorada hija, Melissa Calle, mi mayor inspiración y el motor que me impulsa a luchar por un futuro mejor. Espero que algún día ella también recorra este camino y sienta el orgullo de cada logro alcanzado.

Que estas páginas no solo representen un documento académico, sino también un testimonio de mi profunda gratitud hacia quienes han sido mi pilar y la chispa que encendió mi motivación a lo largo de este viaje.

Edisson Alexander Calle Malo

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a mi papá René y a mi mamá Martha, por ser mis pilares y el motivo de cada paso que he dado en este camino, su amor incondicional, su apoyo constante y los valores que me inculcaron han sido la base sobre la cual he construido mis sueños. Gracias por cada sacrificio y por enseñarme, con su ejemplo, el verdadero significado de la dedicación y el esfuerzo, esta meta también es suya.

A mi querido abuelo Gonshi, quien ahora me cuida desde el cielo, su memoria es una fuente de inspiración y fortaleza en mi vida, agradezco cada consejo y el cariño que siempre me dio, su legado me acompaña en cada logro y en cada paso que doy.

Y por último doy gracias también al resto de mi familia, hermana, primos, tíos y demás los cuales confiaron en mí y nunca me abandonaron.

Jimmy Javier Lopez Ñauta

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mis padres, Xavier Calle y Patricia Malo, quienes han sido la luz y el volante en mi trayecto universitario. Su amor inquebrantable, apoyo constante y sacrificios han sido la base sobre la cual he construido mis logros. A ellos les debo todo lo que soy y lo que seré de ahora en adelante. Su ejemplo de entrega y perseverancia será siempre mi fuente de inspiración para alcanzar mis futuras metas. Esta tesis es un claro testimonio de su amor y dedicación, y les agradezco de todo corazón.

A mis hermanos Joseline Calle y Mateo Calle, quienes han sido pilares fundamentales en mi vida. A uno lo veo como una inspiración, el ejemplo claro de luchar por lo que quieres y de lograr lo que te propones, mientras que, en el otro encuentro a un compañero fiel, a quien deseo que siga en este camino de éxito. Gracias a ellos por su apoyo incondicional en los momentos más difíciles; su presencia me ha fortalecido y he velado siempre por su bienestar y crecimiento.

A mi hija, Melissa Calle, agradezco profundamente, ya que sus pequeñas travesuras y sus grandes sueños me impulsan a soñar. Mi mayor anhelo es que algún día ella también vea cumplidos todos sus deseos y metas.

Extiendo mi sincero agradecimiento a los profesores de la Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción de la Universidad Católica de Cuenca, quienes, con su dedicación y compromiso en la enseñanza, han forjado en mí las bases sólidas de este aprendizaje.

Edisson Alexander Calle Malo

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer primeramente a Dios, por ser mi guía, fortaleza y esperanza en cada momento de este camino, su luz me ha acompañado en los momentos de dificultad y me ha dado la serenidad y sabiduría necesarias para alcanzar mis metas.

A mis padres, René y Martha, quienes han sido mi pilar en todos los aspectos, especialmente en el económico. Gracias por su apoyo incondicional, su esfuerzo y sacrificio para que pudiera cumplir este sueño, sin su ayuda constante, esta meta no hubiera sido posible.

A mis profesores, quienes, con su paciencia, dedicación y conocimientos, han dejado una huella imborrable en mi formación académica y personal, agradezco cada lección, cada consejo y el compromiso con el que me guiaron en esta etapa de mi vida, su apoyo ha sido esencial para mi desarrollo profesional.

Jimmy Javier Lopez Ñauta

RESUMEN

En el marco de la economía circular, la reutilización de residuos plásticos representa un eje fundamental para mitigar el impacto ambiental. En este contexto, la Universidad Católica de Cuenca ha desarrollado una máquina innovadora y patentada denominada "PICHAYBOT", diseñada específicamente para el reciclaje de botellas plásticas. El presente proyecto plantea el diseño, construcción e implementación de un subsistema semiautomático, que será integrado a la PICHAYBOT, con el objetivo de optimizar el proceso de reciclaje de plásticos tipo PET. Esta mejora consiste en incorporar un módulo capaz de transformar las botellas recicladas en filamento para impresoras 3D. Para ello, se desarrollará una nueva máquina capaz de cortar y procesar las botellas plásticas, ejecutar la extrusión del PET, y mediante una boquilla, obtener filamento de calidad apto para impresión 3D. Se han llevado a cabo diversas pruebas experimentales con el fin de garantizar la estabilidad y las propiedades del filamento obtenido. Este desarrollo no solo refuerza los procesos internos de reciclaje, sino que también refleja el compromiso institucional con la sostenibilidad ambiental y la innovación tecnológica.

Palabras clave: reciclaje, impresión 3D, filamento, extrusión

ABSTRACT

Within the framework of the circular economy, the reuse of plastic waste represents a fundamental role in reducing environmental impact. In this context, the Catholic University of Cuenca has developed an innovative and patented machine called "PICHAYBOT", specifically designed for recycling plastic bottles. This project proposes the design, construction, and implementation of a semi-automatic subsystem to be integrated into the PICHAYBOT, intending to optimize the PET plastic recycling process. This improvement involves incorporating a module capable of converting recycled bottles into filament for 3D printers. To this end, a new machine will be developed, capable of cutting and processing plastic bottles, performing PET extrusion, and producing quality filament suitable for 3D printing through a nozzle. Several experimental tests have been conducted to guarantee the stability and properties of the filament produced. This development not only reinforces the internal recycling processes, but also reflects the institution's commitment to environmental sustainability and technological innovation.

Keywords: recycling, 3D printing, filament, extrusion

Índice de contenido.

CAPÍTULO 1.....	14
1. Marco General del Proyecto	14
1.1 Introducción.....	14
1.2 Objetivos.	14
1.2.1 Objetivo general	14
1.2.2 Objetivos específicos	15
1.3 Formulación del problema.	15
1.4 Justificación.....	16
1.5 Descripción General del Proyecto	16
1.6 Metodología.....	16
CAPITULO 2.....	18
2. Fundamentación Teórica.	18
2.1 Reseña histórica del PET.	18
2.2 Historia del PET en el Ecuador.....	18
2.3 Impacto ambiental del PET en Ecuador y Cuenca.....	19
2.4 Características del PET y su reciclabilidad	20
2.4.1 Tipos de plásticos.	20
2.4.2 Características de plásticos.	20
2.5 Tipos de filamento y propiedades.	21
2.6 Procesos de extrusión.	22
2.7 Importancia de la reciclabilidad PET.....	23
CAPÍTULO 3.....	25
3. Diseño del Prototipo.....	25
3.1 Revisión bibliográfica.....	25
3.2 Modelado de partes del prototipo.....	25
3.2.1 Piezas diseñadas en los programas mencionados.....	26
3.3 Mecanismo de corte de botella automático:.....	37

3.3.1 Partes diseñadas para máquina de corte automático.....	37
3.4 Diseño final simulado.....	44
3.5 Sistema de extrusión.....	46
3.6 Sensores, Controladores y Sistemas de Comunicación.....	46
Capítulo 4	49
4. Construcción.....	49
4.1 Descripción del proyecto	49
4.2 Ensamblaje de componentes.....	50
4.3 Pasos para realizar prototipo de máquina para generar filamento a partir de botellas plásticas.....	51
4.3.1 Preparación de la botella.....	51
4.3.2 Cortador de botellas.....	53
4.3.3 Sistema de extrusión.....	58
4.3.4 Sistema de ventilación y recolección de filamento.....	59
4.3.5 Cerebro de la máquina.....	60
4.3.6 Esquema de conexión de la RAMPS 1.4 en el prototipo	61
4.4 Sistema de Control y Programación	62
4.4.1 Sistema de programación.	62
4.4.2 Sistema de control	63
4.5 Modelo completo del prototipo de la máquina extrusora de filamento.....	64
Capítulo 5	65
5. Resultados.....	65
5.1 Evaluación de corte de la botella.	65
5.2 Extrusión de las tiras plásticas.....	69
5.3 Sistema de recolección en carrete.....	70
5.4 Producto final del proceso de extrusión	72
5.5 Conclusiones.....	72
5.6 Investigaciones futuras	73
Bibliografía.....	74

Anexos:.....	77
Anexo 1: Construcción y montaje de piezas	77
Anexo 2: Diagrama de flujo de líneas de programación.....	82

Índice de figuras.

Figura 1: Diagrama de flujo, Metodología investigativa-constructiva.	17
Figura 2: Sistema de Identificación de Plásticos.	20
Figura 3: Carcasa para pantalla LCD.	26
Figura 4: Carcasa para fuente de voltaje DC	27
Figura 5: Tapa del Switch.	27
Figura 6: Apoyos para la base de la máquina extrusora de filamento.	28
Figura 7: Cilindros carrete de filamento.....	28
Figura 8: Engranaje del carrete de filamento lado izquierdo-derecho.....	29
Figura 9: Espaciador.	29
Figura 10: Espaciador para tornillos.....	30
Figura 11: Soporte carcasa para Arduino.....	30
Figura 12: Soporte ventilador.....	31
Figura 13: Sujetador motor.	31
Figura 14: Direccionador de PET.	32
Figura 15: Engranaje con adaptador al motor.	32
Figura 16: Protector para carrete de filamento.	33
Figura 17: Tapa superior.....	33
Figura 18: Cilindro base.	34
Figura 19: Bobinador cilindro 1-2-3.	34
Figura 20: Soporte para carrete.	35
Figura 21: Soporte del eje.....	35
Figura 22: Soporte para el eje.....	36
Figura 23: Sujetador para carrete.	36
Figura 24: Cuerpo contra peso.....	37
Figura 25: Barra para carrete eje 1.	38
Figura 26: Barra carrete eje 2.	38
Figura 27: Barra estabilizadora de carrete..	38
Figura 28: Barra estabilizadora eje 2.....	39
Figura 29: Engranaje 5 para transmisión eje 1.....	39

Figura 30: Engranaje 6 para transmisión eje 2.....	40
Figura 31: Barra estabilizadora.....	40
Figura 32: Base superior.....	41
Ilustración 33: Cubierta de rodamiento.....	41
Figura 34: Engranaje 2 para transmisión.....	42
Figura 35: Engranaje 3 para transmisión de corte 1.....	42
Figura 36: Engranaje 4 para transmisión de corte 2.....	43
Figura 37: Espaciador.....	43
Figura 38: Soporte de cortador.....	44
Figura 39: Diseño prototipo de Blender.....	44
Figura 40: Limpieza de la botella.....	51
Figura 41: Retiro de la etiqueta.....	52
Figura 42: Eliminación de la tapa y el anillo de seguridad.....	52
Figura 43: Corte de la base de la botella.....	53
Figura 44: Diseño para corte de botella en Blender.....	53
Figura 45: Pasador de botella.....	54
Figura 46: Diseño para motor DC de alto par.....	55
Figura 47: Eje de transmisión.....	55
Figura 48: Conjunto de engranajes.....	56
Figura 49: Piezas impresas y terminadas.....	57
Figura 50: Piezas impresas y terminadas.....	57
Figura 51: Cortador de botella con carrete recolector.....	58
Figura 52: Extrusor de filamento.....	59
Figura 53: a) Sistema de enfriamiento b) Sistema de recolección de filamento.....	59
Figura 54: Motores paso a paso.....	60
Figura 55: Sistema de control.....	60
Figura 56: Conexión motores paso a paso a RAMPS.....	61
Figura 57: Conexión extrusora a RAMPS.....	61
Figura 58: Conexión de Alimentación para Mega y RAMPS.....	62
Figura 59: Diagrama de flujo del sistema de programación.....	63
Figura 60: Diagrama de flujo del sistema de control.....	64
Figura 61: Prototipo finalizado.....	64
Figura 62: Cortador manual de botellas.....	66
Figura 63: cortador automático de botellas.....	66
Figura 64: Piezas defectuosas del primer prototipo.....	67
Figura 65: Tira plástica fragmentada.....	67
Figura 66: Tira plástica delgada.....	68

Figura 67: Obstrucción del extrusor.	69
Figura 68: Filamento uniforme y de buena calidad.	70
Ilustración 69: Motores para carrete.	71
Figura 70: Filamento generado de botellas plásticas PET.	72
Figura 71: Prueba de impresión.	72
Figura 72: Diseño y elaboración de piezas.	77
Figura 73: Engranaje para carrete de filamento.	77
Figura 74: Armado de carrete de recolección de filamento.	78
Figura 75: Armado de carrete recolector de filamento y montaje de motores.	78
Figura 76: Montaje de carcasa protectora para carrete de filamento.	79
Figura 77: Cilindro base parte superior e inferior.	79
Figura 78: Armado de cilindro base para recolección de cinta PET.	79
Figura 79: Armado del soporte del eje y soporte del recolector.	80
Figura 80: Montaje soporte del eje y soporte del recolector.	80
Figura 81: Perforaciones y montaje de apoyos para la base de la maquina extrusora de filamento.	80
Figura 82: Colocación y montaje de componentes eléctricos y electrónicos.	81
Figura 83: Colocación y montaje de componentes eléctricos y electrónicos.	81
Figura 84: Programación proceso #1.	82
Figura 85: Programación proceso #2.	83
Figura 86: Programación proceso #3.	84

Índice de Tablas.

Tabla 1: Características principales de cada tipo de plástico.	21
Tabla 2: Características principales de cada tipo de filamento.	22
Tabla 3: Artículos de prototipos de máquinas extrusoras de filamento.	25
Tabla 4: Características principales de cada elemento utilizado.	47
Tabla 5: Espesor de tiras plásticas con diferentes contrapesos.	68

CAPÍTULO 1

1. Marco General del Proyecto

Este capítulo expone el contexto general del proyecto, centrado en la problemática ambiental ocasionada por el uso excesivo de botellas plásticas tereftalato de polietileno (PET) y las limitaciones en su manejo en la ciudad de Cuenca, Ecuador. Se plantean los objetivos que guían la investigación, así como la justificación del estudio, también la metodología empleada para su diseño y construcción.

1.1 Introducción.

Las botellas plásticas forman parte del día a día de muchas personas, sobre todo en las ciudades en donde el consumo de productos envasados es alto (Gutiérrez, Tamayo, & Barajas, 2021), en Ecuador, este tipo de envases representa una de las principales fuentes de desecho (ASEPLAS, 2019). Aunque el PET es un material reciclable, la mayoría de las botellas que se desechan no se aprovechan adecuadamente muchas terminan en ríos, calles o rellenos sanitarios en donde se acumulan durante años sin degradarse (Becerra, 2022).

El aumento de este tipo de residuos ha generado preocupación no solo por su impacto ambiental (Mieles & Chimbo, 2011), sino también por la falta de soluciones simples que permitan darles un nuevo uso, frente a esta situación, han surgido ideas que buscan transformar materiales plásticos en recursos útiles (Peña & Mandón, 2024). Una de ellas es el uso del PET reciclado para crear filamento de impresión 3D, lo que permitiría reutilizar botellas de forma práctica y accesible (Peña & Mandón, 2024).

Esta iniciativa busca fortalecer el reciclaje con el desarrollo tecnológico con el objetivo de encontrar una manera funcional de convertir residuos en insumos útiles, usando herramientas que puedan ser implementadas en espacios con recursos limitados (Sandoval & Martinez, 2023). De esta forma, el proyecto busca aportar a la reducción de desechos plásticos y fomentar el uso responsable de los materiales a través de soluciones aplicables desde la ingeniería.

1.2 Objetivos.

1.2.1 Objetivo general

- Construir una máquina que convierte botellas plásticas recicladas en filamento de impresión 3D, utilizando la técnica de prototipado funcional que integre elementos

electrónicos y de control, mejorando la reutilización de materiales plásticos PET como insumo complementario para la máquina recicladora PichayBot.

1.2.2 Objetivos específicos

- Fortalecer los conocimientos sobre reciclaje de plásticos y extrusión de filamentos, entre otros temas, a través de investigaciones científicas contando con información actualizada y de alta calidad.
- Prototipar el sistema funcional de la máquina extrusora de filamento, integrando las etapas de extrusión, corte y transporte, optimizando la interacción entre los diferentes subsistemas, mejorando la eficiencia total del proceso de producción de filamento.
- Evaluar el desempeño de la máquina extrusora de filamento mediante el análisis de variables de desempeño como: tiempo de extrusión, calidad del filamento y la identificación de posibles fallas mediante la integración de las funcionalidades del sistema

1.3 Formulación del problema.

El PET es uno de los polímeros más utilizados a nivel global (Portilla-Jiménez, 2022), principalmente en la fabricación de botellas de un solo uso, su alto consumo diario genera una gran cantidad de residuos que, tras ser descartados tienden a acumularse en calles, ríos y rellenos sanitarios (Concejo Metropolitano de Quito, 2021). Dado que su degradación natural puede tardar siglos, su presencia prolongada en el ambiente, afecta de forma directa a suelos, fuentes de agua y fauna

A pesar de su capacidad de reciclaje, gran parte del PET no logra incorporarse a un ciclo productivo, esto se debe en parte a la falta de acceso a tecnologías que permitan su transformación de forma local y eficiente (Dalberg, 2019). Actualmente, los sistemas de reciclaje requieren infraestructura industrial especializada, lo cual limita las posibilidades de tratamiento en comunidades (Peña & Mandón, 2024), instituciones educativas o zonas donde no existen medios técnicos adecuados.

En la ciudad de Cuenca, el aumento del volumen de residuos plásticos está contribuyendo al acelerado incremento del relleno sanitario de Pichacay. (Jiménez, 2022), reduciendo su vida útil y desaprovechando materiales con potencial de reutilización. La dificultad para transformar el PET en productos útiles, como filamento para impresión 3D, contribuye a que continúe siendo considerado un desecho y no un recurso (Gutiérrez, Tamayo, & Barajas, 2021).

1.4 Justificación

La transformación de residuos plásticos PET en filamento para impresión 3D representa una alternativa potencial para reducir la acumulación de desechos y fomentar su reutilización como materia prima (Mieles & Chimbo, 2011). Esta propuesta adquiere especial relevancia en un entorno donde el reciclaje aún enfrenta barreras técnicas, logísticas y económicas.

Diseñar una máquina extrusora semiautomatizada representa una solución para desarrollar prácticas accesibles en el tratamiento de residuos plásticos, su implementación permite transformar botellas de PET en filamento de manera directa, sin depender de procesos industriales complejos (Becerra, 2022). Esto abre nuevas posibilidades para que colegios, universidades y otras instituciones que puedan incorporar métodos de reciclaje funcionales dentro de sus propios entornos fomentando el aprendizaje tecnológico (Lopez & Villamil, 2024).

El diseño de este dispositivo también contribuye a fortalecer la cultura de reciclaje y la educación en tecnologías limpias (Dalberg, 2019). Al reutilizar materiales plásticos que promueven un enfoque de economía circular haciendo más accesible la impresión 3D.

La presente investigación ofrece una solución técnica viable y adaptable que aporte al manejo responsable de residuos, a la innovación tecnológica y al fortalecimiento de iniciativas locales en sostenibilidad.

1.5 Descripción General del Proyecto

El proyecto se centra en el reciclaje del material PET de botellas plásticas, aprovechando su maleabilidad a altas temperaturas para transformarlo principalmente en filamento de alta calidad para impresión 3D. Este filamento será empleado en procesos de fabricación aditiva, promoviendo la reutilización eficiente del plástico.

1.6 Metodología

El siguiente diagrama de flujo representado en la Figura 1, muestra la metodología investigativa-constructiva aplicada durante la fase inicial del estudio, orientado al diseño y fabricación de la máquina propuesta.

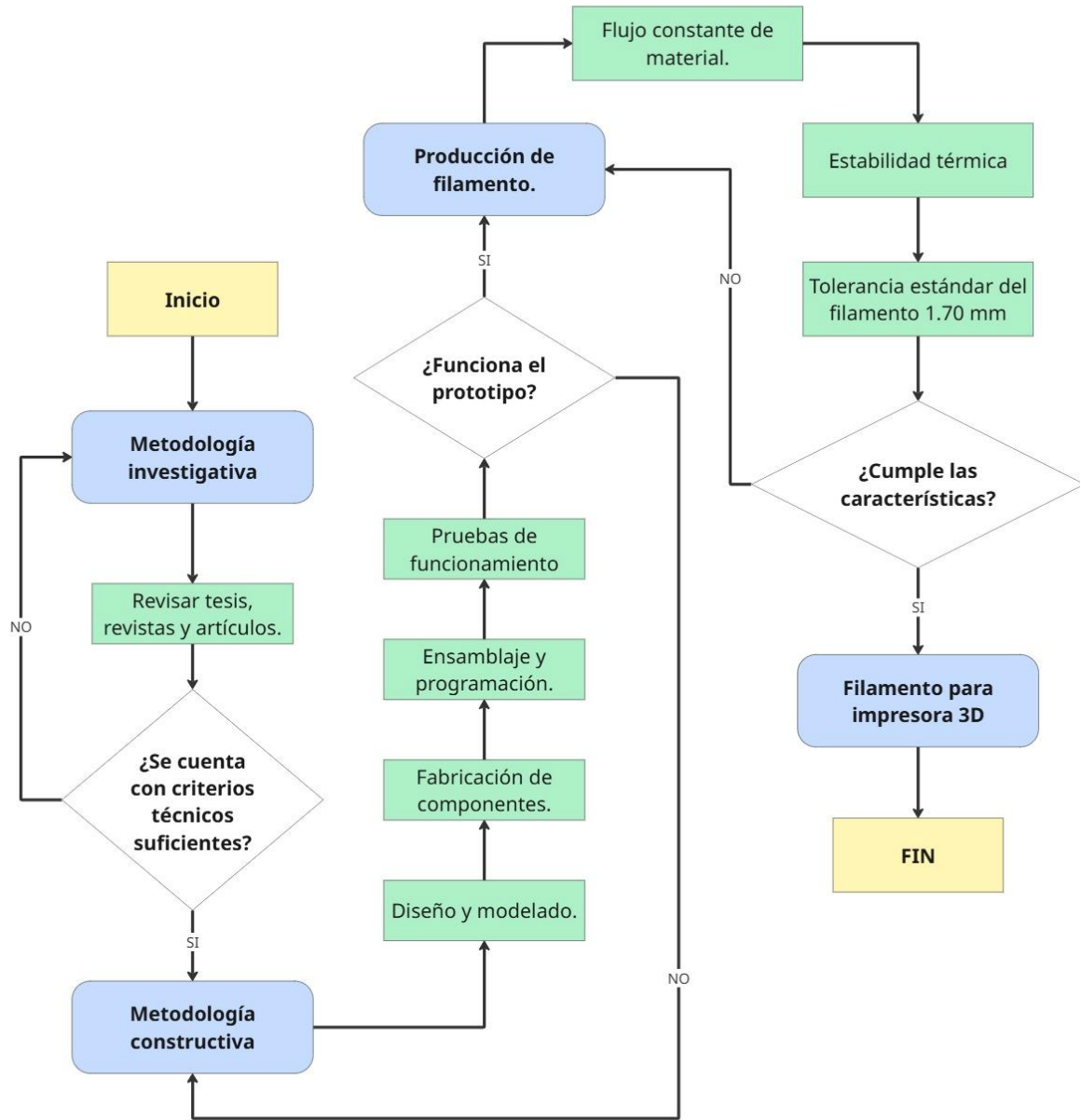


Figura 1: Diagrama de flujo, Metodología investigativa-constructiva.
Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO 2

2. Fundamentación Teórica.

En este capítulo se analiza el uso del PET reciclado para producir filamento de impresión 3D, destacando su aplicación en sistemas de reciclaje de plásticos. También se describen las propiedades del PET, los tipos de filamento más utilizados y los tipos de procesos de extrusión, con el fin de demostrar cómo el tratamiento adecuado de este material aporta a la innovación tecnológica ambiental.

2.1 Reseña histórica del PET.

El desarrollo de materiales plásticos comenzó a tomar relevancia hacia mediados del siglo XIX. En 1860, un concurso organizado por la empresa Phelan and Collander, que buscaba un sustituto para el marfil en la fabricación de bolas de billar, motivó al inventor estadounidense John Wesley Hyatt a experimentar con diversos compuestos. En 1869 logró sintetizar un material a partir de nitrato de celulosa tratado con alcanfor y alcohol, dando origen al celuloide, considerado el primer plástico maleable de uso comercial.

Ya en el siglo XX, entre 1939 y 1941, los químicos británicos J. Rex Whinfield y James T. Dickson, trabajando para la empresa Calico Printers Association, desarrollaron el polietilentereftalato (PET), al combinar ácido tereftálico con etilenglicol. Este nuevo polímero termoplástico destacó por su resistencia, transparencia y facilidad de procesamiento, lo que lo convirtió rápidamente en una opción valiosa para diversas aplicaciones industriales.

Fue en 1976 cuando el PET comenzó a utilizarse ampliamente para la fabricación de envases, especialmente botellas, debido a sus propiedades mecánicas, su ligereza y su capacidad de conservar el contenido sin alterar sus características. Este avance representó un cambio significativo en la industria del envasado, desplazando materiales tradicionales como el vidrio y el PVC, y consolidando al PET como uno de los polímeros más utilizados a nivel mundial (Becerra, 2022)

2.2 Historia del PET en el Ecuador

En Ecuador, el desarrollo de la industria del plástico a gran escala comenzó con la empresa Plásticos Industriales C.A. (PICA), que inició sus operaciones en 1964. Esta compañía se enfocó en el diseño, desarrollo y fabricación de diversos productos plásticos, siendo pionera en la producción de botas y calzado sintético, lo que representó un avance significativo en el sector manufacturero del país.

La producción basada en polímeros como el PET, mediante procesos de inyección, extrusión y soplado, se encuentra distribuida principalmente en tres zonas industriales: Pichincha concentra el 40,26 % de estas actividades, Guayas el 38,31 %, y el 21,43 % restante corresponde a otras provincias del territorio ecuatoriano (Mieles & Chimbo, 2011).

2.3 Impacto ambiental del PET en Ecuador y Cuenca

En Ecuador, el uso de plásticos de un solo uso como botellas y envases ha aumentado considerablemente durante los últimos años. Estos productos suelen ser desechados tras un solo uso, lo que ha generado un volumen preocupante de residuos en el entorno, se calcula que anualmente se producen más de 1500 millones de envases plásticos, de los cuales menos del 50 % se recicla o reutiliza; el resto termina en vertederos o disperso en el ambiente (Ministerio del Ambiente, 2017). Este comportamiento ha causado una acumulación crítica de desechos en varias regiones.

Las dificultades del reciclaje en el país se explican, en parte, por la falta de una cultura de separación y gestión de residuos, algunas jurisdicciones han implementado normativas locales para reducir el impacto ambiental del plástico, como la prohibición de productos desechables la ordenanza metropolitana en Quito, que prevé restricciones obligatorias a partir de 2024 (Concejo Metropolitano de Quito, 2021).

Según la Asociación Ecuatoriana de Plásticos (ASEPLAS, 2019), el sector productivo ha mostrado interés en incorporar materiales reciclados y avanzar hacia prácticas más sostenibles, sin embargo, las inversiones requeridas para lograr esta transición no siempre son viables, lo que limita una transformación técnica inmediata. Por otro lado, el marco legal vinculado a la economía circular aún está en proceso de desarrollo y no cuenta con mecanismos eficaces que garanticen su aplicación total (Portilla-Jiménez, 2022).

En la ciudad de Cuenca se han logrado avances importantes en el manejo de residuos, especialmente de PET, gracias a la implementación de estrategias basadas en la economía circular. Esto ha convertido a la ciudad en un referente del reciclaje a nivel nacional. El trabajo de las entidades públicas ha permitido recuperar más de 1.280 toneladas de PET, lo que evitó la emisión de aproximadamente 7.500 toneladas de CO₂ equivalente, evidenciando el impacto directo de una estructura organizada de reciclaje (Portilla-Jiménez, 2022). Los logros obtenidos están perseguidos por limitaciones técnicas relacionadas con la calidad del material reciclado, lo que restringe su aprovechamiento en aplicaciones de mayor exigencia, estas dificultades reflejan deficiencias en los procesos de separación, clasificación y tratamiento (Ministerio del

Ambiente, 2017). A esto se suma el rol económico y social que cumple la recolección, ya que muchas familias encuentran en esta actividad una fuente de sustento (Mercurio, 2024).

2.4 Características del PET y su reciclabilidad

2.4.1 Tipos de plásticos.

Los materiales plásticos presentan una amplia variedad de tipos, lo cual responde a las distintas propiedades físico-químicas y a los métodos de reciclaje específicos que requiere cada uno. Para facilitar su identificación y separación, se utiliza un sistema estandarizado conocido como SPI (Sistema de Identificación de Plásticos), como se muestra en la Figura 2, en el que se asigna un número dentro de un triángulo a cada tipo de polímero. El PET, por ejemplo, se identifica con el número 1 y es uno de los más utilizados en la fabricación de botellas para bebidas, textiles y envases para cosméticos. El Polietileno de Alta Densidad (PEAD), marcado con el número 2, se emplea en envases industriales, productos de limpieza y tuberías. Otros polímeros comunes incluyen el polipropileno (PP), identificado con el número 5 y el poliestireno (PS), con el número 6. Finalmente, el grupo 7 corresponde a los plásticos cuya composición es más compleja o incluye mezclas, por lo que su reciclaje es más limitado o requiere procesos específicos de separación (Giancarlo Ramos Espinosa, 2019).



Figura 2: Sistema de Identificación de Plásticos.
Fuente: (Giancarlo Ramos Espinosa, 2019)

2.4.2 Características de plásticos.

En este apartado se describen los diferentes tipos de plásticos comúnmente utilizados, identificados mediante sus respectivos códigos de reciclaje, esta clasificación es útil para reconocer qué materiales pueden ser reciclados o reutilizados en proyectos como el desarrollo de filamento para impresión 3D. En la Tabla 1 se detallan las propiedades y características de cada tipo de plástico.

Tabla 1: Características principales de cada tipo de plástico.

Tipo de Plástico	Nombre Completo	Temperatura de Fusión / Extrusión (°C)	Propiedades	Usos Comunes	Reciclabilidad
PET	Tereftalato de polietileno	250–265	Ligero, resistente, transparente, reciclable, estable térmicamente	Botellas, bandejas, fibras textiles, filamento 3D	Alta
HDPE	Polietileno de alta densidad	130–137	Resistente mecánicamente, impermeable, químicamente inerte	Botellas de limpieza, tuberías, bolsas reutilizables	Media-Alta
PP	Polipropileno	208–257	Ligero, resistente al impacto, reciclable, versátil	Envases, textiles, tapas, artículos domésticos	Media
PS	Poliestireno	200–220 (degradación)	Transparente, económico, fácil de esterilizar, baja reciclabilidad	Envases, cubiertos desechables, componentes electrónicos	Baja

Fuente: Elaboración propia.

En función de la Tabla 1 y considerando las propiedades de los distintos tipos de plásticos, se determina que el PET será utilizado como materia prima para la fabricación del filamento. Esto se debe a sus características físicas y térmicas favorables, así como a su alta reciclabilidad, el PET es ampliamente empleado en procesos de reciclaje por su resistencia, teniendo la capacidad de fundirse y moldearse sin perder sus propiedades esenciales, además el PET reciclado puede convertirse de manera eficiente en filamento para impresión 3D, permitiendo así dar un nuevo uso a botellas plásticas desechadas.

2.5 Tipos de filamento y propiedades.

El rendimiento y la calidad de los objetos fabricados mediante impresión 3D dependen en gran medida del tipo de filamento seleccionado. Cada material posee

características propias que definen su comportamiento durante el proceso de fabricación y su desempeño en el uso final (Lopez & Villamil, 2024). En impresoras Modelado por Deposición Fundida (FDM), los filamentos más utilizados incluyen PLA, ABS, PETG y TPU, cuyas características se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2: Características principales de cada tipo de filamento.

Tipo de Filamento	Propiedades Principales	Aplicaciones Comunes
PLA (1.75mm y 2.85mm)	Biodegradable, fácil de manipular, ideal para fines educativos y estéticos	Modelos educativos, decoración, prototipos
ABS (1.75mm y 2.85mm)	Alta resistencia térmica y mecánica, requiere buena ventilación por emisión de vapores	Piezas funcionales, carcasas, componentes estructurales
PETG (1.75mm y 2.85mm)	Buena resistencia mecánica, fácil de imprimir.	Piezas duraderas, componentes exteriores, soportes técnicos
TPU (1.75mm y 2.85mm)	Flexible, ideal para aplicaciones blandas como fundas, plantillas y ortopedia	Fundas, plantillas, dispositivos ortopédicos, componentes flexibles

Fuente: Elaboración propia.

2.6 Procesos de extrusión.

La extrusión es un proceso térmico que convierte plástico sólido en una forma continua y moldeable aplicando calor, como ocurre en el reciclaje de botellas PET (Bustos Seibert, 2020). Este método representa una alternativa práctica y funcional, que puede abordarse de dos maneras: cortando las botellas en tiras delgadas o triturándolas el material, en ambos casos el plástico preparado se introduce directamente en un extrusor, donde se funde y pasa a través de una boquilla que le da forma, generando un filamento uniforme apto para su uso en impresoras 3D. Esta técnica es especialmente útil en proyectos de pequeña o mediana escala, donde no se dispone de maquinaria industrial avanzada (Sandoval & Martinez, 2023).

Para llevar a cabo esta transformación existen 3 distintos tipos de extrusoras, cada una con características específicas que se adaptan a diferentes niveles de automatización, precisión y escala de trabajo como se muestra a continuación:

- Extrusores manuales. Requieren que el operador esté atento a todo el proceso, desde alimentar el material hasta controlar la temperatura y recoger el filamento. Aunque su precisión es limitada, son una buena opción para proyectos educativos, pruebas iniciales o contextos donde no se dispone de muchos recursos (Manoj Nikam, 2020).
- Extrusoras automáticas: Están diseñadas para trabajar con mayor independencia, incorporan sensores, controladores de temperatura y motores que regulan el avance del material fundido. Esto mejora la calidad del filamento sobre todo en lo relacionado con el diámetro y la homogeneidad, permitiendo una producción más estable y continua (Bustos Seibert, 2020).
- Extrusoras de laboratorio: Están enfocadas en investigación y desarrollo, se utilizan en universidades o centros tecnológicos, ya que permiten controlar con precisión variables como la presión, la velocidad, el calor o la viscosidad del material fundido. Estas máquinas son esenciales cuando se desea estudiar el comportamiento de diferentes tipos de plásticos reciclados y evaluar su rendimiento antes de escalar la producción (Peña & Mandón, 2024).

La selección del tipo de extrusora está determinada por factores como los objetivos del proyecto, la disponibilidad de recursos y el grado de precisión requerido. Para este proyecto se eligió el modelo de extrusor manual, ya que permite una operación semiautomatizada mediante la incorporación de algunos elementos automáticos, lo cual resulta adecuado para el reciclaje y aprovechamiento del PET.

2.7 Importancia de la reciclabilidad PET.

El reciclaje del PET impide que enormes cantidades de plástico acaben en los vertederos o se dispersen en el ambiente. Dado que este material puede tardar siglos en degradarse, su reutilización es esencial para reducir la contaminación, especialmente en los ecosistemas marinos (Mieles & Chimbo, 2011).

Reciclar PET disminuye la necesidad de fabricar nuevos plásticos a partir de petróleo y gas natural, lo que a su vez reduce el consumo de estos recursos no renovables y la energía que se emplea en su extracción y producción (Becerra, 2022). Además, la elaboración de productos a partir de PET reciclado requiere menos energía que la producción de plástico virgen, lo que se traduce en menores emisiones de gases de efecto invernadero y contribuye a mitigar el cambio climático.

En definitiva, el reciclaje del PET es clave para impulsar la sostenibilidad y la innovación, ya que promueve el manejo responsable de plásticos y el desarrollo de sistemas de reciclaje efectivos. Al aprovechar su alta reciclabilidad, se favorece la

economía circular y se reduce la acumulación de residuos, especialmente en ambientes marinos (Ministerio del Ambiente, 2017). Además, reciclar este material disminuye la demanda de materias primas no renovables y el consumo energético, lo que contribuye a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y fortalece las estrategias contra el cambio climático.

CAPÍTULO 3

3. Diseño del Prototipo

En este capítulo se habla sobre el desarrollo del prototipo, el mismo comenzó con una etapa de investigación en la que se revisaron diferentes fuentes, como trabajos académicos, artículos especializados y videos explicativos sobre sistemas de extrusión de filamento. Todo este material ayudó a entender con mayor claridad cómo funcionan estos sistemas y qué componentes los integran, lo que permitió avanzar con un diseño más adecuado a las necesidades del proyecto.

3.1 Revisión bibliográfica

Tabla 3: Artículos de prototipos de máquinas extrusoras de filamento.

Título / Fuente	Material y objetivo	Tipo de diseño
Prototipo máquina extrusora PET – (Herrarte López, 2024)	Botellas PET → filamento	Extrusora semiautomática
Automated PET Bottle Filament Machine – (Muhammad Meraj, 2025)	PET bottle strips → filament 1.75 mm	Sistema automatizado
Diseño y construcción extrusora PET reciclado – (Meza de Luna, García Reyes, González Herrada, & Sierra Ortiz, 2022)	Botellas PET → filamento 3 mm	Extrusora compacta
Filament maker PET – (Reyes & Chávez, 2023)	Botellas PET → filamento 1.5 mm	Sistema de corte + extrusión
Recycling PET Bottles into Usable Filament – (Muhammad Meraj, 2025)	Botellas PET → filamento 1.75 mm	Extrusor manual
Diseño triturador-extrusora PET – (Darwin Gustavo Sandoya Lara, 2021)	PET → filamento	Sistema trituradora-integrado
Rediseño extrusora PET – (Luis Humberto López-Flores, 2023)	Botellas PET → filamento 1.75 mm	Extrusora con enfriamiento y devanado

Fuente: Elaboración propia.

3.2 Modelado de partes del prototipo

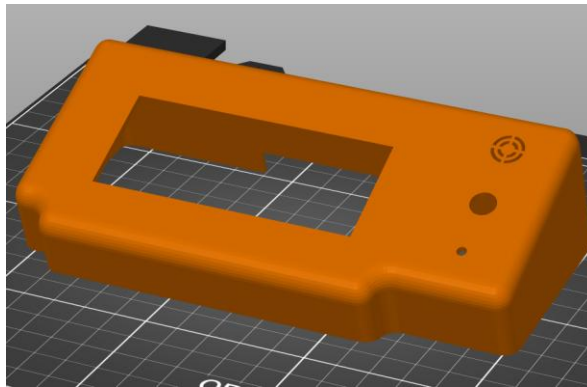
A partir del proceso de diseño e impresión 3D, se presentan a continuación las figuras que muestran todas las piezas que conforman el prototipo de la máquina extrusora de filamento. Estas piezas fueron modeladas utilizando el software Fusion 360, que permitió elaborar los planos y estructuras mecánicas con precisión. Para complementar el modelado y generar visualizaciones más detalladas, se empleó el programa Blender, facilitando la representación tridimensional del ensamblaje.

Finalmente, el software PrusaSlicer fue utilizado para preparar los archivos de impresión y optimizar los parámetros necesarios para la fabricación de cada componente mediante impresión 3D.

3.2.1 Piezas diseñadas en los programas mencionados

- **Carcasa Pantalla LCD.**

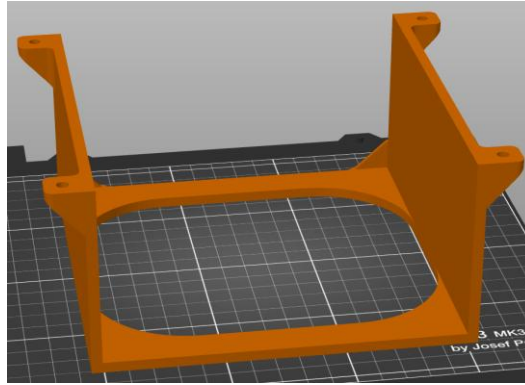
La carcasa de la pantalla LCD es una estructura de protección diseñada para alojar y asegurar la pantalla que forma parte del sistema de control, la cual permite al usuario interactuar con la máquina, visualizar los parámetros de operación y gestionar sus funciones de manera intuitiva. En la Figura 3 se muestra el modelado del diseño realizado en el software Prusa, donde se aprecian los elementos de sujeción y la forma adaptada a los componentes electrónicos.



*Figura 3: Carcasa para pantalla LCD.
Fuente: Elaboración propia.*

- **Carcasa para fuente de voltaje DC.**

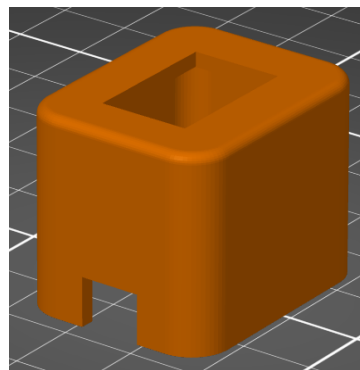
En la Figura 4 se muestra el modelado del diseño realizado en el software Prusa, correspondiente a la carcasa de la fuente de energía, la cual está diseñada para alojar, fijar y proteger la fuente de alimentación que energiza el sistema de la máquina extrusora de filamento, además contribuye a una mejor organización del cableado y a una ventilación adecuada que favorece el funcionamiento seguro y eficiente del sistema.



*Figura 4: Carcasa para fuente de voltaje DC
Fuente: Elaboración propia.*

- **Tapa Switch.**

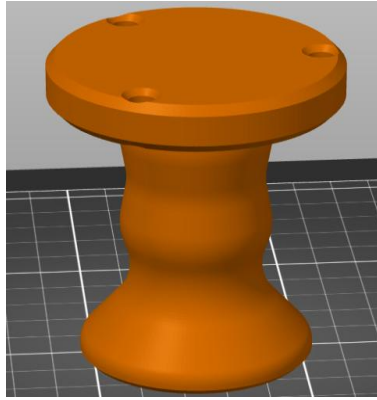
La tapa del switch está diseñada para alojar y fijar el interruptor encargado de controlar el encendido y apagado del sistema de corte automático de botellas. La figura 5 ilustra el modelado de esta pieza, realizado en el software Prusa, donde se aprecia su forma y funcionalidad como parte del sistema de corte automatizado.



*Figura 5: Tapa del Switch
Fuente: Elaboración propia.*

- **Apoyos para la base de la máquina extrusora de filamento.**

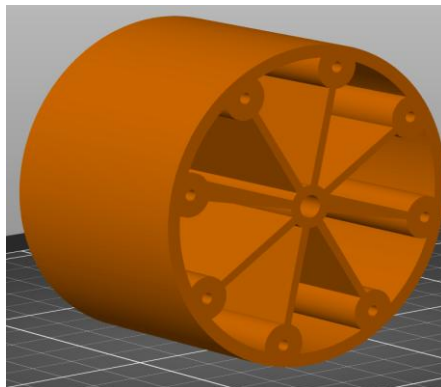
El diseño de los soportes evita que la máquina repose directamente sobre el suelo; este boceto fue desarrollado con el fin de garantizar la estabilidad y seguridad del sistema. El modelado de esta pieza fue realizado en el software Prusa y se presenta en la figura 6.



*Figura 6: Apoyos para la base de la máquina extrusora de filamento.
Fuente: Elaboración propia.*

- **Cilindro carrete de filamento.**

En la figura 7 se muestra el modelado del cilindro carrete de filamento, diseñado en el software Prusa. Esta pieza permite recoger y almacenar el filamento generado tras el proceso de extrusión, evitando enredos y pérdidas de material.



*Figura 7: Cilindros carrete de filamento.
Fuente: Elaboración propia.*

- **Engranaje del carrete de filamento del lado izquierdo y derecho.**

Los engranajes del carrete de filamento, ubicados en los lados izquierdo y derecho, controlan el giro del carrete mediante el motor para lograr un enrollado uniforme del filamento con la tensión adecuada; la figura 8 muestra el modelado del diseño realizado en el software Prusa.

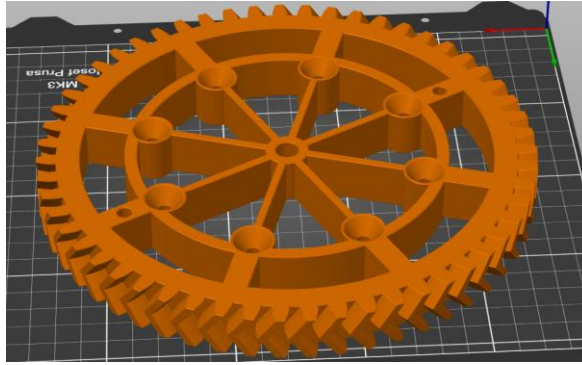


Figura 8: Engranaje del carrete de filamento lado izquierdo-derecho.
Fuente: Elaboración propia.

- **Espaciador**

La figura 9 muestra el modelado del espaciador diseñado en el software Prusa. Esta pieza asegura que las paredes de soporte mantengan la separación adecuada para el montaje del carrete de filamento, garantizando un ajuste preciso y estable.

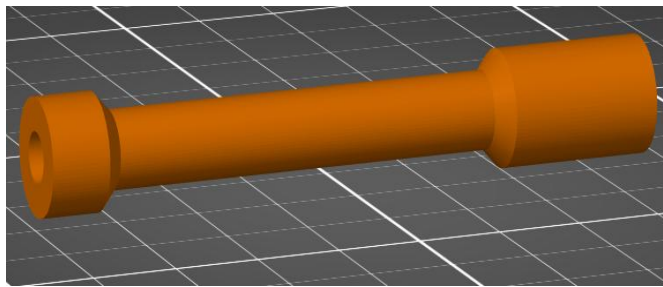
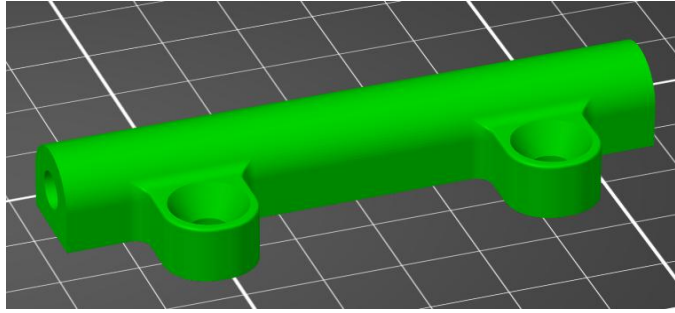


Figura 9: Espaciador.
Fuente: Elaboración propia.

- **Espaciador para tornillos.**

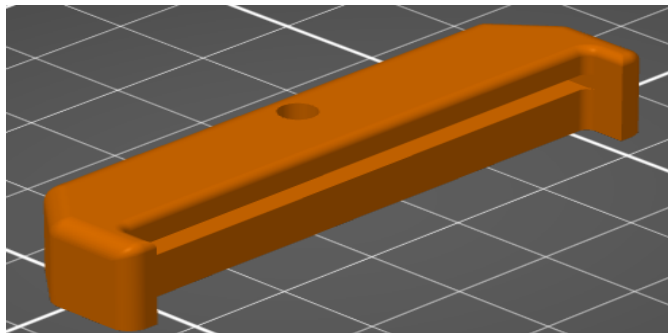
El espaciador para tornillos es un componente que se coloca entre piezas ensambladas para mantener una separación uniforme y, al mismo tiempo, contribuir a la fijación y estabilidad del conjunto. En la siguiente figura se muestra el modelado de esta pieza realizado en el software Prusa.



*Figura 10: Espaciador para tornillos.
Fuente: Elaboración propia.*

- **Soporte carcasa para Arduino.**

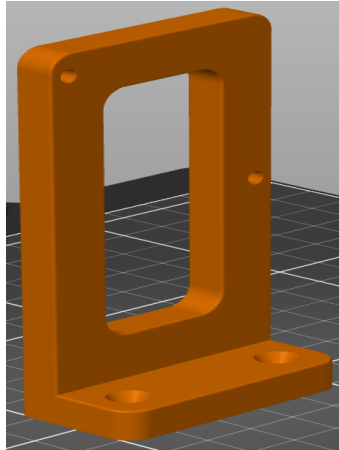
En la siguiente figura se muestra el modelado del espaciador para tornillos, realizado en el software Prusa. Este componente se coloca entre piezas ensambladas para mantener una separación uniforme y, al mismo tiempo, contribuir a la fijación y estabilidad del conjunto.



*Figura 11: Soporte carcasa para Arduino.
Fuente: Elaboración propia.*

- **Soporte ventilador.**

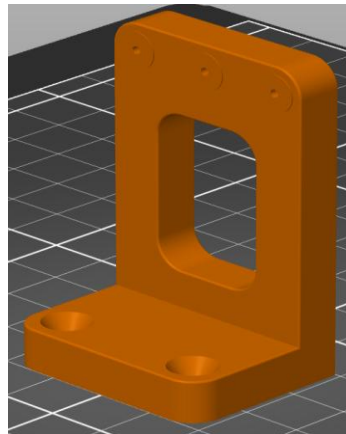
El soporte para ventilador 5015 está diseñado para fijar un ventilador de 50×15 mm en la posición adecuada, garantizando una correcta disipación del calor durante el proceso de extrusión del filamento. Esta pieza asegura una ventilación eficiente, evitando el sobrecalentamiento de los componentes cercanos al área de calentamiento y contribuyendo a la estabilidad térmica del sistema. El modelado de este diseño, realizado en el software Prusa, se presenta en la figura 12.



*Figura 12: Soporte ventilador.
Fuente: Elaboración propia.*

- **Sujetador Motor**

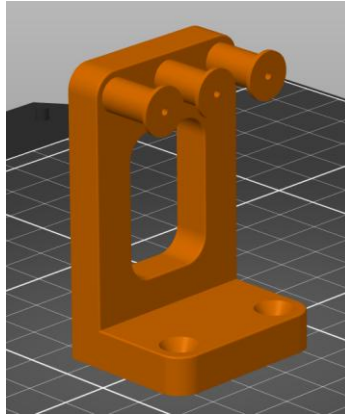
El sujetador de motor está diseñado para fijar y estabilizar el motor, minimizando vibraciones y asegurando su correcta alineación con los demás componentes del sistema. Como se observa en la figura 13, el modelado de esta pieza fue realizado en el software Prusa, permitiendo definir su forma y puntos de anclaje con precisión.



*Figura 13: Sujetador motor.
Fuente: Elaboración propia.*

- **Direccionador de PET.**

El direccionador de material PET guía y fija la tira plástica, evitando desplazamientos no deseados y asegurando su correcta alimentación hacia el extrusor. Como se muestra en la figura 14, esta pieza fue modelada en el software Prusa para garantizar un ajuste preciso dentro del sistema de alimentación.



*Figura 14: Direccionador de PET.
Fuente: Elaboración propia.*

- **Engranaje con adaptador al motor.**

La figura 15 muestra el modelado del engranaje con adaptador al motor, realizado en el software Prusa. Esta pieza transmite el movimiento del eje del motor al engranaje del carrete de filamento. El adaptador asegura un acoplamiento preciso, evitando deslizamientos y mejorando la eficiencia del sistema.



*Figura 15: Engranaje con adaptador al motor.
Fuente: Elaboración propia.*

- **Case protector para carrete de filamento.**

El protector para el carrete de filamento está diseñado para alojar el conjunto de componentes relacionados con el enrollado del filamento, incluyendo el engranaje del carrete, el cilindro de filamento, los engranajes con adaptador al motor y el motor. Su estructura permite fijar y organizar estas piezas de manera funcional; el modelado del diseño, realizado en el software Prusa, se presenta en la figura 16.

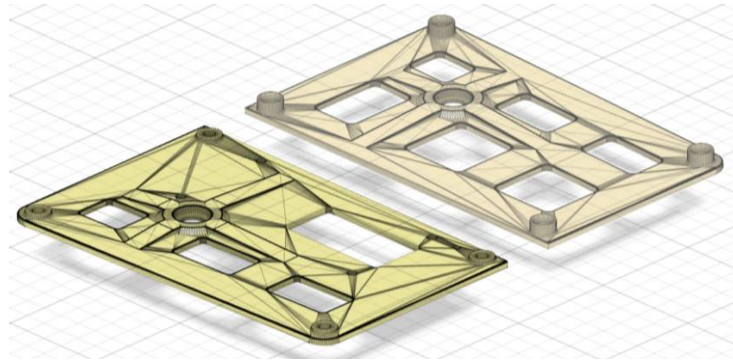


Figura 16: Protector para carrete de filamento.
Fuente: Elaboración propia.

- **Tapa superior.**

La tapa superior trabaja en conjunto con el cilindro base, formando un compartimento destinado a almacenar la cinta de PET obtenida del corte de botellas plásticas. El modelado de esta pieza, realizado en el software Prusa, se presenta en la figura 17.

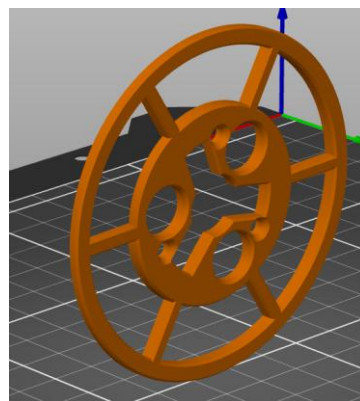
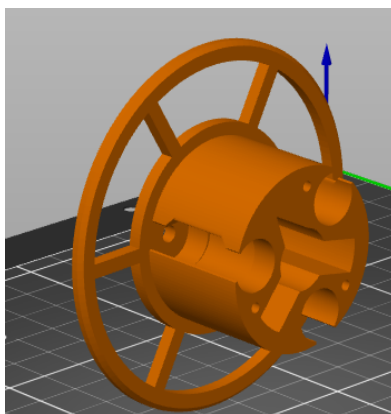


Figura 17: Tapa superior.
Fuente: Elaboración propia.

- **Cilindro base.**

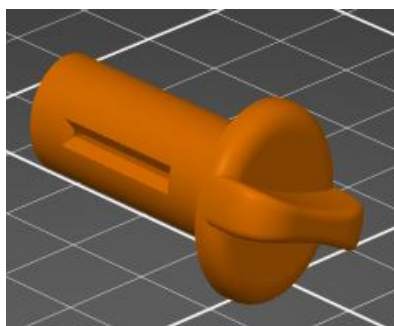
El cilindro base se encarga de almacenar la cinta plástica generada por el corte uniforme de la botella. Como se muestra en la figura 18, su giro es accionado por un sistema de engranajes conectado al mecanismo de corte, lo que permite un enrollado controlado del material.



*Figura 18: Cilindro base.
Fuente: Elaboración propia.*

- **Bobinador cilindro 1, 2 y 3.**

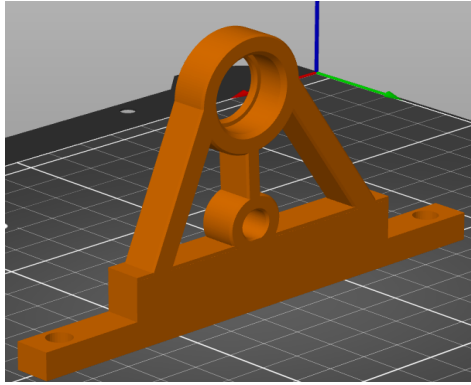
El bobinador del cilindro está compuesto por tres piezas que se ensamblan al cilindro base y se encargan de sujetar la cinta plástica, permitiendo que esta se mantenga ajustada mientras se enrolla el material PET; su modelado en el software Prusa puede apreciarse en la figura 19.



*Figura 19: Bobinador cilindro 1-2-3.
Fuente: Elaboración propia.*

- **Soporte para carrete.**

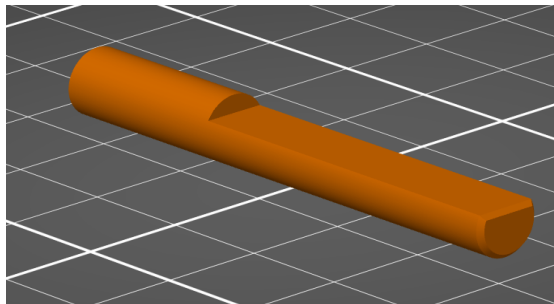
El soporte de carrete es una pieza diseñada para sostener el cilindro base ensamblado, permitiendo que gire libremente durante el desenrollado del filamento. El modelado de esta pieza, realizado en el software Prusa, se muestra en la figura 20 y permite visualizar cómo su estructura facilita el uso continuo y ordenado del filamento.



*Figura 20: Soporte para carrete.
Fuente: Elaboración propia.*

- **Soporte del eje.**

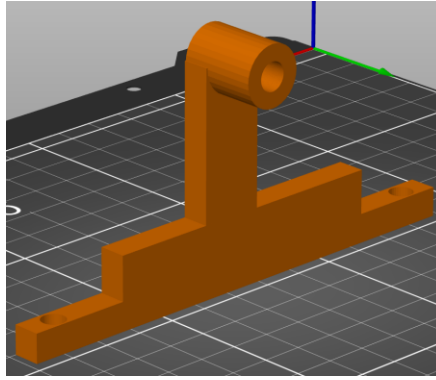
Es una barra cilíndrica diseñada para transmitir movimiento rotacional e incluye una ranura o rebaje que permite el acoplamiento seguro con los engranajes; su modelado, realizado en el software Prusa, puede observarse en la figura 21.



*Figura 21: Soporte del eje.
Fuente: Elaboración propia.*

- **Soporte para el eje.**

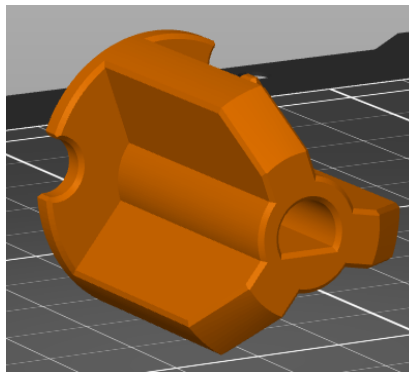
La figura 22 muestra el modelado, realizado en el software Prusa, de una estructura mecánica diseñada para sostener y alinear el eje o componente giratorio en posición elevada. Cuenta con una base firme para sujeción horizontal y un brazo vertical que finaliza en un orificio, el cual permite el paso del perno.



*Figura 22: Soporte para el eje.
Fuente: Elaboración propia.*

- **Sujetador para carrete.**

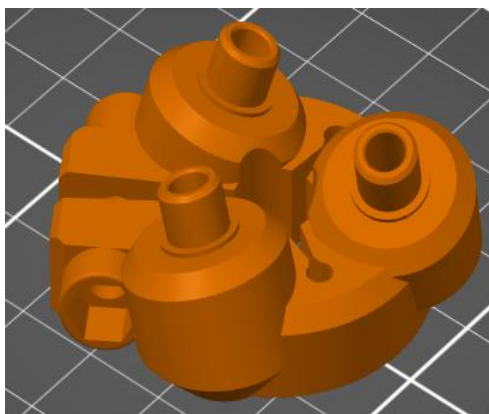
El sujetador de carrete es una pieza que se encarga de mantener fijo el carrete en su soporte, evitando que se mueva o se salga mientras gira; su modelado, elaborado en el software Prusa, puede observarse en la figura 23.



*Figura 23: Sujetador para carrete.
Fuente: Elaboración propia.*

- **Cuerpo contra peso.**

El cuerpo contrapeso en una botella plástica es una parte que se utiliza para evitar que la botella se caiga con facilidad, ayudando a mantenerla firme y estable. Como se observa en la figura 24, el modelado de esta pieza fue realizado en el software Prusa, permitiendo visualizar su forma y función dentro del sistema.



*Figura 24: Cuerpo contra peso.
Fuente: Elaboración propia.*

3.3 Mecanismo de corte de botella automático:

El mecanismo de corte automático para botellas es un sistema diseñado para facilitar el proceso de transformación de botellas plásticas (PET) en tiras o filamentos continuos, Este mecanismo automatiza una tarea que tradicionalmente se realiza de manera manual, incrementando notablemente la precisión, la velocidad y la eficiencia del corte, al mismo tiempo que reduce el esfuerzo físico del operador y mejora la seguridad del proceso. El sistema se compone generalmente de una estructura de soporte, un sistema de sujeción de la botella, una cuchilla o navaja de corte y un motor que impulsa el giro de la botella o el avance del mecanismo de corte. El funcionamiento inicia con la colocación de la botella previamente preparada (por ejemplo, sin tapa y sin fondo) en el soporte. Una vez ajustada en su posición, el sistema acciona automáticamente el giro de la botella gracias a un motor acoplado, mientras que la cuchilla se posiciona estratégicamente para realizar un corte en espiral continuo.

3.3.1 Partes diseñadas para máquina de corte automático.

- **Barra carrete eje 1.**

La figura 25 presenta el modelado de una versión más delgada y liviana del brazo de soporte, realizada en el software Prusa. Esta pieza está diseñada para aplicaciones donde no se requiere tanta resistencia estructural y es prioritario reducir al máximo el peso sin comprometer su funcionalidad.

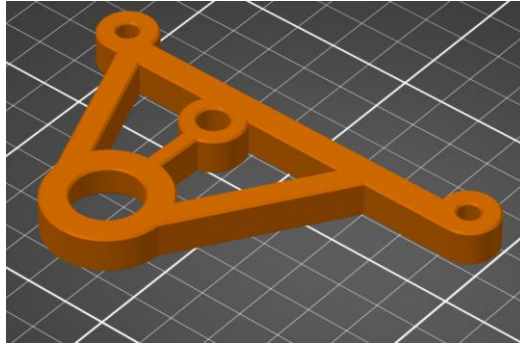


Figura 25: Barra para carrete eje 1.
Fuente: Elaboración propia.

- **Barra carrete eje 2.**

Es un brazo de soporte estructural con geometría triangular, diseñado para brindar alta rigidez y estabilidad con un peso reducido. El modelado de esta pieza, realizado en el software Prusa, se presenta en la figura 26.

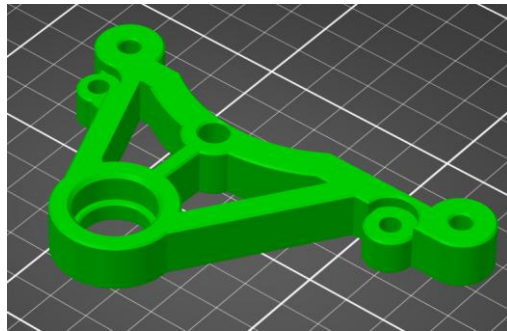


Figura 26: Barra carrete eje 2.
Fuente: Elaboración propia.

- **Barra estabilizadora de carrete.**

La figura 27 muestra el modelado del eje alargado, realizado en el software Prusa. Esta pieza está diseñada para mantener centrado y alineado el carrete durante su giro.

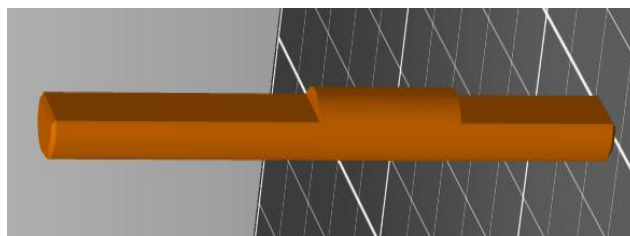
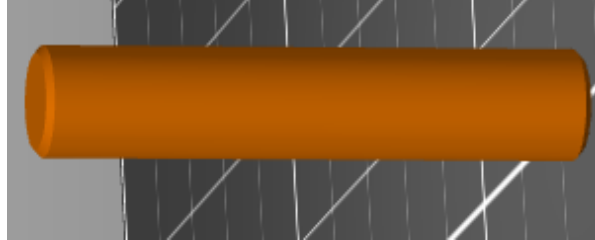


Figura 27: Barra estabilizadora de carrete.
Fuente: Elaboración propia.

- **Barra estabilizadora eje 2.**

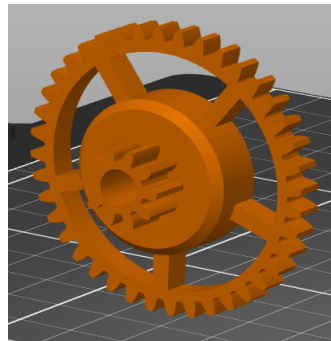
Su función principal es brindar soporte y rigidez estructural, manteniendo alineadas dos o más partes del sistema. Como se observa en la figura 28, el modelado de esta pieza fue realizado en el software Prusa, destacando su diseño orientado a garantizar estabilidad en el ensamblaje.



*Figura 28: Barra estabilizadora eje 2.
Fuente: Elaboración propia.*

- **Engranaje 5 transmisión para eje 1.**

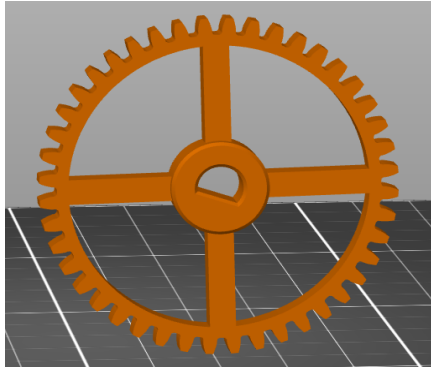
Es una rueda dentada con brazos radiales y un centro sólido que mejora su resistencia y permite una conexión firme con los demás ejes. El modelado de esta pieza, realizado en el software Prusa, se presenta en la figura 29.



*Figura 29: Engranaje 5 para transmisión eje 1.
Fuente: Elaboración propia.*

- **Engranaje 6 transmisión para eje 2.**

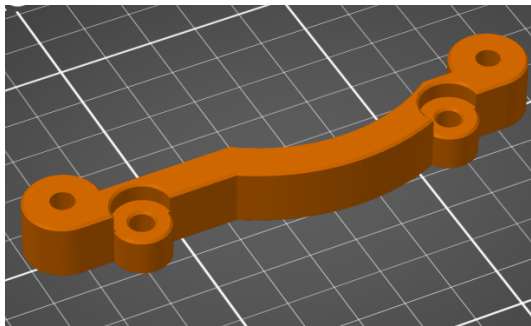
Es una rueda dentada que transmite movimiento rotatorio; este diseño reduce el peso del engranaje sin comprometer su resistencia, optimizando el uso de material y manteniendo su funcionalidad mecánica. El modelado de esta pieza, elaborado en el software Prusa, se muestra en la figura 30.



*Figura 30: Engranaje 6 para transmisión eje 2.
Fuente: Elaboración propia.*

- **Barra estabilizadora.**

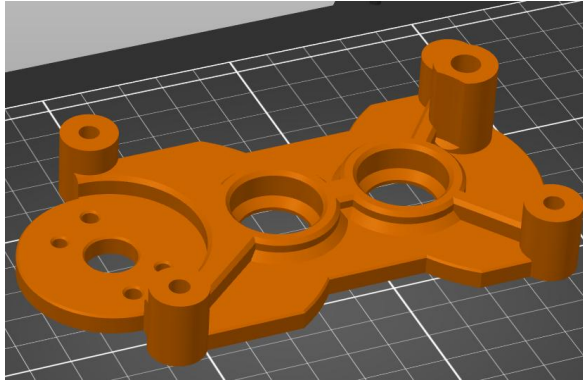
La figura 31 presenta el modelado de una pieza cuya función principal es proporcionar estabilidad al conjunto, absorbiendo vibraciones o fuerzas laterales que puedan afectar el correcto funcionamiento del sistema. El diseño fue realizado en el software Prusa, optimizando su forma para un soporte efectivo.



*Figura 31: Barra estabilizadora.
Fuente: Elaboración propia.*

- **Base superior.**

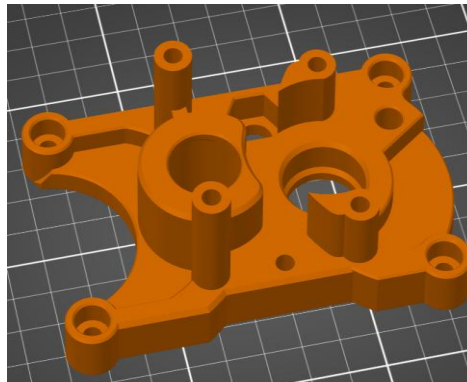
Esta placa proporciona estabilidad mecánica, facilita el ensamblaje del mecanismo y contribuye a un movimiento suave y eficiente de las partes conectadas. El modelado de esta pieza, realizado en el software Prusa, se presenta en la figura 32.



*Figura 32: Base superior.
Fuente: Elaboración propia.*

- **Cubierta de rodamiento.**

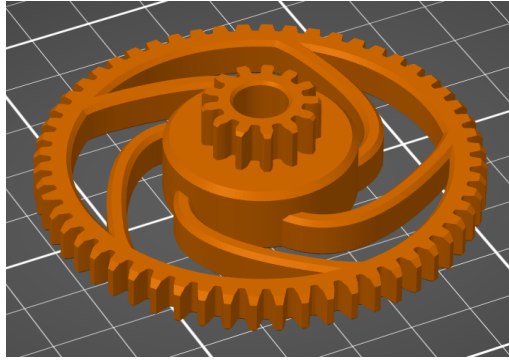
Su función principal es brindar estabilidad al sistema, asegurar el correcto posicionamiento de las piezas y facilitar el montaje del conjunto mecánico; su modelado, elaborado en el software Prusa, puede observarse en la figura 33.



*Ilustración 33: Cubierta de rodamiento.
Fuente: Elaboración propia.*

- **Engranaje 2 transmisión inferior.**

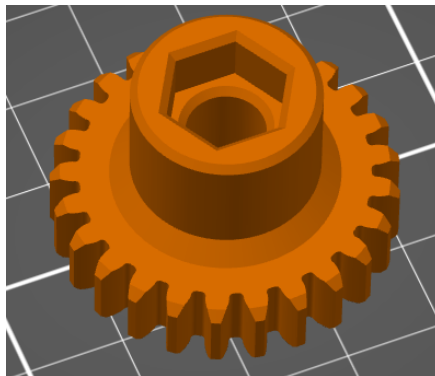
Este tipo de engranaje se utiliza para transmitir potencia con alta eficiencia y permite variaciones en velocidad y torque en espacios compactos. Como se muestra en la figura 34, el modelado del diseño fue realizado en el software Prusa para garantizar precisión en su geometría y funcionamiento.



*Figura 34: Engranaje 2 para transmisión.
Fuente: Elaboración propia.*

- **Engranaje 3 transmisión de corte 1.**

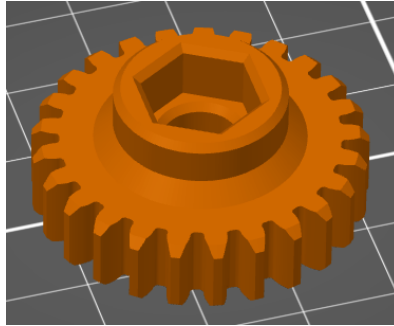
La figura 35 muestra el modelado del engranaje cilíndrico con buje alargado, realizado en el software Prusa. Esta pieza mejora el acoplamiento con ejes largos, aportando mayor estabilidad y alineación durante su funcionamiento.



*Figura 35: Engranaje 3 para transmisión de corte 1.
Fuente: Elaboración propia.*

- **Engranaje 4 transmisión de corte 2.**

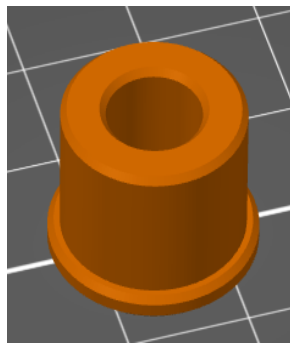
La figura 36 muestra el modelado de un engranaje cilíndrico con dientes rectos y un buje central de baja altura, realizado en el software Prusa. Esta pieza está diseñada para transmitir movimiento rotacional en espacios reducidos, optimizando el uso del espacio sin comprometer la eficiencia mecánica.



*Figura 36: Engranaje 4 para transmisión de corte 2.
Fuente: Elaboración propia.*

- **Espaciador.**

Su función es garantizar una distancia precisa, evitar el contacto directo entre elementos y permitir una correcta alineación o montaje de partes mecánicas o electrónicas; su modelado, elaborado en el software Prusa, se presenta en la figura 37.



*Figura 37: Espaciador.
Fuente: Elaboración propia.*

- **Soporte de cortadora.**

La figura 38 muestra el modelado de una pieza diseñada para mantener el motor estable y alineado, realizado en el software Prusa. Su función principal es reducir vibraciones y evitar desplazamientos que puedan afectar el correcto funcionamiento del sistema.

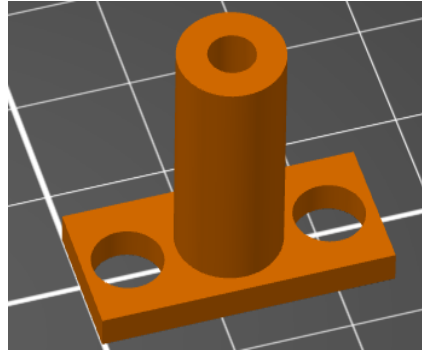


Figura 38: Soporte de cortador.
Fuente: Elaboración propia.

3.4 Diseño final simulado.

Representación visual del prototipo completamente ensamblado, mostrando la disposición final de todos los módulos y sistemas integrados. En la figura 40 se muestra el modelado del diseño en el Software blender.

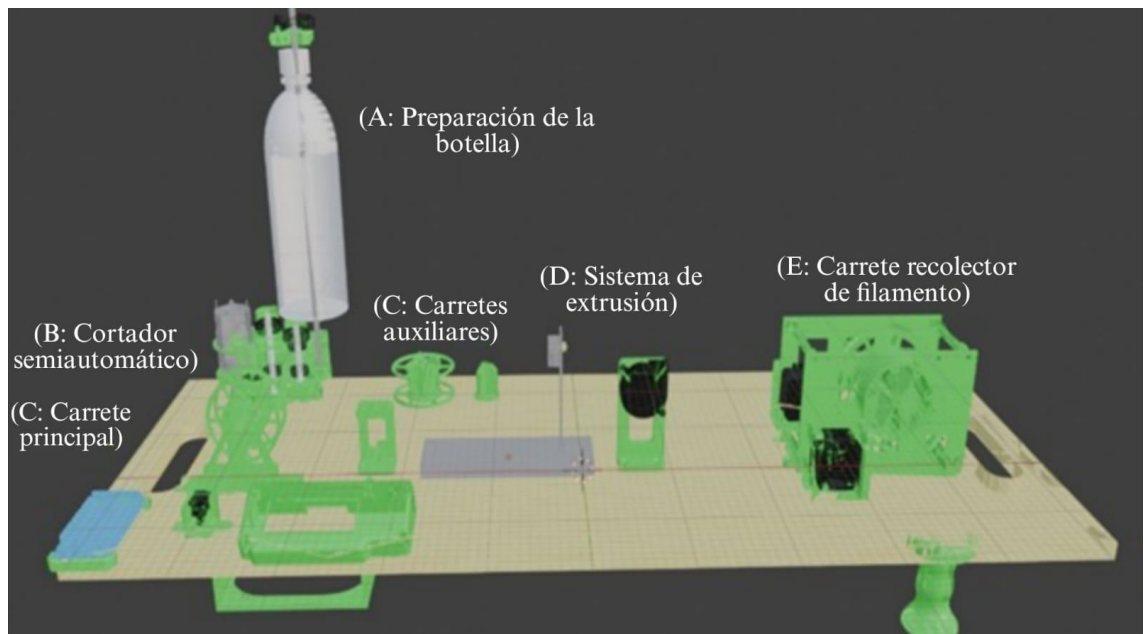


Figura 39: Diseño prototipo de Blender.
Fuente: Elaboración propia.

- A. El proceso de funcionamiento del sistema inicia con la preparación de las botellas plásticas PET. Estas botellas deben estar previamente limpias y libres de etiquetas para garantizar una extrusión de calidad. Una vez seleccionadas, se procede a insertarlas en el cortador semiautomático de botella.

- B. El cortador semiautomático es un módulo especialmente diseñado para transformar la botella en una tira continua de plástico, este cortador cuenta con un sistema de guía que permite sujetar firmemente la botella a un carrete motorizado. A medida que el mecanismo corta la botella en espiral, la tira resultante se enrolla automáticamente sobre el primer carrete de almacenamiento. Este sistema asegura una alimentación continua y uniforme del material sin intervención constante del usuario.
- C. El diseño incorpora tres carretes de almacenamiento independientes; uno de ellos funciona como carrete principal y se activa durante el proceso de corte de la botella, mientras que los otros dos cumplen funciones secundarias. Estos carretes auxiliares entran en operación cuando el principal ya contiene una tira plástica, permitiendo continuar con la recolección sin interrupciones. Su ubicación ha sido estratégicamente planificada para evitar enredos o interferencias tanto en la etapa de corte como en el posterior proceso de extrusión. De este modo, mientras una tira ya cortada se encuentra en proceso de extrusión, los carretes secundarios pueden recolectar nuevas tiras provenientes de otras botellas y así optimizar la eficiencia del sistema.
- D. Sistema de extrusión: En esta etapa, el carrete cargado con la tira de PET se coloca en una posición específica dentro del módulo de extrusión. Desde allí, se realiza una nueva guía manual hacia un segundo carrete, ubicado al otro extremo del sistema, el cual será el encargado de recolectar el filamento resultante.

El extrusor se calienta mediante una resistencia de niquelina y es controlado por un microcontrolador Arduino Mega junto con una Shield RAMPS 1.4. Este sistema monitorea y regula con precisión la temperatura. Cuando el sensor detecta que el extrusor ha alcanzado los 250 °C, que es la temperatura óptima para fundir el PET sin degradarlo, se activa automáticamente el motor del

carrete de salida. Este carrete recoge el filamento que comienza a generarse tras el paso de la tira plástica por el extrusor.

- E. El Bobinado se realiza de forma automática, una vez que la tira ha sido completamente extruida y el filamento ha sido enrollado en su totalidad, se detiene el motor, se retira el carrete final con el filamento listo para impresión 3D, y se reemplaza por uno nuevo, repitiendo nuevamente el proceso con otra tira plástica.


3.5 Sistema de extrusión.







Se utilizó un extrusor manual en la fase inicial del proyecto para validar el proceso de extrusión. Este sistema permitió alimentar manualmente tiras de PET, regular la temperatura y recolectar el filamento, aunque su precisión es limitada, facilitó la identificación de parámetros clave como el punto de fusión del material, lo que sirvió de base para el diseño de una extrusora semiautomática más precisa.


3.6 Sensores, Controladores y Sistemas de Comunicación.

Para garantizar un funcionamiento preciso y automatizado del sistema de la máquina, se incorporan sensores de temperatura, controladores electrónicos y módulos de comunicación que permiten la interacción entre los distintos componentes. Estos elementos son esenciales para monitorear en tiempo real las condiciones del proceso, regular el comportamiento del extrusor y activar mecanismos auxiliares como ventiladores o motores de arrastre. A continuación, en la Figura se muestran las características generales del sistema de sensores, controladores y comunicación implementado en el prototipo, mientras que en la Tabla 4 se detallan las características específicas de cada uno de los elementos utilizados.

Tabla 4: Características principales de cada elemento utilizado.

Componente	Descripción técnica	Función principal en el sistema	Espacio para imagen
Termistor NTC	Aleación metálica resistente a altas temperaturas (hasta 800 °C).	Elemento que monitorea la temperatura.	

Microcontrolador Mega	ATmega2560, 54 pines digitales, 16 canales analógicos, 16 MHz, UART/SPI.	Control central del sistema.	
Shield RAMPS 1.4	Placa de expansión para controladores de impresoras 3D, compatible con Arduino Mega.	Integra el control de motores, sensores y alimentación.	
Ventilador de extrusor	12V DC, 40x40 mm, velocidad 5000 RPM.	Enfría el hotend para evitar obstrucciones por sobrecalentamiento.	
Motor de alto par	Motor paso a paso NEMA 17, 1.8°/paso, 2.5A, torque de 4.2 kg·cm.	Arrastra el filamento durante la extrusión.	
Pantalla LCD 128x64	Pantalla gráfica monocromática, interfaz SPI o paralelo, resolución 128x64 píxeles.	Permite visualizar parámetros y controlar manualmente el sistema.	
Extrusor	Hotend tipo MK8, temperatura máxima 250 °C, boquilla de 0.4 mm, compatibilidad con PLA/PET.	Funde el PET para generar el filamento mediante boquilla.	

<p>Motor paso a paso</p>	<p>Modelo 42 HDC 3025-24B, bipolar, NEMA 17, voltaje 12V, torque de 4.2 kg·cm.</p>	<p>Activa el carrete o impulsa el filamento.</p>	
--------------------------	--	--	---

Fuente: Elaboración propia.

Capítulo 4

4. Construcción

Este capítulo describe el proceso de construcción del prototipo a partir de la impresión de las piezas y su posterior ensamblaje. Cada componente fue fabricado utilizando impresión 3D, lo que permitió obtener formas precisas y funcionales con materiales accesibles. Una vez impresas, las piezas se limpiaron, ajustaron y ensamblaron manualmente, incorporando también los elementos electrónicos y mecánicos necesarios para el funcionamiento del sistema y se muestran los resultados y problemáticas que pasaron en el transcurso de su desarrollo.

4.1 Descripción del proyecto

La construcción de la máquina extrusora de filamento comienza a partir del análisis de prototipos existentes y de referencias documentadas mencionadas en la tabla, se definió un enfoque metodológico para la construcción de una máquina extrusora de filamento, parcialmente adaptada a las necesidades del sistema PichayBot.

Una vez ya acabado el diseño de cada una de las piezas se comenzó la impresión de cada una de ellas, al inicio se imprimió en un filamento plomo para verificar que cada pieza encaje para su ensamblado, después de comprobar que cada pieza impresa estaba lista se continuó a imprimir en un filamento color verde el mismo esta pieza ya sería la pieza final.

Después de imprimir todas las piezas necesarias se seleccionó el extrusor de una impresora 3D antigua para utilizarlo como bloque calefactor, ya que este componente permite alcanzar temperaturas adecuadas para fundir el PET reciclado, para el sistema de control se empleó una placa Arduino Mega con su respectivo Shield RAMPS 1.4, y una fuente de alimentación recuperada de un computador, la cual proporciona el amperaje necesario para calentar el bloque hasta los 250 °C. Esta temperatura fue establecida como referencia técnica obtenida de la Tabla 1 la cual menciona las características del material PET para comenzar a fundir las tiras plásticas.

Para garantizar un funcionamiento preciso del sistema se realizaron pruebas de calidad, primero se llevaron a cabo pruebas mecánicas orientadas a verificar el correcto ensamblaje y operación de los principales componentes, tales como el arranque del motor, el torque de empuje del extrusor y la alineación entre el carrete, la boquilla y el sistema de tracción, durante este proceso se evaluó la estabilidad del conjunto durante su funcionamiento continuo, prestando especial atención a posibles vibraciones o desajustes durante el proceso de extrusión.

En la parte térmica se realizaron pruebas de control y estabilidad de temperatura monitoreando el comportamiento del sistema con la ayuda de un termistor tipo NTC, el cual fue conectado directamente a la RAMPS 1.4. Se utilizó control por firmware (Marlin) con configuración PID (Proporcional-Integral-Derivativo), para asegurar que la temperatura se mantuviera estable en el rango de trabajo sin sobrepasar los valores críticos. También se midió el tiempo promedio que tardaba en alcanzar los 250 °C estando de arranque en frío estando en un aproximado de 2 a 3 minutos, así como su capacidad para mantener esa temperatura durante ciclos prolongados de extrusión.

Una vez alcanzada la temperatura óptima el sistema activa de forma directa el carrete de recolección de filamento, que comienza a girar automáticamente para enrollar la tira plástica fundida, antes de llegar al carrete se colocó un ventilador orientado hacia el filamento recién extruido con el fin de enfriarlo para evitar deformaciones.

Los resultados obtenidos fueron contrastados con los estándares de calidad recomendados para filamento producido a partir de botellas PET recicladas. El filamento generado fue medido con un calibrador digital que presentó un diámetro de 1.75 mm y una ovalidad menor a 0.05 mm el cual cumplen con la especificación técnica mencionadas en la Tabla 2 la cual menciona las características del tipo de filamento, lo cual garantiza su compatibilidad con impresoras 3D y asegura una extrusión estable. La temperatura de extrusión se mantuvo dentro del rango recomendado de 240 °C a 260 °C.

Todo este proceso permite garantizar que el sistema funcione correctamente tanto en la fusión del material como en la recolección del filamento, asegurando una producción continua, eficiente y con resultados técnicamente aceptables para su aplicación en impresión 3D

En esta fase el material PET fue transformado en filamento para impresoras 3D evaluando la eficiencia del proceso, la calidad del producto final y la estabilidad del sistema. Los resultados permitieron validar la capacidad de la máquina para operar de manera semiautomática y eficiente en conjunto con la PICHAYBOT.

4.2 Ensamblaje de componentes

Para desarrollar el prototipo se llevó a cabo el modelado digital de todas las piezas necesarias mediante software de diseño asistido por computadora, lo que permitió representar cada componente con precisión antes de su fabricación. Se diseñaron elementos como la carcasa del extrusor, la tolva de alimentación, los soportes para el motor, los acoples y las piezas de estructura, considerando dimensiones

exactas, tolerancias de montaje, espacios de ventilación y compatibilidad entre componentes. El objetivo fue asegurar que todo el sistema pudiera ensamblarse correctamente y funcionar de forma estable, los diseños fueron elaborados en un entorno virtual utilizando tres softwares: Fusion 360, Blender y PrusaSlicer. Esta etapa facilitó la visualización del conjunto completo, permitiendo anticipar errores y realizar correcciones oportunas. Este proceso fue clave para garantizar que la máquina final tuviera una estructura compacta, eficiente y adecuada para transformar botellas recicladas en filamento útil para impresión 3D

4.3 Pasos para realizar prototipo de máquina para generar filamento a partir de botellas plásticas.

4.3.1 Preparación de la botella

Es necesario realizar una serie de pasos de preparación que aseguren tanto la calidad del material como el correcto funcionamiento del sistema de corte automático. Esta fase preliminar es fundamental para evitar obstrucciones, cortes irregulares o contaminación del filamento final. Se recomienda utilizar botellas de PET transparentes y limpias, ya que este tipo de plástico ofrece mejor calidad para la extrusión y mayor compatibilidad con impresoras 3D. Deben evitarse botellas arrugadas, deformadas o que hayan contenido sustancias corrosivas, a continuación, se muestran los pasos para preparar la botella antes de comenzar el proceso de generación de filamento.

A continuación, se detallan las etapas del proceso de preparación:

- **Limpieza:** La botella debe lavarse adecuadamente para eliminar residuos líquidos o restos del contenido original, esto previene impurezas y posibles obstrucciones durante el corte o extrusión. Se puede usar agua como se visualiza en la figura 40.



*Figura 40: Limpieza de la botella.
Fuente: Elaboración propia.*

- **Retiro de la etiqueta:** El proceso de retiro de etiquetas es una etapa fundamental previa al corte de las botellas, ya que la mayoría de envases PET

cuentan con etiquetas de papel o plástico adheridas con pegamento. Estas deben ser retiradas por completo, ya que pueden contaminar el filamento, dificultar el corte o incluso dañar la cuchilla del sistema. En la figura 41 se muestra de manera clara este procedimiento de retiro de la etiqueta.



Figura 41: Retiro de la etiqueta.
Fuente: Elaboración propia.

- **Eliminación de la tapa y el anillo de seguridad:** Se debe quitar la tapa roscada, así como el anillo de seguridad que suele quedar en el cuello de la botella como se muestra en la figura 42. Estos elementos son generalmente de un tipo de plástico diferente al PET como HDPE o PP.



Figura 42: Eliminación de la tapa y el anillo de seguridad.
Fuente: Elaboración propia.

- **Corte de la base de la botella:** La base de la botella se corta cuidadosamente con una herramienta filosa, como una cuchilla o unas tijeras, dejando una superficie plana que facilite el inicio del corte en espiral. El proceso de corte se muestra en la figura 43.



Figura 43: Corte de la base de la botella.
Fuente: Elaboración propia.

4.3.2 Cortador de botellas

El cortador de botellas plásticas ha sido diseñado con tres módulos principales:

- Pasador de botella
- Carrete contenedor de tira plástica
- Mecanismo de corte

Cada uno de estos componentes desempeña una función esencial en el proceso de transformación del material, desde el posicionamiento y corte de la botella hasta la recolección automatizada de la tira generada. En la figura 40 se muestra el diseño de máquina para cortar botellas por etapas en el software blender.

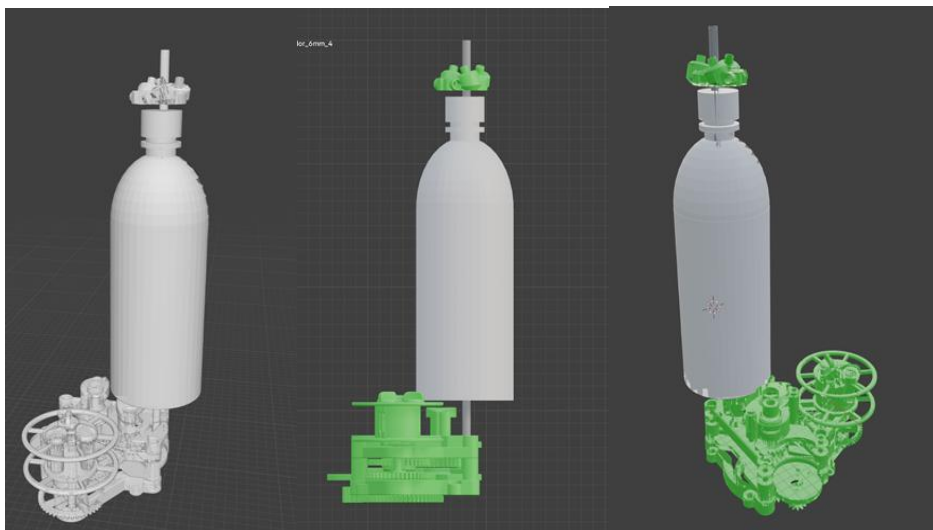


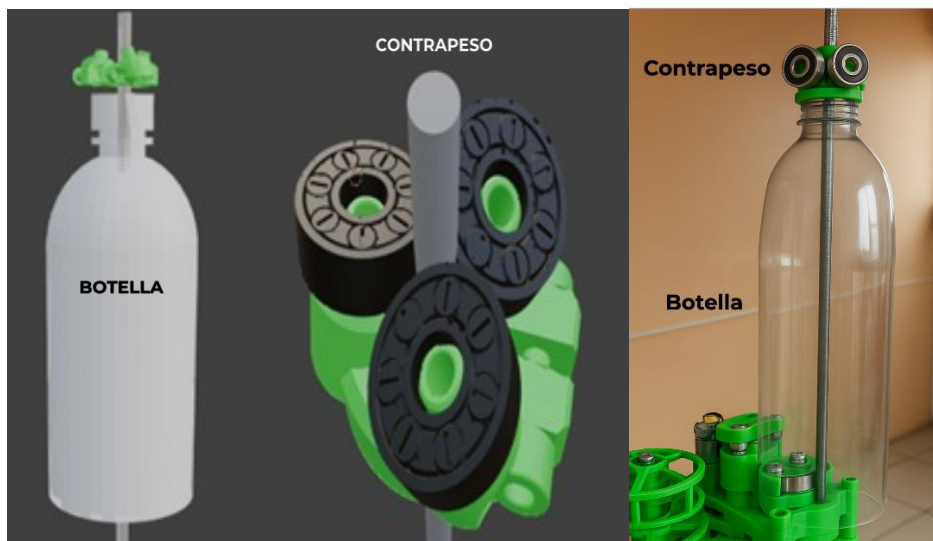
Figura 44: Diseño para corte de botella en Blender.
Fuente: Elaboración propia.

- **Pasador y contrapeso**

El pasador de botella está diseñado para guiar y sostener la botella plástica durante el proceso de corte, está compuesto principalmente por una varilla lisa y un conjunto de rodamientos que cumplen una doble función: actuar como guía deslizante y proporcionar el peso necesario para mantener la botella en su posición. Este mecanismo se observa en la figura 45.

El mecanismo de corte constituye el núcleo funcional del sistema. Está conformado por un conjunto de engranajes de transmisión y un motor de corriente continua (DC), cuya función es amplificar el torque generado por el motor para lograr un corte preciso y constante de las botellas.

Dentro del sistema se utiliza un contrapeso de 40 g, ya que proporciona la presión justa para estabilizar la botella durante el corte y permite obtener tiras plásticas uniformes. Pesos menores o mayores afectaban la calidad del corte, lo que comprometía la extrusión del filamento.



*Figura 45: Pasador de botella.
Fuente: elaboración propia.*

- **Motor DC de alto par:** Su función es proporcionar la energía cinética inicial necesaria para accionar todo el sistema. El motor de alto par, ampliamente utilizado en aplicaciones electrónicas y mecánicas, se caracteriza por generar una fuerza de giro suficiente para realizar tareas exigentes, como arrastrar, empujar o mantener el movimiento de cargas con resistencia. En la figura 46 se muestra la estructura diseñada para instalar el motor DC de alto par.



Figura 46: Diseño para motor DC de alto par.
Fuente: Elaboración propia.

- **Eje de transmisión:** Encargado de transferir la fuerza desde el motor hacia el carrete, impulsando su rotación. En la figura 47 se muestra el ensamblaje del motor DC de alto par con su transmisión.

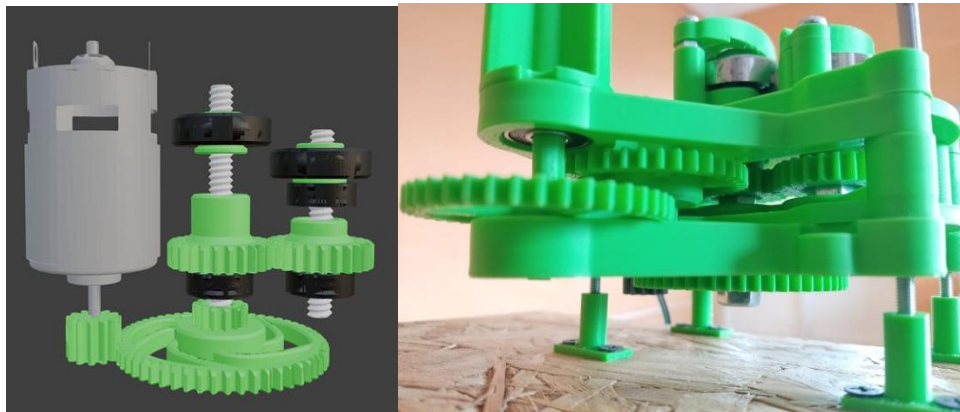
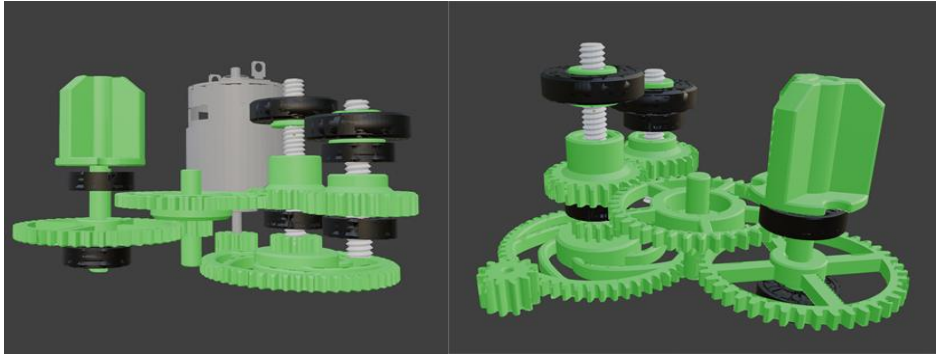


Figura 47: Eje de transmisión.
Fuente: Elaboración propia.

- **Conjunto de engranajes**

El uso de engranajes en el diseño se basa en principios mecánicos ampliamente aplicados en la industria, desde sistemas de transmisión en automóviles hasta mecanismos de precisión. En este caso se emplearon engranajes en conjunto con un motor de alto par para amplificar el movimiento rotativo y generar un torque mayor, la configuración incluye engranajes grandes acoplados a engranajes pequeños, lo que establece una relación de transmisión reductora que permite que un motor de baja velocidad, pero con alto torque ejecute tareas mecánicamente exigentes sin sobrecalentarse ni perder eficiencia, la disposición de los engranajes garantiza una transmisión de movimiento estable y sincronizada, evitando deslizamientos y

asegurando una distribución uniforme del esfuerzo entre los ejes. Gracias a esta amplificación de fuerza el sistema puede cortar las botellas con mayor precisión y eficiencia, así como bobinar automáticamente la tira plástica en el carrete correspondiente. En la figura 48 se indica el conjunto de engranajes utilizado en el prototipo



*Figura 48: Conjunto de engranajes.
Fuente: Elaboración propia.*

- **Construcción:**

El proceso de fabricación comienza con la verificación y preparación de los modelos 3D diseñados en Autodesk Fusion 360. Cada geometría se revisa para eliminar caras invertidas o volúmenes no sólidos, y se ajustan las tolerancias de encaje (0,1–0,2 mm según eje). A continuación, los archivos se exportan como STL con resolución media (0,2 mm de desviación) y se disponen en “planos de impresión” estratégicamente: las piezas más grandes y con base plana se orientan contra la cama, los engranajes se colocan en horizontal para minimizar soportes, y los pasadores se imprimen verticales para optimizar su rigidez superficial. Para la impresión se utiliza filamento PLA+ de 1,75 mm con boquilla a 205 °C y cama a 60 °C, configurando un relleno del 30 % y capas de 0,20 mm. Durante los primeros milímetros se comprueba la adherencia de la primera capa ajustando la nivelación si es necesario; luego, cada treinta minutos se monitorea la estabilidad de la temperatura y se verifica la ausencia de atascos.

Una vez completada la impresión, las piezas se desmoldan cuidadosamente de la cama de impresión y se procede al post-procesado. Primero, se retiran los soportes con destreza utilizando cuchillas de precisión y alicates de punta fina. A continuación, se realiza un lijado suave con lija de grano 400 en todas las superficies de encaje y punto de unión, garantizando tolerancias dimensionales de $\pm 0,1$ mm. Este paso asegura un ajuste perfecto y evita holguras o interferencias durante el ensamblaje final del dispositivo. En la figura 49 y 50 se muestran las piezas impresas.



Figura 49: Piezas impresas y terminadas.
Fuente: Elaboración propia.

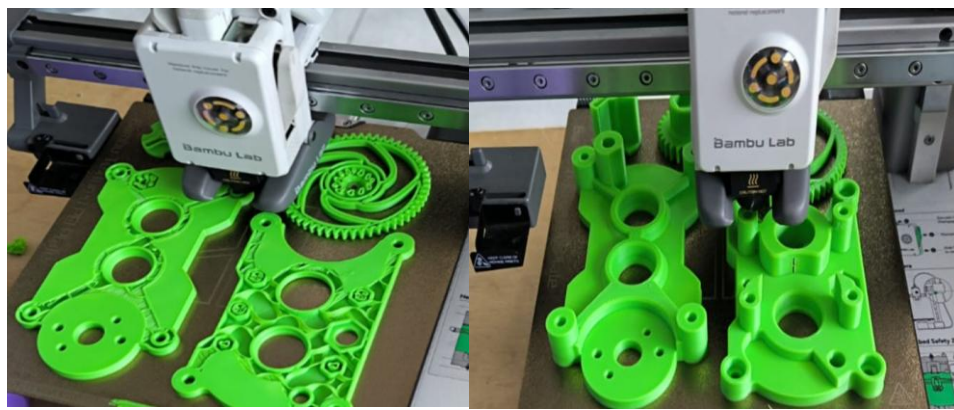


Figura 50: Piezas impresas y terminadas.
Fuente: Elaboración propia.

- **Ensamblaje de piezas:**

Para el ensamblaje del sistema de corte automático, se comenzó identificando y clasificando todas las piezas impresas en 3D, verificando su compatibilidad con los componentes mecánicos. Posteriormente, se procedió al montaje de la base estructural, sobre la cual se fijaron los soportes del motor, las guías del mecanismo de corte y los ejes de movimiento. Las piezas fueron unidas utilizando tornillería adecuada, asegurando estabilidad y una correcta alineación entre cada módulo.

Se integró el motor de alto par con el sistema de engranajes que transmite directamente el movimiento hacia la cuchilla cortadora, sin necesidad de control mediante microcontrolador. La activación del corte se realiza de forma mecánica al energizar el sistema, lo que permite una operación automática sin intervención electrónica adicional.

Todo el conjunto fue ajustado y probado manualmente para asegurar un funcionamiento fluido, libre de fricciones excesivas o desalineaciones. Para completar

el proceso, se incorporó un carrete de recolección, el cual permite recoger automáticamente las tiras plásticas generadas tras el corte.



*Figura 51: Cortador de botella con carrete recolector.
Fuente Elaboración propia.*

4.3.3 Sistema de extrusión

El proceso comienza con el bloque calefactor, una estructura que alberga los componentes que calientan el material plástico. Este bloque es crucial porque proporciona el calor necesario para que el plástico se derrita y pueda ser moldeado. Dentro del bloque calefactor, se coloca una niquelina, que es una resistencia eléctrica que se calienta al pasar corriente por ella. La niquelina está diseñada para generar el calor suficiente para fundir el plástico de manera controlada.

Acompañando a la niquelina, se encuentra un termistor, que es un sensor de temperatura que permite medir y regular la temperatura dentro del bloque calefactor. El termistor se comunica con el sistema de control, asegurando que la temperatura no exceda los límites necesarios para derretir el material sin dañarlo. Este control preciso de la temperatura es fundamental para evitar que el plástico se sobrecaliente o se derrita de manera inadecuada, lo que afectaría la calidad del filamento.

Una vez que el material alcanza la temperatura adecuada, el plástico fundido es forzado a pasar a través de una boquilla. Esta boquilla tiene un diámetro específico, en este caso de 1,75 mm, que es el tamaño estándar para el filamento utilizado en muchas impresoras 3D. La boquilla es esencial para dar forma al filamento y asegurarse de que sea uniforme en grosor a lo largo de todo su recorrido.

El control de todo el proceso de extrusión está a cargo de un Arduino Mega junto con su shield RAMPS 1.4, los cuales actúan como el cerebro del sistema. Esta combinación permite gestionar funciones clave del extrusor, como el calentamiento del

bloque mediante niquelina, el ajuste de la velocidad de extrusión y la regulación de la temperatura en tiempo real, gracias a la lectura constante proporcionada por un termistor.

Este sistema de control garantiza una operación precisa, estable y continua, lo cual es fundamental para obtener un filamento de calidad uniforme. En la figura 52 se muestra el esquema de conexión del Arduino Mega con la RAMPS 1.4 y los componentes electrónicos que intervienen en el proceso, facilitando la comprensión del circuito y su funcionamiento integrado.



Figura 52: Extrusor de filamento.
Fuente: Elaboración propia.

4.3.4 Sistema de ventilación y recolección de filamento

A medida que el extrusor produce el filamento, este material fundido es dirigido a través de la boquilla, donde se forma un filamento de plástico continuo. Para mantener la calidad del filamento y evitar deformaciones, es necesario enfriarlo rápidamente. Un ventilador situado después de la boquilla sopla aire frío sobre el filamento, ayudando a que se solidifique y conserve su diámetro adecuado. Luego, el filamento enfriado es transportado hacia un carrete, donde se recoge y se almacena.



Figura 53: a) Sistema de enfriamiento b) Sistema de recolección de filamento.
Fuente: Elaboración propia.

El carrete está accionado por 2 motores que enrollan el filamento mientras es producido, estos motores aseguran que el filamento se almacene de manera ordenada y sin enredos, listo para ser utilizado en impresoras 3D. Cada motor es un motor de tipo Nema 17 es muy común en proyectos de impresión 3D, CNC y sistemas de automatización, debido a su precisión de movimiento, alto torque para su tamaño y fácil control.



*Figura 54: Motores paso a paso.
Fuente: Elaboración propia.*

4.3.5 Cerebro de la máquina

El sistema de control del proyecto se basa en un Arduino Mega acompañado de un Shield RAMPS 1.4. El Arduino Mega actúa como la unidad central de procesamiento, coordinando todas las acciones de la máquina, mientras que el Shield RAMPS 1.4 se encarga de manejar los componentes de hardware, como los motores, los sensores de temperatura y otros mecanismos eléctricos. Para la interacción con el usuario, se utiliza una pantalla que muestra información en tiempo real sobre el estado de la máquina, como la temperatura de los componentes y el progreso del proceso de extrusión. La pantalla también permite al operador ajustar parámetros de funcionamiento, como la temperatura y la velocidad de ventilador, ofreciendo un control completo sobre el sistema.



*Figura 55: Sistema de control.
Fuente: Elaboración propia.*

4.3.6 Esquema de conexión de la RAMPS 1.4 en el prototipo.

En las figuras 56, 57 y 58 se presentan ilustraciones simuladas a escala, elaboradas en el programa Tinkercad, que muestran de forma clara y ordenada las conexiones entre la placa Shield RAMPS y los distintos componentes electrónicos del sistema. En estas representaciones se observa la distribución de conexiones hacia el motor paso a paso, el sistema de extrusión y la fuente de energía, lo que facilita la comprensión del esquema general de conexión de los elementos eléctricos y electrónicos del prototipo.

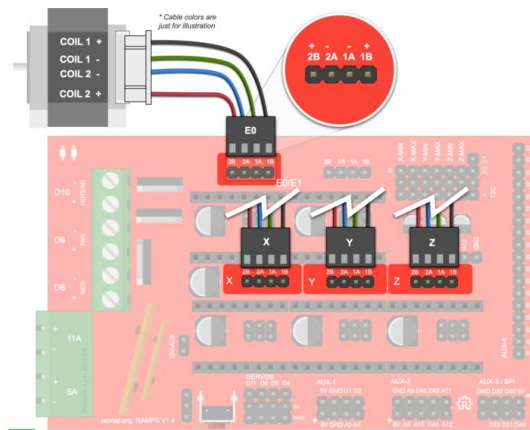


Figura 56: Conexión motores paso a paso a RAMPS.
Fuente: Elaboración propia.

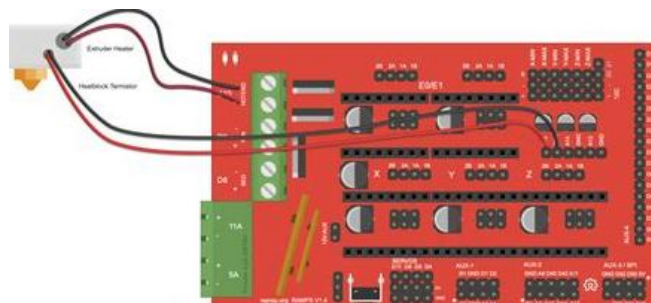


Figura 57: Conexión extrusora a RAMPS.
Fuente: Elaboración propia.

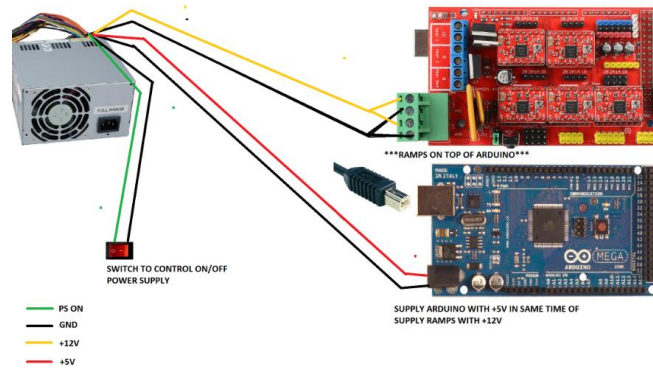


Figura 58: Conexión de Alimentación para Mega y RAMPS.
Fuente: Elaboración propia.

4.4 Sistema de Control y Programación

4.4.1 Sistema de programación.

Este diagrama representa el proceso de compilación e interconexión del firmware Marlin para impresoras 3D. Inicia con el archivo "Makefile", que ejecuta la compilación, y continúa con la carga del archivo principal "Marlin.ino", el cual integra configuraciones esenciales (Configuration.h), avanzadas (Configuration_adv.h) y asignación de pines (pins RAMPS.h). Finalmente, se incorpora "Version.h" para definir información del firmware. Cada bloque del diagrama refleja cómo estos archivos se relacionan entre sí y qué fallos pueden presentarse en cada etapa. En la figura 51 se muestra el diagrama de flujo de la programación.

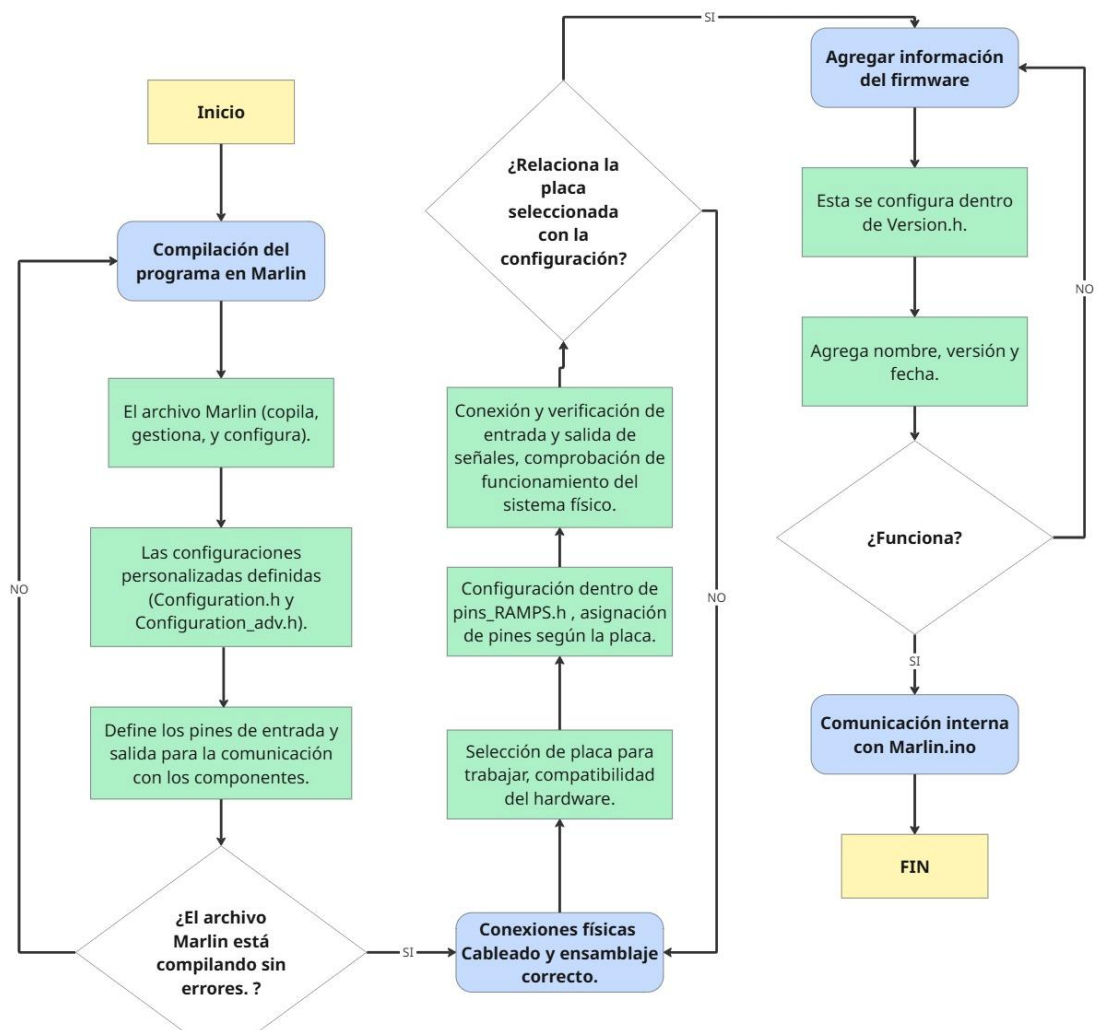


Figura 59: Diagrama de flujo del sistema de programación.
Fuente: Elaboración propia.

4.4.2 Sistema de control

El sistema de control está conformado por componentes mecánicos y electrónicos mencionados en la tabla 4. que intervienen en el funcionamiento del sistema de extrusión de filamento. Su principal función es gestionar el envío y recepción de señales que permiten activar cada etapa del proceso mencionada en el diagrama de flujo, desde el movimiento de motores hasta el control de temperatura. Para su operación, es necesario energizar el sistema y cargar previamente el programa en la placa Arduino. Una vez iniciado, el sistema ejecuta automáticamente cada instrucción según la lógica definida en el módulo de programación, asegurando que todas las acciones se desarrollen de forma coordinada y precisa.

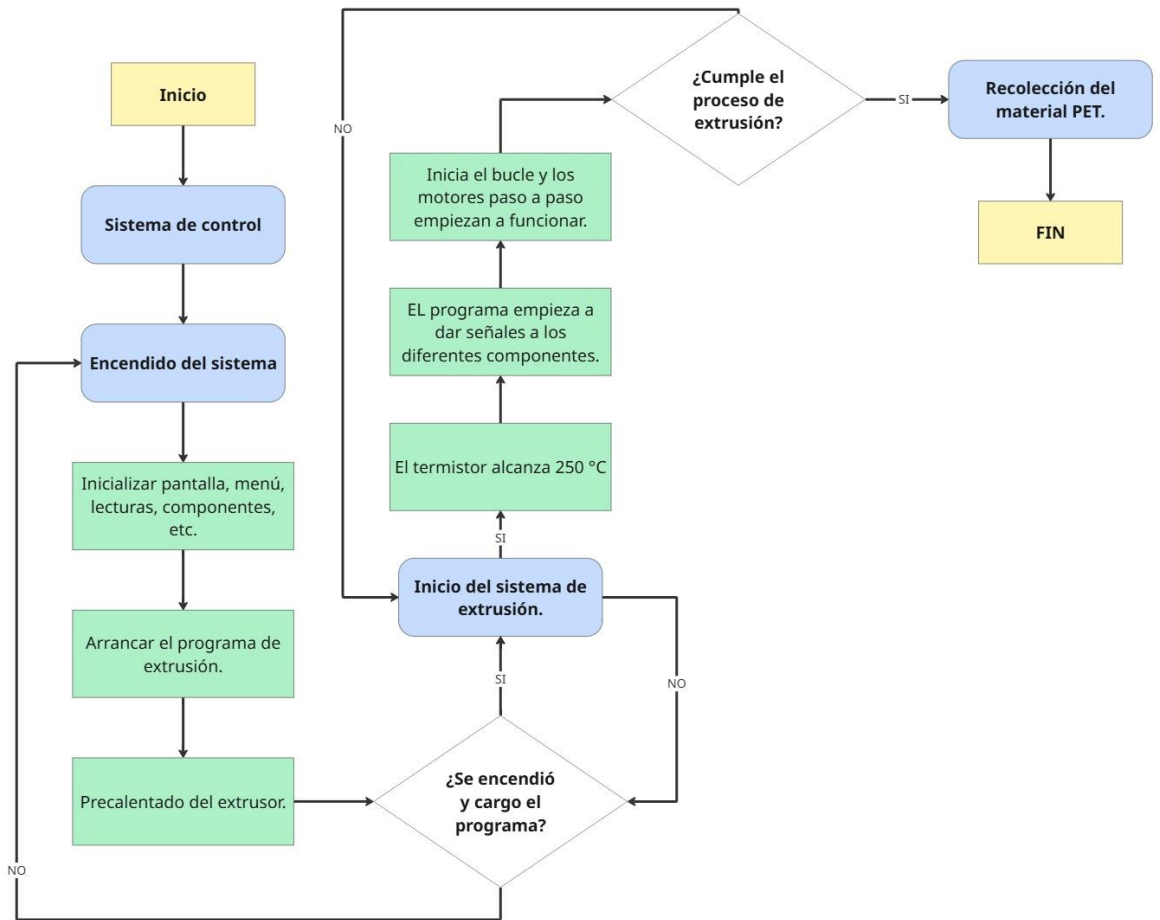


Figura 60: Diagrama de flujo del sistema de control.
Fuente: Elaboración propia.

4.5 Modelo completo del prototipo de la máquina extrusora de filamento.

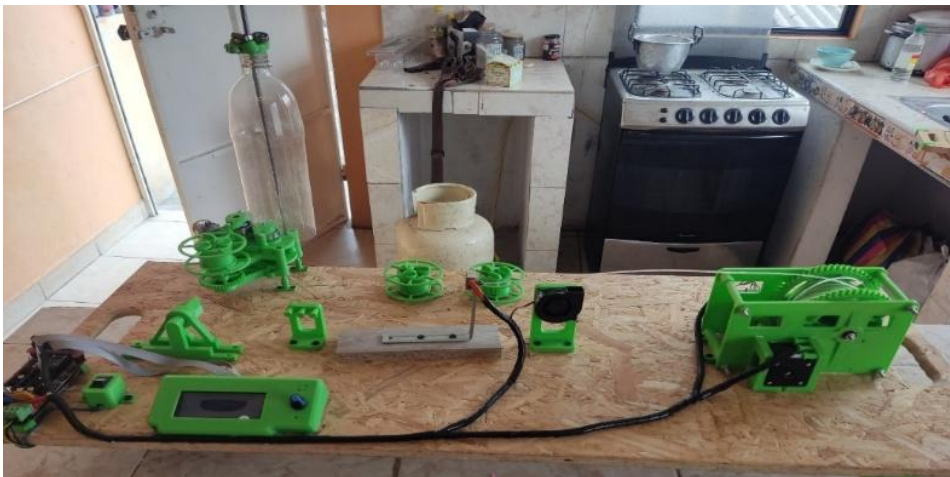


Figura 61: Prototipo finalizado.
Fuente: Elaboración propia.

Capítulo 5

5. Resultados

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos durante las etapas de estudio, fabricación, pruebas de funcionamiento y evaluación del primer prototipo de la máquina extrusora de filamento a partir de tiras plásticas de botellas PET. A lo largo del desarrollo del proyecto se identificaron diversos factores técnicos que influyeron en la operatividad del sistema, especialmente en el proceso de alimentación del material y en la extrusión continua del filamento.

Las pruebas iniciales permitieron detectar fallas relacionadas con la estabilidad térmica, el arrastre de la tira plástica y la calidad del filamento generado. Estos aspectos fueron analizados y corregidos progresivamente, lo cual facilitó identificar áreas de mejora en el diseño mecánico y en el control térmico del extrusor. Además, los resultados obtenidos fueron comparados con investigaciones previas y parámetros técnicos establecidos en la literatura, con el objetivo de validar la funcionalidad general del sistema y sustentar futuras optimizaciones.

Los resultados no solo buscan exponer las posibles fallas identificadas durante el funcionamiento del prototipo, sino también proporcionan una base técnica que sirva como punto de partida para el perfeccionamiento del diseño y la implementación de nuevas soluciones en el ámbito del reciclaje de PET para impresión 3D.

5.1 Evaluación de corte de la botella.

En la versión inicial del sistema, el proceso de corte de las botellas PET se realizaba manualmente mediante una cuchilla fija y una varilla enroscada que debía ser girada a mano para deslizar la botella y generar las tiras. Este método requería esfuerzo físico constante, presentaba variaciones en el ancho del material cortado y dificulta la continuidad del proceso. En la figura 62 se muestra la manera en que se cortaba la botella manualmente.



Figura 62: Cortador manual de botellas.
Fuente: Elaboración propia.

En cambio, el nuevo sistema implementado en esta etapa del proyecto incorpora un motor de alto par, capaz de girar la botella con fuerza y estabilidad, junto con un conjunto de engranajes que transmiten el movimiento de manera eficiente. Esta mejora permite obtener cortes uniformes, reducir el tiempo de operación y eliminar la necesidad de intervención manual constante, lo cual incrementó notablemente la productividad y la precisión del sistema de alimentación hacia la extrusora y en la figura 63 se muestra el sistema de corte automático de la botella.



Figura 63: cortador automático de botellas.
Fuente: Elaboración propia.

Fue necesario realizar varias pruebas de resistencia mecánicas a todas las piezas impresas para el cortador de botellas, se realizaron pruebas como resistencia al peso de los componentes, pruebas de desgaste mientras giran los mismos, durante las primeras fases se identificaron fallas estructurales en algunas piezas, las cuales se fracturan debido a la fuerza y el peso que debían soportar durante el funcionamiento del sistema. Ante esta problemática, se realizaron ajustes en los parámetros de impresión,

específicamente aumentando la cantidad de capas y el porcentaje de relleno en los engranajes críticos, al inicio se imprimió con una cantidad de relleno menor al 60% y se facturó, el relleno recomendado para que pueda resistir supera el 70%. Esta optimización permitió mejorar significativamente la resistencia y durabilidad de los componentes, asegurando un desempeño más estable y prolongado del mecanismo de transmisión. En la figura 64 se observa el quiebre de algunas piezas que fueron impresas al inicio con un relleno menor al 60%.



*Figura 64: Piezas defectuosas del primer prototipo.
Fuente: Elaboración propia.*

Durante el proceso de corte de botellas PET se identificaron irregularidades en el grosor de las tiras plásticas obtenidas. Estas inconsistencias se deben principalmente a la falta de estabilidad de la botella durante el corte. Cuando el sistema no dispone de un contrapeso apropiado, la botella tiende a rebotar, lo cual genera tiras demasiado delgadas o incluso fragmentadas, que no cumplen con los parámetros adecuados para ser utilizadas en el proceso de extrusión. En las figuras 65 y 66 se mencionan ejemplos de tiras plásticas defectuosas que no cumplen los parámetros adecuados.







*Figura 65: Tira plástica fragmentada.
Fuente: Elaboración propia.*





Figura 66: Tira plástica delgada.
Fuente: elaboración propia.

Durante el corte también se evidenció también que un exceso de contrapeso afecta negativamente el proceso, ya que la presión excesiva sobre la botella produce tiras plásticas demasiado gruesas, afectando la calidad del filamento. Para mejorar esta condición, se diseñó un contrapeso impreso en 3D, adaptado a la varilla guía utilizada en el corte. El ajuste del peso se realizó mediante la incorporación de rodamientos, permitiendo evaluar tres configuraciones distintas: Se utilizaron tres contrapesos con diferentes masas: uno liviano de 25 g, un peso intermedio de 40 g y uno más pesado superior a 90 g, organizados de menor a mayor para evaluar su efecto en el proceso. El contrapeso de 40 g se identificó como el adecuado, ya que permitió estabilizar la botella durante el corte y obtener una tira con grosor uniforme. Esta mejora en el proceso de corte es clave para asegurar la calidad del filamento final, ya que una tira constante y bien dimensionada facilita una extrusión más homogénea y funcional para aplicaciones en impresión 3D.

Tabla 5: Espesor de tiras plásticas con diferentes contrapesos.

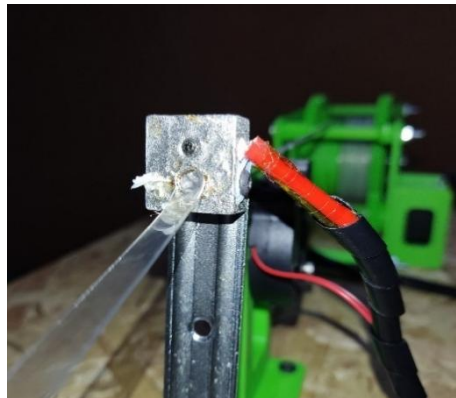
N° Imagen	Contrapeso (g)	Espesor de la tira plástica.	Contrapeso asignado.
1	25		
2	40		

3	90		
---	----	---	---

Fuente: Elaboración propia.

5.2 Extrusión de las tiras plásticas

Durante las pruebas iniciales del sistema, se identificó que algunas de las tiras plásticas obtenidas presentaban un grosor excesivo, lo cual provoca obstrucciones en el extrusor y dificulta el avance del material. Esta situación también genera bloqueos en el motor del carrete, afectando la continuidad del proceso de alimentación y comprometiendo la estabilidad del filamento generado. Por otro lado, cuando las tiras eran demasiado delgadas, si bien lograban pasar con facilidad por el sistema sin generar atascos, producían un filamento final demasiado fino y frágil, con poca resistencia mecánica y propenso a romperse durante su uso en impresión 3D. En la figura 67 se indica el extrusor obstruido.



*Figura 67: Obstrucción del extrusor.
Fuente: Elaboración propia.*

Ante estas problemáticas se procedió a mejorar el sistema de corte ajustando la separación entre cuchillas, incorporando un mecanismo de guiado más preciso y optimizando la fuerza aplicada durante el corte. Estas modificaciones permitieron obtener tiras de PET con un grosor más uniforme, lo que facilitó su paso por el extrusor sin obstrucciones y garantiza una mayor consistencia en el diámetro y resistencia del filamento producido.

Para el control térmico del extrusor se llevó a cabo múltiples pruebas utilizando diferentes temperaturas con el objetivo de identificar el punto óptimo de fusión del PET. Inicialmente se trabajó a 173 °C, temperatura en la cual se observó que, a pesar de

estirar la tira plástica a través del extrusor, esta salía prácticamente sin alteración, conservando su forma original y sin señales de fusión efectiva. Al incrementar la temperatura a 230 °C, comenzaron a notarse ciertos cambios en la estructura del material; sin embargo, este aún no alcanzaba el nivel de fluidez necesario para generar un filamento continuo, finalmente tras nuevas pruebas, se determinó que la temperatura ideal es de 250 °C, punto en el cual el PET se funde completamente y permite obtener un filamento uniforme y de buena calidad. En la figura 68 se observa el filamento generado a una temperatura óptima de 250 gados centígrados.



*Figura 68: Filamento uniforme y de buena calidad.
Fuente: Elaboración propia.*

Una vez alcanzada la temperatura perfecta y finalizada las pruebas, como parte de la automatización del proceso, se programó el sistema de control mediante Arduino para que el carrete comience a girar únicamente una vez que se haya alcanzado la temperatura establecida.

5.3 Sistema de recolección en carrete

Durante la etapa de pruebas del sistema de recolección se exploraron distintas configuraciones para lograr que el filamento generado por el extrusor se enrollara correctamente. En un primer intento, se conectó un motor directamente al carrete. Sin embargo, esta solución presenta fallas funcionales, ya que el motor comenzaba a girar antes de que el filamento estuviera listo, impidiendo que este se enrollara adecuadamente al sistema de recolección.

Para el segundo intento se implementó un código en el cual el motor se activaba únicamente cuando el extrusor alcanzaba los 250 °C, momento en el cual el filamento comenzaba a salir. Aunque esto permitió una sincronización más precisa, se evidenció que un solo motor no proporcionaba la fuerza ni el control necesarios para un enrollado

estable, el filamento se acumulaba en un solo punto, lo que ocasiona deformaciones y enredos.

Para resolver este inconveniente se añadió un segundo motor cuya función era desplazar lateralmente el filamento mientras era enrollado, logrando así una distribución uniforme a lo largo del eje del carrete. Este comportamiento se logró ajustando la velocidad de ambos motores de forma alternada, lo que facilitó un movimiento oscilante y controlado. En la figura 69 se indican los 2 motores.



*Ilustración 69: Motores para carrete.
Fuente: Elaboración propia.*

Un aspecto importante identificado durante estas pruebas fue el control de la velocidad del sistema, debido a que, si el filamento era jalado demasiado rápido, su diámetro se reducía por debajo de lo esperado. En cambio, cuando la velocidad era demasiado baja, la cinta plástica podía permanecer más tiempo del necesario en el interior del extrusor, lo que provocaba que se fundiera de forma prematura y terminará rompiéndose antes de finalizar el proceso de extrusión.

La implementación de un sistema con doble motor, junto con una calibración adecuada de las velocidades, permitió establecer un mecanismo de recolección eficiente que mantiene la estabilidad del filamento y asegurar su uniformidad, después de realizar pruebas con los diferentes tipos de velocidad que se fueron aumentando y disminuyendo en el transcurso se llegó a la velocidad recomendada entre 80–120 mm/min entonces se utilizó una velocidad media que serían los 100 mm/min.

5.4 Producto final del proceso de extrusión

Finalmente, tras la configuración completa del sistema y la corrección de los errores identificados durante el desarrollo de la máquina generadora de filamento, se logró obtener un filamento en condiciones óptimas.



*Figura 70: Filamento generado de botellas plásticas PET.
Fuente: Elaboración propia.*

Este fue sometido a pruebas de impresión en una impresora 3D, demostrando su funcionalidad y calidad para la fabricación de objetos.



*Figura 71: Prueba de impresión.
Fuente: Elaboración propia.*

Una vez completado el prototipo, la máquina semiautomática fue integrada al equipo reciclador Pichaybot, donde ejecuta su proceso de forma efectiva, cumpliendo con todas las etapas definidas, tanto automáticas como aquellas que requieren intervención manual.

5.5 Conclusiones.

- La presente investigación permitió el diseño y construcción de un sistema semiautomático capaz de transformar botellas plásticas PET en filamento para impresión 3D, integrando un subsistema funcional a la máquina PICHAYBOT, lo cual representa un avance en iniciativas locales de reciclaje.

- Los resultados obtenidos validan la funcionalidad del prototipo, aunque también evidencian oportunidades de mejora en aspectos como la automatización del sistema y el control del diámetro del filamento.
- Este tipo de proyectos contribuye no solo a la reducción del impacto ambiental de los residuos plásticos, sino también al desarrollo de soluciones tecnológicas sostenibles, alineadas con los objetivos de innovación, reciclaje y responsabilidad social.
- Durante el proceso de pruebas, se evidenció que la calidad del filamento obtenido está directamente relacionada con la pureza del material PET y la estabilidad térmica del sistema, por lo que es esencial mantener un control riguroso sobre estas variables para asegurar resultados óptimos.

5.6 Investigaciones futuras

- Automatización completa del proceso: Investigar el desarrollo de un sistema 100% automatizado que incluya corte, alimentación, extrusión, enfriamiento y bobinado de filamento.
- Uso de inteligencia artificial: Explorar el uso de algoritmos de aprendizaje automático (machine learning) para el ajuste dinámico de parámetros térmicos y de velocidad según las condiciones del material.
- Incorporación de energías renovables: Adaptar el prototipo para que funcione con energía solar o fuentes híbridas, promoviendo aún más la sostenibilidad del sistema
- Integración de módulos de trituración: Investigar la posibilidad de acoplar un sistema de trituración previo al corte, que permita procesar botellas dañadas o deformadas para expandir la gama de materiales de entrada.
- Aplicación del filamento reciclado en proyectos sociales: Fomentar el uso del filamento obtenido en la fabricación de productos útiles.
- Implementar un sistema que permita unir de manera continua las tiras de filamento plástico obtenidas a partir de distintas botellas PET. Actualmente, el proceso genera segmentos independientes de filamento, lo cual limita la longitud continua disponible y dificulta la impresión de piezas de mayor tamaño.

Bibliografía

- Andres Felipe Mendez Sandoval, J. D. (2023). *DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA MÁQUINA EXTRUSORA PARA LA REUTILIZACIÓN DE MATERIAL PET EN FORMA DE FILAMENTO PARA IMPRESORAS 3D*. Universidad Piloto de Colombia, Bogota. Obtenido de file:///C:/Users/Usuario/OneDrive/Documentos/protocolo%20tesis/DISE%C3%91O%20Y%20SIMULACI%C3%93N%20DE%20UNA%20M%C3%81QUINA%20EXTRUSORA%20PARA%20LA%20REUTILIZACI%C3%93N%20DE%20MATERIAL%20PET%20EN%20FORMA%20DE%20FILAMENTO%20PARA%20IMPRESORAS%203D.pdf.pdf
- Angelica Gutiérrez Limón, P. T. (2021). Reciclaje de botellas de pet para manufactura aditiva. *INCAING*. Obtenido de file:///C:/Users/Usuario/Downloads/articulo-1.-v3-1.pdf
- ASEPLAS. (Junio de 2019). REDUCIR LA CONTAMINACIÓN POR PLÁSTICOS ES RESPONSABILIDAD DE TODOS. *INTEGRA*(#76).
- Bustos Seibert, M. C. (2020). *Manufacturing of a PET filament from Recycled Material for MAterial Extrusion*. Recycling, Mexico.
- Concejo Metropolitano de Quito. (2021). *ORDENANZA METROPOLITANA No. 022 - 2021 REDUCCIÓN PROGRESIVA DE PLÁSTICOS*. Quito.
- Dalberg, The University of Newcastle. (2019). *Naturaleza sin Plástico: Evaluación de la ingestión humana de plásticos presentes en la naturaleza*. WWF ANÁLISIS.
- Darwin Gustavo Sandoya Lara, C. M. (2021). *Diseño y contruccion de un equipo triturador-extrusor de material plástico reutilizable tipo tereftalato de polietileno (PET) para la elaboración de filamento para impresoras 3D*. Universidad Técnica estatal de Quevedo facultad de Ciencias de la Ingeniería carrera de Ingeniería Mecánica, Quevedo- Los Ríos Ecuador.
- Diego Andres Fernández Peña, V. M. (2024). *Diseño y desarrollo de extrusora PET para filamentos de impresión 3D*. Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central, Cali.
- Fernando Reyes, B. C. (2023). *Sistema de corte y extrusión para producción de filamento de 1.5 mm a partir de botellas PET: Desarrollo de extrusora con etapa de corte integrada*. Tecnológico de Aguascalientes, México, Ciudad de Mexico.

Franco Mieles, W. M. (2011). *Diseño de modelo de gestión para el almacenamiento y distribución de productos de una industria plástica en el sector de Guayaquil para ser implementado a mediano plazo de 1 a 3 años*. Universidad Politecnica Salesiana, Guayaquil. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/1534>

Giancarlo Ramos Espinosa, G. A. (2019). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE EXTRUSIÓN DE FILAMENTO PARA IMPRESIÓN 3D A PARTIR DE BOTELLAS RECICLADAS*. Universidad Autónoma de Occidente Facultad de Ingeniería, Santiago de Cali. Obtenido de <file:///C:/Users/Usuario/OneDrive/Documentos/protocolo%20tesis/T08590.pdf>

Herrarte López, I. &. (2024). *Prototipo de una máquina extrusora de filamento para impresión 3D a partir del reciclado de botellas PET*. Universidad Autónoma de Occidente Educativo Digital UAO, Cali Colombia.

Isabella Gerrate Lopez, J. S. (2024). *PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA EXTRUSORA DE FILAMENTO PARA IMPRESIÓN 3D A PARTIR DEL RECICLADO DE BOTELLAS PET*. Universidad Autónoma de Occidente, Santiago de Cali. Obtenido de file:///C:/Users/Usuario/OneDrive/Documentos/protocolo%20tesis/T10958_Prototipo%20de%20una%20m%C3%A1quina%20extrusora%20de%20filamento%20para%20impresi%C3%B3n%203d%20a%20partir%20del%20reciclado%20de%20botellas%20pet.pdf

Lituma, J. A. (2022). *Diseño ambiental y análisis económico de bloques con agregados de plástico reciclado (PET), en la ciudad de Cuenca [Obtención de título de Ingeniero Ambiental]*. Universidad Católica de Cuenca, Cuenca. Obtenido de <file:///C:/Users/Usuario/OneDrive/Documentos/protocolo%20tesis/BECERRA%20LITUMA%20JOSE%20ADRIAN.pdf>
<file:///C:/Users/Usuario/OneDrive/Documentos/protocolo%20tesis/BECERRA%20LITUMA%20JOSE%20ADRIAN.pdf>

Luis Humberto López-Flores, A. G.-G.-C. (2023). *Rediseño de una máquina automatizada, extrusora de plástico fundido, utilizando botellas PET para la fabricación de filamentos para impresoras 3D*. Tecnológico de Estudios Superiores de Chalco, MÉXICO, Ciudad de Mexico.

- Manoj Nikam, P. P. (2020). *Sustainable fabrication of 3D printing filament from recycled PET plastic*. ELSEVIER, Maharashtra, India.
- Mercurio, E. (28 de octubre de 2024). Eficiencia del reciclaje en Cuenca aún afronta desafíos. Obtenido de www.elmercurio.com.ec
- Meza de Luna, A., García Reyes, E., González Herrada, R., & Sierra Ortiz, R. (2022). *Diseño y construcción de extrusora de PET reciclado*. Tecnológico de Aguascalientes, México, Mexico.
- Ministerio del Ambiente, A. y. (2017). *MAE promueve la Primera Política de Consumo Responsable de Fundas Plásticas tipo camiseta*.
- Muhammad Meraj, P. X. (2025). *Design and Development of an Automated PET Plastic Bottle 3D Printer Filament Making Machine*. School of Engineering, Taylor's University, Subang Jaya, Malaysia, Chicago.
- Portilla Jiménez, J. G. (2022). *Análisis del Marco Normativo de Economía Circular en Ecuador Orientado al Sector de los Plásticos*. Universidad Central del Ecuador. Obtenido de [file:///C:/Users/Usuario/OneDrive/Documentos/protocolo%20tesis/2602-8484-figempa-13-01-00038%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Usuario/OneDrive/Documentos/protocolo%20tesis/2602-8484-figempa-13-01-00038%20(1).pdf)
- Portilla-Jiménez, J. G. (2022). Análisis del marco normativo de economía circular en Ecuador orientado al sector de los plásticos. *Desafío*, 47.
- Wendy Franco Mieles, J. M. (2011). *Diseño de modelo de gestión de calidad para el almacenamiento y distribución de productos de una industria plástica en el sector de Guayaquil para ser implementado a mediano plazo de 1 a 3 años*. Universidad Politecnica Salesiana sede Guayaquil, Guayaquil.

Anexos:

Anexo 1: Construcción y montaje de piezas

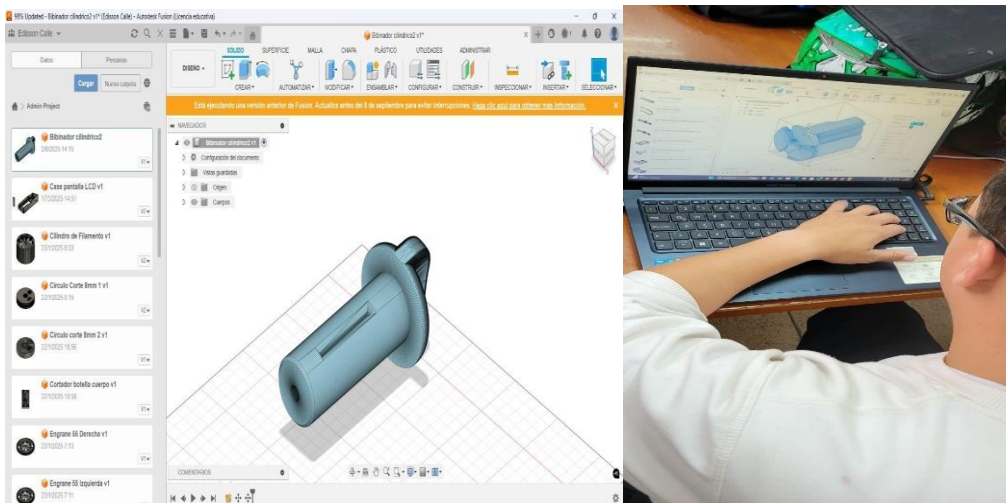


Figura 72: Diseño y elaboración de piezas.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 73: Engranaje para carrete de filamento.
Fuente: Elaboración propia.



*Figura 74: Armado de carrete de recolección de filamento.
Fuente: Elaboración propia.*



*Figura 75: Armado de carrete recolector de filamento y montaje de motores.
Fuente: Elaboración propia.*

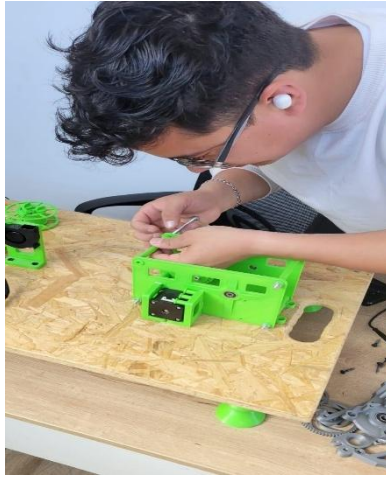


Figura 76: Montaje de carcasa protectora para carrete de filamento.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 77: Cilindro base parte superior e inferior.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 78: Armado de cilindro base para recolección de cinta PET.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 79: Armado del soporte del eje y soporte del recolector.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 80: Montaje soporte del eje y soporte del recolector.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 81: Perforaciones y montaje de apoyos para la base de la maquina extrusora de filamento.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 82: Colocación y montaje de componentes eléctricos y electrónicos.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 83: Colocación y montaje de componentes eléctricos y electrónicos.
Fuente: Elaboración propia.

Anexo 2: Diagrama de flujo de líneas de programación.

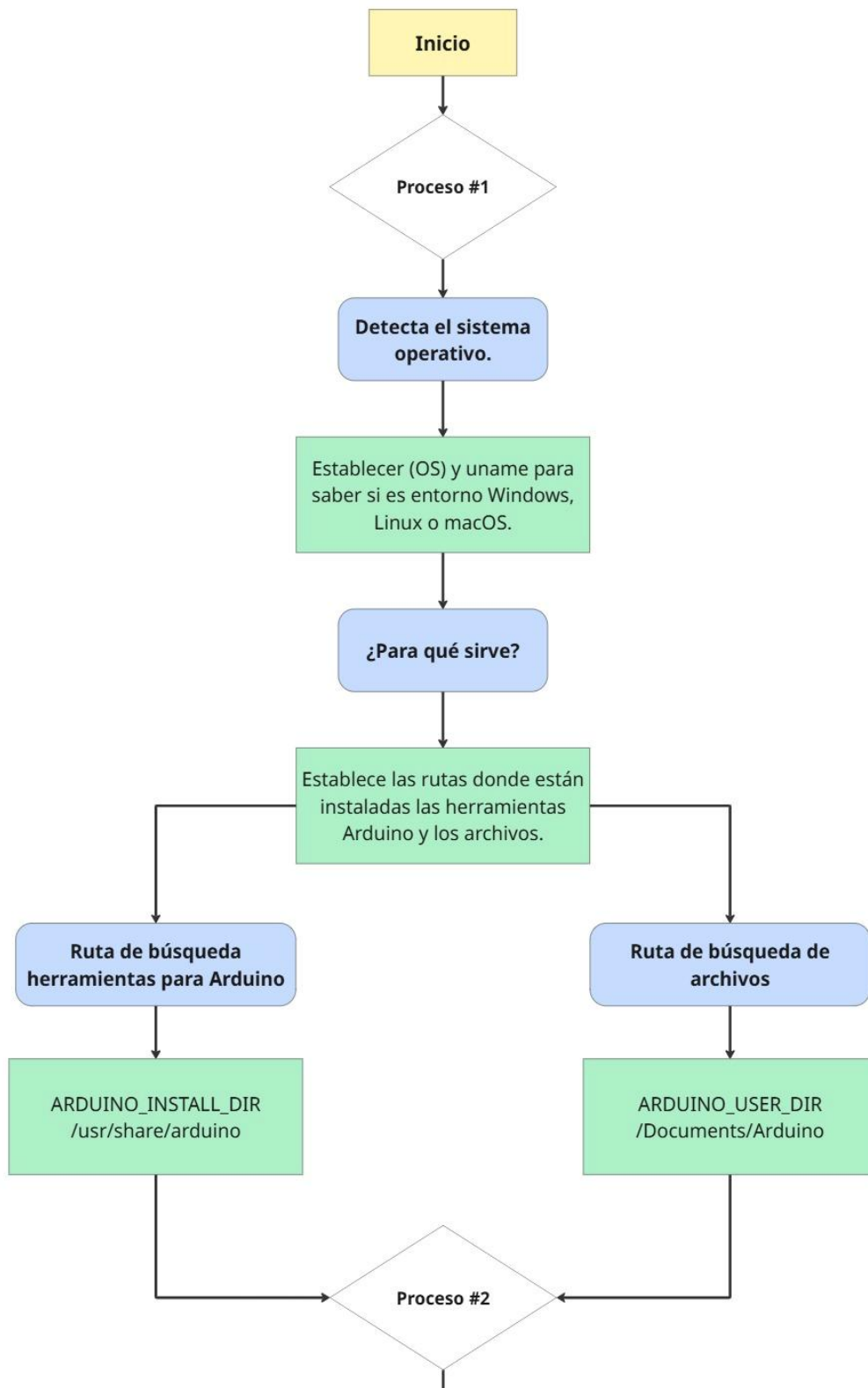


Figura 84: Programación proceso #1.
Fuente: Elaboración propia.

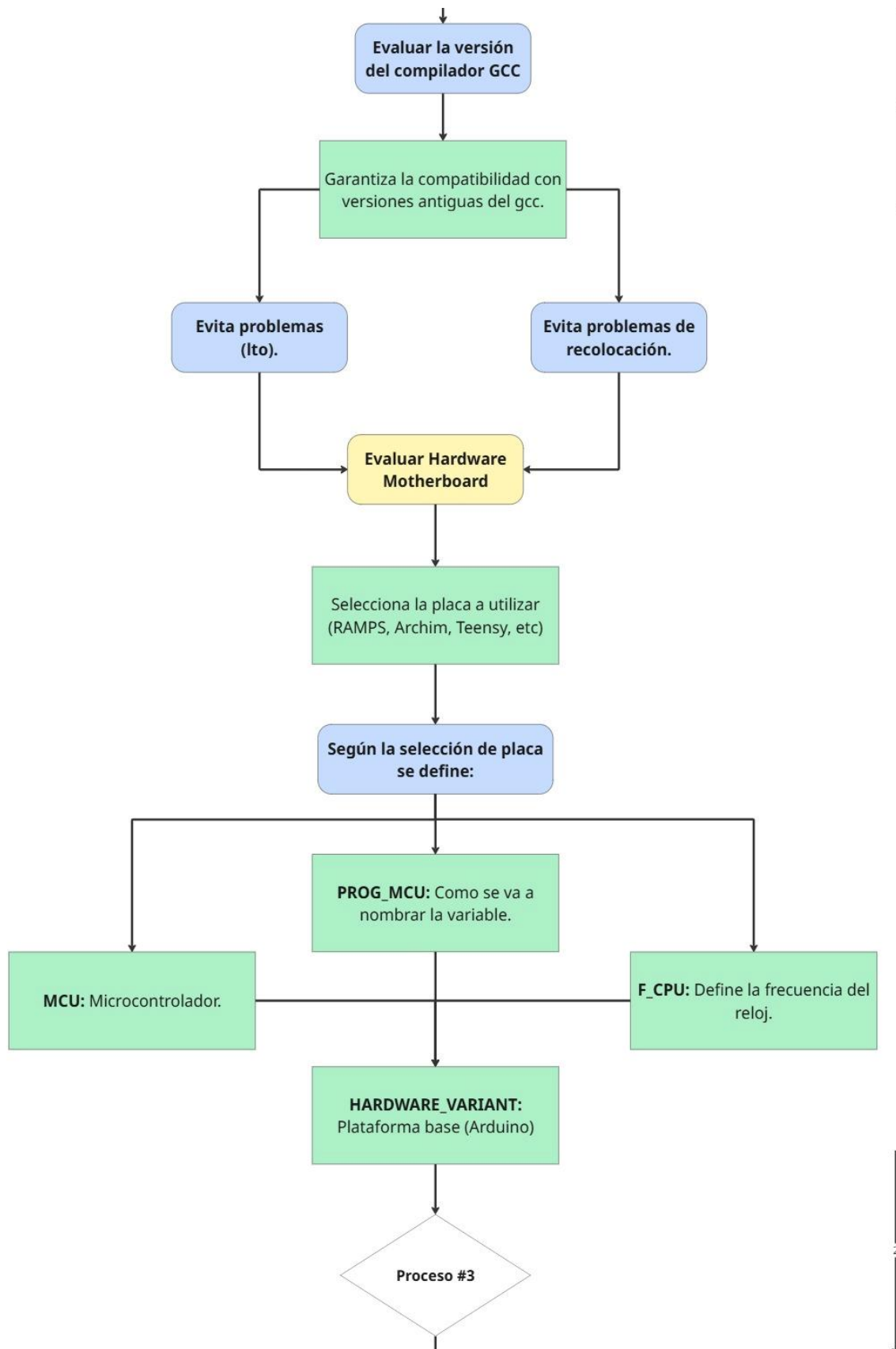


Figura 85: Programación proceso #2.
Fuente: Elaboración propia.

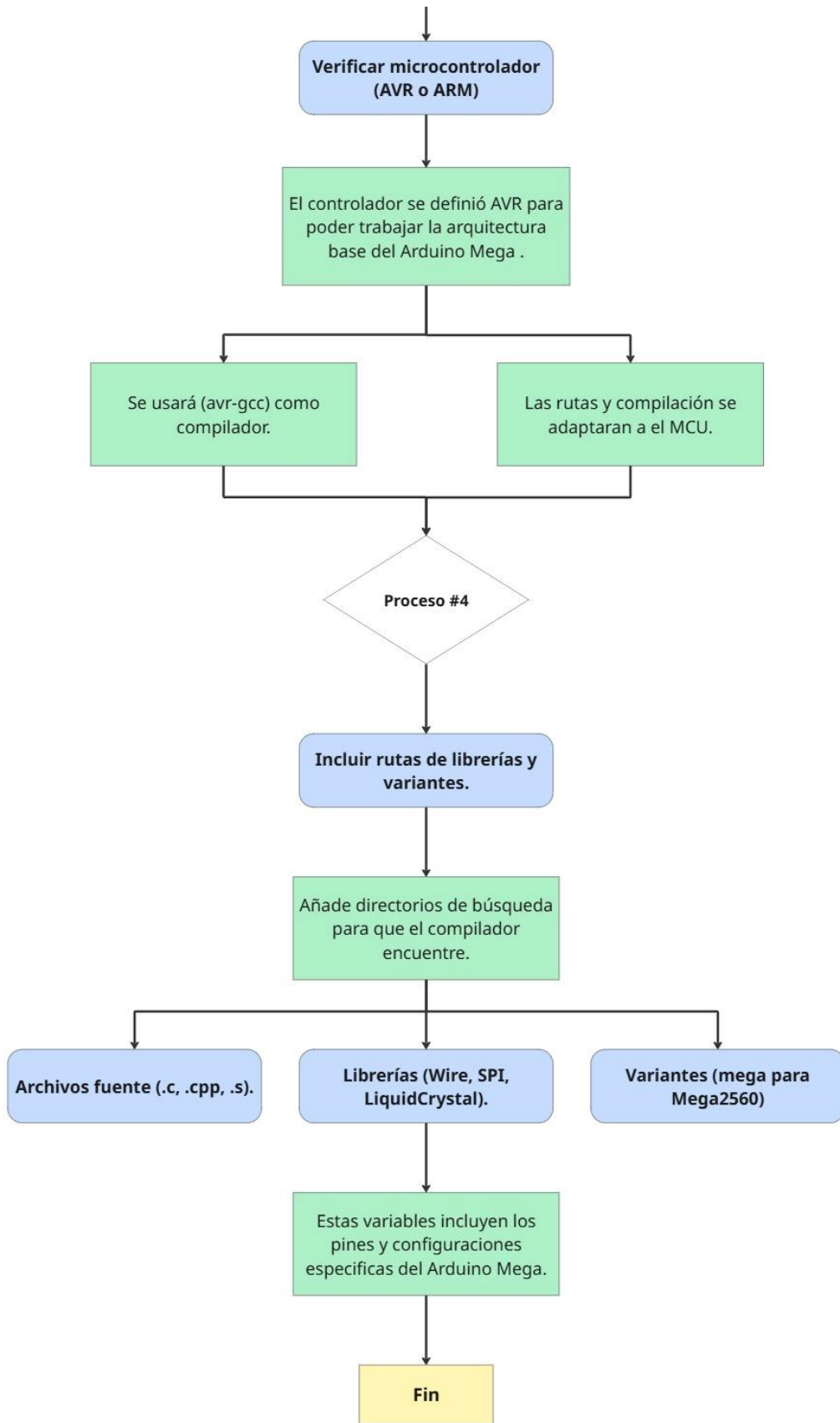


Figura 86: Programación proceso #3.
Fuente: Elaboración propia.

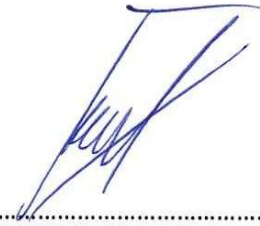
AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Yo, Edison Alexander Calle Malo y Jimmy Javier Lopez Ñauta portadore(a)s de las cédulas de ciudadanía N° 0150368926 y 0106509060. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación “Máquina para generar filamento a partir de botellas recicladas como complemento para la máquina de reciclaje PICHAYBOT”, de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 22 de julio de 2025



F:
Edison Alexander Calle Malo
0150368926



F:
Jimmy Javier Lopez Ñauta
0106509060