

---

# Implementación de una recicladora recreator 3D

---

Renato Mendizábal García



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ingeniería




**Implementación de una recicladora recreator 3D**

Trabajo de graduación presentado por Renato Mendizábal García para  
optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecatrónica


Guatemala,

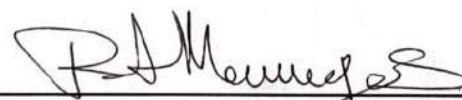
2024

Vo.Bo.:

(f)   
Ing. Kurt Emmanuel Kellner Juárez

Tribunal Examinador:

(f)   
Ing. Kurt Emmanuel Kellner Juárez

(f)   
MAEB. Pablo Mazariegos

(f)   
M. Sc. Francisco Gómez

Fecha de aprobación: Guatemala, 20 de enero de 2024

La concepción de la presente tesis, enfocada en la implementación de una recicladora de plástico PET 1, surgió a raíz de mi interés por perfeccionar mis habilidades en diseño y fabricación industrial, áreas que han capturado mi atención a lo largo de mi formación universitaria. No obstante, soy consciente de mis limitaciones en el control de maquinaria mediante programación, una habilidad que no logro aprender completamente, pero que se torna esencial en este proyecto de tesis. Esta debilidad actuó como catalizador, impulsándome a dedicar un mayor esfuerzo en comprender los conceptos que representan un desafío, dado que se proyectan como elementos cruciales en mi desarrollo futuro.

La noción de reciclar plástico de botellas para fabricar filamento para impresión 3D no constituye una idea novedosa, ya ha sido implementada por individuos en la comunidad de diseño en línea. Este hecho apoya la utilidad y el impacto potencial que ofrece el proyecto en su fase funcional. Cabe destacar que el proyecto es innovador en el contexto de la universidad, la cual me brindó una libertad considerable en la planificación del diseño, la fabricación de las piezas y la implementación física. Este enfoque me permitió desarrollar un prototipo que no solo facilitó mi aprendizaje, sino que también contribuyó a la mejora de mis habilidades.

Al concluir este proyecto, fue imperativo presentar el material de trabajo de manera exhaustiva y accesible. La estructuración de toda la investigación está dirigida a los estudiantes futuros que optarán por trabajar en este proyecto con la intención de mejorarlo. En otras palabras, los esfuerzos invertidos en este proyecto constituyen la base sobre la cual los estudiantes posteriores podrán perfeccionar el proyecto, en caso decidan abordarlo en sus propias tesis. Por lo tanto, es esencial organizar los datos desde la fase inicial de investigación hasta la implementación completa, generando resultados verificables y susceptibles de mejora.



---

## Agradecimientos

---

A mis padres, quienes me respaldaron desde el comienzo de mi carrera y me recordaron que podía disfrutar de esta disciplina para integrarla plenamente en mi vida.

A mi profesor Kurt Kellner, sin cuya colaboración no creo que hubiera logrado concluir otro proyecto, ya sea con él o con otro profesor. Su apoyo ha sido fundamental para el desarrollo y mejora de mis habilidades como ingeniero.

A Dios, por otorgarme la fortaleza necesaria para culminar la carrera a pesar de las dificultades y errores derivados de mis limitaciones.

<b>Prefacio</b> .....	<b>III</b>
<b>Agradecimientos</b> .....	<b>IV</b>
<b>Lista de figuras</b> .....	<b>VIII</b>
<b>Lista de cuadros</b> .....	<b>XII</b>
<b>Resumen</b> .....	<b>XIII</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>XV</b>
<b>1. Introducción</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Antecedentes</b> .....	<b>7</b>
2.1. El <i>recreator 3D</i> .....	7
2.2. El <i>polyformer</i> .....	8
2.3. El <i>petalot</i> .....	9
2.4. Recicladoras extrusoras .....	9
<b>3. Justificación</b> .....	<b>12</b>
<b>4. Objetivos</b> .....	<b>14</b>
<b>5. Alcance</b> .....	<b>15</b>
<b>6. Marco teórico</b> .....	<b>16</b>
6.1. Diseño .....	16
6.2. Extrusión de polímeros .....	17
6.3. El proceso de termoformado en plástico .....	18

6.4.	<i>Firmware marlin</i> .....	18
6.5.	Programación en <i>arduino</i> .....	19
6.6.	<i>Driver</i> de motor <i>stepper</i> .....	20
6.7.	<i>Mini-Rambo</i> .....	21
6.8.	Controlador gráfico inteligente <i>RepRaoDiscount</i> .....	22
<b>7.</b>	<b>Investigación y planeación de propuesta del proyecto</b> .....	<b>23</b>
7.1	Investigación de opciones de recicladora para el proyecto .....	23
7.2	Presentaciones consideradas para el proyecto .....	24
7.3	Recolección de documentación del proyecto .....	26
<b>8.</b>	<b>Diseño digital del proyecto</b> .....	<b>28</b>
8.1.	Separación de piezas por método de fabricación digital .....	28
8.2.	Análisis de errores de diseño de las piezas originales de <i>onshape</i> .....	29
8.3.	Implementación del ensamblaje digital del prototipo .....	31
8.4.	Diseño y creación del manual para la implementación del proyecto .....	37
<b>9.</b>	<b>Inicio de implementación y pruebas del proyecto físico</b> .....	<b>41</b>
9.1.	Cotización de componentes de marca .....	41
9.2.	Comparación de costos .....	44
9.3.	Fabricación de piezas digitales .....	45
9.4.	Construcción de la base del prototipo .....	47
<b>10.</b>	<b>Configuración digital y pruebas de sistemas eléctricos</b> .....	<b>57</b>
10.1.	Programación del <i>firmware marlin</i> .....	57
10.2.	<i>g-code</i> .....	58
10.3.	Pruebas de funcionamiento de componentes electrónicos .....	59
<b>11.</b>	<b>Análisis y optimización</b> .....	<b>64</b>
<b>12.</b>	<b>Construcción del prototipo del proyecto</b> .....	<b>69</b>
12.1.	Estructura integral .....	69
12.2.	Parte inferior .....	70
12.3.	Parte superior .....	75

12.4. Pruebas del prototipo .....	78
12.5. Pruebas de manejo de plástico y su procesamiento .....	80
12.6. Pruebas de impresión 3D .....	82
<b>13. Análisis de resultados .....</b>	<b>83</b>
13.1. Límites de uso del extrusor .....	83
13.2. Resultados de reciclaje de filamento .....	84
13.3. Impresiones 3D .....	85
<b>14. Conclusiones .....</b>	<b>87</b>
<b>15. Recomendaciones .....</b>	<b>89</b>
<b>16. Referencias .....</b>	<b>91</b>

---

## Lista de figuras

---

1.	Componentes de prueba antes de la fase final de implementación .....	3
2.	Prototipo resultante de la fase final de implementación .....	6
3.	Modelo <i>MK5KIT: ENDER 3</i> del <i>recreator 3D</i> .....	7
4.	Modelo del <i>polyformer</i> .....	8
5.	Conjunto de bobinado de filamento ( <i>petalot</i> ) .....	9
6.	Máquinas para fundición de desechos sólidos de origen plástico para la fabricación de adoquines peatonales .....	10
7.	Vista de perfil de la máquina trituradora/extrusora .....	11
8.	Práctica de reciclaje de la UVG .....	13
9.	Fases del proceso de diseño .....	17
10.	Extrusor de doble husillo <i>STS Mc<sup>11</sup></i> de <i>coperion</i> .....	17
11.	Proceso de termoformado .....	18
12.	Logotipo del <i>firmware marlin</i> (2023) .....	19
13.	Placa <i>arduino uno</i> .....	19
14.	<i>Driver</i> conector de la placa <i>Mini-Rambo</i> para motor <i>stepper</i> .....	20
15.	Placa <i>MiniRambo 1.3a</i> para el procesamiento del <i>firmware</i> del prototipo .....	21
16.	Placa controladora <i>LCD</i> de operaciones del prototipo .....	22
17.	Implementación de una recicladora transformadora de PET .....	24
18.	Ejemplos de implementación del <i>recreator 3D</i> .....	25



19.	Modelo <i>MK5KIT: Ender 3</i> del proyecto <i>recreator 3D</i> .....	27
20.	Versión de <i>fusion 360</i> del modelo <i>MK5KIT: Ender 3</i> .....	27
21.	Separación de piezas por fabricación digital .....	29
22.	Diferencias entre piezas originales (izquierda) y rediseñadas (derecha) .....	29
23.	Pieza editada (izquierda) y pieza de <i>fusion 360</i> (derecha) .....	30
24.	Edición de piezas de <i>fusion 360</i> para corte láser .....	30
25.	Diferencias entre el rediseño y la primera versión del soporte para la placa controladora <i>LCD</i> .....	31
26.	Parte inferior del ensamblaje original de la UVG .....	32
27.	Placas de soporte superior .....	33
28.	Conjunto de guía de filamento reciclado .....	33
29.	Base del conjunto de traslado de esfuerzo del motor <i>stepper</i> .....	34
30.	Conjunto de soporte del eje principal y recolección de filamento .....	35
31.	Conjunto de corte y guía de ingreso de PET 1 .....	36
32.	Conjunto de soportes del extrusor .....	36
33.	Base inicial de implementación del prototipo .....	37
34.	Soporte de la placa <i>MiniRambo 1.3a</i> .....	38
35.	Parte inferior (vista abierta) .....	38
36.	Instalación de placa controladora <i>LCD</i> .....	39
37.	Ensamblaje original de la UVG de la implementación del prototipo de una recicladora <i>recreator 3D</i> .....	40
38.	Primera revisión de componentes disponibles en la UVG .....	42
39.	Herramientas para la implementación del prototipo .....	43
40.	Cortadora <i>PLS 4.75</i> del <i>makerlab</i> del departamento de ingeniería .....	45
41.	Impresión de piezas en el <i>makerlab</i> .....	46
42.	Materiales para la implementación de la base del prototipo .....	47
43.	Implementación de base del prototipo .....	48
44.	Versiones actualizadas de las placas de soporte inferior .....	49
45.	Preparación de la implementación del sistema inferior .....	50

46.	Parte inferior completada (con vista al interior) .....	50
47.	Implementación del conjunto de guía de filamento reciclado .....	51
48.	Soportes iniciales del conjunto de movimiento de engranajes y recolección del eje principal .....	52
49.	Instalación del conjunto de movimiento de engranajes del motor <i>stepper</i> .....	53
50.	Instalación del conjunto del eje principal .....	53
51.	Vista previa al conjunto de corte de plástico .....	54
52.	Implementación del conjunto de corte de plástico .....	54
53.	Implementación del conjunto de seguros y soporte del extrusor .....	55
54.	Prototipo base del proyecto de tesis .....	56
55.	<i>Drivers</i> de posicionamiento del extrusor .....	58
56.	Código <i>g-code</i> para el funcionamiento del prototipo .....	59
57.	Instalación del <i>firmware marlin</i> .....	59
58.	Prueba de alimentación de la placa controladora <i>LCD</i> .....	60
59.	Prueba de funcionalidad de la placa controladora <i>LCD</i> .....	61
60.	Prueba de funcionalidad del ventilador de 40 mm .....	61
61.	Prueba de funcionalidad del motor <i>stepper</i> .....	62
62.	Control de temperatura del extrusor .....	62
63.	Prueba conjunta de componentes eléctricos .....	63
64.	Arreglo del conjunto de soportes y seguros del extrusor .....	65
65.	Mejora del conjunto del soporte de la placa controladora <i>LCD</i> .....	66
66.	Topes diseñados para el eje principal .....	66
67.	Manejo mecánico del <i>HotEnd</i> .....	67
68.	Pieza de soporte del engranaje doble .....	68
69.	Versión final del soporte de la placa <i>MiniRambo 1.3a</i> .....	68
70.	Estructura integral base del prototipo .....	69
71.	Instalación de la placa <i>MiniRambo 1.3a</i> en el interior de la base estructura .....	70
72.	Conexión de la fuente de poder 12V/30A .....	71
73.	Arreglo de cableado del ventilador .....	71

74.	Montaje del soporte y la placa controladora <i>LCD</i> .....	72
75.	Cableado interno del prototipo .....	72
76.	Cubierta izquierda .....	73
77.	Cubierta central .....	73
78.	Implementación de la parte inferior .....	74
79.	Estructura de las piezas del cortador de botellas .....	75
80.	Trabajo del extrusor y la guía de filamento reciclado .....	76
81.	Conjunto de movimiento de engranajes por medio del motor <i>stepper</i> .....	77
82.	Acción de recolección del eje principal .....	78
83.	Prueba de funcionamiento de una recicladora <i>recreator 3D</i> .....	79
84.	Recortes de error de las pruebas de extrusión de filamento .....	80
85.	Medición de longitud de filamento reciclado .....	81
86.	Seguro de filamento al soporte de recolección .....	81
87.	Primera prueba de impresión 3D .....	82
88.	Filamentos resultantes del uso del prototipo del proyecto .....	84
89.	Muestra de filamento usado para las pruebas de impresión y piezas de la primera prueba de impresión 3D .....	85
90.	Ultima prueba de impresión 3D con filamento reciclado .....	86

---

## Lista de cuadros

---

1	Comparación de costos de recolección de materiales para la implementación del prototipo .....	44
2	Análisis de ahorros según los métodos de recolección de materiales .....	44
3	Manejo de filamento PET 1 .....	82
4	Escala de magnitudes de ancho de entrada de tiras de plástico al extrusor .....	83
5	Reciclaje de PET 1: resultados de reciclaje de plástico a filamento .....	84
6	Impresión en el programa <i>ultimaker cura</i> .....	86
7	Impresión en el programa <i>blender</i> .....	86

El proyecto de implementación de una recicladora *recreator 3D* propone la utilización del material proveniente de las botellas de plástico de uso cotidiano en la Universidad del Valle de Guatemala (UVG). El objetivo principal es la creación de filamento para impresoras 3D directamente en el campus, aprovechando piezas de repuesto de proyectos anteriores y otras fabricadas en los talleres de la UVG, de manera que se desarrolle un proceso de diseño eficiente. Se exploraron diversas opciones disponibles en la comunidad en línea de diseño y, tras una exhaustiva investigación, se optó por el *recreator 3D* como la opción más idónea de recicladora/transformadora para plástico PET 1.

El inicio de la investigación de datos se centró en la página original del *recreator 3D*, donde se identificaron las piezas necesarias para la fabricación y los componentes esenciales para la implementación del proyecto. Se decidió fabricar las piezas digitalmente en la UVG utilizando dos métodos accesibles para los estudiantes: impresión 3D y corte láser.

La carpeta de la página del proyecto original de la recicladora *recreator 3D* proporcionaba documentos STL de las piezas básicas, aunque no incluía un ensamblaje para visualizar el proyecto ensamblado digitalmente. Afortunadamente, se encontró un ensamblaje compatible con el programa *fusion 360*, creado por el autor del proyecto original con el respaldo de la comunidad de diseño, que presentaba detalles más elaborados. La elección fue combinar ambos conjuntos de piezas en el programa de diseño *onshape*, generando un ensamblaje original de la UVG. Algunas piezas se diseñaron desde cero para ser editables y manipulables en el programa, permitiendo así obtener un ensamblaje completo y único. Las piezas digitales se separaron según su método de fabricación digital. Las piezas fabricadas con impresoras 3D se generaron con PLA, mientras que las piezas diseñadas para corte láser usaron madera delgada pero resistente.

Con el modelo del prototipo establecido, se procedió a fabricar las piezas mediante impresión 3D y corte láser. Se utilizaron los programas de *ultimaker cura* para la impresora 3D e *inkscape* para la edición de placas de madera, además de que se implementaron técnicas específicas para mejorar la funcionalidad de las piezas cortadas con láser. Simultáneamente, se solicitaron los componentes de proyectos anteriores de la UVG para ser utilizados en la implementación del proyecto.



Dada la complejidad del proceso de diseño del ensamblaje del prototipo digital y con la anticipación de posibles errores de implementación, se reconoció la necesidad de organizar las acciones a realizar mediante un manual de implementación. Se estructuraron las acciones de instalación siguiendo una secuencia lógica que abarcaba el diseño de cada pieza, dividiendo el sistema en partes estructurales, inferiores y superiores, junto con sus respectivos materiales para sus acciones mecánicas y electrónicas.

Luego se inició la prueba de fabricación del prototipo con la implementación base del prototipo, dividiendo el sistema en las partes establecidas. Esta base era una etapa de prueba del proyecto para verificar la estructura y la rigidez conjunta de los materiales del ensamblaje del prototipo, sin instalar los componentes electrónicos. Como resultado, se obtuvieron diferentes errores de diseño que se volvieron a observar y corregir. Estos errores permitieron generar más información y mejores piezas que cumplieran con operaciones de manera más efectiva. La única modificación mecánica necesaria fue el ajuste del *HotEnd* del extrusor, que se extendió al diámetro de salida deseado, utilizando un torno mecánico y un taladro de mano para mejorar los detalles y lograr que el filamento reciclado se asemejara al filamento convencional. Este ajuste fue el único necesario antes de iniciar la implementación final del proyecto.

Al tener todos los materiales para la implementación final, se requirió hacer pruebas iniciales de funcionamiento de los componentes eléctricos antes de iniciar la construcción del prototipo final. Los componentes eléctricos debían ser controlados de manera precisa por el *firmware marlin* de control de impresoras 3D. Entonces, se usó *arduino*, el programa de codificación más aceptado por la placa de control, para especificar cómo se deseaba que el sistema de una impresora 3D trabajara para cumplir con el trabajo del sistema del prototipo. Finalmente, mientras se incorporaban las piezas que formaban la estructura del prototipo, los componentes electrónicos específicos se posicionaron estratégicamente para su uso en el sistema final. Para garantizar que el sistema operara conforme al objetivo del proyecto, se utilizó el mismo *firmware marlin* para programar la recicladora, asegurando la misma lógica operativa que el proyecto original. La placa de control *MiniRambo 1.3a* se codificó para recibir el mismo tipo de instrucciones de códigos *g-code* del proyecto original del *recreator 3D*.

Con todos los materiales listos, se procedió a la fase de implementación del proyecto, ensamblando todo el prototipo en el orden especificado por el manual de implementación de piezas fabricadas. La fase final del proyecto consistió en pruebas de uso del prototipo ya completo por todos los materiales para reciclar plástico en filamento, catalogando y probando sus características de impresión 3D.

The project to implement a recycler *recreator 3D* proposes the use of material from everyday plastic bottles at the Universidad del Valle de Guatemala (UVG). The main objective is the creation of filament for 3D printers directly on campus, taking advantage of spare parts from previous projects and others manufactured in the UVG workshops, so that an efficient design process is developed. Various options available in the online design community were explored and, after extensive research, the *recreator 3D* was chosen as the most suitable recycler/transformer option for PET 1 plastic.

The beginning of the data investigation focused on the original page of *recreator 3D*, where the parts necessary for manufacturing and the essential components for the implementation of the project were identified. It was decided to manufacture the pieces digitally at UVG using two methods accessible to students: 3D printing and laser cutting.

The folder on the original recycler project page *recreator 3D* provided STL documents of the basic parts, although it did not include an assembly to display the digitally assembled project. Fortunately, an assembly compatible with the *fusion 360* program, created by the author of the original project with the support of the design community, was found, which featured more elaborate details. The choice was to combine both sets of parts in the design program *onshape*, generating an original assembly of the UVG. Some parts were designed from scratch to be editable and manipulable in the program, thus allowing a complete and unique assembly to be obtained. The digital parts were separated according to their digital manufacturing method. Parts made with 3D printers were generated with PLA, while parts designed for laser cutting used thin but strong wood.

With the prototype model established, the parts were manufactured using 3D printing and laser cutting. The *ultimaker cura* programs were used for the 3D printer and *inkscape* for editing wooden plates, in addition to specific techniques being implemented to improve the functionality of the laser cut pieces. Simultaneously, components from previous UVG projects were requested to be used in the implementation of the project.

Given the complexity of the digital prototype assembly design process and the anticipation of possible implementation errors, the need to organize the actions to be carried out through an implementation manual was recognized. The installation actions were structured following a logical sequence that covered the design of each piece, dividing the system into structural, lower and upper parts, along with their respective materials for their mechanical and electronic actions.

Then the prototype manufacturing test began with the base implementation of the prototype, dividing the system into the established parts. This base was a testing stage of the project to verify the structure and joint rigidity of the materials of the prototype assembly, without installing the electronic components. As a result, different design errors were obtained that were re-observed and corrected. These errors allowed us to generate more information and better pieces that fulfilled operations more effectively. The only mechanical modification necessary was adjustment of the extruder's *HotEnd*, which was extended to the desired output diameter, using a mechanical lathe and hand drill to improve the details and make the recycled filament resemble conventional filament. This adjustment was the only one necessary before starting the final implementation of the project.

Having all the materials for the final implementation, it was necessary to carry out initial functional tests of the electrical components before starting the construction of the final prototype. The electrical components had to be precisely controlled by the 3D printer control *marlin firmware*. Then, *arduino*, the most widely accepted coding program for the control board, was used to specify how we wanted a 3D printer system to work to accomplish the work of the prototype system. Finally, while the parts that formed the structure of the prototype were incorporated, specific electronic components were strategically positioned for use in the final system. To ensure that the system operated in accordance with the project objective, the same *marlin firmware* was used to program the recycler, ensuring the same operating logic as the original project. The *MiniRambo 1.3a* control board was coded to receive the same type of *g-code* code instructions from the original *recreator 3D* project.

With all the materials ready, we proceeded to the implementation phase of the project, assembling the entire prototype in the order specified by the implementation manual of manufactured parts. The final phase of the project consisted of use tests of the prototype already complete with all the materials to recycle plastic into filament, cataloging and testing its 3D printing characteristics.

El presente trabajo de tesis aborda el proceso de implementación de una máquina recicladora *recreator 3D* capaz de convertir el plástico PET 1 de las botellas de plástico comunes en filamento para impresión 3D para usarlo en las impresoras de la Universidad del Valle de Guatemala (UVG). Mediante el proceso de termoformado y extrusión de plásticos, la máquina calienta el plástico a su punto crítico y lo pasa por un extrusor que le da un diámetro adecuado para poder ser considerado filamento reciclado. Este proyecto ya se ha aplicado alrededor del mundo por varios profesionales en la comunidad del diseño digital. De la misma forma, el concepto de extrusión ya se había visto en Guatemala en proyectos de extrusión de plásticos para crear productos útiles, como es el ejemplo de un proyecto de la Universidad San Carlos de Guatemala (USAC).

La propuesta principal de este tipo de proyecto es que intenta promover las características del reciclaje de materiales. No solo propone un sistema que pueda transformar y reusar plástico, también toma en cuenta que se pueden realizar procesos de fabricación digital para mejorar el aprendizaje de diseño industrial y el uso de componentes de marca para repuestos que no se usan frecuentemente después de un uso único, para de esa forma crear un proyecto funcional y útil.

Un motivo por el cual se presentó este proyecto fue que es un paso que puede implementar la UVG, no solo como apoyo a la reutilización de materiales, sino también como una herramienta de educación que dé una presentación sencilla de una implementación exitosa siguiendo el modelo de diseño eficaz de proyectos. Es un ejemplo de un modelo de trabajo que todos los estudiantes pueden seguir, además de que será uno de los proyectos de tesis que podrán ser trabajados por los próximos graduados de la carrera. La idea es presentar un proyecto que pueda apoyar a los estudiantes en su proceso de estudio y mejora de cualidades de diseño industrial y electrónico, porque esos fueron los conceptos que resaltaron en este nuevo proyecto para ser implementados en otros.

Como se menciona antes, las capacidades de diseño industrial y programación son los conceptos que hacen que destaque el proyecto sobre otras ideas, mayormente por su simplicidad es que se tomó en cuenta como una propuesta posible de implementar, aunque fuera relativamente nueva para la UVG. Esto permitió dar una nueva posibilidad de tesis a los estudiantes que no podían decidirse en que capacidades podían mejorar, dando una opción donde las capacidades no superen en gran medida los objetivos del proyecto y cualquier estudiante pueda mejorar con la implementación del proyecto.

En el inicio se investigaron los ejemplos más populares en la comunidad del diseño digital, donde había conceptos que proponían sistemas bastante completos y otros sencillos que destacaban por cualidades específicas que los hacían buenas opciones. Conceptos como el diseño de la estructura y la funcionalidad hicieron que los modelos del *recreator 3D*, el *polyformer* y el *petalot* resaltarán en la comunidad como las entregas más populares del proyecto de implementación de la recicladora de PET 1.

La finalidad del proyecto como parte de la UVG no era copiar un modelo ya presentado en la comunidad nada más, sino más bien basarse en ese modelo para implementar un concepto en el que se estuviera interesado y que cumpliera con las capacidades para introducirlo al proceso de educación y práctica constante de la institución.

Obviamente, tomando en cuenta los propósitos principales que motivaron originalmente el proyecto en la comunidad, darles un nuevo uso a los desperdicios de materiales plásticos mediante el uso de piezas diseñadas digitalmente para implementarlas con componentes reutilizados en un sistema completo y funcional, además de tomar medidas de capacidades de operación y obtener resultados cuantificables de su trabajo.

En el capítulo siete comenzamos hablando de la investigación para decidir la mejor entrega del proyecto de una recicladora transformadora de plástico PET 1 en filamento para impresión 3D, tomando las características de funcionalidad y sencillez en el diseño como nuestras bases para decidir el proyecto adecuado. Complementando esta investigación hubo que buscar toda la documentación referente al proyecto original, el cual nos podría ayudar a generar nuestro propio diseño para el *recreator 3D*. Entre estos documentos se tomaron carpetas de archivos stl de piezas y también conjuntos de ensamblajes completos que mostraban la organización de la implementación de la máquina. Tomando esta información se observaron todos los componentes que servirían para hacer el diseño digital del proyecto.

El capítulo ocho mostró la etapa del diseño digital y todas las dificultades que se realizaron para generar las piezas digitales que formarían el ensamblaje completo de nuestra versión del proyecto de recicladora, donde se rediseñaron las piezas, arreglos sencillos a piezas para ajustar su posición y trabajo o incluso la creación de nuevas piezas para hacer cumplir un trabajo específico de componentes de marca que no poseía la UVG. Es necesario recalcar que se tuvo que separar las piezas según su funcionalidad en grupos para prepararlas en los diferentes procesos de fabricación digital que se deseaban aplicar.



Para el capítulo nueve se identificaron problemas cuando se implementó el ensamblaje, ya que no existía un orden para construir el prototipo, entonces antes de realizar la implementación con las piezas físicas se creó un manual con las instrucciones detalladas y ordenadas que podían facilitar la construcción del proyecto separando las etapas de construcción entre una base estructural, la parte inferior y la base superior. Estas etapas aplicaban el uso de todos los materiales del proyecto como se muestra en la Figura 1, instalando los componentes para las operaciones del prototipo en los espacios correspondientes a mitad de la implementación de las piezas fabricadas.

**Figura 1**

*Componentes de prueba antes de la fase final de implementación.*



Nota. Tomada antes de iniciar la fase de implementación final del prototipo

Tomando en cuenta las instrucciones del manual se realizó la implementación del prototipo con las piezas de fabricación y los componentes de marca:

- **base estructural:** los perfiles de metal son la base del proyecto a los cuales irán instalados la mayoría de los materiales, entonces se alinearon a una distancia establecida y se ajustaron las placas de madera de soporte y una pieza base de impresión 3D para los componentes del extrusor. De esta manera los perfiles ya estaban rígidos a la distancia necesaria y se podía iniciar la implementación.

- **parte inferior:** para soportar todo el prototipo, la parte inferior contaba con paredes a las que se les ajustaba patas de soporte, estas sujetaban todo el sistema, para después instalar los soportes de sujeción de los componentes de control electrónico principales del sistema. Todo protegido por piezas de soporte que cerraron el cableado de todos los componentes electrónicos en una caja estructurada.
- **parte superior:** ya existía el soporte y el sistema de control del prototipo, pero faltaba instalar los materiales que realizarían las acciones del proyecto, entonces en la parte de la base donde se instaló la primera placa de soporte se completó la instalación de los sistemas de operaciones mecánicas del proyecto:
  - el sistema de corte y guía de botellas para la entrada al extrusor.
  - el soporte de seguro para la instalación del extrusor.
  - la guía de filamento extraído.
  - los soportes del eje central.
  - el ensamblaje de engranajes del movimiento del eje principal a partir del motor *stepper*.
  - el ensamblaje del eje principal.

Siguiendo el capítulo diez, solo se tenía la base de implementación del prototipo, pero este no contaba con los sistemas electrónicos que lo ayudarían a activar las acciones mecánicas para transformar filamento, para este punto era necesario comenzar a programar y probar el sistema de control *firmware marlin*. Tomando en cuenta que el sistema fue diseñado para controlar impresoras 3D, se debía configurar la tarjeta de control para que nuestro sistema realizara una parte más básica de todas las operaciones disponibles, por lo que se habilitaron y deshabilitaron sistemas completos para que el sistema se activara y funcionara de la manera deseada. Concluyendo al realizar pruebas de funcionamiento de los componentes electrónicos de forma individual y conjunta, con el objetivo de revisar si necesitaban mantenimiento o ajustes.

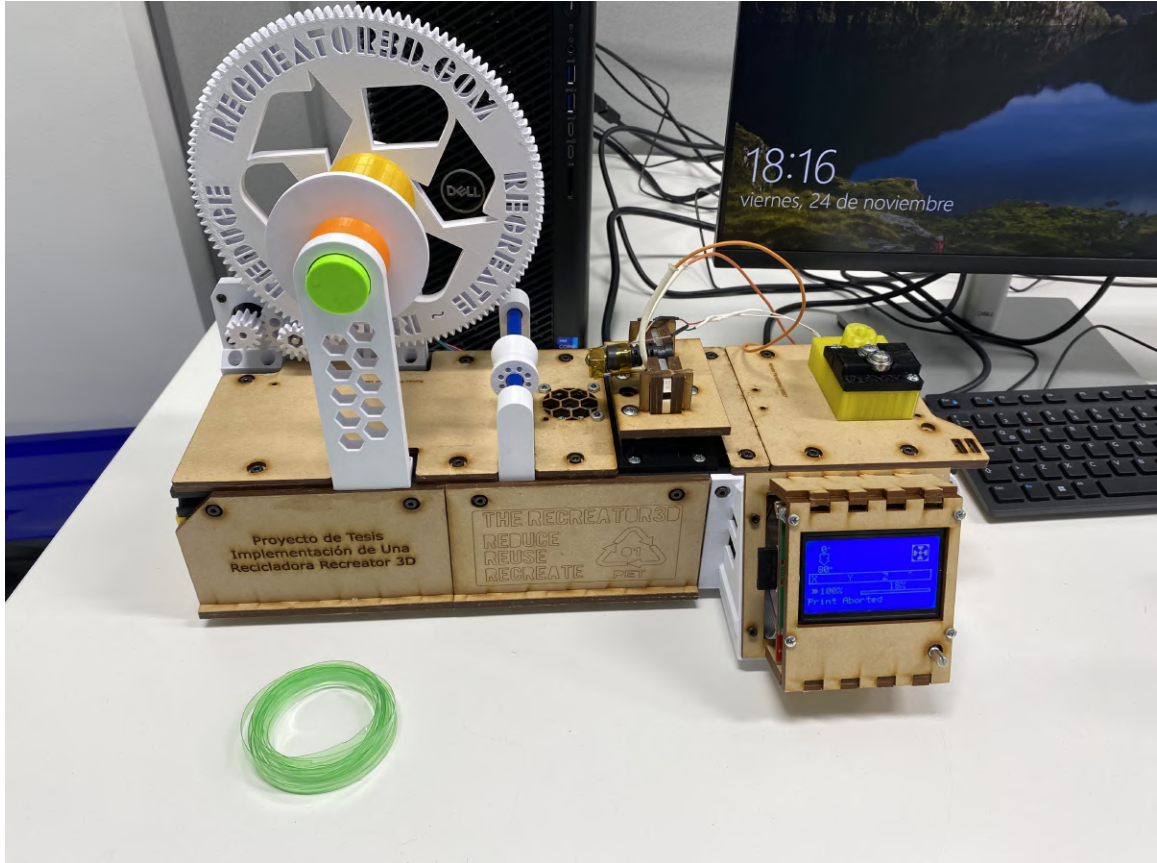
Continuando con el capítulo once, ya se tenía una base funcional del *firmware marlin* que controlaba correctamente los componentes electrónicos y se procedió a hacer observaciones de los ensamblajes removiendo las piezas del cuerpo del prototipo para permitir el posicionamiento correcto de todos los materiales en el sistema. Regresando a observar las instalaciones, se encontraron diferentes errores que generaban problemas extras. Dependiendo de los errores se reevaluó el diseño original de varias piezas y se cambió su diseño para facilitar su instalación o función de manera más sencilla y eficiente. Esta parte fue la que presentó la mayor retroalimentación de todo el proceso de diseño del prototipo, porque presentaba errores que se resolvían minuciosamente para generar soluciones que mejoraron la eficiencia de la estructura del prototipo.

Terminando el capítulo doce se logró cambiar las nuevas piezas rediseñadas y las instalaciones de los sistemas electrónicos del proyecto. Para lograr completar el prototipo se realizaron diferentes pruebas de extrusión de plástico, con el objetivo de completar el proyecto y verificar la funcionalidad completa del prototipo resultante del seguimiento de la guía de implementación como se puede observar en la Figura 2. Entre las pruebas de funcionamiento e instalación se revisaron:

- **parte inferior:** aquí es donde se instalaron la mayor cantidad de sistemas, básicamente porque la tarjeta de control de impresora 3D se implementó junto a la fuente de poder para hacer que todos los sistemas (interiores y exteriores) funcionaran correctamente:
  - **ventilación:** controla el ventilador interior para expulsar el aire caliente del interior hacia afuera.
  - **alimentación de la fuente de poder:** permite generar una entrada constante de 12V/30A que ingresa a la tarjeta de control y activar la electrónica del proyecto.
  - **control de la pantalla *LCD*:** esta pantalla posee un sistema de visualización y control, la cual está conectada a la placa de control, donde se muestran todas las operaciones del sistema, ya sea de forma directa o preestablecida mediante el trabajo del *firmware marlin* editado.
  - **procesamiento de datos de la placa *MiniRambo 1.3a*:** referente a la placa de control donde están conectados todos los componentes electrónicos y donde se procesa la información que manda cada uno de ellos sobre su estado y trabajo actual. También es gracias a este sistema que los demás sistemas pueden iniciar sus operaciones, de otra forma no podrían ser controlados.
- **parte superior:** aquí se usaron los componentes electrónicos o de marca para implementar acciones muy específicas que servían para procesar y manipular el plástico PET 1 y transformarlo en filamento reciclado:
  - **corte de botellas:** es el único sistema que es completamente mecánico y se basa en la acción física de sus componentes para cortar las piezas deseadas.
  - **extrusor:** conformado por el soporte y las piezas del extrusor, este sistema posee la única pieza que fue manipulada mecánicamente para generar el filamento con las dimensiones deseadas.
  - **guía de filamento:** este era solo un soporte que ayudaba al filamento a salir con mayor facilidad y lo guiaba al eje principal para ser recolectado.
  - **ensamble de engranajes a base de motor *stepper*:** el motor *stepper* activa el movimiento de un sistema de engranajes, que termina con el engranaje mayor conectado fijamente al eje principal y lo hace girar, impulsándolo y recolectando el filamento que esté ajustado a él.

**Figura 2**

*Prototipo resultante de la fase final de implementación.*



Nota. Versión original de la UVG del proyecto del *recreator 3D*

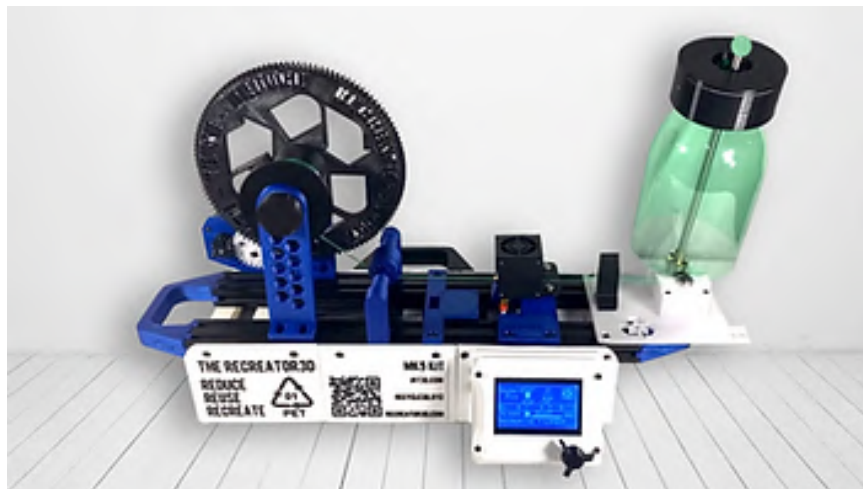
Para terminar con el análisis de resultados, en el capítulo 13 se catalogaron los resultados obtenidos del trabajo completo del prototipo, con el objetivo de dejar una base de información que permita tener un estándar objetivo que se pueda volver la norma esperada en la aplicación del trabajo del prototipo.

### 2.1. El *recreator 3D*

El objetivo más deseado para este proyecto es que sea el extrusor transformador más accesible y funcional de la comunidad, donde se pueda presentar como una adaptación pequeña, compacta y portable para la transformación de PET 1 (Taylor, 2023). Tomando en cuenta este objetivo el creador logro construir una máquina no más larga que 50 cm en su presentación más reciente como se ve en la Figura 3, capaz de usar piezas usadas de una impresora 3D previamente usada, con pequeños arreglos físicos al *HotEnd*, capaz de transformar botellas de PET 1 en el filamento que generalmente se usa en las impresoras 3D.

**Figura 3**

*Modelo MK5KIT: ENDER3 del recreator 3D.*



Nota. La presentación original de la cual se basa el proyecto de tesis



## 2.2. El *polyformer*

Reyten C. (2022) propuso concentrarse en el campo de diseño para que el reciclador sea elegante y compacto, de forma que se puede crear un filamento transformado de PET 1 de manera exacta y con una herramienta ajustable de forma manual, pero sin requerir mantenimiento constante porque fue diseñada de forma correcta. Este proyecto presenta una máquina fabricada en un orden muy específico presentado en la Figura 4, para hacer la tarea de transformar el PET 1 en filamento con buena preparación y diseño efectivo.

**Figura 4**  
*Modelo del polyformer.*



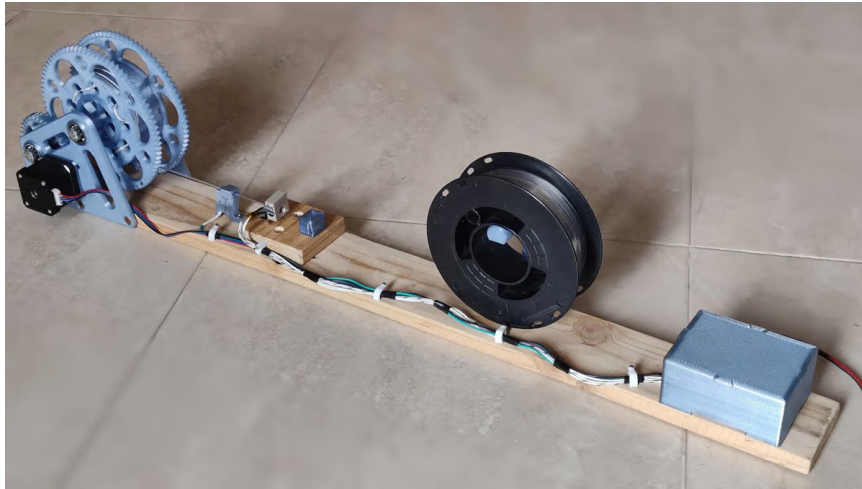
Nota. Versión de Reyten Cheng (2022)

### 2.3. El *petalot*

"La máquina debe ser solo una pieza de lo que necesita el concepto en sí del proyecto, las otras partes igual de importantes son la habilidad y el tiempo que se necesita para desarrollarla"(Jani, 2022). Esto significa que podemos dejar de lado la calidad y el diseño, para poder dar paso a la funcionalidad y sencillez del trabajo, como se ve en la Figura 5 no presenta un diseño avanzado, pero es capaz de cumplir perfectamente con la extrusión de plástico para transformarlo en filamento de impresión 3D.

**Figura 5**

*Conjunto de bobinado de filamento (petalot).*



Nota. El sistema de reciclaje de botellas PET (2022)

### 2.4. Recicladoras extrusoras

Estas son máquinas ya usadas de manera industrial para reciclar plástico, pero se parecen mucho al proyecto original del *recreator 3D* en la idea de que usan el proceso de termoformado para manipular el plástico PET en general y crear plástico reutilizado, entonces estos proyectos son una buena base para tener propuestas de los resultados finales que debería cumplir nuestro proyecto.

### 2.4.1. Fabricación de productos de plástico a base de plásticos termoplásticos

Racanco y Alonzo (2007) propusieron que, a partir del proceso de extrusión de plásticos, el proyecto tiene como objetivo el diseño y elaboración de un adoquín peatonal fabricado con termoplásticos, utilizando como materia prima única los desechos sólidos generados en la ciudad de Quetzaltenango. El proyecto usa el mismo proceso que nosotros queremos usar, pero decide aplicarlo de forma más directa a un problema industrial, a diferencia de la recicladora de filamento que servirá para apoyar procesos de aprendizaje de diseño, este proyecto opta por ser más práctico y tener una función más general para apoyar a la sociedad, al generar placas de adoquín con una forma específica como se ve en la Figura 6.

#### Figura 6

*Máquinas para fundición de desechos sólidos de origen plástico para la fabricación de adoquines peatonales.*



Nota. Proyecto de investigación fabricación de productos de plástico a base de plásticos termoplásticos

#### 2.4.2. Máquina trituradora extrusora de botellas de plástico para la obtención de filamento PET a bajo costo

Amarante (2021) presento el concepto de máquina trituradora para ser aplicable a cualquier sector de la industria que implique la trituración, siendo necesarias algunas adaptaciones para satisfacer las necesidades de forma eficiente. Para este proyecto se decido lograr diseñar una máquina de doble funcionalidad como la trituración y extrusión de plástico reciclado para obtener filamento de PET para las impresoras 3D. Es exactamente como el proyecto presente, pero con la intención de triturar cualquier material de plástico para ser reciclado como se ve en su cuerpo en la Figura 7.

**Figura 7**

*Vista de perfil de la máquina trituradora/extrusora.*



Nota. Diseño de una máquina trituradora extrusora de botellas de plástico para la obtención de filamento PET a bajo costo

Amor De Paz V. (2023) investigo que desde el 2015 el consumo de Guatemala llegó a 6,300 millares de toneladas de residuos plásticos y continúa aumentando. Aunque el plástico conforma un pequeño porcentaje de residuos de la totalidad de desperdicios del país, se han hecho esfuerzos por presentar soluciones y alternativas al desperdicio desmedido y desorganizado.

Gestión de Residuos Guatemala (2016) público que en promedio, al basurero de la zona 3 entran 2 mil 500 toneladas de desechos, de las cuales el 10% es plástico y caucho. En Guatemala, se recicla el 9% del plástico que se utiliza y la mayoría se queda en el mercado local. Obviamente, el desperdicio de plástico de consumo común también llega al basurero desde la UVG, pero se tiene que considerar que ese tipo de plástico no es muy diferente a los plásticos de los que está hecho el filamento que utilizamos en las impresoras 3D.

Por ejemplo, en el campus se pueden encontrar botes para separar desechos en el formato que se ve en la Figura 8 alrededor de todo el campus. Sin embargo, una acción adicional que se puede implementar es convertir material de desecho plástico en material para fabricación digital. El objetivo principal de este trabajo de graduación es implementar máquinas capaces de convertir botellas plásticas en filamento para impresión 3D.

**Figura 8**

*Práctica de reciclaje de la UVG.*



Si se observan los antecedentes, también podemos pensar en la comunidad nacional de diseño que ha ido creciendo en las universidades de Guatemala a partir de la idea de reciclar el plástico en filamento, ya se han hecho proyectos a nivel nacional que intentan implementar máquinas que transformen el plástico en nuevos productos de uso industrial, así como proyectos de la UVG que han reciclado componentes de repuestos o de proyectos anteriores para generar máquinas de apoyo para el aprendizaje del diseño y fabricación digital, como las impresoras 3D hechas con piezas impresas en 3D en lugar de los componentes oficiales.

Entonces podemos concluir que la implementación que es capaz de hacer la UVG, apoya a la comunidad de diseño y al mismo tiempo al estudiante, al darles nuevas herramientas que apoyen sus capacidades para implementar proyectos y al mismo tiempo darles una idea física de cómo pueden ser capaces de generar un concepto con una planeación de diseño efectiva.

### **Objetivo general**

Implementación de una recicladora de material PET 1 para la fabricación de filamento para impresión 3D.

### **Objetivos específicos**

- Rediseñar la recicladora para su implementación con diferentes procesos de fabricación digital
- Reutilizar partes existentes de proyectos anteriores para reducir costos de construcción
- Caracterizar la cantidad de filamento obtenido de acuerdo al tipo de botella reciclado
- Realizar pruebas de impresión con el filamento reciclado

## 5.1. Prospectos de implementación

Para el proyecto de tesis se acordó la implementación de un modelo original por parte de la Universidad de una maquina recicladora de PET 1, basada en los modelos de proyecto *recreator 3D*. La implementación se realizó con materiales fabricados en la universidad con los métodos de impresión 3D y corte láser para aplicar el diseño digital, así mismo se necesitó de componentes específicos que no se podían fabricar en la UVG, piezas de proyectos o máquinas electrónicas o de soportes específicos de marca, los cuales se obtuvieron de ambas formas dentro y fuera de la universidad. Todo este proceso de planeación, diseño e implementación acumularon diferentes datos que conformaron el proyecto.

## 5.2. Documentación de procesos claves

El proceso de reciclaje de una botella comienza en el momento en el que un camión de basura recoge los desechos de una casa. Dentro del camión la basura es separada en “reciclables” y “desechos”. A su llegada a un vertedero la basura es descargada y separada (Gestión de Residuos Guatemala, 2016). En nuestro caso nuestro proceso de reciclaje y reutilización tomo aspectos digitales, ya que usamos anteriores datos y archivos de diseño para generar nuestros propios modelos de diseño que generaron archivos CAD que nos sirvieron para presentar el proyecto de forma digital y ensamblado completamente.

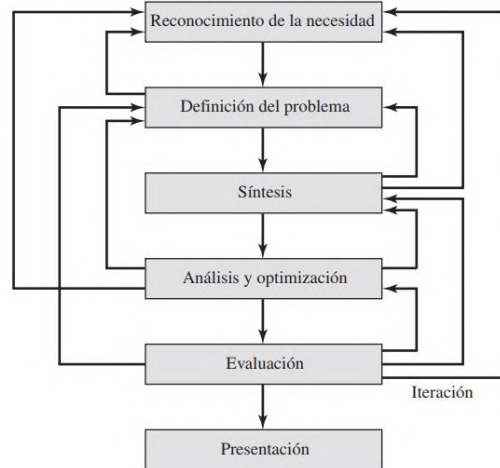
Con estos datos se obtuvieron los materiales del sistema que implementamos de forma física, obteniendo un prototipo base que organiza todas las piezas en sistemas funcionales que realizaban diferentes acciones mecánicas y químicas según el trabajo que realizaban para transformar el plástico en filamento. Este prototipo entonces sería un sistema completo que funcione sin un control externo y genere el material reciclado para implementarlo en generar nuevas piezas de impresión 3D.



## 6.1. Diseño

El proceso de diseño comienza con la identificación de una necesidad. Es la idea que se reconocerá al presentar un problema o circunstancias adversas que pueden o no suceder al mismo tiempo. Entonces se necesita definir el problema, tal definición es más específica y debe incluir todas las especificaciones del objeto que va a diseñarse. El objeto resolverá a cubrir la necesidad, pero para saber que debe cumplir se deben tomar datos técnicos de las situaciones alrededor de la necesidad para ir definiendo características y a la medida que se vayan conectando estos conceptos en una sola idea, entonces se sintetizan para generar una invención del concepto o diseño conceptual. Lo que da paso a la evaluación del trabajo justo mediante prueba y error, donde los mejores resultados se mantienen y las características que se deben mejorar terminan siendo reevaluadas y probadas para tener el mejor funcionamiento posible que cumpla con los requisitos de la necesidad. Al final de este proceso solo falta la comunicación y registro de los resultados que puedan generar un beneficio al responsable de cumplir con la necesidad, (Budynas y Nisbett, 2012, p. 006). Todas las etapas se implementaron como expresa la Figura 9.

**Figura 9**  
*Fases del proceso de diseño.*



Nota. Fases e interacciones del proceso de diseño (2012)

## 6.2. Extrusión de polímeros

Sánchez (2020) presenta la extrusión como el proceso industrial de fundir y moldear el plástico a flujo constante de presión y fuerza, para obtener la forma deseada de cierto polímero para su aplicación final. Mediante esta técnica, se pueden obtener productos de excelente calidad como en nuestro caso que buscamos crear filamentos. "Se debe aplicar el concepto de la extrusora convencional a un modelo que no cambia la funcionalidad, pero sí el objetivo, donde el proceso de extrusión no será del proceso de diseño, sino que será un proceso de transformación de materia útil que permitirá usarse para técnicas más avanzadas"(Harari, 2020). El proyecto realiza el proceso de transformación del PET 1 en las dimensiones correctas para crear filamento para impresoras 3D, similar al extrusor de doble husillo de la Figura 10, solo que no a una escala industrial.

**Figura 10**  
*Extrusor de doble husillo STS Mc<sup>11</sup> de coperion.*



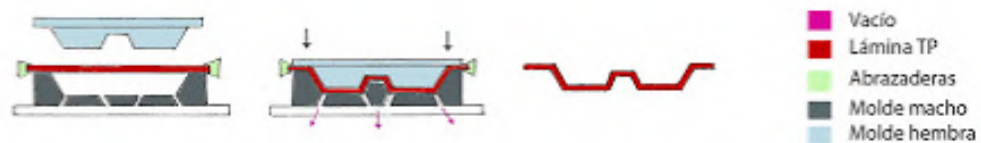
Nota. (K. Taylor, 2017)

### 6.3. El proceso de termoformado en plásticos

“El termoformado es el proceso de calentar un material a su temperatura de formación y aplicar fuerza a la lámina caliente para empujarlo en cavidades o sobre un molde, de modo que el material se adapte a la forma del molde” (AM-GROUP, 2023). En el proyecto el molde es la punta del extrusor de la impresora 3D, la técnica correcta será una transformación constante de forma simple a partir de la asistencia mecánica del proyecto. En donde se toman en cuenta las dimensiones como especifica la Figura 11 para una manipulación precisa del proceso de termoformado. Durante este proceso, es muy importante controlar la temperatura para aplicar de una forma equilibrada en toda la superficie, el calor, la presión y/o vacío, y el tiempo de enfriado (Arapak, 2022). Esto asegurará que todas las piezas salen conformes y mantiene la fabricación del lote estable como en la Figura 11.

**Figura 11**

*Proceso de termoformado.*



### 6.4. *Firmware marlin*

De acuerdo a Fernández Y. (2021), el *firmware* es el programa básico que controla los circuitos electrónicos de cualquier dispositivo. Este programa o software es una porción de código encargada de controlar qué es lo que tiene que hacer el *hardware* de un dispositivo, y el que se asegura de que el funcionamiento básico es correcto. El código que compone el *firmware* de cualquier dispositivo suele venir en chips de memoria, aparte de las principales. Significa que en los dispositivos hay una mínima memoria ROM en la que está almacenado este *firmware*, con el cual se establece una interfaz para la configuración del sistema y permite controlar el arranque, las conexiones y las funciones principales del dispositivo. El *firmware* del *recreator 3D* ya está disponible para el público en general y es muy popular gracias a su presentación llamativa de su logotipo de la Figura 12. Pero la idea es ver que tan aplicable es ese *firmware* con los componentes que se usaran para crear el proyecto: componentes de *PRUSA i3* disponibles entre otros, ya que usan la misma marca del *firmware marlin*.

Desde el principio, fue creado por y para los entusiastas de *RepRap* para ser un controlador de impresora sencillo, confiable y adaptable que "simplemente funciona". Como testimonio de su calidad, marlin es utilizado por varias impresoras 3D comerciales respetadas. *LulzBot*, *PRUSA research*, *Creativity3D*, *BIQU*, *Geeetech* y *ultimaker* son solo algunos de los proveedores que venden una variante de marlin. Marlin también es capaz de manejar máquinas CNC y grabadoras láser (Marlin, 2023). Para hacer uso del sistema tenemos que usar componentes de control de la impresora *PRUSA i3* antes mencionada, esta también funciona con el mismo *firmware*, aunque el código original estaba hecho para una *ender 3* entonces se debe observar si el funcionamiento tendrá variaciones de funcionamiento extremas o ligeras a la hora de usar los comandos básicos, específicamente hablando del funcionamiento del *HotEnd* para moldear el material y poderlo formar.

**Figura 12**

*Logotipo del firmware marlin (2023).*

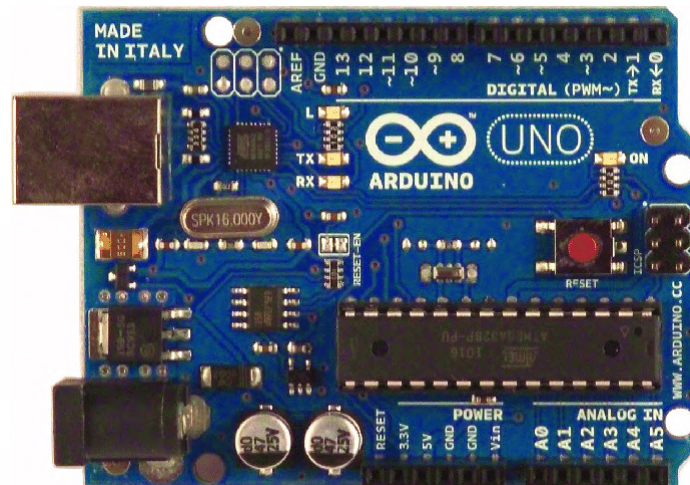


## 6.5. Programación en *arduino*

Basada en la filosofía del software libre, Zambetti N. (2020) introduce *arduino* como una plataforma de electrónica *open-source* o de código abierto cuyos principios son contar con *software* y *hardware* fáciles de usar. Básicamente, lo que permite esta herramienta es la generación de infinidad de tipos de microordenadores de una sola placa, que luego pueden tener una amplia variedad de usos según la necesidad de la persona que lo cree. Además de tener compatibilidad con la mayoría de herramientas de control electrónico modernas, como microcontroladores o máquinas accionadas, ya sea digital o analógicamente. El proyecto buscara trabajar con el mismo sistema que usa la tarjeta de control diseñada por *arduino* en la Figura 13, pero al ser tan popular el lenguaje llega a ser compatible con otros sistemas.

**Figura 13**

*Placa arduino uno.*

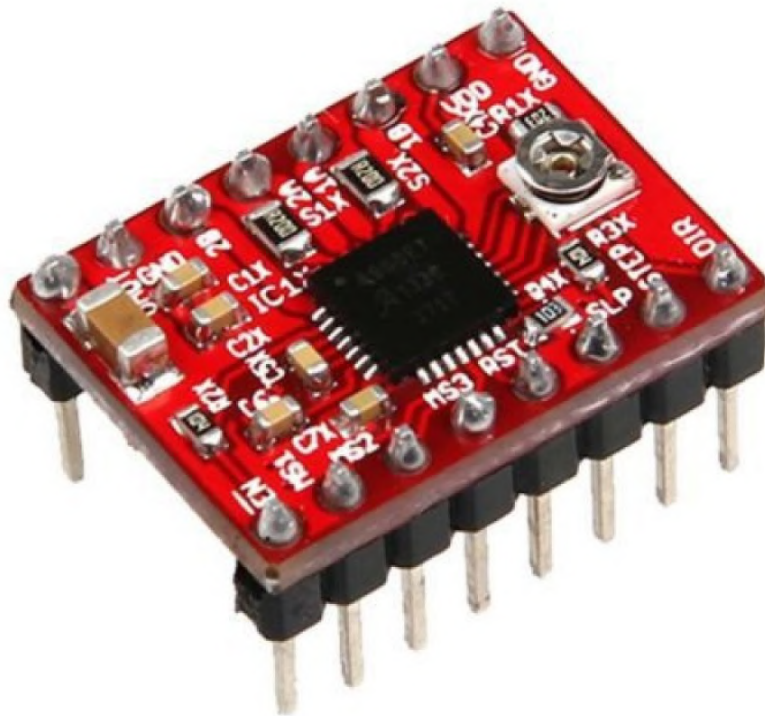


## 6.6. *Driver de motor stepper*

Según Peters J. J. (2013), en periféricos de ordenador y aplicaciones de equipos de oficina, los motores paso a paso más populares utilizados son los de tipos de imanes permanentes con dos embobinados bipolares o motores unipolares bobinados de forma bifilar. Refiriéndose a lo esencial, ambos tipos constan de un rotor de imán permanente rodeado de polos en el estator formados por bobinados. Un motor de dos polos tiene un ángulo de paso de  $90^\circ$ . Sin embargo, la mayoría de los motores tienen múltiples polos para reducir el ángulo de paso a unos pocos grados. Un motor paso a paso bipolar de imanes permanentes tiene un solo bobinado de cada fase y la corriente debe ser invertida para invertir el campo del estator. Los motores unipolares bifilar/híbrido, sin embargo, tiene dos devanados enrollados en direcciones opuestas para cada fase, de manera que el campo se puede revertir con una unidad de polaridad única. Los motores unipolares antiguamente fueron más populares porque el control era más simple. Sin embargo, con los circuitos integrados doble puente de hoy (puente H), es igual de fácil conducir un motor bipolar. En la técnica más popular de control (dos fases encendidas) ambas fases están siempre energizadas. En otro método (llamado controlador de onda) una fase es energizada a la vez, estas operaciones se facilitan gracias al apoyo del controlador de la Figura 14.

**Figura 14**

*Driver conector de la placa Mini-Rambo para motor stepper.*



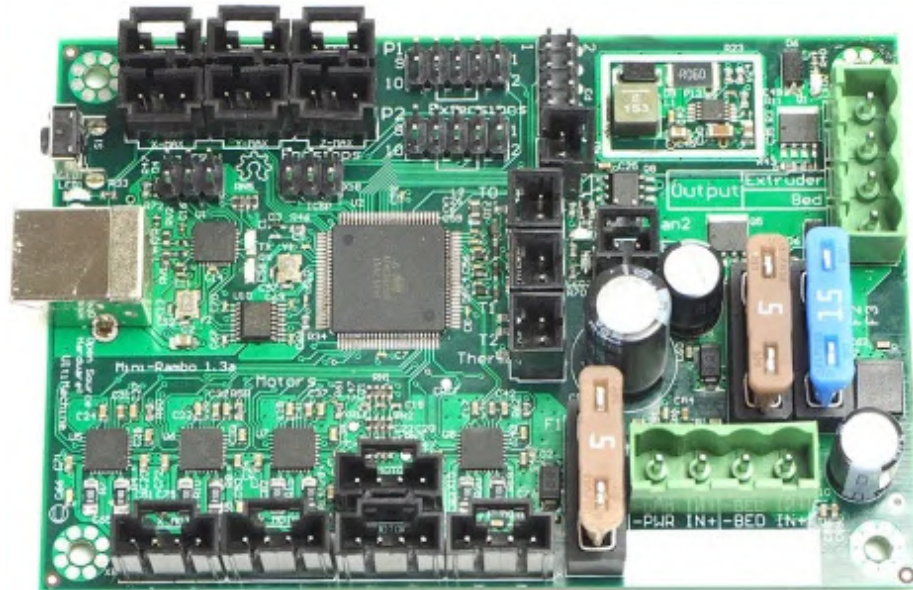


## 6.7. *Mini-Rambo*

La placa *Mini-Rambo* es una placa base para impresora 3D todo en uno. Es una versión compacta del diseño *RAMBO v1.3L* con *arduino MEGA* y controladores paso a paso, todo en una PCB integrada. El *Mini-Rambo* está diseñado para funcionar con los *firmwares* de la generación RAMPS actual con modificaciones mínimas para agregar el control de corriente del motor PWM del *firmware* y los pines de configuración de micropasos. Los sistemas Linux y Mac utilizan la interfaz CDC y tienen un controlador de *hardware* integrado, como se ve en la Figura 15 tiene múltiples entradas para trabajar con diferentes operaciones. Mientras que, para esta placa, un *firmware marlin* preconfigurado que está cargado en la placa. Para volver a actualizar esta placa, simplemente puede usar el IDE de *arduino* con complementos Rambo y configurar la placa en rambo"(UltiMachine, 2023).

**Figura 15**

*Placa MiniRambo 1.3a para el procesamiento del firmware del prototipo.*



## 6.8. Controlador gráfico inteligente *RepRapDiscount*

Este tablero de visualización está destinado a proporcionar una solución fácil y sencilla para interactuar con una impresora 3D. Dado que muchas de las placas base de la impresora 3D se basan en el diseño RAMPS, esta placa de visualización es compatible con muchas otras placas base. El diseño original admite la interfaz de pantalla paralela de 8 bits y una interfaz de pantalla en serie de 4 bits, sin embargo, todos los *firmwares* comunes de la impresora E3 solo admiten la interfaz en serie de 4 bits que solo usa un pin para datos (*RepRap*, 2022). Liberando más pines para otros usos ya que en la Figura 17 se ve su uso facilitado por el selector en la esquina inferior. La preferencia del serial se debe principalmente al uso de la [*U8G library*] que implementa el soporte gráfico en estos *firmwares*.

**Figura 16**

*Placa controladora LCD de operaciones del prototipo.*



---

## Investigación y planeación de propuesta del proyecto

---

Los motivos por los cuales se escogió este proyecto eran para mejorar las capacidades de diseño digital y de programación. Con esto en mente el proyecto se presentó porque era un concepto compacto que podía ser implementado rápidamente por cualquier estudiante y ya se tenía planeada su implementación, entonces para la primera entrega del proyecto de tesis de la implementación de una recicladora *recreator 3D* se realizó una investigación de datos, un diseño de planeación y una implementación efectiva condicionada por pruebas y actualizaciones constantes.

### 7.1. Investigación de opciones de recicladora para el proyecto

El proyecto de una recicladora transformadora de plásticos PET 1 ya se ha propuesto anteriormente, con el objetivo de apoyar el reciclaje y reutilización de polímeros para un uso de diseño industrial. Originalmente la UVG no planeaba generar todo un sistema de recicladora desde cero, sino que a partir de una presentación popular ya existente en la comunidad de diseño en línea se planeaba diseñar un modelo basado de esta, de manera que se usara el mismo sistema de control *firmware marlin* para editar el funcionamiento deseado en un proyecto como este, además de diseñar una nueva presentación digital del proyecto con la cual se aplicarían arreglos o cambios de dimensionamiento y fabricación que generaría un modelo original por parte de la institución para compartirlo en la comunidad de diseño.

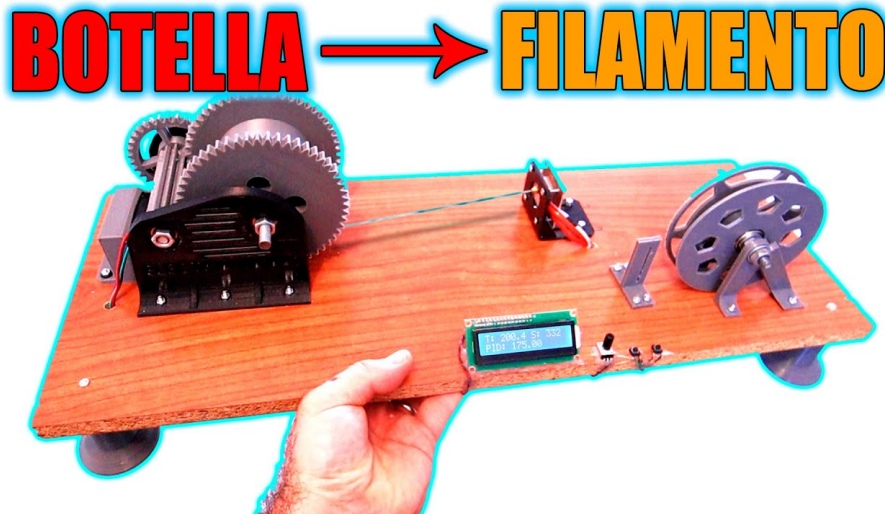
A partir de la idea de búsqueda se pensaron en dos estándares que el proyecto debía cumplir para encontrar una presentación que se asemejara al concepto que quiere implementar la UVG. Se trata de un proyecto compacto que esté bien estructurado, con todas sus piezas posicionadas de manera que eficientemente formen una estructura sólida para que el sistema trabaje efectivamente mientras su manipulación y uso sean de fácil acceso al usuario que quiera transformar PET 1. Junto con la funcionalidad, no tiene que tener los



mejores diseños que hagan que el trabajo sea perfecto, solo se quiere priorizar la extrusión de polímeros en filamento de las dimensiones adecuadas para acumularlo en un seguro sencillo. Ambos conceptos se limitaban entre sí, pero por eso se planeaba considerar la mejor presentación que optara por un balance entre ambas capacidades para tener el proyecto más simple a implementar, como en los ejemplos (Electronoobs, 2022) que generaron una guía para implementar el proyecto de una recicladora de la figura 17.

**Figura 17**

*Implementación de una recicladora transformadora de PET.*



Nota. Imagen inicial del tutorial de ELECTRONOBS

## 7.2. Presentaciones consideradas para el proyecto

Considerando los criterios de los estándares de investigación para la implementación del proyecto, se encontraron tres presentaciones con diferentes características que los relacionaban con las capacidades deseadas:

- **el *polyformer***: es el mejor proyecto entre los tres seleccionados debido a la alta calidad de diseño y control de acciones por programación que se necesitan para implementarlo. Esta presentación fue creada centrándose por completo en la eficiencia de la estructura del sistema, pero presentaba una estructura muy compactada, donde no dejaba espacio para mejoras. Estas eran necesarias en el proceso de diseño para los estudiantes que quieran trabajar en el mismo proyecto posteriormente, además de que no presentaba ninguna documentación de construcción, ni tampoco mostraba pruebas visuales que presentaran a otros entusiastas del proyecto implementándolo.

- el *petalot*: se presenta como la opción más sencilla de implementar, ya que posee su propia comunidad de usuarios que han implementado el proyecto hasta hacer los avances de la segunda versión, la cual es la más reciente. El problema que presentaba era que no aplicaba del todo la práctica de diseño digital porque solo se necesitaban las piezas ya compartidas para su implementación. Si se desea por completo la funcionalidad, es decir, la capacidad de transformar los polímeros en filamento, lamentablemente, debido al nivel de simplicidad de la implementación, el proyecto no cumplía con los estándares de trabajo que se deseaba.
- el *recreator 3D*: el objetivo de este proyecto es ser el extrusor reciclador más compacto y compatible con todas las capacidades de todos los interesados en la comunidad de diseño. Daba una presentación sencilla de un sistema implementado con piezas diseñadas de manera digital, combinadas por componentes de marca que no son muy difíciles de obtener o de máquinas con las que ya se trabajaban en la UVG. Su popularidad presentaba resultados en la sección de galerías de implementación y operación, usando la información que compartía la página para la implementación del proyecto se pudo observar el interés de los interesados en fabricar el proyecto por iniciativa propia como expresan los ejemplos de implementación del proyecto en la Figura 18, así como la utilidad del material reciclado que podía generar el proyecto.

**Figura 18**

*Ejemplos de implementación del recreator 3D.*



## 7.3. Recolección de documentación del proyecto

### 7.3.1. Documentación oficial

Teniendo acceso a la página oficial se podían observar los diferentes modelos de la entrega para la implementación del *recreator 3D*, donde se seleccionó el modelo *MK5KIT:Ender 3* que está formado por piezas de la extrusora *ender 3*, en donde cada uno de los modelos presentaban su documentación para construir el proyecto. Entre estos documentos se presentan:

- **listado de materiales:** se trataba de un documento de *word* que presentaba un resumen completo de los componentes necesarios para implementar el proyecto, presentaba un listado de los componentes con sus dimensiones y versión específica, además de enlaces para comprarlos en línea. Lo contra productivo de este documento es que solo listaba los componentes de marca y en ningún punto hablaba de las piezas de fabricación digital.
- **manual de construcción:** era un manual sencillo que ordenaba las fases de instalación de los materiales, las conexiones eléctricas de los componentes de control y acciones, junto con la programación de la placa de control para finalizar en las instrucciones de operación para hacer uso de la máquina. Aunque no presentaba ejemplos visuales de los pasos de construcción, por lo que no se podía imaginar la forma correcta de realizar la construcción de manera correcta.
- **enlaces de descarga de archivos de piezas de fabricación digital:** Taylor (2023) presentó su proyecto compartido en la página de *printables*, el cual contenía los archivos *stl* que formaban el modelo del proyecto *recreator 3D* en la versión escogida, así como diferentes versiones de las mismas piezas para dar una posibilidad de ser flexibles con diferentes propuestas y arreglos, uno de esos resultados se ven en la Figura 19.
- **código original del firmware de control:** era una descarga de un archivo binario que tenía las operaciones de control de los sistemas de impresión 3D reusados para instalarlo en el control del prototipo.

Figura 19

Modelo MK5KIT: Ender 3 del proyecto recreator 3D.

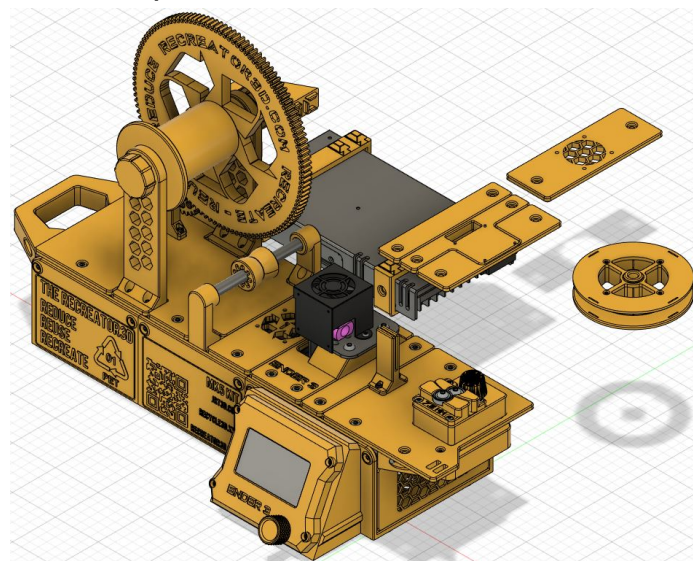


### 7.3.2. Documentación extra relacionada con el *recreator 3D*

Se logró obtener piezas muy específicas que creaban el cuerpo del proyecto con la documentación de la página oficial, pero este sistema tenía ligeras faltas sencillas de diseño. Solo se tenían las piezas de fabricación digital diseñadas para impresión 3D sin contar con diseños para los componentes de marca, podría decirse que era una falta en el diseño que queríamos corregir. Por lo que se revisó en la misma página de *printables* alguna entrega que se asemejara o estuviera basada en las piezas del proyecto del *recreator 3D*. Afortunadamente, Taylor (2023) creó un ensamblaje solucionando estos errores gracias a la retroalimentación de la comunidad de interesados en el modelo del *MK5KIT: Ender3*, el documento en *printables* era un documento f3d que se operaba con el sistema de *inventor fusion 360* para editarse como se ve en la Figura 20.

Figura 20

Versión de *fusion 360* del modelo MK5KIT: Ender 3.



## 8.1. Separación de piezas por método de fabricación digital

Se contaba con el conjunto de piezas necesario para la construcción del prototipo del proyecto, los cuales se tomaron de la página original, y un ensamblaje que nos daba una idea general de cómo debía implementarse el proyecto, en el archivo de *fusion 360*, estos fueron las bases para iniciar a diseñar la versión oficial de la UVG. El problema real era que todas las piezas estaban diseñadas para ser impresas en 3D con filamento, lo cual era posible y aceptable, pero sería un esfuerzo innecesario si pensamos que una buena parte de estas piezas solo tienen funciones de estructura y no se someten a esfuerzos mecánicos que requieran una solidez compleja. Por lo que se decidió observar su posición en el ensamblaje original para ver sus acciones y determinar si eran necesarias para fabricarse con filamento o si su funcionamiento solo era de base y sujeción, de tal forma que su dimensionamiento fuera sencillo y se podría generar con piezas de corte de madera por láser, para ello se separaron las piezas en dos grupos:

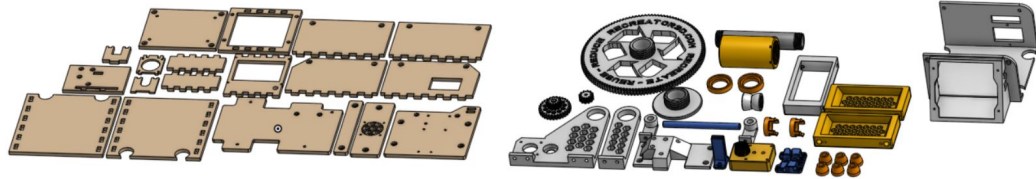
- **piezas mecánicas:** las piezas que se consideraban necesarias para realizar movimientos y acciones que fueran accionadas por el sistema eléctrico del proyecto, a estas piezas se les aplicaba fuerzas mecánicas y era necesario que estuvieran con las dimensiones específicas con un material que no tuviera un alto nivel de resistencia a las acciones de trabajo mecánico. Pero había ciertas excepciones de soportes de piezas y componentes, porque su diseño presenta un dimensionamiento de superficies que no se podrían aplicar con madera cortada en láser, ya que están muy definidas y no se podían estructurar sin usar demasiadas placas de maderas bien diseñadas, se optaba por procurar funcionalidad sobre comodidad como se ve en la Figura 21 a la derecha.



- **piezas estáticas:** son las piezas de estructura que no realizaban ninguna acción, es decir, que solo eran soportes para asegurar todos los materiales del proyecto juntos a la hora de hacer la implementación, estas están mostradas en la Figura 21 del lado izquierdo. Había piezas de estructura que tenían dimensiones sencillas, pero no podían ser cortadas en una sola placa de madera, por lo que tuvieron que ser diseñadas en *onshape* como diferentes piezas que se combinaban para crear la pieza correcta.

**Figura 21**

*Separación de piezas por fabricación digital.*



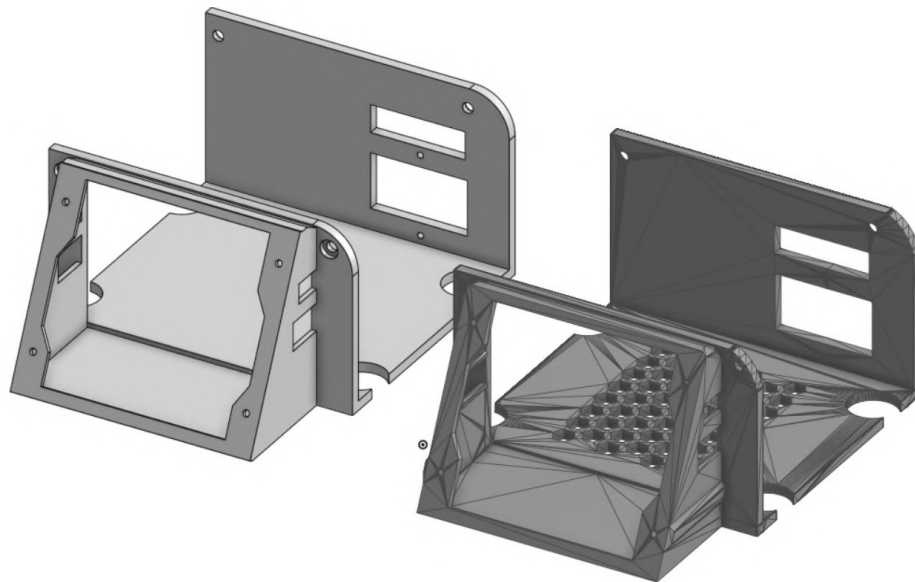
Nota. Piezas para corte láser (izquierda) e impresión 3D (derecha)

## 8.2. Análisis de errores de diseño de las piezas originales de *onshape*

Al tener organizadas las piezas en listas según su método de fabricación digital, se quería usar las piezas para hacer un ensamblaje nuevo que se considere como una entrega original de la UVG basada en el proyecto *recreator 3D* porque sería una agrupación estructurada de forma diferente. Entonces, al querer usar las piezas originales para hacer el nuevo ensamblaje se encontraron diferentes errores como se muestra en la Figura 22. Estos se analizaron para generar soluciones antes de hacer el primer ensamblaje de prueba del prototipo.

**Figura 22**

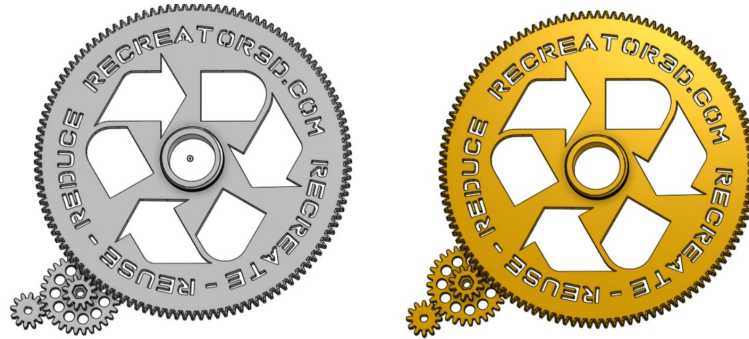
*Diferencias entre piezas originales (izquierda) y rediseñadas (derecha).*



- **incapacidad de manipulación o edición:** las piezas originales del proyecto estaban diseñadas de forma que las superficies de las piezas no podían ser editadas o manipuladas por las acciones del ensamblaje y tenían que ser diseñadas entonces desde cero con las mismas dimensiones exactas, según la complejidad de su diseño entonces se realizaron los rediseños de la siguiente forma:
  - **diseño de piezas desde cero:** se usaron borradores para tomar las dimensiones exactas de las piezas para impresión 3D y se diseñaron desde cero.
  - **uso de piezas del ensamblaje de *fusion 360*:** algunas piezas tenían dimensiones que no se podían analizar con borradores por lo que no se podían diseñar desde cero. Debido a esto, se usaron las piezas originales del ensamblaje de la documentación investigada, porque estos archivos se podían exportar como documentos tipo steps y verse como piezas individuales en *onshape* y no era necesario hacer alguna modificación física, solo se cambió el color a uno más simple para diferenciarlos de los modelos de *fusion 360* como se ve en la Figura 23.

**Figura 23**

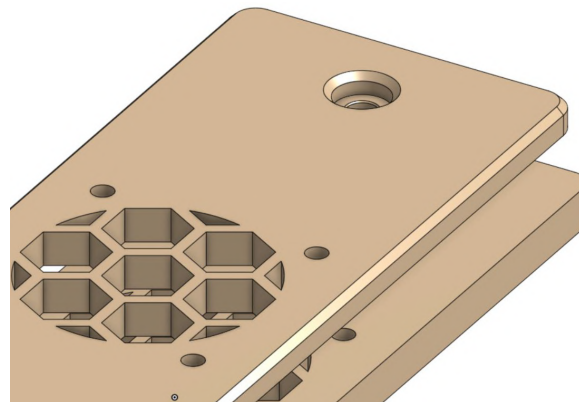
*Pieza editada (izquierda) y pieza de fusion 360 (derecha).*



- **detalles de piezas que se cortaron en madera con láser:** la idea era solo usar *inkscape* para generar un documento pdf con las superficies que queríamos cortar, pero estas piezas eran del ensamblaje de *fusion 360* y eran solo placas estructurales. Por lo que sus superficies podían arreglarse para ser trabajados en *inkscape* como se ve en la Figura 24.

**Figura 24**

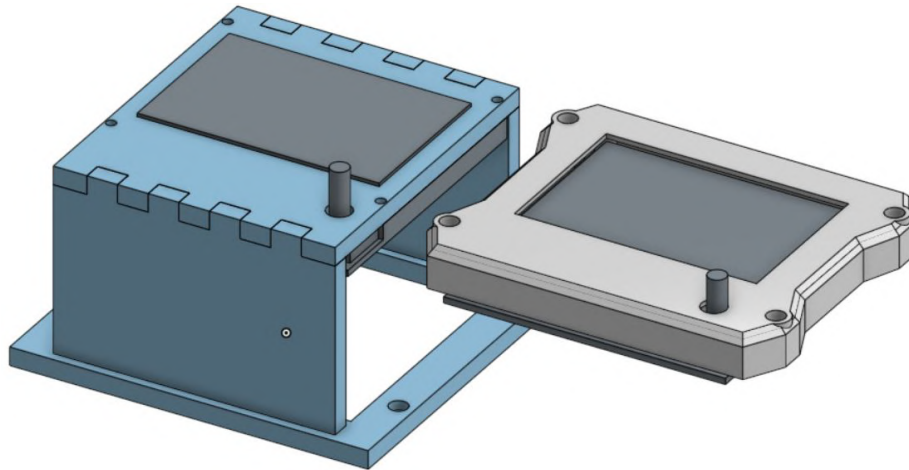
*Edición de piezas de fusion 360 para corte láser.*



- **creación de piezas para corte láser para cumplir con operaciones de piezas en impresión 3D:** a lo largo de la edición de piezas se notó que algunas piezas para impresión 3D, a pesar de poder ser diseñadas desde cero a partir de borradores de los archivos originales de la página oficial del *recreator 3D* tenían dimensiones que serían difíciles de implementar para las impresoras de la UVG, por lo que se decidió que se podían generar conjuntos de diseños de piezas de soporte que se podían ensamblar para cumplir con las mismas operaciones que las piezas originales como presenta la Figura 25 para los cambios del soporte de la placa de control *LCD*.

**Figura 25**

*Diferencias entre el rediseño y la primera versión del soporte para la placa controladora LCD.*



Nota. El soporte original tenía diferentes desfaces en sus dimensiones que no permitían imprimirlo las impresoras de la UVG

### 8.3. Implementación del ensamblaje digital del prototipo

Cuando se terminó de diseñar todas las piezas de fabricación 3D y los modelos digitales de los componentes físicos que se van a usar en el prototipo, se inició la implementación del ensamblaje según un orden establecido por lógica al observar la presentación de *fusion 360* en el programa de diseño de *onshape*.

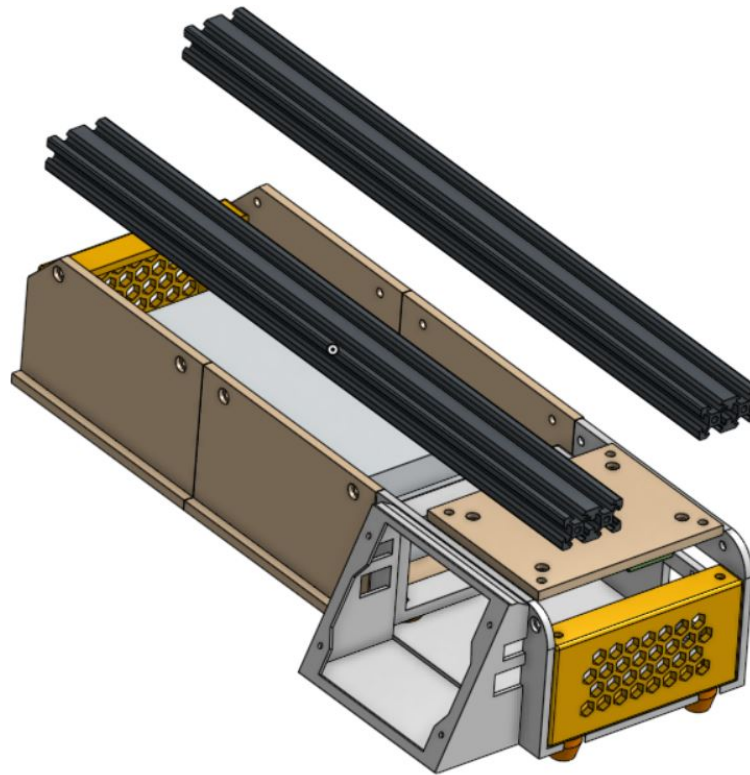
- **parte inferior:** es el conjunto que agrupa y protege la electrónica gracias a las paredes y a la estructura inicial del prototipo como se ve en la Figura 26. Esta prepara la instalación del resto de materiales del prototipo, priorizando las bases para la instalación de los conjuntos de la parte superior externa y la inferior interna. Sus componentes son:
  1. **orientación:** comenzando con solo uno de los perfiles de metal se usó la operación de sujeción de pieza para asegurar el perfil al punto de origen del plano del ensamblaje para que no se moviera.



2. **cubierta inferior:** se usaron las piezas de cubierta principal de la parte inferior para orientar toda la figura, se colocaron una por una y de una punta del perfil al extremo opuesto formando una estructura cerrada, finalizando con asegurar el segundo perfil de metal en el extremo opuesto de las cubiertas.
3. **componentes internos:** las piezas de soporte y cubierta principal inferior tienen espacios en donde se instalaron paredes de soporte en ambos extremos del sistema y una en medio. Después también se ajustaron las patas de esas paredes para montar una forma más completa del soporte inferior.
4. **electrónica:** las piezas se pueden editar para ser visualizadas en el ensamblaje, pero como queríamos trabajar con la parte interior del sistema actual se visualizó un extremo como invisible para poder instalar los soportes y las piezas eléctricas, según su funcionamiento específico:
  - **fuentes de poder:** solo iba a estar adentro del sistema, por lo que solo se aseguró a una pieza de soporte a la mitad del sistema inferior.
  - **placa de control *MiniRambo 1.3a*:** se instaló a un soporte invertido a los perfiles de metal.
  - **pantalla *LCD*:** los dos ejemplos anteriores eran internos, pero esta se instalaba de forma externa con un soporte especial que cubría una apertura de uno de los soportes de los extremos.

**Figura 26**

*Parte inferior del ensamblaje original de la UVG.*

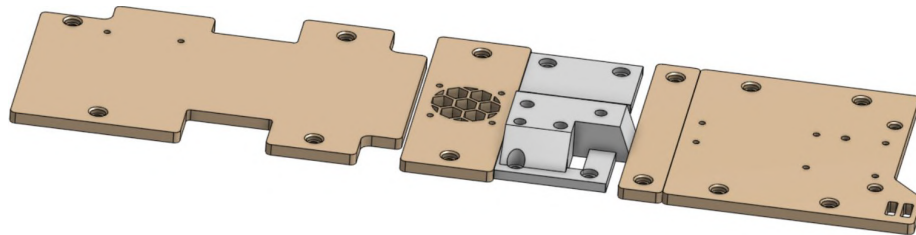


■ **parte superior:**

1. **placas base:** las piezas de placas sencillas para corte en láser se van instalando una por una de un extremo del sistema al otro para cubrir la cubierta superior de la parte inferior junto con el soporte del extrusor en el orden de la Figura 27, que apoya a las instalaciones posteriores de piezas de acciones superiores:
  - **placa de corte:** es la primera placa que se instala en el mismo extremo que el soporte inferior de la pantalla *LCD*.
  - **placa espaciadora:** da un espacio para separar el sistema de corte y el extrusor.
  - **soporte del extrusor:** tendrá instalado el sistema de piezas y componentes que sujetarán el extrusor.
  - **placa de ventilación:** tendrá instalada un ventilador porque será el sistema de acondicionamiento del interior de la parte inferior.
  - **placa de separación principal:** organizará el espacio para la instalación de la parte más grande de todo el sistema, el ensamble mecánico impulsado por el motor *stepper* y el eje principal. Además del sistema de guía del filamento reciclado.

**Figura 27**

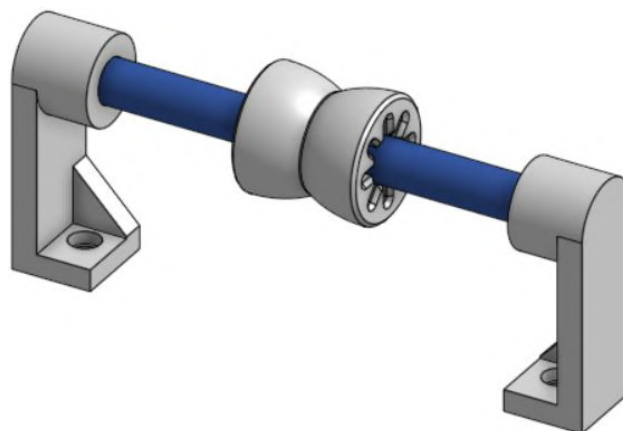
*Placas de soporte superior.*



2. **sistema guía de filamento reciclado:** está formado por dos soportes que sujetan el eje secundario para el soporte guía del filamento reciclado como en la Figura 28. Este estará instalado entre la placa del ventilador y la placa de soporte principal.

**Figura 28**

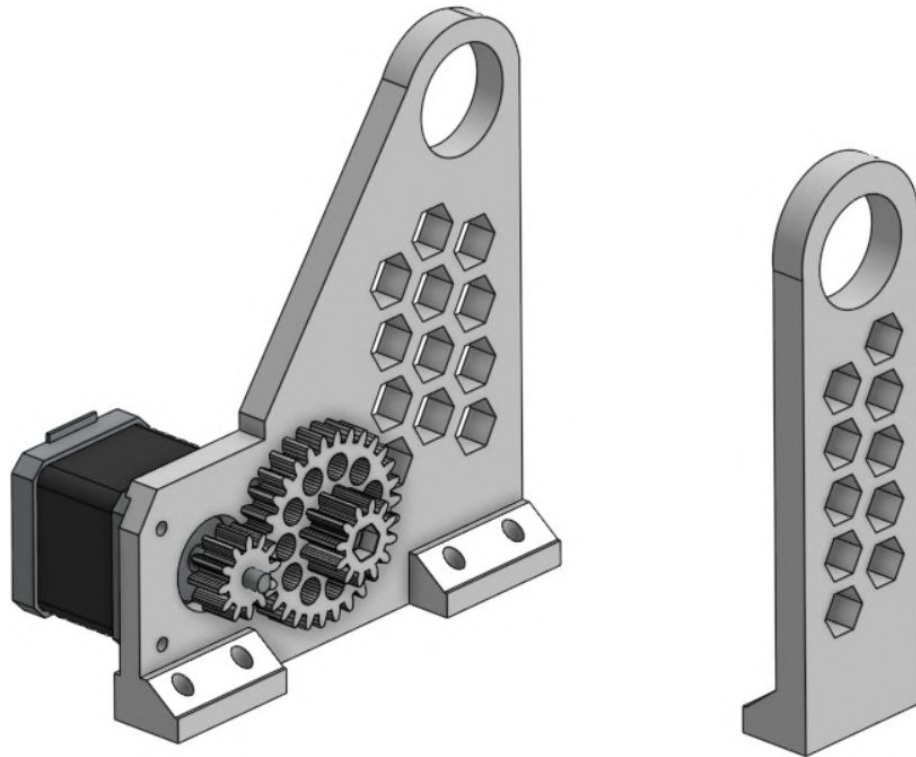
*Conjunto de guía de filamento reciclado.*



3. **ensamblaje mecánico del motor:** está formado por dos partes que se combinan para hacer la acción de recolectar el filamento reciclado de forma continua. La instalación de los componentes se realiza de manera organizada porque después de instalarlos hay que verificar que estén asegurados para que el dimensionamiento de las operaciones sea correcto, ya sea de manera digital o física.
- **soportes estructurales:** primero se instalan los soportes principales del sistema de sujeción del eje principal. En el extremo con dos espacios se instaló el soporte principal del motor, junto con la implementación del sistema de intercambio de energía y movimiento iniciado por el motor *stepper* y dando movimiento al engranaje menor para pasar fuerza y movimiento al engranaje doble que hará lo mismo para la segunda parte. En la Figura 29 también se observa que se instala el perfil del lado opuesto del soporte secundario tratando de alinear ambas entradas para el eje principal.

**Figura 29**

*Base del conjunto de traslado de esfuerzo del motor stepper.*

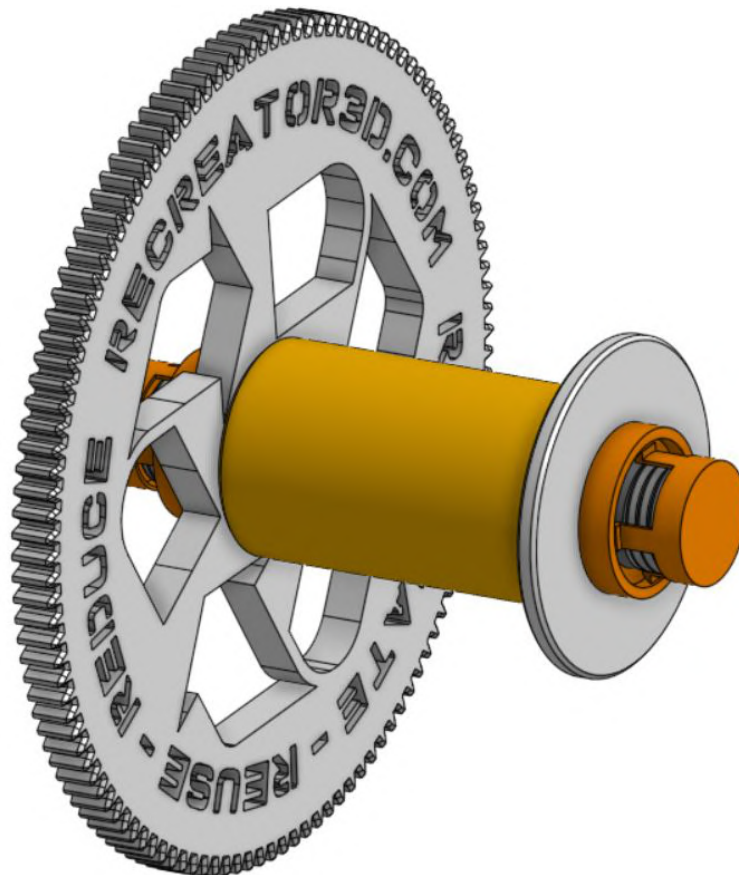


Nota. Este conjunto tiene sus espacios de instalación específicos en la placa de separación principal

- **eje principal y sistema de recolección de filamento:** rodeando el eje principal hay un conjunto de piezas que forman el soporte de recolección de filamento, que se organiza de la siguiente manera de izquierda a derecha igual que en la Figura 30:
  - sujetadores del eje:** estos están colocados en ambos soportes laterales del eje para mantenerlo estático.
  - espaciadores q, 2.1 y 2.2:** el sistema de recolección de filamento no cubre todo el eje principal, por lo que hay que mantenerlo posicionado en el mismo punto para que no lo muevan o lo afecten esfuerzos externos al uso de la máquina:
  - engranaje principal:** es el engranaje que inicia la operación de rotación y recolección recibiendo fuerza y velocidad del ensamblaje de engranajes del motor *stepper*.
  - soporte medio de recolección:** es la pieza donde irá sujetando el filamento y en él que se estará enrollando el filamento sobre su eje.
  - tope lateral de recolección:** es un segundo soporte para mantener en posición el sistema, pero también ayuda a soportar y ordenar el filamento recolectado.

**Figura 30**

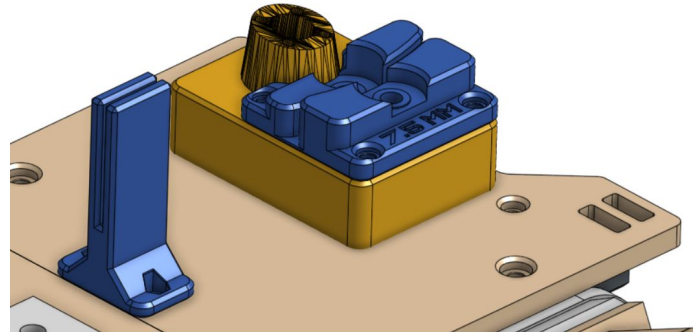
*Conjunto de soporte del eje principal y recolección de filamento.*



4. **piezas para corte de plástico:** está conformado por dos instalaciones, la implementación de la base y el soporte intermedio del cortador, para formar el soporte de rodamientos que servirán para ir cortando el plástico de botellas en tiras sencillas, hay que tomar en cuenta que se planeó la presentación de las piezas de manera que se miraba como si solo se visualizara la base ajustada a la placa lateral. Por último, se ajustaba en la parte alejada de la placa el soporte guía de la tira cortada de plástico para ingresarla al extrusor, como se ve en la Figura 31.

**Figura 31**

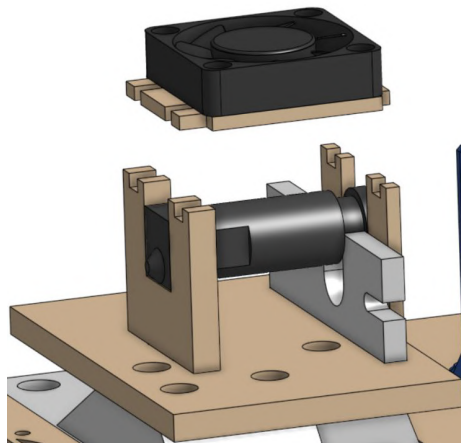
*Conjunto de corte y guía de ingreso de PET 1.*



5. **construcción del sistema del extrusor:** era un sistema con bastantes piezas, por lo que instalarlas como se ve en la Figura 32 era necesario para asegurar la estabilidad del *HotEnd* y su funcionamiento como extrusor.
- a) base aislante
  - b) soporte de *HotEnd*
  - c) placa de aluminio para soporte del *HotEnd*
  - d) *HotEnd*
  - e) soporte trasero del extrusor
  - f) techo con ventilador del extrusor

**Figura 32**

*Conjunto de soportes del extrusor.*



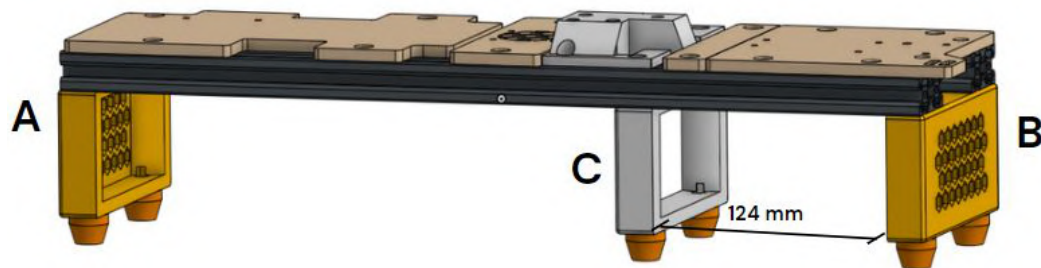
## 8.4. Diseño y creación del manual para la implementación del proyecto

Después de completar el ensamblaje digital del proyecto, se tomó un tiempo para analizar cómo se quería construir el proyecto en físico una vez se consiguieran la mayoría de las piezas. Según la forma en que se abordó la instalación digital, se debe mencionar que algunas de las acciones que se realizaron son imposibles de hacer de forma física, por lo que se necesitaba una mejor organización para construir el prototipo. Gracias a esta idea se decidió crear un manual de implementación, que afrontaba las fases de instalación de una forma más organizada y específica, tomando en cuenta todos los materiales y su funcionalidad en el sistema.

1. **base de orientación y soporte principal:** ya no era posible la opción de instalar los perfiles de metal a cualquier pieza e iniciar desde ese punto, ahora se posicionaron los perfiles como el punto de origen, en donde las primeras placas de soporte de la parte superior se instalaron, de nuevo junto a la base del sistema del extrusor. Después se le dio la vuelta a la base 180 grados y se instalaron las paredes internas de soporte de la parte inferior con sus patas de soporte respectivas. Para esta parte se tomó nota de las distancias exactas entre cada pared porque alrededor de estas está formada toda la parte inferior del proyecto. Realmente solo se instalan las paredes externas (A y B) en los extremos de los perfiles, como se pueden ver en la Figura 33, pero la pared interior (C) se debe instalar en una distancia exacta de 124 mm lejos de la pared del extremo de la placa del corte de plástico.

**Figura 33**

*Base inicial de implementación del prototipo.*



Nota. Las instalaciones de la electrónica interior van entre las paredes A, B y C

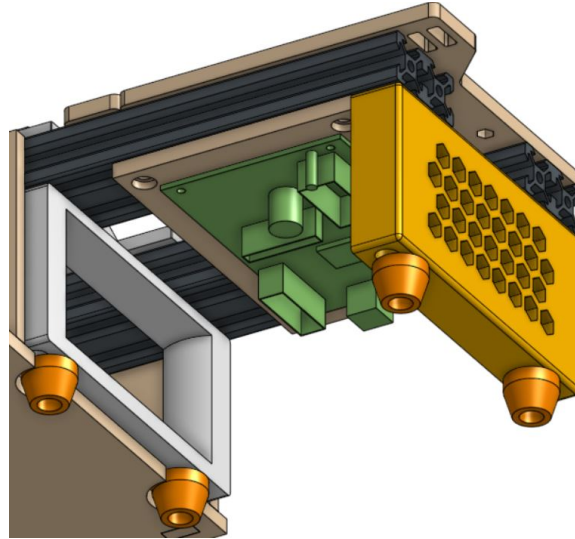


2. **cubierta y electrónica inferior:** se instalaron en el orden específico las piezas que forman la electrónica y luego se cubrieron con los soportes exteriores.

- a) **MiniRambo 1.3a:** la placa de control se instaló en un soporte, el cual a su vez se instaló en los perfiles de metal, lo importante es que debe posicionarse siempre en medio de la pared superficial de los extremos del sistema de corte de plástico (B) y la pared central (C) como se puede ver en la Figura 34.

**Figura 34**

*Soporte de la placa MiniRambo 1.3a.*

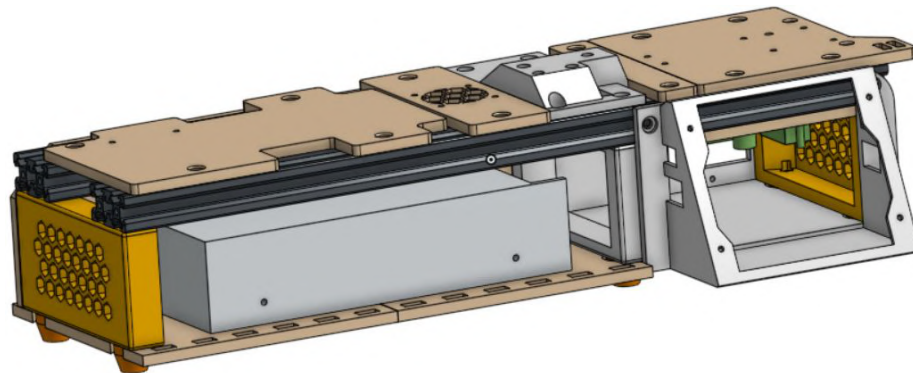


Nota. Se instaló la pieza entre las paredes B y C

- b) **piezas de cubiertas:** estas son las piezas externas que cubren toda la parte inferior, la razón por la que debían instalarse las paredes interiores a la distancia correcta, es porque estas cubiertas están diseñadas para ensamblarse de forma exacta alrededor de estas paredes y sujetarlas aún más. Las piezas se instalaron una por una desde el extremo de la placa de corte de plástico hasta el otro extremo, pero se debe notar que la fuente de poder debe colocarse adentro del sistema justo al lado de la pared interior, como se puede ver en la Figura 35.

**Figura 35**

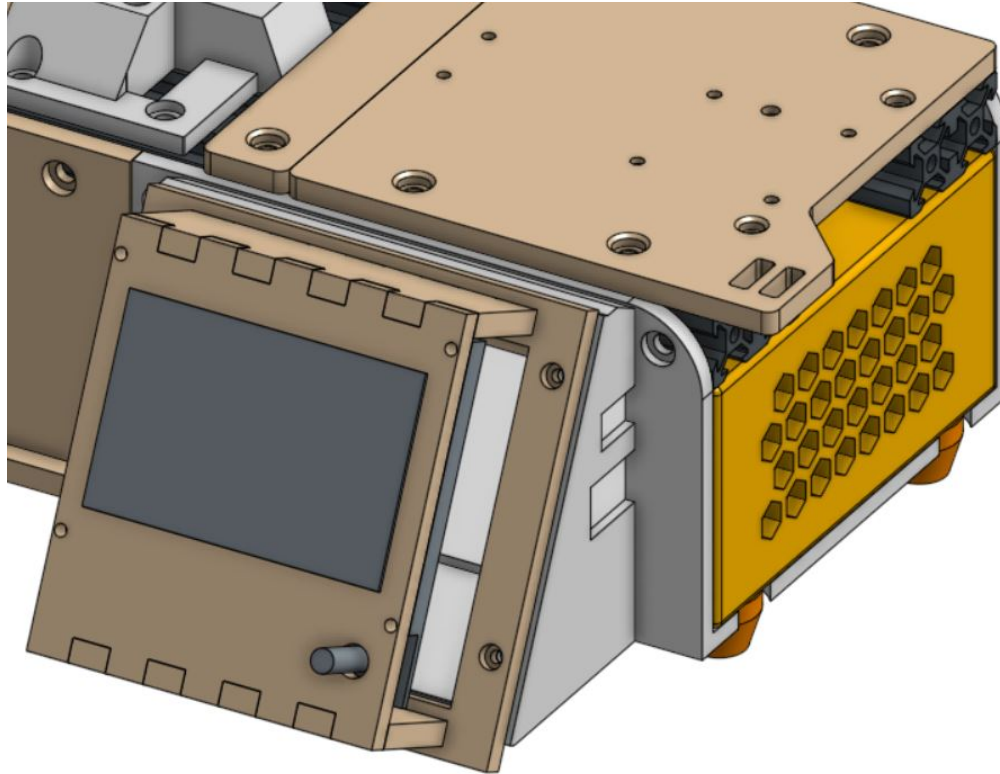
*Parte inferior (vista abierta).*



- c) **soporte y placa de control LCD:** se asegura la placa de control *LCD* al soporte para luego instalarlo a la superficie de la pieza de soporte exterior del extremo del cortador de plástico como se ve en la Figura 36. Es la única placa de soporte y cubierta de la parte inferior impresa en 3D para esta acción específica.

**Figura 36**

*Instalación de placa controladora LCD.*



Nota. La posición del ensamblaje del soporte esta la placa externa entre las paredes B y C

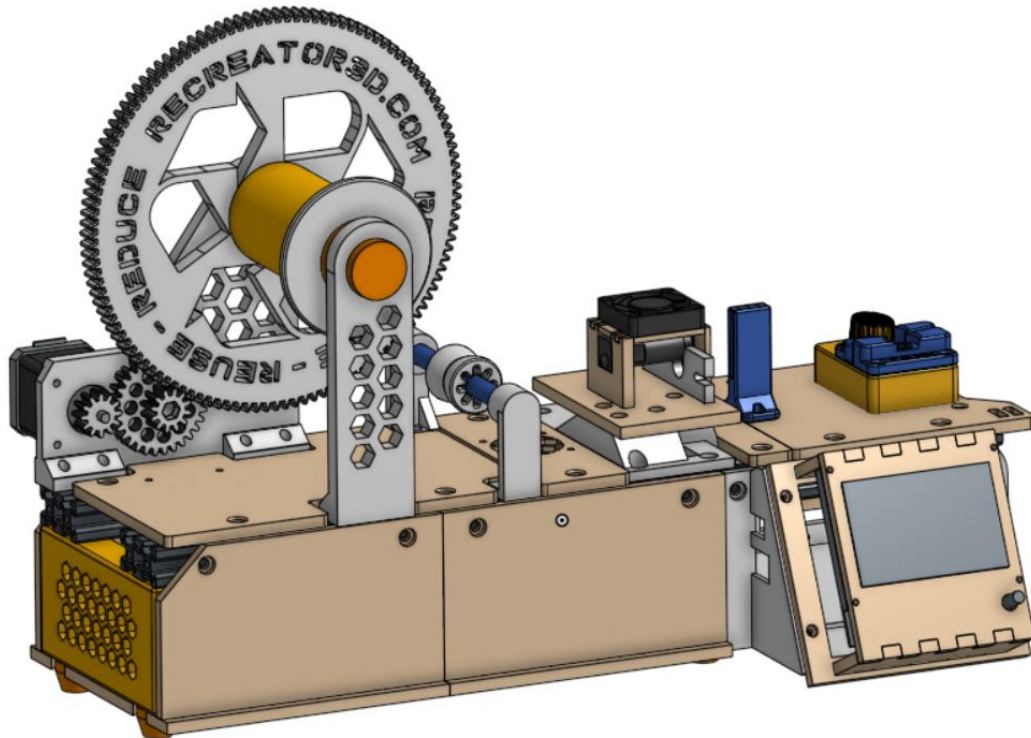
3. **operaciones superiores:** los componentes electrónicos controlados por el cableado en la parte inferior se instalaron de la misma manera que el ensamblaje digital la primera vez, ya que todas las bases de soporte de la parte superior están instaladas y el orden de implementación de los materiales no requirió de ajustes. El resultado final es el ensamblaje de la Figura 37, con los conjuntos de piezas:
- **cortador de plástico:** se instalan los soportes del cortador y la guía del plástico para la entrada del extrusor.
  - **el extrusor:** se implementó el ensamblaje de soportes aislantes alrededor de la placa de aluminio y el *HotEnd* de manera que se pudiera desensamblar si se quisiera hacer alteraciones futuras, pero seguirá aislando el calor al momento de usarlo.
  - **guía de filamento reciclado:** el eje de la guía junto con sus bases estarán posicionando la pieza guía antes del ensamble de los engranajes para poder orientar el filamento hacia el eje principal.



- **el ensamblaje de engranajes impulsado por el motor *stepper***: iniciando con los soportes para ambos extremos del eje principal, se instala el motor *stepper* seguido por el orden de engranajes específico, que mandaran impulso al engranaje mayor instalado en el eje principal.
- **eje principal**: recibirá el impulso del motor *stepper* y accionará el movimiento del soporte de recolección de filamento para extraer el material PET 1 automáticamente.

**Figura 37**

*Ensamblaje original de la UVG de la implementación del prototipo de una recicladora recreator 3D.*



---

## Inicio de implementación y pruebas del proyecto físico

---

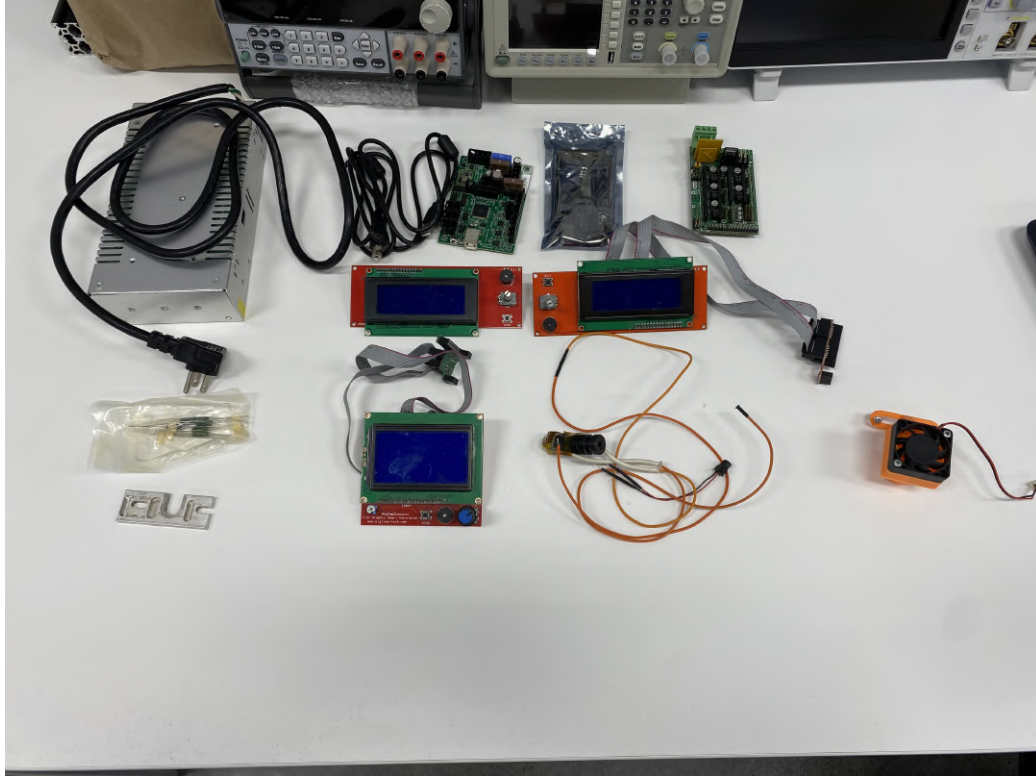
### 9.1. Cotización de componentes de marca

Cuando se completó el diseño digital, se tomó el manual de implementación original del proyecto *recreator 3D* para hacer un listado de los componentes físicos que no se podían fabricar en la UVG, sino que eran componentes que eran producidos para tener dimensiones y cualidades muy específicas siendo fabricadas por técnicas de fabricación más avanzadas que la impresión 3D o el corte láser. Dependiendo de su accesibilidad se separaron los componentes de forma que se notara como se obtuvieron antes de la implementación del proyecto:

- **préstamo de piezas de la UVG:** la mejor opción para obtener la mayoría de componentes del listado original era revisar en el almacén de los proyectos anteriores de la UVG, tomar las piezas exactas o que más se asemejaban a cumplir con el trabajo deseado, como se ve en la Figura 38, para hacer una petición y poder trabajar con las piezas como un préstamo:
  - placa de control *MiniRambo 1.3a* de impresora 3D con cable USB-A a USB-B
  - fuente de poder de 12V/30A
  - placa de aluminio de soporte del *HotEnd*
  - extrusor *HotEnd J-Head*
  - ventilador de 40 mm
  - resistencias 6.8 ohms 3W 5%
  - pantalla del controlador de gráficos completa con cables
  - motor *stepper* con *driver* de control

**Figura 38**

*Primera revisión de componentes disponibles en la UVG.*



Nota. Inventario de componentes electrónicos específicos para implementar el prototipo

- **cotización externa a la UVG:** no todos los componentes necesarios para la implementación estaban disponibles en la UVG. La mayor razón siendo que eran piezas de sujeción muy específica que solo se podían encontrar en línea o en tiendas especializadas en la familia y marca de los componentes deseados, además de que se tenía que hacer una lista con la cotización de precios de compra para informar a la UVG. Esto se basa en la investigación y búsqueda intensiva que se realizó en varias tiendas alrededor de la ciudad de Guatemala y en línea alrededor del país que ayudaron a obtener las herramientas de la Figura 39. Estas son:
  - **conjunto de tuercas tipo T:** esta versión de tuercas era de suma importancia porque ayudarían a la mayoría de soportes estructurales a ser instalados en los perfiles de metal.
  - **perfiles de metal de 450 mm:** al principio se compró en Guatemala un perfil de 1 m de largo y se solicitó, en otro local que era para tornillos, que el perfil completo se separara en perfiles de originalmente 400 mm.
  - **tornillos serie M:** en el ensamblaje de la comunidad hecho para *fusion 360*, se implementaron todos los materiales, incluyendo los tornillos con los que se fijan todas las piezas. A partir de una revisión se observaron que se necesitaban tornillos tipo M desde el 2 hasta el 6 con diferentes longitudes, por lo que se buscaron precios en línea y se consultaron varias tiendas para averiguar si tenían todos los conjuntos necesarios, desafortunadamente no tenían los tornillos para los soportes más específicos de la misma versión, pero se intentó usar otros tornillos con los

que se intentó reconciliar el error, durante la implementación no se presentaron complicaciones con los conjuntos obtenidos.

- **herramientas de fijación para trabajar con los tornillos tipo M.**
- **pegamento de madera para las piezas que arman estructuras unidas.**
- **rodamientos de 1.75 cm de diámetro:** estos van instalados como cortadores en el conjunto de piezas para desarrollar el cortador de tiras de plástico de las botellas de PET 1 del prototipo. Estarán instalados en posiciones que puedan realizar el corte exacto del grosor que deben cumplir las tiras del plástico PET 1 para ingresar al extrusor antes de ser transformadas en filamento reciclado.

**Figura 39**

*Herramientas para la implementación del prototipo.*



Nota. Inventario de herramientas para implementar el prototipo

## 9.2. Comparación de costos

En la recolección de los componentes eléctricos y para fabricar de manera física el prototipo, se generó un listado de componentes que son diferentes a los solicitados por el proyecto original del *recreator 3D*. Como presenta el Cuadro 1, para este listado se solicitaron piezas de proyectos anteriores para reducir el costo de fabricación, por lo que fue necesario calcular la diferencia de costos entre el listado del proyecto original y las que se calcularon como préstamos o por cotizaciones externas a la UVG (Amazon y Mercado libre de México, s.f.).

**Cuadro 1**

*Comparación de costos de recolección de materiales para la implementación del prototipo.*

<b>Pieza</b>	<b>Cantidad</b>	<b>CTM</b>	<b>CTP</b>
Perfil de aluminio de 1m	1	Q 164.19	Q 140.00
Cortador de botellas PET 1	1	Q 234.56	FU
Placa de aluminio del <i>HotEnd</i>	1	Q 60.00	SPU
Extrusor <i>HotEnd - JHead</i>	1	Q 199.00	SPU
Resistencia 6.8 ohms 3W 5 %	2	Q 6.00	SPU
Ventilador 40 mm - tornillos	1	Q 45.00	SPU
<i>Full graphic smart controller</i>	1	Q 202.97	SPU
Placa <i>MiniRambo 1.3a</i> de Impresora 3D	1	Q 398.22	SPU
Cable USB-A a USB-B	1	Q 44.00	SPU
Fuente de alimentación 12V/30A	1	Q 385.00	SPU
Motor <i>stepper</i> 42-40	1	Q 175.00	SPU
<i>Driver motor stepper A4988</i>	1	Q 29.00	SPU
Rodamiento de 1.75 cm	2	Q 90.00	Q 90.00
Juego de tuercas T M3/M4/M5	1	Q 77.99	Q 77.99
Tornillos M3x40 mm	8	Q 14.48	Q 14.48
Tornillos M3x32 mm	2	Q 2.78	Q 2.78
Tornillos M3x25 mm	6	Q 4.02	Q 4.02
Tornillos M4x18 mm	38	Q 72.58	Q 72.58
Tornillos M4x15 mm	6	Q 11.46	Q 11.46
Tornillos M6x50 mm	6	Q 8.16	Q 8.16

Nota: CTM = Costo total de componentes en el mercado

CTP = Costo total de componentes del proyecto

SPU = Solicitud de pieza a la UVG

FU = Fabricado en la UVG

De esa manera, se calcularon los ahorros potenciales que se lograron en el proyecto según los costos del mercado en el Cuadro 2.

**Cuadro 2**

*Análisis de ahorros según los métodos de recolección de materiales.*

Costo calculado total de las piezas en el mercado	Q 2224.41
Costo oficial de la recolección de componentes eléctricos y de marca	Q 421.47
Ahorro total	Q 1802.94

Nota: Cálculos del ahorro del proceso de recolección de componentes eléctricos y de marca

### 9.3. Fabricación de piezas digitales

Para ambos métodos se solicitó el apoyo de la UVG para la fabricación en corte láser e impresión 3D en el *D-Hive* y el *makerlab* respectivamente. La idea era producir todas las piezas en un tiempo corto para poder iniciar con la implementación del proyecto. Mientras que se fabricaron el resto de piezas con:

- **corte láser:** las piezas diseñadas para corte láser se diseñaron tomando en cuenta las regulaciones de corte de madera de la UVG, donde solo se pueden cortar piezas con un grosor de 3 o 6 mm, ya que todas las piezas de corte láser eran placas planas de superficies en 2 dimensiones para poder ser cortadas en la cortadora láser PLS 4.75 con los planos en archivos pdf y ser aplicable en el sistema de la cortadora láser de la Figura 40.
- **planos en *inkscape*:** se usó el programa para transformar documentos dxf de las caras de las piezas diseñadas en *onshape* para corte láser y juntarlas en un solo documento exportado como pdf o al menos la cantidad posible para no tener que hacer tantos documentos.
- **arreglos en *inkscape*:** en varias piezas las superficies tenían efectos de cortes en donde se realizaron varias operaciones para editar los planos de las placas, esto entonces, prevenía que pudieran ser procesados por el sistema de corte láser. Para arreglar estos errores se usó *onshape* al rellenar estos cortes antes de pasar las superficies a pdf.

**Figura 40**

*Cortadora PLS 4.75 del makerlab del departamento de ingeniería.*



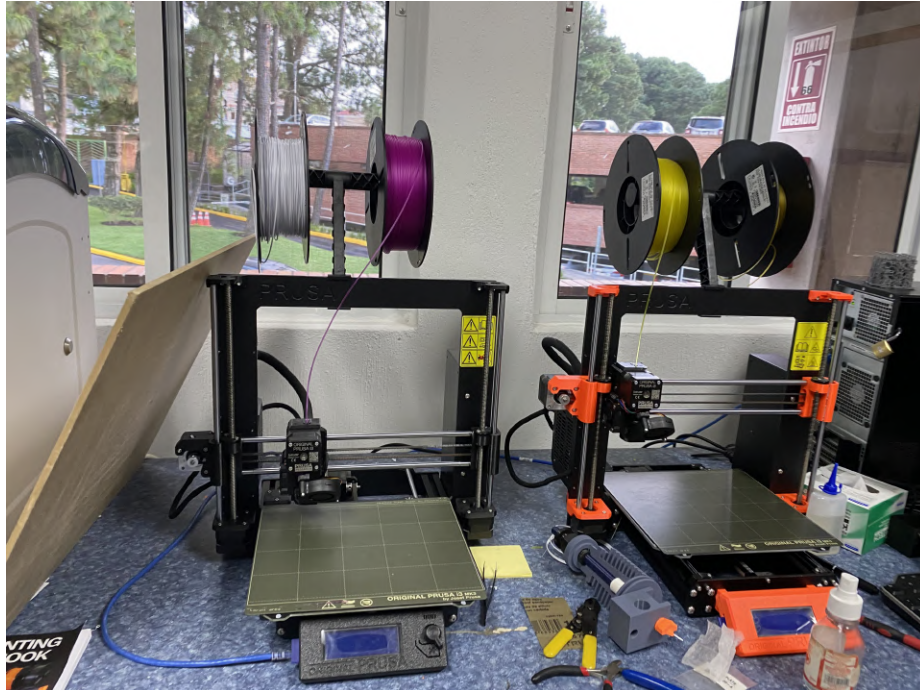
Nota. Se usaron tablas de madera de cartón grueso



- **impresión 3D:** la mayoría de las piezas impresas en 3D en las impresoras *PRUSA* en el *makerlab* o *ultimaker* del *D-Hive* eran para acciones mecánicas muy específicas o para soportes de acciones esenciales como se presentan en la Figura 41. Por lo que, se usaron varias piezas que solo fueron extraídas del ensamblaje de *fusion 360* o del listado de la página original, ya que solo se rediseñaron en *onshape* desde cero, pero no se cambiaron sus dimensiones:
  - **engranajes:** estos debían ser exactos a la hora de ser instalados y transmitir esfuerzos iniciando desde el motor *stepper*, por eso fue que no se rediseñaron desde cero, sino que se usaron los modelos originales con los que ya había seguridad de que cumplirían con las dimensiones de las otras piezas.
  - **soportes de componentes:** todos los componentes eran diferentes y necesitaban sus conjuntos de soportes específicos, la razón principal por la que se fabricaron estas piezas también tiene que ver en que estaban diseñadas de manera que cumplieran con esfuerzos mecánicos acompañando a sus componentes específicos y si se optara por diseñar las piezas para corte láser, estas no tendrían la misma capacidad estructural.
  - **piezas de ejes:** los ejes y las piezas que van instaladas a su alrededor no podían editarse por completo, porque debían tener siempre la misma forma al diámetro de los ejes, ya que estos aplicarían fuerzas específicas.

**Figura 41**

*Impresión de piezas en el makerlab.*



Al final se obtuvieron los materiales de ambas partes, aunque otros materiales más específicos se obtuvieron mientras se realizaba la implementación y se necesitaba su instalación para continuar con la implementación. En la primera prueba se logró obtener los materiales necesarios para realizar una implementación de la base del prototipo aceptable, con posibilidades de análisis para generar mejoras como se ven las piezas de la figura 42.

**Figura 42**

*Materiales para la implementación de la base del prototipo.*



Nota. Primera implementación del prototipo, esperando errores a analizar

## 9.4. Construcción de la base del prototipo

Siguiendo las instrucciones del manual de implementación creado, se inició la implementación del prototipo del proyecto, mediante una construcción de una base inicial del prototipo. Esta presentaría una entrega estructural del cuerpo del prototipo, pero sin estar completa con los componentes electrónicos que activen sus funciones. Esto, debido a que se necesitaba hacer pruebas de estructura y rigidez de las piezas fabricadas en la UVG para asegurar la integridad de los componentes que serían instalados en el sistema posteriormente.

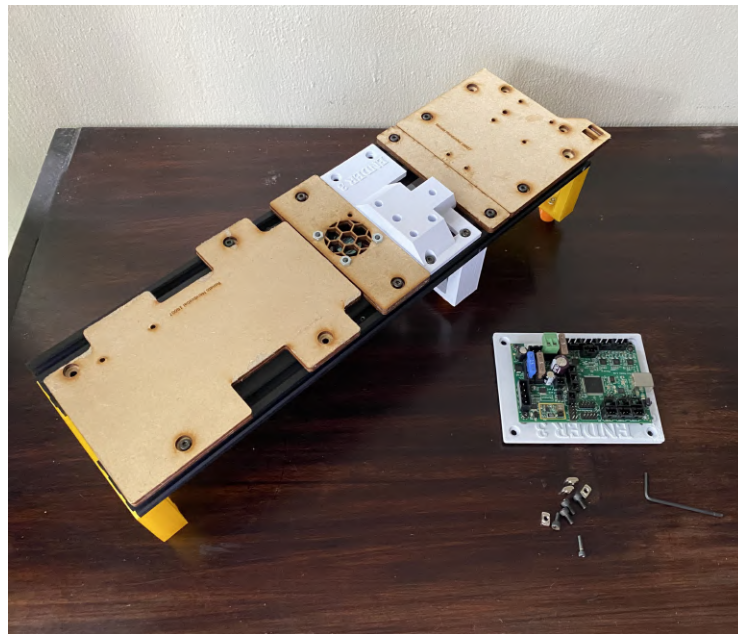
1. **base estructural:** como se planeó en la guía, se instalaron todos los componentes iniciales de estructura desde el principio para generar una base que facilitaría las instalaciones del resto de piezas, como se ve en la Figura 43.
  - a) **orientación inicial de los perfiles de metal:** con un dimensionamiento de 450 mm a fueron posicionados con 6 cm de separación, quedando paralelos el uno al otro.
  - b) **instalación de placas de soporte superior:** se usaron las tuercas tipo T y los tornillos tipo M4 X 18 mm para instalar las piezas de soporte principal de los sistemas superiores, esto ayudo a asegurar la rigidez y estructura de la base.



- c) **paredes de soporte interiores:** se le dio la vuelta en 180 grados al sistema base para instalar las paredes estructurales inferiores, estas contaban con dos puntos para sujeción de tornillos, el punto superior de las paredes sirvió para instalarlas a los perfiles con tornillos tipo M4 x 18 mm que se ajustaron de nuevo con tuercas tipo T para M4.
- d) **instalación de piernas de soporte:** después se instalaron las patas de soporte del sistema a las paredes en el punto del lado opuesto con tornillos M3 x 12 mm y tuercas T para M3, era muy importante que la instalación de las paredes en los perfiles se implementaran antes que las piernas, porque si no entonces los intentos de instalación de las paredes no serían posibles, ya que la entrada del punto superior de los tornillos está en el otro extremo de la pieza, al lado de la entrada inferior de las patas de soporte y estas bloquean el acceso al primer punto cuando son instaladas.

**Figura 43**

*Implementación de base del prototipo.*



Nota. Base estructural inicial del prototipo

2. **construcción de piezas diseñadas por conjuntos:** las piezas de soporte inferior, así como los soportes de otros sistemas, debían ser construidas antes de ser implementadas:
- **soportes inferiores:** está la cubierta inferior externa, central y la externa con soporte de pantalla *LCD*, a excepción de la última, las otras dos están formadas por un conjunto de placas cortadas en láser para hacer la forma interna correcta, dejando una cubierta recta de 6 mm de grosor. Algo importante que hay que resaltar es que se hacían pruebas de instalación al sistema y de esta forma es que se encontró el error de dimensionamiento del perfil de metal original, lo que causo la necesidad de cambiar las dimensiones del ensamblaje y el diseño digital para que las nuevas piezas se aseguraran correctamente al prototipo. En la Figura 44 se observan los cambios de diseño hasta terminar con el modelo final que se utilizó para implementar en su versión final el prototipo.

**Figura 44**

*Versiones actualizadas de las placas de soporte inferior.*



Nota. De izquierda a derecha la primera versión a la entrega final

3. **cubiertas inferiores y electrónica:** se instalaron los soportes inferiores que ya se unieron en los extremos de los perfiles de la base, de nuevo usando los mismos tornillos M4 x 8 mm y las tuercas T de M4. La electrónica básica, referente a la fuente de poder, la placa de control *MiniRambo 1.3a* y la pantalla *LCD*, se aseguraron con sus soportes correspondientes para quedar guardada en el interior como presenta la Figura 45.
  - **la fuente de poder:** tiene su cable de entrada pasando alrededor de un agujero diseñado en las paredes del último soporte y no se instaló con ningún soporte, solo se colocó sin soportes antes de la pared de estructura interna.
  - **la placa *MiniRambo 1.3a*:** se colocó igual que en el manual, instalada con tornillos M4 x 8 mm a los perfiles de metal en medio de la pared estructural externa de la placa del sistema de corte de plástico y la pared interior.

**Figura 45**

*Preparación de la implementación del sistema inferior.*



Nota. Primeros errores de diseño original y dimensionamiento

- **la pantalla LCD:** estaba instalada con tornillos M3 x 6 mm para ajustar la pantalla a su soporte, además de usar tornillos M3 x 12 mm para instalar el soporte a la pieza inferior que tenía la superficie de instalación de la pantalla LCD. En la Figura 46 se presenta la primera implementación con la pieza impresa en 3D.

**Figura 46**

*Parte inferior completada (con vista al interior).*



4. **operaciones de materiales y ensamblajes superiores:** para esta implementación ya se tenían instaladas las placas de soporte de la parte superior. Se muestra cómo se inició a instalar las piezas y componentes que creaban cada conjunto del proyecto:
- **guía de filamento reciclado:** estas piezas eran relativamente simples porque solo se necesitó instalar las patas del eje de la guía de plástico en los espacios que dejaban abiertos la placa de instalación del sistema del eje principal y la placa del ventilador como se ve en la Figura 47. Se siguió un orden específico para instalar este conjunto:
    - a) **pata de soporte:** puede ser cualquiera de las patas para ambos extremos, solo se debe asegurar al perfil con un tornillo M4 x 8 mm y una tuerca T para M4.
    - b) **eje secundario:** se instaló en el agujero de soporte de la primera pata.
    - c) **guía de filamento reciclado:** esta va alrededor del eje secundario y es muy fácil moverla en el mismo para que no genere fricción a la hora de usar el sistema.
    - d) **segunda pata de soporte:** en su agujero de soporte se colocó y cerró el eje de la guía de filamento reciclado y se instaló al perfil con el mismo tipo de tornillo y tuerca.

**Figura 47**

*Implementación del conjunto de guía de filamento reciclado.*



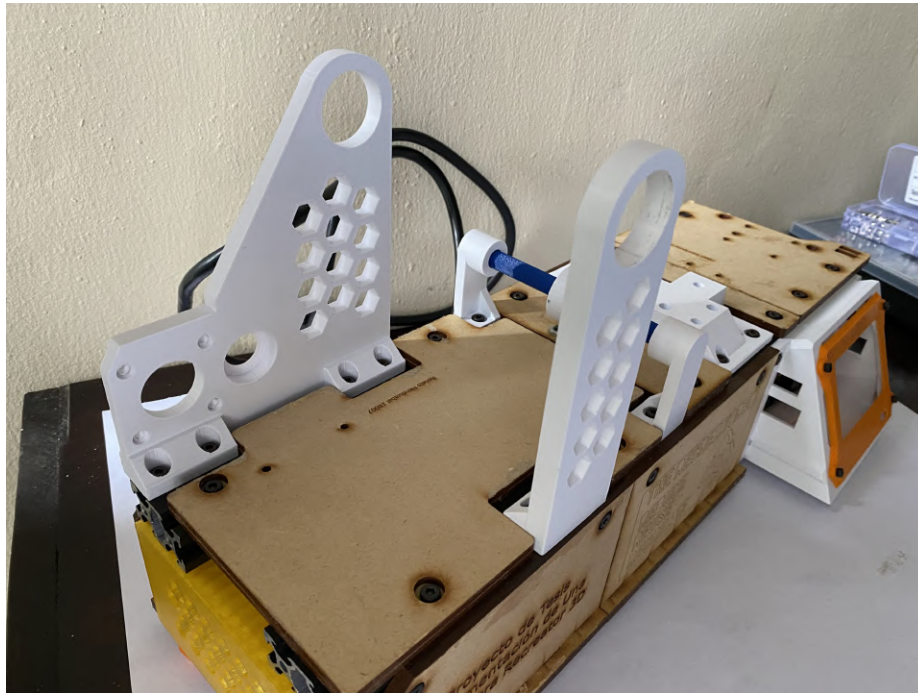
Nota. Instalación de conjuntos sencillos al inicio



- **ensamblaje de engranajes y recolección de filamento:** el conjunto de la Figura 48 consistía en dos fases que estructuraban el inicio del paso de trabajo desde el motor *stepper* al movimiento de engranajes que transmitían fuerza para ir acumulando el filamento reciclado en un soporte de recolección, con movimiento constante y de fácil manipulación. Este sistema estaba instalado en las dos bases de soporte de la última placa de soporte superior. Estos dos soportes se instalaron con 6 tornillos M4 x 8 mm y las tuercas tipo T para M4, donde 4 eran para el soporte del motor *stepper* y los engranajes iniciales, mientras que los otros 2 eran para el soporte secundario del eje principal.

**Figura 48**

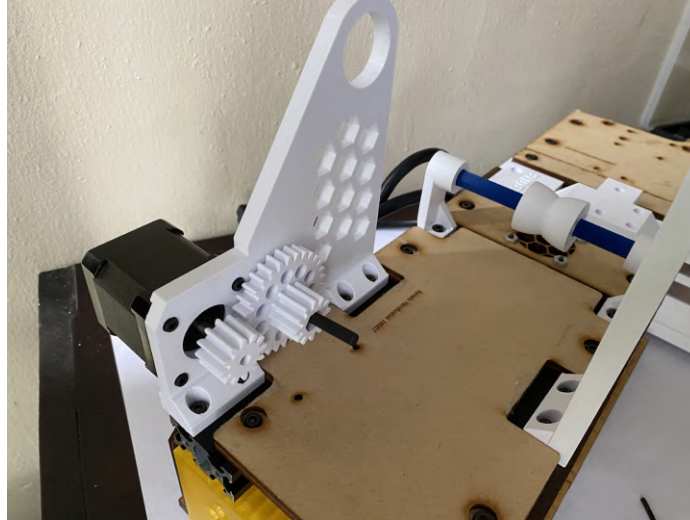
*Soportes iniciales del conjunto de movimiento de engranajes y recolección del eje principal.*



- **trabajo de engranajes:** primero se instaló el motor *stepper* en la parte trasera del soporte mayor con tornillos tipo M3 x 10 mm, después se empezaron a instalar los engranajes de menor a mayor en los soportes de los ejes como se ve en la Figura 49. Primero fue el engranaje inicial que estaba instalado en el eje del motor, después se usó un rodamiento de 2.2 cm de diámetro para instalar el engranaje doble con un eje de tornillo M5 x 35 mm, este pasaría el trabajo del engranaje inicial al engranaje final en el eje principal.

**Figura 49**

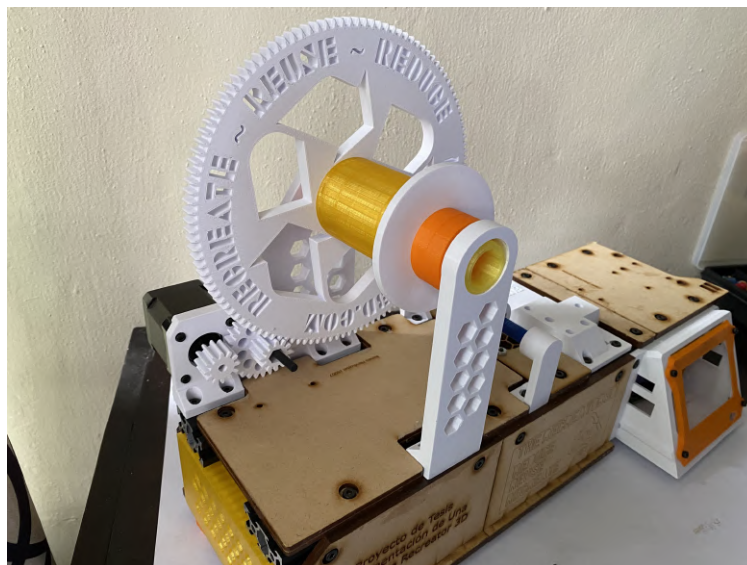
*Instalación del conjunto de movimiento de engranajes del motor stepper.*



- **eje principal:** este eje juntaba el soporte de recolección de filamento reciclado el cual estaba armado usando el engranaje mayor en un extremo seguido del soporte recolector medio y finalizar con el soporte de pared exterior, pero este sistema era demasiado angosto para llenar todo el eje entre las paredes de los soportes y quedar completamente rígido, por lo que también en cada extremo de la unión se colocaron dos soportes para llenar el espacio como se ve en la Figura 50. Estos soportes espaciadores ayudaron al engranaje mayor para alinearlos con la salida del engranaje doble de la primera parte y de esta forma recibir movimiento que afecte a todo el soporte. Todos estos componentes estaban colocados por encima del eje principal, teniendo un diámetro interior con una diferencia de 0.2 mm con el diámetro exterior del eje principal para que se ajustaran con facilidad y se fuera colocando el eje entre las paredes de los soportes principales del sistema.

**Figura 50**

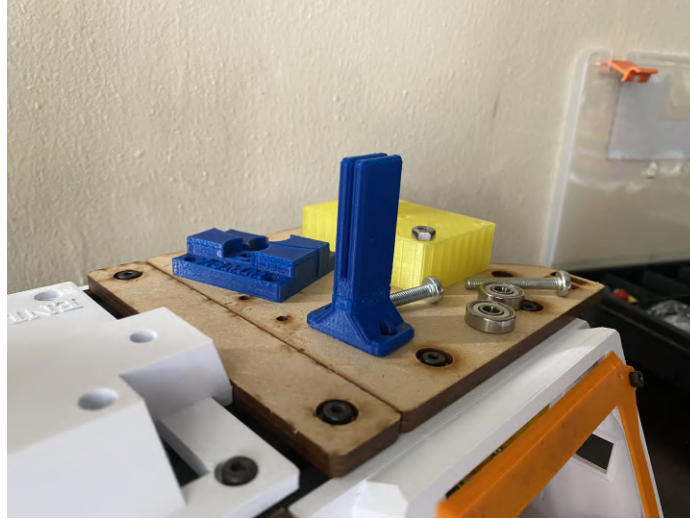
*Instalación del conjunto del eje principal.*



- **corte de plástico:** este solo tenía dos partes que instalar, la guía de plástico cortado y el cortador de plástico como se ve en la Figura 51.

**Figura 51**

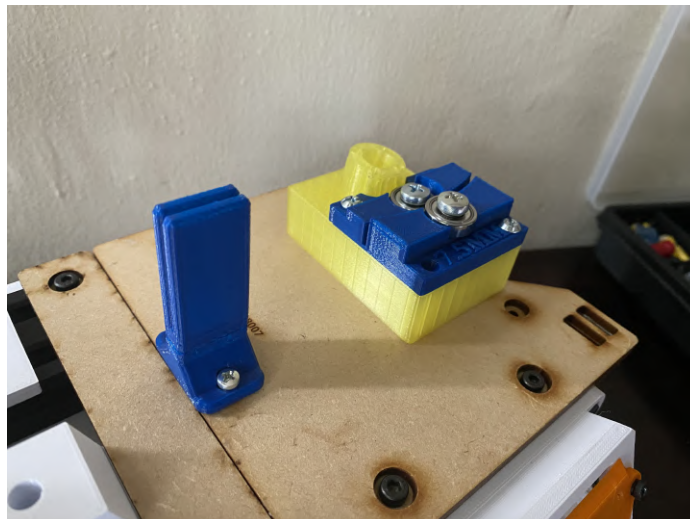
*Vista previa al conjunto de corte de plástico.*



- cortador de plástico:** se contaba con la base del cortador al cual se conectaba el soporte de los rodamientos de 1.5 cm de diámetro, todo va acoplado encima de cada parte específica y están instalados por los tornillos M5 x 30 mm y M5 x 25 mm de los ejes de los rodamientos. Incluyendo otros soportes secundarios que se ven en la Figura 52, que ayudan al cortador a estar asegurado a la placa de madera con tornillos M3 x 60 mm y tuerca M3 abajo de la placa.
- guía de plástico:** esta simplemente se ajustaba a la pieza de madera con dos tornillos M3 x 8 mm y dos tuercas M3 en el extremo contrario de la pieza como se ve en la Figura 52.

**Figura 52**

*Implementación del conjunto de corte de plástico.*

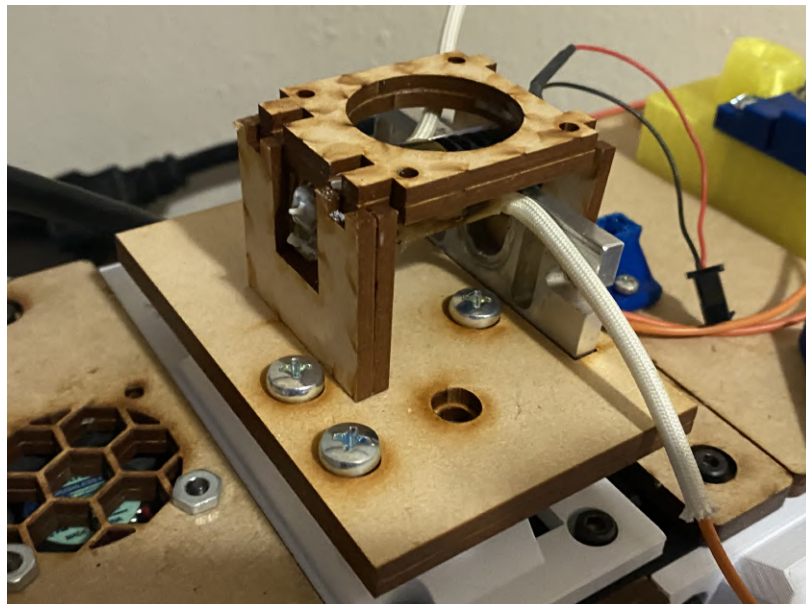




- **conjunto de seguros de soporte del extrusor:** en esta fase se instaló la placa de aluminio con el *HotEnd* ajustado a la misma y alrededor de estas dos piezas se diseñó un grupo de soporte y guía hecho de piezas en corte láser para servir como aislamiento como se ve en la Figura 53. Además, se debía seguir el orden específico de implementación para asegurar su estructura y accesibilidad física:
  - a) **soporte del sistema:** la placa de soporte se ajustó a la pieza de impresión 3D instalada en los perfiles de metal con tornillos M5 x 30 mm que se ajustaban con tuercas normales en la parte inferior de la pieza.
  - b) **soporte para la punta del *HotEnd*:** este era un soporte que estaba posicionado a una distancia calculada desde la superficie donde estará instalada la placa de aluminio y la posición de la salida superficie cuadrada de la salida del extrusor.
  - c) **la placa de aluminio con el *HotEnd*:** se colocaron con cuidado en la entrada de la placa de aluminio y alineando con cuidado la salida del *HotEnd* al soporte separado.
  - d) **pared de soporte trasera:** esta servía para sujetar la placa de aluminio recta, se posicionó en las entradas correspondientes al lado de la entrada para la placa de aluminio.
  - e) **techo para ventilador:** este se instaló en los dos soportes de madera que estaban en la punta del *HotEnd* y atrás de la placa de aluminio. Solo tiene una apertura para ayudar a ventilar el sistema, aunque está diseñado para que se pueda instalar un segundo ventilador de 40 mm encima.

**Figura 53**

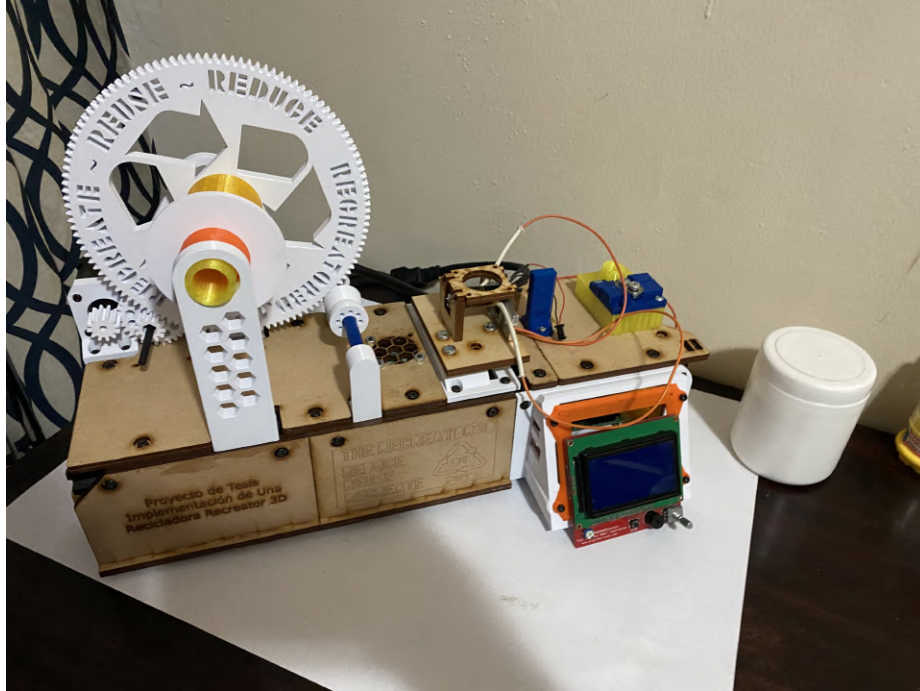
*Implementación del conjunto de seguros y soporte del extrusor.*





Con esto se tiene la primera base del prototipo completo como se ve en la Figura 54. El avance del proyecto consistirá en pruebas e implementaciones más avanzadas posteriormente.

**Figura 54**  
*Prototipo base del proyecto de tesis.*



Nota. Primera prueba de tolerancia y revisión de errores

---

## Configuración digital y pruebas de sistemas eléctricos

---

Para este punto, se tenía una base que mostraba la capacidad estructural del sistema del prototipo, pero no contaba con ningún sistema operativo electrónico. Sin embargo, antes de continuar con la instalación de estos sistemas, todas las piezas que los conformarían no habían sido probadas y previo a probarlas debía investigarse si eran funcionales con el *firmware marlin*, que se instalaría en la placa de control, por lo que a continuación se aborda como fue la instalación del *firmware marlin* y como el mismo fue probado en los diferentes componentes electrónicos.

### 10.1. Programación del *firmware marlin*

La propuesta del proyecto original es el *firmware marlin* el cual queda instalado en la placa de control. Este código se descargó de la página oficial de *marlin* tomando la versión 2.1.2.1, esta era la versión más reciente que se encontró y estaba disponible con sus archivos de configuración normal y avanzada. Para trabajar con este código y editarlo, se usó el lenguaje de programación *arduino*, en la configuración de la placa *arduino mega* o *Mega 2060* porque era el formato más acercado a la placa de control *MiniRambo 1.3a*, para la cual se investigó la programación del *firmware marlin*. El *firmware marlin* se estructura de la siguiente manera:

- **acciones avanzadas de componentes específicos:** eran las operaciones que no necesariamente cualquier impresora 3D puede optar a hacer porque se necesita que cuente con ciertas características o componentes específicos para los cuales está diseñada esa operación.

- **sistemas de procesamiento de datos:** son los códigos que habilitan la recepción y comunicación de datos de todo el sistema y los procesan para conseguir datos que representan diferentes acciones, que es capaz de pedirle al sistema que haga. En esta parte existían los datos de paso del motor.
- **acciones dependientes del sistema:** son las acciones que se necesitan habilitar para que una impresora pueda funcionar. En el presente proyecto fueron los *drivers* que representan el punto dimensional del extrusor, es decir, su posición en el espacio de trabajo de la impresora como presenta la Figura 55. Luego de hacer verificaciones con el código de configuraciones, se observó que el sistema es incapaz de permitir un solo eje para el extrusor, aunque no se utilicen todos los ejes, es necesario que estos estén habilitados porque la placa y el *firmware marlin* continúan pensando que están trabajando con una impresora 3D.

**Figura 55**

*Drivers de posicionamiento del extrusor.*

```

158 *          TMC5130, TMC5130_STANDALONE, TMC5160, 1
159 * :['A4988', 'A5984', 'DRV8825', 'LV8729', 'TB6560
160 */
161 #define X_DRIVER_TYPE  A4988
162 #define Y_DRIVER_TYPE  A4988
163 #define Z_DRIVER_TYPE  A4988
164 //#define X2_DRIVER_TYPE A4988
165 //#define Y2_DRIVER_TYPE A4988
166 //#define Z2_DRIVER_TYPE A4988
167 //#define Z3_DRIVER_TYPE A4988

```

Nota. Configuración para el posicionamiento del extrusor en el plano tridimensional

Por lo que, se aplicaron las modificaciones necesarias al código para que se habilitaran los ejes necesarios para el extrusor en el *firmware marlin*, el cual podrá ser cargado a la placa de control *MiniRambo 1.3a* con el programa *arduino* para poder procesar las acciones de los componentes eléctricos y recibir instrucciones de *g-code*.

## 10.2. *g-code*

El *g-code* es el lenguaje de operaciones que realizan las impresoras 3D, son operaciones escritas de forma hexadecimal donde los códigos son específicos para cada acción y medida de cálculos que debe tomar el *firmware*. El código de operaciones que vamos a usar es una operación simple que le dice al *firmware* que quiere que la impresora solo extruya filamento constantemente hasta cumplir con una longitud exacta de 300 cm extruidos, por lo que constantemente se está repitiendo la misma acción hasta cumplir un tiempo o distancia objetivos como presenta el código de la Figura 56.

**Figura 56**

*Código g-code para el funcionamiento del prototipo.*

```
C: > Users > Rmg18 > Downloads > ☰ Speed using E - 300mm.gcode
1  M104 S210
2
3  M109 S210
4
5  M117 RECREATING FILAMENT
6
7  G92 E0 ; reset the E Axis location
8  G0 E100 F300 ; Move E without Extrusion
9  G92 E0
10 G0 E100 F300
11 G92 E0
12 G0 E100 F300
13 G92 E0
14 G0 E100 F300
15 G92 E0
16 G0 E100 F300
17 G92 E0
18 G0 E100 F300
19 G92 E0
20 G0 E100 F300
```

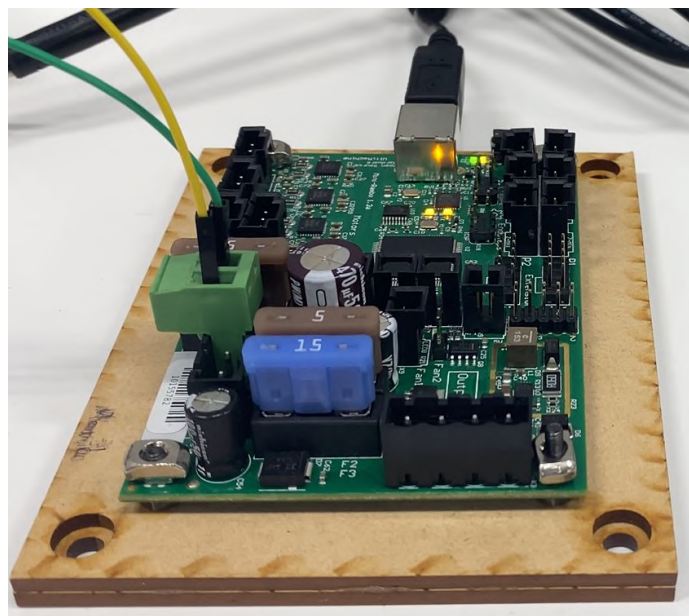
Nota. Repetición de extrusión

### 10.3. Pruebas de funcionamiento de componentes electrónicos

Para que se lograra instalar el *firmware marlin* en la placa de control *MiniRambo 1.3a* se necesitó usar la entrada tipo C y un cable tipo C a USB-B que permitía la comunicación de datos, sin embargo, el cable no es capaz de compartir la carga necesaria para activar la placa, entonces se complementó con la fuente de poder de 12V/30A que fue conectada con un conector de extensión para pines a la placa como se ve en la Figura 57. De esta forma se activó la placa *MiniRambo 1.3a* para que recibiera el *firmware marlin*.

**Figura 57**

*Instalación del firmware marlin.*

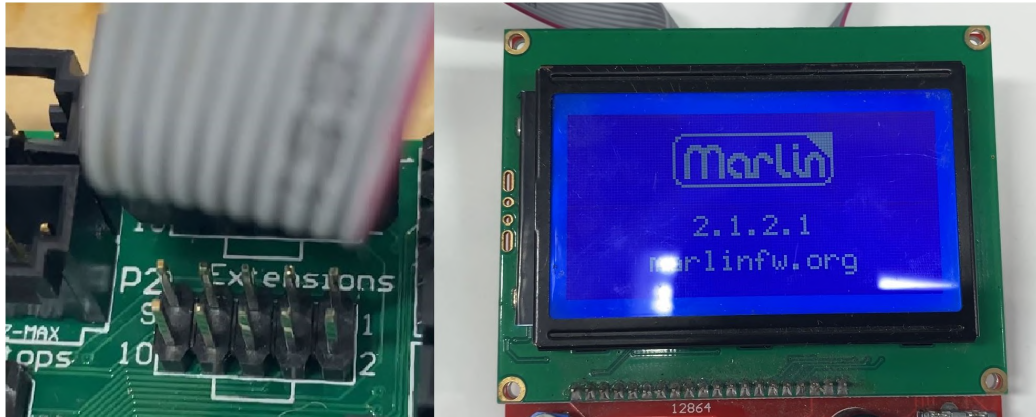


Nota. Prueba de alimentación al *MiniRambo 1.3a*

De este modo se comprobó la capacidad y funcionalidad del sistema de alimentación, tomando en cuenta que ambos componentes deben estar juntos para activar todo el prototipo, se consideró que esta era la prueba de funcionalidad para la fuente de poder y la placa *MiniRambo 1.3a*. El mismo concepto se aplica para el sistema de control de la pantalla *LCD* al observar la Figura 58. En este caso funcionaba a partir de dos puertos de conexión directa a la placa *MiniRambo 1.3a*, estas conexiones le permiten activarse.

**Figura 58**

*Prueba de alimentación de la placa controladora LCD.*



Nota. Funcionamiento del *firmware marlin*

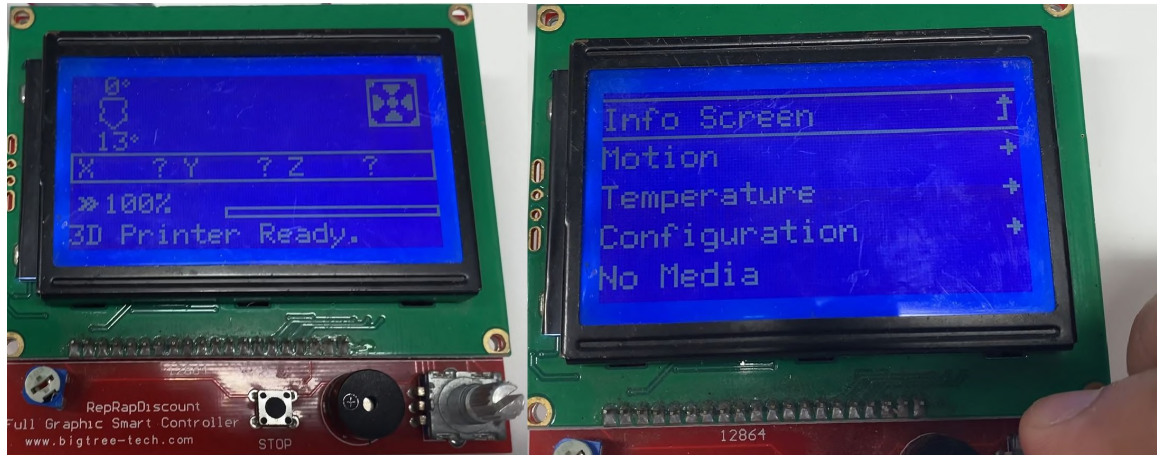
El verdadero momento donde se pudo confirmar que la placa tenía instalado el *firmware marlin*, fue cuando se conectó y activó la pantalla *LCD* junto con los otros dos componentes mencionados, porque el *firmware marlin* mostraba su interfaz en la pantalla y se podían observar las opciones del código con el controlador de la pantalla. En la Figura 59 se observa que teniendo todos esos componentes funcionando se pudo acceder a las acciones básicas del prototipo, siendo estas:

- **el inicio del sistema:** donde se activaban todos los sistemas electrónicos que compartían la entrada de la fuente de poder.
- **el proceso de operaciones:** por parte de la placa *MiniRambo 1.3a*, se hacían funcionar todos los códigos como una máquina establecida.
- **el control de operaciones y sistemas para generar información e iniciar trabajos.**



**Figura 59**

*Prueba de funcionalidad de la placa controladora LCD.*



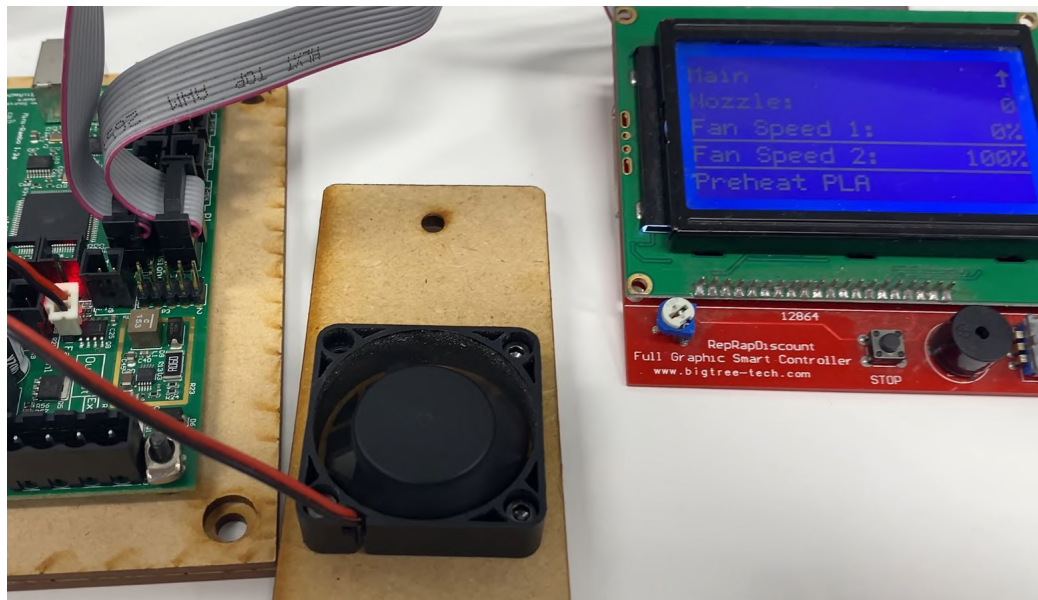
Nota. Opciones de comandos del sistema *firmware marlin*

Con el control de la pantalla *LCD* se pudo continuar con las siguientes pruebas de funcionalidad de los demás componentes electrónicos, siendo estos los siguientes:

- **ventilador de 40 mm:** se necesita una frecuencia constante para activarlo, pero la placa de control permite habilitar, cuando se desea, la entrada de dicha frecuencia como se puede ver en la Figura 60. Para habilitar esta operación, se colocaba en las configuraciones de temperatura del controlador *LCD* el porcentaje en que se deseaba operar el ventilador, de esta forma se mandaba la frecuencia adecuada para que el ventilador funcionara a la capacidad establecida.

**Figura 60**

*Prueba de funcionalidad del ventilador 40 mm.*



Nota. Control de la potencia del ventilador en la placa controladora *LCD*

- **motor *stepper***: este recibe los comandos de un puerto de comunicación que controla sus revoluciones según la constante de paso configurada en el *firmware marlin*. Así calcula cuantas revoluciones tiene que realizar para moverse a la cantidad exacta del controlador de distancia, que se muestra en la Figura 61. El sistema reconoce cinco diferentes motores, los primeros cuatro son para los ejes dimensionales, pero el último es para el motor del extrusor que empuja el filamento para ingresarlo, por lo que se conectó a esa entrada el motor del prototipo, para usarlo en la configuración de control del motor del extrusor y operar el prototipo de la forma deseada.

**Figura 61**

*Prueba de funcionalidad del motor stepper.*

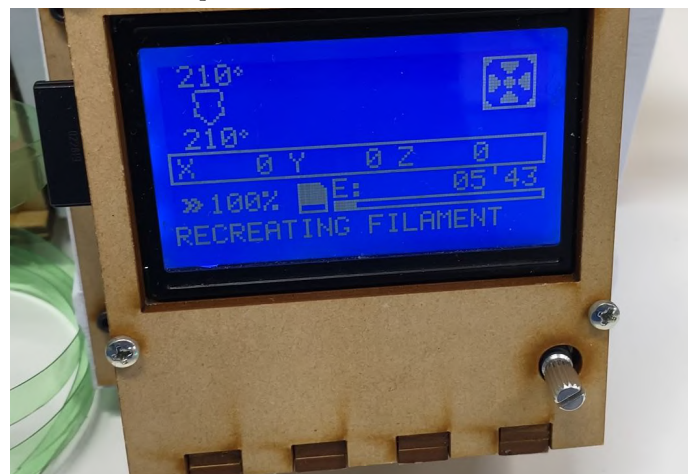


Nota. Control de movimiento según el paso del código del *firmware* en *arduino*

- **extrusor**: este componente posee una resistencia que, según el voltaje que pasa a través de esta, calienta el extrusor y al mismo tiempo un termistor que manda información a la placa *MiniRambo 1.3a* para que pueda calcular constantemente la temperatura del extrusor como se ve en la pantalla *LCD* de la Figura 62. Para esta prueba se conectaron los dos componentes en sus respectivos conectores. Las configuraciones de temperatura permiten establecer una magnitud deseada y mandar el voltaje calculado para calentar el extrusor a esa temperatura, mientras que los datos del termistor se procesan para mostrar y tener un control puntual de la temperatura del extrusor.

**Figura 62**

*Control de temperatura del extrusor.*

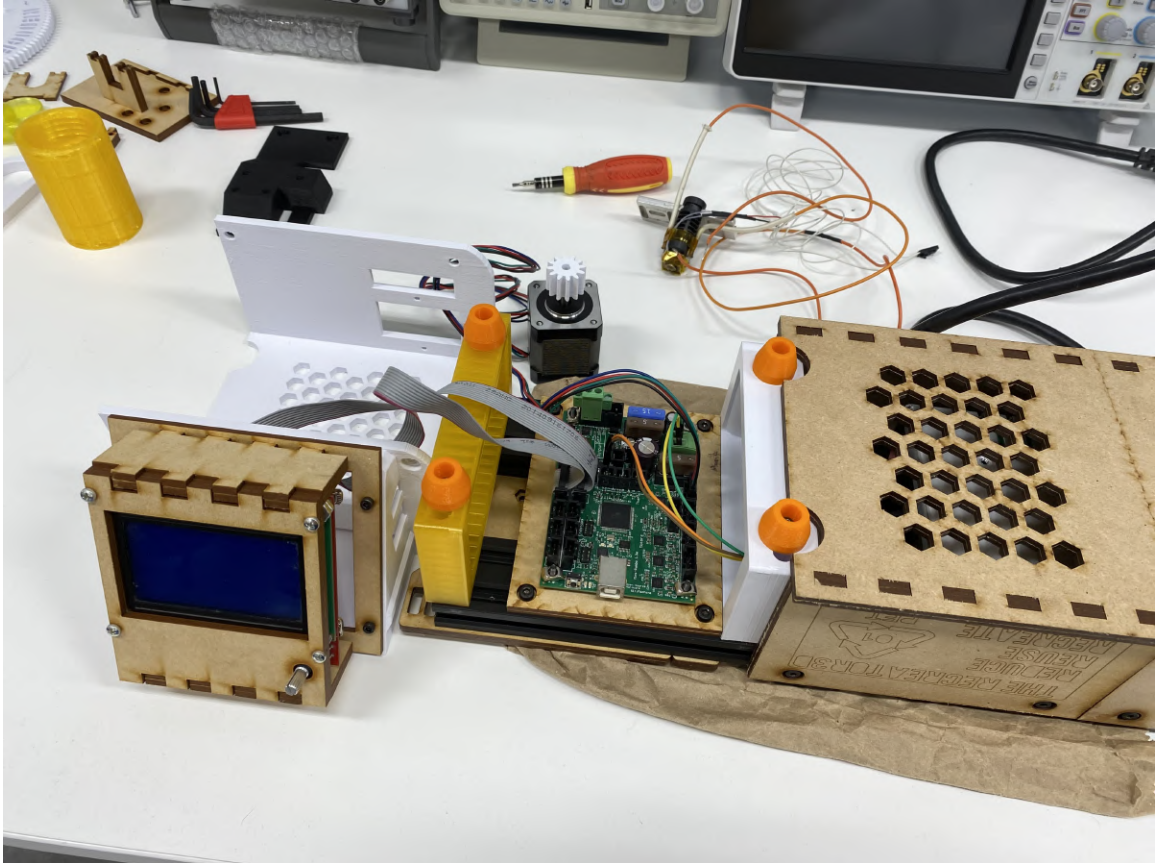


Nota. Lectura de datos del termistor

Luego de las pruebas realizadas a cada uno de los componentes por separado, se logró establecer el control de estos, lo que permitió que se procediera a realizar una prueba conjunta de todos los componentes como se ve en la Figura 63. Esta prueba concluyó sin problemas, la única diferencia fue el trabajo incrementado que tenía que realizar la fuente de poder para mantener la entrada de voltaje constante.

**Figura 63**

*Prueba conjunta de componentes eléctricos.*



Nota. Arreglos iniciales para el cableado de la parte inferior



Durante la construcción de la base del prototipo, se encontraron diferentes errores estructurales y de dimensionamiento. Estos generaban problemas de instalación o funcionalidad que forzaron cambios en el diseño de las piezas para el prototipo. Entre los errores se destacan los siguientes:

- **errores de dimensionamiento:** algunas piezas que se ajustan juntas o con tornillos no tenían las dimensiones correctas. Eran piezas de soporte y no lograban ser una base sólida para las piezas que unían. Entonces, se rediseñaron con las medidas correctas.
- **errores de diseño original:** algunas piezas no eran funcionales porque su diseño no se podía fabricar correctamente y las piezas resultantes no cumplían con su trabajo estructural. Este error se trató de corregir al inicio de la implementación de la base del prototipo, cuando surgieron, pero los mismos continuaron, por lo que se tuvieron que diseñar nuevas piezas desde cero capaces de implementarse de manera más estructural y que cumplieran con las necesidades de las piezas originales.
- **modelo de sistemas deficientes:** algunas piezas de soporte de los componentes electrónicos son originales de la UVG y por ello, no se habían probado con anterioridad. En las pruebas de funcionalidad se, descubrieron errores y deficiencias que se corrigieron implementando mejoras más específicas y en mayor cantidad.
- **incapacidades mecánicas:** cuando los componentes originales no tenían las dimensiones deseadas, no se podían rediseñar. Entonces fue necesaria una intervención mecánica para cumplir con el trabajo deseado.

Los mayores errores que se corrigieron fueron los siguientes:

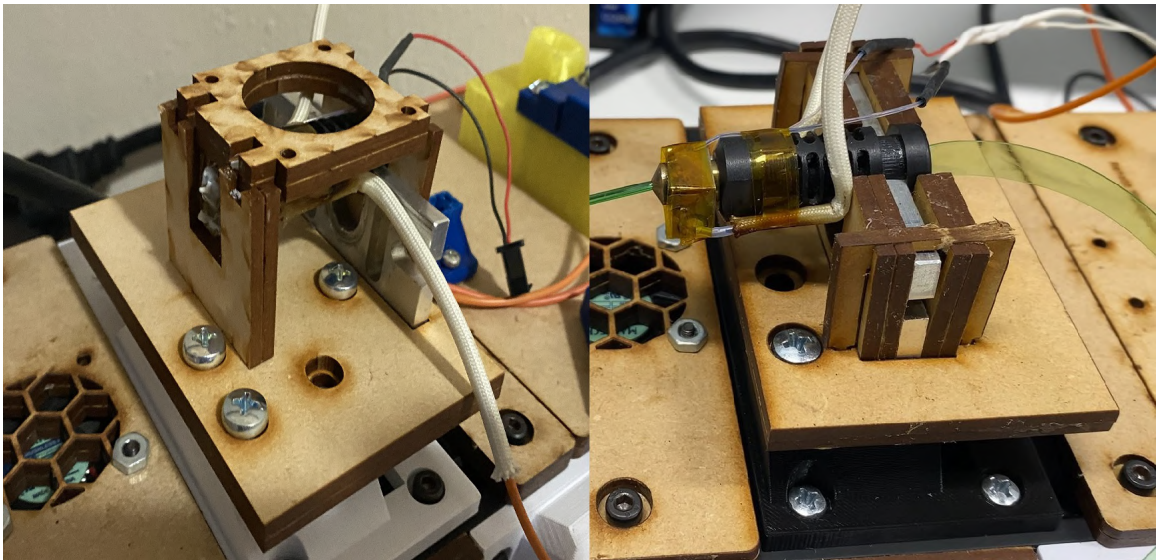
- **la base de soporte del extrusor:** esta pieza original presentaba errores de dimensionamiento en dos partes:
  - **el largo de extensión para las entradas de sujeción:** estaba desfasada por milímetros y esto no permitía que se pudiera instalar correctamente al perfil del extremo opuesto, lo que dejaba flexible la base a fuerzas grandes y podía causar un impacto en casos extremos.
  - **el diámetro de sus agujeros de conexión:** se diseñó esta base para ajustar el soporte de seguro del extrusor, pero los tornillos recomendados por el proyecto original tenían un diámetro más pequeño que el de los agujeros de conexión, lo que arruinaba el propósito de toda la pieza.

Para solucionar estos errores se rediseñó la pieza en *onshape*, donde se redujo el diámetro de los agujeros de conexión y se arregló la extensión del cuerpo para que las entradas pudieran permitir su instalación en ambos perfiles.

- **el sistema de seguros del extrusor:** este sistema fue implementado por parte de la UVG originalmente, pero no estaba diseñado para asegurar el extrusor por la fuerza aplicada, sino que fue ideado como una guía que mantenía con mínimo esfuerzo el extrusor en una posición de direccionamiento. Esta presentación fue equivocada, pues no tomaba en cuenta las fuerzas aplicadas al extrusor al jalar el filamento para que se procesara dentro del extrusor, ni tampoco se aseguraba en ningún punto. Entonces se rediseñó por completo el conjunto de soportes de la placa del extrusor y se aplicaron seguros como se ve en la Figura 64. Esto permitió aplicar mayor sujeción al sistema.

**Figura 64**

*Arreglo del conjunto de soportes y seguros del extrusor.*

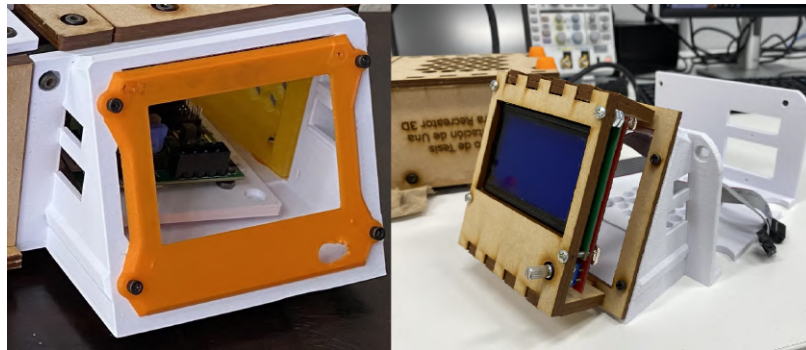


Nota. Primera versión (izquierda) y versión final (derecha) del conjunto de seguros y soportes del extrusor

- **el soporte base de la pantalla LCD:** el soporte original tenía errores de fabricación que interrumpían la impresión 3D a la mitad y arruinaban las impresiones. Al principio se generaba una parte funcional de la pieza, pero en una posterior prueba resultó que causaba más fallas de instalación de otros componentes debido a que no generaba espacio para la instalación de la placa controladora LCD. Entonces se diseñó un nuevo conjunto de piezas para corte láser, que uniéndolas serían capaces de realizar la acción de soporte de la pieza original como se ve en la Figura 65. Además de que generaron más espacio para el cableado interior de los sistemas en el interior del prototipo y le habilitó el acceso a la entrada de memoria microSD de la pantalla para insertar instrucciones.

**Figura 65**

*Mejora del conjunto del soporte de la placa controladora LCD.*

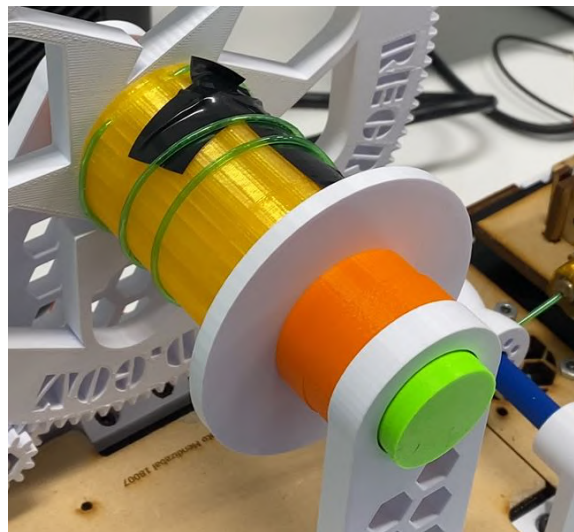


Nota. Se pudo agregar más espacio para el cableado

- **el eje principal y sus seguros:** el diámetro del eje principal se desvió del modelo original de las piezas que se encontraron en la página original del proyecto del *recreator 3D* y terminó siendo más corto de lo esperado, concluyendo en no ser lo suficientemente largo como para abarcar todo el soporte y permitir ajustar los seguros. Por esta razón se decidió diseñar nuevos seguros que servirán como topes que sujeten de manera fija el eje principal a los soportes de ambos extremos como se ve en la Figura 66.

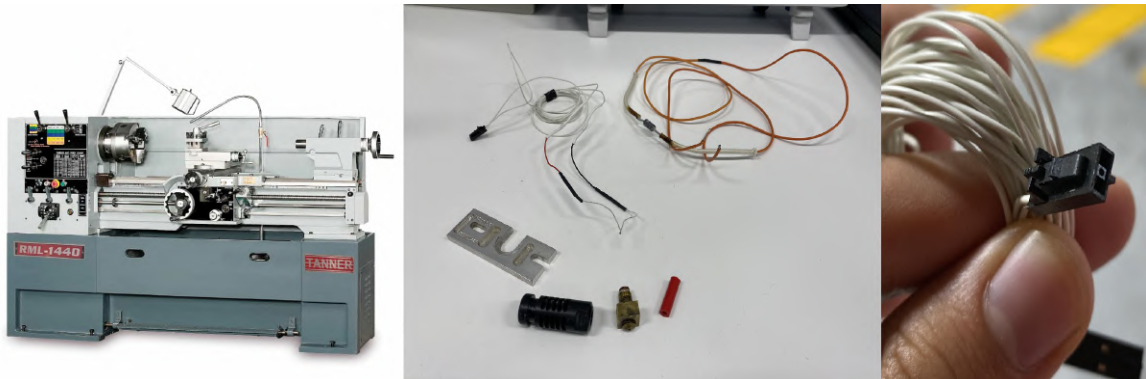
**Figura 66**

*Topes diseñados para el eje principal.*



- **el *HotEnd* del extrusor:** el extrusor está conformado por dos piezas, la primera es su placa de soporte de aluminio, mientras que el *HotEnd* hace el verdadero trabajo de aumentar su temperatura para extrusar filamento. Como el filamento de uso general tiene un diámetro de 1.7 mm, no era posible generar la misma calidad con la salida de 0.4 mm de la punta del extrusor. En la Figura 67 se resumen los pasos por los que se tuvo que separar el *HotEnd* del extrusor en las partes que lo conformaban, para poder tomar la punta de salida y forzarla a modificaciones mecánicas:
  1. **taladrado inicial:** inicialmente, se realizó una expansión del diámetro desde el agujero de salida al de entrada en un torno del salón CIT-101 de la UVG, con una broca de 1.5 mm, esta no cumplía con el diámetro objetivo, pero sí extendía el espacio para usar brocas más específicas. Además del torno, se usó un taladro de mano para aplicar un avellanado que facilitaría la entrada de las tiras de plástico que se fuera a reciclar.
  2. **ajustes refinados:** por último, se fue incrementando el diámetro del agujero de salida de la punta del extrusor usando brocas más específicas que fueron aumentaron el diámetro a 1.6 mm usando un taladro de mano del *makerlab* del edificio J de la UVG. Para verificar que se tenía un diámetro con el cual trabajar se intentó pasar un trozo de filamento a través del agujero ajustado y se logró ingresar y mover de ambos extremos correctamente.
  3. **cableado de la punta del *HotEnd*:** la entrada original del termistor no era capaz de conectarse a los soportes de entradas de la placa *MiniRambo 1.3a* por lo que fue necesario cortar la entrada de los cables del termistor para soldar los cables a un par nuevo que presentaba una entrada más adecuada.

**Figura 67**  
*Manejo mecánico del HotEnd.*



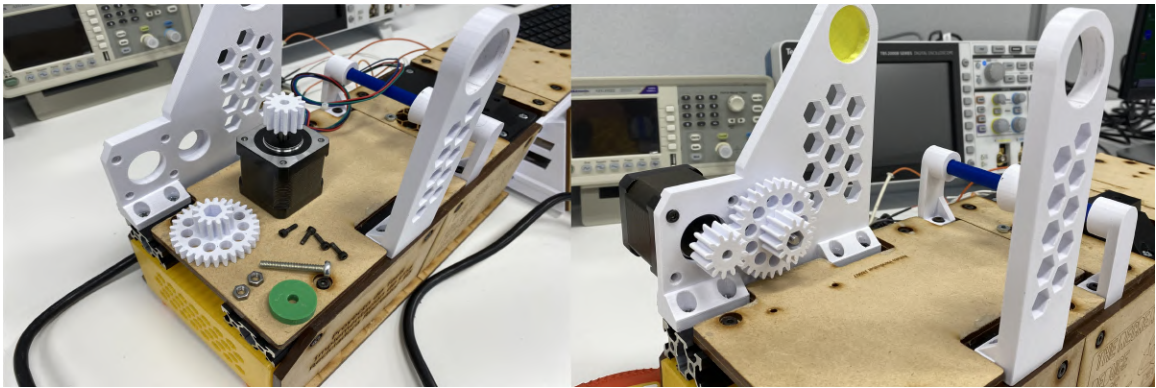
Nota. Los trabajos mecánicos se realizaron en los talleres del CIT y el edificio J de la UVG



- **la base de soporte del engranaje doble:** esta parte necesitaba usar un rodamiento específico para sujetar constantemente un tornillo que serviría como eje de soporte del engranaje doble, pero se decidió preparar una pieza que llenara ese espacio de manera justa y que permitiera al tornillo sujetar correctamente el engranaje doble. Por ese motivo se generaron diferentes piezas que variaban en sus dimensiones para poder probar hasta encontrar la versión correcta para el trabajo de soporte. Al tener la pieza correcta se usó un tornillo y tuercas M5 para ajustar firmemente el engranaje doble y que este pudiera recibir el trabajo del engranaje del motor. En la Figura 68 se muestra el resultado.

**Figura 68**

*Pieza de soporte del engranaje doble.*

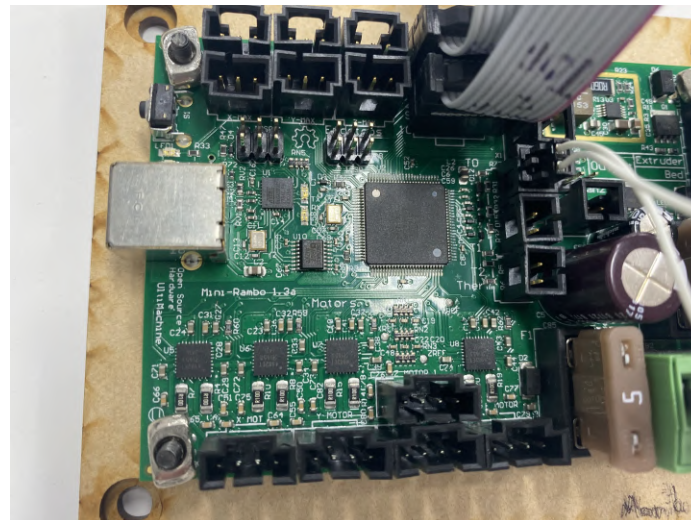


Nota. Vista previa y posterior a la instalación del conjunto de engranajes y el motor *stepper*

- **el soporte de la placa *MiniRambo 1.3a*:** es el mismo caso de errores de diseño original, el soporte inicialmente estaba diseñado para una placa *crealty mainborad V4.2.7*, debido a esto el soporte fabricado en impresión 3D no tenía los ajustes correctos para que se le pudiera instalar la placa *MiniRambo 1.3a*. Por lo que se diseñó un nuevo soporte más sencillo con agujeros y dimensiones más adecuadas, como se ve en la Figura 69. Con el objetivo de que pueda ser cortada en madera con corte láser.

**Figura 69**

*Versión final del soporte de la placa *MiniRambo 1.3a*.*



---

## Construcción del prototipo del proyecto

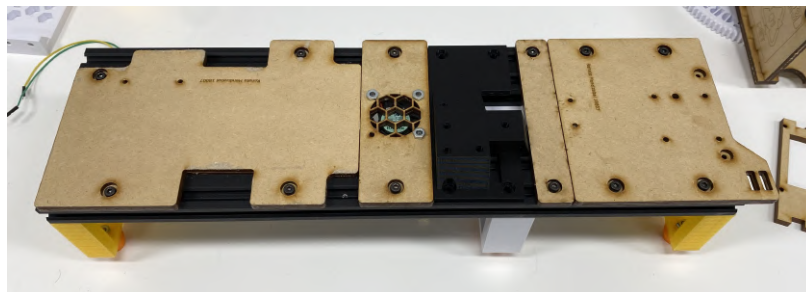
---

Al haber arreglado los errores de las piezas específicas y mejorado su funcionalidad, ya se tenían todas las piezas necesarias y comprobadas para su implementación conjunta, aunque se necesitó retirar la mayoría de piezas que formaron la base del prototipo, fue necesario para poder instalar todos los componentes electrónicos junto a las piezas fabricadas. A partir de esta organización y siguiendo la base de la guía de implementación, se construyó el prototipo con el orden preestablecido.

### 12.1. Estructura integral

Esta es la base donde se ajustaron los perfiles de aluminio, con la separación correcta gracias a las placas estructurales iniciales. Para este punto se retiraron las cubiertas de la parte inferior y la mayoría de soportes de las operaciones superiores. Esto se realizó para asegurar una base balanceada que permitiera darse vuelta y permitir la implementación de la siguiente parte sin comprometer la rigidez del prototipo. La figura 70 es la base que ya se había logrado en la primera implementación.

**Figura 70**  
*Estructura integral base del prototipo.*



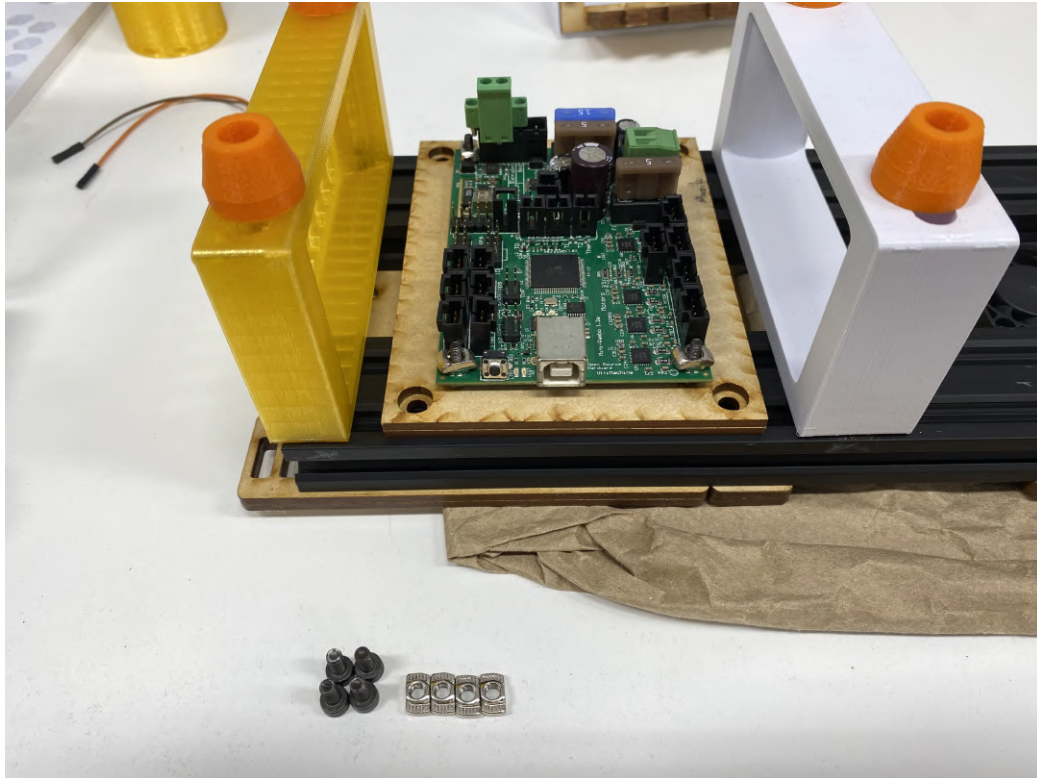
## 12.2. Parte inferior

En esta sección el cuerpo estructural se rotó al revés para permitir la instalación de todos los componentes electrónicos al medio de control principal y como todos estaban conectados en esta sección del proyecto se procuró hacer pequeñas revisiones de funcionamiento antes de manipular e instalar por completo todos los materiales.

- **placa *MiniRambo 1.3a***: esta ya estaba instalada con el *firmware marlin* por lo que no necesitaba conectarse a otro controlador que le diera instrucciones, ahora esta era capaz de recibir entradas y procesarlas para realizar acciones de control lógico. Siguiendo esta lógica, en la Figura 71 se instaló en el medio de las paredes estructurales externa y la interna, ya que esta era la sección donde se implementara la cobertura base para la placa controladora *LCD*.

**Figura 71**

*Instalación de la placa MiniRambo 1.3a en el interior de la base estructural.*



Nota. Primera implementación de componentes electrónicos en el prototipo

- **fuelle de poder 12V/30A**: como dejamos la placa *MiniRambo 1.3a* en el espacio más ajustado de la parte inferior. Era posible aprovechar el espacio libre para preparar la fuente de poder y conectar su alimentación, a partir de cables, a la extensión de conexión a la entrada de carga de la placa, como se puede ver en la Figura 72.



**Figura 72**

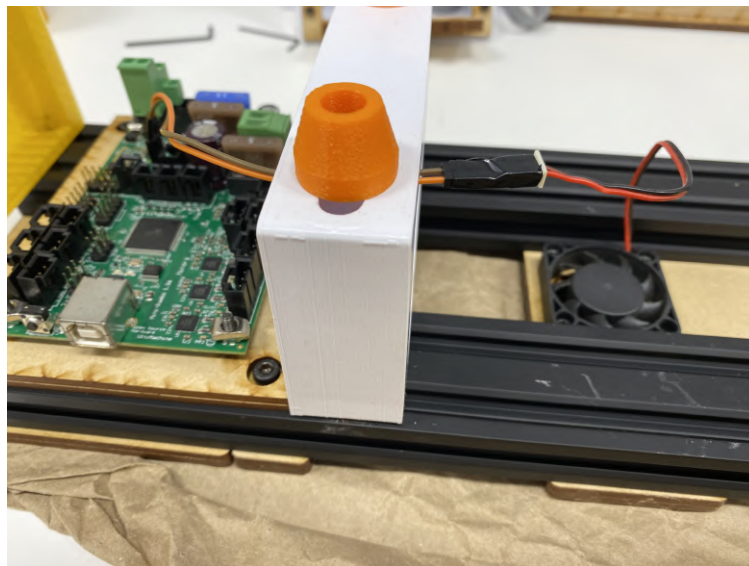
*Conexión de la fuente de poder 12V/30A.*



- **ventilador de 40 mm:** el ventilador ya estaba instalado desde la construcción de la base, entonces no se retiró y fue posible instalar todos los componentes a la parte inferior sin preocuparse por el espacio. Si se observa la Figura 73 se puede notar que solo los cables de entrada del ventilador no llegaban a la salida de control de frecuencia de la placa *MiniRambo 1.3a*, por lo que se optó por usar cables de extensión para conectar el ventilador.

**Figura 73**

*Arreglo de cableado del ventilador.*





- **placa controladora LCD:** en la Figura 74 se ve que esta pantalla se instaló en su soporte rediseñado en el espacio para implementarlo de la pieza de cobertura de la parte inferior y sus cables se conectaron a la placa *MiniRambo 1.3a* para terminar con su instalación. Ajustando su cubierta de soporte en el cuerpo de piezas creadas para cumplir con la acción de soporte.

**Figura 74**

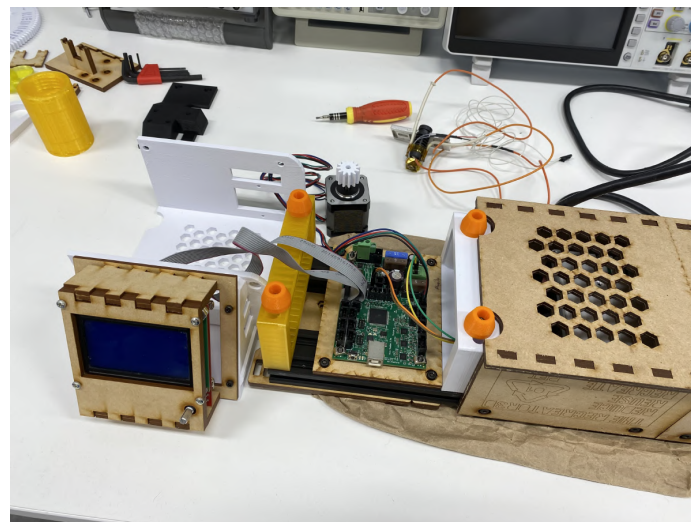
*Montaje del soporte y la placa controladora LCD.*



- **cableado de los componentes electrónicos:** con la placa recibiendo alimentación por parte de la fuente se debían conectar los componentes electrónicos de apoyo a trabajos de la parte superior, esto es porque a pesar de que no están instalados en la parte inferior, el control de cada uno de ellos es efectuado en esta sola parte y deben estar conectados a esta. En la Figura 75 se ve como se ordenó cuidadosamente las conexiones para que los cables no se enredaran o causaran fuerzas innecesarias entre ellos.

**Figura 75**

*Cableado interno del prototipo.*

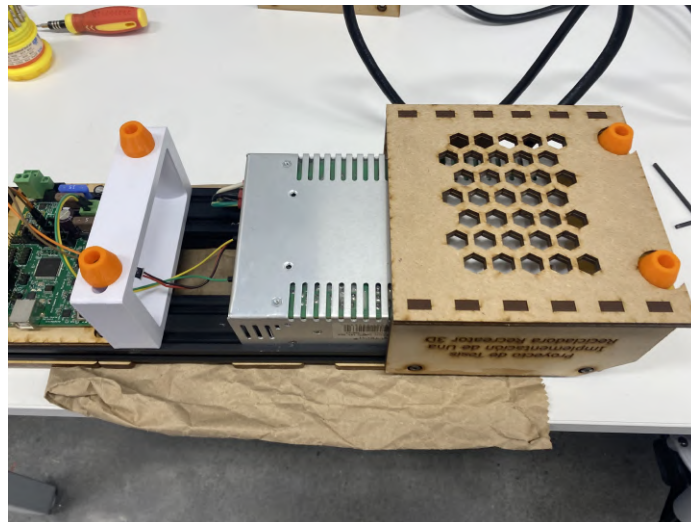


Nota. Arreglos de instalación para parte eléctrica superior

Cuando se logró verificar la seguridad e integridad de los componentes electrónicos, se comenzó a reinstalar las placas de cobertura de la parte inferior, pero primero se posicionaron con precaución antes de volver a girar el prototipo para ajustarlas correctamente. Se prosiguió con la implementación de la siguiente manera, después de asegurar los soportes de los componentes de la parte inferior:

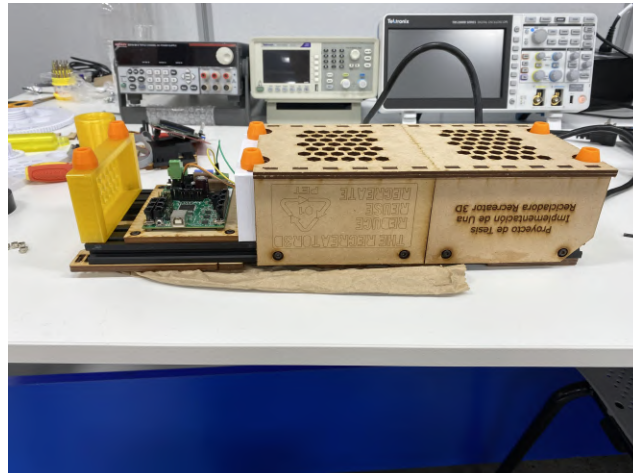
1. **placas del extremo izquierdo:** estas presentaban el nombre del proyecto y empezaban a cubrir la fuente de poder. Para permitir que el cable de enchufe de la fuente saliera de la parte inferior se creó una apertura en la parte posterior como se ve en la Figura 76, de esta cubierta se le dio salida al cable y permitió ajustar la fuente de poder.

**Figura 76**  
*Cubierta izquierda.*



2. **placas centrales:** estas ajustan las dos uniones de placas de cubiertas de los extremos para fijarlas a los perfiles estructurales de la parte inferior y terminar de sujetar la fuente de poder como se ve en la Figura 77.

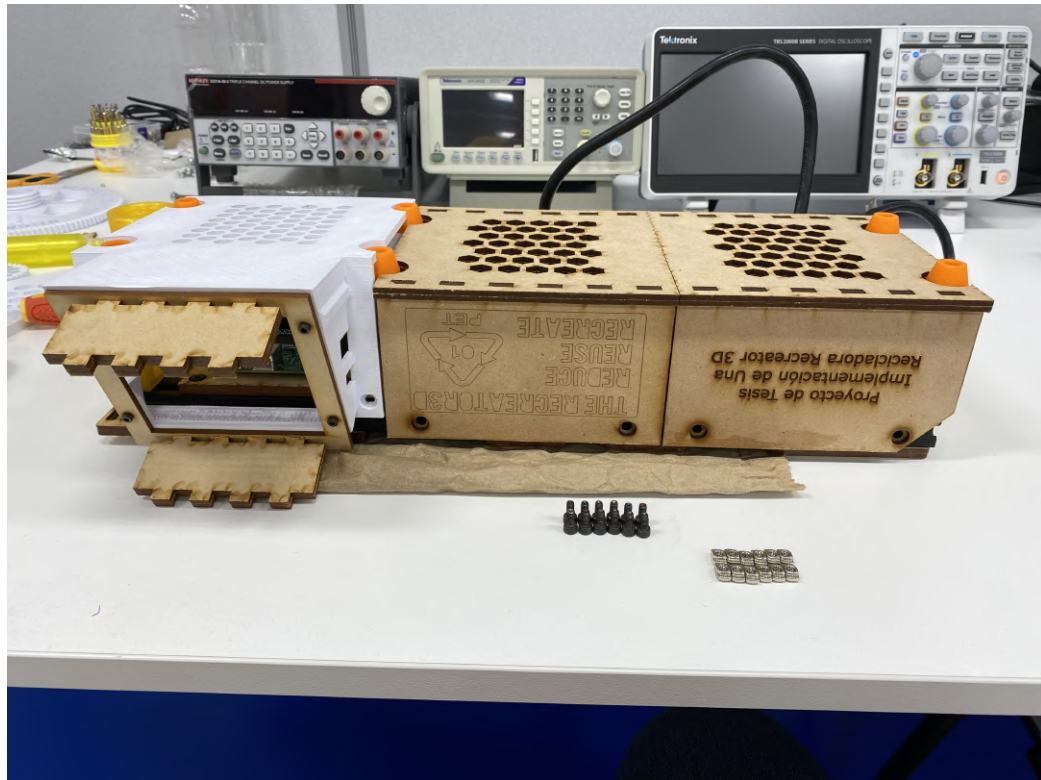
**Figura 77**  
*Cubierta central.*



3. **soporte de pantalla LCD:** esta es una pieza completa impresa en 3D debido a la base para los soportes de la pantalla LCD. Esta pieza sujeta y cubre el cableado de los componentes electrónicos como se ve en la Figura 78. Para que los componentes para los trabajos de la parte superior estuvieran afuera al momento de cubrir todo el cableado, la pieza tenía una abertura entre los componente y su entrada a la placa *MiniRambo 1.3a* que permite el paso de los cables de conexiones. Así se pudieron conectar los componentes a pesar de que unos están diseñados para su uso en la parte superior del sistema.

**Figura 78**

*Implementación de la parte inferior.*



Con la parte inferior cubierta por las placas de soporte, se rotó con cuidado el prototipo para que quedara en la orientación adecuada. Después se instalaron las placas de cubierta y soporte de la parte inferior en los perfiles estructurales y así terminar de ajustar la parte inferior.

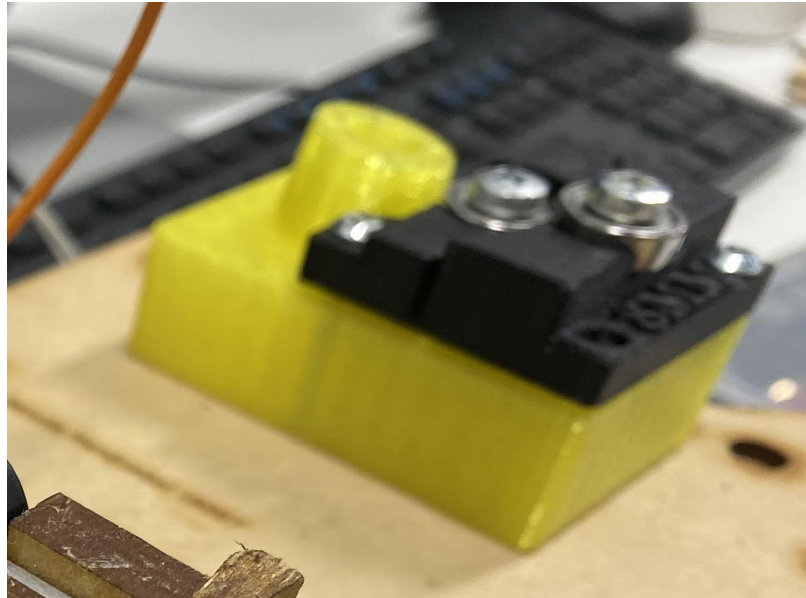
## 12.3. Parte superior

Al continuar con el sistema se fueron instalando los soportes de los componentes electrónicos que realizaban las acciones de manipulación y transformación del plástico PET 1 en filamento para impresión 3D.

- **cortador de botellas de plástico:** es el único sistema mecánico que no requiere componentes electrónicos, esta unión de piezas usa la fricción que causan sus dos rodamientos para cortar en la medida correcta la tira de plástico PET 1 de las botellas de plástico. En la Figura 79 se ve como este sistema se instaló a la tabla estructural del extremo derecho con tornillos de punta para madera, por lo que se insertaron directamente a la placa de madera.

**Figura 79**

*Estructura de las piezas del cortador de botellas.*



Nota. Segunda versión del soporte de rodamientos

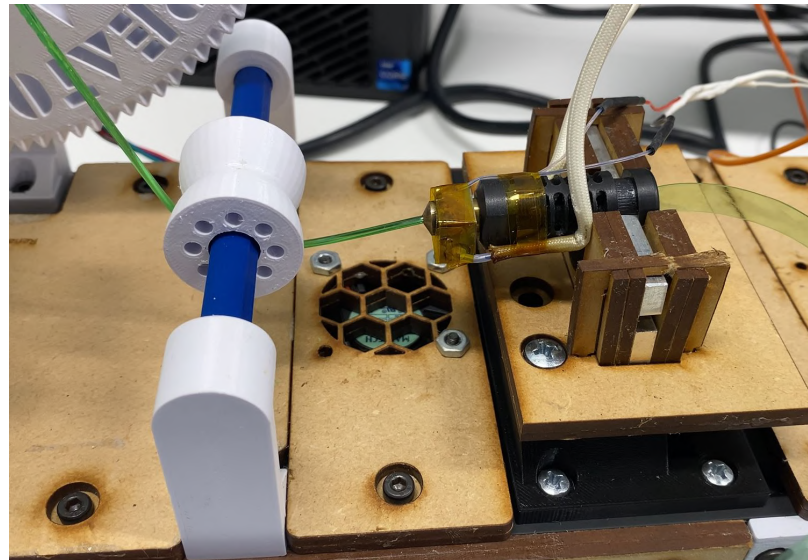
- **extrusor:** además de hacer modificaciones a la punta del *HotEnd*, fue necesario descartar unas piezas del interior del extrusor, estas son el soporte para filamento general y su seguro. Esto fue porque estos componentes no apoyaban al trabajo de termoformado que se desea realizar con el extrusor y podían causar dificultades para el trabajo. Entonces, después de retirarse esos dos componentes, se inició con la instalación y construcción del extrusor con el conjunto de seguros hecho con piezas de madera como se ve en la Figura 80. La unión tenía bases de madera que permitían la instalación de seguros de tornillos y tuercas tipo T con las cuales se forzaba fuerza a las piezas de madera que permitían fijar la placa de aluminio en medio de estas junto con el extrusor. Terminando esta instalación se completó el seguro con unos soportes superiores que ajustaban las piezas que actuaban como madera alrededor de la placa de aluminio y sujetaban todo hacia abajo con firmeza. Por último, este seguro se instaló a la base del extrusor para posteriormente instalar todos los materiales unidos a los perfiles del prototipo.



- **guía de filamento:** teniendo un eje base con poca fricción se pretende pasar el filamento procesado por el extrusor y posicionarlo por la posición inferior del soporte guía para luego hacer que se mueva en posición vertical dirigiéndose al eje principal que se encuentra suspendido aún más arriba. Con la Figura 80 podemos observar que para instalar esta unión de piezas se usan las piernas de soporte del eje base, iniciando con en un extremo al cual se le insertara el eje base junto con el soporte guía a través del mismo, para luego cerrar el trayecto con la pierna de soporte opuesta. Ambas piernas se deben instalar una después de la otra a los perfiles estructurales del prototipo.

**Figura 80**

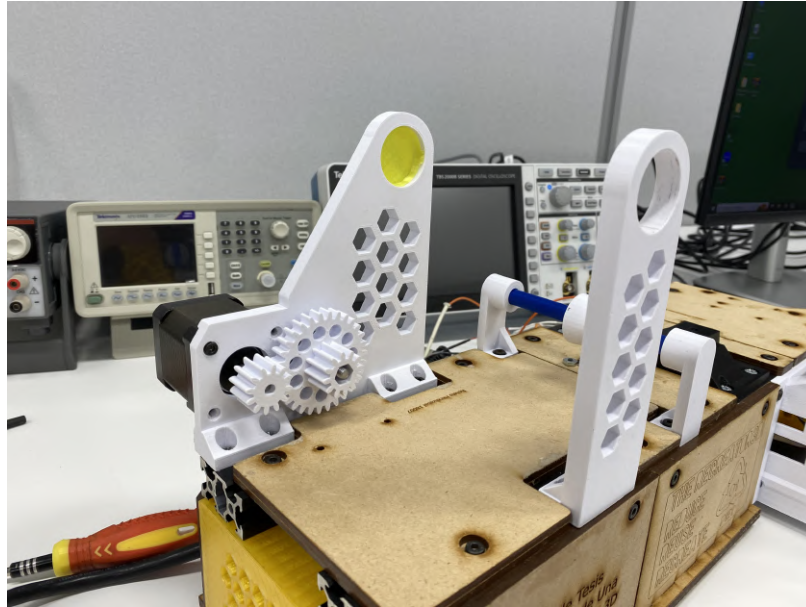
*Trabajo del extrusor y la guía de filamento reciclado.*



- **sistema de engranajes iniciales accionado por motor *stepper*:** este sistema formado por varias piezas y componentes se instaló de la siguiente manera:
  1. **el motor *stepper*:** se comprobó su funcionamiento, por lo que se instaló primero para seguir con el resto de los sistemas. Se instaló con tornillos M3 en su base de instalación suspendida y se insertó el engranaje inicial dentro de su eje como se ve en la Figura 81.
  2. **el engranaje doble y su base:** la base ya estaba diseñada para instalarse en el espacio correspondiente de manera fija. Esto permitió que el tornillo de eje para el engranaje se instalara correctamente y se ajustara con tuercas. Continuando con el engranaje doble, este posee un espacio para insertar en su interior otra tuerca para el tornillo, la cual servía como seguro para que el engranaje estuviera fijo en el eje. En la Figura 81 se muestra la lógica de transmisión de impulso del engranaje inicial que impulsa al engranaje doble y transmite el esfuerzo.

**Figura 81**

*Conjunto de movimiento de engranajes por medio del motor stepper.*

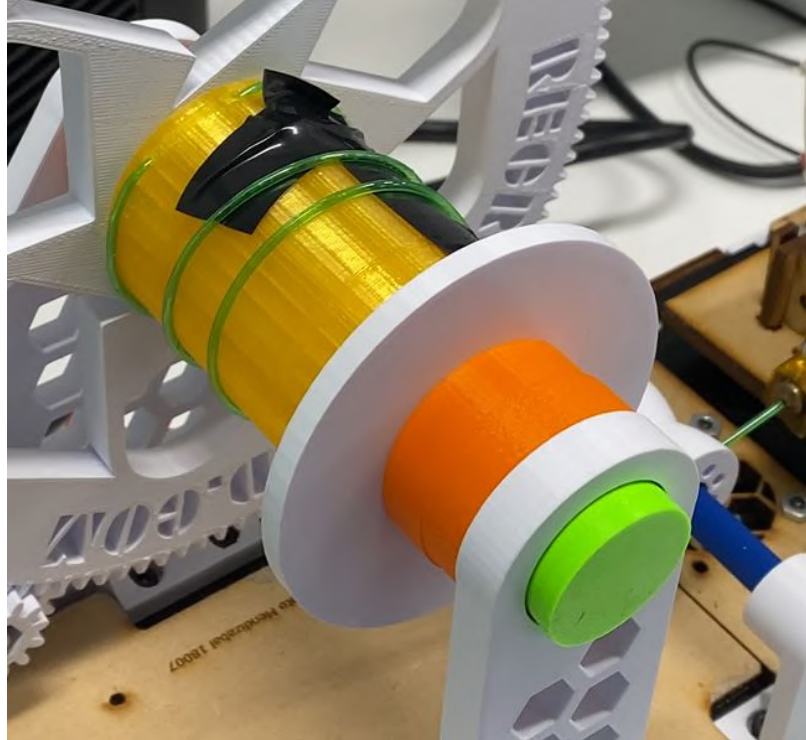


- **el eje principal:** es la barra de suspensión del sistema de recolección de filamento, el cual va instalado de un extremo del soporte de montura del motor *stepper* al soporte secundario del eje de la siguiente forma:
  1. **engranaje mayor y su separador inicial:** el engranaje mayor recibirá impulso del engranaje de menor tamaño que forma parte del engranaje doble, por lo que es necesario dejar espacio usando el separador para que se ajusten correctamente los dos engranajes.
  2. **el recolector de filamento:** este va instalado como un tornillo al engranaje mayor y tiene secciones donde insertar y sujetar el filamento reciclado inicialmente, para luego de activar el motor y se inicie la recolección automática.
  3. **pared del recolector y separadores finales:** es como un tornillo que también se ajusta al extremo opuesto del recolector, sirve como soporte para que el filamento reciclado no salga del recolector mientras lo va enrollando y también funciona como superficie de fijación para los últimos separadores del eje principal como seguros de fijación.

Posteriormente, se instalan los topes de soporte en ambos extremos de los soportes del eje principal para ajustarlo y mantenerlo fijo como se presenta en la Figura 82. De esta manera se completó la construcción del prototipo.

**Figura 82**

*Acción de recolección del eje principal.*



Nota. Implementación del eje principal con nuevos soportes

## 12.4. Pruebas del prototipo

Con el prototipo construido con todos los materiales, las piezas fabricadas en la UVG y los componentes electrónicos y mecánicos, fue posible hacer pruebas de extrusión específica. Cabe recalcar que para estas pruebas ya se había modificado el extrusor y se tenía un diámetro calculado de 1.6 mm, pero después de realizar las pruebas experimentales se logró obtener un filamento extrusado de 1.78 mm de diámetro como se resume en la Figura 83. Por lo que no se realizaron modificaciones posteriores, ya que este es el resultado más acercado al diámetro objetivo de 1.7 mm:

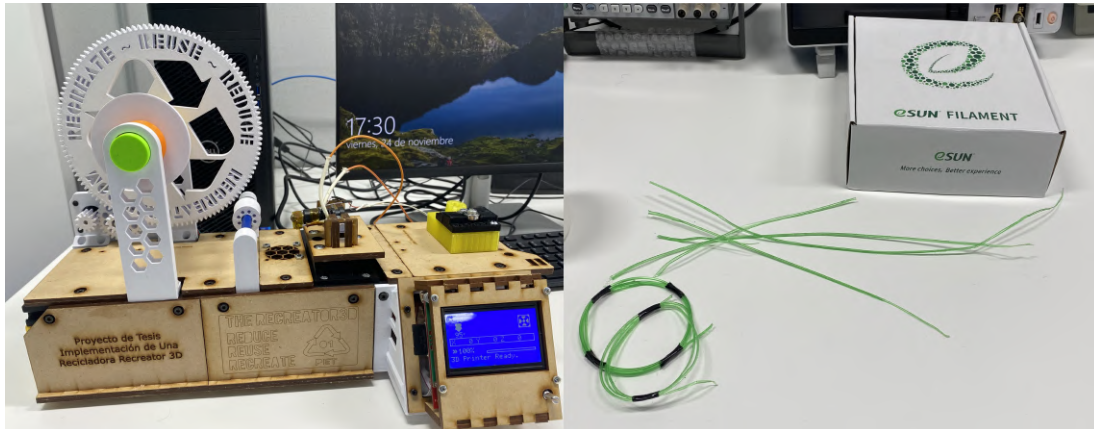
- **experimentales:** estas fueron las únicas que se realizaron antes de la implementación del prototipo completo, donde se extrusaron tiras sencillas de filamento usando pinzas para medir la longitud necesaria para lograr extruir un filamento sólido. Este resultado se logró, aunque se encontraron diferentes cortes que fueron causados por extruir el material muy rápido debido a la fuerza manual aplicada.
- **trabajo completo:** cuando se completó el prototipo se realizó una extrusión apoyada con el recolector de filamento y el motor. Si bien el esfuerzo era más mecánico, hubo errores debido a que se necesitaba estar aumentando constantemente la medida de distancia que se le solicitaba al motor realizar. Entonces persistían algunos errores de ligeros cortes por el filamento reciclado, además en ocasiones el recolector no lograba sujetar correctamente el filamento inicial para iniciar la extrusión.



- **avanzadas:** para completar las pruebas de funcionalidad del prototipo completo se subieron instrucciones de impresión/extrusión en el puerto de la pantalla de control *LCD* con una memoria microSD y su adaptador. El *g-code* utilizado solicitaba a la máquina que moviera constantemente los engranajes hasta que el motor recorriera 300 cm de distancia en su paso. Se usó cinta adhesiva para aplicar una mayor fuerza de fijación al filamento instalado en el recolector, con intenciones de apoyarlo. Concluyendo con un filamento recolectado de manera más constante, además de tener una superficie más lisa y sin imperfecciones.

**Figura 83**

*Prueba de funcionamiento de una recicladora recreator 3D.*



Nota. Primeras pruebas de reciclado/termoformado de plástico PET 1

A partir de la capacidad del prototipo del proyecto se observaron y cuantificaron datos que servirán para entender mejor la naturaleza del trabajo de transformación del PET 1 en filamento. El prototipo en cuestión es completamente funcional y no necesita de programación continua, pues su sistema ya está cargado, la única razón para cambiarlo sería alguna actualización para hacerlo más eficiente. Pero en esta sección lo que el prototipo ayudó a comprobar fueron las diferentes características y necesidades de sus capacidades, junto con las pruebas finales del trabajo de nuestro proyecto al lograr manipular exitosamente el filamento reciclado. Con base en las pruebas, se obtuvo lo siguiente:

- **mediciones ideales de plástico a reciclar:** a partir de las pruebas avanzadas de extrusión de filamento se descubrieron características que afectan al funcionamiento correcto del prototipo. Los errores consisten en la cantidad de entrada límite que es permitida ingresar por el extrusor para ser reciclada.
- **cantidad de filamento reciclado y los datos de su fuente original:** varias de las pruebas avanzadas generaron diferentes cantidades de filamento reciclado, algunas exitosas, pero las que más impulsaron el proyecto fueron los errores de reciclaje, que mostraron errores de manipulación y uso manual del prototipo para iniciar las funciones de reciclaje y como se logró mejorar el uso del prototipo.
- **impresiones con el filamento reciclado:** con el filamento reciclado se realizaron las últimas pruebas de impresión y se tomaron los datos de utilidad del filamento reciclado.

## 12.5. Pruebas de manejo del plástico y su procesamiento

Para la extrusión correcta del plástico en filamento era necesario tomar pruebas de medidas del ancho del plástico, que fueran aceptadas por la entrada del *HotEnd* antes, durante y después del proceso de extrusión, ello pues el diámetro de la entrada del *HotEnd* es de 7 mm y la entrada de la punta del extrusor que calienta el plástico es aún más pequeña. Es verdad que fue manipulada para aumentar su diámetro desde la entrada a la salida para ser aproximadamente de 1.6 mm y la entrada fue avellanada para facilitar la entrada del material, pero estos son todos los ajustes mecánicos que se podían realizar, por lo que el fallo de su funcionamiento depende de la magnitud de trabajo y material que se le solicita procesar.

Por lo expuesto, se preparó una serie de pruebas con diferentes tiras cortadas con tijera para probar su compatibilidad con el extrusor y las operaciones de recolección, contando con ciertos ajustes para apoyarlo en su procesamiento. Comenzando entonces con los componentes de funcionamiento que se notaron al usar el prototipo en sus pruebas iniciales.

- **el corte de entrada del plástico:** se necesita que la tira de plástico que se va a extrusar tenga una longitud inicial en forma de flecha con un ancho menor a 4 mm y una longitud mayor que la del *HotEnd* para que pueda atravesar fácilmente el extrusor para empezar a aplicarse fuerza para forzar el plástico a través del extrusor cuando posea la temperatura correcta de 210 °C. Con esto se observó la magnitud de PET 1 aceptable y que no se trabe o rompa a mitad de la extrusión.

**Figura 84**

*Recortes de error de las pruebas de extrusión de filamento.*

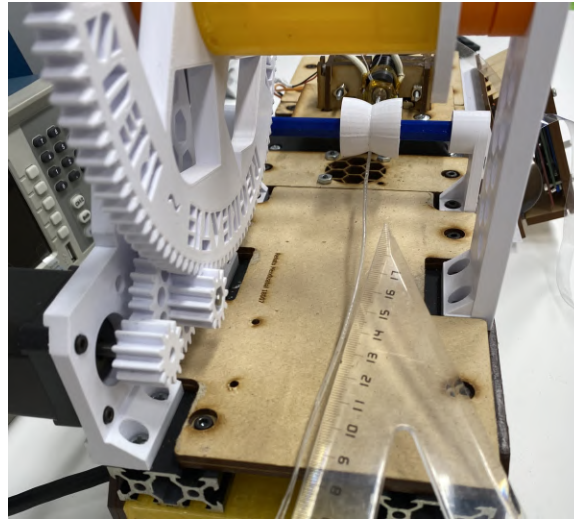


Nota. Resultados de pruebas de grosor de entrada

- **longitud inicial para sujeción:** el recolector del eje principal necesita sujetar una longitud adecuada de filamento para que este haga fuerza de sujeción, por ello es necesario aplicar fuerza con unas pinzas para obtener una longitud inicial de por lo menos 25 cm de filamento reciclado para ajustarlo al recolector del eje principal y posicionarlo correctamente en la guía de filamento, en la Figura 85 se ve la prueba de revisión para la longitud adecuada. Con esta longitud el ensamble de los engranajes aplican esfuerzo y el filamento no se suelta del soporte de recolección.

**Figura 85**

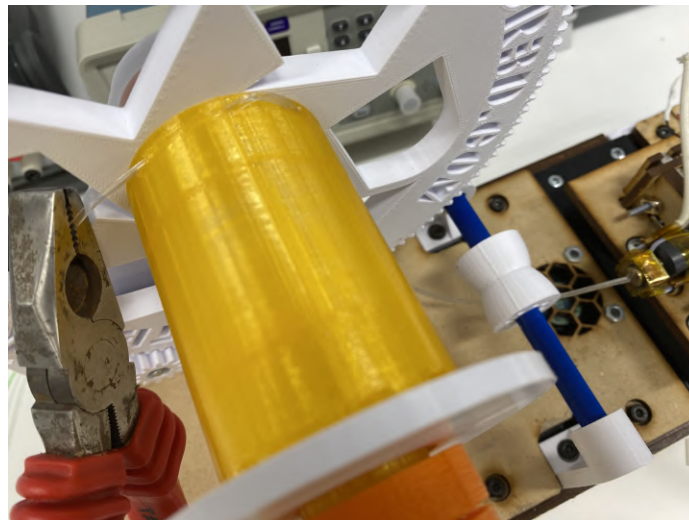
*Medición de longitud de filamento reciclado.*



- **guía y recolección de filamento:** el filamento reciclado en el eje principal se va enrollando, siguiendo una dirección fija, pero la guía permite que cuando llegue al tope del soporte de recolección se inicia la recolección en sentido contrario, la Figura 86 muestra cómo se inicia la recolección. Además de que al ajustar el filamento al soporte se puede aplicar cualquier apoyo de sujeción como cinta de aislar en los casos de las pruebas.

**Figura 86**

*Seguro de filamento al soporte de recolección.*

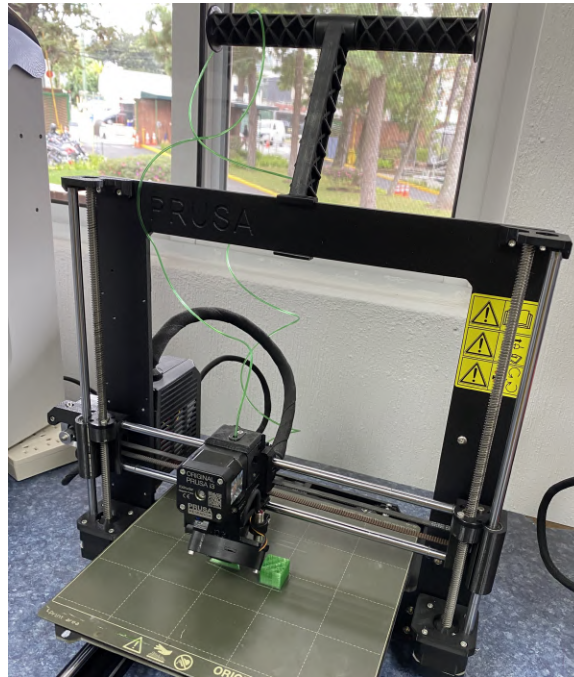


## 12.6. Pruebas de impresión 3D

Con la aplicación del prototipo en las pruebas de manipulación y extrusión se obtuvieron diferentes cantidades de filamento reciclado, lo que permitió su uso en pruebas de impresión 3D en las impresoras *PRUSA i3* de los talleres del departamento de ingeniería en el edificio J de la UVG, como se ve en la Figura 87. Las pruebas entonces incluyeron el diseño de piezas sencillas para comprobar la capacidad del material reciclado y las configuraciones adecuadas para que fuera procesado por el sistema de la impresora 3D.

**Figura 87**

*Primera prueba de impresión 3D.*



Nota. Filamento reciclado de 7 Up

Para preparar la impresora se analizaron diferentes cuestiones en las configuraciones de impresiones, para configurar una memoria micro SD y subir las operaciones correctas en un *g-code* a la impresora 3D, para asegurarse que se estuviera manipulando correctamente el filamento reciclado ya que había que seleccionar las propiedades de impresión adecuadas como están en el Cuadro 3.

### **Cuadro 3**

*Manejo de filamento PET 1.*

<b>Velocidad de impresión</b>	0.20mm <i>SPEED</i>
<b>Tipo de filamento</b>	<i>Prusament ASA (Mas compatible con la temperatura)</i>
<b>Impresora</b>	Original Prusa i3 MK3S & MK3S+
<b>Temperatura de extrusión</b>	260°C

Nota: Características de impresión del filamento reciclado en la impresora *PRUSA i3*

### 13.1. Límites de uso del extrusor

El Cuadro 4 resume las pruebas de manejo de plástico para reciclarlo en filamento. Se cometieron varios errores que causaron diferentes acciones durante el proceso de extrusión. Por lo tanto se analizaron los límites de las capacidades de la extrusión de plástico que es permitido por la entrada y salida del *HotEnd*. A partir de estas se generó una escala de capacidad de extrusión que permite entender la naturaleza y el límite con el que el prototipo es capaz de trabajar.

**Cuadro 4**

*Escala de magnitudes de ancho de entrada de tiras de plástico al extrusor.*

<b>Escala (cm)</b>	<b>Resultados</b>
0.8 a 1.0	El filamento presenta errores y cortes inadecuados
1.0 a 1.6	El filamento reciclado tiene las dimensiones adecuadas
Más de 1.6	El extrusor no puede procesar el material, se rompe el filamento

Nota: El estrés aplicado al prototipo dependerá de la escala usada  
se recomienda no forzar la entrada en la escala máxima

A partir de estas pruebas se logró entender la mejor compatibilidad que existe entre la entrada del material a reciclar y los límites del extrusor. Por lo tanto, para futuros intentos, ya se tiene una base como requerimiento estándar de aplicación de uso del proyecto.



## 13.2. Resultados de reciclaje de filamento

En el Cuadro 5 se presentan pruebas de reciclaje, que obtuvieron diferentes medidas de longitud aproximada de filamento reciclado, esto es debido a los errores iniciales de tamaño de entrada y por errores de corte que causaron más de una tira de plástico reciclado, entonces existen varios resultados obtenidos.

### Cuadro 5

*Reciclaje de PET 1: resultados de reciclaje de plástico a filamento.*

Botella	Volumen (L)	Intento	Extrusión (min)	Largo reciclado (cm)
7 Up	2.0	1(N)	13	65
7 Up	2.0	2(N)	15	76
7 Up	2.0	3(Y)	45	224.31
Coca-Cola	2.0	1(Y)	35	176.24
Coca-Cola	2.0	2(N)	2.5	32
Coca-Cola	2.0	3(Y)	15	92.12
Pepsi	1.5	1(Y)	65	384.53
7 Up	1.5	1(Y)	55	320.44

Nota: Y = Es aceptable para impresión 3D

N = No puede ser aceptado para impresión 3D

En la Figura 88 se observan las tiras de filamento reciclado. Resultado de las pruebas de extrusión se obtuvieron diferentes longitudes de filamento reciclado del plástico PET 1 y se tomaron las tiras que cumplían con un cuerpo sin deformaciones por esfuerzos manuales o que fueran muy cortas para usarse en las pruebas de impresión 3D.

### Figura 88

*Filamentos resultantes del uso del prototipo del proyecto.*



Nota. Arreglos iniciales para las pruebas de impresión 3D



### 13.3. Impresiones 3D

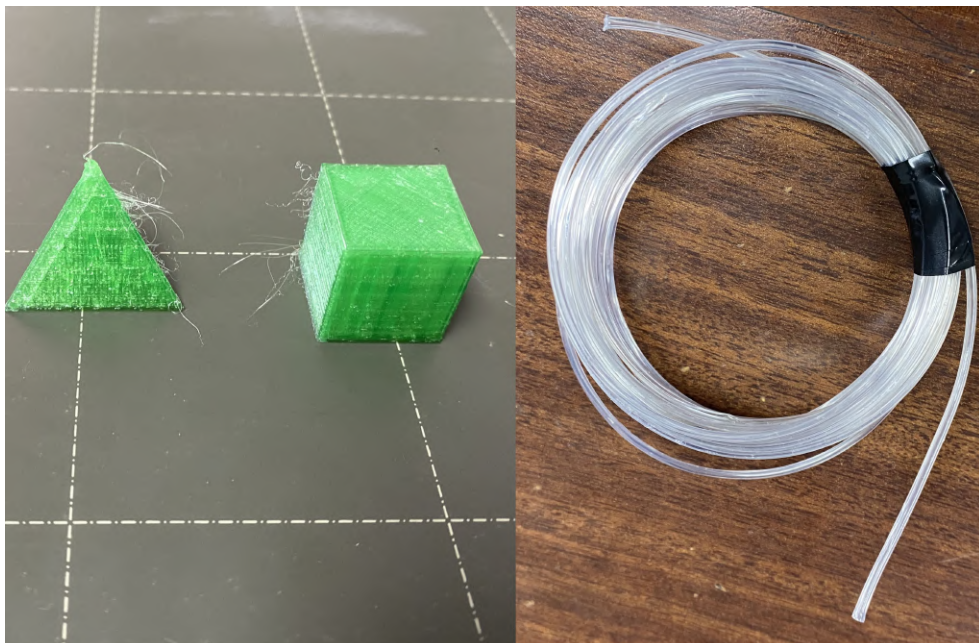
Después de catalogar la cantidad que se posee de filamento reciclado, se solicitó poder usar las impresoras *PRUSA* del taller *MakerLab* del departamento de ingeniería en el edificio J de la UVG para realizar pruebas de impresión 3D usando el filamento reciclado, entonces se generaron figuras sencillas en archivos stl, para poder ser visualizados en programas de impresión.

- *ultimaker cura*: es el programa más usado en la UVG gracias a las impresoras 3D a las que la mayoría de estudiantes tienen acceso, las cuales son *ultimakers*. En el programa podemos apreciar cómo se observarán las piezas impresas en la superficie de la cama de impresión, además de cuánto tiempo y filamento va a tomar producir la pieza del archivo de diseño.
- *blender*: es semejante a *ultimaker cura*, pero este es el programa que se usan en los talleres de las impresoras del departamento de ingeniería, este programa apoyó las pruebas físicas de impresión 3D y facilitó la comunicación de los códigos de impresión en una memoria micro SD, para ser implementadas por la impresora.

En los talleres del departamento de ingeniería se calibraron los requerimientos de funcionamiento de la impresora y del programa de impresión *blender* para poder trabajar con el filamento reciclado. Al momento de insertar el filamento reciclado al extrusor de la impresora, este cumplió con la temperatura ideal y se hicieron pruebas de extrusión sencillas para ver si podía ser procesado por el extrusor de la impresora antes de hacer las verdaderas pruebas de impresión, donde se lograron imprimir diferentes piezas con los diferentes filamentos reciclados y se tomó nota de las impresiones como se ve en la Figura 89.

**Figura 89**

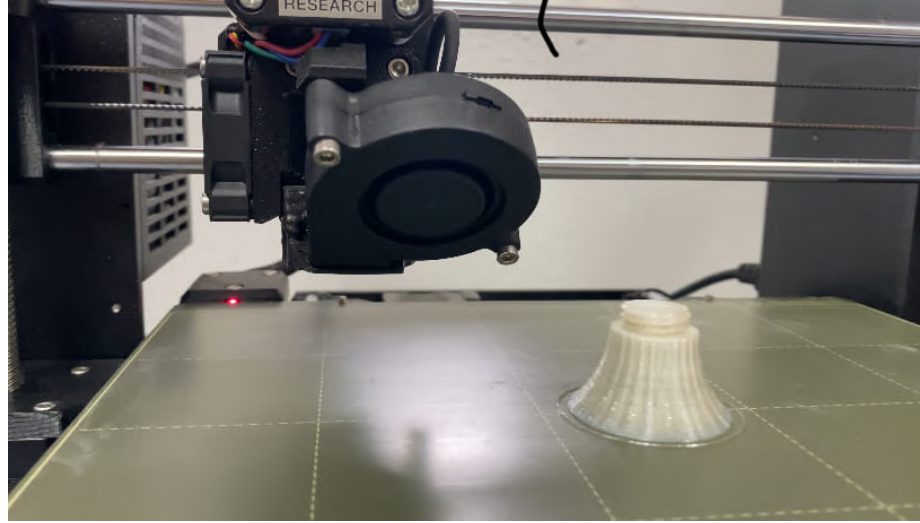
*Muestra de filamento usado para las pruebas de impresión y piezas de la primera prueba de impresión 3D.*



En las primeras pruebas de impresión se generaron piezas simples pero para comprobar la efectividad del filamento reciclado se investigaron piezas con diseños que presentarían un mayor nivel de detalle y ver cómo se comportaba el filamento al trabajar con la impresora para generar estos tipos de diseño, el resultado fue una impresión constante y precisa de la pieza de un tronco de árbol con detalles como se ve en la Figura 90.

**Figura 90**

*Última prueba de impresión 3D con filamento reciclado.*



Nota. Impresiones con más detalle

Al concluir estas pruebas se tomaron los datos del proceso de impresión 3D, para mantener un registro de todos los usos del filamento reciclado para generar piezas en el laboratorio. Estos datos presentaban diferentes cálculos en *blender* y *ultimaker cura*, con respecto al tiempo, la longitud de filamento y el tipo de material para imprimir los objetos de prueba como se ve en los Cuadros 6 y 7. Esto es debido a la investigación para trabajar con el filamento reciclado del PET 1 en la impresora *PRUSA i3* de la UVG.

**Cuadro 6**

*Impresión en el programa ultimaker cura.*

Material	Pieza	Tiempo (min)	Impresión (m)
PLA (7Up)	Cubo	18	0.57
PLA (7Up)	Pirámide	13	0.29
PLA (Pepsi)	Tronco alto definido	43	0.82

*El tipo de bebida es el filamento reciclado que se usó para impresión 3D*

**Cuadro 7**

*Impresión en el programa blender.*

Material	Pieza	Tiempo (min)	Impresión (m)
<i>Prusament ASA</i> (7Up)	Cubo	20	1.2
<i>Prusament ASA</i> (7Up)	Pirámide	10	0.8
<i>Prusament ASA</i> (Pepsi)	Tronco Alto Definido	45	2.03

*La impresión se refiere a la longitud de filamento reciclado utilizado para la impresión 3D*

Inicialmente se diseñó el proyecto en digital, rediseñando cada pieza de manera que el sistema pudo generar un ensamblaje que presentara un ejemplo de resultados de implementación del prototipo. Así mismo, con un proceso de diseño efectivo, se ordenaron las acciones para implementar dicho modelo digital en un orden de acciones que cualquier practicante pueda realizar.

Durante la implementación se presentaron errores relacionados con el diseño original, en general, variaciones en las dimensiones. Generó la necesidad de modificar el diseño del ensamblaje, lo que tuvo mayores beneficios, pues mejora los sistemas del proyecto, ya que generó más espacio para organizar la instalación de las piezas y los componentes de forma más abierta y con mayor accesibilidad.

Fue un proceso de diseño constante en donde cada acción de implementación permitía la creación de un prototipo de pieza de manera adecuada, pero existían errores que necesitaban una planificación de soluciones. Estas soluciones aportaban datos que prevenían futuros errores. Cabe mencionar que esta es una práctica de la síntesis de información de una aplicación de diseño efectiva, una característica que no se presentaba en la implementación del proyecto físico, pero sí era aplicada de manera regular durante el avance de su desarrollo.

Al finalizar el rediseño digital de las piezas y generar un ensamblaje para realizar la implementación física del prototipo, se realizó la fabricación digital de las piezas y la recolección de los componentes necesarios a través de la UVG o servicios externos. En el caso de los componentes eléctricos o de marca específicos, se analizaron los costos si las piezas no fueran reutilizadas de proyectos anteriores, además de que se anotaron los costos reales para la implementación del prototipo. Como resultado, se generaron estadísticas de los costos reales en el mercado y la implementación del proyecto que evidencian con respecto a los costos reales del mercado. Por este medio, se aseguró un ahorro del 81 %. Si se hubieran comprado los componentes, el costo hubiera ascendido a los Q2,224.41.

Cuando se tenían todas las piezas fabricadas y los componentes de marca, fue posible realizar una construcción eficaz del prototipo final, con el respaldo de la guía de implementación. Durante el proceso fue posible comprobar el funcionamiento de los sistemas durante su instalación ordenada. Como resultado, se obtuvo un prototipo con todos sus componentes, operando al mismo tiempo, que cumplía con el trabajo de transformar filamento reciclado a partir de tiras del plástico PET 1. Al terminar la fabricación del prototipo, se comprobaron los límites de las operaciones con pruebas de funcionalidad, las cuales, cumplían con el objetivo principal del proyecto al generar un filamento reciclado que tiene un diámetro útil de 1.78 mm de diámetro, lo cual se acerca al objetivo planteado de 1.7 mm, que fue probado en impresiones en los talleres de la UVG. Entre estas pruebas, se lograron tabular diferentes resultados de las capacidades del proyecto:

- se observó el grosor adecuado que deben cumplir las tiras de las botellas de PET 1 para ser recicladas de manera constante entre la escala de 1 a 1.6 cm, además de que se analizaron los resultados en los extremos opuestos para saber qué errores generarían y evitarlos.
- se tomó en cuenta el proceso de extracción manual que debe realizar el usuario para instalar la salida inicial de filamento reciclado, que debe cumplir una longitud de 25 cm, en el recolector antes de aplicar el esfuerzo de extracción automatizado por el motor *stepper*.
- se obtuvieron diferentes datos de longitud y tiempo de extracción según el corte realizado a las botellas de PET 1 usando las operaciones para controlar el prototipo de manera automática (*g-codes*). Se tomaron los datos para generar estadísticas que corroboran las capacidades y límites de transformación del prototipo.

- En el proceso de aplicar un diseño efectivo, es necesario mejorar y tomar en cuenta la síntesis de información para proponer soluciones más directas y efectivas al momento adecuado. Esto permitiría mantener un avance constante en la mejora del proyecto, por lo que es recomendable priorizar la capacidad de analizar la información que los errores nos dan. En el desarrollo del prototipo, los problemas no se abordaron correctamente, aunque se obtuvieron soluciones que devolvieron resultados positivos, estas eran incompletas.
- Cuando ingresamos las tiras de plástico en el extrusor no se pudo usar el cortador para generar un ancho de tiras adecuadas para su transformación en filamento. En cambio, se optó por ingresar tiras cortadas previamente a mano que variaban su ancho por errores humanos. Se podría pensar en una nueva pieza que, a modo de soporte, sujete una cantidad ya preparada de plástico PET 1 cortado a mano para que ingrese al extrusor. Sería una solución rápida y sencilla a una parte del sistema que ocupa una considerable cantidad de espacio en su uso o se debería mejorar el cortador porque el modelo que se utilizó para esta primera implementación no generó buenos resultados.
- Algunos de los soportes más simples se fabricaron mediante impresión 3D, pero se podría considerar una presentación con una figura hecha de piezas de corte láser. Estas piezas siempre presentan una buena rigidez y se pueden diseñar con dimensiones sencillas. Es posible considerar modelos de piezas de soportes que no cumplan con trabajos mecánicos excesivos o muy específicos para ser rediseñadas en piezas de corte láser.
- Se presentaron algunos errores entre la dimensión de las piezas de la página oficial y los del modelo hecho en *fusion 360*. Estos causaron errores de impresión que no permitieron la instalación correcta de las piezas. Aunque sí se usaron, existen ligeros errores que no permiten que el sistema esté asegurado, así que se debería trabajar en resolver esos errores de dimensionamiento.

- El eje de la guía de filamento está constantemente recibiendo esfuerzos de extracción del conjunto de engranajes y el recolector. Como este fue fabricado con filamento PLA, su cuerpo falla al tolerar grandes esfuerzos. Entonces, es necesario cambiar la pieza impresa en 3D del prototipo por un tubo de metal que presente más resistencia al esfuerzo constante e incluso una superficie más lisa en la que pueda trabajar la pieza de guía de filamento.
- Para futuras mejoras del proyecto, es necesario diseñar una operación que permita unir, con operaciones de termoformado, los retazos de filamento reciclado de diferentes botellas. De esa manera, será posible realizar impresiones de mayor magnitud constantemente.



- Taylor J. R. (2021). *Notas de construcción del modelo MK5Kit: Ender 3 DIY del recreator 3D* (pp. 1-22). Pagina oficial del *recreator 3D*. <https://docs.google.com/document/d/16sFIUdE-LeSszIq50VDYdONibqDdYnirY87DZcmqQhc/edit>
- Racanco L. y Alonzo A. (2007). *Proyecto de investigación fabricación de productos de plástico a base de plásticos termoplásticos, procedentes de los desechos sólidos de la ciudad de Quetzaltenango*. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Cheng R. (2022). *El polyformer*. Pagina oficial del *polyformer*.  
<https://www.reiten.design/polyformer>
- Jani M. (10 de octubre de 2022). *El sistema reciclador de botellas PET: el petalot - vista de cerca*. All3DP. <https://all3dp.com/4/petalot-open-source-bottle-recycling/>
- Amarante Z. C. (2021). *Diseño de una máquina trituradora extrusora de botellas de plástico para la obtención de filamento PET a bajo costo*. Universidad Señor de Sipán.  
<https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/9229/Chuquilin%20Zoto%20Amarante.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Amor de Paz V. (2021). *Guatemala y su contaminación con plásticos*. Prensa Libre.  
<https://www.prensalibre.com/opinion/columnasdiarias/guatemala-y-su-contaminacion-con-plasticos/>

- Gestion de Residuos Guatemala. (2016). *En Guatemala el reciclaje de plástico genera 25 mil empleos directos*. Gestores de residuos. <https://gestoresderesiduos.org/noticias/en-guatemala-el-reciclaje-de-plastico-genera-25-mil-empleos-directos>
- Budynas R. G. y Nisbett J. K. (2012). McGraHill. *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. España. 9ª Edición. ISBN: 978-607-15-0771-6.
- Sánchez M. E. V. (2020). *Extrusor de polímeros, ¿qué es y cómo funciona?*. Anáhuac Mexico. <https://www.anahuac.mx/mexico/noticias/Extrusor-de-polimeros-que-es-y-como-funciona>
- Harari S. R. (2020). Universidad Anáhuac Mexico. *Revista +Ciencia de la Facultad de Ingeniería*. Enero-Abril Año 8, No. 20°. <https://www.anahuac.mx/mexico/EscuelasyFacultades/ingenieria/sites/default/files/inline-files/REVISTA %2BCIENCIA-22.pdf>
- Aristegui Maquinaria (2017). *Método de extrusión, su proceso y aplicación*. <https://www.aristegui.info/metodo-de-extrusion-su-proceso-y-aplicacion/>
- Morales J. (2010). *Introducción a la ciencia y tecnología de los plásticos*. México: Trillas Textos Científicos. Moldeado, Inyección, Extrusión. <https://www.textoscientificos.com/polimeros/moldeado>
- Taylor K. (2017). *Extrusor de doble husillo STS 35 Mc<sup>11</sup> con alimentador de alta precisión y peletizador de filamentos*. Coperion. [https://www.coperion.com/media/4526/coperion\\_plastimagen\\_2017\\_spanish.pdf](https://www.coperion.com/media/4526/coperion_plastimagen_2017_spanish.pdf)
- AM-GROUP. (2023). *El proceso de termoformado en plásticos*. Aristegui Maquinaria. <https://www.aristegui.info/el-proceso-de-termoformado-en-plasticos/>
- Arapack Noticias. (2022). *Termoformado de plásticos ¿Qué es? Tipos de plásticos utilizados y envases obtenidos*. <https://www.arapack.com/termoformado-de-plasticos-que-es/>
- Fernández Y. (2021). *Firmware: qué es y en qué se diferencia con los drivers*. Xataka Basics. <https://www.xataka.com/basics/que-firmware-que-se-diferencia-drivers>
- Marlin. (2023). *Qué es Marlin?* <https://marlinfw.org/docs/basics/introduction.html>

- Zambetti N. (2020). *¿Sabes qué es un Arduino y para qué sirve?* Aquae Fundación.  
<https://www.fundacionaquae.org/wiki/sabes-arduino-sirve/>
- Peters J. J. (2013). *Funcionamiento del driver CNC DIY para motores paso a paso*. Casiopea.  
[https://wiki.ead.pucv.cl/Funcionamiento\\_del\\_driver\\_CNC\\_DIY\\_para\\_motores\\_paso\\_a\\_paso\\_\(Marco\\_teorico\)](https://wiki.ead.pucv.cl/Funcionamiento_del_driver_CNC_DIY_para_motores_paso_a_paso_(Marco_teorico))
- UltiMachine. (2023). *UltiMachine Mini-Rambo 1.3*.  
<https://ultimachine.com/products/mini-rambo-1-3>
- RepRap. (2022). *RepRapDiscount Full Graphic Smart Controller*.  
[https://reprap.org/wiki/RepRapDiscount\\_Full\\_Graphic\\_Smart\\_Controller](https://reprap.org/wiki/RepRapDiscount_Full_Graphic_Smart_Controller)
- Electronoobs. (2022). *Tutorial de extrusora de filamento de botellas PET*. Filamento desde botella (FILAMENTO FROM BOTTLE).  
[https://electronoobs.com/eng\\_arduino\\_tut174.php](https://electronoobs.com/eng_arduino_tut174.php)
- Taylor J. R. (2023). *Crea filamento PET con el Recreator 3D modelo MK5Kit: Ender3 (notas de construcción)*. Printables. <https://www.printables.com/es/model/179820-the-recreator-3d-mk5kit-ender3-diy-3d-printer-fila>
- Taylor J. R. (2023). *Modelo MK5IT: Ender3. Segunda revisión para la comunidad del archivo STEP*. <https://www.printables.com/es/model/296654-turn-pet1-plastic-bottles-into-3d-filament-with-th/files>
- Mercado libre México. (s.f.). *Tornillos M3, M4, M5 y M6*.  
<https://www.mercadolibre.com.mx/>
- Amazon. (s.f.). *160 unids/caja M3 M4 M5 para ranura de la serie 20, tuerca en T deslizante conector de fijación, extrusión de aluminio 2020*.  
[https://www.amazon.com/ref=nav\\_logo](https://www.amazon.com/ref=nav_logo)