



**Diseño y Construcción de un Prototipo de Impresora 3d para la Impresión de Objetos
utilizando Fibra de Plástico obtenida de Botellas Recicladas**

Guamán Viteri, Jefferson José y Raza Suárez, Dyllan Anthuan

Departamento de Ciencias de la Computación

Carrera de Tecnologías de la Información

Trabajo de Integración Curricular, previo a la obtención de título de Ingeniero/a en
Tecnologías de la Información

Ing. Rodríguez Galán, German Eduardo, Mgtr.

6 de septiembre de 2023

Reporte de verificación de contenido



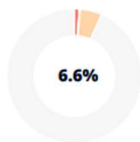
Plagiarism and AI Content Detection Report

Trabajo de integración curricular.pdf

Scan details

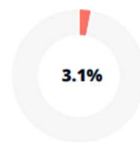
Scan time: September 6th, 2023 at 16:6 UTC Total Pages: 72 Total Words: 17977

Plagiarism Detection



Types of plagiarism		Words
Identical	1%	178
Minor Changes	0.2%	37
Paraphrased	4.3%	777
Omitted Words	17%	3056

AI Content Detection



Text coverage		Words
AI text	3.1%	5677
Human text	96.9%	18839

[Learn more](#)

Alerts: (1)

Cross Language: Same Document Language

Submitted language and cross-language text are the same language. No credits were used.

2/5 Severity



Firma:

.....

Ing. Rodríguez Galán, Germán Eduardo, Mgtr

C.C: 0603431685



Departamento de Ciencias de la Computación
Carrera de Ingeniería en Tecnologías de la Información

Certificación

Certifico que el trabajo de integración curricular: “**Diseño y construcción de un prototipo de impresora 3d para la impresión de objetos utilizando fibra de plástico obtenida de botellas recicladas**” fue realizado por los señores **Guamán Viteri, Jefferson José y Raza Suarez, Dyllan Anthuan**, el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizada en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Santo Domingo de los Tsáchilas, 6 de agosto de 2023

Firma:

.....
Ing. Rodríguez Galán, Germán Eduardo, Mgtr

C.C: 0603431685



Departamento de Ciencias de la Computación
Carrera de Ingeniería en Tecnologías de la Información

Responsabilidad de Autoría

Nosotros, **Guamán Viteri, Jefferson José y Raza Suarez, Dyllan Anthuan**, con cédulas de ciudadanía n° 2350574238 y n° 1750990572, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: **Diseño y construcción de un prototipo de impresora 3d para la impresión de objetos utilizando fibra de plástico obtenida de botellas recicladas** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Santo Domingo de los Tsáchilas, 6 de septiembre de 2023

Firmas:

Guamán Viteri, Jefferson José

C.C.:2350574238

Raza Suarez, Dyllan Anthuan

C.C.:1750990572



Departamento de Ciencias de la Computación

Carrera de Ingeniería en Tecnologías de la Información

Autorización de Publicación

Nosotros **Guamán Viteri, Jefferson José y Raza Suarez, Dyllan Anthuan**, con cédulas de ciudadanía n° 2350574238 y n° 1750990572, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: **Diseño y construcción de un prototipo de impresora 3d para la impresión de objetos utilizando fibra de plástico obtenida de botellas recicladas** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Santo Domingo de los Tsáchilas, 6 de septiembre de 2023

Firmas:

Guamán Viteri, Jefferson José

C.C:2350574238

Raza Suarez, Dyllan Anthuan

C.C:1750990572

Dedicatoria

Con un profundo sentido de gratitud, dedico este logro a mi amada familia, cuyo inquebrantable apoyo ha sido el cimiento de mi travesía académica. A mis queridos padres, cuyo amor y sacrificio han iluminado mi camino, y a mis hermanos, cuya cercanía ha sido mi fortaleza. Agradezco profundamente a mi tutor de tesis, cuya guía técnica y sabiduría han moldeado este trabajo. También extiendo mi gratitud a mis amigos y compañeros de universidad, quienes han sido un faro de motivación. Juntos, han sido los pilares que han elevado este proyecto desde sueño a realidad.

Jefferson José Guamán Viteri

Dedicatoria

Dedico esta tesis principalmente a mis padres, Oscar Raza y Martha Suárez, quienes con amor me han sabido orientar y dar fuerzas para continuar día tras día en este proceso que ha sido largo, pero altamente satisfactorio. A mis hermanos, Fabricio Lema, Byron Ordoñez, Jordan Raza e Hyttan Raza, quienes con sus consejos y apoyo me permitieron superar diferentes dificultades que he vivido, siempre extendiéndome su mano generosa y aportando en mi crecimiento personal en gran medida.

Dedico esta tesis también a mis abuelos, Lettys Navarrete, Rosa Alulema y Alfonso Raza, quienes con su apoyo he logrado comprender aspectos de la vida que me han forjado como una persona con valores y respeto.

En una forma especial dedico este logro a todas las mascotas que han formado parte esencial de mi vida, mostrándome cada uno lo maravillosa que es la vida y lo acompañado que me sentiré siempre y cuando reciba su amor y cariño incondicional.

Dyllan Anthuan Raza Suárez

Agradecimiento

Como parte final de mi vida universitaria, agradezco principalmente a mi familia, quienes han sido parte fundamental de mi vida, siendo los que han estado ahí para mí en todo momento de manera desinteresada, permitiéndome cumplir una de las metas más importantes en mi vida.

Agradezco a mis compañeros y amistades incondicionales Tania R, Klar C, José C, Jhandry Zambrano, Josselyn Chila, Jennifer S, Alexis S, Jorge P, Darío I, Sebastián C y a todas las personas que me han acompañado en el proceso de cumplir mi sueño.

Agradezco especialmente al Ingeniero Germán Rodríguez y a mi compañero Jefferson Guamán, quienes aportaron para lograr el cumplimiento de la tesis, siempre estando ahí para lograr cada avance y descubrimiento que se realizó a lo largo de la investigación.

Finalmente, agradezco a todos los docentes y personas que formaron parte de este proceso y que hayan influido a mi crecimiento personal.

Dyllan Anthuan Raza Suárez

Agradecimiento

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todos aquellos que han sido fundamentales en este emocionante trayecto. En primer lugar, extendiendo mi más sincero reconocimiento a mis queridos familiares, cuyo inquebrantable apoyo y dedicación han sido la chispa que me impulsó a concluir este proyecto. Sus redes de apoyo han sido mi sostén.

Un agradecimiento especial al ingeniero Germán Rodríguez, quien ha sido un faro de sabiduría a lo largo de mi proceso de aprendizaje. Su valioso conocimiento y apoyo técnico han sido esenciales en cada paso del desarrollo de este proyecto.

A los apreciados docentes de esta institución, les agradezco profundamente por compartir conmigo su profundo conocimiento técnico y experiencia a lo largo de las clases. Sus enseñanzas han sido fundamentales en la formación que me ha llevado a este logro.

También quiero reconocer a mis compañeros, cuyo intercambio de conocimientos y apoyo mutuo ha enriquecido este camino hacia la culminación de este proyecto.

índice de contenidos

Carátula	1
Reporte de verificación de contenido	2
Certificación	3
Responsabilidad de Autoría	4
Autorización de Publicación	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento.....	8
Resumen	17
Abstract.....	18
Capítulo I: Introducción	19
Antecedentes.....	19
Problemática.....	19
Justificación	20
Objetivos.....	20
Objetivo general	20
Objetivos específicos.....	20
Capítulo II: Marco Teórico	21
Marco referencial	21
Impresoras 3D.....	21
Funcionamiento básico de una impresora 3D.....	22
Tecnologías de impresión 3D	22
Tipos de fibra utilizada en impresión 3D.....	23

Fibra PET	25
Proceso de reciclaje de botellas de plástico y obtención de fibra de plástico	25
Propiedades físicas y mecánicas de la fibra de plástico reciclada	25
Métodos de reciclaje de botellas de plástico	26
Obtención de fibra de plástico adecuada para la impresión 3D	26
Aplicaciones y beneficios del reciclaje de plástico en la impresión 3D.....	27
Beneficios ambientales y económicos del uso de fibra de plástico reciclada	27
Estado del Arte.....	28
Capítulo III: Metodología	31
Introducción de la metodología	31
1. Evaluación y selección de modelos 3D.....	32
Análisis económico de los componentes mínimos para la operación de una impresora 3D (mecánicos y electrónicos).....	36
Armado de la impresora 3D.....	40
Obtención de fibra plástica (PETG).....	49
Pruebas de integración	54
Problemas para alcanzar la temperatura requerida con el firmware original.....	54
Solución: Cambiar el firmware propietario	55
Firmware Marlin.....	55
STLINK V2	55
PlatformIO	56
OpenBLT.....	56
Problemas de fibra con dobleces.....	62

Problemas en la fibra obtenida de botellas con texturas	64
Problemas en la fibra con esmalte.....	66
Problemas con las botellas sucias.....	66
Pruebas satisfactorias de integración	68
Pruebas de impresión	70
Capítulo IV: Resultados	71
Resultados en el proceso de obtención de fibra.....	71
Resultados de integración de la fibra	72
Resultados de impresión con la fibra obtenida de botellas plásticas	74
Capítulo V: Discusión.....	79
Capítulo VI: Conclusiones, recomendaciones y trabajo futuro.....	82
Conclusiones	82
Recomendaciones	83
Trabajo futuro	85
Referencias.....	86

Índice de tablas

Tabla 1	24
Tabla 2	36
Tabla 3	38
Tabla 4	70

Índice de figuras

Figura 1	32
Figura 2	32
Figura 3	33
Figura 4	34
Figura 5	35
Figura 6	35
Figura 7	40
Figura 8	41
Figura 9	41
Figura 10	42
Figura 11	43
Figura 12	43
Figura 13	44
Figura 14	45
Figura 15	45
Figura 16	46
Figura 17	47
Figura 18	47
Figura 19	48
Figura 20	48
Figura 21	49
Figura 22	50
Figura 23	51
Figura 24	51
Figura 25	52
Figura 26	52
Figura 27	52

Figura 28	53
Figura 29	53
Figura 30	54
Figura 31	57
Figura 32	58
Figura 33	58
Figura 34	59
Figura 35	59
Figura 36	60
Figura 37	60
Figura 38	61
Figura 39	62
Figura 40	63
Figura 41	64
Figura 42	65
Figura 43	65
Figura 44	66
Figura 45	67
Figura 46	68
Figura 47	69
Figura 48	69
Figura 49	71
Figura 50	72
Figura 51	73
Figura 52	74
Figura 53	75
Figura 54	75
Figura 55	76

Figura 56	76
Figura 57	77
Figura 58	78

Resumen

La conversión de desechos plásticos en fibras que se pueden imprimir en 3D mediante procesos de termo formado es un área crucial de investigación, ya que juega un papel importante en la mitigación de la creciente contaminación causada por las botellas de plástico. Este estudio se concentra en dos áreas clave: en primer lugar, obtener fibra de impresión a partir de botellas de plástico recicladas, y, en segundo lugar, evaluar las características funcionales y operativas de dos tipos de impresoras: las de tipo DIY (Do It Yourself) vs las de tipo “Kit Arme Ud. mismo” comerciales, con el fin de determinar qué modelo cumple con los requisitos específicos de temperatura y precisión manteniendo un equilibrio óptimo entre costo y beneficio. En este contexto, primero se cortaron las botellas de plástico recicladas antes de termo formarlas para obtener fibra similar a la utilizada por una impresora 3D convencional, posteriormente, se realizaron pruebas de integración con la impresora 3D. El proceso de fusión de esta nueva fibra planteó muchos desafíos para producir una fibra PET de alta calidad. La razón de esto es que el sistema operativo original de la impresora no pudo alcanzar la temperatura suficiente para derretir el material plástico de forma adecuada (255 grados). Se evaluó y modificó una alternativa de código abierto para superar esta limitación y obtener el control total de las características de la impresora, permitiendo alcanzar una temperatura de fusión óptima (hasta 270 grados). De acuerdo con los resultados, las características físicas de las botellas de plástico, incluido el tipo de acabado, el color, la textura, el grosor y la limpieza, fueron cruciales para obtener fibras de alta calidad que se acoplen de manera óptima con la impresora 3D modificada.

Palabras clave: Impresión 3D, PETG, Reciclaje.

Abstract

The conversion of plastic waste into 3D printable fibers by thermoforming processes is a crucial area of research, as it plays an important role in mitigating the increasing pollution caused by plastic bottles. This study focuses on two key areas: firstly, obtaining printing fiber from recycled plastic bottles, and secondly, evaluating the functional and operational characteristics of two types of printers: DIY (Do It Yourself) vs. commercial "Do It Yourself Kit" printers, in order to determine which model meets specific temperature and accuracy requirements while maintaining an optimal balance between cost and benefit. In this context, recycled plastic bottles were first cut before thermoforming them to obtain fiber similar to that used by a conventional 3D printer, then integration tests were performed with the 3D printer. The melting process of this new fiber posed many challenges to produce a high-quality PET fiber. The reason for this is that the printer's original operating system could not reach a temperature high enough to melt the plastic material properly (255 degrees). An open-source alternative was evaluated and modified to overcome this limitation and gain full control of the printer characteristics, allowing optimal melt temperature (up to 270 degrees) to be achieved. According to the results, the physical characteristics of the plastic bottles, including the finished type, color, texture, thickness and cleanliness, were crucial to obtain high quality fibers that optimally coupled with the modified 3D printer.

Keywords: 3D Printing, PETG, Recycling

Capítulo I: Introducción

Antecedentes

De acuerdo a la RESOLUCIÓN ESPE-CA-RES-2021-009 de Consejo Académico de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, y en referencia al Acta No. ESPE-CA-CSO 2021-002, sesión de 20 de enero de 2021, en cuyo Artículo 1 menciona:” *Aprobar los Proyectos (de gasto permanente y no permanente) de Vinculación con la Sociedad 2021, conforme a los términos que expresamente se detallan en las matrices que forman parte constitutiva de la resolución*”. Con código CC-GNP-0040-2020, fue aprobado el proyecto de vinculación titulado Implementación del proyecto Precious Plastic en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Santo Domingo de los Tsáchilas”. El objetivo de este proyecto es el tratamiento de los desechos derivados del plástico para la creación de nuevos productos a través de tecnologías de acceso libre, hasta el año 2024 en la parroquia Luz de América. En ese contexto, esta tesis se ha desarrollado para aportar con el primer objetivo planteado en el proyecto que es: Implementar el Laboratorio de Innovación y Emprendimiento, basado en la impresión de nuevos productos usando materiales reciclados derivados del plástico.

Problemática

El uso de fibra PLA en impresoras 3D ha experimentado un incremento significativo en su producción masiva, lo cual plantea una problemática ambiental. La fabricación de fibra PLA conlleva un consumo considerable de recursos naturales y energía, además de generar emisiones de gases de efecto invernadero. Asimismo, la disposición inadecuada de los objetos impresos en PLA puede resultar en su acumulación en vertederos y una lenta degradación. Con el propósito de abordar esta problemática, se ha propuesto la fabricación de fibra PET a partir de botellas de plástico recicladas, como una alternativa sostenible para las tecnologías de impresión 3D. Mediante el reciclaje de botellas plásticas, es posible obtener materiales que pueden ser procesados y convertidos en filamentos aptos para la impresión 3D. Esta fibra reciclada brinda numerosos beneficios, al reducir la necesidad de

producir nueva fibra PLA y disminuir el impacto ambiental asociado con la extracción de recursos naturales.

Justificación

El propósito de este trabajo de integración curricular es asegurar la continuidad del proyecto de vinculación con la sociedad en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Santo Domingo, enfocado en la obtención de fibra PET y fomentar el reciclaje de botellas de plástico. Para lograrlo, se busca construir una impresora 3D, cuyo firmware permita modificar los niveles de temperatura máximo al que pueden alcanzar sus componentes principales (extrusora y cama caliente) y de esta forma, permitir la integración de este dispositivo con fibras que se obtengan de botellas recicladas. La utilización de estas nuevas fibras de plástico reciclado en la impresión 3D plantean un gran desafío, debido a la necesidad de altas temperaturas para lograr su fusión y posterior conformación en un objeto deseado. En este contexto, el desarrollo de una impresora que pueda trabajar con fibra PETG adquiere una gran relevancia para la sede Santo Domingo de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Esta relevancia radica en que, en conjunto con el proyecto de vinculación previamente mencionado, permitirá a la comunidad académica explorar y aprender el proceso de impresión 3D sin incurrir en los elevados costos asociados a la adquisición de fibra PLA.

Objetivos

Objetivo general

Diseñar y construir un prototipo de impresora 3D para la impresión de objetos utilizando fibra de plástico obtenida de botellas recicladas.

Objetivos específicos

Analizar, comparar y evaluar los diseños y las características de funcionamiento y operación de impresoras 3D disponibles en el mercado.

Realizar un análisis técnico y económico para encontrar la factibilidad de construcción de una impresora desde 0 o utilizando un kit de piezas DIY.

Integrar un software completo y funcional para el control y monitoreo del prototipo, que posea una interfaz intuitiva, robusta y fácil de usar.

Realizar pruebas de funcionamiento del prototipo de impresora 3D, verificar su rendimiento, precisión e integración en la impresión de objetos usando fibra obtenida de botellas recicladas.

Capítulo II: Marco Teórico

Marco referencial

Impresoras 3D

Según la publicación realizada por (Hubs, 2021), las impresoras 3D son dispositivos que utilizan tecnología de fabricación aditiva para crear objetos tridimensionales a partir de modelos digitales. Estos objetos se construyen mediante la adición sucesiva de capas de material, como plástico, metal o cerámica, hasta que se completa el objeto deseado.

Considerando el conjunto de investigaciones presentados en All3DP (2021), podemos apreciar la diversidad de enfoques relacionados con la impresión tridimensional (3D) que están en juego en la actualidad. Estos enfoques abarcan desde la conocida estereolitografía hasta la meticulosa manipulación de materiales fundidos y la precisa sinterización selectiva mediante láser. Los resultados recopilados en la serie de estudios proporcionada por Sculpteo (2021) dejan claro que cada técnica presenta variaciones que aportan niveles específicos de excelencia en áreas concretas. En este contexto, se destacan notables diferencias entre las impresoras 3D de uso doméstico y aquellas utilizadas en entornos industriales. Es evidente que estas últimas poseen la capacidad de modelar objetos con un nivel de detalle y definición sustancialmente más elevado. La reflexión planteada por Ultimaker en (2021) sugiere que las impresoras 3D están desempeñando un papel transformador de gran relevancia en la industria de la manufactura y el diseño de objetos. Estos objetos pueden variar desde creaciones de alta calidad hasta productos de nivel estándar, todo ello dependiendo de las especificaciones que establezca el usuario final. La calidad de la impresión obtenida está directamente

vinculada a las configuraciones empleadas en el software especializado en esta disciplina, tal como se expone en el contexto académico presentado por el Smithsonian (2021).

Funcionamiento básico de una impresora 3D

Las impresoras 3D operan mediante procesos fundamentales de impresión y modelado que permiten crear representaciones tridimensionales de objetos. En este enfoque, la construcción de los objetos implica la superposición de capas sucesivas, cuyos perfiles son inicialmente diseñados por sistemas especializados en objetos tridimensionales. Según la investigación de Campbell (Campbell e Ivanova, 2011), el dispositivo de impresión guía el material desde su unidad de extrusión hacia una boquilla que se calienta. Cuando esta boquilla alcanza la temperatura adecuada, provoca la fusión y configuración precisa del material, lo que permite crear el objeto completo. El trabajo de Wohlers (2016) resalta la transformación significativa que la impresión 3D ha introducido en el campo de la manufactura diversificada. Al enfocarse en la versatilidad y simplicidad inherentes al proceso de diseño y creación de modelos, se establece una plataforma propicia para producir productos de alta calidad. Este enfoque innovador, promovido por Wohlers, ha impulsado el proceso de fabricación, marcando una era en la que la impresión tridimensional desempeña un papel fundamental en la creación de una amplia gama de productos y artefactos.

Tecnologías de impresión 3D

La investigación liderada por Huang y su equipo (Huang et al., 2016) ha inspirado varios aspectos tecnológicos en el campo de la impresión tridimensional, los cuales desempeñan un papel crucial en el progreso de la investigación y el descubrimiento científico. Tomando como referencia el planteamiento de Chohan y sus colegas (Chohan et al., 2020), se puede identificar la impresión por deposición de material fundido (FDM) como un ejemplo representativo del proceso de modelado. En este método, se calienta un filamento termoplástico y se deposita de manera gradual sobre una plataforma caliente, lo que da lugar a la creación de objetos tridimensionales con una alta resolución y un gran nivel de detalle. Por otro lado, el investigador Kruth y su equipo (Kruth et al., 2007)

enfatan la técnica de sinterización selectiva por láser (SLS). Esta técnica implica la concentración de un láser de alta potencia en partículas de plástico o metal, lo que provoca su fusión y da como resultado la formación exitosa de objetos con configuraciones específicas.

El paradigma de impresión conocido como laminación de objetos sólidos (LOM), según la exposición de Gibson y coautores (Gibson et al., 2014), se fundamenta en la estratificación sucesiva de capas de material a través de un proceso de corte y unión, permitiendo la generación de objetos tridimensionales al cristalizar el material empleado. Gokuldoss y sus colegas (Gokuldoss et al., 2017) desvelan la esencia de la impresión por deposición fundida de metal (DMLS), una técnica que implica el direccionamiento de un rayo láser hacia partículas metálicas, induciendo su fusión y conformación en objetos sólidos mediante un proceso de moldeado. LaFratta y su equipo (LaFratta et al., 2007) delinean el enfoque emergente conocido como litografía de dos fotones (TPL), el cual posibilita la construcción de estructuras a escala nanométrica a través de la aplicación precisa de láseres de alta resolución.

Tipos de fibra utilizada en impresión 3D

El material conocido como ácido poliláctico (PLA) corresponde a un plástico termoplástico biodegradable y termosensible. Este polímero está compuesto principalmente de almidón y se destina de manera extensa en la creación de modelos tridimensionales, según las contribuciones presentadas por Mourad en 2017. La exploración llevada a cabo por Osswald y colaboradores (Osswald et al., 2017) imparte un panorama sustancial en torno a la fibra de acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), la cual ostenta características análogas de termosensibilidad, aunque su origen recae en derivados petroleros. Un aspecto distintivo de esta fibra radica en su notoria tenacidad y durabilidad, factores que la vuelven pertinente para la impresión de componentes automotrices. La indagación auspiciada por Rahman en 2018 arroja luz sobre las propiedades inmanentes de la fibra de polipropileno (PP), un plástico de estructura semicristalina con alta resistencia térmica y capacidad de resistir las adversidades

medioambientales. Este material encuentra aplicación en la manufactura de envases textiles y componentes automovilísticos. La fibra de tereftalato de polietileno modificado con glicol (PETG), proveniente de una amalgama entre PET y glicol, amalgama atributos cruciales del PET junto con características robustas derivadas del glicol. Esta fibra, presentada por Gupta en 2018, destaca por su rápida manipulación en procesamiento y su formulación más sólida, siendo utilizada en la producción de envases para alimentos y en la creación de elementos médicos.

Tabla 1

Características y propiedades de las fibras PLA, ABS, PP, PETG

Tipo de fibra	Temperatura de fusión	Propiedades	Reciclable
PLA (Ácido Poliláctico)	170 - 220°C	Biodegradable, baja toxicidad, fácil de imprimir, baja resistencia al calor.	Sí
ABS (Acrlonitrilo Butadieno Estireno)	210 - 250°C	Resistente, durable, buena resistencia al calor, tóxico, difícil de imprimir.	Sí
PP (Polipropileno)	160-210°C	Resistente a químicos, flexible, baja densidad, difícil de imprimir, baja resistencia al calor.	Sí
PETG (Tereftalato de Polietileno Glycol)	220-250°C	Resistente, duradero, fácil de imprimir, resistencia moderada al calor.	Sí

Fibra PET

La fibra PET (Polietilén Tereftalato) es un tipo de plástico termoplástico que se utiliza comúnmente en la fabricación de botellas de plástico y textiles. La temperatura de fusión de la fibra PET varía según el grado y las condiciones de procesamiento, pero generalmente oscila entre 240 ° C y 260 ° C (464 ° F y 500 ° F) (Mittal, 2016). La fibra PET es conocida por su resistencia al calor y a los productos químicos, lo que la convierte en una excelente opción para aplicaciones como envases de alimentos y bebidas. Sin embargo, debido a su punto de fusión relativamente bajo, no es adecuado para aplicaciones de alta temperatura (Goodship, 2007).

Proceso de reciclaje de botellas de plástico y obtención de fibra de plástico

La tarea de recolectar botellas plásticas recicladas para obtener una fibra se basa en una serie de procesos que van desde su recolecta, categorización, limpieza profunda, comprensión, derretimiento y moldeado, para obtener un resultado final conocido como PET (tereftalato de polietileno) (Achilias, Roupakias, Megalokonomos, Lappas y Antonakou, 2007). Estas fibras resultantes encuentran aplicaciones predominantes en la industria textil y en la fabricación de diversos productos, así como en la producción de materiales no conductores (Mokhena y John, 2020). Un artículo publicado en la revista "Waste Management" señala que la utilización de este tipo de fibra presenta ventajas ambientales en comparación con las fibras convencionales, contribuyendo significativamente a la preservación del medio ambiente al reducir las emisiones de gases contaminantes resultantes de procesos de fabricación tradicionales (Shen et al., 2010).

Propiedades físicas y mecánicas de la fibra de plástico reciclada

En estos tiempos es muy aceptada la utilización de este tipo de fibra reciclada a base de botellas de plástico, dado el beneficio que esta ofrece al medio ambiente junto con su utilidad. (Fiore et al., 2016) aclara que la fibra reciclada conocida como PET demuestra tener ciertas propiedades tanto mecánicas como físicas para la fabricación de ciertos componentes con estas características y que también a su vez son altamente resistentes a

impactos y son más livianos. Los estudios hechos por (Sanjay et al., 2019) hablan sobre la capacidad de la fibra para cuestiones automotrices y también mecánicas, con un ahorro en costos monetarios y ambientales. Además, se ha empleado en construcción, demostrando una gran resistencia (Khan et al., 2017).

Métodos de reciclaje de botellas de plástico

Como asegura (Al-Salem et al., 2009), el proceso de reciclaje de las botellas plásticas es fundamental para minimizar el impacto al medio ambiente que conllevan los desechos plásticos. Se tienen un sin número de métodos para el reciclaje, siendo de los más comunes la trituración, la utilización de químicos y la descomposición mediante calor. El primer proceso requiere una recolección, su categorización, su aseo y trituración en pequeños trozos, que después se emplean para fabricar productos nuevos (Eriksen y Damgaard, 2018). Este proceso es altamente aceptado debido a su mínimo gasto en dinero. El segundo enfoque implica el uso de sustancias químicas para descomponer las botellas y obtener moléculas de menor tamaño, como señalan Serrano y su equipo en 2012 (Ragaert et al., 2017; Serrano et al., 2012). Por otro lado, el tercer método involucra la aplicación de altas temperaturas para descomponer el plástico y emplearlo como materia prima, según lo indicado por (Miandad et al., 2016).

Obtención de fibra de plástico adecuada para la impresión 3D

Asegurar la alta calidad y las propiedades deseables en los objetos fabricados mediante impresión 3D requiere de una correcta obtención de fibras plásticas. Entre las variedades más comúnmente empleadas en la impresión 3D se encuentran el PLA (ácido poliláctico), el ABS (acrilonitrilo butadieno estireno), el PETG (polietileno tereftalato modificado con glicol) y el PA (poliamida), según investigaciones realizadas por (Tymrak et al., 2014; Zia et al., 2017). Estos materiales se elaboran mediante el proceso de extrusión, en el que se moldea el plástico para obtener filamentos que, a su vez, se enrollan en bobinas utilizables en impresoras 3D, como ha sido discutido por (Hopewell et al., 2009). La calidad intrínseca de la fibra resulta esencial para lograr una impresión 3D sin defectos, y para mejorar este aspecto, se recurre a la adición de aditivos como pigmentos que

refuerzan las propiedades de la fibra, según lo mencionado por (Gkartzou et al., 2017). En la búsqueda de obtener fibras plásticas apropiadas para impresoras 3D, se está adoptando cada vez más el uso de materiales reciclados, lo que no solo reduce el impacto ambiental, sino también los costos asociados a la adquisición de filamentos. Numerosos estudios respaldan la viabilidad y eficacia de producir filamentos de calidad a partir de botellas plásticas recicladas, como se ha evidenciado en investigaciones realizadas (Pandey et al., 2018; Kücükler et al., 2020).

Aplicaciones y beneficios del reciclaje de plástico en la impresión 3D

El reciclar las botellas plásticas para la impresión 3D nos brinda beneficios tanto ambientales como económicos. El empleo de material reciclado en este caso el plástico como método de creación de filamento para impresoras 3D reduce en gran medida los costos en materiales y promueve la acción de reciclar el plástico (M. A. Kreiger et al., 2014; Singh et al., 2017). La adaptación de una impresión 3D con PET permite crear objetos únicos con bajos costos de producción, lo que resulta de gran utilidad en cuestiones de diseño de repuesto, prototipos o objetos de uso cotidiano (Singamneni et al., 2019). Esto nos brinda grandes beneficios ambientales en reducción de residuos plásticos en vertederos (M. A. Kreiger et al., 2014; Singh et al., 2017). Permitiendo en sí una fabricación de manera local y reduce la asociación con los productos de fibra original (Garmulewicz et al., 2018).

Beneficios ambientales y económicos del uso de fibra de plástico reciclada

El uso de fibra reciclada plástica en diversas aplicaciones tanto de construcción como industriales nos dan beneficios ambientales y de costos. Esto se emplea en materiales de construcción recubiertos de plástico que sustituyen a los materiales convencionales como madera o acero (Pickering, 2006; Vilaplana y Karlsson, 2008). Desde una perspectiva económica, se está dejando atrás la dependencia de materiales tradicionales y costosos, optando en su lugar por la utilización de materiales reciclados y respetuosos con el entorno, según indican (Achilias, Roupakias, Megalokonomos, Lappas y Antonakou, 2007; Fadare et al., 2020). Por último, la FPR también puede promover la

economía circular, alentando la reutilización de materiales y la reducción del impacto ambiental a lo largo del ciclo de vida de los productos (Commission, 2015).

Estado del Arte

En este apartado se presentan los trabajos desarrollados y que tienen relación con la construcción de impresoras 3D compatibles con la impresión de fibra obtenida de botellas de plástico reciclado. Se revisó de forma sistemática la literatura científica (SLR) siguiendo las pautas de Barbara Kitchenham (Kitchenham Y Brereton, 2013), mediante la planificación, ejecución y documentación de la revisión para elaborar el estado del arte. Los trabajos relacionados estuvieron enfocados con la integración de tecnologías de impresión 3D con fibras obtenidas de botellas de plástico reciclado.

Identificación de la necesidad de revisión: la necesidad de realizar una revisión sistemática de literatura surge ante la falta de estudios exhaustivos que aborden de manera integral y actualizada la construcción de prototipos de impresoras 3D destinados a la impresión de objetos utilizando fibra de plástico obtenida de botellas recicladas. Dada la creciente importancia de la sostenibilidad ambiental y la innovación en tecnologías de fabricación, es imperativo recopilar y analizar la investigación existente en este campo para identificar brechas en el conocimiento, áreas de oportunidad y posibles mejoras en la eficiencia, calidad y aplicabilidad de estos sistemas de impresión.

Pregunta de investigación: "¿Es factible la integración de fibra de plástico obtenida de botellas recicladas con el proceso de impresión de objetos mediante un prototipo de impresora 3D diseñado y construido específicamente para este propósito?"

Construcción de la cadena de búsqueda:

(3D) AND (printer) AND (design OR sketch) AND (pet) AND (plastic) AND (bottle OR flask)

Criterios de inclusión y exclusión:

Criterios de inclusión:

- Artículos obtenidos desde el año 2018 al 2023

- Artículos escritos en inglés
- Artículos con una metodología clara y con resultados
- Artículos cuya propuesta se enfoque en la integración de tecnologías de impresión 3D con fibras de plástico obtenidas de botellas recicladas.
- Artículos de las librerías científicas IEEE, Springer Link

Criterios de exclusión:

- Artículos que no tengan una metodología clara
- Artículos sin resultados
- Artículos que no se enmarquen en tecnologías de impresión 3D
- Artículos anteriores al año 2018

Proceso de revisión:

Conforme a las investigaciones realizadas por (Hoque et al., 2019) recientemente se ha explorado la fabricación de una impresora 3D utilizando otra impresora como herramienta, permitiendo la producción de piezas con diseños diversos generados por software de diseño asistido por computadora (CAD). Tras ensamblar la impresora y configurar su firmware, se han realizado múltiples impresiones de objetos de distintos tamaños, cuyos resultados se han sometido a un análisis exhaustivo. Este enfoque no solo contribuye al avance de la impresión 3D, sino que también establece nuevas perspectivas para la fabricación personalizada de dispositivos y fomenta futuros desarrollos en este campo interdisciplinario.

Los estudios realizados por (HrabovskÝ et al., 2020) se han centrado en la creación de un dispositivo innovador para producir filamentos plásticos esenciales en la impresión 3D de tipo FDM. Para la realización de impresiones se requiere un modelado en 3D se requiere una boquilla caliente que permita una mayor precisión y facilite el moldeado de la fibra sobre la cama caliente evitando complicaciones y fallos en la impresión.

Partiendo de las contribuciones expuestas por Celi y sus colaboradores (Celi et al., 2015), se destaca el desarrollo y edificación de un prototipo de impresora tridimensional

basado en los principios y mecanismos inherentes a un robot delta. Emerge evidencia que esta propuesta alberga la capacidad de substancialmente disminuir los intervalos temporales inherentes al proceso de impresión, sin que ello implique la mengua de la calidad inherente al objeto modelado. El diseño incorpora un esquema programático y una interfaz gráfica gestados por medio de Repetier, una plataforma de desarrollo de software de naturaleza open-source, enaltecida por su robusto arraigo en la comunidad investigativa y tecnológica. La impresora se encuentra dotada con un subsistema de autorregulación que sustenta la nivelación de la cama calefactora, lo que engendra un grado de conveniencia al simplificar el proceso de calibración, despojándolo de la necesidad de ejecutar procedimientos manuales y monótonos.

El trabajo de Y. Li y sus colaboradores (Y. Li et al., 2021) introduce la investigación enfocada en un sistema de impresión 3D de naturaleza biológica. Este sistema exhibe la particularidad de ser dotado con múltiples boquillas calefactoras, las cuales son regidas por un controlador ATmeag2560 y, para su armonioso desempeño, integra el firmware Marlin. La disposición del equipo contempla la presencia de tres boquillas que operan de manera simultánea, orquestando la deposición de diferentes materiales en paralelo. Este enfoque adquiere importancia al asegurar la cohesión de los materiales biológicos sometidos a la impresión, lo cual constituye un contrapunto vital para prevenir eventuales contaminaciones perjudiciales. El desempeño del sistema ha sido sometido a una rigurosa validación a través de una serie de pruebas, abarcando desde la evaluación de la sincronía de las boquillas durante el proceso de impresión hasta la cuantificación de la precisión, cuyo resultado se tradujo en niveles de satisfacción substanciales.

Basándose en el cuerpo de investigación delineado por Shastri y su equipo (Shastri et al., 2021), se emprende un esfuerzo con el propósito de instaurar un sistema de impresión accesible en términos económicos y de naturaleza open source. Este sistema se instrumentaliza con la finalidad de engendrar estructuras tridimensionales dotadas de superficies específicas de frecuencia. Para materializar esta ambiciosa adaptación, se llevó a cabo la reconfiguración de una impresora de tipo extrusión de filamento fundido (FFF),

caracterizada por su capacidad de imprimir tanto plástico como tinta conductora. El dispositivo de impresión en cuestión implementa una superficie selectiva de frecuencia con un anclaje en el umbral de 2.55 GHz, obteniendo resultados satisfactorios en relación al proceso de modelado de plásticos.

El presente estudio aspira a converger en un punto donde la sostenibilidad y el proceso de reciclaje muestren su relevancia, trascendiendo hacia la aplicación de botellas plásticas recicladas como materia prima para la confección de fibras, cuyo propósito último radica en alimentar el proceso de impresión tridimensional (3D). Dicha sinergia persigue una doble misión: la creación de una conciencia ambiental respecto a la problemática de los desechos plásticos y la materialización de un enfoque tecnológico capaz de transformar botellas recicladas en fibra de calidad superior, idónea para el modelado en tres dimensiones con niveles de precisión destacados. Este capítulo se sumerge en la resolución de una problemática social arraigada en el tratamiento inadecuado de residuos reciclables, aspirando a promover la toma de conciencia en la población, exponiéndoles la potencialidad de las botellas plásticas como recursos aptos para la creación de objetos tridimensionales que pueden satisfacer necesidades pertinentes a la sociedad. La originalidad de la investigación actual reside en la concepción y desarrollo de un prototipo de impresora 3D específicamente diseñado para la utilización de fibra de plástico reciclado. Mientras que investigaciones previas abordan diversos elementos de la impresión 3D, la contribución presente se distingue por la ingeniería y construcción de un dispositivo que se adapta a un material proveniente de fuentes recicladas. Esta selección no solo presenta desafíos técnicos en términos de procesamiento del material, sino que también resalta el compromiso con la circularidad económica y la reutilización de recursos.

Capítulo III: Metodología

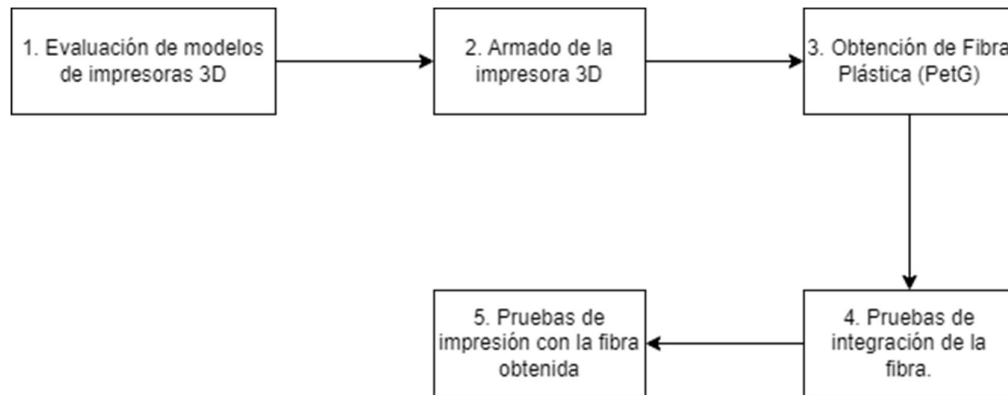
Introducción de la metodología

Se ha propuesto la metodología de la Figura 1, que iniciará desde la evaluación y selección de modelos de impresoras 3D, el armado de la impresora 3D que conlleve mayor factibilidad en costos, se realizará la extracción de fibra obtenida de botellas recicladas, se

realizarán pruebas de integración de la fibra con la impresora para finalmente realizar pruebas de impresión con las fibras que se integren con éxito dentro de la impresora 3D

Figura 1

Propuesta metodológica para cumplir con el objetivo principal de la tesis



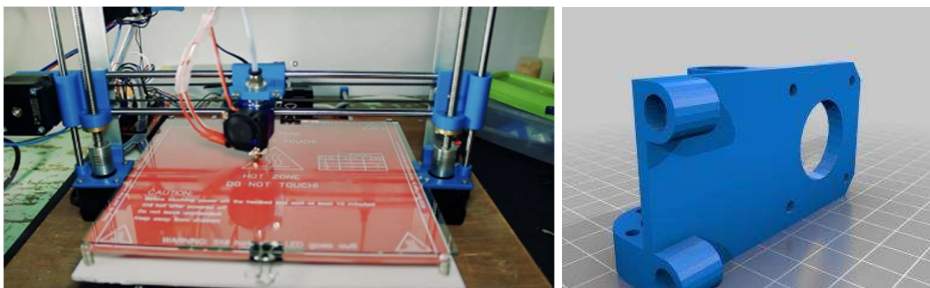
1. Evaluación y selección de modelos 3D

Se analizaron y evaluaron algunos modelos de impresoras 3D de tipo 'hazlo tú mismo' (DIY, por sus siglas en inglés Do It Yourself).

Un primer modelo requería la impresión de ciertas partes, así como la adquisición de varillas, tornillos, motores, correas dentadas, extrusora y componentes electrónicos. Tras evaluar los distintos materiales en función de sus precios, se determinó que el costo total sería de USD \$.360 dólares. Además, se encontró que la temperatura máxima que puede alcanzar la estructura propuesta era de máximo 260 grados °C. En la Figura 2 se muestra el primer modelo de impresora 3D evaluada.

Figura 2

Vista previa del primer modelo de impresora 3D evaluada

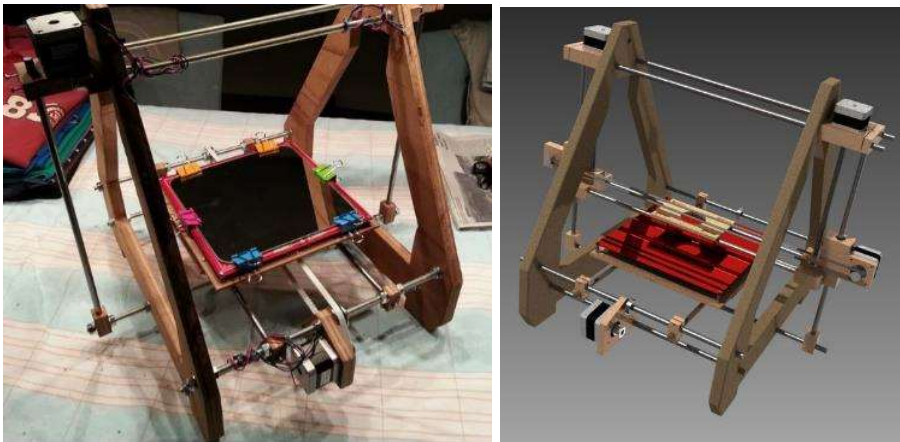


Nota. Tomado de Thingiverse.com. (2018). DIY 3D PRINTER. Makerbot Industries, Nueva York, NY, Estados Unidos. <https://www.thingiverse.com/thing:2838187>

Un segundo modelo de impresora 3D de tipo 'hazlo tú mismo' requería de la impresión de ciertas partes y su estructura se compone de una combinación de madera en conjunto con barras de acero. Además, incluye distintos componentes como motores, correas, pernos y tornillos, cama caliente, extrusora, termistores, hotend y componentes eléctricos. Tras evaluar los distintos materiales en función de sus precios, se determinó que el costo total sería de USD \$.470 dólares. Además, se determinó que la extrusora puede alcanzar una temperatura máxima de 260 grados °C. En la Figura 3 se muestra la vista general del segundo modelo de impresora 3D evaluado.

Figura 3

Vista previa del segundo modelo de impresora 3D evaluada



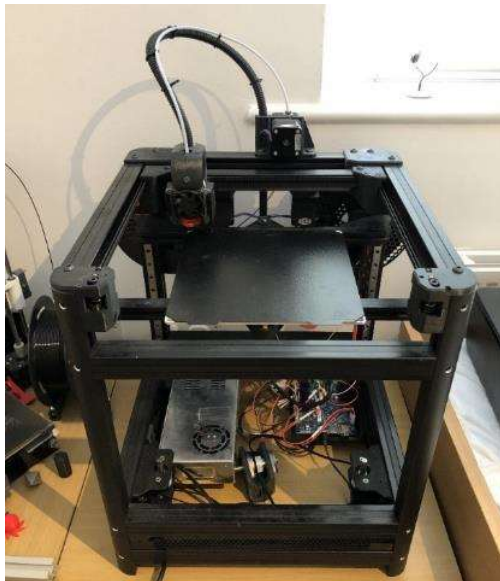
Nota. Tomado de Instructables.(2022). Assembling the Printer. Autodesk Tutorials, San Francisco, California, Estados Unidos. <https://www.instructables.com/3D-Printer-2/>

En un tercer modelo de impresora 3D de tipo "Hazlo tú mismo" se observó que el objetivo era construir una impresora personalizada que se asemeje en calidad a las disponibles en el mercado. Para lograr esto, se habían utilizado componentes de alta calidad tanto para su funcionamiento como para su estructura. Teniendo en cuenta estos factores, se determinó un costo total de USD. \$500 dólares. La temperatura máxima de

extrusión para esta impresora es de 260°C. En la Figura 4 se muestra una vista general del modelo evaluado.

Figura 4

Vista previa del tercer modelo de impresora 3D evaluada



Nota. Tomado de Instructables.(2020). Building the Machine. Autodesk Tutorials, San Francisco, California, Estados Unidos. <https://www.instructables.com/How-to-Design-and-Build-a-3D-Printer/>

Como cuarto modelo, se analizó un kit comercial de impresora 3D conocido como Anet ET4 Plus. Este kit incluye todos los componentes necesarios para su ensamblaje y tiene un precio de adquisición de USD \$240 dólares. Es una impresora 3D básica cuya temperatura máxima de extrusión alcanza los 250 °C. En la Figura 5 se muestra la vista general del modelo evaluado.

Figura 5

Vista previa del cuarto modelo de impresora 3D evaluada



Nota. Tomado de Panpox. (2019). ANET ET4. La Mejor Impresora 3D, Boise, Idaho, Estados Unidos. <https://lamejorimpresora3d.com/impresoras-3d/anet-et4>

Como quinto modelo, se evaluó un kit comercial de impresora 3D denominado Ender 2 Pro. Este kit incluye todas las piezas y componentes necesarios para su ensamblaje y funcionamiento óptimo. Cabe destacar que este tipo de kits son económicos y básicos, con un precio de adquisición de USD. \$279 dólares (en Ecuador). La temperatura máxima que puede alcanzar es de 260 °C. En la Figura 6 se muestra una vista general del modelo de impresora evaluada.

Figura 6

Vista previa del quinto modelo de impresora 3D evaluada



Nota. Tomado de Impresora 3D Creality Ender 2 Pro.(2022). Ender 2 Pro. CREATEC4 S.C.A. <https://createc3d.com/es/productos/1321-impresora-3d-creality-ender-2-pro.html>

Análisis económico de los componentes mínimos para la operación de una impresora 3D (mecánicos y electrónicos)

Tabla 2

Tabla de componentes mínimos para la operación de una impresora 3D tipo DIY

Componente	Tipo	Descripción	Precio (USD)	Cantidad
Arduino Mega	Electrónico	Cerebro de la impresora. Ejecuta el sistema de calibración e impresión.	\$21.00	1
Ramps 1.4	Electrónico	Controladora de periféricos de la impresora.	\$9.99	1
Cama Caliente	Resistivo	Base donde se mantiene caliente la fibra moldeada por el HotEnd.	\$29.00	1
Controlador A4988	Electrónico	Controladora de motores paso a paso.	\$2.00	5
HotEnd	Mecánico	Funde el filamento para después moldearlo en capas sobre la cama caliente.	\$20.00	1
Pantalla LCD	Electrónico	Muestra el proceso e	\$18.00	1

Componente	Tipo	Descripción	Precio (USD)	Cantidad
		información de la impresión.		
Fin de carrera	Mecánico	Verifica los límites máximos y mínimos de los motores.	\$2.75	6
Ventilador refrigerante 12V	Mecánico	Mantiene la temperatura e integridad del HotEnd.	\$8.00	2
Termistores 100k Ohmios	Electrónico	Controladora de temperatura.	\$4.00	2
Polea T5-12	Mecánico	Mueve la correa por medio de los motores.	\$3.50	3
Correa de distribución	Mecánico	Mueve la cama y extrusora mediante poleas y motores.	\$3.50	2
Acopladores de eje	Mecánico	Permite fijar el tornillo del motor y la varilla roscada.	\$3.00	1
Rodamientos lineales	Mecánico	Aporta precisión en movimientos lineales.	\$2.70	12
Rodamientos rellamada 608zz	Mecánico	Asegura el movimiento entre un	\$2.20	10

Componente	Tipo	Descripción	Precio (USD)	Cantidad
		mecanismo y su soporte.		
Kit extrusor articulada	Mecánico	Ingresa y extrae la fibra dentro del HotEnd.	\$14.00	1
Motores steppers Nema17	Mecánico	Motores paso a paso.	\$22.40	5
Varilla en rosca de acero 4mm	Mecánico	Guía el eje "Z" de la impresora.	\$5.00	1
Varilla de acero lisa	Mecánico	Guían a las piezas sobre su eje.	\$3.00	1
Total	-	-	\$360.99	-

En la Tabla 2 se presentan los distintos componentes requeridos para armar una impresora 3D tipo DIY, cada uno desempeña funciones específicas para lograr una impresión precisa y de alta calidad.

Tabla 3

Evaluación operativa de modelos de impresoras de tipo DIY vs KIT para armar

Nombre	Precio	Tipo	Temperatura	Temperatura Max.
			Max. Extrusora	Cama Caliente
Modelo 1	\$ 360	DIY	260°C	NA
Modelo 2	\$ 470	DIY	260°C	NA
Modelo 3	\$ 500	DIY	260°C	NA

Nombre	Precio	Tipo	Temperatura	Temperatura Max.
			Max. Extrusora	Cama Caliente
Modelo 4	\$ 240	KIT para armar	250°C	100°C
Modelo 5	\$ 279	KIT para armar	260°C	80°C

En la Tabla 3 se presenta un resumen de la evaluación operativa y económica de dos tipos de impresoras 3D: las de tipo Do It Yourself (DIY) que necesitan la adquisición de partes, piezas y construcción desde 0, y los kits para armar, que incluyen todas las partes mecánicas y electrónicas listas para armar. Tras analizar los costos asociados con el ensamblaje de cada tipo, se observó una diferencia significativa en términos de gastos. Esto demuestra la conveniencia y el ahorro que implica optar por un kit en lugar de ensamblar una impresora desde 0. Por esta razón, para cumplir con el objetivo de esta experimentación, nos decidimos por la adquisición del kit para armar la impresora de la marca ANET ET4 (Modelo 4).

El modelo en consideración adopta la configuración de una impresora 3D del tipo fabricación por deposición de material fundido (FDM), cuyas particularidades son respaldadas por los análisis efectuados por Chohan y colaboradores (Chohan et al., 2020). Esta modalidad focaliza en la extrusión de filamentos de plástico, representados por materiales como la fibra PLA o ABS, cuya función esencial reside en la generación de objetos tridimensionales. En sintonía con las directrices trazadas por el fabricante Anet (Anet, 2020), la impresora Anet ET4+ se consagra como un modelo de bajo coste que preserva la eficacia de alto calibre. Esta impresora se destaca por su conjunto de materiales de calidad media que, trabajando en conjunto, exhiben un funcionamiento adecuado y de alta precisión. Uno de los elementos capitales en su diseño es el extrusor de tipo Bowden, respaldado por un sensor de filamento, cuya relevancia radica en garantizar una impresión ininterrumpida incluso cuando el suministro de fibra se ha agotado. La Anet ET4+ se dota

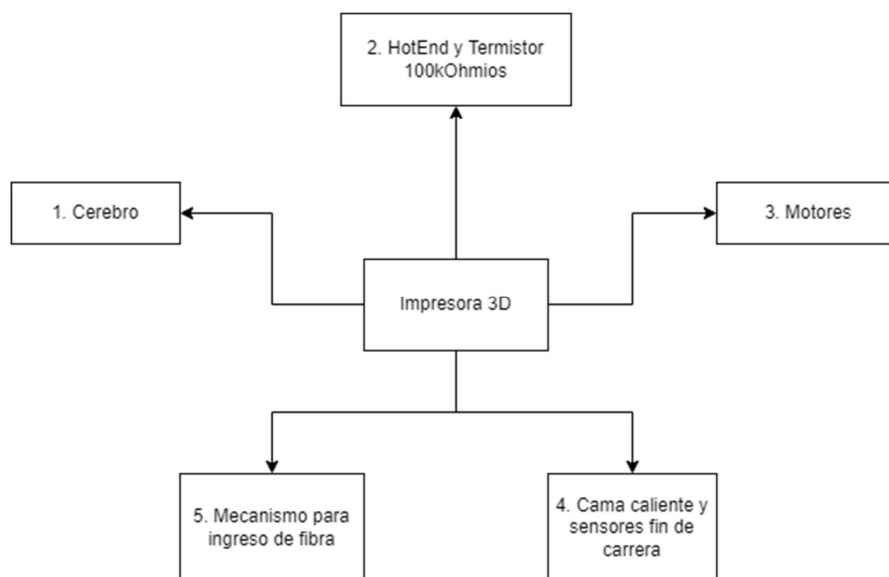
de una plataforma de modelado 3D, que puede ser en línea o en un entorno local, y cobra vida mediante instrucciones codificadas de tipo G, las cuales prescriben la posición del cabezal de impresión. La relevancia de esta impresora trasciende en múltiples propietarios, dado que confiere una combinación notable de facilidad, rapidez, calidad y prestaciones elevadas en el proceso de impresión.

Armado de la impresora 3D

Para proceder con el ensamblaje de la impresora 3D, es esencial familiarizarse con los componentes fundamentales que la componen. La Figura 7 presenta un diagrama que ilustra los elementos más básicos para la operación de la impresora, entre los cuales se encuentran: la unidad central de control, el HotEnd con su correspondiente termistor, los motores individuales para los ejes X, Y y Z, la plataforma calefactada equipada con sensores de final de carrera, y, por último, el mecanismo encargado de introducir la fibra en el extrusor.

Figura 7

Diagrama de componentes básicos para el armado de la impresora 3D



La Figura 8 presenta una vista completa de los componentes incluidos en el kit.

Figura 8

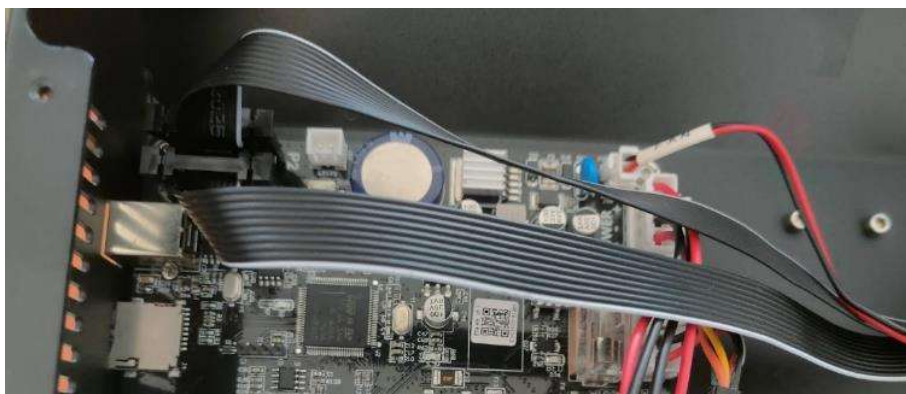
Kit de componentes (electrónicos y mecánicos) del modelo ANET ET4



Para dar inicio al procedimiento de ensamblaje de la impresora, es necesario establecer la conexión de los cables provenientes de los controladores de motor, que suministran energía tanto a los motores como a los sensores, directamente con la placa madre y la fuente de alimentación. La Figura 9 ilustra la disposición y conexión de los cables correspondientes a cada motor y sensor en la placa madre.

Figura 9

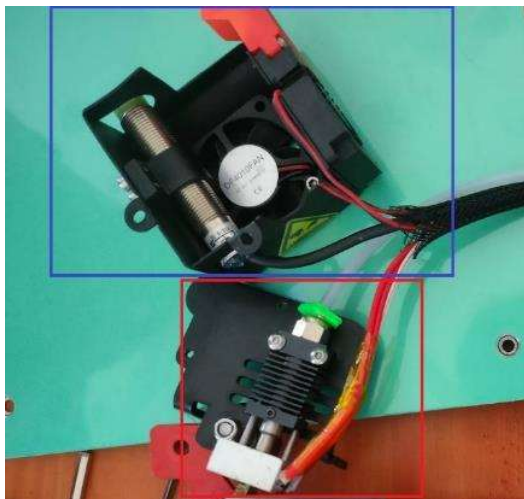
Conexión del cable de los drivers del motor a la placa madre



Se procede con el ensamblaje del conjunto del extrusor, el cual se encuentra constituido por dos entidades esenciales: el componente denominado HotEnd, junto con el sensor termistor de 100 kOhm (Figura 10 - recuadro rojo), y su correspondiente caja protectora con su interruptor de proximidad (Figura 10 - recuadro azul). Esta caja incorpora unidades de ventilación encargadas de gestionar la temperatura. Internamente, alberga el sensor de proximidad y un dispositivo instrumental que ejerce control sobre la posición vertical del extrusor. La Figura 10 ofrece una representación visual tanto de las piezas individuales previas al proceso de ensamblaje.

Figura 10

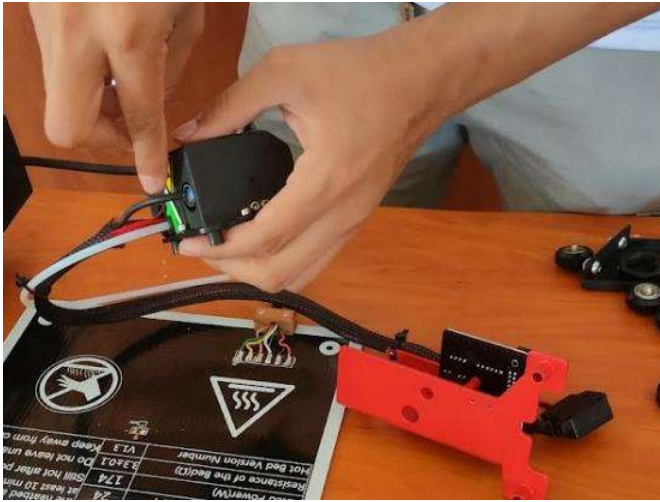
Extrusora e interruptor de proximidad desarmados.



Para concretar el montaje de la extrusora, se requiere de la interconexión entre el HotEnd y su respectiva envoltura mediante el empleo de tres tornillos, los cuales aseguran la unificación entre estos dos elementos. De manera adicional, resulta esencial proceder con la conexión del sensor de proximidad a la unidad controladora. La Figura 11 presenta una vista general del estado final del proceso de ensamblaje de la extrusora, el cual ha sido ejecutado a través de la acción de atornillado, y se encuentra listo para desempeñar su función con precisión.

Figura 11

Armado de la extrusora.



En el contexto del armado de motores, se ejecutó la interconexión tanto del motor destinado a la extracción de la fibra como del motor encargado de propulsar la cinta que desplaza la extrusora hacia la posición requerida para su utilización en el eje X. La Figura 12 ofrece una representación gráfica que visualiza de manera general los motores instalados, correspondientes tanto a la extracción de la fibra como al movimiento de la extrusora.

Figura 12

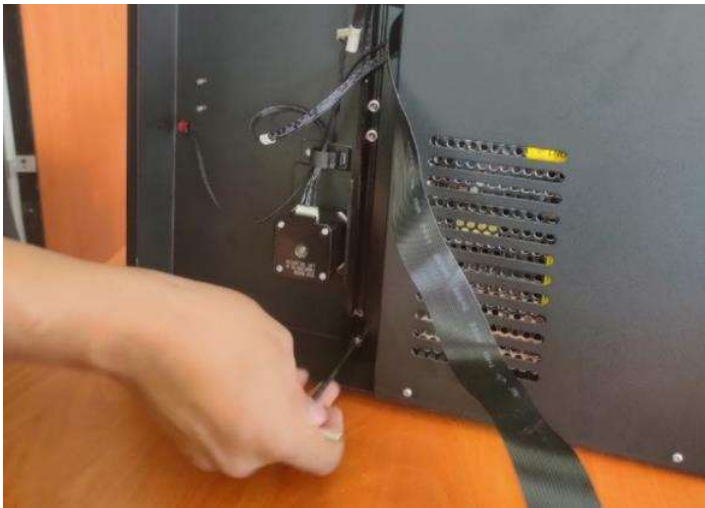
Armado de los motores.



Se inicia el proceso de instalación del motor y las columnas verticales que habilitarán los desplazamientos de la impresora en el eje Z. En lo que respecta a la instalación de las columnas verticales, se requiere una fijación por medio de atornillado a la base de la impresora. Estas columnas, constituidas por dos elementos, se disponen en paralelo uno frente al otro, abarcando la amplitud de la impresora. La Figura 13 presenta una representación visual que documenta el procedimiento de atornillado y ajuste de las columnas desde la perspectiva inferior de la impresora.

Figura 13

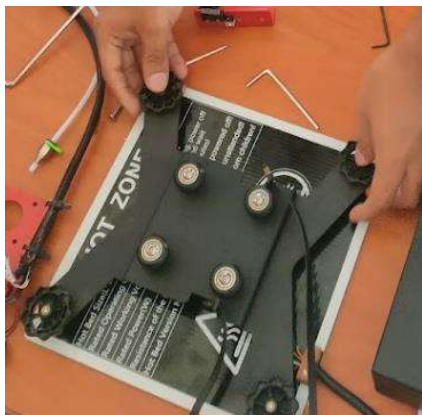
Instalación de los parantes y motor para el eje Z



A continuación, se ensambla la plataforma térmica (cama caliente), la cual incorpora un mecanismo nivelador y ruedas que posibilitan su movilización desde el motor encargado del eje Y. Para efectuar su montaje, resulta esencial disponer el mecanismo nivelador en conjunto con los tornillos respectivos en las diversas dimensiones, empleando tuercas de dimensiones amplias que facilitan la tarea de nivelado. La Figura 14 proporciona una representación visual que exhibe la configuración de los tornillos junto con las tuercas de nivelación correspondientes.

Figura 14

Armado de la cama caliente



Una vez completado el proceso de montaje de la cama térmica, se procede a su instalación en la estructura de la impresora. Para llevar a cabo esta acción, se requiere la incorporación de una correa dentada, que será movida por medio de la polea dentada que previamente se ha ensamblado en el motor responsable del eje Y. Una vez que la correa está en su posición adecuada, la plataforma térmica es introducida en los carriles situados en la base de la impresora, con la colaboración de las ruedas presentes en la parte inferior de dicha plataforma. Estos carriles posibilitarán el desplazamiento de la plataforma según las demandas establecidas por el motor. La Figura 15 ofrece una representación visual que detalla el proceso de instalación de la plataforma térmica, incluyendo la colocación y ajuste de la correa dentada, cuyo control es ejercido por el motor del eje Y

Figura 15

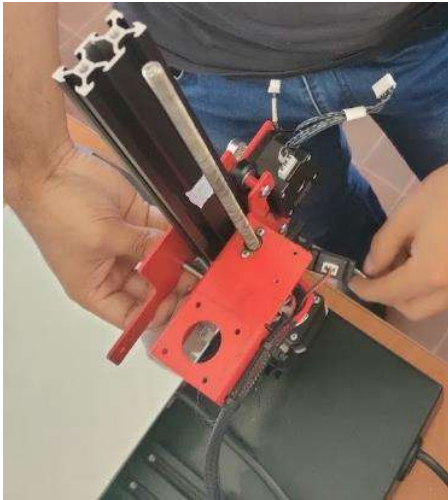
Instalación de la cama caliente en la impresora



Una vez que los ejes Z y Y han sido instalados, se procede con la configuración del sistema que aloja tanto el motor del eje X como el motor encargado de la alimentación de la fibra hacia el extrusor. La Figura 16 ofrece una representación visual que ilustra tanto la disposición de las piezas en el soporte como la integración del sistema en la barra dentada que ha sido ajustada al motor del eje Z.

Figura 16

Instalación del mecanismo y motor para el eje X



Para continuar con la secuencia de ensamblaje, se procede a incorporar una columna guía que desempeñará la función de dirigir el desplazamiento del eje X mediante la operación de una correa dentada. Este componente se posiciona transversalmente entre los rieles izquierdo y derecho, posibilitando un control integral de los movimientos tanto del eje X como de la extrusora. La Figura 17 brinda una representación visual que exhibe la instalación de dicha pieza en conjunto con la extrusora, la cual será ajustada en el riel de manera subsiguiente

Figura 17

Instalación del parante para el control del eje X



Después de haber instalado la columna guía, se procede a ubicar la extrusora en los carriles asociados a dicho componente. Esta acción se lleva a cabo simultáneamente con la disposición de la correa dentada que capacita al motor para regular los desplazamientos de la extrusora a lo largo del proceso de impresión. La Figura 18 proporciona una representación visual que documenta la etapa de ajuste y colocación de la correa en el motor del eje X.

Figura 18

Inserción de la extrusora en el parante del eje X.

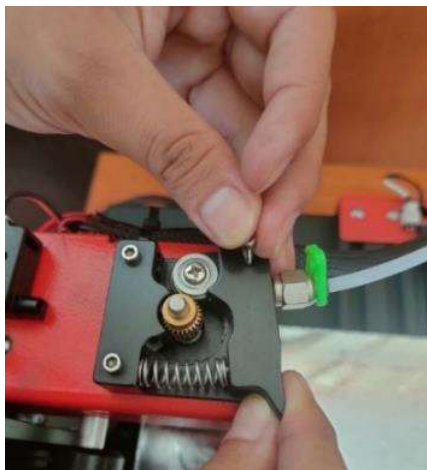


Finalizando este proceso, se instala el sistema encargado de alimentar la fibra hacia el extrusor. Dicho sistema se compone de un motor equipado con una rueda dentada en su extremo superior. Además, integra una abrazadera respaldada por un resorte que permite su separación, facilitando la introducción de la fibra mediante el movimiento rotatorio del

motor. La Figura 19 brinda una visualización detallada del proceso de instalación de este sistema en la parte posterior del riel horizontal que alberga el extrusor.

Figura 19

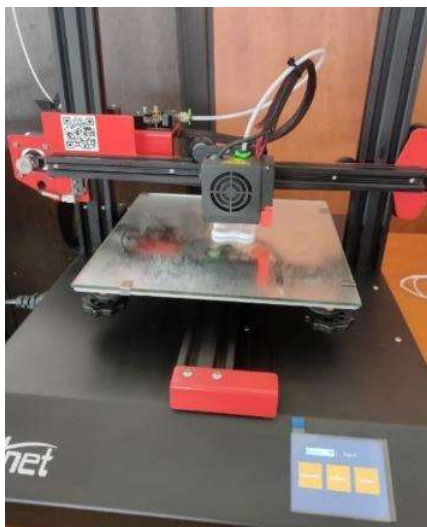
Instalación del mecanismo para inserción de la fibra al extrusor



Una vez que todas las piezas han sido ensambladas y ubicadas en sus respectivas posiciones, concluye exitosamente el proceso de armado. La Figura 20 ilustra la impresora completamente ensamblada y en funcionamiento, en medio de un proceso de impresión que valida su correcto rendimiento posterior al ensamblaje. Es relevante señalar que la impresión se ejecutó empleando una fibra de disponibilidad comercial.

Figura 20

Impresora completamente armada



Obtención de fibra plástica (PETG)

El proceso de generación de fibra a partir de botellas de plástico conlleva una serie de etapas. Inicialmente, se realiza la selección de múltiples botellas, seguida por el corte preciso de sus bases. Luego, se efectúa un corte preciso en la porción superior de la botella, y esta última es sometida a un dispositivo de corte con varios niveles de ajuste. Para la primera fase de la extracción de la fibra, se emplea una cortadora con cuatro niveles de corte. Tras un análisis detallado, se determinó que el nivel 3 de esta cortadora produce una cinta de botella con un grosor de 5,49 mm, con el propósito de obtener una fibra de 1,75 mm de diámetro, que es la dimensión adecuada para un filamento válido en la impresión 3D. La Figura 21 exhibe el proceso de corte de la botella utilizando el nivel 3 de la cortadora.

Figura 21

Obtención de tira plástica mediante cutter

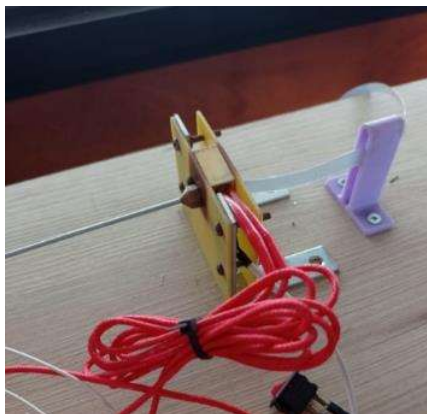


El procedimiento subsecuente implicó la utilización de una máquina especializada denominada "Extrusora de plástico PET", la cual consiste en un sistema integrado a una boquilla reutilizada de una impresora 3D capaz de alcanzar una temperatura de 200 grados Celsius. Una vez que la botella plástica ha sido fragmentada por el cortador y transformada

en una cinta de material plástico, se efectúa un pequeño corte en dicha cinta y se introduce en la boquilla de la extrusora en su estado frío. A continuación, se pone en funcionamiento la máquina y se espera a que alcance la temperatura requerida, para luego activar el motor que se encargará de jalar la cinta plástica, iniciando su movimiento circular y dando forma a una fibra similar a las utilizadas por las impresoras tradicionales. Este ciclo se repite de manera sucesiva hasta que se haya procesado la totalidad de la cinta plástica obtenida de la botella. Con el propósito de obtener la fibra de mayor calidad, resulta fundamental ejecutar este proceso en la ranura No. 3 del cutter (en donde se obtiene una cinta de 5,49mm de ancho), manteniendo un flujo constante y un ritmo de tracción lento de la cinta plástica. Esto permite que el material se caliente de manera adecuada y se cierre de manera apropiada. La Figura 22 complementa la explicación al brindar una representación visual de este procedimiento.

Figura 22

Proceso de transformación de la tira plástica obtenida de una botella para obtener fibra plástica



Concluyendo el procedimiento íntegro de extracción de fibra a partir de una botella de marca "Switch", la Figura 23 exhibe el resultado obtenido, caracterizado por las propiedades propicias que hacen que sea apto para su integración con la impresora 3D. No obstante, es importante señalar que esta botella posee una capa de recubrimiento esmaltado tanto en su exterior como en su interior. Esta particularidad planteó algunos inconvenientes durante el proceso de integración, ya que ejerció un impacto negativo en la

temperatura final alcanzada al crear una especie de barrera térmica en respuesta al calor emitido por la boquilla caliente.

Figura 23

Fibra de plástico obtenida de una botella de la marca Switch



Durante todo el proceso, se obtuvieron diferentes tipos de fibra a partir de diferentes botellas. Cada vez que se obtenía una nueva fibra, esta se iba cerrando más y más hasta quedar completamente cerrada. Esto debido a la textura propia de las botellas, ya que se determinó que para obtener una fibra 100% compatible, esta no debía presentar ningún tipo de textura de fábrica, es decir, debía ser una botella completamente lisa. Después de ejecutar varias pruebas, la mejor fibra obtenida fue a partir de una botella de la marca Fresno Tea de color transparente. La Figura 24 proporciona una representación visual de la fibra con las mejores características de formado.

Figura 24

Obtención de fibra plástica a partir de una botella de la marca Fresno Tea



Figura 25

Obtención de fibra plástica a partir de una botella de la marca Dasani

**Figura 26**

Obtención de fibra plástica a partir de una botella de la marca Cielo

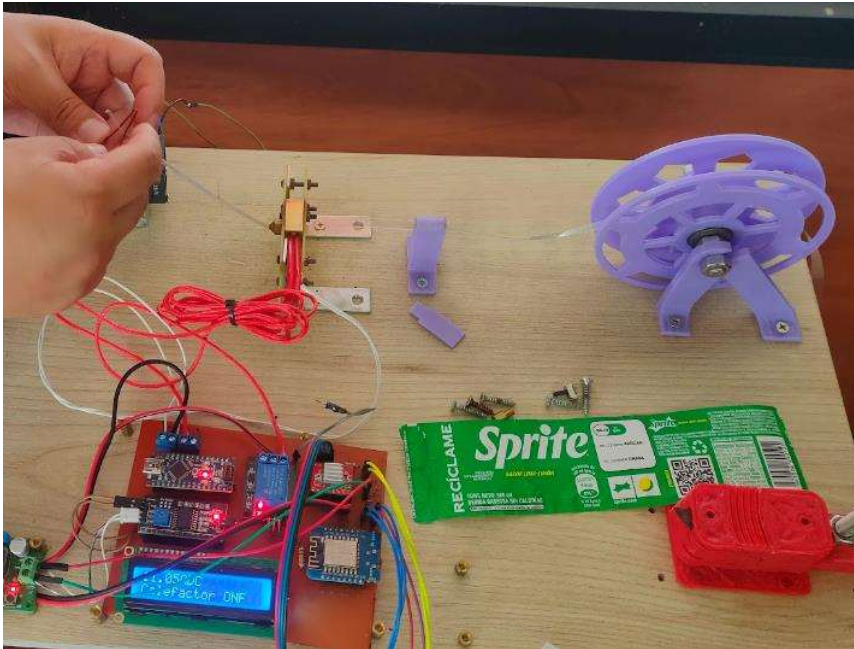
**Figura 27**

Obtención de fibra plástica a partir de una botella de la marca Switch



Figura 28

Obtención de fibra plástica a partir de una botella de la marca Sprite

**Figura 29**

Obtención de fibra plástica a partir de una botella de la marca Coca-Cola 1L



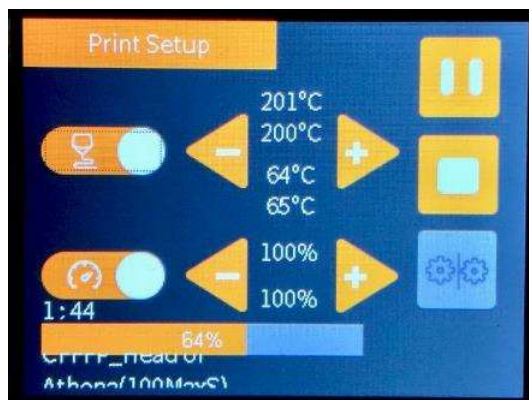
Pruebas de integración

Problemas para alcanzar la temperatura requerida con el firmware original

Inicialmente, el modelo de impresora evaluada y seleccionada se encontraba equipada con un software de naturaleza propietaria que imponía una restricción térmica, limitando la temperatura máxima a 250 grados C. Sin embargo, esta temperatura se reveló insuficiente para inducir la fusión adecuada de la fibra obtenida de las botellas plásticas. La ausencia de una fusión óptima en la fibra resultó en la imposibilidad de ejecutar el proceso de impresión de forma satisfactoria, generando un obstáculo sustancial en la consecución del propósito primordial de fabricación de objetos a partir de dicha fibra plástica. Como respuesta pragmática para alcanzar la temperatura requerida, se planteó la modificación del sistema operativo de la impresora, optando por una infraestructura open source que permita la manipulación de las características para cumplir con las necesidades del proceso de impresión de fibra de plástico reciclado. La elección recayó sobre el software Marlin, un sistema de código abierto flexible, capaz de ser implantado tanto en placas propietarias como en diversas plataformas Arduino. La Figura 30 proporciona una representación visual de la capacidad térmica previa del sistema propietario de la impresora.

Figura 30

Muestra de temperatura máxima alcanzada por el sistema propietario de la Anet et4.



Solución: Cambiar el firmware propietario

Para esclarecer el procedimiento relativo a la modificación del firmware de la impresora, resulta imperativo adentrarse en la comprensión exhaustiva de los siguientes elementos fundamentales concernientes al sistema operativo y su dinámica operativa.

Firmware Marlin

El sistema operativo Marlin se revela como una solución de código abierto que ostenta la capacidad de ser instalada en una impresora tridimensional, ya sea mediante la introducción directa de un archivo binario en la memoria o por medio de un archivo booteable en una tarjeta microSD. En línea con las indagaciones presentadas por Smith y Johnson en 2020, el firmware Marlin se instala en placas controladoras Arduino y hace uso del lenguaje de programación G-code para gestionar los motores y los controladores de la impresora. Este sistema operativo de código abierto se establece como un recurso fiable y altamente adaptable, al facultar al usuario para ejercer control incluso sobre los aspectos más intrincados de la impresora, tal como lo atestiguan las investigaciones aportadas por Johnson y sus colaboradores en 2019. Esto permite desde la desactivación de los motores hasta la personalización de la temperatura, tanto en la boquilla caliente como en la plataforma calefactora, todo de acuerdo a las preferencias del usuario.

STLINK V2

El dispositivo STLINK V2 emerge como una herramienta de programación y depuración de hardware que desempeña un papel significativo en el ámbito del desarrollo de sistemas, al posibilitar la modificación directa de los archivos de memoria, obviando los procesos de formateo y carga del sistema que podrían resultar engorrosos. Inspirado en la documentación de S. Li y colaboradores en 2017, este programador se destina particularmente a la programación de microcontroladores del tipo STM32, manufacturados por la entidad propietaria STMicroelectronics. La programadora está dotada de un software diseñado para su implementación en el entorno Windows, simplificando la gestión, carga y respaldo de los datos contenidos en la memoria de la placa madre. Tal como señala García en su investigación en 2019, el programador STLINK V2 se encuentra en una amplia

aplicación en la industria electrónica y se establece como una solución eficaz para el desarrollo de sistemas que demandan una carga directa de atributos específicos en lapsos temporales reducidos.

PlatformIO

La herramienta PlatformIO se alza como un entorno de desarrollo integrado (IDE) de naturaleza open source, orquestado con el propósito de posibilitar la ejecución y la compilación de sistemas empotrados. Un caso ilustrativo de esta funcionalidad es su capacidad para albergar la ejecución de Marlin en la impresora Anet ET4+. Basándonos en la información reunida por Martínez y su equipo en 2018, esta plataforma logra una amalgama en el desarrollo de programación para microcontroladores de diversa procedencia y modelos, fomentando, de esta manera, la cohesión del sistema con una profusión de combinaciones de componentes y controladores dentro de un solo dispositivo. PlatformIO engloba un conjunto heterogéneo de bibliotecas que otorgan comodidades al proceso de construcción y depuración de sistemas empotrados, lo que simplifica la tarea de abordar una gama más extensa de controladores y dispositivos en un contexto singular, tal como se menciona en la investigación de López y colaboradores en 2020.

OpenBLT

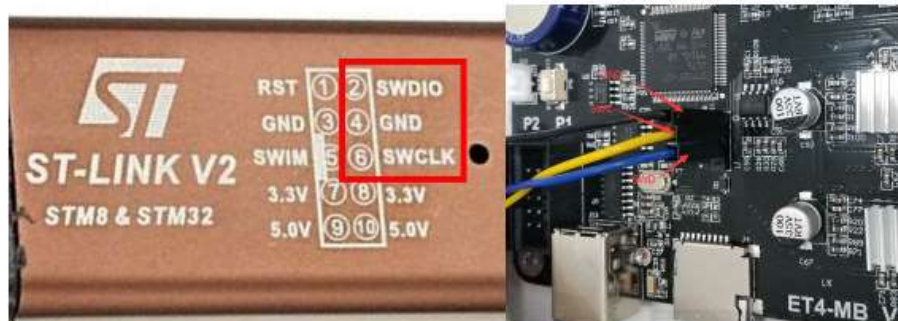
OpenBLT se presenta como un bootloader de código abierto que ha sido especialmente concebido para su integración en sistemas empotrados en el ámbito de las impresoras 3D, tal como lo señala la investigación llevada a cabo por Eberhardt y Schimpf en 2019 (Eberhardt y Schimpf, 2019). Este bootloader ofrece una solución de accesibilidad notable y robusta para la actualización en tiempo real del firmware a través de la utilización de archivos booteables del sistema operativo. Su estructura de programación se caracteriza por su simplicidad, lo que agiliza la adaptación a diversas plataformas y garantiza la concordancia con los controladores específicos de la impresora. De manera destacada, OpenBLT se distingue por un conjunto de ventajas, según lo expuesto por DeBoer y su equipo en 2020 (DeBoer et al., 2020). Entre estas ventajas, resalta la posibilidad de establecer una arquitectura modular que facilita actualizaciones de manera continua,

gracias al involucramiento de una comunidad activa que mantiene el sistema en constante desarrollo y evolución.

Una vez que se ha evaluado y seleccionado el software del sistema operativo para ser implantado en la impresora, se torna imperativo la utilización del dispositivo programador de naturaleza capacitante (STLINK V2), con la finalidad de propiciar la manipulación directa de la memoria que posee la placa madre. Conviene subrayar que es en esta misma reserva de memoria donde radica el sistema operativo preexistente de la impresora. La Figura 31 muestra una imagen de conexión del programador citado, el cual establece una vinculación física entre una estación de cómputo y la placa madre de la impresora 3D. Mediante esta interconexión, se habilitó la operación de transferir e insertar el sistema operativo del tipo open bootloader directamente en el compartimento de memoria de la placa madre

Figura 31

Programador de circuitos STLINK V2.

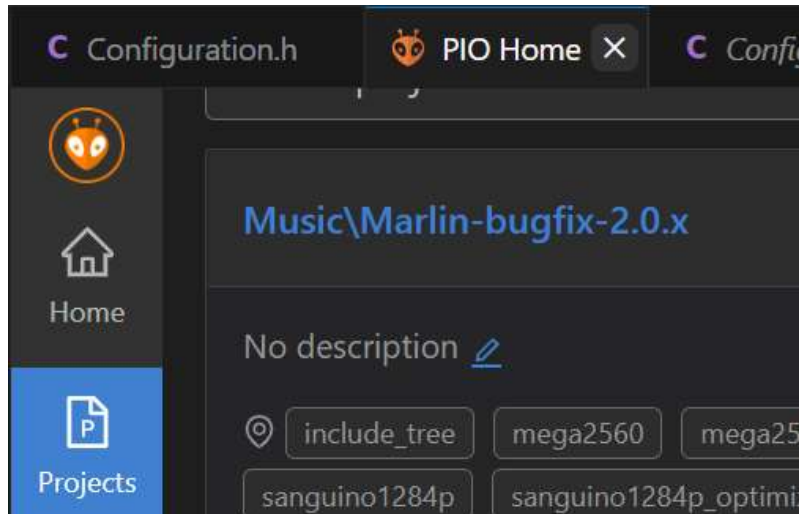


Una vez establecida la correcta conexión del programador con la placa madre y habilitado el sistema que permite la carga de un sistema booteable, se procede a la adquisición del software Marlin. A través del software alojado en el repositorio de Davidtge (2022), se logra la configuración óptima del software de código abierto Marlin, adaptándolo a los variados controladores, motores, sensores de fin de carrera y placa madre inherentes a la impresora Anet Et4+. Para llevar a cabo esta configuración como es visible en la Figura 32, se emplea la herramienta PlatformIO, la cual facilita la compilación y ejecución exitosa

del software Marlin, dando como resultado la generación de un archivo booteable por medio de una tarjeta microSD.

Figura 32

Importación del sistema operativo descargado hacia la herramienta PlatformIO



Posteriormente se configuró el firmware Marlin para lograr una plena compatibilidad con todas las características técnicas del modelo Anet ET4 +. Conforme se ilustra de manera gráfica en la Figura 33, este proceso demandó acceder al archivo de configuración y habilitar el llamado al archivo denominado “easyconfig”. Dicho archivo alberga las configuraciones esenciales destinadas a satisfacer los requerimientos particulares de la impresora en cuestión

Figura 33

Habilitación de configuración rápida para Marlin.

```
// Uncomment next line and use
#define ET_EASY_CONFIG
```

Dentro del archivo “easyconfig”, se configuró el parámetro correspondiente al tipo de impresora que será empleado. En este contexto, se seleccionó específicamente el tipo de impresora codificado como ET_MODEL_ET4_PLUS, el cual estableció una correlación precisa con los variados controladores y las conexiones de pines inherentes a la placa

madre del modelo de impresora ET4 +. La Figura 34 proporciona una representación visual de la configuración específica adoptada para el modelo ET en el contexto de esta impresora.

Figura 34

Adecuación del archivo de configuración rápida para la Anet et4 +

```
* Type: Mandatory.
* Values: ET_MODEL_ET4 ,ET_MODEL_ET4_PLUS, ET_MODEL_ET4X, E
*/
#define ET_MODEL ET_MODEL_ET4_PLUS
```

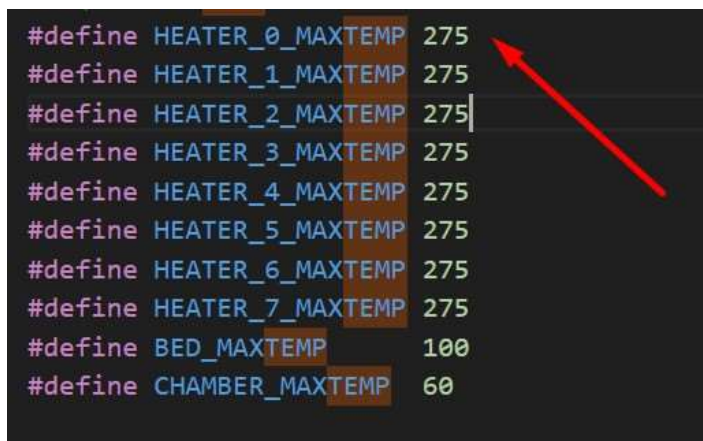


Una vez que se ha designado el tipo de impresora y sus respectivas configuraciones, se procedió con la fase conclusiva de ajuste del sistema Marlin con respecto a la Anet ET4 +. En este contexto, el objetivo restante consistió en habilitar la capacidad del sistema para permitir que la boquilla calefactora alcance temperaturas de hasta 275°C, lo cual resultó esencial para facilitar la fusión de la fibra plástica. La Figura 35 ejemplifica la acción de asignación de una nueva temperatura al elemento calefactor 1 de la impresora (señalizado con una flecha de color rojo), que en este caso corresponde a la boquilla calefactora que extruirá el plástico.

Figura 35

Configuración del parámetro de temperatura máxima para la impresora ANET ET4

```
#define HEATER_0_MAXTEMP 275
#define HEATER_1_MAXTEMP 275
#define HEATER_2_MAXTEMP 275
#define HEATER_3_MAXTEMP 275
#define HEATER_4_MAXTEMP 275
#define HEATER_5_MAXTEMP 275
#define HEATER_6_MAXTEMP 275
#define HEATER_7_MAXTEMP 275
#define BED_MAXTEMP 100
#define CHAMBER_MAXTEMP 60
```



Finalizada la adecuación del código a la impresora, se usó la herramienta de Visual Studio, “Marlin firmware auto build”, con el fin de compilar y crear el archivo de booteo

necesario para la impresora. En la Figura 36 se muestra una pantalla en la que se encuentran las nuevas configuraciones que se ejecutaron en el sistema.

Figura 36

Compilación y ejecución del software adecuado para la Anet Et4 +



Una vez que el proceso de compilación y ejecución del sistema ha sido completado, se generó en el interior de la estructura de directorios del sistema un archivo perteneciente al formato Motorola S-record (.srec). Este archivo encapsula en su contenido la totalidad de los datos necesarios para facilitar el proceso de inicio (booting) del sistema Marlin a través del open bootloader previamente instalado. La Figura 37 ilustra el archivo que surge como resultado de esta compilación (indicado mediante una flecha de color rojo).

Figura 37

Verificación del archivo de booteo creado

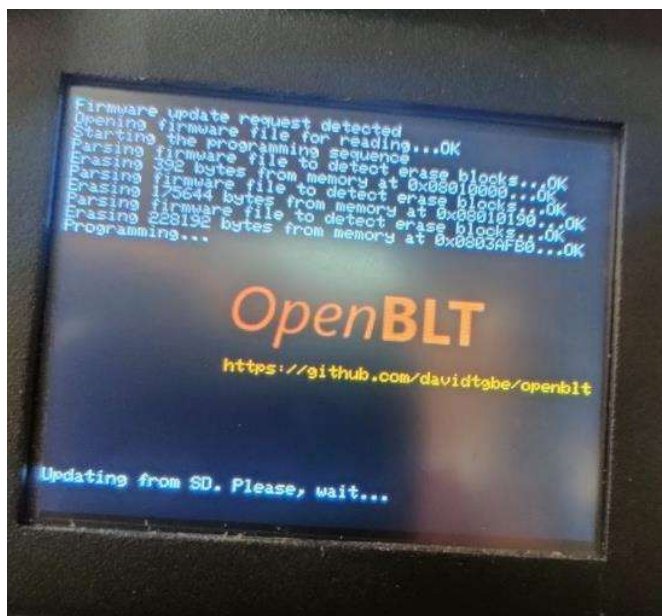
› Música › Marlin-bugfix-2.0.x › .pio › build › ET4



Para culminar la fase de implementación del sistema, se inició el protocolo de transferencia del archivo en formato .srec hacia una tarjeta microSD, la cual asumió la función primordial de dispositivo de inicio (booting). La Figura 38 ilustra el proceso de instalación automatizado, facilitado por Marlin. Este proceso se activó al introducir la tarjeta SD conteniendo el sistema “open bootloader”, concluyendo con una instalación exitosa. En el visor de la impresora, se desplegaron múltiples mensajes que describen el procedimiento satisfactorio de borrado y actualización de la memoria de la placa madre. Esto culminó con la visualización de mensaje de confirmación tipo “OK” durante el proceso de carga de memoria y la programación integral de la impresora

Figura 38

Instalación de Marlin en la Impresora.



Una vez culminada la fase de instalación, la pantalla principal del sistema se exhibió, revelando que se ha conseguido ampliar la capacidad de la temperatura operativa hasta 260 °C. Esta extensión permitió alcanzar el umbral térmico necesario para efectuar una fusión idónea de la fibra plástica. La Figura 39 representa la interfaz principal de la impresora equipada con Marlin, donde se presentó la temperatura actual de la boquilla configurada a 260°C.

Figura 39

Comprobación del funcionamiento del sistema en la impresora



Problemas de fibra con dobleces

Considerando la naturaleza de la fibra obtenida, es relevante tener en cuenta que en ocasiones se pueden presentar variaciones en su forma, como la presencia de curvaturas o un perfil no completamente circular. Esto puede resultar en la producción de una fibra que no ha alcanzado un cierre total durante el proceso de formación en calor. Como resultado, esta fibra conserva dimensiones superiores a las que permitiría la capacidad de inserción en la impresora. Incluso enfrenta dificultades para pasar a través de la guía de teflón que se extiende desde el motor de la extrusora hasta la boquilla calefactora, la cual es responsable de fundir y conformar el material durante la impresión. Al no estar completamente sellada, el motor de la extrusora puede doblar la fibra, impidiendo su paso por la guía de teflón. En algunas instancias, el motor puede movilizar la fibra, pero debido a su mayor diámetro en comparación con la guía, esta no logra avanzar desde la extrusora, resultando en una fibra inservible.

La Figura 40 presenta una fibra obtenida de una botella marca Dasani que exhibe características que la hacen completamente inservible. La fibra presenta múltiples curvaturas y aberturas a lo largo de su circunferencia, lo que resulta en un diámetro excesivo en comparación con el de la guía de teflón. Además, la fragilidad de la fibra es

evidente, dificultando en gran medida su avance a través del motor de la extrusora y su posterior ingreso en la boquilla calefactora. El proceso de paso a través del motor ocasiona que la fibra se doble, resultando en una situación de inmovilidad. Estas características combinadas hicieron que esta fibra sea incompatible para su utilización en el proceso de impresión.

Figura 40

Muestra de fibra doblada e inutilizable de una botella de la marca Dasani



La Figura 41 ilustra la fibra obtenida de una botella de agua marca Cielo, demostrando su inadecuación para fines de impresión. Aunque su diámetro permitió su inserción en la guía de teflón, la fibra aún conservaba pliegues y no presentó una forma completamente circular. Caracterizada por su delgadez y fragilidad, la fibra se tornó en un desafío para el motor de extrusión, ya que, al pasar por los engranajes de la extrusora, tuvo tendencia a doblarse y dificultad para moverse. Esta particularidad también obstaculizó de manera significativa la posibilidad de llevar a cabo una impresión exitosa.

Figura 41

Muestra de fibra doblada e inutilizable de una botella marca Cielo.



Problemas en la fibra obtenida de botellas con texturas

La Figura 42 exhibe la fibra obtenida de una botella marca Sprite, la cual presentó texturas en su composición. Estas texturas y relieves en la superficie de la botella generaron complicaciones al momento de producir una fibra con un diámetro y forma uniformes. Durante el proceso de extracción de la fibra, las texturas contribuyeron a la aparición de disparidades en términos de diámetro y coherencia de la fibra resultante (flecha roja). Estas disparidades en el diámetro ocasionaron que la fibra sea delgada y cuente con aberturas en su estructura, lo que a su vez la hicieron frágil y no apta para ser movilizada por el motor de la extrusora y dirigida hacia la boquilla calefactora. Además, los pliegues en la fibra resultantes de las texturas en la botella también dificultaron su inserción en la guía de teflón debido a su diámetro ampliado. Estas características combinadas convirtieron a esta fibra en inviable tanto para la extrusión como para el modelamiento.

Figura 42

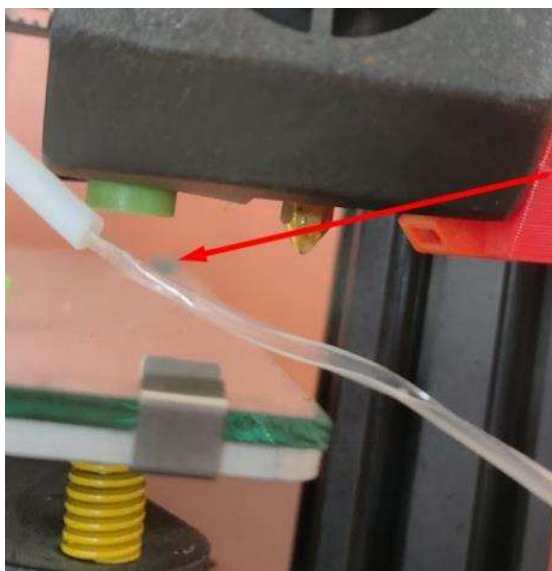
Muestra de fibra obtenida por botellas texturizadas inutilizable marca Sprite.



Tal como se observa en la Figura 43, la fibra obtenida de una botella de la marca Cielo, que posee un diámetro adecuado para ser insertada en la guía de teflón, presentó una fragilidad que la hizo inapropiada para su empleo en impresión 3D (señalada con una flecha roja). Debido a su fragilidad y apertura, el intento de inserción por la guía de teflón resultó inviable. A pesar de contar con un diámetro aceptable, su entrada presentó dificultades porque, al atravesar el motor de extrusión, la fibra se doblaba dentro de la guía de teflón. Estas características combinadas también dificultaron en gran medida su uso en el proceso de impresión y extrusión.

Figura 43

Muestra de fibra obtenida por botellas texturizadas inutilizable marca Cielo



Problemas en la fibra con esmalte

Las botellas que incorporan un revestimiento esmaltado en su superficie presentaron desafíos sustanciales en el contexto de la impresión tridimensional, ya que dicho revestimiento impidió una adherencia entre la fibra extruida de la boquilla calefactora y la plataforma de impresión. Este fenómeno es ejemplificado en la Figura 44, en donde la fibra exhibe un acabado brillante y una textura notoriamente más suave en comparación con otras muestras. Esta superficie lisa, pese a poseer un diámetro adecuado para un paso fluido a través de la guía de teflón y una manipulación efectiva por parte del motor de extrusión, comprometió su funcionalidad. A pesar de la viabilidad en términos de inserción y avance en el sistema, la falta de adhesión a la superficie de impresión condujo a una restricción sustancial en la capacidad de imprimir objetos con coherencia y precisión.

Figura 44

Muestra de fibra obtenida por botellas esmaltadas de marca Switch



Problemas con las botellas sucias

La presencia de suciedad en botellas, caracterizada por la aparición de moho o partículas de tierra en su exterior, e incluso en algunos casos la existencia de moho en el interior debido a la incompleta descomposición de residuos también planteó un desafío considerable en el proceso de creación de fibra. Al abordar la producción de fibra a partir de

este tipo de botellas, se encontraron obstáculos relacionados con el hecho de que, al someterlas al proceso de moldeo a través de la boquilla calefactora, la capa de suciedad interfiere con la transmisión eficiente del calor hacia la botella. Esta capa de suciedad actúa como una barrera térmica que compromete la capacidad de modelar la botella y alcanzar su diámetro deseado. La problemática resultante es evidente en la Figura 45, que exhibe dos botellas, una de la marca Cielo y otra de la marca Coca-Cola, ambas presentando complicaciones en términos de apertura en el diámetro y fragilidad, lo que dificultó su viabilidad para ser introducidas en la impresora y procesadas de manera efectiva.

Figura 45

Muestra de fibra obtenida por botellas sucias marca Cielo y Coca-Cola



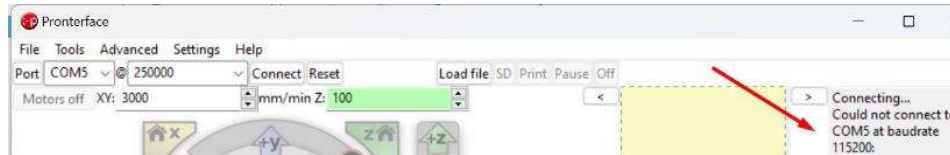
Problemas de comunicación serial del software Pronterface con la impresora

Pronterface se establece como un sistema dotado de interfaz gráfica, tal como ha sido expuesto por las investigaciones de DeLuca y Ciuffoletti en 2016, caracterizándose por su presentación visual intuitiva que autoriza interacciones fluidas y capacita al sistema para asumir un dominio completo sobre la impresora mediante una conexión serial a una velocidad de 250 mil Baudios. Este sistema ofrece la aptitud de supervisar en tiempo real tanto la integridad de la impresora como el proceso de impresión, facultando la gestión de múltiples aspectos que abarcan desde el movimiento de los motores hasta el control de la temperatura, y desde luego, la ejecución de la impresión de objetos modelados en tres dimensiones. Acorde con los hallazgos emanados de la exploración de Helsloot y sus colaboradores en 2019, las virtudes sobresalientes del software se centran en las

funcionalidades relativas a la administración integral de la impresora mediante una interfaz gráfica de naturaleza amigable e intuitiva, aportando una dosis de estabilidad y, de igual modo, proporcionando facilidades para establecer conexiones directas a fin de lanzar la impresión de archivos sin recurrir a medios como la tarjeta microSD.

Figura 46

Problema de conexión entre Pronterface y la impresora



Pruebas satisfactorias de integración

Luego de la descripción de todos los problemas y desafíos encontrados en este proceso de integración inicial, se realizaron una serie de ensayos de extracción con el propósito de refinar el proceso. Los resultados obtenidos en las extracciones finales demostraron una mejora notable en términos de precisión, como ilustra la Figura 47. En esta figura se presenta una fibra caracterizada por un diámetro uniforme y una integridad sustancialmente mejorada, en comparación con los problemas anteriores de integración. La fibra de mayor calidad logró integrarse de manera efectiva en la impresora, permitiendo una manipulación fluida por parte del motor de la extrusora. Además, esta fibra de alta calidad facilitó la capacidad de la impresora para insertar la fibra de forma autónoma en la boquilla calefactora, posibilitando así un proceso de impresión exitoso.

Figura 47

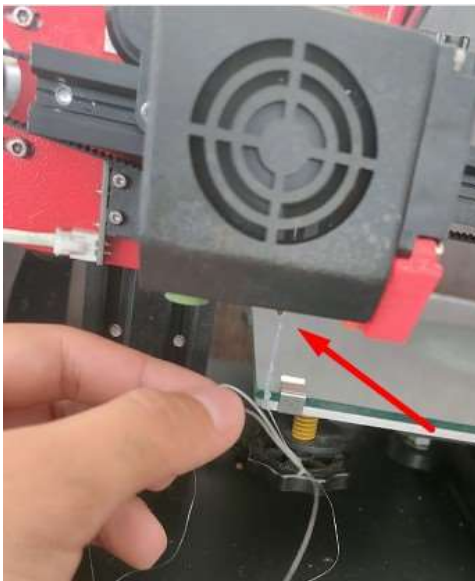
Vista general del proceso de ingreso de la fibra obtenido de una botella de la marca Fresno Tea hacia la impresora.



Una vez que se ha alcanzado una integración exitosa, se procesó la carga de la fibra dentro del sistema de extrusión de la impresora. Este proceso, que opera de manera automatizada, es capaz de demostrar la adecuada manipulación de la fibra por parte del motor de extrusión y su posterior inserción sin complicaciones en la boquilla calefactora. La Figura 48 exhibe el resultado de la extrusión de la fibra desde la boquilla caliente una vez que el proceso automatizado de carga de fibra ha sido ejecutado correctamente.

Figura 48

Proceso de carga que cumple con el requerimiento exitoso de alimentación de fibra en la impresora.



Pruebas de impresión

Para las pruebas de impresión, se contemplaron diversas muestras de fibras obtenidas a partir de botellas, abarcando desde un envase Sprite de 250 ml en la fase inicial, hasta una fibra resultante final proveniente de una botella de Pepsi de 2 litros de capacidad. Cada una de las botellas fue sometida al mismo proceso de extracción para obtener la fibra, con algunas variaciones en los detalles para lograr refinamientos. Específicamente, se ajustó el tiempo de extracción para asegurar una mayor calidad en la fibra. Se constató que una menor velocidad de paso por la boquilla de moldeo en la extrusora conducía a una mayor calidad de fibra obtenida. La última fibra extraída de una botella de Pepsi permitió obtener resultados aceptables en términos de calidad de impresión. Los resultados de estas pruebas se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4

Pruebas de configuración del nivel de temperatura en relación con el tipo de botellas.

Fibra plástica (Marca y modelo de botella)	Temperatura extrusora	Temperatura cama	Resultado
Botella Sprite 250ml	250°C	60°C	Sin éxito
Botella Coca-Cola 250ml	250°C	60°C	Sin éxito
Botella agua Cielo 750ml	250°C	60°C	Sin éxito
Botella agua Dasani 500ml	250°C	60°C	Sin éxito
Botella Sprite 1L	250°C	60°C	Sin éxito
Botella Coca-Cola 1L	250°C	60°C	Sin éxito
Botella Switch 2L	250°C	60°C	Sin éxito
Botella Fresno Tea 500ml	260°C	70°C	Éxito
Botella Pepsi 2L	260°C	70°C	Éxito

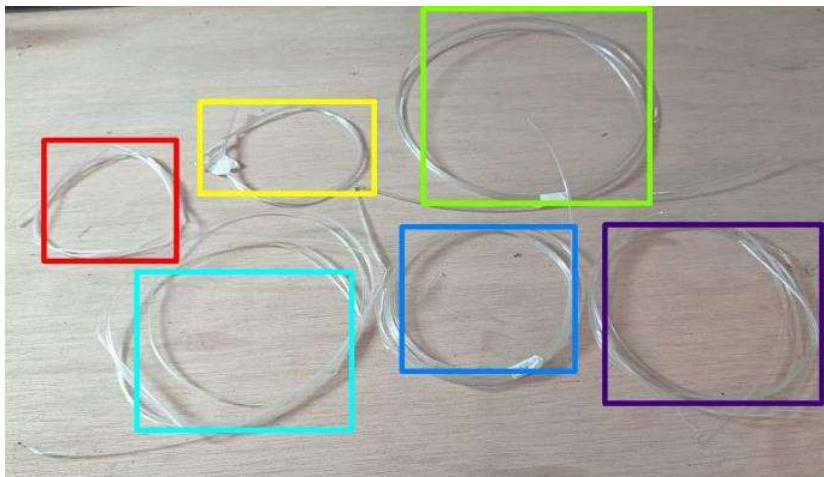
Capítulo IV: Resultados

Resultados en el proceso de obtención de fibra

En el inicio de la experimentación, debido a la falta de destreza y pericia en la extracción de la fibra, se obtuvieron fibras de baja calidad que en algunos casos resultaron inservibles. Estas fibras no cumplieron con los criterios de calidad, presentando fragilidad, diámetros no conformes o incluso excediendo el diámetro máximo que admite la guía de teflón. La Figura 49 ofrece una visualización de diversas muestras de fibras obtenidas a partir de diferentes marcas de botellas: Sprite de 250ml (recuadro rojo), Coca-Cola de 250ml (recuadro amarillo), agua Cielo de 750ml (recuadro morado), agua Dasani de 500ml (recuadro celeste), Sprite de 1L (recuadro verde) y Coca-Cola de 1L (recuadro azul). Estas ilustraciones evidencian las limitaciones de las fibras que no alcanzaron los estándares requeridos para su integración con el proceso de fundición en la impresora 3D.

Figura 49

Muestra de las primeras pruebas realizadas para obtener fibra utilizable



Después de ejecutar una serie de pruebas y optimizaciones, se obtuvo una fibra de mayor calidad que cumplió con los criterios necesarios para su integración exitosa con la impresora 3D. Esta fibra se obtuvo de una botella de té Fresno Tea, que se caracteriza por su forma completamente circular y superficie lisa, desprovista de relieves o recubrimientos. La Figura 24 presenta una imagen de la fibra obtenida, destacando su estructura robusta y ausencia de irregularidades en su diámetro. Por su parte, la Figura 50 exhibe otro caso

exitoso de obtención de fibra, proveniente de una botella de 2 litros de Pepsi. Esta fibra cumplió con todas las características requeridas para su integración en la impresora.

Figura 50

Muestra de un collar impreso en 3D con una fibra obtenida de una botella de marca Pepsi

2L

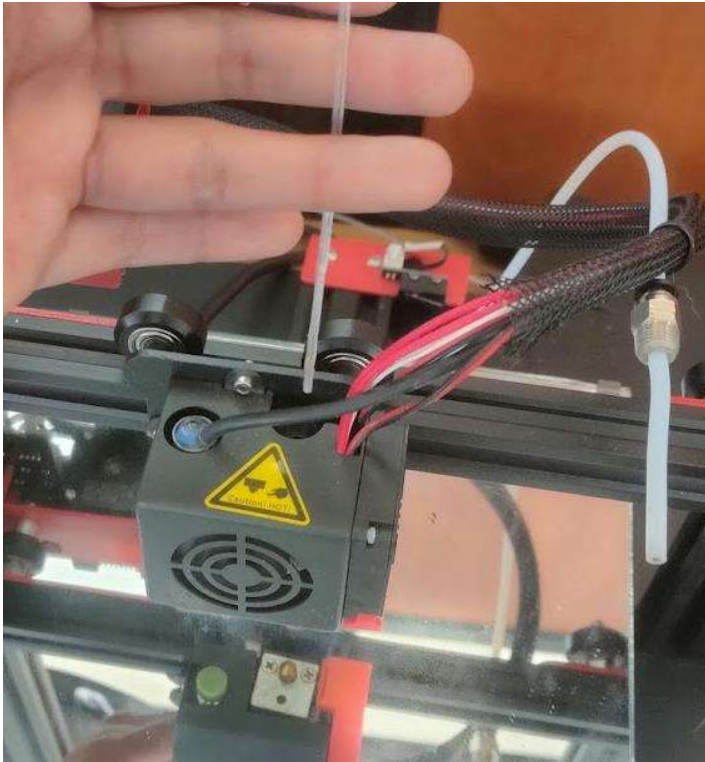


Resultados de integración de la fibra

Durante las pruebas de integración con la impresora, se observó que las fibras iniciales tenían una disposición abierta, dificultando su agarre y desplazamiento en la etapa de impresión. Esto se debió a la tendencia de las fibras a mantener una estructura parcialmente desplegada, lo que afectó la tracción y carga en la extrusora. En una etapa posterior, las fibras sucesivas mostraron mayor cohesión interna, pero también presentaron una anomalía en su anchura. En la Figura 51 se muestra una prueba de integración inicial ejecutada en la que se ingresó directamente la fibra dentro de la boquilla sin la guía de teflón, lo que resultó perjudicial para la boquilla porque presentó problemas de taponamiento por fibra excedente.

Figura 51

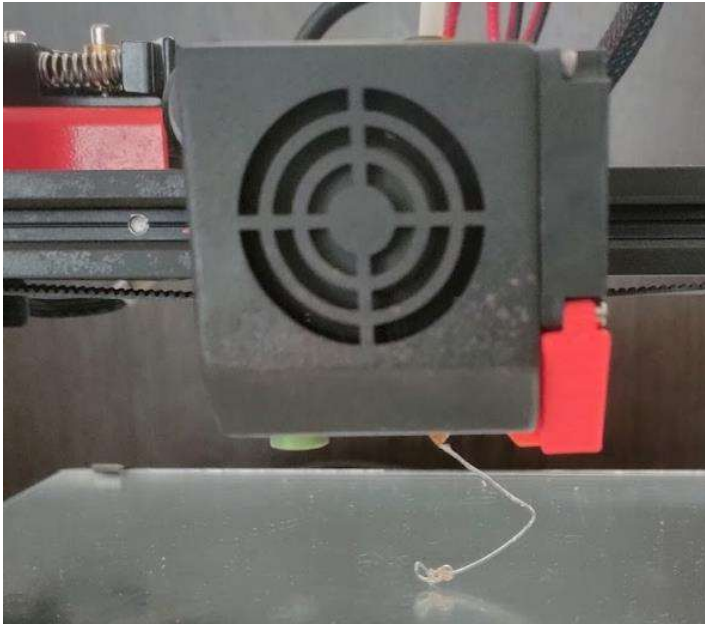
Integración de fibra inservible de manera directa en la boquilla caliente



La Figura 52 ilustra un proceso exitoso de alimentación de la fibra hacia la boquilla calefactora, lo que confirma su idoneidad para la impresión y señala que la boquilla opera a la temperatura óptima para el moldeo de la fibra. La fibra se encontró en un estado de fusión adecuado para su salida por la boquilla, lo cual constituyó el indicador crítico que evidenció la conclusión exitosa de las pruebas de integración.

Figura 52

Prueba de fusión de fibra válida para su modelamiento

**Resultados de impresión con la fibra obtenida de botellas plásticas**

Después de la ejecución de todas las pruebas de integración, se observó que mediante un proceso de extracción de la fibra que emplea métodos pacientes y eficaces, es posible obtener una fibra adecuada para su uso en la impresión 3D. En la Figura 53 se presenta el primer ensayo de impresión con fibra plástica, siendo este relativamente exitoso. Aunque la fibra se insertó correctamente en la impresora, no pudo ser desplazada por el motor de extrusión debido a su fragilidad hasta cierto punto. La impresión se realizó de manera normal, demostrando que la fibra proveniente de botellas plásticas es viable para producir modelos con una calidad satisfactoria.

Figura 53

Primera prueba de impresión con fibra de botellas plásticas.



Luego de validar la premisa de que es factible imprimir modelos en 3D utilizando botellas plásticas, se llevaron a cabo una serie de pruebas con fibras de mayor precisión en cada ocasión. La Figura 54 presenta un proceso de impresión ejecutado con una de las fibras extraída y que tuvo la más alta calidad. Esta fibra en particular se extrajo de una botella de Fresno Tea y presentó todas las características necesarias para ofrecer una fibra uniforme y sin imperfecciones.

Figura 54

Prueba de impresión satisfactoria usando la fibra extraída de la botella Fresno Tea



La impresión presentada en la Figura 55 resultó satisfactoria, dando como resultado un collarín militar de alta calidad tanto en términos de resistencia del modelo 3D como en

los detalles que incluían las letras con la inscripción "ESPE 101". La Figura 48 exhibe la pieza impresa final, la cual destaca por su calidad. Sin embargo, aunque la impresión se realizó utilizando una configuración de bajo consumo de recursos (velocidad de 100mm/s), lo cual redujo significativamente los detalles de la pieza, fue notable en términos de calidad.

Figura 55

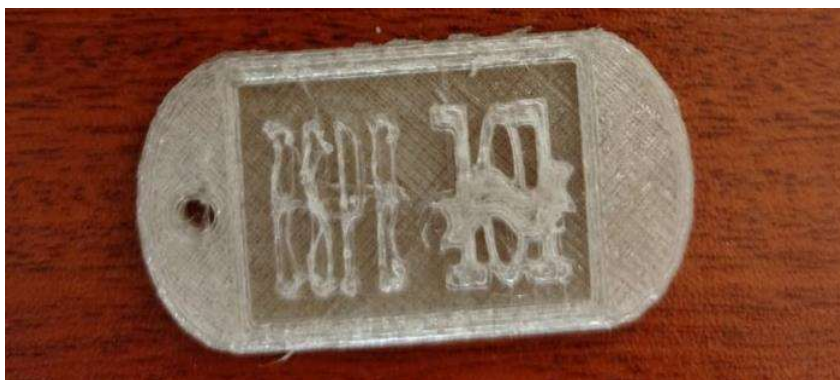
Resultado satisfactorio de la primera prueba de impresión de la botella Fresno Tea



Utilizando la fibra extraída de una botella de Pepsi de 2 litros, se imprimió un nuevo collarín militar, esta vez con una configuración que mejoró la calidad de la impresión (velocidad de 30 mm/s). La Figura 56 exhibe la pieza impresa en conjunto con la fibra original, proporcionando un alto nivel de claridad en las letras y manteniendo una estructura de impresión mejorada.

Figura 56

Impresión de collarín militar de alta calidad y relieve



A modo de prueba definitiva para verificar la eficacia concreta de la fibra de plástico en la impresora 3D, se ejecutaron impresiones del logo de Batman utilizando la fibra

proveniente de una botella de Pepsi de 2 litros. Las impresiones, presentadas en la Figura 57, ejemplifican la calidad de impresión que se alcanzó a través de la utilización de botellas plásticas, lo cual contribuye significativamente a su reciclaje y su aplicación posterior en diversas creaciones que puedan beneficiar a la sociedad.

Figura 57

Impresiones de alta calidad usando una botella de Pepsi 2L.



Se obtiene como resultado que la fibra extraída de botellas plásticas, dependiendo de su método de extracción, tiene el potencial de generar modelos de alta calidad en el contexto de la impresión 3D. Mediante una extracción precisa, la fibra adquiere idoneidad para la impresión de objetos con diseños y durabilidad excepcionales. Los objetos exhibidos en la Figura 58 ejemplifican esta cualidad, ya que presentan una combinación de resistencia y detalles notables. De este modo, concluyen las pruebas de impresión con éxito, ya que se ha logrado el propósito de transformar botellas plásticas de desecho en objetos atractivos.

Figura 58

Modelos satisfactoriamente impresos a base de fibra obtenida de botellas plásticas.



Capítulo V: Discusión

La comparativa entre los resultados expuestos revela una visión integral de la implementación y operación de una impresora 3D basada en FDM. Se revela una relación inversa entre el tamaño de impresión y la calidad del resultado debido a la influencia de la gravedad en la desviación del eje Z, lo que impone restricciones significativas en la escala de los modelos imprimibles. Asimismo, se destaca la complejidad en la extrusión de fibras, donde las variaciones térmicas durante la extrusión y la solidificación parcial generan heterogeneidades en las fibras, afectando su cohesión y textura. Estas irregularidades en las fibras, a su vez, comprometen la interacción con la impresora al dificultar el agarre y la tracción, subrayando la importancia de optimizar los parámetros de temperatura y velocidad de extrusión para lograr una cohesión uniforme. En conjunto, estos resultados ofrecen información esencial para abordar desafíos en la impresión 3D, desde la planificación de proyectos hasta la mejora de los componentes de la impresora, con un énfasis en la comprensión profunda de la interacción entre materiales, temperaturas y mecanismos de impresión para alcanzar resultados superiores en la fabricación aditiva.

En comparación con el enfoque previo en el artículo centrado en la impresión 3D y sus aspectos técnicos, los resultados obtenidos en la investigación de la obtención de fibras a partir de botellas presentan una perspectiva con desafíos únicos. Mientras que en el primer caso se discuten los métodos de impresión, control de movimiento y análisis de temperatura para mejorar la calidad del producto, en el segundo caso se enfrenta la problemática del relieve en las botellas que obstaculiza la obtención de fibras de alta calidad. La solución implementada en el segundo estudio, que involucra el uso de botellas de configuración plana y circular para eliminar las asperezas y ajustes en la velocidad de tracción y trayectoria de la tira de plástico, presenta similitudes con el análisis cinemático y el uso de sensores inductivos en el proceso de impresión. Ambos enfoques demuestran la importancia de ajustes precisos y estrategias específicas para lograr productos cohesivos y de calidad uniforme. La comparación entre la tecnología de impresión 3D y la transformación de botellas en fibras subraya la necesidad de abordar desafíos específicos

en cada proceso y resalta la importancia de la innovación y adaptación en la búsqueda de soluciones efectivas.

La evaluación entre los trabajos analizados y el tema de tesis presentado revela un enfoque integral en la optimización de la impresión 3D aplicada a la fabricación de objetos con propiedades conductoras. Mientras los resultados obtenidos en los trabajos destacan la modificación exitosa de una impresora de bajo costo para imprimir simultáneamente filamento plástico y pasta conductora de plata, obteniendo eficazmente superficies selectivas de frecuencia (FSS) de banda de parada mediante bucles cuadrados, nuestra propuesta se centra en la manufactura precisa de fibras plásticas de polietileno tereftalato (PET) con propiedades conductoras y su aplicación en pruebas de impresión. Aunque los trabajos presentan la capacidad de producir FSS de manera rentable, enfrentan desafíos como la limitación de sustratos imprimibles y la necesidad de calibración constante. Por otro lado, nuestra investigación sobre la impresión de PET modificado busca lograr una adecuada cohesión material a mayor velocidad, mientras se aborda de manera integral la resolución de detalles finos. Estos resultados combinados subrayan la importancia de considerar tanto las capacidades tecnológicas mejoradas como las limitaciones inherentes al implementar técnicas innovadoras en la fabricación aditiva de objetos conductores, contribuyendo en conjunto a un enfoque más completo y equilibrado en la impresión 3D y sus aplicaciones en la creación de dispositivos y componentes electrónicos avanzados.

La comparativa realizada entre diversos trabajos y artículos en el ámbito de la fabricación de superficies selectivas de frecuencia (FSS) destaca la impresión 3D como la técnica más idónea, como se evidencia en la literatura. Esta técnica sobresale por su capacidad para producir estructuras complejas a bajo costo en comparación con la litografía, serigrafía e impresión por chorro de tinta, tal como señalan estudios previos. Además, la posibilidad de imprimir sustratos y elementos de FSS en una sola operación, como se ha observado en investigaciones relevantes, reduce significativamente tanto el tiempo como los costos de manufactura. En consonancia con los resultados obtenidos en la investigación, la optimización de la calidad de las fibras, como se describe en los estudios

pertinentes, se traduce en una mejora sustancial en los detalles y definición de los modelos impresos. La perfecta interacción entre las fibras y el mecanismo de impresión, como se discute en la literatura consultada, también juega un rol esencial al garantizar un proceso fluido y sin interrupciones. Estos descubrimientos resaltan la importancia crucial de la selección de materiales y la correcta aplicación de las técnicas de impresión 3D para lograr acabados excepcionales.

En el contexto de trabajos de investigación y desarrollos innovadores en el ámbito de la robótica y la fabricación aditiva, se presenta una comparación intrigante entre los resultados obtenidos de un artículo de relevancia y la tesis presentada. En uno de ellos, se logró el diseño y la construcción exitosa de un robot de escritorio asequible, haciendo uso de tecnología 3D y orientado a la instrucción en cursos de robótica en instituciones de educación técnica en China. Este enfoque aborda tanto la viabilidad económica del proyecto como la implementación de componentes fabricados mediante impresión 3D, respaldados por un sistema de control basado en código abierto. En contraste, el tema a tratar en cuestión se centra en la creación meticulosa de fibra de alta calidad a partir del proceso de manufactura de una botella, cuyo producto fue empleado en la impresión tridimensional de un modelo que representa el icónico logotipo de Batman. Estos trabajos no solo ilustran el potencial versátil de la tecnología 3D, sino que también demuestran sus aplicaciones tanto en la educación como en la producción de materiales especializados.

Capítulo VI: Conclusiones, recomendaciones y trabajo futuro

Conclusiones

Después de un minucioso análisis y evaluación de los actuales modelos de impresoras 3D, se destaca que comparten en su mayoría componentes similares, con mejoras enfocadas en la calidad constructiva y el detalle. Aunque las interfaces de las impresoras 3D contemporáneas son llamativas y de uso intuitivo, paradójicamente pueden imponer limitaciones al explorar sus capacidades al máximo. Al comparar las impresoras económicas de marcas comerciales con las de tipo "hazlo tú mismo", se observan discrepancias en la elección de componentes, principalmente guiadas por consideraciones de costo. Mientras las impresoras de enfoque "abierto" permiten la flexibilidad en la selección de motores y sensores con diferentes niveles de calidad, las impresoras comerciales se adhieren a modelos de gama media o baja para reducir costos asociados. En este contexto, el consenso alcanzado condujo a la elección de una impresora tipo "Kit para armar", la cual se distinguió por permitir al usuario su ensamblaje y presentó un costo inferior al que implicaría una impresora de tipo "hazlo tú mismo".

El ensamblaje y construcción de un kit adquirido para una impresora 3D presenta un desafío en sí mismo. Aunque las piezas se entreguen en su totalidad y se disponga de guías de montaje, la problemática puede radicar en la no coincidencia de las piezas o en la dificultad de interpretar su disposición espacial. La orientación precisa de cada motor resulta crucial en la configuración de la impresora, ya que cada motor incorpora su propio controlador y sensor de final de carrera, lo que añade una capa de complejidad al proceso al determinar la correspondencia de cada motor con su respectivo eje. La vinculación de la cama base con su motor asociado plantea un reto adicional, dado que la incorporación de la correa dentada, responsable del movimiento, puede verse obstaculizada por problemas de alineación o, si se ajusta excesivamente en la polea del cabezal en el eje Y, correr el riesgo de dañarse. Por su parte, la inserción del eje X en la varilla dentada que gobierna el movimiento del eje Z se convierte en una operación compleja, ya que su correcto encaje demanda la previa adecuación compacta de todo el conjunto del eje X.

Para establecer un entorno que facultara la manipulación integral de la impresora, fue necesario la compilación y ejecución específica de un archivo de firmware de código abierto llamado Marlin, con la particularidad de ser booteable. El sistema operativo "open" permitió la configuración de su programación, otorgando una adaptabilidad ajustada a las necesidades del usuario. En este caso, dicha adaptabilidad resultó en la capacidad de incrementar la temperatura hasta 260°C.

Tras una evaluación exhaustiva, se ha constatado la capacidad de la impresora para integrar y modelar con una precisión detallada las fibras extraídas de botellas plásticas que se ajustan a requisitos específicos de diseño. En términos de desempeño, la impresión que utilizó dichas fibras presentó resultados satisfactorios. A pesar de la necesidad de operar a temperaturas elevadas, la fusión de estas fibras en el proceso de modelado de objetos se destacó por su óptima eficacia, permitiendo la creación de componentes detallados, incluso aquellos que incorporan caracteres de diseño intrincados. Esta tecnología también posibilita la producción rentable y ágil de objetos con un nivel de detalle y definición elevado. Cabe destacar que las piezas generadas a través de este proceso exhiben una notable resistencia y pueden aplicarse a la impresión de una amplia variedad de objetos premoldeados mediante software especializado. En este sentido, se evidenció la eficiencia y efectividad de la utilización de las fibras derivadas de botellas plásticas.

Para responder nuestra pregunta de investigación inicialmente planteada: *¿Es factible la integración de fibra de plástico obtenida de botellas recicladas con el proceso de impresión de objetos mediante un prototipo de impresora 3D diseñado y construido específicamente para este propósito?*, se concluye entonces que a través de todo el proceso experimental realizado, la integración de la fibra obtenida de botellas de plástico reciclado con la impresora 3D armada a partir de un kit, es factible tanto a nivel operativo (fundición de la fibra a temperatura de 260 grados) como a nivel de integración.

Recomendaciones

A pesar del correcto funcionamiento de la extrusora de plástico PET, existen oportunidades de mejora. Por ejemplo, en el proceso de extracción de fibra, se observa una

considerable cantidad de movimiento. Para abordar este aspecto, se recomienda asegurar una fijación estable y firme al emplear una superficie de adhesión y anclaje, lo que incluye la fijación segura de los componentes motrices y la rueda que tracciona la fibra. Esta medida busca prevenir que se aflojen ciertos componentes, como pernos, debido a las dinámicas del movimiento. Se sugiere la aplicación de un enfoque de fijación más robusto, ya sea mediante el uso de sujetadores roscados de alta resistencia o la utilización de agentes adhesivos adecuados, con el propósito de mitigar la tendencia a la liberación de tuercas y tornillos. Para optimizar aún más el proceso de extracción de fibra, se propone la incorporación de un dispositivo de fijación impreso de menor perfil y colocado en proximidad inmediata a la boquilla. Este elemento, diseñado de manera más delgada, tiene la finalidad de estabilizar la trayectoria de la cinta de plástico, garantizando una orientación unificada, lo que a su vez promueve la obtención de una fibra con propiedades superiores.

Se han constatado problemáticas en las etapas iniciales relacionadas con la adquisición de la fibra. Se sugiere que dicho proceso sea llevado a cabo con la máxima serenidad y calma posible, dado que la calidad intrínseca de la fibra y su correcto desempeño en el contexto del proceso de impresión están directamente correlacionados con la ejecución de esta fase. En consecuencia, se recomienda abordar esta etapa con un enfoque reposado y a una velocidad reducida, lo cual propiciará la obtención precisa y de una calidad óptima en la fibra resultante.

Dentro del proceso de impresión con fibra PET, se ha detectado una adhesión insatisfactoria inicial. Como recomendación, se sugiere aumentar la temperatura de la superficie de impresión y aplicar mayor agente fijador. Estos pasos buscan mejorar la unión de la fibra a lo largo del proceso, reduciendo la posibilidad de desplazamientos no deseados y asegurando una impresión fluida y precisa. Estas estrategias combinadas ofrecen una manera prometedora de mejorar la calidad y eficiencia del proceso de impresión en esta investigación.

En el contexto del proceso de impresión y la evaluación de los archivos GCODE correspondientes, la ejecución de estas tareas mediante una conexión directa por cable a

una computadora, junto con la utilización de un software de control y supervisión de impresoras 3D como Pronterface, ha revelado la ocurrencia de desconexiones intermitentes durante la operación. En virtud de esta observación, se formula la recomendación de mantener la preferencia por la utilización de los archivos GCODE previamente guardados en una tarjeta microSD. Esta elección asegurará la continuidad y fiabilidad del proceso de impresión al integrar los archivos directamente en la impresora, preservando así la integridad del proceso de modelado sin interrupciones.

Trabajo futuro

Se postula como perspectiva de mejora futura la implementación de un par adicional de boquillas con graduación de diámetros incrementales en el aparato extractor de fibras. Este ajuste modular contribuiría a optimizar la fase de modulación de las tiras de fibra, al posibilitar su tránsito a través de sucesivas boquillas de calibres crecientes, induciendo un proceso gradual de reducción dimensional que culminaría en la obtención de una fibra propicia para la inserción en la impresora. La adición de estas boquillas suplementarias, dotadas de diámetros progresivamente amplios, conllevaría un beneficio adicional al concretar una aceleración en el proceso de extracción. Mediante la exposición de la fibra a una secuencia termo controlada de filtros térmicos al atravesar estas boquillas, se erigiría la viabilidad de incrementar la velocidad de extracción, afrontando de manera eficiente el reto suscitado por la disipación de temperatura en la boquilla calefactora. Este fenómeno, actualmente propenso a inducir deformaciones en la fibra y su consecuente invalidez funcional, sería efectivamente mitigado.

Referencias

- Achilias, D. S., Roupakias, C., Megalokonomos, P., Lappas, A. A., & Antonakou, E. V. (2007). Chemical recycling of plastic wastes made from polyethylene (LDPE and HDPE) and polypropylene (PP). *Journal of hazardous materials*, 149(3), 536-542.
- Achilias, D. S., Roupakias, C., Megalokonomos, P., Lappas, A. A., & Antonakou, V. (2007). Chemical recycling of PET wastes with different catalysts. *Waste Management*, 27(9), 1021-1032.
- All3DP. (2021). *All About 3D Printing: History, Technologies, and Applications*.
- Al-Salem, S. M., Lettieri, P., & Baeyens, J. (2009). Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): A review. *Waste Management*, 29(10), 2625-2643.
- Anet. (2020). Anet ET4+.
- Campbell, T. A., & Ivanova, O. S. (2011). 3D printing of multifunctional nanocomposites. *Journal of Materials Chemistry*, 21(40), 15198-15206.
<https://doi.org/10.1039/C1JM11817J>
- Celi, R., Sempértegui, A., Morocho, D., Loza, D., Alulema, D., & Proaño, M. (2015). Study, design and construction of a 3D printer implemented through a delta robot. 2015 *CHILEAN Conference on Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies (CHILECON)*, 717-722.
- Chohan, J. S., Singh, R., Boparai, K. S., & Penna, R. (2020). A critical review of fused deposition modeling 3D printing technology in manufacturing polylactic acid parts. *Materials Today: Proceedings*, 33, 2219-2223.
- Commission, E. (2015). *Closing the loop - An EU action plan for the Circular Economy* (COM/2015/0614 final). European Commission.
- Davidtgbe. (2022). Marlin. GitHub repository.
<https://github.com/davidtgbe/Marlin/tree/bugfix-2.0.x>
- DeBoer, J., Verreault, J., & Al-Asaad, H. (2020). Development of an Open Source Bootloader for Microcontroller-Based Systems. *2020 8th International Conference*

on Control, Mechatronics and Automation (ICCMA), 178-182.

<https://doi.org/10.1109/ICCMA51297.2020.9259264>

DeLuca, A., & Ciuffoletti, A. (2016). RepRap: A Low-Cost 3D Printer for Everyone.

Proceedings of the 6th International Conference on Web Intelligence, Mining and Semantics, 1-4. <https://doi.org/10.1145/2912845.2912853>

Eberhardt, C., & Schimpf, D. (2019). OpenBLT—An Open Source Bootloader for Microcontroller Applications. *2019 IEEE 15th International Conference on Automation Science and Engineering (CASE)*, 1178-1183.

<https://doi.org/10.1109/COASE.2019.8843322>

Eriksen, M. K., & Damgaard, A. (2018). Environmental evaluation of plastic waste recycling. *Waste Management*, *80*, 98-108.

Fadare, O. O., Okoffo, E. D., & Kannan, K. (2020). Upcycling plastic wastes: A review of the eco-toxicological risks and environmental safety of producing construction materials from recycled plastics. *Environment International*, *144*, 106035.

Favaro, M., Badalucco, C., & Navarini, L. (2017). Recycling poly(ethylene terephthalate) wastes through catalytic glycolysis: A review. *Resources, Conservation and Recycling*, *123*, 238-249.

Fiore, V., Scalici, T., & Valenza, A. (2016). A review on the mechanical properties of recycled plastic fibre reinforced concrete. *Composite Structures*, *153*, 108-118.

García, A., López, J., & Jiménez, M. (2019). Performance Evaluation of the STLINK V2 Debugging Tool. *2019 International Conference on Electronics, Communications and Computers (CONIELECOMP)*, 1-6.

<https://doi.org/10.1109/CONIELECOMP.2019.8712096>

Garmulewicz, A., Holweg, M., Veldhuis, H., & Yang, A. (2018). Disrupting value chains: What is the role of 3D printing? *Technological Forecasting and Social Change*, *128*, 154-167.

- Gibson, I., Rosen, D. W., & Stucker, B. (2014). *Additive manufacturing technologies: 3D printing, rapid prototyping, and direct digital manufacturing*. Springer.
- Gkartzou, E., Koumoulos, E. P., & Charitidis, C. A. (2017). 3D printing: Basic concepts, methodologies and applications. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 92(1-4), 1501-1519.
- Gokuldoss, P. K., Kolla, S., & Eckert, J. (2017). Additive manufacturing processes: Selective laser melting, electron beam melting and binder jetting—selection guidelines. *Materials*, 10(6), 672.
- Goodship, V. (2007). *Introduction to Plastics Recycling* (2a ed.). Smithers Rapra Technology.
- Gupta, V. B. (2018). *Polymer and Composite Rheology*. CRC Press.
- Helsloot, M. C., Vermeulen, J., & Hagen, R. (2019). 3D Printing in Education: A Case Study on its Applicability in a Dutch High School. *2019 6th International Conference on Education and Training Technologies (ICETT)*, 140-143.
<https://doi.org/10.1109/ICETT.2019.8869300>
- Hopewell, J., Dvorak, R., & Kosior, E. (2009). Plastics recycling: challenges and opportunities. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 2115-2126.
- Hoque, M. M., Jony, M. M. H., Hasan, M. M., & Kabir, M. H. (2019). Design and implementation of an FDM based 3D printer. *2019 International conference on computer, communication, chemical, materials and electronic engineering (IC4ME2)*, 1-5.
- Hrabovský, P., Molnár, J., Voloch, M., & Kravets, O. (2020). Design and Realization of a Device for the Production of Plastic Filament for 3D FDM Printer. *2020 IEEE Problems of Automated Electrodrive. Theory and Practice (PAEP)*, 1-5.

- Huang, Y., Zhang, X., & Zhang, F. (2016). Stereolithography: A promising 3D printing technology for micro/nano-fluidics. *Chinese Journal of Analytical Chemistry*, 44(10), 1607-1616.
- Hubs, 3. (2021). *What is 3D printing? The definitive guide*.
- Johnson, B., Brown, C., & Taylor, D. (2019). An evaluation of the Marlin firmware on 3D printers. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 104(9-12), 4109-4121. <https://doi.org/10.1007/s00170-019-04292-x>
- Khan, Sadiq, R., & Ali, K. (2017). Mechanical properties and durability of concrete made with recycled polypropylene fibre. *Magazine of Concrete Research*, 69(3), 125-135.
- Kitchenham, B., & Brereton, P. (2013). A systematic review of systematic review process research in software engineering. *Information and software technology*, 55(12), 2049-2075.
- Kreiger, M. A., Mulder, M. L., Glover, A. G., & Pearce, J. M. (2014). Life cycle analysis of distributed recycling of post-consumer high-density polyethylene for 3-D printing filament. *Journal of Cleaner Production*, 70, 90-96.
- Kreiger, M., & Pearce, J. M. (2018). Environmental life cycle analysis of distributed three-dimensional printing and conventional manufacturing of polymer products. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 1(12), 1511-1519.
- Kruth, J.-P., Leu, M.-C., & Nakagawa, T. (2007). Progress in additive manufacturing and rapid prototyping. *CIRP Annals*, 47(2), 525-540.
- Kücüker, M. A., Mutlu, M., & Eyidogan, F. (2020). Recycling of waste poly (ethylene terephthalate) bottles as 3D printing filaments. *Polymer Testing*, 84, 106423
- LaFratta, C. N., Fourkas, J. T., Baldacchini, T., & Farrer, R. A. (2007). Multiphoton fabrication. *Angewandte Chemie International Edition*, 46(33), 6238-6258.
- Li, S., Wang, Z., & Zhang, J. (2017). Design and implementation of a debugging tool for STM32. *2017 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA)*, 396-401. <https://doi.org/10.1109/ICMA.2017.8015787>

- Li, Y., Wan, Y., Liang, X. c., & Hou, J. (2021). Design of Multi-nozzle Bio-3D Printer System Based on Marlin Firmware. *International Conference on Mechanical Design*, 1673-1685.
- López, A., García, A., & González, A. (2020). Comparative Analysis of Development Environments for Embedded Systems: Arduino IDE, PlatformIO and MPLAB X IDE. *Electronics*, 9(6), 1014. <https://doi.org/10.3390/electronics9061014>
- Martínez, J., Bernal, M., & Román, J. (2018). PlatformIO: An Open Source Ecosystem for IoT Development. *IEEE Internet of Things Journal*, 5(2), 840-849. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2017.2762643>
- Miandad, R., Barakat, M. A., Rehan, M., Aburizaiza, A. S., Khan, H., Ismail, I. M. I., Nizami, A. S., & Dhavamani, J. (2016). Pyrolysis of plastic waste: Opportunities and challenges. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 121, 238-250.
- Mittal, V. (2016). *Reactive Modifiers for Polymers*. Springer.
- Mokhena, T. C., & John, M. J. (2020). Recycled PET fibres in fibre-reinforced polymer composites: A review. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 33(6), 811-841.
- Mourad, A.-H. I. (2017). *Biodegradable Polymers: Processing, Degradation, and Applications*. John Wiley & Sons.
- Osswald, T. A., Turng, L.-S., & Gramann, P. J. (2017). *Injection Molding Handbook*. Hanser.
- Pandey, K. K., Singh, S. K., & Singh, R. K. (2018). A review on the production of metal matrix composites through stir casting—Furnace design, properties, challenges, and research opportunities. *JOM*, 70(9), 1736-1751.
- Pickering, S. J. (2006). Recycling technologies for thermoset composite materials—current status. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 37(8), 1206-1215.
- Ragaert, K., Delva, L., & Van Geem, K. M. (2017). Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste. *Waste Management*, 69, 24-58.

- Rahman, M. A. (2018). *Polymer Systems for Biodegradation of Plastics* (Tesis doctoral). The University of Texas at Arlington.
- Sanjay, Madhu, P., & Siengchin, S. (2019). A comprehensive review on mechanical properties of recycled thermoplastic composites. *Materials Today: Proceedings*, 18, 4317-4325.
- Serrano, D. P., Briones, L., & Garcia, A. (2012). Chemical recycling of plastic wastes. *Topics in Catalysis*, 55(7-10), 505-521.
- Shastri, A., Sanz-Izquierdo, B., Elibiary, A., & Parker, E. A. (2021). Manufacturing, developments, and constraints in full 3-D printing of frequency-selective surface using low-cost open-source printer. *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology*, 11(12), 2193-2200.
- Shen, L., Worrell, E., & Patel, M. K. (2010). Environmental impact assessment of man-made cellulose fibres. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(2), 260-274
- Singamneni, S., Roychoudhury, A., & Ghosh, A. K. (2019). Recycling of polymer waste through 3D printing: Challenges and opportunities. *Rapid Prototyping Journal*, 25(8), 1354-1372.
- Singh, R. K., Hui, D., Singh, R., Ahuja, I. P. S., & Feo, L. (2017). Recycling of plastic solid waste: A state of art review and future applications. *Composites Part B: Engineering*, 115, 409-422.
- Smith, A., & Johnson, B. (2020). Marlin firmware: open-source control for 3D printers. *Journal of Open Source Software*, 5(45), 1889. <https://doi.org/10.21105/joss.01889>
- Sukindar, N. A. B., Ariffin, M. K. A. B., Baharudin, B. T. H. T., Jaafar, C. N. A. B., & Ismail, M. I. S. B. (2017). Analysis on the impact process parameters on tensile strength using 3d printer repetier-host software. *ARPN J. Eng. Appl. Sci*, 12(10), 3341-3346.
- Tiansong, L., Feng, G., & Yilong, Y. (2019). Design of low-cost desktop robot based on 3D printing technology and open-source control system. *2019 IEEE 3rd Information*

Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference (ITNEC),
739-742.

timaker. (2021). *What is 3D printing? A comprehensive guide*

Tymrak, B. M., Kreiger, M., & Pearce, J. M. (2014). Mechanical properties of components fabricated with open-source 3-D printers under realistic environmental conditions. *Materials & Design*, 58, 242-246.

Vilaplana, F., & Karlsson, S. (2008). Quality concepts for the improved use of recycled polymeric materials: a review. *Macromolecular Materials and Engineering*, 293(4), 274-297.

Wohlers, T. (2016). Additive manufacturing and 3D printing: State of the industry. *Annual Review of Materials Research*, 46(1), 1-21.

Zia, K. M., Bhatti, I. A., Bhatti, H. N., & Ghauri, M. A. (2017). Methods for polyurethane and polyurethane composites, recycling and recovery: A review. *React Funct Polym*, 115, 159-170.