



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**“DISEÑO Y ENSAMBLAJE DE UNA IMPRESORA 3D FDM  
PARA AUTOPARTES AUTOMOTRICES DE VOLUMEN 0,125  
 $m^3$ ”**



**AUTOR:** Hugo Ariel Arévalo Benalcázar

Carlos Alberto Ortega Criollo

**DIRECTOR:** Ing. Erik Paúl Hernández Rueda MSc.

Ibarra-Ecuador

**2025**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE  
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

**IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA**

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	0401811310		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Arévalo Benalcázar Hugo Ariel		
<b>DIRECCIÓN:</b>	Ibarra, Ecuador		
<b>EMAIL:</b>	<a href="mailto:haarevalo@utn.edu.ec">haarevalo@utn.edu.ec</a> <a href="mailto:huguiariel11@gmail.com">huguiariel11@gmail.com</a>		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	N/A	<b>TELF. MOVIL</b>	0959165974

DATOS DE CONTACTO			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	1004850408		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Ortega Criollo Carlos Alberto		
<b>DIRECCIÓN:</b>	Ibarra, Ecuador		
<b>EMAIL:</b>	<a href="mailto:caortega1@utn.edu.ec">caortega1@utn.edu.ec</a> <a href="mailto:carl1240801@gmail.com">carl1240801@gmail.com</a>		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	N/A	<b>TELF. MOVIL</b>	0999193908

DATOS DE LA OBRA	
<b>TÍTULO:</b>	“Diseño y ensamblaje de una impresora 3D FDM para autopartes automotrices de volumen 0,125 m <sup>3</sup> .”
<b>AUTOR (ES):</b>	Arévalo Benalcázar Hugo Ariel Ortega Criollo Carlos Alberto
<b>FECHA: AAAAMMDD</b>	2025/04/15
SOLO PARA TRABAJOS DE TITULACIÓN	
<b>CARRERA/PROGRAMA:</b>	<b>GRADO</b> <input checked="" type="checkbox"/> <b>POSGRADO</b> <input type="checkbox"/>
<b>TITULO POR EL QUE OPTA:</b>	Ingeniero Automotriz
<b>DIRECTOR:</b>	Ing. Erik Paúl Hernández Rueda MSc.



## AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Erik Paúl Hernández Rueda con cédula de identidad Nro.1002978060, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de integración curricular descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

Ibarra, a los 21 días del mes de abril de 2025

### EL AUTOR:

Arévalo Benalcázar Hugo Ariel

Ortega Criollo Carlos Alberto



## CONSTANCIAS

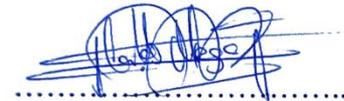
Los autores manifiestan que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que son los titulares de los derechos patrimoniales, por lo que asumen la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 21 días, del mes de abril de 2025

### EL AUTOR:

  
.....

Arévalo Benalcázar Hugo Ariel

  
.....

Ortega Criollo Carlos Alberto



## CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, 15 de abril de 2025

Ing. Erik Paúl Hernández Rueda MSc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

### CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

Ing. Erik Paúl Hernández Rueda MSc.

C.C.: 1002978060

**APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR**

El Comité Calificado del trabajo de Integración Curricular “Diseño y ensamblaje de una impresora 3D FDM para autopartes automotrices de volumen  $0,125 m^3$ .” elaborado por Arévalo Benalcázar Hugo Ariel y Ortega Criollo Carlos Alberto, previo a la obtención del título de Ingeniero Automotriz, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:

*Paul Hernández*.....

*Ing. Erik Paúl Hernández Rueda MSc.*

C.C.: 1002978060

*Jorge Luis Melo Obando*

*Ing. Jorge Luis Melo Obando MSc.*

C.C.: 1718346529



## DEDICATORIA

Este trabajo de grado está dedicado a mi familia, especialmente a mis padres, Hugo Arévalo y Mariana Benalcázar, quienes me han brindado su incondicional apoyo a lo largo de esta carrera universitaria. Gracias a su esfuerzo y amor, pude convertir en realidad uno de mis sueños: ser ingeniero automotriz. Siempre serán mi principal fuente de aliento y la motivación para seguir mejorando como profesional.

También quiero dedicarlo a mis hermanos, Ailis y Miler, quienes han sido mis compañeros fieles a lo largo de toda mi vida, ofreciéndome su apoyo y coraje para mantenerme enfocado en mis estudios.

A mi sobrino Leonardo, quien siempre ha estado a mi lado, sacándome una sonrisa, a veces un enojo o incluso un regaño, pero siempre demostrando su amor y alegría, lo cual me ha impulsado a alcanzar este logro.

*Hugo Ariel Arévalo Benalcázar*



## DEDICATORIA

Al culminar esta etapa tan importante de mi formación profesional, deseo expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas que, de una u otra manera, formaron parte de este camino.

A Dios, por darme la fortaleza, salud y perseverancia para alcanzar esta meta.

A mis padres Juan Carlos y Viviana, a toda mi familia por su amor incondicional, apoyo constante y confianza en mis capacidades. De manera especial a mi amada Nayeli por creer en mí y ser mi motivación en los momentos difíciles y por acompañarme en cada paso de este recorrido. A Emily mi hermana que con sus virtudes ha sabido demostrar el aprecio y apoyo.

¡Este logro va dedicado a todos ustedes!

*Carlos Alberto Ortega Criollo*



## **RESUMEN EJECUTIVO**

La manufactura aditiva, principalmente la impresión 3D, ha revolucionado el desarrollo de prototipos y la producción de componentes en múltiples industrias, siendo la automotriz el objetivo de estudio. Este proyecto de grado se centra en el diseño y ensamblaje de una impresora 3D de tecnología FDM (Modelado por Deposición Fundida), orientada a la fabricación de autopartes de hasta 0.125 metros cúbicos. El propósito de estudio es ofrecer una alternativa viable, económica y personalizable para la producción experimental de piezas automotrices, tanto funcionales como estructurales. Se presenta una metodología basada en un flujograma de decisiones, en donde el primer paso es el diseño de la impresora en software CAD, posteriormente la integración y ensamblaje de cada uno de los componentes seleccionados; terminando así con la valoración de impresiones, la viabilidad económica y la calidad de estas. De acuerdo con las pruebas de calidad de impresión desarrolladas con distintas orientaciones de impresión se concluyó que este parámetro afecta a las características mecánicas del material usado. Además, se validó el volumen de impresión con distintas autopartes de uso cotidiano o en su defecto de autopartes difícil de hallar en el mercado.

**Palabras clave:** Impresión 3D, industria automotriz, software CAD, viabilidad económica, orientación de impresión, características mecánicas.



## ABSTRACT

Additive manufacturing, primarily 3D printing, has revolutionized the development of prototypes and the production of components across multiple industries, with the automotive sector being the focus of this study. This project centers on the design and assembly of a 3D printer using FDM (Fused Deposition Modeling) technology, aimed at manufacturing automotive parts up to 0.125 cubic meters in volume. The objective of the study is to offer a viable, cost-effective, and customizable alternative for the experimental production of both functional and structural automotive components. A methodology based on a decision flowchart is presented, where the first step involves designing the printer using CAD software, followed by the integration and assembly of the selected components. The process concludes with an evaluation of the printed parts, their economic feasibility, and overall print quality. According to print quality tests conducted with different print orientations, it was concluded that this parameter significantly affects the mechanical properties of the material used. Furthermore, the printing volume was validated through the fabrication of various common automotive parts, including those that are difficult to find on the market.

**Keywords:** 3D printing, automotive industry, CAD software, economic feasibility, print orientation, mechanical properties.



## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I.....	18
1. INTRODUCCIÓN .....	18
1.1 Planteamiento del problema .....	18
1.2 Objetivos .....	18
1.2.1 Objetivo General.....	18
1.2.2 Objetivos Específicos .....	19
1.3 Alcance.....	19
1.4 Justificación.....	19
CAPÍTULO II .....	21
2.MARCO TEÓRICO.....	21
2.1 Procesos de Manufactura .....	21
2.1.1 Procesos de Formado.....	21
2.1.1.1 Proceso de Fundición.....	21
2.1.1.2 Moldeado. ....	22
2.1.1.3Remoción de Material.....	22
2.1.1.4Adición de material.....	23
2.2 Elementos Constructivos de una Impresora 3D FDM .....	26
2.2.1 Estructura.....	26
2.2.2 Extrusor y fusor .....	27
2.2.3 Cama.....	27
2.2.4 Ejes de impresión .....	28



2.2.5 Placa de control .....	28
2.3 Tipos de filamentos y sus características .....	28
2.3.1 Filamento ABS .....	28
2.3.2 Filamento PLA .....	29
2.3.3 Filamento PETG .....	29
2.4 Software Laminador .....	30
2.5 Código G .....	30
 CAPITULO III .....	 31
 3.MATERIALES Y MÉTODOS .....	 31
3.1. Materiales .....	31
3.1.1. Perfiles de aluminio 6063 .....	31
3.1.2. Cama .....	32
3.1.2.1. Placa calefactora .....	32
3.1.2.2. Cinta transportadora .....	33
3.1.3. Extrusor .....	34
3.1.4. Motor paso a paso .....	34
3.1.5. Correas .....	35
3.1.6. Tubo de teflón .....	36
3.1.7. Interfaz de control .....	37
3.1.8. Firmware .....	37
3.1.9. Software laminador .....	38
3.1.10. Material de aporte .....	38
3.1.11. Software CAD .....	39
3.2 Método .....	40



3.2.1 Investigación de Impresoras 3D y Factores a Satisfacer .....	42
3.2.2 Selección de Componentes .....	43
3.2.3 Diseño CAD de la impresora.....	44
3.2.4 Ensamblaje de la Impresora 3D FDM .....	45
3.2.5 Calibración y Pruebas .....	45
3.2.6 Validación y Optimización .....	48
3.2.7 Viabilidad económica.....	48
<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>49</b>
<b>4. Resultados y Discusión .....</b>	<b>49</b>
4.1. Diseño estructural.....	49
4.2. Análisis de simulación de esfuerzos.....	49
4.2.1. Configuración previa a la simulación.....	49
4.2.2. Interacciones de diseño.....	50
4.2.3. Criterio de mallado .....	50
4.2.4. Análisis de simulación.....	51
4.3 Ensamblaje de la Impresora 3D FDM.....	52
4.4 Impresiones de Prueba .....	54
4.4.1 Ajustes de parámetros de impresión de la probeta .....	55
4.4.1.1 Exportación de archivo .....	55
4.4.1.2 Preparación del modelo a imprimir.....	55
4.4.2 Preparación de la impresora. ....	57
4.4.3 Proceso de impresión.....	57
4.4.4 Obtención y Postprocesamiento .....	57
4.4.5 Procedimiento de ensayo .....	58



4.4.6 Obtención de resultados.....	58
4.5. Validación de impresión y materiales. ....	60
4.5.1. Detalles y diseño de autoparte .....	60
4.6. Optimización de la máquina.....	62
4.6.1 Implementación de rodillos extensores .....	62
4.6.1.1 Diseño de rodillos extensores .....	62
4.6.1.2. Fabricación.....	62
4.6.1.3. Instalación de Rodillos.....	63
4.7 Viabilidad económica.....	64
4.7.1 Costos de impresión .....	65
4.7.2 Rentabilidad de la fabricación de autopartes 3D.....	67
CAPITULO V .....	68
5. Conclusiones y recomendaciones .....	68
5.1. Conclusiones .....	68
5.2 Recomendaciones.....	69



## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Medidas de perfiles .....</i>	32
<i>Tabla 2. Propiedades Nailon 11 .....</i>	33
<i>Tabla 3. Características extrusor MK8 .....</i>	34
<i>Tabla 4. Características motor Nema 17 bipolar .....</i>	35
<i>Tabla 5. Especificaciones de tubo de teflón .....</i>	36
<i>Tabla 6. Propiedades PLA y PETG .....</i>	39
<i>Tabla 7. Parámetros básicos de impresión .....</i>	42
<i>Tabla 8. Temperaturas de cama .....</i>	47
<i>Tabla 9. Ajustes y resultado de mallado .....</i>	50
<i>Tabla 10. Análisis de deformación del modelo .....</i>	52
<i>Tabla 11. Medidas de probeta .....</i>	54
<i>Tabla 12. Resultado de ensayo .....</i>	59
<i>Tabla 13. Dimensiones moldura de puerta .....</i>	61
<i>Tabla 14. Costos unitarios de autopartes .....</i>	64
<i>Tabla 15. Costo de impresión .....</i>	65
<i>Tabla 16. Peso de autopartes .....</i>	66
<i>Tabla 17. Costo total de fabricación .....</i>	67
<i>Tabla 18. Comparativa Costo fabricación vs venta en locales .....</i>	67



## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Proceso de fundición.....</i>	22
<i>Figura 2. Principio general de la soldadura .....</i>	23
<i>Figura 3. Extrusión de materiales .....</i>	25
<i>Figura 4. Estructura de la impresora 3D FDM.....</i>	27
<i>Figura 5. Perfil de aluminio 6063 .....</i>	31
<i>Figura 6. Conjunto de cama caliente.....</i>	32
<i>Figura 7. Cinta transportadora .....</i>	33
<i>Figura 8. Extrusor MK8.....</i>	34
<i>Figura 9. Motor paso a paso .....</i>	35
<i>Figura 10. Correa dentada .....</i>	36
<i>Figura 11. Tubo de teflón .....</i>	36
<i>Figura 12. Placa base .....</i>	37
<i>Figura 13. Firmware.....</i>	38
<i>Figura 14. Interfaz de software laminador .....</i>	38
<i>Figura 15. Interfaz software CAD .....</i>	39
<i>Figura 16. Flujograma de metodología propuesta.....</i>	41
<i>Figura 17. Estructura .....</i>	44
<i>Figura 18. Sistema de ejes X/Y .....</i>	44
<i>Figura 19. Sistema de eje Z.....</i>	45
<i>Figura 20. Boquilla averiada por incorrecta nivelación y taponamiento. ....</i>	46
<i>Figura 21. Diseño CAD de estructura .....</i>	49
<i>Figura 22. Mallado de Estructura y ejes de movimiento.....</i>	51
<i>Figura 23. Simulación de diseño .....</i>	51
<i>Figura 24. Ensamble en CAD .....</i>	53
<i>Figura 25. Ensamble físico .....</i>	53
<i>Figura 26. Medidas de probeta.....</i>	55
<i>Figura 27. Configuración altura de capa y relleno .....</i>	56
<i>Figura 28. Configuración de velocidad de impresión .....</i>	56
<i>Figura 29. Equipo de ensayo .....</i>	58
<i>Figura 30. Grafica Deformación-Fuerza .....</i>	59
<i>Figura 31. Moldura de puerta, Renault Loga.....</i>	60
<i>Figura 32. Diseño de moldura de puerta en CAD.....</i>	61
<i>Figura 33. Extensores de impresión .....</i>	62
<i>Figura 34. Rodillos extensores impresos .....</i>	63
<i>Figura 35. Instalación de rodillos extensores en Software CAD .....</i>	63
<i>Figura 36. Instalación final de rodillos extensores .....</i>	64



## ÍNDICE DE ECUACIONES

<i>Ecuación 1.</i> Esfuerzo soportado por la probeta de ensayo.....	59
<i>Ecuación 2.</i> Depreciación de impresora. ....	65
<i>Ecuación 3.</i> Costo por consumo energético .....	65
<i>Ecuación 4.</i> Costo por material utilizado. ....	65
<i>Ecuación 5.</i> Costo por diseño.....	65
<i>Ecuación 6.</i> Costo total de fabricación .....	66



## CAPÍTULO I

### 1. INTRODUCCIÓN

#### 1.1 Planteamiento del problema

Existen diferentes elementos dentro de un vehículo que son fabricados a base de plásticos y demás polímeros, el mercado de estos elementos puede estar limitado a la región en donde el vehículo fue fabricado por lo que encontrarlos en Ecuador conlleva algo de tiempo, esto sin pensar en aquellos vehículos que son discontinuados o vehículos relativamente nuevos donde elementos de este tipo son imposibles de conseguir o en su defecto llegan a tener valores muy elevados.

Actualmente el Ecuador es uno de los países que tiene un desarrollo lento en cuanto a la manufacturación de autopartes, la innovación no puede estar presente por barreras como la financiación, la falta de personal calificado, falta de oportunidades tecnológicas o debido a problemas políticos y de impuestos. Es verdad que en otras áreas como la textil y de alimentos la manufactura ha avanzado demasiado; sin embargo, la fabricación y diseño con polímeros y plásticos se queda atrás, más aún cuando hablamos para el uso automotriz [1].

#### 1.2 Objetivos

##### *1.2.1 Objetivo General*

Diseñar y ensamblar una impresora 3D FDM para autopartes automotrices de volúmenes de hasta  $0.125m^3$  para el laboratorio de procesos de manufactura.



### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Diseñar la estructura de una impresora 3D FDM con software CAD.
- Integrar un sistema de extrusión polimérica.
- Ensamblar los diferentes componentes y sistemas garantizando un correcto funcionamiento.
- Evaluar la viabilidad económica y la calidad de las piezas impresas en comparación con métodos de fabricación tradicionales en la industria automotriz.

### **1.3 Alcance**

Se tuvo como objetivo diseñar la estructura y ensamblar una Impresora 3D, la cual se basa en la fabricación aditiva capa por capa, esta permitió obtener piezas poliméricas a partir de un diseño computarizado. La impresora fue capaz de extruir filamentos de altas temperaturas como el PETG y ser capaz de imprimir más de 50 horas continuas. Para este proyecto de implementación se propuso aumentar el volumen de impresión hasta los 0.125 m<sup>3</sup>, esto da libertad al momento de construir las diferentes autopartes y diseños didácticos en el laboratorio de procesos de manufactura.

Se realizó probetas de diferentes filamentos las cuales fueron expuestas a pruebas físicas para determinar la calidad de las piezas impresas y la viabilidad frente a otros métodos de fabricación tradicionales.

### **1.4 Justificación**

Dentro del mercado automotor existen diferentes áreas de trabajo, una de ellas es la venta de autopartes la cual trata de suplir elementos para reposición de piezas, ya sea por estar dañadas o con desgastes excesivos. Dentro de un vehículo específicamente en el habitáculo existen piezas fabricadas en distintos tipos de polímeros, muchas veces estas escasean debido



a la demanda o la discontinuidad de fabricación, por lo que su adquisición muchas veces es complicada.

Con la implementación de la impresora 3D se puede resolver la escasez de estas autopartes de polímero, pues la facilidad en el diseño y obtención de cada pieza en cortos períodos de tiempo y costos accesibles puede hacer frente a la industria tradicional, dando más libertad a la hora de obtener cada pieza que se plantee [2].

La impresión 3D no solo trae consigo innovación, sino que también promueve la sostenibilidad ambiental pues, frente a otros métodos tradicionales la impresión 3D reduce el desperdicio de materiales y reduce la huella de carbono en la fabricación de objetos [3].



## CAPÍTULO II

### 2.MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Procesos de Manufactura

La manufactura se remonta a varios siglos atrás con el surgimiento del ser humano, en particular el “homo habilis”. La palabra “manufactura” tiene sus raíces en el latín manus (mano) y factus (hacer) que significa hacer con las manos [4]. La manufactura se define como el conjunto de actividades que utiliza mano de obra, maquinaria y energía para transformar la materia prima, agregándole valor y obteniendo un producto final terminado [5]. La llegada de la revolución industrial dio inicio a la manufactura moderna, caracterizada por la producción en masa y la mecanización. Las empresas constantemente están en busca de herramientas y técnicas para elevar la competitividad dentro del mercado global [6].

##### 2.1.1 Procesos de Formado

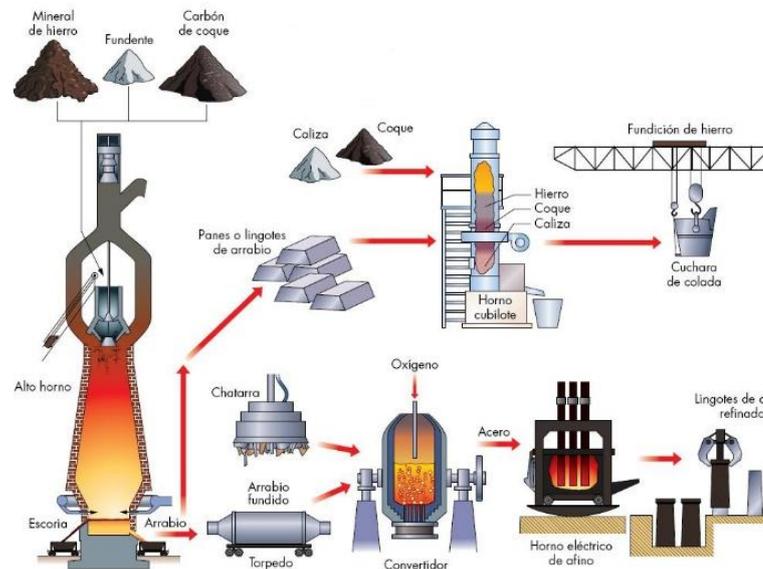
Dentro de los procesos de formado se incluyen operaciones fundamentales como la fundición, moldeo, remoción y adición de material. Estas operaciones implican la aplicación controlada de esfuerzos, temperatura y herramientas para cambiar el aspecto del material obteniendo una forma final deseada [7].

##### 2.1.1.1 Proceso de Fundición.

La fundición se define como un proceso térmico de manufactura en el cual intervienen diversos métodos técnicos como metalurgia, mecánica de fluidos, dibujo técnico, entre otros. Los metales y aleaciones que se utilizan para este proceso son llevados a estado líquido mediante una reacción química de reducción. Posteriormente, se vierten en un molde donde se solidifica y se enfría, obteniendo una geometría previamente deseada [8]. En la figura 1 se indica el proceso de fundición.



Figura 1. Proceso de fundición



Tomado de: [9]

### 2.1.1.2 Moldeado.

La técnica de moldeado consiste en deformar un material de manera controlada sin llegar a la fractura, utilizando la acción de un pisador que actúa directamente sobre el material hasta llenar una cavidad, dando forma final al producto [10]. Existen diversos métodos de moldeado tales como el método de inyección, donde se calienta el material hasta alcanzar un estado plástico y se fuerza a fluir por una cavidad de un molde a alta presión, donde finalmente se solidifica; el moldeo por compresión, en el cual se introduce una carga en la mitad de un molde, se comprime y se cura para obtener un objeto terminado; así como el moldeo por soplado, termoformado, entre otros [11].

### 2.1.1.3 Remoción de Material.

Según Espinoza, señala que las operaciones de remoción de material son el centro de la industria manufacturera desde el inicio de la revolución industrial. En esta industria, se recurre a operaciones de maquinado convencional, destacando entre las más comunes el fresado,



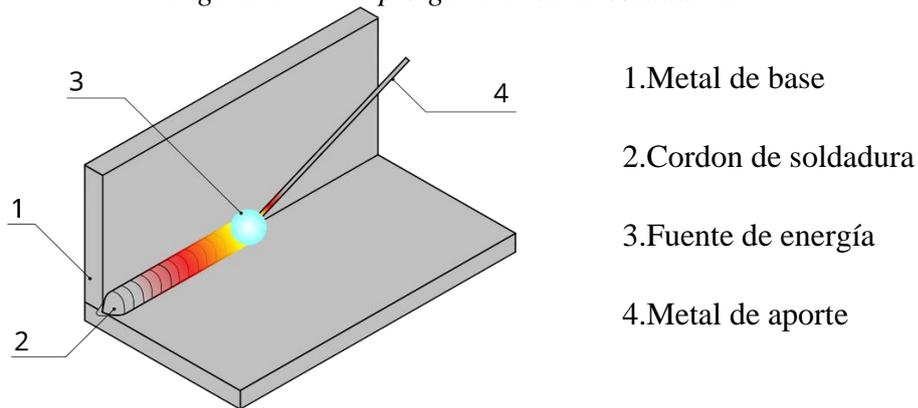
torneado y taladrado. Estas técnicas consisten en la eliminación de material utilizando herramientas rotativas de corte, permitiendo crear diversos perfiles de superficie [12].

**2.1.1.4 Adición de material.**

*Soldadura*

El propósito del proceso de soldadura es la unión de dos o más piezas, típicamente metales. Para lograr esta unión se utiliza un material de aporte que, mediante la aplicación de calor y presión forma una solución líquida de metal fundido; a medida que esta solución se enfría, se solidifica, permitiendo la unión firme entre los objetos como se indica en la figura 2 [13].

*Figura 2. Principio general de la soldadura*



Tomado de:[14]

*Impresión 3D*

La impresión 3D es un proceso automatizado en el cual se utiliza un modelo digital creado con Diseño Asistido por Computadora (CAD) para generar objetos tridimensionales mediante la adición de material capa por capa [15]. En sus inicios en la década de 1980, tuvo lugar la primera patente de impresión en 3 dimensiones utilizando resina fotosensible, presentada por el japonés Hideo Kodama, abandonando el proyecto por falta de presupuesto.



En 1984 el inventor Charles Hull creó la estereolitografía, donde se hace uso de la tecnología para crear un diseño en 3D a partir de una imagen, permitiendo probar el diseño antes de invertir en la fabricación. La tecnología de la impresión 3D se limitaba a la fabricación de objetos pequeños; sin embargo, en la actualidad las empresas que tienen proyectos de mayor alcance están explorando en aplicaciones de construcción a gran escala, desarrollando impresoras capaces de imprimir incluso partes de edificios [16].

### ***Chorro de aglomerante***

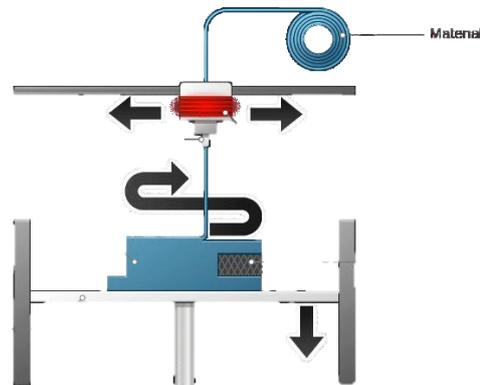
El método de chorro de aglomerante utiliza un agente aglutinante líquido que permite integrar diferentes materiales en una misma construcción. Un cabezal de impresión se encarga de escanear y seleccionar una capa de material en polvo, luego lanza un aglutinante que une las partículas, creando capas sólidas que se acumulan produciendo piezas en estado verde [17]. Las piezas verdes deben llevarse a un proceso de desempolvado, que implica retirar las piezas del lecho de polvo; a continuación, se someten a sinterización para eliminar residuos de aglomerante y obtener propiedades mecánicas adecuadas [18].

### ***Extrusión de material***

La impresión basada en extrusión de material, más bien conocida como Modelado por Deposición Fundida (FDM), representa el método de fabricación aditiva más común para la creación rápida de prototipos y piezas funcionales [19]. En este proceso, un cabezal de extrusión móvil funde filamento termoplástico, formando un objeto tridimensional de manera progresiva, apilando material capa por capa como se indica en la figura 3. Al igual que otros métodos de impresión 3D, el modelado se realiza mediante software CAD, dividiéndose en capas de espesor uniforme que se acumulan una encima de otra [20].



*Figura 3. Extrusión de materiales*



Tomado de: [21]

### ***Polimerización en tina***

La técnica de fabricación aditiva por fotopolimerización en tina se basa en el uso de una resina de fotopolímero curada por luz Ultravioleta (UV). Este proceso es utilizado para la creación de geometrías complejas que no son fáciles de realizar por métodos tradicionales de fabricación. La resina de fotopolímero se llena en una tina, donde es solidificada por capas mediante la irradiación UV [22]. Entre las tecnologías más destacadas dentro de este método se encuentran la Estereolitografía (SLA), que emplea un láser para dibujar una capa de impresión en la resina de fotopolímero, y el Procesamiento Digital de Luz (DLP), que proyecta una imagen 2D en un micro espejo digital, curando toda una capa de resina de manera más rápida y eficiente que la estereolitografía [23].

### ***Fusión de lecho de polvo***

El método por fusión de lecho de polvo permite crear objetos tridimensionales utilizando partículas de polvo metálico o de polímero; fundiendo selectivamente el lecho de polvo mediante un haz de electrones o un rayo láser formando capas sucesivas hasta completar una forma deseada [24].



### ***Deposición directa de energía***

La tecnología de Deposición Directa de Energía (DED) se destaca por tener un enfoque industrializado, ya que se puede realizar piezas metálicas complejas, reparaciones y remanufacturado de manera rápida y eficiente; esta técnica se aplica en el sector automotriz y aeronáutica, está adaptado para trabajar con metales de alto rendimiento como acero aleado, acero inoxidable, acero para materiales, entre otros [25]. Este método de fabricación aditiva realiza pequeños baños de fusión utilizando una fuente de calor de alta densidad energética como un rayo láser, haz de electrones o un arco de plasma, que se encarga de fundir el material de alimentación que es entregado en forma de alambre o polvo, con la ventaja de poder reducir significativamente el desperdicio de material [26].

### ***Laminación de hojas***

El método por laminación de hojas es un proceso de fabricación de objetos tridimensionales utilizando material cortado en capas con un espesor requerido, las cuales se apilan mediante un mecanismo [27]. Comúnmente, se emplean láminas de papel recubiertas con adhesivo, plásticos o laminas metálicas, que son cortadas mediante un láser o cuchillas afiladas. Estas laminas son pegadas capa por capa para dar forma al objeto deseado [28].

## **Elementos Constructivos de una Impresora 3D FDM**

Una impresora 3D FDM se compone por varios elementos constructivos fundamentales que trabajan en conjunto para poder fabricar objetos capa por capa. Entre ellos se encuentran la estructura, sistema de extrusión, cama, ejes y placa de control.

### ***2.2.1 Estructura***

La estructura o también llamada chasis es el sistema que aloja los elementos constituyentes de la impresora; es esencial disponer de una estructura capaz de brindar robustez



al sistema y ayudar a la precisión en la impresión [29]. Una excelente impresión conlleva largos períodos de trabajo de los sistemas adyacentes por lo que la calidad de esta también dependerá de una correcta estructura que no limite las velocidades de impresión y los movimientos continuos del extrusor y fusor [30]. (figura 4)

*Figura 4. Estructura de la impresora 3D FDM*



Tomado de:

### **2.2.2 Extrusor y fusor**

El extrusor es el elemento encargado de desplazar el filamento desde su depósito hasta el fusor, el hilo del filamento se irá entregando de manera controlada de acuerdo con la demanda del diseño [30].

En cuanto al fusor es el que se encarga de fundir el filamento mediante una resistencia que calentará la boquilla, y así dar forma al diseño en la cama [31].

### **2.2.3 Cama**

Principalmente funciona como base para que se asiente el diseño, por lo que la primera capa estará agarrada sobre esta. Para obtener un excelente agarre es necesario que la cama tenga una temperatura adecuada que apoye al filamento a mantenerlo estable y fundido, esta temperatura estará cercana a los 100 °C [32].



### 2.2.4 Ejes de impresión

El espacio definido para la impresión está dividido en 3 ejes, X, Y y Z. El eje X comprende el movimiento lateral del extrusor, el eje Y movimientos de adelante hacia atrás y el eje Z el movimiento vertical completando así las tres dimensiones para crear objetos detallados [33].

### 2.2.5 Placa de control

Los comandos, la temperatura de fundición de los filamentos y el control hacia todos los elementos incluyendo motores es gracias a una placa de control, está se encargará de procesar las variables de impresión de acuerdo a las necesidades de diseño [34].

## 2.3 Tipos de filamentos y sus características

Existen distintos tipos de filamentos para ser utilizados en impresión 3D, como son el ABS (acrilonitrilo butadieno estireno), PLA (ácido poliláctico) y PETG (tereftalato de polietileno modificado con glicol). Cada uno de estos con propiedades específicas que los hacen ideales para diversas aplicaciones.

### 2.3.1 Filamento ABS

El ABS ha sido usado en diseños de calidad ingenieril debido a sus propiedades mecánicas; su elaboración y procesamiento es más complejo del resto de plásticos debido a la mezcla de propiedades de tres monómeros: Acrilonitrilo, Butadieno y Estireno, de ahí su nombre ABS [35].

La sinergia de materiales usados en el ABS permite que se obtenga mejores propiedades por sí solos, por lo que cada uno aporta de la siguiente forma:

- Acrilonitrilo añade dureza, rigidez y estabilidad a altas temperaturas.



- Butadieno aporta tenacidad en altas y bajas temperaturas, esto sin volverse quebradizo. Es de recalcar su gran resistencia al impacto.
- Estireno brinda rigidez y resistencia mecánica.

Una de las características que lo hace esencial para el uso en impresión 3D es que no arde al estar sometido a alta temperatura, sino que puede extruirse y moldearse y una vez frío vuelve a su estado sólido [36].

### 2.3.2 *Filamento PLA*

El Ácido Poliláctico, también conocido como PLA es uno de los materiales más usados en la impresión 3D; es un buen material para iniciar en la impresión gracias al fácil uso, a que es más económico, puede tener muchas aplicaciones y sobre todo es ecológico ya que es un derivado de cultivos de maíz y caña [37].

El PLA se caracteriza por tener temperaturas de fusión más bajas que el ABS, por lo que no es necesario tener una cama caliente o cámaras de impresión cerradas [38]. Cierta propiedad que recalcar del PLA es su rigidez lo que lo hace atractivo para elementos de interiores, sin embargo, su resistencia al calor es menor que el ABS, por lo que en ambientes de altas temperaturas se volverá quebradizo.

Al ser un material sin complejidades mecánicas y económico lo hace ideal para el prototipado y creación de gadgets en la industria automotriz [39].

### 2.3.3 *Filamento PETG*

Este filamento se caracteriza por combinar las propiedades del ABS (más fuerte, resistente a altas temperaturas y más duradero) y el PLA (fácil manejo) en un solo material [40]. El PETG está formado del PET (termoplástico reciclable) al cual se le añade Etilenglicol para fortalecer sus propiedades (por ello la letra G al final). Se incorpora etilenglicol durante



el proceso de polimerización, dando como resultado un filamento más transparente, incluso que su forma básica PET; es fácil de utilizar, menos quebradizo y más resistente a impactos [41].

## **2.4 Software Laminador**

Para el proceso de impresión se utiliza un modelo 3D y la impresora 3D, donde en medio de estos dos entra una herramienta de gran importancia. Los Software Laminador son programas donde se prepara cortando en capas un modelo 3D con las características y especificaciones que se desee construir la pieza final. Generando por último un código G, un lenguaje de control numérico. Es decir, en estos programas se convierte un archivo de diseño STL en un archivo de control que es enviado a la impresora[42].

## **2.5 Código G**

El código G es el lenguaje universal de las máquinas de Control Numérico Computarizado (CNC). Este lenguaje permite a la maquina seguir una serie de comandos para fabricar una pieza final, por medio de valores alfa numéricos que se encargan de especificar cada movimiento de la maquina con precisión. Dentro de la impresión FDM se incluyen comandos como movimiento, extrusión, calentamiento, entre otros[43].



## CAPITULO III

### 3.MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Materiales

Para el ensamble de la impresora 3D se seleccionan diversos materiales y componentes con el objetivo de garantizar un resultado duradero y eficiente.

##### 3.1.1. Perfiles de aluminio 6063

Para su construcción, se utilizó perfiles de aluminio 6063 con ranura en T (figura 5), una aleación de aluminio con magnesio y silicio, destacado por tener excelentes propiedades mecánicas y resistente a la corrosión, lo que la hace ideal para la mayoría de las aplicaciones en exteriores[44]. La configuración del perfil es uniforme en toda la estructura cortado en diferentes longitudes como indica la tabla 1.

*Figura 5. Perfil de aluminio 6063*



Tomado de: [45]

*Tabla 1. Medidas de perfiles*

Perfil	Ancho (mm)	Grosor (mm)	Largo (mm)
Perfiles de base	40	20	595
Perfiles de soporte	40	20	395
Perfil de eje y	40	20	494
Perfil de eje x	20	20	375

### 3.1.2. Cama

El conjunto de la cama de impresión está compuesto por dos piezas importantes que trabajan de manera conjunta para garantizar un rendimiento óptimo. Estas piezas son una placa calefactora de aluminio y una cinta transportadora de nailon 11.

#### 3.1.2.1. Placa calefactora

Esta es una placa de aluminio integrada con una resistencia para generar calor, puede calentarse hasta los 100 °C. Está situada bajo la cinta transportadora y se encarga de calentarla para asegurar una buena adherencia de las primeras capas de material (Figura 6).

*Figura 6. Conjunto de cama caliente*

Tomado de: [45]



### 3.1.2.2. Cinta transportadora

Se utilizó una cama fabricada en nailon 11 resistente a altas temperaturas de hasta 240 °C, superficie plana y lisa resistente a la flexión[46] (figura 7). Funciona como una cinta transportadora, es en esta superficie donde el extrusor aplica el material de impresión. Las propiedades del material se indican en la tabla 2.

*Figura 7. Cinta transportadora*



Tomado de: [45]

**Tabla 2. Propiedades Nailon 11**

<b>PROPIEDADES</b>
Alta resistencia a condiciones ambientales
Alta resistencia a productos químicos
Buena estabilidad dimensional
Buena resistencia al calor y rayos UV
Resistente al desgaste y deformación
Alta resistencia a la fatiga



### 3.1.3. Extrusor

Se utilizó el extrusor MK-8 de aluminio debido a que es mejor que los extrusores de plástico (figura 8), y presenta excelentes características que se muestra en la tabla 3. Este es el encargado de suministrar el material de impresión al fusor, está compuesto por un motor y un conjunto de dos engranes impulsores que mueven el material.

*Figura 8. Extrusor MK8*



*Tabla 3. Características extrusor MK8*

CARACTERÍSTICAS	
<b>Material</b>	Aleación de aluminio 6061
<b>Engranaje</b>	40 dientes
<b>Peso</b>	49 g
<b>Voltaje de motor</b>	(12 - 24) V
<b>Par de retención</b>	0.4 Nm
<b>Compatibilidad de materiales</b>	ABS/PLA/PETG/TPU

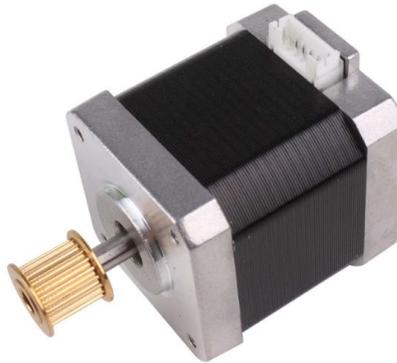
### 3.1.4. Motor paso a paso

Se utilizó motores bipolares Nema 17 de control gradual, caracterizados por su alta precisión, funcionamiento silencioso y eficiente disipación de calor, se muestran en la figura



9. Estos son los encargados de generar movimiento en los ejes X, Y y Z. Las especificaciones detalladas se muestran en la tabla 4.

*Figura 9. Motor paso a paso*



*Tabla 4. Características motor Nema 17 bipolar*

<b>CARACTERÍSTICAS</b>	
<b>Modelo</b>	BJ42D29-16V06
<b>Velocidad</b>	3000 rotaciones
<b>Voltaje de funcionamiento</b>	12 - 24 V
<b>Potencia</b>	1 hp
<b>Ángulo de paso</b>	1.8 grados
<b>Par de retención</b>	0.4 Nm
<b>Corriente nominal</b>	1A

**3.1.5. Correas**

Se utiliza correas dentadas de 6 mm de ancho fabricadas de caucho reforzado con fibra de vidrio, lo que les otorga flexibilidad sin comprometer la resistencia a la deformación[47] (figura 10).



*Figura 10. Correa dentada*



### **3.1.6. Tubo de teflón**

La impresora utiliza un sistema de extrusión tipo Bowden, por lo que se utilizó un tubo de teflón resistente a altas temperaturas para trasladar el material, como se indica en la figura 11. Se detalla las especificaciones en la tabla 5.

*Figura 11. Tubo de teflón*



***Tabla 5. Especificaciones de tubo de teflón***

---

**ESPECIFICACIONES**

---

Excelentes propiedades térmicas:  $-180^{\circ}\text{C}$  a  $+260^{\circ}\text{C}$ .

Antiadherente

Excelente resistencia a la presión

No envejece

Inerte químicamente

Resistente a los agentes agresivos y corrosivos

---



### 3.1.7. Interfaz de control

La interfaz de control es un elemento muy importante dentro de la máquina, ya que a esta se conectan todos los elementos necesarios para su funcionamiento. Existen múltiples modelos de interfaces, todas programables, lo que permite configurarlas para diversas aplicaciones. En este caso, se ha adaptado para una impresora 3D.

*Figura 12. Placa base*



### 3.1.8. Firmware

Para la transferencia de datos se utilizó el software libre Marlin, ampliamente utilizado en la mayoría de impresoras 3D. Para el modelo de impresora ensamblado, existe una versión ya establecida (Marlin 2.0.6.3T12) (figura 13), la cual, al ser de código abierto, puede descargarse e instalarse fácilmente desde internet. Este firmware es conocido por ofrecer impresiones de alta calidad y proporcionar un control completo sobre el proceso de impresión.



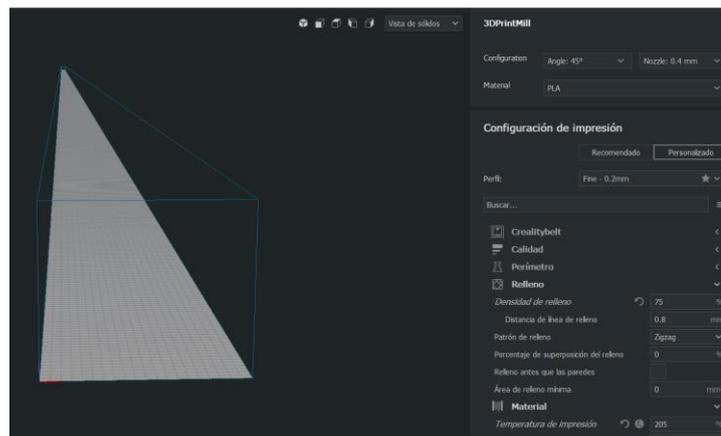
Figura 13. Firmware



### 3.1.9. Software laminador

El software laminador es exclusivo para el modelo de impresora ensamblado, ya que está preconfigurado para realizar la laminación de capas a 45°. Su interfaz es simple y de fácil uso.

Figura 14. Interfaz de software laminador



### 3.1.10. Material de aporte

Para la impresión de piezas de prueba, se emplea filamentos de PLA y PTG. Las propiedades físicas y mecánicas de estos materiales se indican en la tabla 6.



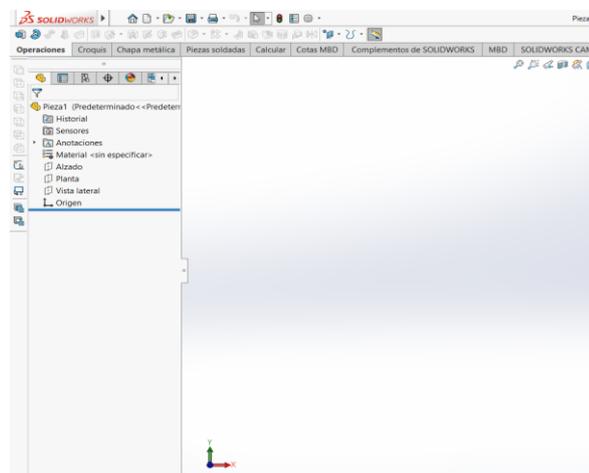
*Tabla 6. Propiedades PLA y PETG*

Cualidad	PLA	PETG
Densidad ( $g/cm^3$ )	1.24	1.27
Resistencia a la tracción (MPa)	40	60
Resistencia al impacto ( $kJ/m^2$ )	20	105
Limite elástico (Mpa)	55	39
Temperatura de impresión ( $^{\circ}C$ )	185 - 210	225 - 245
Resistencia a UV y humedad	Muy baja	Buena

### 3.1.11. Software CAD

El diseño de probetas de ensayo y piezas adicionales para su implementación en la impresora 3D se realizó utilizando un software CAD. En la figura 15 se indica la interfaz del programa.

*Figura 15. Interfaz software CAD*



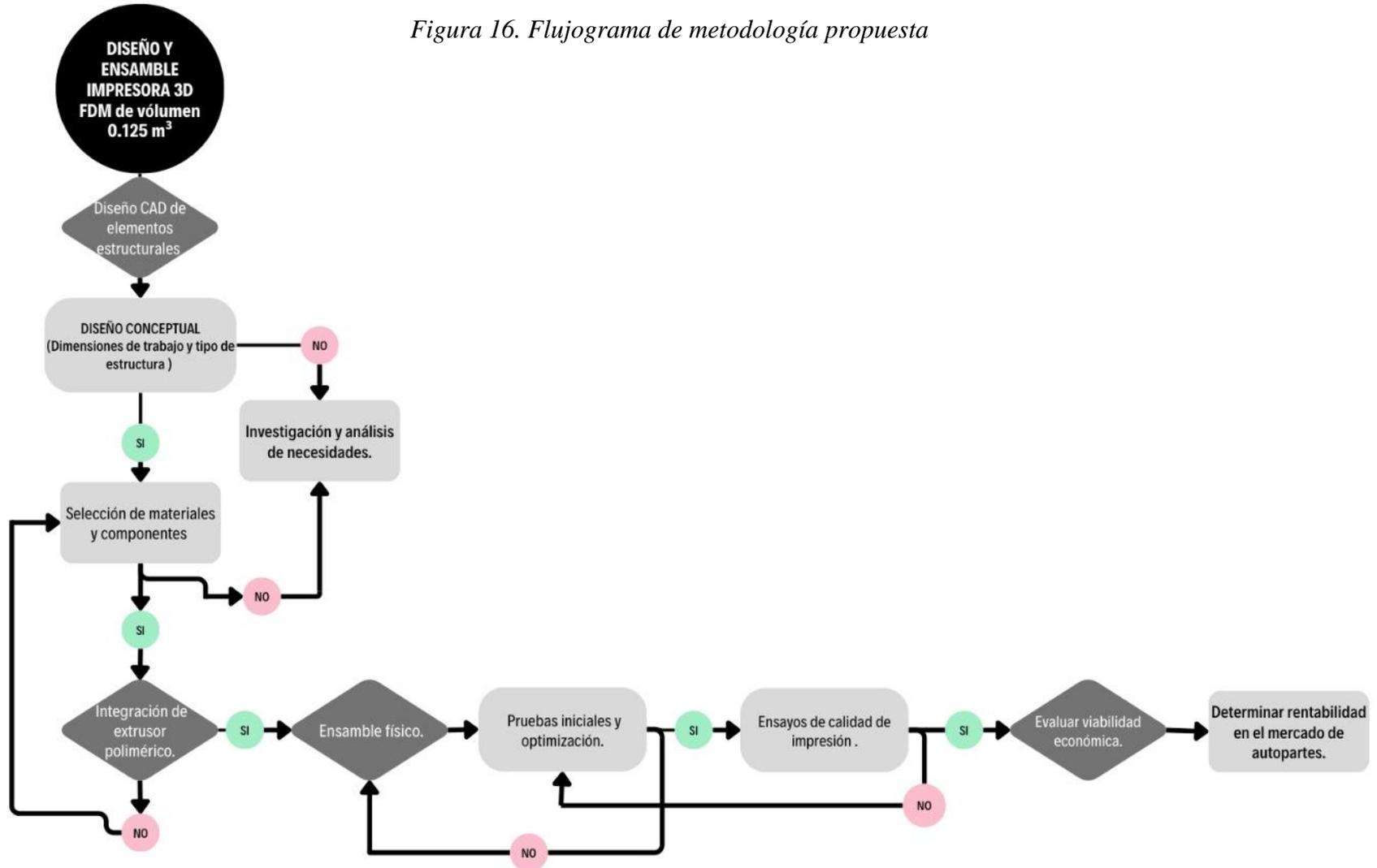


### 3.2 Método

El método describe el diseño y ensamblaje de una impresora 3D FDM para la obtención de partes automotrices en los laboratorios de procesos de manufactura de la Universidad Técnica del Norte (UTN), tomando en cuenta las necesidades de la carrera de ingeniería automotriz de la facultad FICA. El proceso como se indica en la figura 16 sigue una investigación de impresoras 3D en el mercado y se basa en un enfoque de bajo costo y eficiencia para satisfacer los requisitos del volumen de impresión y materiales a utilizar.



*Figura 16. Flujoograma de metodología propuesta*





### 3.2.1 Investigación de Impresoras 3D y Factores a Satisfacer

- Volumen de Impresión: Se estableció un volumen de impresión de 0.125 metros cúbicos.
- Materiales de Impresión: PLA, PETG
- Forma de Impresión: Se eligió una impresora FDM por su precisión, bajo costo y sistema de extrusión polimérica.
- Facilidad de Uso: La impresora debe ser versátil y operable por todo el personal del laboratorio.
- Evaluación de Materiales: Se analizarán las propiedades mecánicas de los materiales al imprimir piezas automotrices, asegurando que cumplan con los requerimientos establecidos.

Se optó por un modelo de impresora 3D que se caracteriza por su sistema de ejes X/Y inclinado a 45° y una banda transportadora que actúa como un eje Z infinito. Esta configuración permite la impresión en serie o la creación de objetos de longitud ilimitada sin necesidad de intervención manual, utilizando tecnología FDM, satisfaciendo el volumen de impresión requerido. Los parámetros de impresión se indican en la tabla 7.

**Tabla 7. Parámetros básicos de impresión**

<b>PARÁMETROS BÁSICOS</b>	
Tamaño de impresión	200 x 170 mm x infinito
Tecnología de modelado	FDM
Número de boquillas	1
Espesor de capa	0.2mm
Diámetro de boquilla	Estándar 0.4 mm
Precisión de eje XY	± 0.1mm



Filamento	PLA/PETG
Formato de archivo	STL
Transferencia de archivos	Tarjeta de almacenamiento
Software laminador	Software laminador a 45° de inclinación
Voltaje de entrada	110-120V, 50 Hz
Potencia total	350W
Temperatura de la cama	0-100°C
Temperatura de boquilla	0-240°C
Reanudación de impresión	Si
Sensor de filamento	Si
Idioma	Ingles
Sistemas operativos compatibles	Windows
Velocidad de impresión	30-60mm/s

### 3.2.2 Selección de Componentes

La selección de componentes para la impresora 3D dependen del propósito de uso, siendo uno de los parámetros más importantes el área de impresión requerida. Por lo que se seleccionaron los siguientes componentes.

- Componentes Mecánicos: Ejes, correas, tornillos y guías lineales.
- Electrónica: Placa controladora, sensores y fuente de alimentación.
- Materiales Estructurales: Perfiles de aluminio, tornillos y accesorios para el montaje.
- Cama Caliente y Sistema de Extrusión: La cama debe ser capaz de soportar hasta 100 °C para el uso de diferentes polímeros y el extrusor hasta 240 °C.



### 3.2.3 Diseño CAD de la impresora

Estructura de la Máquina: Esta se diseñará en un software CAD. El diseño incluirá:

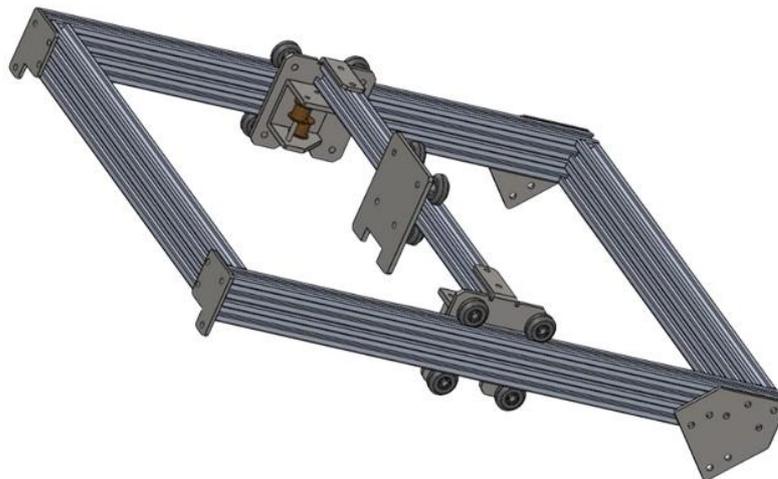
- Chasis: Estructura rígida de perfiles de aluminio. (Figura 17)

*Figura 17. Estructura*



- Sistema de Movimiento de Ejes X/Y: Incorporación de guías lineales y perfiles para el movimiento en el eje X y Y. (Figura 18)

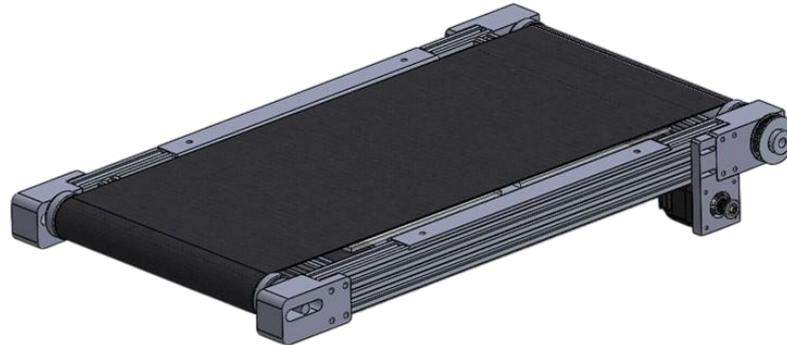
*Figura 18. Sistema de ejes X/Y*



- Sistema de Movimiento de Eje Z: Incorporación de guías lineales y correa para el movimiento en el eje Z.



*Figura 19. Sistema de eje Z*



- Extrusor: Sistema de extrusión compatible con varios tipos de filamentos.
- Cama Caliente: Cama de impresión con ajuste de temperatura controlado.

#### ***3.2.4 Ensamblaje de la Impresora 3D FDM***

El proceso de ensamblaje de la impresora 3D comienza con la construcción de la estructura portante, utilizando perfiles de aluminio para garantizar un chasis robusto y estable. A continuación, se instalan los motores paso a paso y las guías lineales en los ejes X, Y y Z, asegurando precisión en el movimiento. Posteriormente, se monta la cama de impresión, esta integra la cinta transportadora junto a su sistema de calefacción para mejorar la adherencia del material. Luego, se instala el extrusor, este se ubica en la estructura de la impresora y se conecta con el fusor mediante un tubo de teflón. Una vez completados estos pasos, se conecta la placa controladora junto con los drivers, sensores y todos los sistemas de control. Finalmente, se realiza el cableado y se verifica que todos los componentes estén correctamente alimentados para garantizar el funcionamiento.

#### ***3.2.5 Calibración y Pruebas***

Para iniciar el proceso de impresiones de prueba es necesario realizar configuraciones previas, como ajustar la nivelación de la cama, la alineación de los ejes



y la temperatura de impresión. Sin embargo, es común encontrarse con algunos errores por mala calibración de los componentes.

Durante el ensamblaje y calibración de la impresora es común encontrarse con errores de configuración e impresión que pueden terminar afectando la calidad del diseño final.

- **Desnivel en la cama de impresión:** Si la zona de impresión no está correctamente nivelada puede existir una mala adherencia en las primeras capas de impresión, causando así deformaciones o que la pieza se despegue de su base.
- **Error de distancia entre extrusor y cama:** Una mala holgura entre la cama de impresión y el extrusor puede llevar a bloquear la salida de material o daños en la cama, deberá existir una distancia recomendada por el fabricante y así evitar errores de impresión o daños en esos elementos, como se indica en la figura 20.

*Figura 20. Boquilla averiada por incorrecta nivelación y taponamiento.*



- **Temperatura incorrecta:** Cuando se selecciona mal la temperatura sea del extrusor o de la cama se puede obtener productos con deformación y mala calidad en las capas comprometiendo así la resistencia de la pieza.



- **Calibración incorrecta en ejes:** Una calibración inadecuada causará errores dimensionales en la pieza o superficies irregulares, es necesario revisar correcto funcionamiento de sensores y motores.
- **Piezas adheridas a la cama de impresión:** Debido a diferentes razones se puede presentar que la pieza impresa quede adherida a la cama y su extracción pueda terminar en deformación de la pieza o daños en la superficie de la cama. Por ello hay parámetros que se debe tomar en cuenta:
- **Temperatura de la cama:** es necesario que se trabaje con la temperatura recomendada para cada tipo de material. Al tomar temperaturas equivocadas las primeras capas de la pieza pueden fundirse en la cama y evitar su extracción completa. En la siguiente tabla 8 se presenta algunas temperaturas recomendadas en la cama para cada tipo de material.

**Tabla 8. Temperaturas de cama**  
**Temperatura de la cama para diferentes materiales**

PLA	60 °C
PETG	75 °C

- **Tipo de superficie de la cama:** las superficies de cada cama pueden ser especiales para mejorar la adhesión. Sin embargo, para ciertos materiales esta adhesión puede ser demasiada así logrando que se queden pegadas las piezas.
- **Impresiones de Prueba:** Realizar pruebas de impresiones para validar la precisión dimensional. Se realizó probetas en base a la norma *ASTM D638* que establece el procedimiento para realizar pruebas de tracción en materiales plásticos. Al aplicar



este ensayo se obtendrá una referencia objetiva sobre la integridad estructural y la calidad del material utilizado, así verificando calidad para las distintas aplicaciones funcionales.

### ***3.2.6 Validación y Optimización***

Realizar pruebas de materiales imprimiendo prototipos de autopartes con diversos materiales para verificar su comportamiento en términos de resistencia mecánica y precisión. De igual manera, realizar ajustes finales para la optimización y configuración del firmware y parámetros de impresión según los resultados obtenidos en las pruebas. Por último, implementar rodillos extensores con fin de aumentar la eficiencia y automatización en las impresiones, se propone implementar unos rodillos que nos darán las siguientes ventajas:

- Capacidad de impresión de grandes longitudes continuas: esto permitirá imprimir autopartes que necesiten de una sola sesión y de gran longitud.
- Impresiones en serie: Cuando se tenga sesiones de impresión en serie se puede apoyar de los rodillos que permitirán almacenar todas las piezas ya completadas en otra área automáticamente y así evitar el despegue manual.

### ***3.2.7 Viabilidad económica***

A partir de una tabla de costos se evaluará un promedio de los gastos involucrados para la elaboración de piezas automotrices en la impresora 3D y se lo comparará con piezas que se encuentran en el mercado.



## CAPÍTULO IV

### 4. Resultados y Discusión

#### 4.1. Diseño estructural

Se realizó el diseño de la impresora 3D con la finalidad de analizar el comportamiento estructural mediante una simulación de esfuerzos, centrándose en los ejes de movimiento y los perfiles estructurales como se indica en la figura 21. Esto permite evaluar la resistencia y rigidez de los componentes críticos, asegurando la estabilidad y precisión durante el funcionamiento.

*Figura 21. Diseño CAD de estructura*



#### 4.2. Análisis de simulación de esfuerzos

##### 4.2.1. Configuración previa a la simulación

En apartados anteriores, se describieron las diferentes partes que conforman la impresora 3D, sus características físico-mecánicas y la función que desempeñan cada una de estas. Asimismo, se realizó una simulación de esfuerzos en la estructura y los ejes de movimiento, con la ayuda de softwares de simulación. Este análisis permite evaluar los valores de esfuerzo en puntos críticos y detectar posibles deformaciones en partes de la impresora. Este modelo de impresora puede funcionar de manera continua hasta 200 horas



sin falla, lo que es de importancia conocer si la estructura es lo suficientemente resistente para soportar esa carga de trabajo.

#### **4.2.2. Interacciones de diseño**

Se configuraron las interacciones necesarias para que el diseño se asemeje a las condiciones reales del modelo físico, realizando ajustes tanto en elementos fijos como en componentes que estarán sometidos bajo cargas, de modo que el comportamiento estructural refleje de manera precisa las condiciones a las que estarán expuestas.

#### **4.2.3. Criterio de mallado**

Para llevar a cabo una simulación precisa, se inicia realizando ciertas configuraciones de parámetros necesarios, como es el proceso de mallado. Este proceso subdivide el diseño en elementos más pequeños para ser definido de una forma más detallada y exacta. En la tabla 9 se detalla los ajustes de mallado.

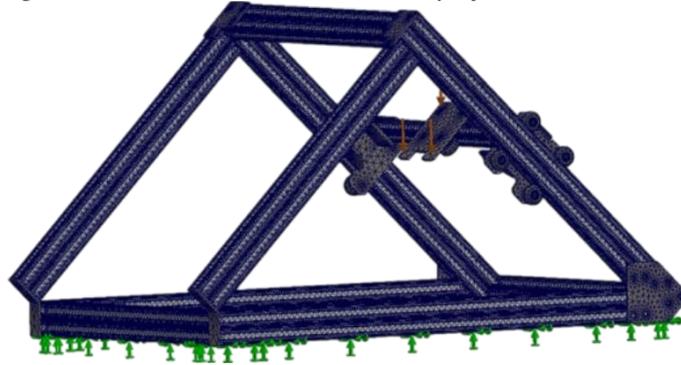
***Tabla 9. Ajustes y resultado de mallado***  
**Ajustes y resultados de mallado**

Densidad de malla	Fina
Calidad de malla	Alta
Número de nodos	1218682

Configurar de manera correcta el criterio de mallado es fundamental para obtener resultados de un alto grado de confiabilidad. En la figura 22 se muestra la aplicación de la malla en la estructura y ejes de movimiento de la impresora.



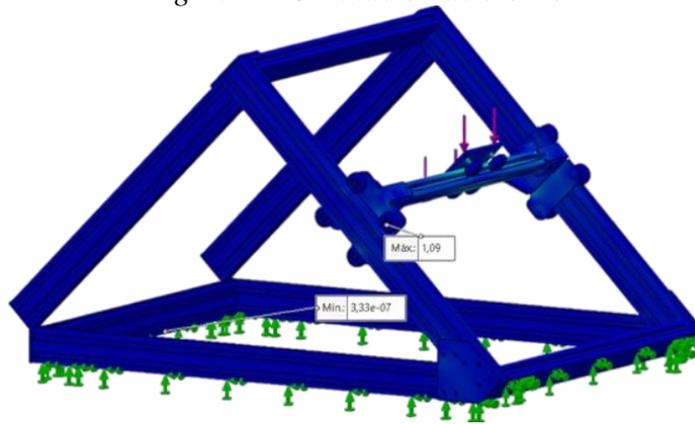
Figura 22. Mallado de Estructura y ejes de movimiento



#### 4.2.4. Análisis de simulación

Previamente se realizó el análisis de elementos finitos es decir el mallado para a continuación seguir con el proceso de simulación.

Figura 23. Simulación de diseño



Como se observa en la figura 23, existen esfuerzos máximos y mínimos, los cuales son insignificantes, ya que la sección de extrusión de la máquina soporta únicamente una carga que genera una fuerza de no más de 3 Newtons. El esfuerzo máximo que presenta es de 1.09 MPa sobre los rodamientos de las ruedas excéntricas en el eje Y. Sin embargo, es importante mantener lubricadas las partes móviles, especialmente las ruedas excéntricas, y realizar ajustes periódicos en la estructura de la máquina.

*Tabla 10. Análisis de deformación del modelo*

<b>Análisis de deformación del modelo</b>	
Deformación máxima (mm)	0.012
	0.0108
	0.00962
	0.00842
	0.00721
	0.00601
	0.00481
	0.00361
	0.0024
	0.0012
Deformación mínima (mm)	0

Con base a la simulación realizada, en la tabla 10 se puede observar que los valores de deformación son mínimos, siendo el mayor valor de deformación 0.012 mm sobre el eje X, por lo que no será un problema para que la impresora pueda soportar impresiones de larga duración sin comprometer su integridad. Los componentes están diseñados para trabajar de forma eficiente sin experimentar deformaciones.

#### **4.3 Ensamblaje de la Impresora 3D FDM**

Integrando todos los elementos constructivos propuestos y sus dimensiones se obtuvo una máquina de impresión 3D FDM capaz de imprimir autopartes de 0.125 m<sup>3</sup>. La impresora ha sido construida con base en el diseño previamente simulado para resistir los esfuerzos esperados durante la impresión. Actualmente, el equipo está listo para iniciar las pruebas de calidad de impresión y optimización, con el objetivo de validar

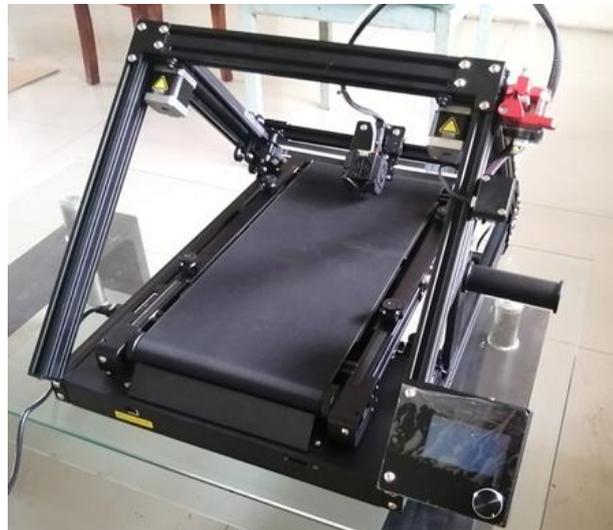


resistencia y fiabilidad en la producción de piezas. En la figura 24 y 25 se muestra el diseño propuesto y el ensamble final obtenido.

*Figura 24. Ensamble en CAD*



*Figura 25. Ensamble físico*





#### 4.4 Impresiones de Prueba

La norma ASTM D368 es un estándar utilizado para evaluar propiedades mecánicas en elementos plásticos. Bajo esta norma se permitirá obtener características como la resistencia a la tracción, el módulo elástico y la elongación del material hasta el punto de rotura. Se diseñó las probetas con ayuda de un software CAD bajo las dimensiones propuestas en la norma, tal como se indica en la figura 25 y la tabla 11. Para esta ocasión se utilizó una densidad de relleno del 100%, lo que nos dio una pieza completamente rígida.

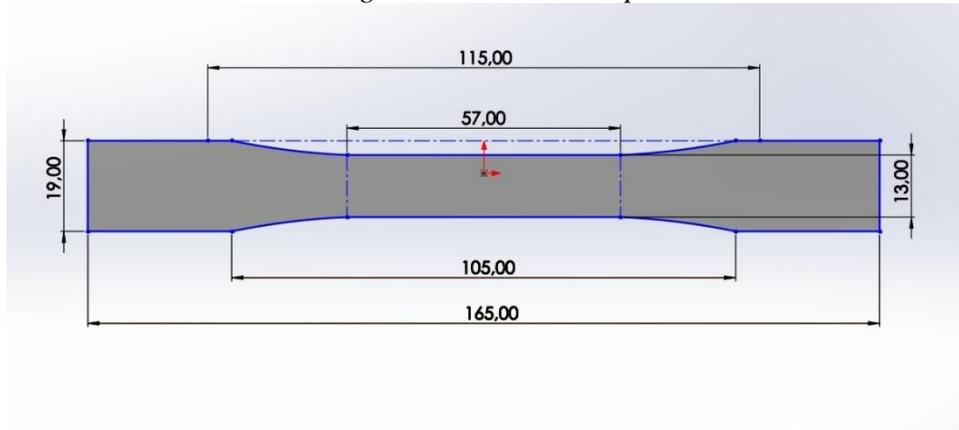
*Tabla 11. Medidas de probeta*

**Dimensiones para la probeta propuesta en la norma ASTM D638**

<b>Elemento</b>	<b>Medida (mm)</b>
Largo total	165
Largo zona de deformación	105
Largo zona de rotura	57
Ancho (alto) de probeta	19
Ancho de zona de deformación	13
Espesor	3.2



Figura 26. Medidas de probeta



#### 4.4.1 Ajustes de parámetros de impresión de la probeta

##### 4.4.1.1 Exportación de archivo

Una vez que se ha diseñado el objeto a imprimir se lo guardó en un archivo compatible con el software laminador a utilizar. Archivo STL conocidos como archivos de diseño.

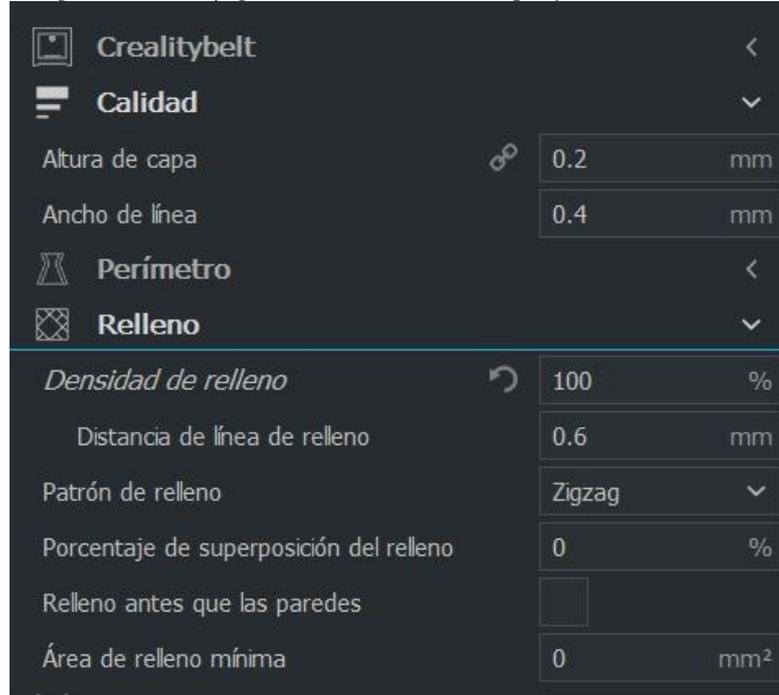
##### 4.4.1.2 Preparación del modelo a imprimir

Cuando se haya importado el archivo se procede a configurar los parámetros de impresión, estos dependerán del tipo de material a usar:

- **Material:** El filamento a usar fue el PLA para la cual se escogió la temperatura de la cama y del fusor ya recomendados.
- **Calidad:** Se determinó los acabados de la pieza a imprimir tales como se observa en la figura 27.

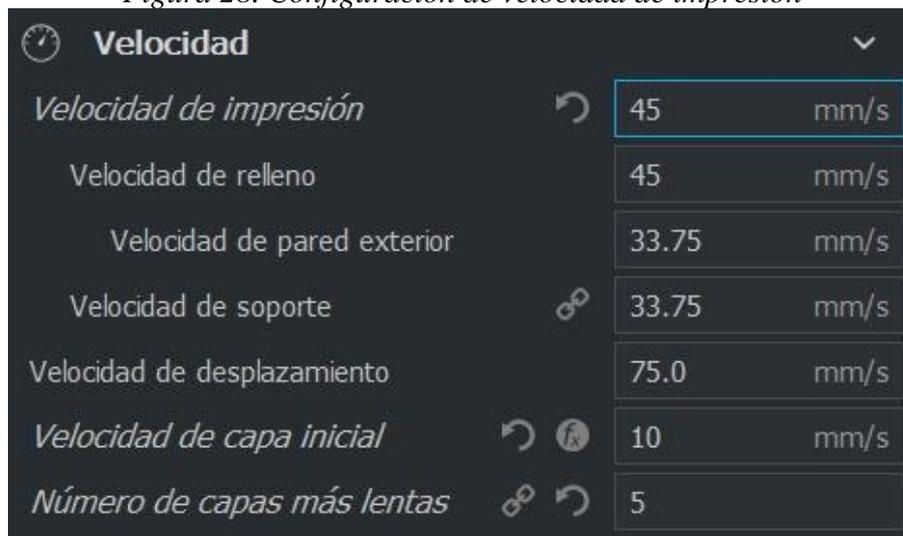


*Figura 27. Configuración altura de capa y relleno*



Cabe recalcar que un parámetro importante de calidad también es la velocidad de impresión. Se escogió una velocidad adecuada (revisar el manual del usuario) que no permita alterar los acabados de la pieza; la capa inicial siempre tiene una velocidad menor para mejorar la adherencia tal como se observa en la figura 28.

*Figura 28. Configuración de velocidad de impresión*





- **Obtención del código G:** Aquí se obtiene las instrucciones de impresión específicas para la impresora en un archivo de tipo código G.

#### 4.4.2 Preparación de la impresora.

- **Calibración inicial:** Como primer paso para la posterior impresión de la pieza es necesario precalentar la cama y la boquilla del fusor bajo las temperaturas recomendadas por cada tipo de filamento.
- **Nivelación de la cama:** Con ayuda de una galga de calibración de 0.10 mm se asegurará de que exista el distanciamiento correcto entre la cama y la boquilla del fusor, esto ayudará a que exista una correcta adherencia de las capas.
- **Configuración del material:** Se carga el filamento al extrusor y se comprueba que este no esté atascado por lo que se recomienda purgar una pequeña parte de filamento y observar si no existen anomalías.

#### 4.4.3 Proceso de impresión

El panel de impresión acepta la importación del G code mediante una tarjeta SD. Una vez se importa el archivo es necesario navegar por el panel de control y seleccionar el archivo para cargarlo.

#### 4.4.4 Obtención y Posprocesamiento

Se retira el objeto de la cama de impresión para lo cual se deberá esperar el tiempo de enfriado para que las capas queden adheridas entre sí. Se realiza una inspección visual en caso de desperfectos y la impresión estará lista para el uso o como es el caso listo para los ensayos.



#### 4.4.5 Procedimiento de ensayo

La norma ASTM D368 establece un procedimiento detallado para preparar y ensayar probetas bajo condiciones específicas de carga y velocidad de aplicación de fuerza proporcionando así datos sobre el comportamiento mecánico del material.

Esta fuerza fue ejercida por un dinamómetro tipo prensa (Figura 29) la cual puede ser controlada para especificar la velocidad de aplicación de fuerza, en este caso la velocidad aplicada fue de 10 mm/min.

*Figura 29. Equipo de ensayo*

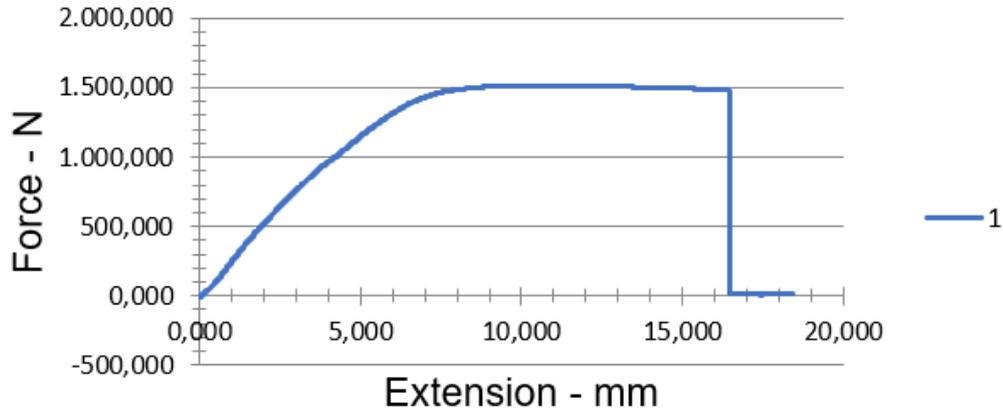


#### 4.4.6 Obtención de resultados

Una vez completada la prueba se graficó el punto de rotura del elemento en un eje de coordenadas Deformación y Fuerza aplicada (figura 30). Se puede observar que en la tabla 12 proporcionada por el software del dinamómetro existió una fuerza de 1516.77 N antes de la rotura.



*Figura 30. Grafica Deformación-Fuerza*



*Tabla 12. Resultado de ensayo*

PROBETA	SEAM MAXIMUM FORCE (N)
1	1516,77

*Ecuación 1.* Esfuerzo soportado por la probeta de ensayo

$$\sigma = F/A$$

$$\sigma = \frac{1516.77 \text{ N}}{13\text{mm} * 3.2\text{mm}}$$

$$\sigma = 36.46 \text{ MPa}$$

El esfuerzo de tracción aplicado sobre la probeta de ensayo fue de 36.46 MPa (ecuación 1), un valor inferior al rango de esfuerzos especificados en la ficha técnica del material, que oscila entre 40 a 60 MPa. Esta diferencia de valores puede atribuirse a que las capas de la probeta están impresas a 45° de inclinación. Debido a esta orientación de impresión, al aplicar la fuerza de tracción, las capas tienden a desprenderse una de otra, lo que reduce la resistencia global del material.

La aplicación de la norma ASTM D638 permite validar la calidad de las impresiones mediante la evaluación objetiva del rendimiento del material utilizado. El ensayo nos



ofrece una base técnica para evaluar y ajustar el desempeño de la impresora, contribuyendo a lograr impresiones con las propiedades mecánicas adecuadas para cumplir con los requerimientos del proyecto, basados en los parámetros y ajustes de impresión como velocidad, densidad de relleno y temperatura.

#### **4.5. Validación de impresión y materiales.**

En el ámbito automotriz, existe una amplia variedad de piezas poliméricas que pueden ser reconstruidas mediante impresión 3D. Muchas de estas piezas son poco comunes en el mercado o necesitan ser importadas, lo que complica su adquisición. Sin embargo, la fabricación mediante impresión 3D FDM está limitada principalmente a las dimensiones máximas que permite utilizar la máquina.

Con el desarrollo de una impresora ensamblada especialmente para la fabricación de piezas de longitudes significativas, se abre la posibilidad de fabricar autopartes como molduras de puertas, componentes plásticos de montantes, entre otras piezas, ampliando las posibilidades de personalización y disponibilidad en el mercado automotriz.

##### ***4.5.1. Detalles y diseño de autoparte***

La autoparte a diseño es una moldura de puerta delantera del Renault Logan, tal como se muestra en la figura 31. Esta pieza tiene un propósito principalmente estético, pero su diseño y dimensiones deben ser precisos para garantizar una fabricación de alta calidad.

*Figura 31. Moldura de puerta, Renault Loga*



Mediante la fabricación de esta pieza se podrá evaluar la capacidad de la impresora en la producción de componentes de gran longitud. Las dimensiones de la pieza se detallan en la tabla 13. Una vez obtenidas las medidas correctas y el modelo de base, se realizó el diseño en Software CAD (figura 32).

***Tabla 13. Dimensiones moldura de puerta***  
Medidas de moldura de puerta

Largo (mm)	934
Ancho (mm)	30
Alto (Espesor) (mm)	13

*Figura 32. Diseño de moldura de puerta en CAD*





## 4.6. Optimización de la máquina

### 4.6.1 Implementación de rodillos extensores

Anteriormente, se diseñaron piezas de prueba de gran longitud para validar el desempeño de la impresora 3D. Para garantizar la impresión de piezas extensas, es esencial integrar rodillos giratorios al final de la cinta transportadora. Esto asegura un soporte continuo durante el proceso de impresión, evitando que la pieza se desprenda completamente de la cama. Con la implementación de este sistema de extensión se podrá realizar piezas de gran longitud, pues tendrán una superficie de 65 cm de apoyo, durante el proceso de impresión.

#### 4.6.1.1 Diseño de rodillos extensores

Los rodillos extensores se diseñaron utilizando software CAD. El sistema consta de dos extensores que están sujetos a las bases de la cinta transportadora y 4 rodillos giratorios como se indica en la figura 33.

*Figura 33. Extensores de impresión*



#### 4.6.1.2. Fabricación

Se empleó el método de fabricación por impresión 3D FDM, ya que permite realizar piezas ligeras de manera eficiente y rápida. Dado que el sistema no estará sujeto a grandes esfuerzos mecánicos, se requerirá que un relleno del 30% sea suficiente para cumplir su funcionalidad. En la figura 34 se indica el sistema de rodillos extensores fabricados mediante impresión 3D FDM, con material de PLA.



*Figura 34. Rodillos extensores impresos*



#### 4.6.1.3. Instalación de Rodillos

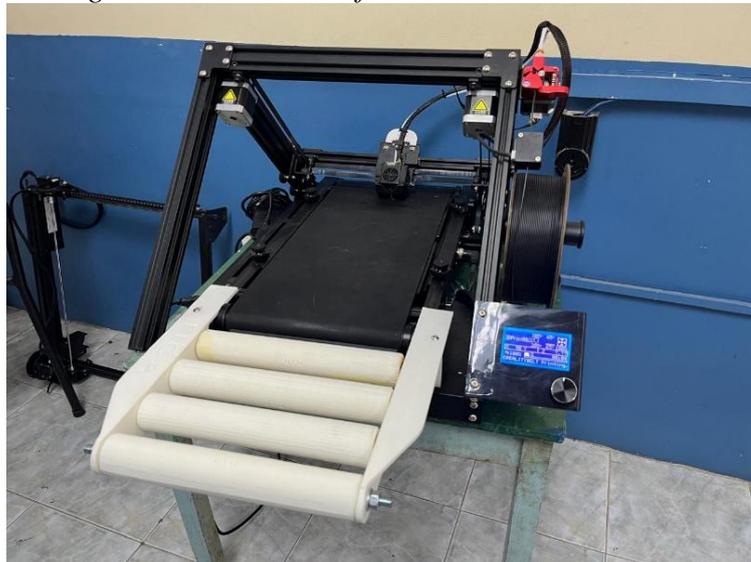
Una vez completada la fabricación del sistema de rodillos, los dos extensores se fijan a la base de la cinta transportadora utilizando tornillos M5. Los rodillos se aseguran en el centro de los extensores mediante una varilla roscada que los atraviesa, asegurada en ambos extremos con tuercas para completar la sujeción. Como se indica en las figuras 35 y 36.

*Figura 35. Instalación de rodillos extensores en Software CAD*





*Figura 36. Instalación final de rodillos extensores*



#### 4.7 Viabilidad económica

Para este apartado se tomó en cuenta tres autopartes plásticas que comúnmente se encuentran dentro del stock de locales de repuestos ya que son de gran rotación, pero a su vez llegan a presentar escasez por lo que la importación suele ser la primera opción frente a la falta de estos. A continuación, se presenta la tabla 14 de costos unitarios de las siguientes autopartes.

*Tabla 14. Costos unitarios de autopartes*

Descripción	Costo unitario en local	Costo de importación
	(CU) \$	(CU + 15% IVA) \$
Manija eleva vidrios	3.01	3.46
Perilla de calefacción	5.67	6.52
Moldura de puerta	8.00	9.02



La tabla presentada anteriormente es con valores referenciales a el vehículo elegido para el apartado 4.7.1; por lo que los datos pueden variar según modelo y marca del vehículo. Esta tabla nos servirá para comparar con la impresión de autopartes y su viabilidad a la falta de estas autopartes en el mercado.

**4.7.1 Costos de impresión**

Para este apartado se tomó en cuenta la mayoría de las variables presentes a la hora de imprimir en PLA para lo cual se las representará en la siguiente tabla 15.

**Tabla 15. Costo de impresión**

<b>Variable</b>	<b>Ecuación que la representa</b>
<b>Depreciación de la impresora por unidad.</b>	$\frac{\text{Costo de la impresora } (\$)}{\text{autopartes impresas en vida útil}}$ <i>Ecuación 2. Depreciación de impresora.</i>
<b>Costo por consumo energético.</b>	$\text{Consumo de energía de la impresora } \left(\frac{kW}{h}\right) * \text{Costo de energía por } \frac{kW}{h} (\$)$ <i>Ecuación 3. Costo por consumo energético</i>
<b>Costo por material utilizado (PLA)</b>	$\text{Peso de la pieza (kg)} * \text{Valor del kg de material } (\$)$ <i>Ecuación 4. Costo por material utilizado.</i>
<b>Costo por diseño de la autoparte</b>	$\text{Tiempo de diseño (h)} * \text{Costo de hora hombre } (\$)$ <i>Ecuación 5. Costo por diseño</i>
<b>Costo total de fabricación.</b>	$\text{Depreciación } (\$) + \text{Costo energía } (\$) + \text{Costo de material } (\$) + \text{Costo de diseño } (\$)$




---

*Ecuación 6. Costo total de fabricación*

---

- **Costo del activo (impresora):** De acuerdo a todos los gastos que permitió el funcionamiento y obtención de la impresora es 1250 USD.
- **Autopartes impresas a lo largo de la vida útil:** Se estima una vida útil de 3 años ya que los componentes mecánicos y eléctricos tienen una garantía de funcionamiento similar. A lo largo de los 3 años se estima que se imprimirá un máximo de 150 piezas anuales por lo que en los 3 años serán 450 piezas.
- **Consumo de energía de la impresora:** De acuerdo al Data Sheet presente en la impresora la potencia es de 350 W lo cual se transformará a kW/h para obtener su consumo.
- **Costo del kW/h:** En Ecuador el costo del kW/h es de \$0.09 dólares.
- **Valor del kg de material:** Para el trabajo realizado se imprimió con PLA para lo cual el kilogramo de material tiene un costo de \$22.
- **Costo hora hombre:** Para ello se basó en el Salario Básico Unificados (SBU) ecuatoriano dando el valor de la hora hombre a \$2.87 dólares.
- **Tabla de peso en kilogramos de autopartes:** (tabla 16).

**Tabla 16. Peso de autopartes**

<b>PIEZA</b>	<b>PESO (KG)</b>
<b>Manija elevavidrios</b>	0.045
<b>Perilla de calefacción</b>	0.010
<b>Moldura puerta</b>	0.150



- *Costo total de fabricación de autoparte*

**Tabla 17. Costo total de fabricación**

Material	Autoparte	Depreciación de la maquina (\$)	Costo de la Energía (\$)	Costo de Material (\$)	Costo de diseño (\$)	Costo total de la Autoparte \$
	Perilla de calefacción	2.77	0.12	0.22	2.87	<b>\$5.98</b>
Filamento PLA	Moldura de puerta	2.77	0.55	3.3	1.9	<b>\$8.52</b>
	Manija elevavidrios	2.77	0.20	0.99	4.31	<b>\$8.27</b>

**4.7.2 Rentabilidad de la fabricación de autopartes 3D**

Costos de fabricación vs precio de venta en locales. (tabla 18)

**Tabla 18. Comparativa Costo fabricación vs venta en locales**

Autoparte plástica	Precio de venta en locales	Impresión 3D filamento PLA
Perilla de Calefacción	\$6.52	\$5.98
Moldura de puerta	\$9,02	\$8.52
Manija elevavidrios	\$3.46	\$8.27

De acuerdo con la tabla anteriormente mostrada podemos observar la comparación del precio en un comercio de autopartes y el costo de impresión de estas. Se puede decir que en el 33% de los casos es rentable realizar impresiones 3D, por otro lado, algunos factores como diseño y la eficiencia operativa podría presentar una dificultad lo que significaría elevar los costos de fabricación y perder esa rentabilidad en la impresión.



## CAPITULO V

### 5. Conclusiones y recomendaciones

#### 5.1. Conclusiones

Mediante del proceso de simulación por elementos finitos de la estructura, se obtuvieron valores máximos de esfuerzo y deformación de 1.09 MPa y 0.012 mm, respectivamente. Dichos valores resultaron insignificantes en relación con las exigencias operativas de la máquina, lo que permite concluir que el diseño de la estructura es eficiente, confiable y apto para soportar las condiciones de trabajo previstas.

El ensamblaje de los componentes y diferentes sistemas que componen a la impresora resulta fundamental para asegurar la correcta integración de todas las partes del proyecto y garantizar su óptimo funcionamiento. Este proceso valida tanto el diseño como la elección de los materiales empleados, además de facilitar la detección y corrección de posibles problemas antes de su operación. Completar esta fase de manera exitosa permite la precisión, la calidad y el enfoque sobre la impresión.

La evaluación de la viabilidad económica y la calidad de las piezas impresas en comparación con los métodos tradicionales de fabricación en la industria automotriz permitió obtener resultados significativos. En términos de calidad, se analizó la resistencia mecánica de probetas con filamento PLA conforme a la norma ASTM D368, asegurando que las piezas cumplan con los estándares establecidos, sobre todo bajo impresión a 45°. Respecto a la viabilidad económica, se compararon los costos de



impresión de diversas piezas frente a su precio de adquisición en el mercado tradicional. Los resultados indican que la impresión 3D es rentable en solo el 33% de los casos, debido a los elevados tiempos de diseño y la baja eficiencia en la producción. Este análisis destaca la necesidad de optimizar procesos y tecnologías aditivas para aumentar su competitividad frente a los métodos convencionales.

La impresión de probetas de ensayo representa una alternativa accesible para realizar pruebas mecánicas y de comportamiento de materiales. Estas probetas tienen la ventaja de poder reducir el costo de fabricación y la rápida obtención de muestras. En la prueba realizada se utilizó una probeta impresa a 45° de inclinación y una densidad de relleno del 100%. La probeta logró soportar un esfuerzo de tracción de 36.46 MPa hasta el punto de rotura, y una deformación de 9.9%. Al comparar la resistencia de tracción proporcionada en la ficha técnica del material, que es de 40 MPa, se observa que el valor obtenido está cercano a dicho estándar. Por lo tanto, se puede finalizar que las piezas fabricadas con la impresora propuesta serán funcionales.

## 5.2 Recomendaciones

Aunque los resultados obtenidos con la simulación de elementos finitos son satisfactorios, se sugiere considerar mejoras futuras que optimicen aún más la eficiencia de la impresora 3D, como es un seguimiento continuo del rendimiento operativo de la máquina en condiciones reales de uso, para así mejorar tanto aspectos de diseño de la estructura como parámetros de impresión, facilidad de mantenimiento y prolongar su vida útil.



Se sugiere realizar un proceso de control de calidad durante las fases de ensamblaje, para asegurar que cada componente se instale adecuadamente según las especificaciones y estándares establecidos. Además, se recomendaría realizar pruebas de funcionamiento antes de proceder a la operación final de la impresora, para detectar cualquier error o desviación en el diseño. Garantizando un rendimiento óptimo y maximizando la vida útil del equipo, al permitir corregir posibles inconvenientes de manera temprana.

Se recomienda seguir investigando y desarrollando tecnologías de impresión 3D, enfocándose en mejorar tanto la velocidad de impresión como la calidad de filamento. Estas mejoras podrían incrementando notablemente la viabilidad económica de la impresión 3D dentro de la industria automotriz. Además, se podría considerar implementar procesos de fabricación híbrida que combinen impresión 3D con métodos tradicionales, aprovechando lo mejor de ambos enfoques para optimizar tanto la rentabilidad como calidad de las piezas producidas.

Se recomienda realizar pruebas adicionales variando parámetros de impresión como orientación de la pieza, altura de capa y temperatura, para optimizar las propiedades mecánicas de la probeta y acercarse más a los valores de esfuerzo ideales. De igual manera sería importante evaluar el comportamiento de las mismas utilizando diferentes tipos de materiales, para seguir extendiendo las aplicaciones de la impresión 3D en la fabricación de piezas funcionales.



Se sugiere continuar implementando optimizaciones que potencien el desempeño de la máquina, como, por ejemplo, integrar un sistema de guías lineales a los extremos de la cinta transportadora. Esto prevendría los descarrilamientos, evita imperfecciones en las impresiones y el desgaste de la cinta transportadora.



## BIBLIOGRAFÍAS

- [1] S. Astudillo and A. Briozzo, “Obstáculos del sector manufacturero ecuatoriano y argentino: evidencia empírica desde las empresas innovadoras,” *Estudios Gerenciales*, pp. 387–398, Jun. 2021, doi: 10.18046/j.estger.2021.160.4014.
- [2] “La Impresión 3d y La fabricación aditiva en la creación de autos.” Accessed: Nov. 28, 2023. [Online]. Available: <https://impresioni3d.com/la-impresion-3d-revoluciona-la-industria-automotriz/>
- [3] “La impresión 3D y la sostenibilidad - Dynapro 3D | Empresa dedicada al diseño digital e impresión 3D.” Accessed: Nov. 28, 2023. [Online]. Available: <https://dynapro3d.com/la-impresion-3d-y-la-sostenibilidad/>
- [4] M. Groover, “Introducción y panorama de la manufactura,” in *Fundamentos de manufactura moderna*, 3rd ed., 2014, p. 2.
- [5] V. Ibarra and L. Ballesteros, “MANUFACTURA ESBELTA,” *CONCIENCIA TECNOLÓGICA*, 2017.
- [6] V. Ibarra and L. Ballesteros, “MANUFACTURA ESBELTA,” *CONCIENCIA TECNOLÓGICA*, p. 2, 2017.
- [7] A. Barranco, C. García, J. Padilla, I. Ruíz, and J. Martínez, “EMPAREJAMIENTO DE PUNTOS PARA ESTIMAR



- DEFORMACIÓN EN LÁMINAS DE METAL EN EL PROCESO DE FORMADO MECÁNICO,” *Pistas Educativas*, vol. 41, p. 881, Nov. 2019.
- [8] F. Flores and G. Núñez, “Aplicación del Lean Manufacturing a una pequeña empresa de fundición metálica,” *E-IDEA 4.0 MULTIDISCIPLINAR*, p. 23, Jun. 2022.
- [9] “Obtención de acero y fundiciones.” Accessed: Jan. 10, 2024. [Online]. Available: <https://pelandintecno.blogspot.com/2013/04/obtencion-de-acero-y-fundiciones.html>
- [10] A. Barranco, C. García, J. Padilla, Ruíz Ismael, and J. Martínez, “EMPAREJAMIENTO DE PUNTOS PARA ESTIMAR DEFORMACIÓN EN LÁMINAS DE METAL EN EL PROCESO DE FORMADO MECÁNICO,” *Pistas Educativas*, vol. 41, p. 882, Nov. 2019.
- [11] M. Groover, “Procesos de conformado para plásticos ,” in *Fundamentos de manufactura moderna* , 3rd ed., 2014, pp. 275–288.
- [12] I. Espinoza, I. Martínez, G. Capilla, A. Díaz, C. Miranda, and N. Sánchez, “Diseño y manufactura de posicionador de boquilla para fresado CNC,” *Manufactura y Materiales*, Sep. 2019.
- [13] C. García, J. Gonzáles, and L. Gil, “Efectos a la salud por exposición a partículas ultrafinas generadas en los procesos de soldadura,” *Mare Ingenii. Ingenierías*, Aug. 2019.



- [14] Universidad Nacional Experimental Politécnica de la Fuerza Armada, *Manual de Soldadura* . 2017.
- [15] M. S. Khan, F. Sanchez, and H. Zhou, “3-D printing of concrete: Beyond horizons,” *Cem Concr Res*, vol. 133, 2020, doi: 10.1016/j.cemconres.2020.106070.
- [16] J. Mahecha, “ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA IMPRESIÓN 3D EN EL SECTOR DE LA CONTRUCCIÓN EN COLOMBIA APLICANDO LA METOLOGÍA ‘DESING THINKING,’” *UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA* , p. 22, 2021.
- [17] P. J. Chiang, K. P. Davidson, J. M. Wheeler, A. Ong, K. Erickson, and M. Seita, “Site-specific alloying through binder jet 3D printing,” *Mater Des*, vol. 235, Nov. 2023, doi: 10.1016/j.matdes.2023.112384.
- [18] A. Mostafaei *et al.*, “Binder jet 3D printing—Process parameters, materials, properties, modeling, and challenges,” *Prog Mater Sci*, vol. 119, p. 4, 2021, doi: 10.1016/j.pmatsci.2020.100707.
- [19] B. Akhoundi and F. Sousani, “An experimental investigation of screw-based material extrusion 3D printing of metallic parts,” *Journal of Engineering Research*, May 2023, doi: 10.1016/j.jer.2023.100102.
- [20] J. Antic, Miškovic, R. Mitrovic, Z. Stamenic, and J. Antelj, “The Risk assessment of 3D printing FDM technology,” in *Procedia Structural Integrity*, Elsevier B.V., 2023, pp. 274–279. doi: 10.1016/j.prostr.2023.07.132.



- [21] “Extrusión de materiales, ¿qué es y cómo funciona? | Dassault Systèmes®.”  
 Accessed: Jan. 10, 2024. [Online]. Available:  
<https://www.3ds.com/es/make/guide/process/material-extrusion>
- [22] S. Asif, P. Chansoria, and R. Shirwaiker, “Ultrasound-assisted vat photopolymerization 3D printing of preferentially organized carbon fiber reinforced polymer composites,” *J Manuf Process*, vol. 56, pp. 1340–1343, 2020, doi: 10.1016/j.jmapro.2020.04.029.
- [23] Y. Zhang *et al.*, “Digital light processing 3D printing of AlSi10Mg powder modified by surface coating,” *Addit Manuf*, vol. 39, Mar. 2021, doi: 10.1016/j.addma.2021.101897.
- [24] M. Baudry, G. Savelli, and G. Roux, “3D printing of bulk thermoelectric materials: Laser powder bed fusion of N-type silicon germanium,” *Materials Science and Engineering: B*, vol. 298, Dec. 2023.
- [25] D. Svetlizky *et al.*, “Directed energy deposition (DED) additive manufacturing: Physical characteristics, defects, challenges and applications,” *Materials Today*, vol. 49, pp. 271–295, Oct. 2021, doi: 10.1016/j.mattod.2021.03.020.
- [26] I. Zarin Era, M. A. Farahani, T. Wuest, and Z. Liu, “Machine Learning in Directed Energy Deposition (DED) Additive Manufacturing: A State-of-the-art Review,” *Manuf Lett*, vol. 35, pp. 689–700, 2023, [Online].  
 Available: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)



- [27] G. Boizas, *Fabricación Aditiva (cómo y por qué de la impresión 3D)*, 1st ed. 2018.
- [28] J. Velasquez Costa, “Procesos de Manufactura con tecnología 3D,” Mar. 2019, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/338817261>
- [29] “Partes de una impresora 3D - Kumótica.” Accessed: Dec. 09, 2023. [Online]. Available: <https://kumotica.es/blog/impresion-3d/partes-de-una-impresora-3d>
- [30] “Las partes de una impresora 3D ¿Qué componentes elegir? - Bitfab.” Accessed: Dec. 09, 2023. [Online]. Available: <https://bitfab.io/es/blog/partes-impresora-3d/>
- [31] “¿Cómo funciona una impresora 3D FDM?” Accessed: Dec. 09, 2023. [Online]. Available: <https://capasobrecapa.com/como-funciona-fdm/>
- [32] “FDM - Modelado por deposición fundida, ¿qué es? | Dassault Systèmes®.” Accessed: Dec. 11, 2023. [Online]. Available: <https://www.3ds.com/es/make/service/3d-printing-service/fdm-fused-deposition-modeling>
- [33] “Partes de una impresora 3D - Dynapro 3D | Empresa dedicada al diseño digital e impresión 3D.” Accessed: Dec. 25, 2023. [Online]. Available: <https://dynapro3d.com/partes-de-una-impresora-3d/>
- [34] “Las preguntas más frecuentes sobre Impresoras 3D y los componentes más importantes.” Accessed: Dec. 26, 2023. [Online]. Available:



<https://solectroshop.com/es/blog/componentes-de-las-impresoras-3d-como-funcionan-las-impresoras-3d-n40>

[35] “ABS | Tecnología de los Plásticos.” Accessed: Dec. 29, 2023. [Online].

Available:

<https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/abs.html>

[36] “Características del material ABS y por qué usarlo | Aceromafe.” Accessed:

Dec. 30, 2023. [Online]. Available: <https://www.aceromafe.com/material-abs/>

[37] “PLA Impresión filamento para impresoras 3d, contamos con.” Accessed:

Jan. 02, 2024. [Online]. Available: <https://www.3dmarket.mx/pla-impresion/>

[38] “Guía completa: el filamento PLA en la impresión 3D - AUROS

Colombia.” Accessed: Jan. 02, 2024. [Online]. Available: <https://www.auros.com.co/guia-completa-filamento-pla-la-impresion-3d/>

[39] “Guía completa: El filamento de PLA en la impresión 3D - 3Dnatives.”

Accessed: Jan. 02, 2024. [Online]. Available:

<https://www.3dnatives.com/es/guia-filamento-pla-en-la-impresion-3d-190820192/>



- [40] “▷ ¿Qué es filamento PETG y cuáles son sus propiedades para la impresión 3D? » Feel a Maker.” Accessed: Jan. 10, 2024. [Online]. Available: <https://feelamaker.com/filamentos-para-impresora-3d/que-es-filamento-petg-y-cuales-son-sus-propiedades-para-la-impresion-3d/>
- [41] “Filamento PETG: características y propiedades.” Accessed: Jan. 10, 2024. [Online]. Available: <https://dynapro3d.com/filamento-petg-caracteristicas-y-propiedades/>
- [42] “Slicer 3D: los mejores softwares de corte de 2023 | All3DP.” Accessed: Mar. 03, 2024. [Online]. Available: <https://all3dp.com/es/1/slicer-3d-programa-corte-impresora-3d/>
- [43] “¿Qué es un G-Code y cuál es su función en el proceso de impresión 3D? - 3Dnatives.” Accessed: Mar. 03, 2024. [Online]. Available: <https://www.3dnatives.com/es/g-code-proceso-impresion-3d-230920212/>
- [44] “Aluminio 6063: características y aplicaciones - Coppermetal.” Accessed: Oct. 07, 2024. [Online]. Available: <https://www.coppermetal.com.br/es/blog/aluminio-6063-caracteristicas-y-aplicaciones/>
- [45] “Tienda Creality.” Accessed: Nov. 02, 2024. [Online]. Available: <https://store.creality.com/search?q=perfil+>
- [46] “Impresora 3D con cinta transportadora – Creality CR30 ¡Impresiones sin fiiiiiiiiin! – TP3D Impresion 3D.” Accessed: Oct. 07, 2024. [Online].



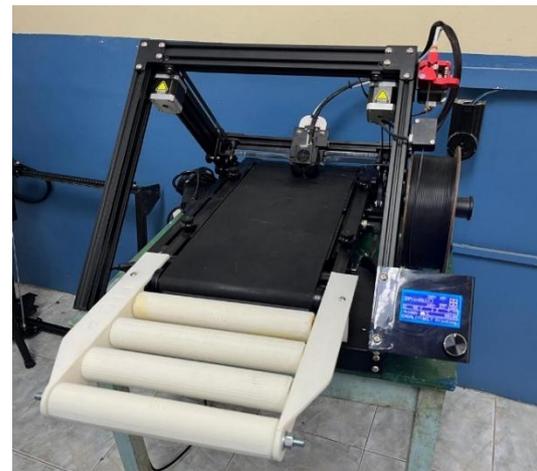
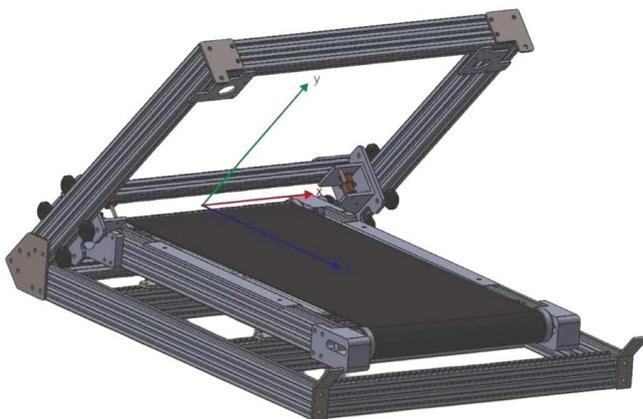
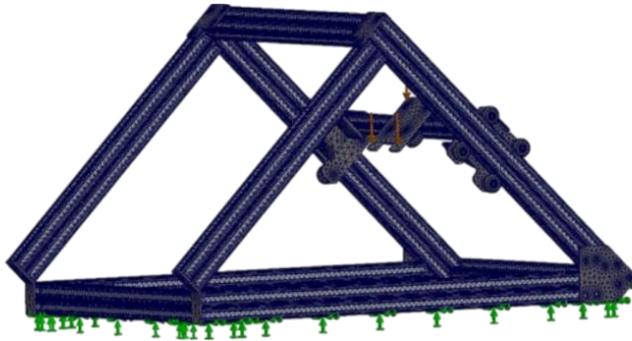
Available: <https://novedades.tp3d.com.ar/impresora-3d-con-cinta-transportadora-creality-cr30-impresiones-sin-fiiiiiiiin/>

[47] “Correa GT2 - Banda dentada Impresora 3D | tecmikro ECU.” Accessed: Oct. 07, 2024. [Online]. Available: <https://tecmikro.com/motores/500-correa-gt2-banda-dentada-impresora-3d.html>



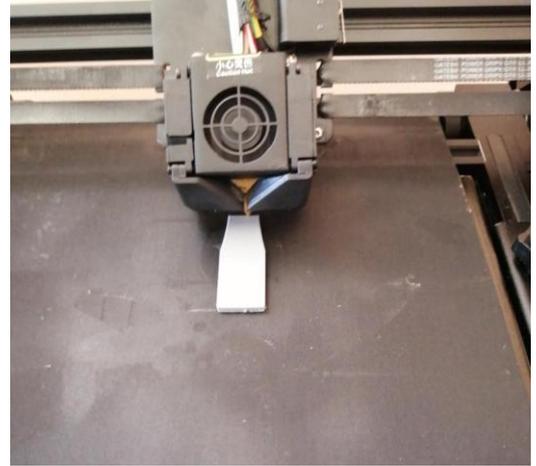
## ANEXOS

### *Diseño y ensamble de impresora 3D FDM*





*Impresiones y pruebas*





Impresiones de gran longitud



Impresiones en serie

