



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

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

TEMA:

**“Optimización de las propiedades mediante la combinación multimaterial en
impresión 3D, para la fabricación de componentes en vehículos”**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título en
Ingeniería Automotriz

Línea de investigación: Producción industrial y tecnología sostenible

AUTOR:

Luis Daniel Meneses Lpoez

DIRECTOR:

Ing. Erik Paul Hernández Rueda MSc.

ASESOR:

Ing. Jorge Luis Melo Obando

Ibarra-Ecuador 2026



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

DIRECCIÓN DE BIBLIOTECA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO	
APELLIDOS Y NOMBRES:	Meneses López Luis Daniel

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Optimización de las propiedades mediante la combinación multimaterial en impresión 3D, para la fabricación de componentes en vehículos.
AUTOR (ES):	Meneses López Luis Daniel
FECHA: DD/MM/AAAA	06/10/2026 1
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	☒ PREGRADO ☐ POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniería automotriz
DIRECTOR /ASESOR:	Ing. Erik Hernandez MSc/Ing. Jorge Melo MSc.

2. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) 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 es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 06 días del mes de octubre de 2026

EL AUTOR:



Validar Únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**LUIS DANIEL MENESES
LOPEZ**

Nombre: Meneses López Luis Daniel

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificado del trabajo de Integración Curricular “OPTIMIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES MEDIANTE LA COMBINACIÓN MULTIMATERIAL EN IMPRESIÓN 3D, PARA LA FABRICACIÓN DE COMPONENTES EN VEHÍCULOS.

” elaborado por Meneses López Luis Dnaiel, previo a la obtención del título del Ingeniero Automotriz, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:



Validar únicamente en FirmaBC.
Firmado electrónicamente por:
**ERIK PAUL HERNANDEZ
RUEDA**

(f).....

Ing. Erik Hernández MSc.

C.C: 1002978060



Validar únicamente en FirmaBC.
Firmado electrónicamente por:
**JORGE LUIS MELO
BOBANDO**

(f).....

Ing. Jorge Melo MSc.

C.C.: 1718346529

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, 07 de octubre de 2026

MSc. Erik Paul Hernández Rueda

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.



(f)

MSc. Erik Paul Hernández Rueda

C.C.: 1002978060



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la fortaleza para culminar este capítulo en mi vida.

A mis padres, por su apoyo incondicional en cada proceso que tuve que afrontar y por los sacrificios que tuvieron que realizar con tal de que este día llegue.

A mis docentes, por compartir sus conocimientos y paciencia en el momento de aclarar mis dudas.

Finalmente, agradezco a todas las personas que me apoyaron para lograr la culminación esta gran etapa.



RESUMEN EJECUTIVO

La impresión aditiva nos permite recrear componentes de una manera sencilla y versátil facilitando su adquisición, este proceso se logra con los modelados 3D especificando sus dimensiones, por con siguiente, la selección de materiales en un procedimiento vital que contiene filtros de aprobación por su comportamiento mecánico, su uso principalmente Hyper PLA con 30% de fibra de carbono, cumplió con el filtro de comportamiento mecánico, para los soportes el PVA hidrosoluble proporciona un comportamiento que no causa daños al componente al ser retirados, los materiales fueron sometidos a ensayos de tracción verificando su comportamiento estructural, mediante la creación de probetas de ensayo con medidas normadas en la norma ASTM D36 la cual especifica ancho, largo, grosor, radio de sección de sujeción, la configuración en OrcaSlicer permite establecer los rangos de temperatura para cada filamento, el Hyper PLA maneja temperatura de 250 hasta 270 °C, de la misma manera la velocidad de impresión en un rango 300mm/s a 600mm/s, la velocidad es directamente proporcional a la calidad de impresión, en conjunto con la distancia entre capas de 0,12 este parámetro es fundamental para la calidad, sin embargo el tiempo de impresión aumenta significativamente en un porcentaje del 40%, las piezas fabricadas con este tipo de impresión pueden ser utilizadas como piezas de recambio al cumplir con la resistencia mínimas que se somete el componente.

Palabras clave: Fabricación aditiva, Ensayo de tracción, Modelado 3D, Propiedades mecánicas.



ABSTRAC

Additive manufacturing allows us to recreate components in a simple and versatile way, making them easier to obtain. This process is achieved through 3D modeling by specifying their dimensions. Consequently, material selection is a vital step that involves approval criteria based on mechanical performance. The material primarily used—Hyper PLA with 30% carbon fiber—met the mechanical performance criteria. For the support structures, water-soluble PVA provides a behavior that does not cause damage to the component when removed. The materials were subjected to tensile tests to verify their structural behavior by creating test specimens with dimensions standardized in ASTM D36, which specifies width, length, thickness, and grip section radius. The configuration in OrcaSlicer allows for setting temperature ranges for each filament; Hyper PLA operates at temperatures ranging from 250 to 270°C. Similarly, the print speed ranges from 300 m/s to 600 m/s; the speed is directly proportional to print quality. Together with a layer height of 0.12, this parameter is fundamental to quality; however, print time increases significantly by 40%. Parts manufactured using this printing method can be used as replacement parts, as they meet the minimum strength requirements to which the component is subjected.

Keywords: Additive manufacturing, Tensile test, 3D modeling, Mechanical properties



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



ÍNDICE DE CONTENIDOS

INDICE

1.	INTRODUCCIÓN	10
1.1	Problemas De Investigación.....	10
1.2	Objetivos	10
1.2.1	Objetivo General	10
1.2.2	Objetivos Específicos	10
1.3	Alcance	11
1.4	Justificación.....	12
2.	MARCO TEORICO.....	13
2.1	Antecedentes.....	13
2.2	Impresión 3D	14
2.3	Historia de la manufactura aditiva.....	15
2.4	Principio general de MA	15
2.5	Tipos de tecnologías MA	16
2.5.1	FDM (Modelado por deposición fundida)	16
2.5.2	SLS (Sinterizado selectivo por láser).....	16
2.5.3	DED (Deposición por energía dirigida)	16
2.6	Software Especializados.....	16
2.6.1	OrcaSlicer (Preparación para la Producción y Control de Parámetros)	16
2.7	Materiales MA	17
2.7.1	Polímeros Termoplásticos y Resinas	17
2.7.1.1	Termoplásticos.....	17
2.7.1.2	Fotopolímeros.....	18
2.7.2	Aleaciones Metálicas	18
2.7.2.1	Titanio y Superalloys	18
2.7.2.2	Aceros y Metales Preciosos.....	18
2.7.3	Cerámicas y Materiales Compuestos	18
2.8	MA Multimaterial.....	19



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



2.9	Tecnologías que Permiten MA Multimaterial	19
2.9.1	PolyJet	19
2.9.2	FDM.....	20
2.10	Ventajas del Enfoque Multilateral.....	20
2.11	Desafíos: Adherencia Intermaterial, Compatibilidad Térmica, Diseño CAD	20
2.12	Optimización de propiedades funcionales	21
2.13	Propiedades térmicas, acústicas o de amortiguación	22
2.14	Diseño funcional: combinación de materiales duros y blandos	22
2.15	Aplicaciones automotrices de la impresión 3D.....	22
2.15.1	Partes interiores: paneles, conductos, carcasas, soportes.....	23
2.15.2	Piezas funcionales: brackets, sistemas de admisión, componentes estructurales ligeros	24
2.16	Ventajas y limitaciones de la impresión 3D en la industria automotriz	24
2.16.1	Ventajas:.....	24
2.16.2	Limitaciones:	24
2.17	Modelado y simulación en el diseño multimaterial	25
2.18	Software CAD/CAM/CAE para diseño multimaterial.....	26
2.19	Normativas y calidad	26
2.20	Requisitos de seguridad en componentes automotrices.....	27
2.21	Ensayos de esfuerzos: tracción, flexión, impacto, fatiga.....	27
3.	Materiales y Equipos	28
3.2	Impresora 3D Flashforge AD5X.....	28
3.2.1	Filamento PVA.....	29
3.2.2	Filamento Hyper PLA-CF	30
3.2.3	OrcaSlicer.....	30
3.3	Metodología.....	31
3.3.1	Diagrama sobre la metodología	31
3.3.2	Selección de materiales	32
3.3.3	Filamentos.....	32
3.3.4	Selección componente a imprimir	32
3.4	Diseño de probeta.....	34



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



3.4.1	Parámetros de Diseño Críticos.....	35
3.5	Preparación de componentes	35
3.5.1	Preparación del componente.....	36
3.5.1	Preparación en OrcaSlicer	36
3.5.2	Configuración de parámetros de impresión	38
4.	RESULTADOS Y DISCUCIONES	42
4.2	Selección de materiales polímeros	42
4.2.1	Ensayos de tracción relacionados con porcentaje y tipo de relleno en PETG	42
4.3	Configuración de parámetros de impresión	43
5.	Conclusiones.....	45
6.	Recomendaciones	45
7.	Bibliografías.....	46



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ficha técnica de la impresora	28
Tabla 2. Ficha técnica del filamento PVA	29
Tabla 3. Ficha técnica del filamento Hyper PLA-CF	30
Tabla 4. Se establece el valor de las cotas de la probeta.	35
Tabla 5. Probetas de ensayo con diferentes tipos de relleno	42



ÍNDICE DE FIGURAS

Fig 1. Se evidencia de la interfaz del software OrcaSlicer	30
Fig 2. Representación del proceso que se realizó en la metodología	31
Fig 3. Retrovisor externo Pagani Hydra	33
Fig 4. Retrovisor interno Ford Bronco 1987	33
Fig 5. Manigueta de freno Daytona Artic	34
Fig 6. Estructura de las dimensiones de la probeta.....	34
Fig 7. Obtención de modelo 3D del retrovisor externo del Pagani Hydra	36
Fig 8. Parámetros de configuración del filamento PETG.....	37
Fig 9. Parámetros de configuración del material PLA	37
Fig 10. Parámetros de configuración de la escala del componente	38
Fig 11. Se muestra es tipo de soportes que se utiliza para la fabricación.....	39
Fig 12. Se muestra el borde de adherencia que se selecciono	39
Fig 13. Sección en la que se ubica el espejo retrovisor	40
Fig 14. Sección de soporte sujeto al parabrisas	40
Fig 15. Posición alzada evitando que la superficie presente daños	41
Fig 16. Representación del esfuerzo sometido y su deformación	42
Fig 17. Configuración optima de altura de capa inicial y siguientes capas.....	43
Fig 18. Impresión en fibra de carbono retrovisor exterior Pagani Hydra.....	44
Fig 19. Impresión en fibra de carbono manigueta de freno Daytona Artic	44
Fig 20. Impresión en fibra de carbono retrovisor interno Ford Bronco 1987	44



Terminología

Tribológico: tiene relación con la fricción, el desgaste y el contacto que va a existir entre superficies

Polímeros: Materiales que están formados por cadenas de moléculas repetidas, estos son utilizados para la fabricación de distintos productos

Fotopolimerización: Proceso en el cual una sustancia líquida se endurece al recibir luz como por ejemplo la ultravioleta

Aglutinante: Sustancia que permite mantener unidas partículas de un material

Poliamidas: Este es un tipo de polímero caracterizado por su resistencia y es utilizado en aplicaciones industriales

Anisotropía: Proceso en el que un material presenta diferentes características según la dirección en que se analice

Elastómeros: Materiales que se deforman considerablemente para luego recuperar su forma original

Estereolitografía: Técnica de impresión 3D que se utiliza para la solidificación de la resina capa por capa

Slicing: Se encarga de dividir un modelo 3D en diversas capas para que la impresora pueda fabricarlo

Elongación: Es el aumento de la longitud que tendrá una materia cuando es sometida a una fuerza de estiramiento



CAPÍTULO I

TEMA:

Optimización de las propiedades mediante la combinación multimaterial en impresión 3D, para la fabricación de componentes en vehículos.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Problemas De Investigación

La creciente demanda de componentes automotrices de rápida disponibilidad o que han sido descontinuados en la línea de producción representa una significativa limitación dentro del sector automotriz. Esta situación obliga a numerosos talleres mecánicos a interrumpir sus procesos operativos debido a la ausencia de dichos repuestos, dicho remplazo puede demorar varios días o incluso semanas, según la naturaleza y especificaciones técnicas del componente requerido por el especialista.

La combinación de tres o más materiales plantea desafíos técnicos debido a su estructura molecular y comportamiento mecánico, los cuales, a pesar de no ser compatibles entre sí, son necesarios por sus características específicas para aplicaciones de alta exigencia en el ámbito automotriz.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Optimizar el desempeño mecánico y tribológico de componentes funcionales para los vehículos, fabricados mediante impresión 3D multimaterial.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Investigar y seleccionar materiales compatibles con impresión 3D que presenten propiedades distintas como rigidez, flexibilidad y resistencia al desgaste.
- Diseñar piezas de prueba y componentes funcionales considerando la distribución estratégica de los materiales según su función.
- Analizar el comportamiento mecánico de las piezas impresas mediante ensayos experimentales.



— Fabricar los componentes mediante impresión 3D multimaterial.

1.3 Alcance

El presente caso de estudio se centra en la implementación de una impresora 3D multimateria, La impresora tiene como proposito optimizar el proceso de impresión aditiva orientado a la producción de componentes automotrices. Para ello, se integrará el software OrcaSlicer, el cual posibilita la impresión simultánea con tres o más materiales compatibles, asegurando que sus propiedades estructurales no se vean comprometidas durante el proceso de fabricación.

Los materiales seleccionados para este estudio serán de bajo costo y alta disponibilidad en el mercado, tales como PLA (ácido poliláctico), PETG (polietileno tereftalato glicolizado), ABS (acrilonitrilo butadieno estireno), P12 (poliamida 12) y compuestos reforzados con fibra de carbono. Se priorizará la compatibilidad fisicoquímica entre estos materiales, con el fin de lograr una interacción óptima en la fabricación multimaterial. Se explorarán configuraciones avanzadas de impresión que optimicen la distribución del material durante la deposición capa por capa, permitiendo que cada uno aporte funcionalmente al desempeño estructural y mecánico del producto final.

El comportamiento de las piezas será analizado a través de ensayos experimentales utilizando los recursos y equipos disponibles en el laboratorio de la universidad Técnica del Norte. Estos ensayos simularán condiciones operativas representativas, lo que permitirá validar el funcionamiento de las piezas en un entorno controlado.



1.4 Justificación

La impresión 3D multimaterial permite combinar en un solo proceso polímeros y metales con propiedades heterogéneas (rigidez, flexibilidad, resistencia al desgaste), abriendo nuevas posibilidades para optimizar el comportamiento mecánico y tribológico de componentes automotrices que hoy se fabrican por separado o con técnicas convencionales [1]. Este enfoque reduce la brecha entre el diseño conceptual y la funcionalidad real de las piezas, al aportar datos cuantitativos sobre la interacción de materiales bajo condiciones de servicio.

El estudio generará pautas originales para la distribución estratégica de materiales en estructuras complejas, un campo aún poco explorado en la literatura de manufactura aditiva multimaterial [2]. Los resultados ofrecerán a ingenieros y diseñadores criterios claros para seleccionar combinaciones de polímeros y metales según exigencias de carga, fatiga y desgaste, reduciendo la incertidumbre en etapas de diseño y prototipado.

La impresión 3D en el campo automotriz presenta una herramienta importante para el avance en los Objetivos de Desarrollo Sostenible, mayormente en el ODS 9 y el 12. El ODS 9 basado en la utilización de tecnología que impulsa la innovación industrial al permitir la creación de prototipos operacionales, el diseño de componentes o piezas y su fabricación compleja asiéndola más eficientes y precisas, modernizando la infraestructura [6]. El ODS 12 fomento la producción más responsable y sostenible: reduciendo significativamente los residuos de la fabricación, impulsando a reutilizar o reciclar piezas [7].

El Plan Nacional de Desarrollo para el Nuevo Ecuador 2024-2025, promueve la transformación productiva del país mediante la promoción de la ciencia, tecnología e innovación. La impresión aditiva de material se ajusta como una herramienta para diversificar la matriz productiva en los sectores automotriz, salud y manufactura avanzada [8].



1. CAPÍTULO II

2. MARCO TEORICO

2.1 Antecedentes

La manufactura aditiva multimaterial (MMAM) ha emergido como un campo de estudio prioritario durante los últimos años, debido a su capacidad para combinar materiales con propiedades diversas en un solo proceso de fabricación. Nazir et al. realizaron una revisión sistemática de los sistemas MMAM, describiendo sus principios de operación, estrategias de diseño y principales retos en el acoplamiento de interfaces entre materiales heterogéneos [2].

Wagner, Rogers y Le, exploraron las “nuevas fronteras” de la impresión multimaterial, enfatizando las oportunidades de optimizar localmente rigidez, flexibilidad y resistencia al desgaste mediante la disposición estratégica de componentes en la pieza impresa. Su análisis subraya que, para aplicaciones automotrices, es crítico entender cómo variaciones en parámetros de impresión (temperatura, velocidad, patrón de relleno) afectan la adhesión interfacial y la distribución de tensiones en transiciones material-material [1].

En el ámbito experimental, Smith et al. compararon el comportamiento tribológico de piezas impresas en PEEK puro y PEEK reforzado con fibra de carbono, mostrando que la incorporación de refuerzos mejora significativamente la resistencia al desgaste y reduce el coeficiente de fricción bajo cargas elevadas [3].

De modo complementario, Fouly et al. demostraron en un caso de estudio para implantes de PLA compuestos que, mediante un control preciso de la arquitectura celular, es posible alcanzar propiedades mecánicas y tribológicas adecuadas para aplicaciones de alto desgaste [4].



Sin embargo, persisten vacíos en la adopción de MMAM para la industria automotriz: Patel y Sharma evidenciaron que, aunque las piezas de PLA muestran un buen desempeño inicial, la falta de estándares para la caracterización de interfaces multimateriales complica su escalado industrial. Asimismo, señalan la necesidad de metodologías unificadas que integren simulación numérica y ensayo experimental para predecir el comportamiento a largo plazo bajo condiciones reales de servicio [5].

2.2 Impresión 3D

Conocida como manufactura aditiva (MA), ha revolucionado el diseño y producción de componentes automotrices. Construye piezas, capa por capa a partir de modelos digitales, lo que posibilita diseños complejos imposibles con procesos tradicionales como mecanizado o inyección. Fabricantes como Ford, BMW y Audi la usan desde prototipos hasta piezas funcionales, logrando menor tiempo de desarrollo y reducción de materiales desperdiciados [1], [2].

En sus primeros años, la MA estaba limitada al prototipado en polímeros. Con la integración de softwares CAD/CAE (Diseño asistido por computadora/Ingeniería asistida por computadora), hoy permite prever el comportamiento de las piezas antes de imprimirlas, aumentando la confianza de su uso. Los materiales como metales, composites y cerámicos han hecho posible la fabricación de componentes estructurales críticos [2], [3].

La velocidad de impresión es baja comparada con métodos masivos, las propiedades mecánicas pueden variar según la orientación de capa y los equipos especializados son costosos. Las normativas ISO/ASTM están trabajando para estandarizar procesos y garantizar calidad y seguridad [4], [5].



2.3 Historia de la manufactura aditiva

La fabricación aditiva comenzó en los 80 con la estereolitografía (SLA), registrada por Chuck Hull en 1984 [5], quien definió el formato STL y los procesos de slicing [6]. Tras el primer SLA comercial (SLA 1), en los 90 surgieron FDM y SLS, permitiendo el uso de más materiales en el prototipado [5], [6]. En la industria computacional, en 1988 Ford adquirió una de las primeras impresoras 3D y estableció centros de prototipado en EE. UU. y Europa [1], [2], lo que aceleró el desarrollo de piezas y componentes interiores del vehículo [4].

La estandarización, con la norma ISO/ASTM 52900, permitió confianza en la calidad industrial y hoy se integra impresión multimaterial y diseños generativos, marcando una nueva era de la MA automotriz [4].

2.4 Principio general de MA

Esta impresión se basa en la creación de componentes a partir de un modelo digital mediante la adición de material en una secuencia de capas las cuales están bajo un control computarizado, es la contra parte de la fabricación sustractiva, que elimina material mediante procesos mecanizados.[2]

El proceso inicia realizando un modelo CAD exportado a formato STL, el cual representa la geometría mediante una malla triangular, la cual posteriormente, el software de segmentación divide el objeto en capas finas que se depositan secuencialmente mediante extrusión de material.



2.5 Tipos de tecnologías MA

2.5.1 FDM (Modelado por deposición fundida)

Este proceso consiste en la creación de un modelo digital tridimensional, creado mediante software CAD, se exporta este modelado en formato STL, que representa su superficie con un mallado geométrico el cual nos permite gestionar colores y texturas de una manera eficiente, posteriormente se somete a una fase de reparación de errores geométricos, para luego ser sometido a un software de segmentación, este divide el diseño en delgadas capas horizontales y produce un archivo de G-code con instrucciones específicas para la impresión. [7], en la etapa de construcción del componente, la impresora deposita, une o solidifica el material de forma automatizada capa por capa, sigue las coordenadas del diseño digital [13].

2.5.2 SLS (Sinterizado selectivo por láser)

Este proceso utiliza un láser de alta energía para fusionar selectivamente partículas de material en polvo, como termoplásticos, metales o cerámicos, convirtiéndolas en una estructura sólida basada en un modelo digital, a diferencia de otros procesos este opera generalmente por debajo del punto de fusión [5].

2.5.3 DED (Deposición por energía dirigida)

Se basa en enfocar una fuente de energía térmica (láser de alta potencia) para crear un pozo de fusión sobre un sustrato, simultáneamente, se inyecta material metálico en forma de polvo o alambre directamente en ese punto para fundirlo y solidificarlo [1].

2.6 Software Especializados

Estas herramientas digitales ayudan al proceso digital completos, permitiendo pasar de una idea conceptual a un componente físico validado técnicamente [1]

2.6.1 OrcaSlicer (Preparación para la Producción y Control de Parámetros)

Este software es la herramienta final de traducción técnica que convierte tu modelo en instrucciones de manufactura:



- **Generación de G-code:** Traduce la geometría en una serie de capas finas e instrucciones que la impresora puede ejecutar.
- **Control de Variables Experimentales:** Te da control total sobre parámetros críticos como la velocidad de impresión, la resolución de capa y la densidad del relleno. Estos son datos fundamentales que deberás reportar en tu metodología de tesis.
- **Optimización de Recursos:** Sus algoritmos te ayudan a minimizar el desperdicio de material y optimizar el tiempo de impresión, lo cual mejora la eficiencia económica de tu proyecto de investigación

2.7 Materiales MA

La elección adecuada de materiales es fundamental para el desempeño de piezas fabricadas mediante impresión 3D en el ámbito automotriz. Cada tipo de material ofrece propiedades únicas que inciden en la resistencia, durabilidad, ligereza y comportamiento térmico de las piezas fabricadas. Los materiales empleados incluyen polímeros, metales, materiales compuestos y cerámicos, los cuales permiten fabricar desde carcasas interiores hasta componentes estructurales críticos [4].

2.7.1 Polímeros Termoplásticos y Resinas

Los polímeros representan el grupo de materiales más diverso y utilizado, clasificándose principalmente según su método de consolidación:

2.7.1.1 Termoplásticos

El Ácido Poliláctico (PLA) destaca por ser un material biodegradable derivado de recursos renovables, ampliamente utilizado en prototipado y aplicaciones médicas debido a su baja tasa de rechazo en el cuerpo humano. Por otro lado, el Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS) es valorado por su resistencia mecánica y bajo costo, siendo común en la fabricación de herramientas y modelos de prueba industriales. Otros polímeros de alto rendimiento incluyen el Policarbonato (PC), el PETG y el Nylon (PA12), este último esencial en procesos de lecho de polvo.



2.7.1.2 Fotopolímeros

Estas resinas líquidas se solidifican mediante fotopolimerización inducida por luz UV. Incluyen acrilatos y epóxicos que permiten alcanzar resoluciones extremadamente finas, además de hidrogeles especializados utilizados en biotecnología para el desarrollo de estructuras blandas.

2.7.2 Aleaciones Metálicas

La impresión 3D de metales ha revolucionado sectores de alta exigencia como el aeroespacial y el médico mediante el uso de polvos y alambres metálicos.

2.7.2.1 Titanio y Superalesaciones

El uso de Ti-6Al-4V y aleaciones de níquel (como el Inconel 718 y 625) es estándar en la fabricación de componentes críticos por su excelente relación resistencia-peso y resistencia térmica.

2.7.2.2 Aceros y Metales Preciosos

El acero inoxidable **316L** es común en aplicaciones industriales y joyería, mientras que el uso de plata y aleaciones de bronce se ha extendido mediante técnicas de inyección de aglutinante y sinterizado.

2.7.3 Cerámicas y Materiales Compuestos

Los materiales cerámicos, como la alúmina (Al_2O_3), el zirconio (ZrO_2) y el carburo de silicio, se emplean en entornos que requieren alta estabilidad química y térmica. Además, se han desarrollado materiales compuestos reforzados con fibras de carbono o vidrio para mejorar las propiedades mecánicas de los polímeros base, permitiendo la creación de piezas con resistencia estructural superior.



2.8 MA Multimaterial

La impresión 3D multimaterial es una tecnología emergente que permite combinar en una sola pieza distintos materiales con propiedades complementarias, como rigidez y elasticidad. Esta capacidad resulta especialmente útil en el diseño de componentes automotrices complejos, donde una misma pieza debe cumplir funciones estructurales y de sellado, reduciendo el número de ensamblajes y el peso total del vehículo [11].

Su aplicación en la industria automotriz permite la creación de piezas más ligeras y multifuncionales, como conductos de aire que integran zonas flexibles para facilitar el acoplamiento y secciones rígidas que mantienen la forma estructural. Esto simplifica el montaje y mejora el rendimiento general del vehículo [12].

Tecnologías como PolyJet y FDM de doble extrusor han hecho posible esta combinación de materiales. PolyJet utiliza boquillas que depositan resinas distintas capas por capa, mientras que FDM combina filamentos de propiedades diversas. Ambas permiten integrar zonas con propiedades específicas según la función del componente [11], [13].

No obstante, la impresión multimaterial presenta retos como la adherencia entre materiales y la compatibilidad térmica. Si las propiedades físicas y de expansión de los materiales difieren mucho, pueden aparecer fallos estructurales en el uso. Estos problemas requieren un control preciso de los parámetros de impresión y una buena selección de combinaciones de materiales [14].

2.9 Tecnologías que Permiten MA Multimaterial

2.9.1 PolyJet

Es una de las técnicas más versátiles en impresión multimaterial. Puede combinar hasta siete materiales diferentes en una sola pieza con alta resolución, lo que permite crear prototipos y componentes funcionales con diversas texturas, colores y propiedades mecánicas [11].



2.9.2 FDM

con múltiples extrusores permite usar diferentes filamentos de forma alternada o simultánea. Se emplea, por ejemplo, para fabricar componentes que requieren una parte estructural (como ABS) y otra flexible (como TPU), ideal para carcasas con juntas integradas [12].

Además, se están desarrollando nuevas tecnologías como la impresión 4D, que permite fabricar piezas que cambian de forma o propiedades ante condiciones externas como temperatura o humedad, lo que abre nuevas posibilidades en componentes adaptativos [13].

2.10 Ventajas del Enfoque Multilateral

La principal ventaja es la posibilidad de combinar rigidez y flexibilidad, resistencia y ligereza, en un solo objeto. Esto permite diseñar piezas que respondan mejor a las necesidades específicas de los sistemas automotrices, como juntas, soportes, canales de fluido y protecciones [11].

Reducción de peso, ya que se puede usar material estructural solo donde es necesario y materiales ligeros en otras zonas. Esto contribuye a mejorar la eficiencia energética del vehículo, especialmente en modelos eléctricos [14].

La personalización funcional también es clave: con diseño CAD avanzado, es posible adaptar cada pieza a requerimientos específicos, como absorción de impactos, amortiguación o conducción de calor, lo que mejora el rendimiento del conjunto [13].

2.11 Desafíos: Adherencia Intermaterial, Compatibilidad Térmica, Diseño CAD

Uno de los principales retos técnicos es la adherencia entre materiales, ya que, si no hay buena unión molecular entre capas diferentes, la pieza puede fallar en las interfaces. Para resolverlo, se estudian tratamientos superficiales o compatibilizadores de materiales [15].



Otro problema es la compatibilidad térmica. Los materiales pueden tener distintos coeficientes de dilatación, lo que genera tensiones internas o deformaciones durante la impresión o el uso. Esto se corrige optimizando el diseño y ajustando las temperaturas de proceso [14].

El diseño para piezas multimateriales exige software CAD especializado, capaz de asignar propiedades y materiales diferentes a zonas específicas. Esto requiere planificación desde el diseño conceptual hasta el postprocesado [13]

2.12 Optimización de propiedades funcionales

La optimización funcional mediante impresión 3D multimaterial permite crear componentes que respondan de forma precisa a los requerimientos del diseño automotriz. Mediante la combinación de materiales con propiedades complementarias, es posible fabricar piezas que ofrezcan tanto resistencia estructural como flexibilidad o capacidad de absorción, adaptándose a condiciones de uso exigentes [12].

Las propiedades mecánicas como la resistencia a la tracción, la tenacidad y la elasticidad son fundamentales en este contexto. La tracción permite soportar cargas sin deformación permanente, la tenacidad ayuda a resistir impactos, y la elasticidad proporciona deformación reversible en zonas críticas como juntas [13].

Resistencia a la tracción es clave para que las piezas automotrices soporten tensiones sin deformarse. Las zonas estructurales de un soporte de motor, por ejemplo, deben estar fabricadas con materiales de alta resistencia como nylon cargado [13].

Tenacidad permite que la pieza absorba energía sin fracturarse, lo cual es esencial en parachoques o carcasas sujetas a impactos. Combinaciones de materiales como PC y TPU permiten lograr un equilibrio entre rigidez y amortiguación [12].

Elasticidad es vital para componentes que se deforman en servicio y luego recuperan su forma, como juntas de sellado o soportes antivibración. En estos casos, se emplean materiales flexibles como el TPU o elastómeros especiales [14].



2.13 Propiedades térmicas, acústicas o de amortiguación

Los materiales deben soportar temperaturas elevadas en zonas críticas del motor. Materiales como PEEK o poliamidas técnicas mejoradas se utilizan por su alta estabilidad térmica [15].

En cuanto a aislamiento acústico, el uso de materiales blandos como el TPU permite reducir la transmisión de ruido y vibraciones al interior del vehículo, mejorando el confort en cabina [13].

Simulaciones computacionales mediante herramientas CAE (Software libre) ayudan a predecir el comportamiento térmico y acústico de las piezas antes de su fabricación, reduciendo errores y optimizando el diseño [14].

2.14 Diseño funcional: combinación de materiales duros y blandos

El diseño funcional mediante impresión multimaterial permite integrar materiales duros como ABS o PA para zonas estructurales, junto con materiales blandos como TPU para secciones que absorben golpes o facilitan el montaje [12].

Esto es ideal para soportes de cableado, juntas, carcasas o sujetadores con zonas flexibles. La integración evita el uso de piezas adicionales, tornillos o adhesivos, lo que mejora la eficiencia del montaje y reduce costos [10].

2.15 Aplicaciones automotrices de la impresión 3D

Ha encontrado un lugar destacado en la industria automotriz, permitiendo la fabricación de componentes que van desde piezas interiores hasta elementos estructurales [1]. Esta tecnología ofrece la flexibilidad necesaria para producir piezas personalizadas y optimizadas, lo que es especialmente valioso en la producción de vehículos de lujo o eléctricos [8].



Las piezas interiores, como paneles y conductos, son algunas de las aplicaciones más comunes de la impresión 3D en automóviles. Empresas como BMW y Ford han empleado esta tecnología para fabricar ductos, cubiertas y sujetadores que combinan funcionalidad y diseño [16].

Los componentes funcionales, como brackets y sistemas de admisión, son otra área clave donde la impresión 3D está marcando la diferencia, permitiendo la creación de geometrías optimizadas para mejorar el rendimiento y reducir el peso [19].

Casos reales de marcas como Ford, BMW y Audi demuestran el impacto de la impresión 3D en la industria automotriz. Estas compañías han implementado tecnologías como FDM, SLS, PolyJet y DED para crear componentes de alto desempeño en sus vehículos [18].

La validación de estas aplicaciones requiere ensayos rigurosos para garantizar que las piezas cumplan con las normas de calidad y seguridad, como pruebas de tracción, fatiga, flexión y validaciones térmicas [10].

2.15.1 Partes interiores: paneles, conductos, carcasas, soportes

Los paneles interiores, como los del salpicadero, son fabricados mediante impresión 3D para reducir peso y mejorar la estética, particularmente en modelos premium [16].

Los conductos de aire acondicionado son otra aplicación común, ya que la impresión 3D permite optimizar su forma para mejorar el flujo de aire, reducir turbulencias y facilitar el montaje [21].

Las carcasas y soportes interiores, como los de los sistemas electrónicos, se benefician de la precisión de tecnologías como PolyJet, que permiten integrar zonas flexibles con estructuras rígidas [14].



2.15.2 Piezas funcionales: brackets, sistemas de admisión, componentes estructurales ligeros

Los brackets estructurales son un ejemplo clave de piezas funcionales fabricadas mediante impresión 3D. Ford ha utilizado esta tecnología para imprimir soportes personalizados que se ajustan con precisión al entorno del vehículo [17].

Los sistemas de admisión, como los conductos de aire del motor, se benefician de la impresión 3D por su capacidad para crear geometrías optimizadas que mejoran el flujo del aire y la eficiencia del motor [5].

Los componentes estructurales ligeros, como los soportes de suspensión, son cada vez más comunes en vehículos eléctricos, donde la reducción de peso es fundamental [4].

2.16 Ventajas y limitaciones de la impresión 3D en la industria automotriz

2.16.1 Ventajas:

- Permite diseños complejos sin moldes, reduciendo costos y tiempo [4], [7].
- Facilita piezas ligeras, lo que mejora la eficiencia energética de vehículos eléctricos [3], [13].
- Potencia la producción bajo demanda y el desarrollo rápido de prototipos [1], [4].

2.16.2 Limitaciones:

- La velocidad de producción aún es lenta comparada con procesos masivos [7].
- Anisotropía en propiedades mecánicas por capas; requiere parámetros de proceso precisos [4].
- Costos elevados de adquisición y operación de equipos avanzados [5].
- Necesidad de certificación mediante normas ISO/ASTM para producción en serie [3].



Pese a estos retos, marcas como Ford, BMW y Audi siguen expandiendo su uso, integrando impresión multimaterial y optimización de diseño, marcando el camino hacia una industria automotriz más flexible y eficiente.

2.17 Modelado y simulación en el diseño multimaterial

El modelado y la simulación son herramientas esenciales en el diseño de componentes multimateriales dentro de la industria automotriz. A través de software CAD/CAM/CAE, los ingenieros pueden diseñar, probar y optimizar componentes antes de fabricarlos, asegurando su rendimiento en condiciones reales sin necesidad de realizar prototipos físicos en cada iteración [22].

El análisis de elementos finitos (FEA) se ha consolidado como una de las técnicas más eficaces para predecir el comportamiento mecánico y térmico de piezas fabricadas por impresión 3D multimaterial. Esto permite evaluar zonas críticas, evitar fallos estructurales y mejorar el diseño antes de la producción [23].

Técnicas como la optimización topológica y el diseño generativo están transformando la manera en que se diseñan los componentes automotrices. Estas herramientas usan algoritmos para generar estructuras eficientes y ligeras, adaptadas a las condiciones de carga y espacio [24], [25].

La integración de estas herramientas digitales en el proceso de diseño reduce los tiempos de desarrollo y los costos asociados, al disminuir la dependencia de pruebas físicas repetitivas. Esto resulta particularmente valioso en aplicaciones donde el peso y la eficiencia son críticos, como en vehículos eléctricos [22].

La simulación de procesos de fabricación, como la deposición de capas o la solidificación de resinas, permite prever defectos y ajustar parámetros de impresión. Esto mejora la calidad final de la pieza y reduce desperdicios [26].



2.18 Software CAD/CAM/CAE para diseño multimaterial

El software CAD (diseño asistido por computadora), mediante software libre, permite a los diseñadores modelar piezas complejas y definir zonas con diferentes materiales dentro de una misma geometría [25].

El software CAM (fabricación asistida por computadora), con software libre, es utilizado para preparar los modelos para su impresión, definiendo parámetros como velocidad de extrusión, temperatura o altura de capa, esenciales en tecnologías como FDM y PolyJet [23].

El software CAE (ingeniería asistida por computadora), permite simular esfuerzos mecánicos, deformaciones, distribución de temperatura y vibraciones, brindando una visión completa del comportamiento del componente antes de imprimirlo [22].

2.19 Normativas y calidad

Las normativas de calidad son fundamentales para asegurar que las piezas fabricadas mediante impresión 3D cumplan con los requisitos técnicos y de seguridad de la industria automotriz. Debido a que estas piezas pueden formar parte de sistemas estructurales o funcionales críticos, su validación debe estar respaldada por estándares internacionales ampliamente reconocidos [27].

Para atender estas exigencias, los fabricantes están invirtiendo en sistemas de control de calidad en tiempo real, que permiten monitorear parámetros críticos como temperatura, velocidad de deposición y deformaciones. Esto ayuda a identificar defectos antes de que se conviertan en fallos funcionales [26].

Se está trabajando de forma conjunta entre fabricantes, centros de investigación y organismos de estandarización para desarrollar nuevas normas específicas para la impresión 3D automotriz, particularmente en aplicaciones estructurales y multimateriales [28].



2.20 Requisitos de seguridad en componentes automotrices

Los componentes utilizados en automoción deben cumplir con estrictos requisitos de seguridad establecidos por normativas como la ISO 527-1A y ISO 527-2, que define los niveles de integridad funcional para sistemas críticos, especialmente en vehículos eléctricos y autónomos [18].

Para piezas impresas, esto implica que deben soportar cargas dinámicas, condiciones de fatiga y ambientes térmicos extremos, como los que se presentan cerca del motor o en el chasis [11].

Como respuesta, los fabricantes han adoptado estrategias de inspección no destructiva y evaluación automatizada, como el escaneo por ultrasonido o rayos X, para verificar que las piezas cumplan con estos requerimientos antes de ser instaladas en vehículos comerciales [26].

2.21 Ensayos de esfuerzos: tracción, flexión, impacto, fatiga

Los ensayos de tracción, conforme a la norma ASTM D638, miden la resistencia del material cuando se somete a esfuerzos de estiramiento, determinando propiedades como el límite elástico y la elongación [27].

Los ensayos de flexión, regulados por la norma ASTM D790, permiten evaluar la rigidez y deformación de una pieza cuando se aplica una carga perpendicular a su eje, lo que es clave en piezas que soportan peso o empujes laterales [27].

Los ensayos de impacto, como los métodos Izod o Charpy, analizan la capacidad de absorber energía en golpes rápidos, mientras que las pruebas de fatiga someten a la pieza a ciclos repetitivos de carga para estimar su vida útil en condiciones reales de operación [26].



CAPÍTULO III

MAERIALES Y METODOS

3. Materiales y Equipos

El trabajo de grado conceptualiza los materiales y equipos que se van a utilizar, disponiendo de sus especificaciones y nomenclatura.

3.2 Impresora 3D Flashforge AD5X

La impresora, tiene características que permiten tener una impresión aditiva multimaterial, ya que cuenta con una velocidad de impresión de hasta 20000 mm/s², lo cual nos ayuda a realizar nuestros trabajos en un periodo más corto con relación a otros modelos de impresoras, además cuenta con un tamaño de construcción de 220mm², permitiendo realizar piezas de recambio pequeñas. Estas características fueron proporcionadas por la ficha técnica especificada en la siguiente tabla. (Ver tabla 1)

Tabla 1. Ficha técnica de la impresora

Ficha técnica			
Marca	Flashforge	Peso bruto	14,2 kg
Modelo	AD5X	Tamaño del dispositivo	363 x 363 x 413 mm
Diámetro de la boquilla	0,4mm (Predeterminado), 0,6mm, 0,8mm y 0,25mm (Opcional)	Velocidad máxima de viaje	600 mm/s
Tipo de filamento	PLA, PLA PRO-HS, PLA MATE, PLASEDA TPU64D, PETG, PETG PRO-HS, PETG ASA	Velocidad de impresión Aceleración máxima ²	10-300 mm/s; 20000 mm/s ²
Camara de impresión magnética	Lámina de acero flexible PEI	Tamaño de construcción	220 × 220 × 220 mm



3.2.1 Filamento PVA

La propiedad por hidrosoluble de material es la razón por la cual se lo seleccionó, puesto que, permite sacar los soportes de la impresión de una manera rápida sin que pueda llegar a presentar inconvenientes con la estructura de construcción principal, se realiza la inmersión en agua para que el filamento cumpla con su trabajo. En la siguiente tabla se menciona las características del filamento. (Ver tabla 2)

Tabla 2. Ficha técnica del filamento PVA

Ficha técnica			
Propiedades físicas		Propiedades de impresión	
Propiedad	Valor	Propiedad	Valor
Densidad material	del 1.23 g/cm ³	Temperatura de impresión	190 – 210 °C
Nombre químico	Alcohol polivinílico	Cama caliente (Hot Bed)	25 – 60 °C
Solubilidad	Soluble en agua	Ventilador por capa	Activo
Peso Neto	350 g	Velocidad de capa	30 – 45 mm/s
Peso Bruto	495 g	Diámetro	1.75 / 2.85 mm



3.2.2 Filamento Hyper PLA-CF

Se caracteriza por tener una mayor resistencia estructural que otros filamentos, sin perder flexibilidad, esto se logra debido a que cuenta con un porcentaje de carbono el cual mejora sus propiedades físicas, también nos permite manejar más velocidad de impresión sin esperar ningún tipo de complicación o deformaciones. En la siguiente tabla se muestra sus propiedades físicas. (Ver tabla 3)

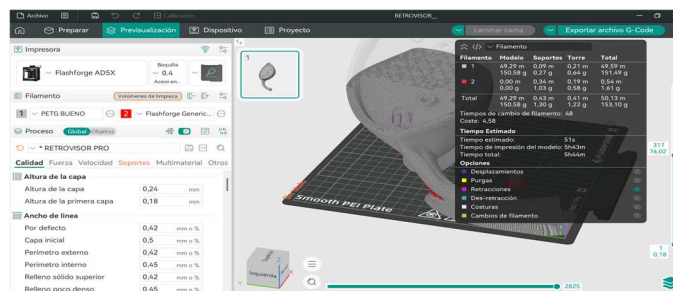
Tabla 3. Ficha técnica del filamento Hyper PLA-CF

Ficha técnica			
Propiedades físicas		Propiedades de impresión	
Propiedad	Valor	Propiedad	Valor
Porcentaje de carbono presente	30%	Temperatura de impresión	190 – 230 °C
Nombre químico	Ácido Poliláctico	Cama caliente (Hot Bed)	45 – 60 °C
Peso Neto	1kg	Velocidad de impresión	50 – 300 mm/s
Peso Bruto	1.29 kg	Diámetro	1.75 mm

3.2.3 OrcaSlicer

Es una aplicación diseñada para convertir modelos 3D de componentes en archivos de formato G-CODE, entre sus capacidades principales destacan algoritmos avanzados para la optimización de tiempo y material, permitiendo generar trayectorias de impresión que minimizan el desperdicio, proporcionando un control detallado sobre parámetro críticos como la velocidad de impresión y la densidad del relleno. (Ver figura)

Fig 1. Se evidencia de la interfaz del software OrcaSlicer

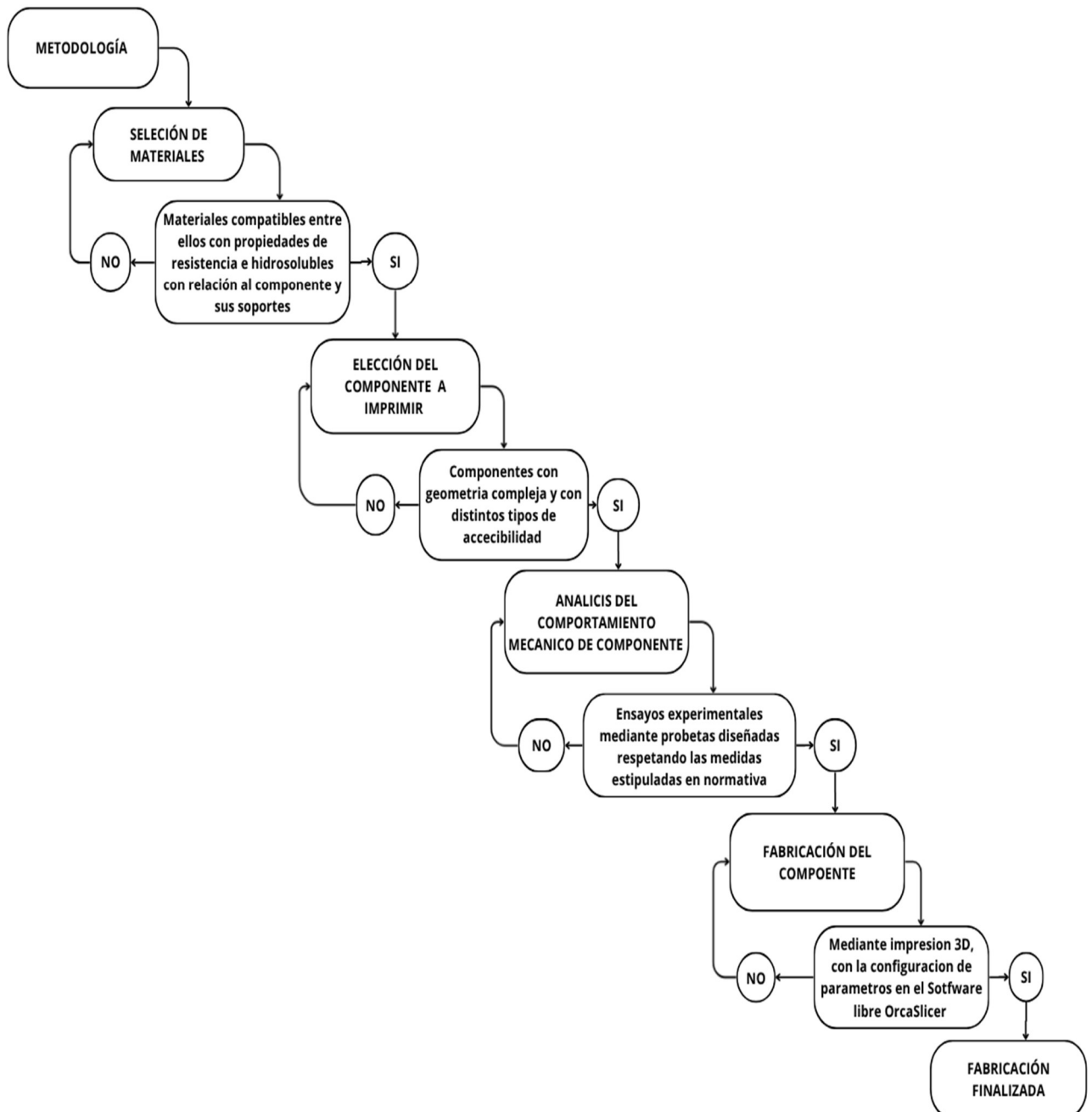




3.3 Metodología

3.3.1 Diagrama sobre la metodología

Fig 2. Representación del proceso que se realizó en la metodología





3.3.2 Selección de materiales

Se utiliza materiales que no afecten sus estructuras funcionales entre sí, se tomó en cuenta la creación de soportes fáciles de quitar y que no presenten daños en la superficie del componente.

La fiabilidad del repuesto de acuerdo con su resistencia estructural comparada con el repuesto original, por lo cual se analizó 8 tipos de filamentos (PETG, HYPEY PLA, ABS, ASA, PC, PVA, NYLON, PLA) bajo criterios como; impresión con cámara cerrada, costos de adquisición, y propiedades hidrosolubles, este último parámetro lo vamos a manejar para la creación de soportes. (Ver diagrama 1)

3.3.3 Filamentos

El filamento PVA ha sido seleccionado por su propiedad hidrosoluble, una característica técnica esencial que permite la remoción de estructuras de soporte mediante la inmersión en líquido, evitando así las imperfecciones superficiales y daños mecánicos que suelen ocurrir durante el retiro manual de soportes convencionales. Complementariamente, el uso de PLA convencional la creación de soportes en el componente base permite establecer una referencia estable para mejorar las configuraciones de impresión, aprovechando que el PLA es un termoplástico biodegradable de fácil manipulación, ideal para procesos de validación inicial y prototipado rápido en la manufactura aditiva.

La implementación del filamento Hyper PLA, el cual integra un 30% de carbono en su composición, busca proporcionar una mayor resistencia estructural y rigidez sin comprometer la elasticidad del componente, siguiendo la tendencia de los materiales compuestos reforzados para mejorar el rendimiento mecánico en aplicaciones exigentes. Con el fin de optimizar el proceso y reducir el margen de error, se ha designado el filamento PETG como material de transición para realizar las configuraciones técnicas iniciales; esto permite depurar los parámetros de impresión y evitar fallos críticos o desperdicio de material antes de proceder con la fabricación definitiva en filamentos de alto desempeño como el Hyper PLA.

3.3.4 Selección componente a imprimir

Los componentes que se tomó buscaron para realizar el proceso tiene el criterio de ser un componente TIER 2 (pieza de recambio), por lo cual se optó por varios componentes como son retrovisores exteriores, maniguetas de motocicletas, retrovisores internos, rompe vientos motocicleta, rejilla de ventilación, manigueta de la puerta, portón de la guantera.



La selección opto por 3 componentes, iniciando por el retrovisor exterior del vehículo Pagani Hydra, este componente cuenta con una geometría irregular simulando una hoja.

Fig 3. Retrovisor externo Pagani Hydra



Como segundo proceso de impresión de opto por el retrovisor exterior del vehículo Ford Bronco 1987, el cual cuenta con una geometría distinta al anterior retrovisor.

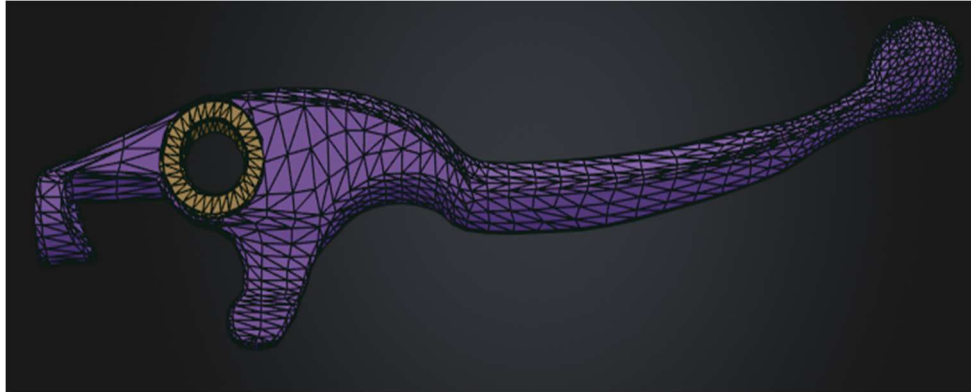
Fig 4. Retrovisor interno Ford Bronco 1987





Como tercer componente se tomó en cuenta la manigueta de la motocicleta Daytona Arctic doble propósito

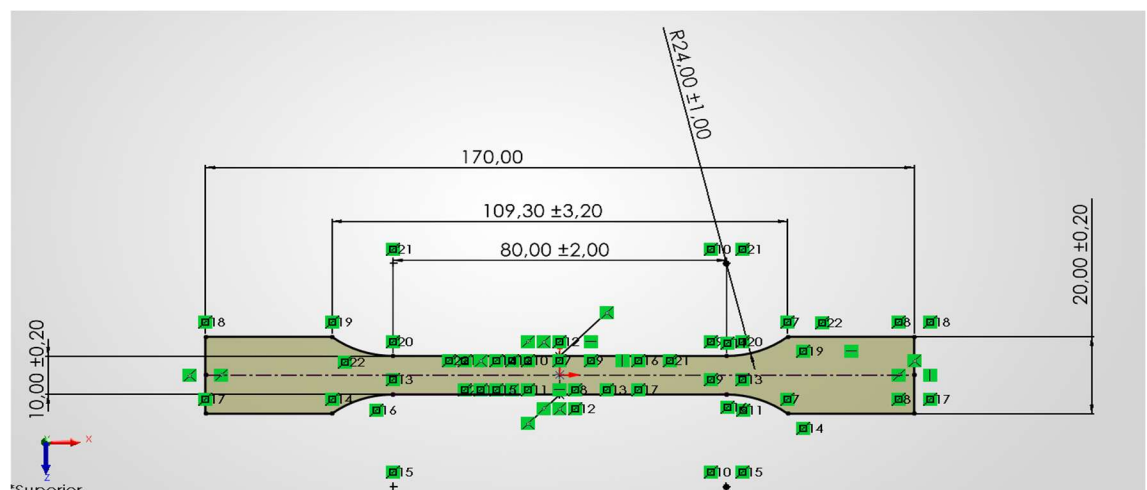
Fig 5. Manigueta de freno Daytona Artic



3.4 Diseño de probeta

El diseño se basa principalmente en la norma ISO 2294-1, utilizando diferentes tipos de geometrías para evaluar el comportamiento mecánico. Las dimensiones clave de las probetas de ensayo se establecen de una manera ordenada. (Ver figura 6)

Fig 6. Estructura de las dimensiones de la probeta.



En la siguiente tabla se representa la definición de las cotas establecidas en las probetas juntamente con los valores referenciales de los cuales nos basamos para el diseño e impresión de las probetas. Ver tabla 4



Tabla 4. Se establece el valor de las cotas de la probeta.

Cota	Definición	Dimensión (mm)
L₀	Longitud de medición	$75,0 \pm 2$
L	Longitud de sujeción	115 ± 1
l₁	Longitud de la parte estrecha paralela/Diámetro interior	80 ± 2
l₂	Distancia entre secciones anchas, paralelas	$109,3 \pm 3,2$
l₃	Longitud total/ diámetro exterior	170
b₂	Ancho de probeta en área de los extremos	$20 \pm 0,2$
b₁	Ancho de probeta en área de longitud de medición	$10 \pm 0,2$
h	Espesor de probeta	$4 \pm 0,2$

3.4.1 Parámetros de Diseño Críticos

Para garantizar que el diseño sea válido para la manufactura aditiva y la posterior validación científica, se deben considerar estos factores:

- **Specimen Geometry Ratio (SGR):**

Es un valor de diseño fundamental calculado como el cuadrado del área de la sección transversal dividido por la longitud de la probeta (). Mantener esta ratio permite predecir los valores de elongación siguiendo la Ley de Barba.

- **Secciones Delgadas:**

El diseño debe tener en cuenta que, en anchos menores a 2 mm, la resistencia a la tracción puede reducirse drásticamente (hasta 10 MPa) debido a la falta de escaneo de núcleo dependiendo casi totalmente del contorneado.

3.5 Preparación de componentes

El retrovisor exterior del Pagani fue seleccionado para ser el primer componente para imprimir, antes de utilizar la fibra de carbono, se tomó en cuenta los errores que pueden llegar a existir en este proceso, por lo cual, el primer prototipo será de PETG el relleno

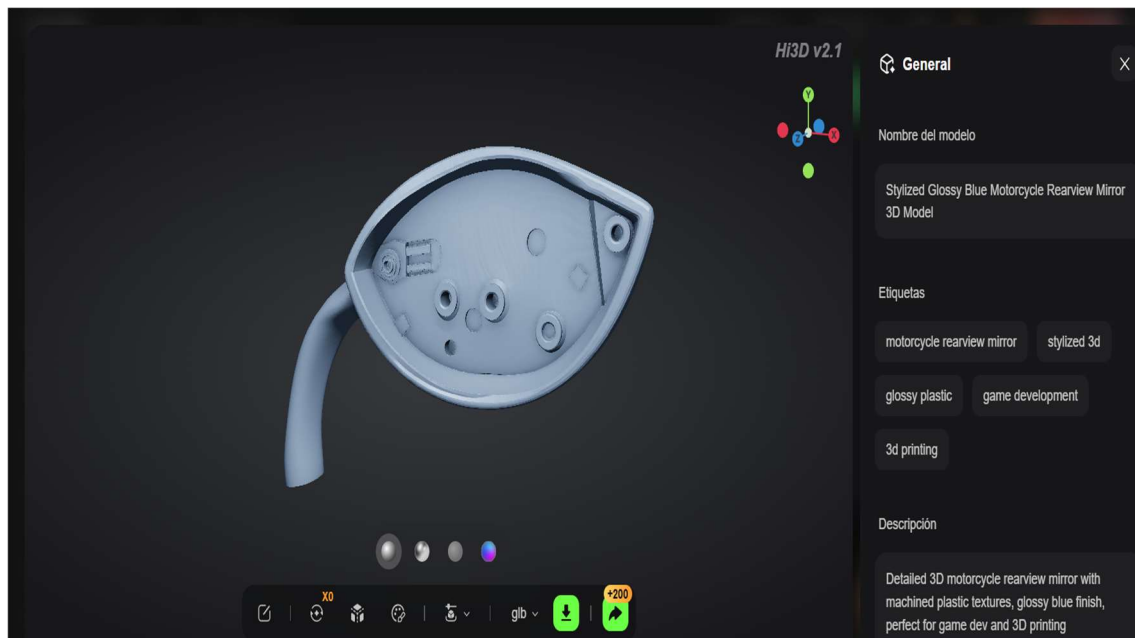


de la pieza y como soporte se utiliza en PLA, con el fin de probar las configuraciones de impresión.

3.5.1 Preparación del componente

El componente fue seleccionado del software libre HITEM3D, generando un modelo 3D del componente seleccionado, permite crea el modelado tras varias vistas como seria trasera, delantera y posterior de esta manera se puede recrear de una manera más detallada evitando tener que realizar muchas correcciones en la superficie del retrovisor, también permite exportarlo en un formato SLT, de manera que se pueda realizar distintas modificaciones en los softwares OrcaSlicer mencionado anterior mente. (Ver figura 7).

Fig 7. Obtención de modelo 3D del retrovisor externo del Pagani Hydra



3.5.1 Preparación en OrcaSlicer

La configuración es diferente para cada material, variando sus temperaturas tanto en; temperatura de la boquilla tanto en la capa inicial y las demás capas, laca temperatura de la cama en la capa inicial y las otras capas.

PETG este material tiene temperaturas específicas tanto para la boquilla y la cama, las temperaturas de la boquilla pueden ir de 240°C a 260°C para este componente se utilizó una temperatura de 245°C para la capa inicial y las demás capas 240°C, esta configuración permite evitar que el componente pierda adherencia y se desprege de la cama, de igual manera la cama fría super track se maneja en un rango de temperaturas de



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



60°C a 80°C, esta cama se configuro en 70°C tanto para la capa inicial y las otras capas.(Ver figura.8.)

Fig 8. Parámetros de configuración del filamento PETG

Configuración de Material

PETG BUENO

Filamento Refrigeración Sobreescribir Ajustes de impresora Avanzado Multimaterial Dependencias Ano.

Temperatura de la cámara

Temperatura de cámara 0 °C

Activar control de temperatura ☐

Temperatura de impresión

Boquilla Capa inicial 245 °C Otras capas 240 °C

Temperatura de cama

Cama Fría (SuperTack)	Capa inicial	70 °C	Otras capas	70 °C
Cama Fría	Capa inicial	85 °C	Otras capas	85 °C
Cama Fría Texturizada	Capa inicial	70 °C	Otras capas	70 °C
Cama de Ingeniería	Capa inicial	85 °C	Otras capas	85 °C
Cama PEI suave / Cama de Alta Temperatura	Capa inicial	70 °C	Otras capas	70 °C
Cama PEI Texturizada	Capa inicial	85 °C	Otras capas	85 °C

Limitación de la velocidad volumétrica

Velocidad volumétrica máxima 12 mm³/s

PLA el material tiene características terminas en la boquilla que se manejan en un rango de 180°C a 240°C, para esta configuración manejará un rango de temperatura de 190°C a 240°C, la diferencia de temperatura entre la capa inicial con las demás capas será de 4°C, lo que nos da una capa inicial de 204°C y las otras capas de 200°C, de igual manera que el PETG la cama fría maneja una temperatura de 70°C para evitar que los soportes se despegan. (Ver figura 9)

Fig 9. Parámetros de configuración del material PLA

Temperatura de impresión

Boquilla Capa inicial 204 °C Otras capas 200 °C

Temperatura de cama

Cama Fría (SuperTack)	Capa inicial	70 °C	Otras capas	70 °C
Cama Fría	Capa inicial	70 °C	Otras capas	70 °C
Cama Fría Texturizada	Capa inicial	70 °C	Otras capas	70 °C
Cama de Ingeniería	Capa inicial	70 °C	Otras capas	70 °C
Cama PEI suave / Cama de Alta Temperatura	Capa inicial	70 °C	Otras capas	70 °C
Cama PEI Texturizada	Capa inicial	70 °C	Otras capas	70 °C

Limitación de la velocidad volumétrica

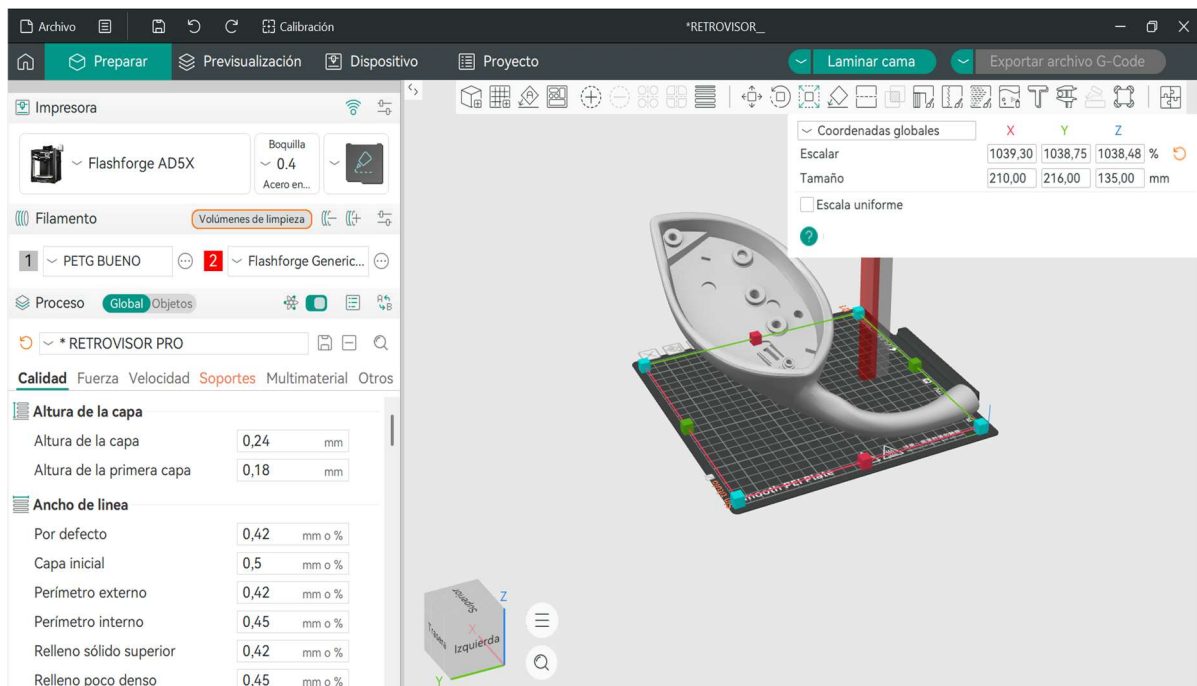
Velocidad volumétrica máxima 25 mm³/s



3.5.2 Configuración de parámetros de impresión

Se establecieron los parámetros de dimensionamiento del componente, tanto en largo (210mm), alto (216mm) y ancho (135mm) del componente basándonos en la información previamente investigada cumpliendo con las dimensiones de fabricación, se estableció el tipo de material que se va a utilizar para la impresión de prueba él fue PLA para soportes y para el componente el PETG. (Ver figura.10)

Fig 10. Parámetros de configuración de la escala del componente



Se estableció que los soportes se manejaran bajo la configuración tipo normal de manera que nos permita tener un menor gasto en el material de soportes, igual su estructura permite una separación del componente menos brusco y cuidar la superficie de manera que no se tenga que corregir imperfecciones en la superficie de la pieza.

Se basó en la selección en la funcionalidad que nos brinda al reducir el tiempo de impresión evitando que se formen soportes que no genere ningún tipo de beneficio al extender los soportes para la misma capa, igual manera se configuró un borde de adherencia para evitar que la pieza tienda a despegarse o por un caso puntual a moverse (Ver figura.11 y 12)



Fig 11. Se muestra es tipo de soportes que se utiliza para la fabricación

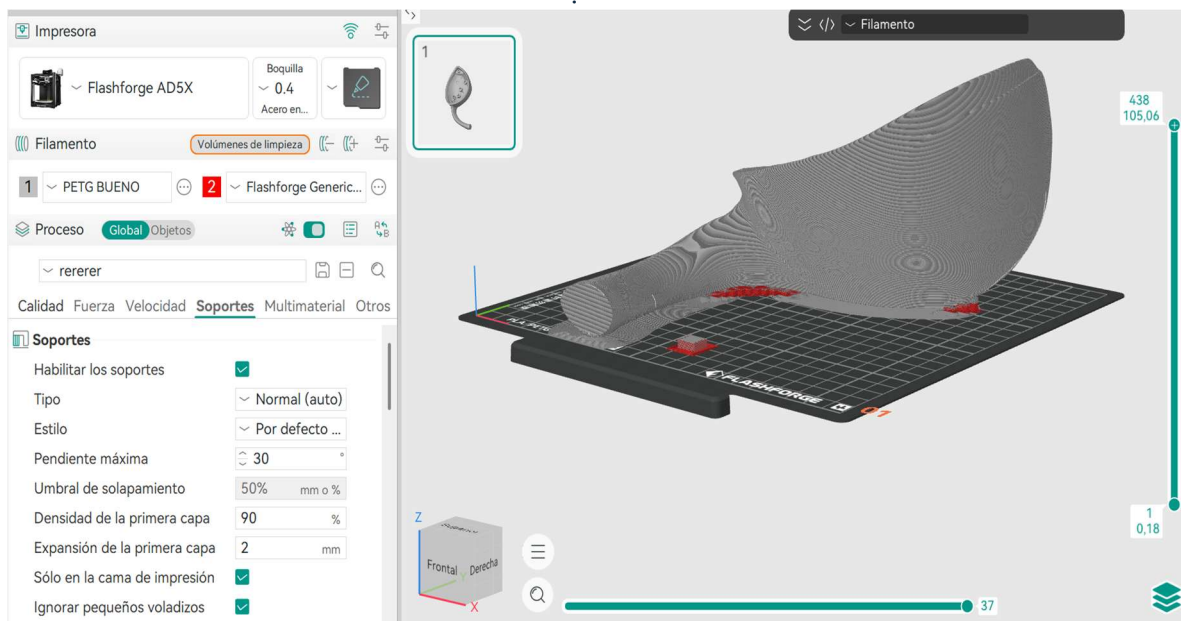
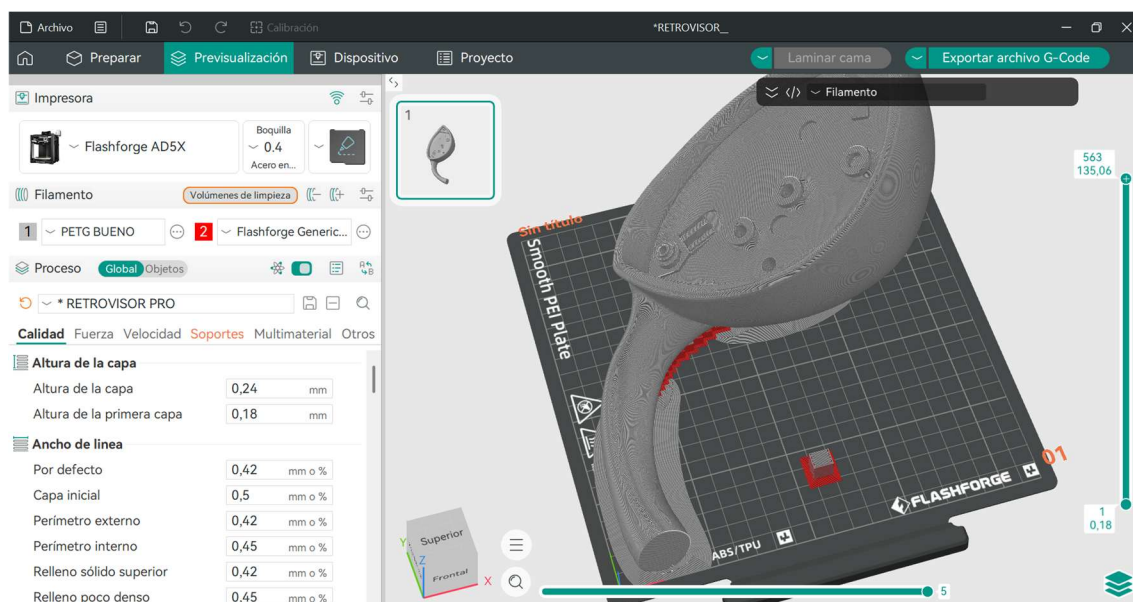


Fig 12. Se muestra el borde de adherencia que se selecciono





Para la segunda impresión se buscó las dimensiones del fabricante con respecto al largo, alto y ancho del retrovisor interno del material, como también se estableció secciones para imprimir por separado para lograr un mejor montaje de la pieza.

Fig 13. Sección en la que se ubica el espejo retrovisor

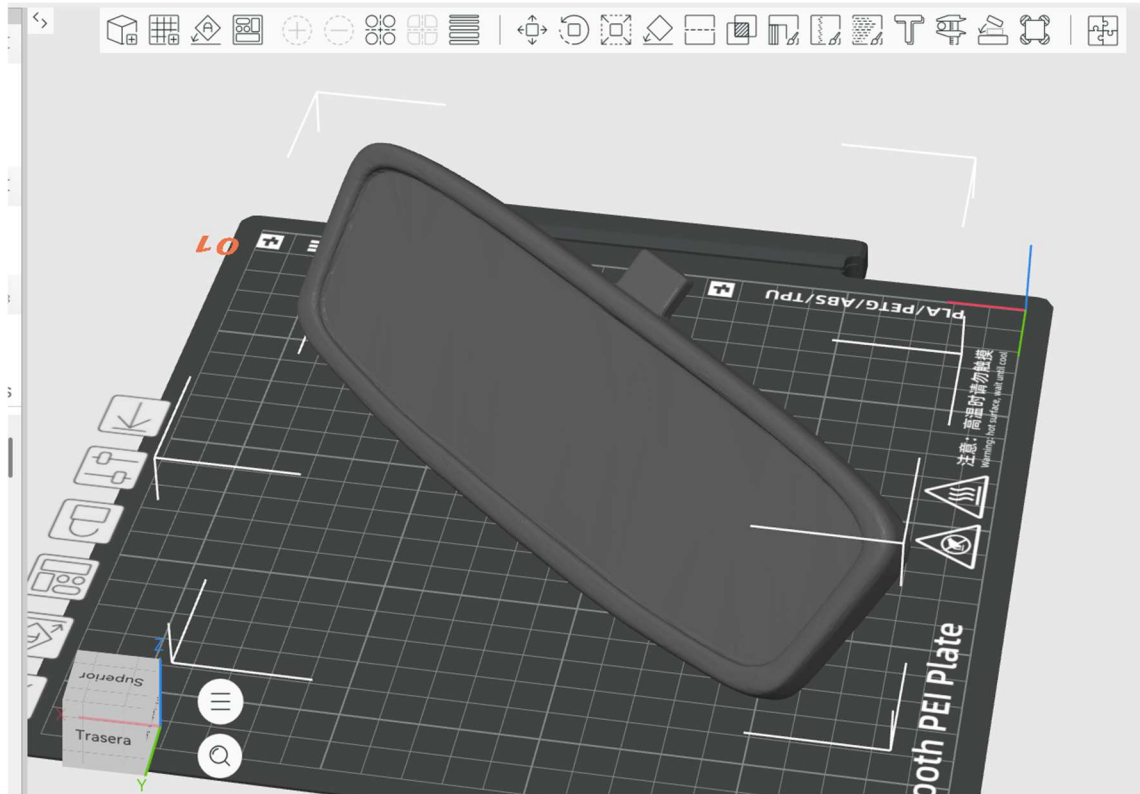
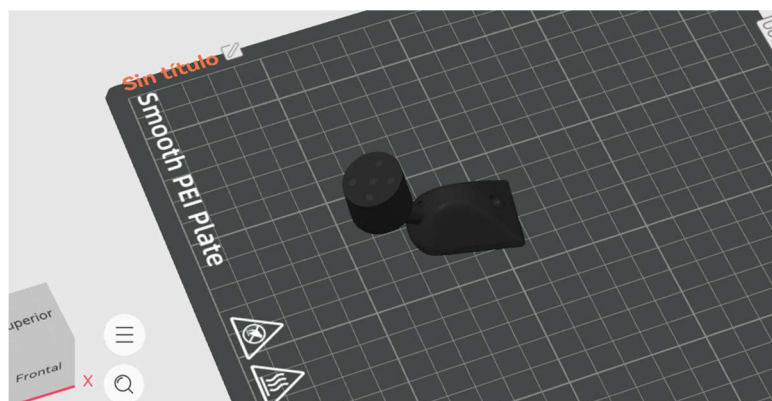


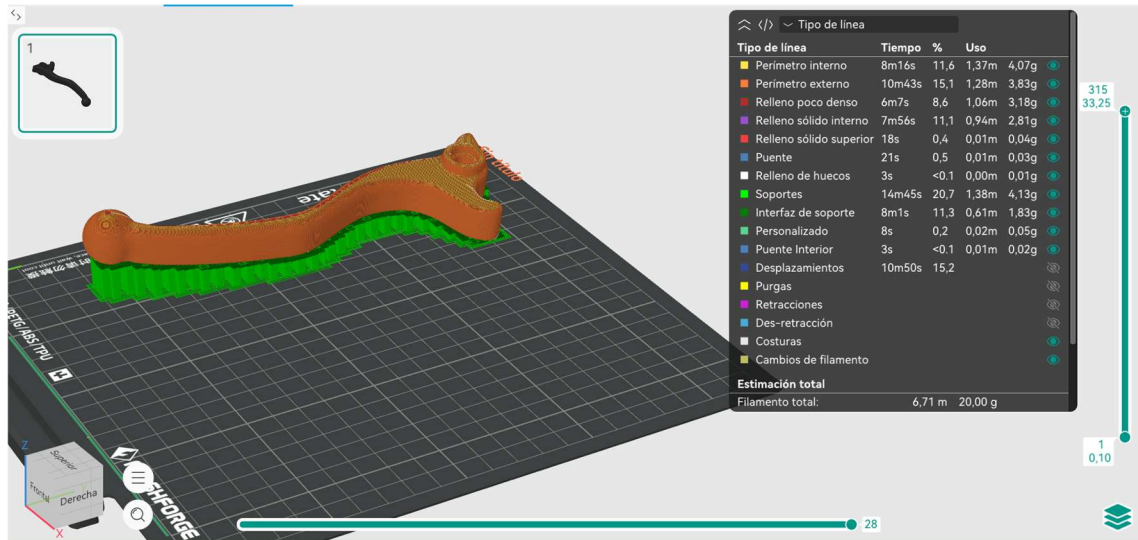
Fig 14. Sección de soporte sujeto al parabrisas





El tercer componente a imprimir es la manigueta de freno, se ajustó la posición de impresión para evitar que existan desperdicios de material y que el componente no sufra daños en su superficie.

Fig 15. Posición alzada evitando que la superficie presente daños





CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.2 Selección de materiales polímeros

Esta estableció una comparación del comportamiento que tenían varios materiales polímeros, de esta manera se pudo establecer cuál es el mejor en cuanto a resistencia y durabilidad y funcionalidad en exteriores.

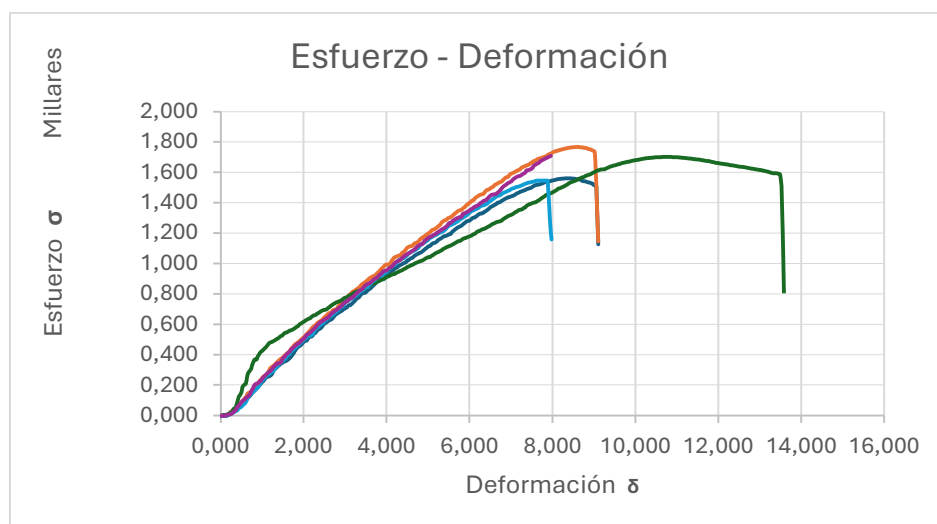
4.2.1 Ensayos de tracción relacionados con porcentaje y tipo de relleno en PETG

Tabla 5. Probetas de ensayo con diferentes tipos de relleno

Fibra de carbono					
CÓDIGO DE PROBETAS	L.Máx.1 (mm)	L.Máx.2 (mm)	L.Máx.3 (mm)	Configuración	Color de la grafica
26	48,7	48,2	48,4	Cuadrícula 75%	Azul oscuro
27	52	52,2	52,4	Giroide 90%	Naranja
28	51,74	51,65	51,88	Panal 85%	Verde
29	50,9	50,86	50,92	Giroide 75%	Azul claro
30	49,52	49,44	49,6	Panal 90%	Rosado

Se expresan las diferentes probetas que realizaron el ensayo con su dimensiones y configuraciones de relleno, y diferenciándolas con una colorimetría.

Fig 16. Representación del esfuerzo sometido y su deformación





UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



La grafica presenta valor de deformación con respecto al esfuerzo progresivo al cual es sometido cada una de las probetas, de lo cual podemos resaltar que la probeta 28 presenta un mejor manejo de esfuerzos, ya que esta está sometida 1500 MPa y mantiene una zona elástica cercana a los 15000 MPa, llegando a su punto de ruptura, demostrando que la configuración de relleno de panal es la eficaz para soportar esfuerzos

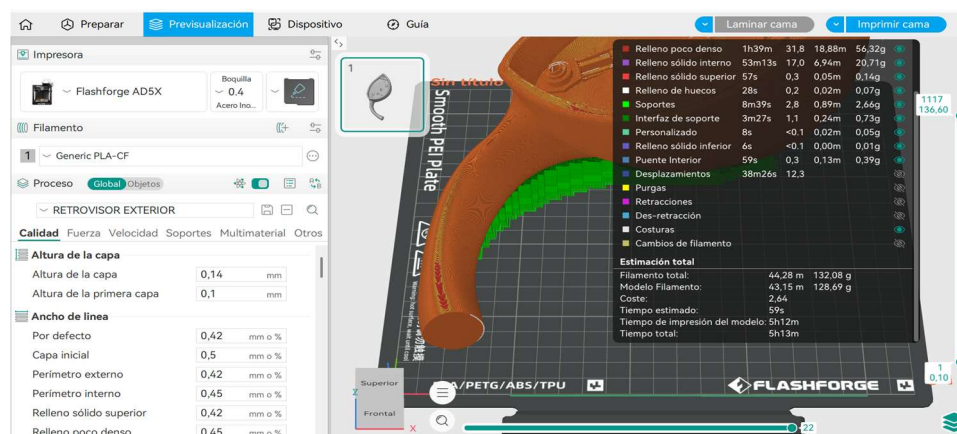
Las probetas 29 y 30 azul claro y rosado respectivamente, son incapaces de soportar esfuerzos que sobrepasen los 8000 MPa, llegando a su ruptura sin mantener una zona elástica, evidenciando que las configuraciones de relleno 75 % en giro y de no fue capaz de soportar los esfuerzos y de igual manera el relleno tipo panal en un 90 % es muy rígido por lo cual puede mantener una zona plástica por lo cual presenta su ruptura antes de los 10000 MPa.

4.3 Configuración de parámetros de impresión

Una configuración optima nos permite reducir el tiempo de impresión, al configurar la altura de la capa inicial y las demás, controlamos la calidad y tiempo que requiere la pieza, podemos aprovechar 1 hora de diferencia con este procedimiento.

Se estableció que una buena calidad necesita una altura de capa inicial de 0,1mm, de esta manera garantizamos una buena calidad al no presentar señales de líneas de impresión las cuales son visibles muy notoriamente a partir de los 0,16mm de capa inicial, debido a esto se presentan daños estructurales con la presencia de rebaba de filamento o secciones con mala deposición de filamento terminando con presencia de pequeños agujeros debilitando la estructura en general, los tiempos de impresión del mismo retrovisor exterior del Pagani hydra demora un tiempo de 4h,07m con la configuración de 0,16mm y 0,2mm con una la configuración de 0,1mm y 0,14mm aumento a 5h.13m, esto se debe al aumento de la calidad en el componente. (Ver figura 17)

Fig 17. Configuración optima de altura de capa inicial y siguientes capas





4.4 Impresión de componentes

Fig 18. Impresión en fibra de carbono retrovisor exterior Pagani Hydra



Fig 19. Impresión en fibra de carbono manigueta de freno Daytona Artic



Fig 20. Impresión en fibra de carbono retrovisor interno Ford Bronco 1987





5. Conclusiones

- Los materiales seleccionados fueron indispensables gracias a sus propiedades mecánicas, tanto en temperatura pueden manejar un rango de 204°C a 245°C, lo que permitió tener una compatibilidad del 80 % al no dañar la estructura de impresión por la diferencia de temperatura que se presenta en los soportes y las capas del componente.
- Al diseñar componentes de prueba, se logró optimizar la configuración evitando desperdicios de material principal, de esta manera relacionamos el tiempo de impresión, calidad y tipo de soporte, de esta manera se puede optimizar en 1 hora la impresión lo que nos permite mejor 77%, entre las diferentes configuraciones de la altura de capa inicial de 0,10mm y 0,14mm y las demás capas en 0,12mm y 0,2mm.
- El ensayo de tracción permitió conocer el tipo de patrón y la densidad relleno con mejor eficiencia, de esta manera se ha establecido que el patrón tipo panal con una densidad de relleno en 85% es la mejor configuración al soportar 1500 MPa hasta su punto de quiebre.
- Al fabricar el componente se puede reducir el tiempo de espera, las impresiones de componentes de recambio rápido como es el retrovisor exterior del Pagany hydra demora un tiempo de 5h,30m, el retrovisor interno del Ford Bronco 1987 tuvo una duración de 2h,44m, la manigueta de freno de la Daytona Artic duro 1h,32m.

6. Recomendaciones

- Los materiales seleccionados deben poseer la capacidad de ser impresor por la máquina que se va a utilizar sea con cámara abierta o cerrada, evitando que los componentes no queden impresos hasta la mitad o que el material cambie de propiedad por influencia de la atmósfera, de esta manera se exponemos a errores de impresión que necesitan un cambio o limpieza de boquilla, retrasando el tiempo de impresión.
- Los componentes de prueba deben tener diferentes tipos de configuraciones para poder hallar un equilibrio entre calidad y tiempo de impresión se puede variar entre altura de capa inicial y las demás capas, de la misma manera la posición que se va a ubicar mejora la creación de soportes para evitar que se generen vacíos en la estructura y el relleno se hunda o deforme.
- No se puede procesos postratamiento en los componentes de prueba, debido que al observar las fallas estéticas o estructurales podemos corregir mejora la calidad, de esta manera el componente principal no presentara ninguna de estas fallas.



7. Bibliografías

- [1] J. D. Williams, “Additive manufacturing in the automotive industry: Past, present and future,” *J. Manuf. Sci. Eng.*, vol. 140, no. 9, pp. 1–11, Sep. 2018.
- [2] M. Gibson and A. Sharp, *Additive Manufacturing Technologies*, 3rd ed., Springer, 2021.
- [3] ISO/ASTM 52900:2021, *Additive manufacturing — General principles — Terminology*, ISO, 2021.
- [4] T. D. Ngo, A. Kashani, G. Imbalzano, K. T. Nguyen, and D. Hui, “Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges,” *Composites Part B: Engineering*, vol. 143, pp. 172–196, 2018.
- [5] I. Gibson, D. Rosen, and B. Stucker, *Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing*, 2nd ed., Springer, 2015.
- [6] ASTM International, “ASTM F42 Committee on Additive Manufacturing Technologies,” 2020. [Online]. Available: <https://www.astm.org/COMMITTEE/F42.htm>
- [7] M. Gonzalez et al., “Polymers for automotive components manufactured by additive processes: A review,” *Polymers*, vol. 13, no. 9, pp. 1–21, May 2021.
- [8] E. Sachs and J. Serdy, “Application of Additive Manufacturing to Automotive Lightweight Structures,” *SAE Int. J. Mater. Manuf.*, vol. 10, no. 3, pp. 305–316, 2017.
- [9] K. Amirtharaj et al., “Sustainability in additive manufacturing of polymers: A review,” *Sustainable Materials and Technologies*, vol. 29, e00324, 2021.
- [10] ASTM International, “ASTM D638-14: Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics,” 2014. [Online]. Available: <https://www.astm.org/D638>
- [11] M. Tran et al., “Multi-material additive manufacturing: A review,” *Additive Manufacturing*, vol. 31, pp. 100–103, Jan. 2020.



- [12] R. Singh, “Multi-material FDM printing: Challenges and applications in the automotive sector,” *Materials Today: Proceedings*, vol. 43, pp. 1632–1637, 2021.
- [13] D. Espalin et al., “Multi-material additive manufacturing of parts with complex internal structure,” *Virtual and Physical Prototyping*, vol. 9, no. 4, pp. 195–201, 2014.
- [14] J. Huang et al., “Material compatibility in multi-material 3D printing: Analysis and solutions,” *Journal of Manufacturing Processes*, vol. 61, pp. 377–385, 2021.
- [15] M. Jamshidinia and R. Kovacevic, “A study on thermal performance of polymer-metal printed parts,” *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, vol. 138, no. 8, pp. 081009, 2016.
- [16] “Transforming Automotive Design: 3D Printing for Car Interiors,” *The Car Brains*, 2023. [Online]. Available: <https://thecarbrains.com/3d-printing-for-car-interiors/>
- [17] “USAGE OF ADDITIVE MANUFACTURING IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY: A REVIEW,” *ResearchGate*, 2023. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/376614337_USAGE_OF_ADDITIVE_MANUFACTURING_IN_THE_AUTOMOTIVE_INDUSTRY_A_REVIEW
- [18] “How 3D Printing is Driving the Future of Automotive Engineering,” *Graphite-AM*, 2023. [Online]. Available: <https://www.graphite-am.co.uk/how-3d-printing-is-driving-the-future-of-automotive-engineering/>
- [19] “From Prototypes to Production: Mastering 3D Printing in Automotive Applications,” *NowFab*, 2023. [Online]. Available: <https://www.nowfab.com/mastering-3d-printing-in-automotive-applications/>
- [20] “Automotive Additive Manufacturing | Best Industry Applications,” *3D Castor*, 2023. [Online]. Available: <https://www.3dcastor.com/post/the-best-applications-of-3d-printing-in-the-automotive-industry>



- [21] “3D Printing at the Heart of Automotive Interior Design,” *3Dnatives*, 2025. [Online]. Available: <https://www.3dnatives.com/en/3d-printing-at-the-heart-of-automotive-interior-design-230120256/>
- [22] B. Zheng et al., “Applications of CAD/CAE/CAM in design for additive manufacturing: A review,” *Journal of Manufacturing Processes*, vol. 56, pp. 68–83, 2020.
- [23] G. Rezaei et al., “Numerical and experimental investigation of the effect of process parameters in FDM 3D printing,” *Polymers*, vol. 14, no. 5, pp. 1–16, 2022.
- [24] R. Martinez, “Topology Optimization and Additive Manufacturing,” *Procedia CIRP*, vol. 65, pp. 15–20, 2017.
- [25] Autodesk Inc., “Generative Design in Fusion 360,” 2023. [Online]. Available: <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/blog/generative-design>
- [26] M. Grasso and B. Colosimo, “Process defects and in situ monitoring methods in metal powder bed fusion: A review,” *Measurement Science and Technology*, vol. 28, no. 4, 2017.
- [27] ASTM Committee F42 on Additive Manufacturing Technologies, “Developing Standards for 3D Printing in Automotive,” *ASTM Newsroom*, 2022.
- [28] ISO 26262:2018, *Road vehicles — Functional safety*, ISO, 2018.
- [29] S. M. Thompson et al., “An overview of Direct Laser Deposition for additive manufacturing; Part I: Transport phenomena, modeling and diagnostics,” *Additive Manufacturing*, vol. 1–4, pp. 35–52, 2014.