



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

APLICACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS FDM Y SLA EN LA MANUFACTURA DE
PROTOTIPOS DE AUTOPARTES PARA VEHÍCULOS

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingeniero Automotriz

AUTORES: HERNÁN PATRICIO PARRA PARRA

EDWIN MESÍAS GUAMANTARIO QUITUISACA

TUTOR: ING. WILSON PATRICIO CALLE GUAMANTARIO, MSC.

Cuenca - Ecuador

2024

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORIA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Hernán Patricio Parra Parra con documento de identificación N° 0302410071 y Edwin Mesías Guamantario Quituisaca con documento de identificación N° 0106650302; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 10 de julio del 2024

Atentamente,



Hernán Patricio Parra Parra
0302410071



Edwin Mesías Guamantario Quituisaca
0106650302

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Hernán Patricio Parra Parra con documento de identificación N° 0302410071 y Edwin Mesías Guamantario Quituisaca con documento de identificación N° 0106650302, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto técnico: “Aplicación de las tecnologías FDM y SLA en la manufactura de prototipos de autopartes para vehículos”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Automotriz, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 10 de julio del 2024

Atentamente,



Hernán Patricio Parra Parra

0302410071



Edwin Mesías Guamantario Quituisaca

0106650302

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Wilson Patricio Calle Guamantario con documento de identificación N° 0103551057, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: APLICACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS FDM Y SLA EN LA MANUFACTURA DE PROTOTIPOS DE AUTOPARTES PARA VEHÍCULOS, realizado por Hernán Patricio Parra Parra con documento de identificación N° 0302410071 y por Edwin Mesías Guamantario Quituisaca con documento de identificación N° 0106650302, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 10 de julio del 2024

Atentamente,



Ing. Wilson Patricio Calle Guamantario, MSc.

0103551057

DEDICATORIA

A mis padres, Hernán y Nube, por su inquebrantable apoyo y sacrificio a lo largo de mi vida. Sus enseñanzas y ejemplo han sido el cimiento de mis logros.

A mi amada esposa, Mayra, mi compañera de vida y mayor aliento. En este camino académico, tu paciencia, comprensión y amor incondicional han sido esenciales.

A mi querido hijo, Sebastián, fuente inagotable de inspiración y alegría. Tu llegada a nuestras vidas ha dado un nuevo sentido a cada esfuerzo y logro.

Ustedes son el motor que impulsa mis sueños y la razón de mi perseverancia. Este trabajo es tan suyo como mío, pues sin su apoyo, amor y sacrificio, no habría sido posible.

Hernán Patricio Parra Parra

DEDICATORIA

A mis padres, Juliana Q. y José G, por su amor, guía y apoyo constante en cada etapa de mi formación.

A mis queridos abuelos Juana y Miguel, que con cariño y sabiduría me criaron desde pequeño.

A la memoria de mi padre Manuel, cuya presencia siento siempre y cuyo recuerdo me inspira a ser mejor.

A mis tíos, tanto paternos como maternos, por su respaldo incondicional y por estar presentes en mi camino.

Este logro es fruto del esfuerzo conjunto de toda mi familia. Gracias por creer en mí y por ser mi fuerza para alcanzar mis metas.

Con amor y gratitud, les dedico este trabajo.

Este logro es tan suyo como mío.

Edwin Mesías Guamantario Quituisaca

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, a mi director de tesis, Ing. Wilson Calle, por su invaluable guía, paciencia y apoyo constante a lo largo de este proceso de investigación. La conclusión de este trabajo ha dependido de sus consejos y conocimientos.

A mi familia, por su comprensión y apoyo incondicional durante las largas horas de estudio y trabajo. Su amor y aliento han sido mi mayor fortaleza.

Finalmente, a todos aquellos que de una u otra manera contribuyeron a la realización de este trabajo y a mi formación como profesional.

Hernán Patricio Parra Parra

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a todos ustedes. Gracias a mi familia por su amor incondicional y su apoyo.

Su respaldo ha sido fundamental en cada paso de mi camino. Ing. Wilson Calle, le agradezco profundamente por su guía y paciencia como mi tutor. Sus enseñanzas han sido invaluable para mi formación profesional. A todos, gracias por creer en mí y por su constante apoyo. Agradezco infinitamente su presencia en mi vida.

Edwin Mesias Guamantario Quituisaca

RESUMEN

Este proyecto explica el uso de la tecnología de impresión 3D para la fabricación de piezas ductos de ventilación y retrovisores en el ámbito automotriz. Se destaca la calidad superficial y la variedad de materiales disponibles para la impresión, aunque se mencionan dificultades con geometrías complejas. En el caso de estético automotriz, se resalta la limitación en el tamaño de impresión y la necesidad de Postprocesamiento, así como la importancia de cumplir con normas ISO en la fabricación con tecnología FDM y SLA. Además, se discute sobre la resistencia mecánica de materiales como el PLA y el ABS, la cual se verifica la elasticidad mediante Anycubic, junto con la configuración de análisis estático

Palabras clave: Impresión, Fdm, Sla, Automotriz, Pla, Abs

ABSTRACT

This project explains the use of 3D printing technology for the manufacture of ventilation ducts and rear-view mirrors in the automotive field. The surface quality and the variety of materials available for printing are highlighted, although difficulties with complex geometries are mentioned. In the case of automotive aesthetics, the limitation in print size and the need for Post-processing is highlighted, as well as the importance of complying with ISO standards in manufacturing with FDM and SLA technology. In addition, the mechanical resistance of materials such as PLA and ABS is discussed, the elasticity of which is verified using Anycubic, along with the static analysis configuration.

Keywords: Printing, Fdm, Sla, Automotive, Pla, Abs

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	V
DEDICATORIA	VI
AGRADECIMIENTO	VII
AGRADECIMIENTO	VIII
RESUMEN	1
ABSTRACT.....	2
1. INTRODUCCIÓN	12
2. Problema	12
2.1. Antecedentes	12
2.2. Importancia y Alcances.....	13
2.3. Delimitación.....	14
3. OBJETIVOS	15
3.1. Objetivo General.....	15
3.2. Objetivos Específicos.....	15
4. CAPITULO 1.....	16
4.1. Marco Conceptual.....	16
4.2. Impresión 3D	17
4.2.1. Impresora 3D.....	17
4.2.2. ¿Para qué sirve una impresora 3D?	18

4.2.3.	Modelos y materiales de impresión 3D.....	20
4.2.4.	Impresión 3D dentro de la Industria Automotriz	21
4.3.	Tecnología FDM.....	22
4.3.1.	Principios de Funcionamiento de una Impresora FDM	22
4.3.2.	Partes de la Impresora 3D con tecnología FDM	23
4.3.3.	Materiales utilizados en el modelo por deposición fundida (FDM).....	23
4.3.4.	Ventajas y Desventajas de la tecnología FDM.....	24
4.3.5.	Normas ISO para la Tecnología FDM	25
4.4.	Tecnología SLA.....	26
4.4.1.	Principios de funcionamiento de la tecnología SLA.....	27
4.4.2.	Partes de la impresora SLA.....	27
4.4.3.	¿Qué tipo de resolución tiene la tecnología SLA?	29
4.4.4.	Propiedades y usos de los materiales SLA.....	29
4.4.5.	Ventajas y desventajas de la SLA	30
4.4.6.	Normas ISO para la fabricación con la tecnología SLA	30
4.4.7.	Principales características de una impresora 3D FDM y SLA.....	32
4.4.8.	Cuál es la importancia de la tecnología SLA en Ingeniería Automotriz	33
5.	CAPITULO 2.....	34
5.1.	Manufactura de Autopartes en FDM	34
5.1.1.	Selección de autopartes aptas para FDM	34

5.1.2.	Modelación de las autopartes seleccionadas para FDM.....	38
5.1.3.	Configuración de la impresora FDM	38
5.1.4.	Ajuste de los parámetros de impresión en FDM	41
5.2.	Manufactura de Autopartes en SLA	57
5.2.1.	Selección de autopartes aptas para SLA mediante factor de ponderación.....	57
5.2.2.	Modelación de las autopartes seleccionadas para SLA	63
5.2.3.	Configuración de la impresora 3D SLA	66
5.2.4.	Ajuste de los parámetros de impresión en SLA.....	67
6.	CAPITULO 3.....	76
6.1.	Propiedades Mecánicas de las Autopartes Fabricadas en PLA o ABS.....	76
6.1.1.	Resistencia a la tracción	76
6.1.2.	Elasticidad	76
6.1.3.	Dureza	76
6.1.4.	Rugosidad en Fdm.....	77
6.1.5.	Tolerancias dimensionales en FDM.....	79
6.1.6.	Precisión dimensional	80
6.1.7.	Calidad del acabado superficial:	86
6.2.	Propiedades Mecánicas de las Autopartes Fabricadas en SLA	87
6.2.1.	Resistencia a la Tracción.....	87
6.2.2.	Elasticidad	88

6.2.3. Dureza	88
6.2.4. Rugosidad en SLA.	89
6.2.5. Tolerancia dimensional	91
6.2.6. Precisión Dimensional.....	92
6.2.7. Calidad del acabado superficial.....	97
7. Conclusiones.....	99
8. Recomendaciones	100
9. Bibliografía	101
Anexos	103

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca	14
Figura 2. Impresora 3D FDM.	16
Figura 3. Bocetos de impresión.	17
Figura 4. Proceso de impresión de prototipos.....	19
Figura 5. Modelo de Impresora 3D de FDM.	19
Figura 6. Partes de la impresora FDM.	23
Figura 7. Modelo de impresora 3D en SLA.....	26
Figura 8. Partes de la impresora SLA.	27
Figura 9. Resolución de Impresión en SLA.....	29
Figura 10. Diseño del Retrovisor.....	39
Figura 11. Dimensiones del retrovisor.....	39
Figura 12. Segmentación del modelado 3D.....	40
Figura 13. Parámetros de perfil de la Impresora.....	40
Figura 14. Verificación del proceso de Impresión.....	42
Figura 15. Simulación del proceso de impresión.....	43
Figura 16. Previo simulación de impresión en FDM.....	44
Figura 17. Diseño de la Manija.....	45
Figura 18. Segmentación del modelado 3D de la manija.	46
Figura 19. Parámetros de perfil de la Impresora.....	46
Figura 20. Verificación del proceso de Impresión.....	48
Figura 21. Previa simulación del proceso de impresión de la manija.....	48

Figura 22. Simulación de impresión en FDM.....	49
Figura 23. Diseño de la manivela.	51
Figura 24. Toma de dimensiones de la manivela.....	52
Figura 25. Segmentación del modelado 3D.....	52
Figura 26. Parámetros de perfil de la Impresora.....	53
Figura 27. Verificación de soportes para proceso de Impresión.....	55
Figura 28. Previa simulación del proceso de impresión.	55
Figura 29. Simulación de impresión en fdm.....	56
Figura 30. Dimensiones del Sensor de velocidad.....	63
Figura 31. Dimensiones del Botón de Parqueo.....	63
Figura 32. Dimensiones del botón de aire acondicionado.	64
Figura 33. Modelación en Software Inventor el sensor de velocidad.....	64
Figura 34. Modelación del botón de parqueo.	65
Figura 35. Modelación del botón de Aire acondicionado.....	65
Figura 36. Parámetros del Software la Impresora SLA.	69
Figura 37. Colocación de soportes en el sensor de velocidad al 100% de relleno.	70
Figura 38. Colocación de soportes en el Botón de parqueo al 100% de relleno.	71
Figura 39. Colocación de soportes el botón A/C con un relleno al 100%.	71
Figura 40. Preparación y estimación de tiempo del sensor de velocidad.	72
Figura 41. Preparación y estimación de tiempo del botón de parqueo.	72
Figura 42. Preparación y estimación de tiempo el botón de aire acondicionado.....	73
Figura 43. Pruebas de rugosidad en la probeta	78
Figura 44. Dimensiones del Retrovisor mediante CAD.	80

Figura 45. Dimensión real de la pieza impresa en FDM	81
Figura 46. Dimensiones de la manivela mediante CAD.....	83
Figura 47. Comparaciones de dimensiones de la manivela.	84
Figura 48. Dimensiones de la manija mediante CAD.	85
Figura 49. Dimensiones de la manija impresa.....	85
Figura 50. Calidad superficial del FDM en PLA.....	87
Figura 51. Prueba de Rugosidad en la Cara 2 de la Pieza.	90
Figura 52. Medición de rugosidad.....	90
Figura 53. Prueba de rugosidad en cara 4 de la pieza.....	91
Figura 54. Dimensiones mediante CAD.....	92
Figura 55. Comparación de dimensiones del sensor de velocidad.	93
Figura 56. Comparaciones de dimensiones del botón de parqueo.....	94
Figura 57. Fotografía del botón de parqueo impreso.....	94
Figura 58. Dimensiones del Botón de aire acondicionado.	96
Figura 59. Fotografías del botón de aire acondicionado impreso en SLA.	96
Figura 60. Calidad superficial de una impresión en SLA ABS.....	98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ventajas y desventajas de la tecnología FDM	24
Tabla 2. Partes de la Impresora 3D SLA.	28
Tabla 3. Ventajas y desventajas de la impresión SLA.	30
Tabla 4. Características comparativas entre FDM y SLA.	32
Tabla 5. Factor de ponderación en el uso de Fdm.	36
Tabla 6. Selección de autopartes para el uso de tecnología FDM	37
Tabla 7. Método selectivo del Retrovisor.	38
Tabla 8. Parámetros de la impresión 3D para FDM.	41
Tabla 9. Precios de Impresión FDM.	44
Tabla 10. Método selectivo de la manija para abrir la puerta.	45
Tabla 11. Parámetros de impresión 3D de la manija.	47
Tabla 12. Precios de Impresión FDM en ABS de la manija	50
Tabla 13. Método selectivo de la manivela.....	50
Tabla 14. Parámetros de Impresión 3D en Fdm para la manivela.	53
Tabla 15. Precios de Impresión FDM con ABS en la manivela.	57
Tabla 16. Tabla de factor de ponderación para SLA.	59
Tabla 17. Selección de autopartes - Factor de ponderación para el uso en SLA.	60
Tabla 18. Método selectivo para el sensor de velocidad.....	61
Tabla 19. Método selectivo para el botón de parqueo.	61
Tabla 20. Método selectivo para el botón de parqueo.	62
Tabla 21. Características de Perfil.	66
Tabla 22. Parámetros de impresión Perfil.	66

Tabla 23. Parámetros de los Soportes del modelo 3D.	67
Tabla 24. Post Procesado de la Pieza 3D	73
Tabla 25. Costes de impresión SLA.....	75
Tabla 26. Método calificativo de la rugosidad en FDM.	77
Tabla 27. Tolerancias dimensionales para impresión 3D con Creality CR-10.....	79
Tabla 28. Comparaciones dimensionales del retrovisor.	81
Tabla 29. Comparación de dimensiones de la manivela con la impresión.	84
Tabla 30. Comparación de dimensiones de la manija con lo impreso.	86
Tabla 31. Método calificativo de la rugosidad en SLA.	89
Tabla 32. Tolerancias dimensionales para impresión 3D SLA con resina.	91
Tabla 33. Comparación de Dimensiones del sensor de velocidad.	93
Tabla 34. Comparación de dimensiones del botón de parqueo.....	95
Tabla 35. Comparación de dimensiones del botón ac.....	97

1. INTRODUCCIÓN

El diseño de autopartes ha cambiado mucho para adaptarse a las nuevas tecnologías de fabricación con el paso del tiempo. Un análisis preliminar de la aplicación de tecnologías de impresión 3D, como FDM y SLA, puede mejorar la manufactura de autopartes en la actualidad. Con el uso de procesos matemáticos y algorítmicos para crear componentes ideales para su uso, el software de diseño puede ajustar las especificaciones de uso y funcionamiento del diseñador. Para determinar todos los parámetros necesarios para la fabricación del componente, el diseñador utiliza herramientas de diseño asistido por computadora (CAD) durante este proceso. Con estos parámetros, el software de diseño crea una variedad de opciones de diseño.

En función de las necesidades y aplicaciones particulares del componente, el diseñador determina la opción más adecuada. Este método de diseño mejora el desempeño del componente y ofrece beneficios significativos tanto para el diseñador como para el consumidor final.

2. PROBLEMA

En la industria automotriz, la fabricación de piezas y prototipos de alta calidad, precisión y complejidad es fundamental para el desarrollo y la innovación de vehículos. Sin embargo, los métodos tradicionales de fabricación pueden ser costosos, lentos y limitados en términos de diseño y personalización. Por lo tanto, el desafío a abordar es cómo mejorar la eficiencia, la precisión y la flexibilidad en la producción de piezas automotrices mediante la integración estratégica de las tecnologías FDM (Modelado por Deposición Fundida) y SLA (Estereolitografía) en los procesos de fabricación.

2.1. Antecedentes

En el ámbito del diseño, la práctica tradicional implicaba la creación manual de diversas opciones, seguida por la optimización de los componentes físicos impresos para que cumplieran

con su función prevista. Sin embargo, este método exigía una cantidad considerable de trabajo y estaba limitado por la capacidad humana para explorar todas las variaciones posibles y encontrar la solución más adecuada.

Con la llegada de la impresión 3D, se ha abierto la puerta al uso de técnicas de diseño generativo, las cuales hacen uso de algoritmos computacionales avanzados para generar automáticamente una amplia gama de diseños optimizados. Estos algoritmos consideran una variedad de parámetros y restricciones, como la resistencia estructural, el peso, el consumo de material y la funcionalidad requerida.

En lugar de depender únicamente de las alternativas manuales creadas por los diseñadores, el diseño generativo permite explorar eficientemente millones de iteraciones, identificando soluciones innovadoras que podrían ser difíciles de concebir manualmente. Esto conduce a la obtención de diseños optimizados que cumplen con los requisitos funcionales, al tiempo que mejoran la eficiencia, reducen el uso de material y minimizan el desperdicio.

La combinación del diseño generativo y la impresión 3D ha transformado radicalmente el proceso de diseño de componentes y autopartes, proporcionando soluciones más eficientes, livianas y resistentes. Esto, a su vez, resulta en ahorros significativos de recursos y una mayor sostenibilidad en la fabricación de prototipos finales.

2.2. Importancia y Alcances

Se reconoce que los métodos tradicionales de diseño manual pueden ser insuficientes para aprovechar todo el potencial de esta tecnología. La impresión 3D presenta como una alternativa que puede mejorar considerablemente los resultados. Al incorporar esta tecnología en la producción de autopartes, se obtienen ventajas como la reducción del tiempo y esfuerzo, ahorro

2.3. Delimitación

Este proyecto de titulación se desarrollará en las instalaciones de los laboratorios pertenecientes a la carrera de Ingeniería Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Cuenca. Las instalaciones de la sede matriz de la Universidad Politécnica Salesiana en Cuenca se encuentran en la calle Vieja sector El Vecino.

Este proyecto de titulación se desarrollará en las instalaciones de los laboratorios pertenecientes a la carrera de Ingeniería Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Cuenca. Las instalaciones de la sede matriz de la Universidad Politécnica Salesiana en Cuenca se encuentran en la calle Vieja sector El Vecino.

Ubicación de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca



3. OBJETIVOS

3.1.Objetivo General

Aplicar las tecnologías FDM y SLA en la manufactura de prototipos de autopartes para vehículos.

3.2. Objetivos Específicos

- Revisar el estado del arte relacionado con el uso de las tecnologías FDM (Modelado por Deposición Fundida) y SLA (Estereolitografía) para la producción de prototipos y piezas para vehículos.
- Seleccionar y manufacturar las autopartes apropiadas para la fabricación de prototipos mediante las tecnologías FDM y SLA, considerando aspectos de diseño y de modelado 3D utilizando herramientas de diseño asistido por computadora (CAD).
- Analizar los resultados obtenidos en las autopartes manufacturadas con las tecnologías FDM y SLA.

4. CAPITULO 1

4.1.Marco Conceptual

Hace unos años, la impresión 3D parecía una idea completamente fuera de lo común. No obstante, gracias a los recientes avances tecnológicos, ahora es perfectamente viable incorporar esta increíble herramienta a las operaciones de una empresa.

Los orígenes de la impresión 3D se remontan aproximadamente 40 años atrás, cuando en 1983 Charles Hull creó el primer dispositivo capaz de materializar pequeños objetos. Este sistema utilizaba luz ultravioleta para endurecer un polímero líquido, siguiendo una serie de instrucciones digitales. (Red.es, 2022)

Figura 2.

Impresora 3D FDM.



Fuente: (Red.es, 2022)

Originalmente, las primeras impresoras 3D no llegaron al público general debido a su alto precio y complicado mantenimiento, lo que las hacía inaccesibles para el mercado doméstico. Sin embargo, con el paso del tiempo, aparecieron nuevos modelos que democratizaron el acceso a esta tecnología.

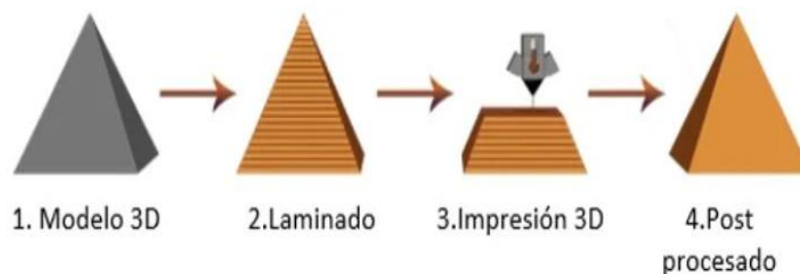
A diferencia de los primeros prototipos que utilizaban líquidos, las nuevas impresoras 3D emplean bobinas de filamento polimérico, que se funde para crear objetos tridimensionales. Este es el modelo más común y factible de impresión 3D en la actualidad, lo que ha permitido que incluso muchos ciudadanos particulares hayan incorporado una en sus hogares por curiosidad e interés. (Red.es, 2022)

4.2.Impresión 3D

La impresión 3D es un método de producción para la creación de objetos físicos tridimensionales a través de la fabricación por capas de material. A diferencia de los procesos comunes, como el tallado de madera o el mecanizado de metales, donde se elimina material para obtener la pieza deseada, la impresión 3D construye el objeto agregando material capa por capa. (Long, 2016)

Figura 3.

Bocetos de impresión.



Fuente: (3DVR, 2022)

4.2.1. Impresora 3D

A diferencia de las impresoras convencionales que imprimen en dos dimensiones sobre papel plano, una impresora 3D es capaz de imprimir objetos tridimensionales y volumétricos. Esta

habilidad abre un mundo de posibilidades creativas y funcionales permitiendo crear piezas y modelos físicos con profundidad y volumen. (Quan, 2020)

Las impresoras 3D pueden funcionar con diversos materiales, siendo los más comunes los polímeros como el PLA o el ABS. En este caso, el proceso consiste en fundir y depositar finas capas sucesivas de este material para construir el objeto deseado. Este método requiere de una cuidadosa calibración para obtener una mejor calidad final.

Además de este sistema basado en polímeros fundidos, también existen impresoras 3D que utilizan resinas fotosensibles. En este caso, la resina se solidifica mediante la exposición a luz ultravioleta, depositándose capa a capa hasta formar el modelo tridimensional. Si bien este método ofrece una mayor calidad, limita el tamaño máximo de los objetos que se pueden crear. (Long, 2016)

Existen otros tipos menos habituales de impresoras 3D, como las que utilizan tinta aglomerante o los sistemas de compactación con láser sobre polvos solidificados.

4.2.2. ¿Para qué sirve una impresora 3D?

La impresora 3D permite fabricar objetos volumétricos utilizando un material adecuado dependiendo el uso que se le vaya a dar. Con esta tecnología, podemos crear piezas que pueden ser útiles para el uso diario o incluso reemplazar y mejorar otros objetos. Si bien hay un límite en el tamaño máximo que pueden tener estos objetos impresos, los diseñadores han ideado formas de dividir los diseños en partes para luego ensamblarlas y poder producir piezas de grandes dimensiones. (Long, 2016)

Figura 4.

Proceso de impresión de prototipos.



Fuente: (3DVR, 2022)

En el ámbito de la ingeniería y la investigación, las impresoras 3D proporcionan la capacidad de producir prototipos físicos para trabajar con ellos. De esta manera, se puede obtener un prototipo impreso rápidamente, elaborado por uno mismo, y realizar las correcciones necesarias en caso de fallas. Además, permiten imprimir piezas específicas requeridas para continuar con un proyecto, adaptándolas según las necesidades. (Formlabs, 2024)

Figura 5.

Modelo de Impresora 3D de FDM.



Fuente: (Impresoras3D.com, 2024)

Las impresoras 3D abren un mundo de posibilidades creativas, permitiéndonos imprimir nuestras propias figuras, objetos de colección u otros artículos personalizados. Simplemente hay que dar rienda suelta a la imaginación, diseñar el objeto deseado en un programa de modelado 3D y esperar unas horas a que la impresora lo materialice. Una vez finalizado el proceso de impresión, podemos aplicar tratamientos adicionales al objeto, como lijado, pintura u otros acabados. (Formlabs, 2024)

4.2.3. Modelos y materiales de impresión 3D

- **FDM (Fused Deposition Modeling).** Emplea hilos de material termoplástico que se calientan y se van depositando capa por capa para construir la pieza.
- **SLA (Stereolithography).** Utiliza resinas fotosensibles que se solidifican al ser expuestas a luz ultravioleta. Un rayo láser se emplea para curar y endurecer las capas de la resina líquida.
- **SLS (Selective Laser Sintering).** Aplica un rayo láser para fundir partículas de polvo generalmente plástico, metal o cerámica capa sobre capa.
- **DLP (Digital Light Processing).** Similar a SLA, hace uso de una fuente de luz para solidificar resinas fotosensibles, pero en vez de un láser, se vale de un proyector digital que cura cada capa completa de una vez

- **DMLS (Direct Metal Laser Sintering).** Parecido a SLS, pero en lugar de polvo plástico, se emplea polvo metálico que un láser funde para crear piezas de metal.
- **EBM (Electron Beam Melting).** Esta técnica utiliza un haz de electrones para fundir y fusionar polvo metálico.
- **MJF (Multi Jet Fusion).** Esta tecnología crea mediante un agente aglutinante sobre una capa de polvo y luego se aplica calor para fusionar selectivamente el polvo.

4.2.4. Impresión 3D dentro de la Industria Automotriz

La fabricación aditiva o impresión 3D está ejerciendo una influencia trascendental en el sector automotor, encontrando aplicaciones crecientes en múltiples ámbitos. Entre los usos más destacados se encuentran:

- Creación de prototipos que permiten evaluar aspectos estéticos, ergonómicos y funcionales del diseño exterior e interior de un vehículo. Facilitan identificar y corregir deficiencias antes de la manufactura final.
- La disminución del peso en los automóviles tradicionales ha sido históricamente deseable para optimizar el rendimiento del combustible. Esta premisa adquiere aún mayor relevancia en los vehículos eléctricos, donde un menor peso implica una mayor autonomía entre recargas de la batería. A medida que la fabricación aditiva avanza en calidad y celeridad, cada vez más componentes que antes se construían con materiales metálicos macizos y pesados, ahora pueden manufacturarse mediante estas tecnologías más livianas.
- La personalización representa una de las tendencias más arraigadas en el sector automotor, no solo en el mercado de accesorios, sino también en las opciones ofrecidas de fábrica para vehículos nuevos. Las tecnologías de fabricación aditiva facilitan y hacen rentable la creación de piezas exclusivas y personalizadas que, de otro modo, requerirían procesos complejos de mecanizado o moldeo.
- La producción de piezas de recambio representa uno de los usos más prometedores de la fabricación aditiva en el ámbito automotriz. Gracias a las impresoras 3D, los talleres de mantenimiento y reparación estarían capacitados para crear prácticamente cualquier repuesto sin la necesidad de almacenarlo o encargarlo, lo que les permitiría completar los trabajos con mayor celeridad.

4.3.Tecnología FDM

El método de fabricación aditiva más común en las impresoras 3D es el modelado por deposición fundida (FDM). Este proceso involucra alimentar un filamento de plástico desde un rollo a una boquilla calentada por encima del punto de fusión del material. El plástico fundido es extruido a través de la boquilla en finos hilos que se solidifican rápidamente formando capas superpuestas que dan forma al prototipo deseado. (Long, 2016)

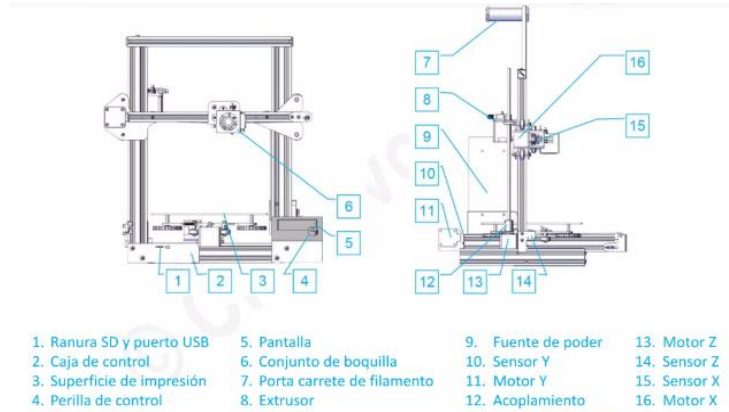
4.3.1. Principios de Funcionamiento de una Impresora FDM

El modelado por deposición fundida es un proceso de fabricación aditiva en el que se construyen piezas capa por capa utilizando un material termoplástico. Este material, que generalmente se presenta en forma de filamento enrollado, se introduce en una boquilla de impresión donde se calienta hasta su punto de fusión. Dependiendo de la configuración específica de la impresora 3D, la boquilla de impresión puede ser responsable de los movimientos en los tres ejes (X, Y, Z), o esta tarea puede ser compartida con la base calefactora. En algunos casos, la boquilla se encarga de los movimientos en los ejes X y Z, mientras que la base calefactora, donde se deposita el material fundido, se mueve a lo largo del eje Y. Los movimientos precisos en estos ejes son controlados por motores paso a paso o servomotores, que permiten la ubicación exacta del cabezal extrusor y la base calefactora durante el proceso de impresión, asegurando así la construcción precisa de la pieza capa por capa. (Quan, 2020)

4.3.2. Partes de la Impresora 3D con tecnología FDM

Figura 6.

Partes de la impresora FDM.



Fuente: (GARCIA, 2022)

4.3.3. Materiales utilizados en el modelo por deposición fundida (FDM)

En la impresión 3D por deposición de material fundido, los polímeros más empleados son el PLA (ácido poliláctico) y el ABS (acrilonitrilo butadieno estireno), los cuales se encuentran fácilmente en el mercado. También se pueden utilizar otros materiales menos comunes. Estos plásticos se suministran como filamentos con dos diámetros estándar: 1,75 mm y 3 mm

PLA: El material comúnmente empleado en la impresión 3D es el Ácido Poliláctico (PLA), un polímero de origen natural derivado de fuentes renovables como el almidón. A pesar de ser biodegradable, su descomposición total puede tardar más de un siglo. Al no liberar gases tóxicos y ser reciclable, se considera una alternativa ecológica.

Este material se derrite a temperaturas entre 160°C y 230°C. En comparación con las piezas elaboradas con ABS, las impresas con PLA son más frágiles. Sin embargo, la impresión con es más rápida ya que no requiere una cama caliente. Además, existe una variante llamada "PLA

flexible" que se imprime a una temperatura y velocidad inferiores al material estándar.
(Impresoras3D.com, 2024)

ABS: El Acrilonitrilo butadieno estireno es un polímero termoplástico que se obtiene mediante un proceso de polimerización en el que se combinan tres monómeros diferentes: estireno, acrilonitrilo y polibutadieno. Es un polímero amorfo, lo que significa que no posee un punto de fusión definido, sino que se ablanda gradualmente en un rango de temperatura que oscila entre los 220 y los 240 grados Celsius. Gracias a sus excelentes propiedades mecánicas, el ABS se ha convertido en uno de los materiales más utilizados en la tecnología de fabricación aditiva FDM. Debido a su proceso de producción y transformación más complejo en comparación con los plásticos convencionales, el ABS se clasifica como un plástico de ingeniería, lo que destaca su versatilidad y rendimiento superior en diversas aplicaciones. (Formlabs, 2024)

4.3.4. Ventajas y Desventajas de la tecnología FDM

Tabla 1.
Ventajas y desventajas de la tecnología FDM

Ventajas	Desventajas
Bajo costo de impresión	Acabado superficial deficiente en comparación con otras tecnologías
Amplia gama de materiales (plásticos, compuestos, etc.)	Baja precisión y resolución en comparación con otras tecnologías
Procesos relativamente simples y fáciles de usar	Limitaciones en geometrías complejas (voladizos, estructuras huecas, etc.)
Posibilidad de imprimir piezas a gran escala	Necesidad de soportes para ciertas geometrías
Buena elección para prototipos y piezas funcionales	Propiedades mecánicas inferiores en comparación con técnicas de fabricación tradicionales
Tecnología ampliamente disponible y accesible	Velocidad de impresión relativamente lenta
Impresión de piezas a demanda y sin herramientas	Anisotropía en las propiedades mecánicas debido a la deposición por capas
Capacidad de imprimir piezas huecas y livianas	Posibles problemas de adherencia entre capas y deformaciones

Fuente: Autores

4.3.5. Normas ISO para la Tecnología FDM

ISO/ASTM 52900:2021 Proporciona un marco de referencia para la terminología y los principios fundamentales relacionados con la fabricación aditiva, incluyendo la tecnología FDM. Esta norma ayuda a estandarizar la comunicación y el entendimiento entre los profesionales que trabajan con esta tecnología, sentando las bases para su aplicación y desarrollo.

ISO 17295:2023 Se centra en los principios generales y las consideraciones clave relacionadas con los materiales utilizados en la fabricación aditiva, incluyendo la tecnología FDM. Esta norma proporciona un marco de referencia para la clasificación, caracterización, control de calidad, reciclaje y seguridad de los materiales utilizados en la fabricación aditiva, lo que ayuda a garantizar la calidad y el rendimiento de los productos fabricados con esta tecnología.

ISO 17296-2:2015 Proporciona una visión general de las diferentes categorías de procesos de fabricación aditiva y las materias primas utilizadas, incluyendo la tecnología FDM. Esta norma ayuda a comprender el principio de funcionamiento, las materias primas, las características, las limitaciones y las aplicaciones de la tecnología FDM en el contexto más amplio de la fabricación aditiva

ISO/ASTM 52910:2018 Otorga una guía completa para el diseño de piezas que serán fabricadas utilizando la tecnología FDM. Esta norma ayuda a los estudiantes, diseñadores e ingenieros a aprovechar al máximo las capacidades de la fabricación aditiva, al tiempo que se aseguran de que las piezas sean adecuadas para su aplicación final y cumplan con los requisitos de calidad y rendimiento.

ISO/ASTM 52901:2016 Es una guía completa para la adquisición de piezas fabricadas utilizando la tecnología FDM, abordando aspectos clave como la especificación de requisitos, la

selección de proveedores, el control de calidad, la propiedad intelectual y las consideraciones contractuales. Esta norma ayuda a garantizar un proceso de adquisición eficiente y efectivo, asegurando que las piezas fabricadas cumplan con los requisitos del comprador y se entreguen según lo acordado. (UNE , 2020)

4.4.Tecnología SLA

La estereolitografía es un método de manufactura aditiva que utiliza un láser y resina para construir, con sumo detalle y precisión, objetos complejos en 3D a partir de un modelo virtual, convirtiéndola en una herramienta fundamental para el prototipado rápido y la fabricación de piezas. (Quan, 2020)

Figura 7.

Modelo de impresora 3D en SLA.



Fuente: (Wang, 2015)

4.4.1. Principios de funcionamiento de la tecnología SLA

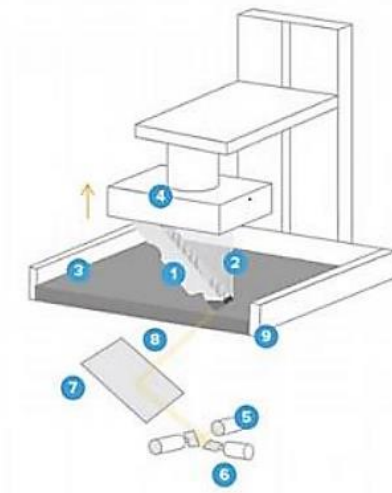
El proceso de impresión 3D utilizando la técnica SLA comienza con la elaboración de un modelo digital en tres dimensiones del objeto que se desea obtener. Este modelo se divide en finas capas y se guarda en un archivo con formato STL. Posteriormente, se sumerge una plataforma de construcción móvil en un recipiente que alberga resina líquida fotosensible. Un haz de láser ultravioleta se dirige hacia la superficie de la resina, solidificando selectivamente las áreas que corresponden a la primera capa del objeto. Luego, la plataforma asciende una altura igual al grosor de la capa, permitiendo que el láser trace la siguiente capa encima de la anterior. Este proceso se repite hasta que el objeto completo ha sido construido, capa a capa. Finalmente, se retira el objeto impreso de la plataforma, se enjuaga para eliminar el exceso de resina y se somete a un proceso de curado adicional en una cámara de luz ultravioleta para asegurar su completa solidificación y disponibilidad para su uso (Formlabs, 2024).

4.4.2. Partes de la impresora SLA

Una impresora 3D SLA (Estereolitografía) consta de varias partes y componentes principales que permiten su funcionamiento. Estas son algunas de las partes más importantes. (Formlabs, 2024)

Figura 8.

Partes de la impresora SLA.



Fuente: Fotografía de (Formlabs, 2024)

Tabla 2.

Partes de la Impresora 3D SLA.

Numero	Descripción
1	Modelo Impreso
2	Soportes
3	Resina
4	Plataforma de impresión
5	Laser Uv
6	Galvanómetros
7	Espejos X-Y
8	Haz laser
9	Depósito de resina

Fuente: (Formlabs, 2024)

4.4.3. ¿Qué tipo de resolución tiene la tecnología SLA?

La resolución de una impresora SLA se mide en micras (μm) y se divide en resolución XY (plano horizontal) y resolución Z (altura de capa). La resolución XY depende del tamaño del punto del láser y la precisión de los espejos galvanométricos, mientras que la resolución Z se refiere al grosor mínimo de cada capa. Las impresoras SLA de gama alta pueden alcanzar una resolución XY de 25-50 μm y una resolución Z de 25-100 μm . Factores como la calidad de los componentes, las propiedades de la resina y la configuración de los parámetros de impresión afectan la resolución, pero a comparación con otras tecnologías, como FDM, la SLA ofrece una resolución significativamente mayor. (Impresoras3D.com, 2024).

Figura 9.

Resolución de Impresión en SLA



Fuente: (Impresoras3D.com, 2024)

4.4.4. Propiedades y usos de los materiales SLA

La estereolitografía ofrece una variedad de materiales para la impresión 3D, incluyendo resinas aptas para recibir pintura, resinas grises y resinas transparentes. La elección del material depende de la aplicación final de la pieza, como decoraciones, usos de ingeniería o medicina. La adición de pigmentos puede modificar la transparencia de la resina, desde cristalina hasta asemejarse a una resina gris. (Impresoras3D.com, 2024)

Es crucial seguir las pautas de manejo y Postprocesamiento recomendadas para cada tipo de resina, ya que pueden requerir diferentes técnicas de limpieza, curado y acabado para lograr los mejores resultados.

Las propiedades y la disponibilidad de las resinas pueden variar según el fabricante y el modelo de la impresora. (Volkhonskiy, 2022)

4.4.5. Ventajas y desventajas de la SLA

Es importante considerar estas ventajas y desventajas al evaluar si la tecnología SLA es adecuada para una aplicación o proyecto específico, teniendo en cuenta factores como la precisión requerida, las propiedades mecánicas deseadas, el costo y el volumen de impresión necesario. (Babson, 2019)

Tabla 3.

Ventajas y desventajas de la impresión SLA.

Ventajas	Desventajas
Alta precisión y resolución	Costo elevado
Excelente calidad superficial	Tamaño de impresión limitado
Amplia gama de materiales	Postprocesamiento necesario
Piezas sólidas y resistentes	Problemas con determinadas geometrías
Geometrías complejas	Manejo de materiales fotosensibles

Fuente: Autores

4.4.6. Normas ISO para la fabricación con la tecnología SLA

ISO 52915:2020 Establece un formato de archivo estandarizado llamado AMF (Additive Manufacturing File) que se utiliza para representar digitalmente objetos destinados a ser fabricados mediante tecnologías de fabricación aditiva, como la estereolitografía (SLA). Este formato permite describir de manera precisa y completa la geometría, estructura y propiedades de un objeto 3D.

ISO 17295:2023 Establece un sistema de referencia que engloba diversos aspectos relacionados con los materiales, tales como su categorización, la descripción detallada de sus propiedades, los procedimientos para asegurar su calidad, las pautas para su reutilización y los protocolos de seguridad necesarios durante su manipulación.

ISO 17296-2:2015 La norma explica que, en la categoría de fotopolimerización, que incluye tecnologías como la estereolitografía (SLA), se utilizan resinas líquidas fotosensibles que se solidifican cuando son expuestas a una fuente de luz, generalmente un láser ultravioleta, además la norma especifica los requisitos y características que deben cumplir los materiales utilizados en cada categoría de proceso, asegurando así la calidad y el rendimiento de las piezas fabricadas.

ISO/ASTM 52900:2021 Este documento proporciona un vocabulario estandarizado y coherente para referirse a los diversos aspectos relacionados con la fabricación aditiva. Al definir claramente los términos utilizados en este campo, la norma busca facilitar la comunicación y el entendimiento entre los profesionales involucrados.

ISO/ASTM 52903-1:2020 Métodos generales para caracterizar materiales. Esta norma proporciona pautas para caracterizar las materias primas utilizadas en los procesos de fabricación aditiva, incluyendo las resinas utilizadas en SLA.

ISO/ASTM 52910:2018 Proporciona pautas y recomendaciones para el diseño de piezas destinadas a la fabricación aditiva, teniendo en cuenta las características específicas de los procesos, como SLA. (UNE , 2020)

4.4.7. Principales características de una impresora 3D FDM y SLA

Tanto las impresoras FDM como SLA tienen sus propias ventajas y desventajas, y la elección dependerá de los requisitos específicos del proyecto, como la precisión, el material, el costo y las propiedades deseadas de las piezas impresas. (Formlabs, 2024)

Tabla 4.

Características comparativas entre FDM y SLA.

DESCRIPCION	FDM	SLA
Material de impresión	Utilizan filamentos de material termoplástico.	Utilizan resinas líquidas fotosensibles que se curan y endurecen al exponerse a luz ultravioleta (UV).
Proceso de impresión	El material se calienta y se extruye a través de una boquilla caliente, depositando capas sucesivas de material fundido que se solidifican rápidamente.	Un láser UV traza cada capa de la pieza sobre la superficie de la resina líquida, curando y solidificando las áreas expuestas.
Precisión	La precisión típica se encuentra en el rango de 0.1 a 0.3 mm, dependiendo del modelo de impresora y la configuración utilizada.	Ofrecen una alta precisión, con resoluciones típicas de impresión de 0.05 a 0.15 mm.
Tamaño de construcción	Ofrecen diferentes volúmenes de construcción, desde impresoras de escritorio pequeñas hasta grandes máquinas industriales.	
Acabado superficial	Producen piezas con un buen acabado superficial y detalles notorios.	Producen piezas con un excelente acabado superficial y detalles finos.
Resistencia	Las piezas impresas con FDM no son tan resistentes como las producidas mediante inyección de plástico o relleno.	Las piezas impresas con SLA suelen ser más sólidas y resistentes que las impresas con FDM.
Versatilidad	Permiten imprimir en diferentes colores y materiales, incluyendo algunos materiales compuestos y flexibles.	
Costo	Son relativamente económicas en comparación con otras tecnologías de impresión 3D, especialmente las impresoras de gama de entrada y aficionado.	Las impresoras SLA son generalmente más costosas que las FDM, debido a los materiales y equipos necesarios.

Fuente: (Formlabs, 2024)

4.4.8. Cuál es la importancia de la tecnología SLA en Ingeniería Automotriz

El uso de la tecnología de impresión 3D, tanto como SLA (Estereolitografía), es cada vez más importante en la ingeniería de automoción debido a las numerosas aplicaciones que ofrece en las distintas fases del proceso de diseño y fabricación de vehículos. (Formlabs, 2024)

La importancia del **SLA** en la Ingeniería de Automoción puede verse en los siguientes aspectos:

- **Prototipos:** en fabricación de moldes para procesos de fundición o termoformado.
- **Piezas funcionales:** Las piezas impresas por SLA, por su gran precisión y resistencia, pueden utilizarse como componentes funcionales en aplicaciones como conductos de refrigeración, carcasas y soportes.
- **Pruebas aerodinámicas:** Los modelos impresos con SLA pueden utilizarse en túneles de viento para pruebas aerodinámicas y optimización del diseño de vehículos.

El SLA ofrecen ventajas en términos de velocidad, flexibilidad y reducción de costes en comparación con los métodos de fabricación tradicionales. Su uso en ingeniería de automoción permite acortar los ciclos de desarrollo, probar y validar los diseños de forma más eficaz y producir piezas y prototipos personalizados de forma rentable. (Babson, 2019)

5. CAPITULO 2

5.1.Manufactura de Autopartes en FDM

5.1.1. Selección de autopartes aptas para FDM

Con la finalidad de determinar las autopartes adecuadas para fabricar mediante la tecnología FDM, se empleará un método basado en una matriz de decisión. En esta matriz, cada fila representa un diseño de autoparte y las columnas corresponden a categorías clave donde evaluaremos:

- **Resistencia Mecánica:** Determinar qué tipo de cargas (tracción, compresión, flexión, torsión, impacto, etc.) y cuáles serán las fuerzas máximas que la pieza tendrá que soportar durante su uso previsto. Para ello, es fundamental analizar detalladamente el entorno y las condiciones en las que operará la pieza impresa.
- **Temperatura de Operación:** También es crucial considerar la temperatura de operación a la que estará expuesta. La temperatura puede afectar significativamente las propiedades mecánicas de los materiales utilizados en la impresión 3D por deposición fundida (FDM)
- **Resistencia a Rayos UV:** En este punto analizaremos el diseño y la ubicación de la pieza, debido a que la radiación UV puede causar la degradación fotoquímica de muchos polímeros utilizados en la impresión 3D.
- **Complejidad Geométrica:** Al evaluar piezas para impresión 3D mediante FDM, se debe priorizar la selección de diseños con geometrías simples, evitando estructuras complejas, ángulos pronunciados, voladizos excesivos y detalles minúsculos, con el objetivo de minimizar la necesidad de utilizar estructuras de

soporte temporales durante la impresión, lo cual facilitará el proceso, mejorará el acabado superficial, reducirá el desperdicio de material, orientación de impresión y los tiempos de Postprocesamiento.

- **Precisión Dimensional:** Se considerará el tamaño de las piezas tomando en cuenta las tolerancias dimensionales muy ajustadas, ya que el proceso FDM tiene ciertas limitaciones inherentes en cuanto a la precisión dimensional. Factores como la contracción del material al enfriarse, las imperfecciones de las capas y la resolución de la boquilla de extrusión pueden introducir pequeñas desviaciones respecto a las dimensiones teóricas del diseño CAD. Por lo tanto, es recomendable optar por piezas con tolerancias más holgadas que no requieran una precisión extremadamente alta.
- **Tamaño:** Al momento de seleccionar piezas para ser fabricadas mediante impresión 3D FDM, es crucial considerar sus dimensiones, ya que aquellas piezas de tamaño excesivamente grande pueden requerir un proceso de impresión por secciones y un posterior ensamblaje. Esta situación incrementa la complejidad del proceso y puede comprometer la integridad estructural de la pieza final. En nuestro caso particular, debido a las limitaciones de volumen de impresión de nuestra máquina, debemos priorizar piezas cuyas dimensiones no excedan los 30 centímetros en ninguno de sus ejes, evitando así tener que dividir la impresión y ensamblar posteriormente.
- **Acabado:** Al elegir piezas para imprimirlas con tecnología FDM, se calificará aquellas que no demanden un alto grado de calidad estética o acabado superficial

excepcional. En otras palabras, se deben favorecer los diseños que no estarán expuestos a la vista o que no requieran un aspecto estético crítico o prioritario.

A cada categoría se le asignara un factor de ponderación que refleja su importancia relativa según los requisitos de la aplicación.

A continuación, se evalúan las piezas en cada categoría utilizando una escala numérica del 1 al 10. En esta escala, el 1 representa la menor exposición posible, mientras que el 10 indica la máxima. Los niveles de exposición se clasifican de la siguiente manera:

Tabla 5.

Factor de ponderación en el uso de Fdm.

Calificación	Descripción
1-2	Exposición mínima o nula
3-4	Exposición baja
5-6	Exposición moderada
7-8	Exposición alta
9-10	Exposición extrema

Fuente: autores.

Las puntuaciones se multiplican por los factores de ponderación y se suman para obtener un puntaje total por pieza

Finalmente, las piezas con el puntaje total menor se seleccionarán como la opción preferida para fabricación FDM, ya que representa el mejor equilibrio entre todas las categorías según sus factores de ponderación

Tabla 6.

Selección de autopartes para el uso de tecnología FDM

	Resistencia Mecánica	Temperatura	Complejidad Geométrica	Resistencia UV	Precisión Dimensional	Tamaño	Acabado	RANGO
Factor de ponderación	.25	.22	.18	.05	.15	.08	.07	1.0
Manibela de ventana	10 2,50	5 1,1	5 0,9	6 0,3	7 1,05	3 0,24	5 0,35	6,44
Retrovisor	3 0,75	2 0,44	6 1,08	8 0,4	8 1,2	3 0,24	6 0,42	4,53
Tapa de Culata	6 1,5	10 2,2	8 1,44	1 0,05	10 1,5	6 0,48	6 0,42	7,59
Bloque de Motor	10 2,5	10 2,2	7 1,26	1 0,05	10 1,5	7 0,56	10 0,7	8,77
Juntas de culata	7 1,75	10 2,2	6 1,08	1 0,05	10 1,5	7 0,56	8 0,56	7,7
Discos de freno	10 2,5	10 2,2	5 0,9	2 0,1	7 1,05	5 0,4	8 0,56	7,71
Carcasas de transmisión	10 2,5	10 2,2	8 1,44	1 0,05	10 1,5	8 0,64	6 0,42	8,75
Bombas de agua	8 2,0	10 2,2	8 1,44	1 0,05	10 1,5	6 0,48	5 0,35	8,02
Sistemas de escape	6 1,5	10 2,2	7 1,26	1 0,05	8 1,2	10 0,8	6 0,42	7,43
Ejes de transmisión	10 2,5	7 1,54	8 1,44	1 0,05	10 1,5	6 0,48	3 0,21	7,72
Sincronizadores	10 2,5	10 2,2	7 1,26	1 0,05	10 1,5	4 0,32	6 0,42	8,25
Termostato	6 1,5	10 2,2	9 1,62	1 0,05	10 1,5	3 0,24	5 0,35	7,46
Manija	9 2,5	5 1,1	7 1,26	5 0,25	6 0,9	3 0,24	5 0,35	6,35
Muelles	10 2,5	5 1,1	8 1,44	1 0,05	6 1,5	6 0,48	5 0,35	6,82
Rotulas	10 2,5	7 1,54	9 1,62	1 0,05	6 0,9	6 0,48	5 0,35	6,82
Columna de dirección	10 2,5	7 1,54	8 1,44	1 0,05	10 1,5	8 0,64	6 0,42	8,09
Piñones	10 2,5	10 2,2	9 1,62	1 0,05	10 1,5	4 0,32	7 0,49	8,68
Cigüeñal	10 2,5	10 2,2	10 1,8	1 0,05	10 1,5	7 0,56	9 0,63	9,24
Volante de inercia	10 2,5	9 1,98	7 1,26	1 0,05	10 1,5	8 0,64	6 0,42	8,35
Bases de cabina	10 2,5	6 1,32	8 1,44	1 0,05	7 1,05	6 0,48	7 0,49	7,33

Fuente: autores.

Análisis del Retrovisor

Por medio de análisis de la matriz de decisión reveló los siguientes resultados, la cual, que el retrovisor es la primera pieza para considerar, esta pieza obtuvo las siguientes puntuaciones en los distintos factores evaluados, la cual nos dio un valor bajo sobre las demás piezas ya que obtuvo un rango final de 4.53 la cual es aceptable.

Tabla 7.

Método selectivo del Retrovisor.

Resistencia Mecánica	Temperatura	Complejidad Geométrica	Resistencia UV	Precisión Dimensional	Tamaño	Acabado
3	2	6	8	8	3	6

Fuente: autores.

Estas puntuaciones indican que el retrovisor tiene una baja exposición a factores como la resistencia mecánica, temperatura y tamaño. Sin embargo, presenta una alta exigencia en términos de resistencia a UV y precisión dimensional. La complejidad geométrica y el acabado requieren una atención moderada.

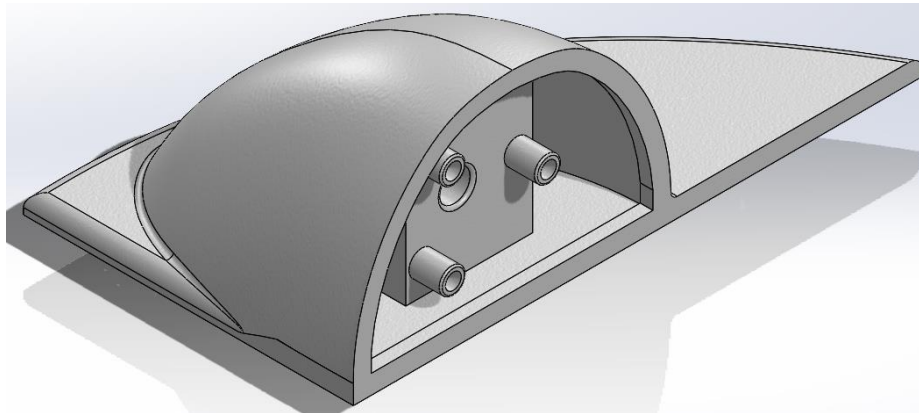
5.1.2. Modelación de las autopartes seleccionadas para FDM

Modelación del retrovisor

Este diseño de retrovisor aprovecha las ventajas de la fabricación aditiva y el material PLA para cumplir con los requerimientos de ligereza, adaptabilidad, aerodinámica, bajo costo, flexibilidad y fabricación mediante impresión 3D, al tiempo que incorpora optimizaciones estructurales y geométricas para un desempeño óptimo en el vehículo.

Figura 10.

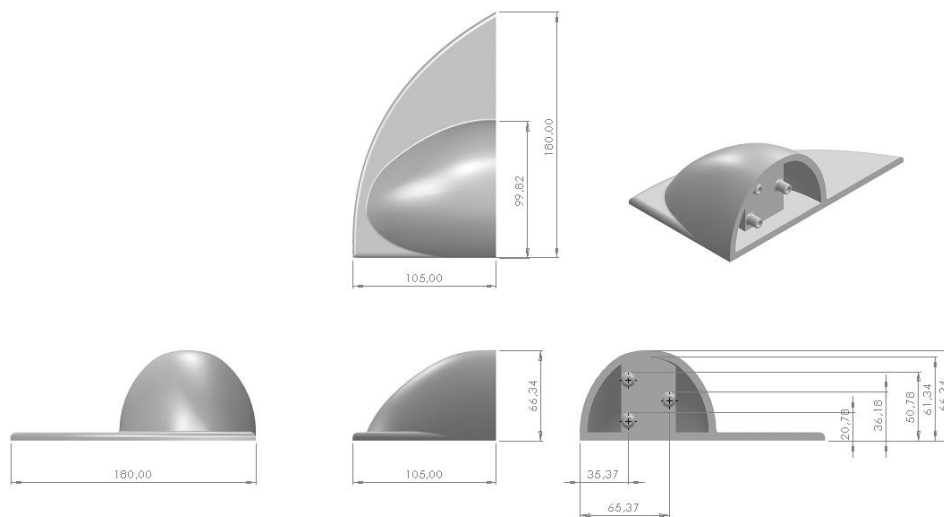
Diseño del Retrovisor



Fuente: autores.

Figura 11.

Dimensiones del retrovisor

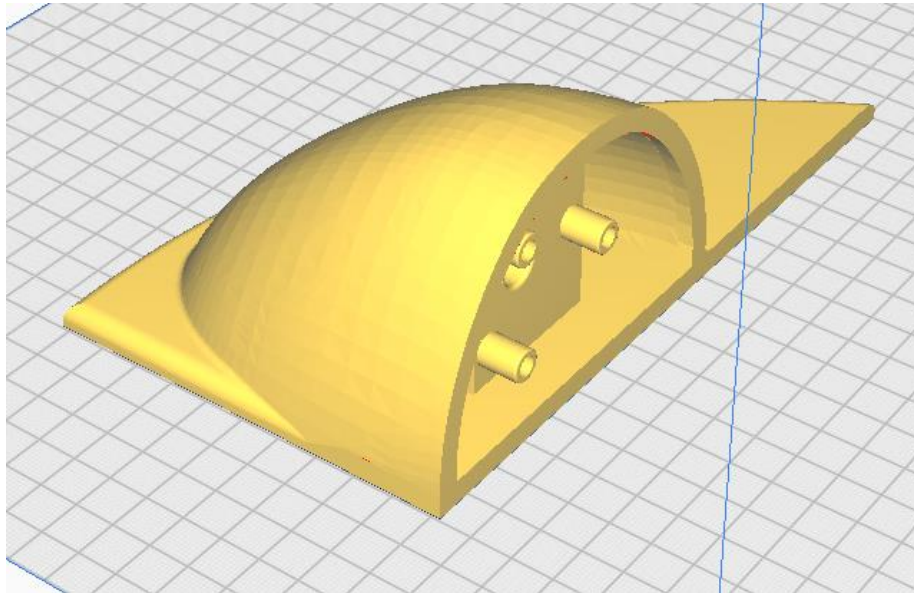


Fuente: autores.

5.1.2. Preparación del modelo:

Figura 12.

Segmentación del modelado 3D



Fuente: Autores

5.1.3. Configuración de la impresora FDM

Figura 13.

Parámetros de perfil de la Impresora.

Ajustes de la máquina

Creality CR-10

Impresora	Extruder 1
Ajustes de la impresora	Ajustes del cabezal de impresión
X (anchura)	X mín
300.0 mm	-26 mm
Y (profundidad)	Y mín
300.0 mm	-32 mm
Z (altura)	X máx
400.0 mm	32 mm
Forma de la placa de impresión	Y máx
Rectangular	34 mm
Origen en el centro	Altura del puente
☐	25.0 mm
Plataforma calentada	Número de extrusores
☒	1
Volumen de impresión calentado	Aplicar compensaciones del extrusor a GCode
☐	☒
Tipo de GCode	
Marlin	
Iniciar GCode	Finalizar GCode
<pre>M201 X500.00 Y500.00 Z100.00 E5000.00 ;Setup mm M203 X500.00 Y500.00 Z10.00 E50.00 ;Setup mach M204 P500.00 R1000.00 T500.00 ;Setup Print/Ret M205 X8.00 Y8.00 Z0.40 E5.00 ;Setup Jerk M220 S100 ;Reset Feedrate M221 S100 ;Reset Flowrate G28 ;Home G92 E0 ;Reset Extruder</pre>	<pre>G91 ;Relative positioning G1 E-2 F2700 ;Retract a bit G1 E-2 Z0.2 F2400 ;Retract and raise z G1 X5 Y5 F3000 ;Wipe out G1 Z10 ;Raise z more G90 ;Absolute positioning G1 X0 Y(machine_depth) ;Present print M106 S0 ;Turn-off fan M104 S0 ;Turn-off hotend</pre>

Fuente: (Creality, 2020)

5.1.4. Ajuste de los parámetros de impresión en FDM

Ajustar estos parámetros requiere experimentación y puede variar según el modelo de impresora y el material utilizado. El objetivo es encontrar el equilibrio óptimo entre calidad, velocidad y uso de material.

Tabla 8.

Parámetros de la impresión 3D para FDM.

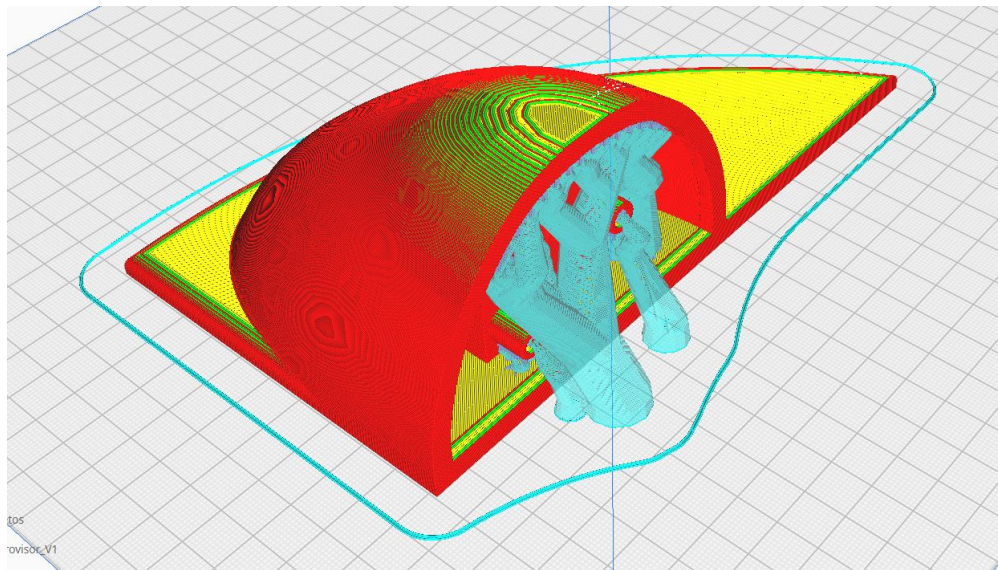
Calidad	
Altura de capa	0.32 mm
Altura de capa inicial	0.32 mm
Ancho de línea	0.44 mm
Paredes	
Grosor de la pared	0.88 mm
Recuento de líneas de pared	3
Superior o inferior	
Grosor superior/inferior	1.28 mm
Capas superiores	0.32 mm
Capas inferiores	0.44 mm
Patrón superior/inferior	3
Patrón superior/inferior	Zigzag
Relleno	
Densidad de relleno	5 %
Patrón de relleno	Giroide
Material	

Temperatura de impresión	225°C
Temperatura de la placa de impresión	60°C
Velocidad de impresión	
Velocidad de impresión	40 mm/s
Velocidad de desplazamiento	150 mm/s
Soporte	
Estructura	Árbol
Colocación del soporte	En todos sitios
Densidad del soporte	5 %
Tipo de adherencia de la placa de impresión	Falda

Fuente: autores.

Figura 14.

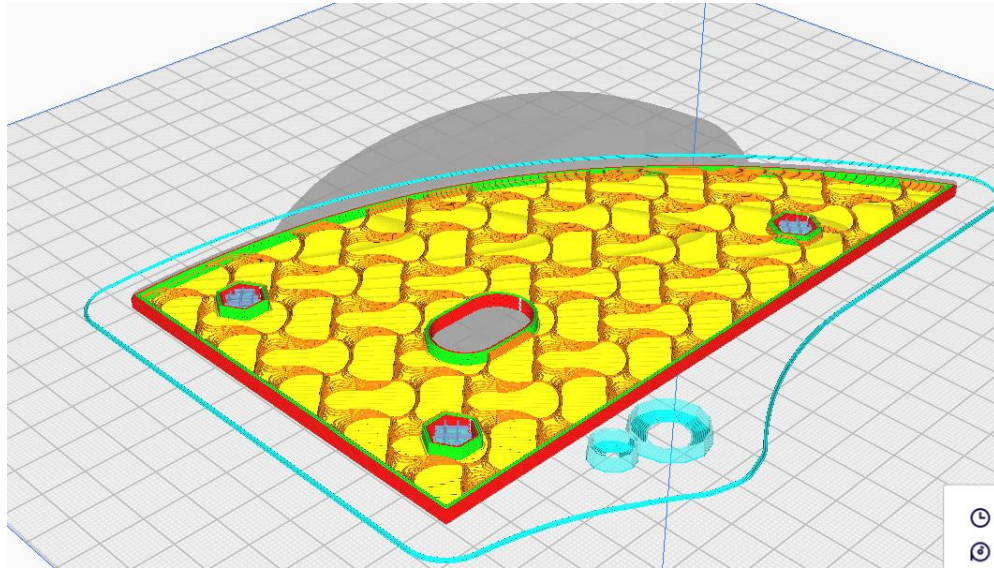
Verificación del proceso de Impresión



Fuentes: Autores

Figura 15.

Simulación del proceso de impresión



Fuentes: Autores

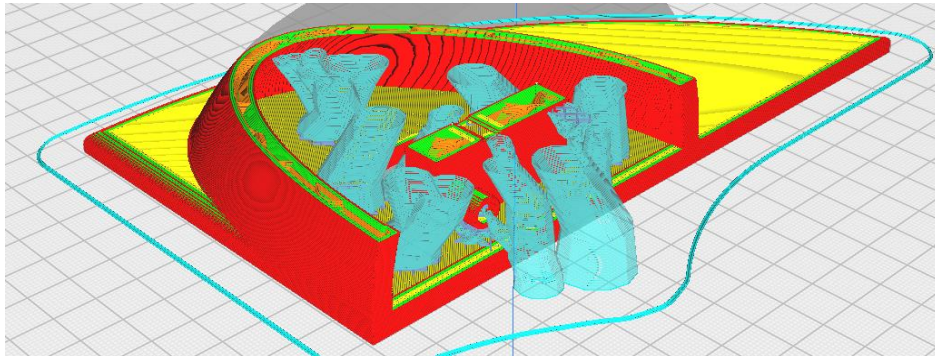
5.1.5. Selección del perfil óptimo de fabricación:

Se decidió optar por los parámetros de impresión presentados en el **Perfil 1**, debido a algunas consideraciones indicadas a continuación:

- Reduce el tiempo de impresión.
- Aumenta la resistencia de la pieza debido a que el relleno es más robusto y eso aumenta la solidez de la pieza.
- Se eliminaron soportes innecesarios.
- Mejora de la calidad superficial de la pieza impresa debido a que se regula la velocidad de depósito del material y también la cantidad de material depositado, eso permite un mejor acabado en la pieza final.

Figura 16.

Previo simulación de impresión en FDM.



Fuentes: Autores

5.1.6. Previsión de tratamientos de postproceso:

Un posible y factible proceso post impresión sería el de aplicar una laca adherente a la pieza, esto permite que, de existir porosidad, nos ayuda a mejorar esa parte.

5.1.7. Estimación del coste de pieza unitario:

Tabla 9.

Precios de Impresión FDM.

Nombre	Descripción	Costo
Tiempo de impresión	9 horas 14 minutos	1.5 \$ / hora.
		Total: 13.71 \$
Peso	101 g	1 kg = 25 \$.
		Total: 2.5 \$
Tratamiento postproceso	30 min	Total: 1.5 \$
TOTAL		17.71\$

Fuente: Autores

Selección de una manija para abrir la puerta

La segunda pieza identificada en la matriz de decisión es la manija para abrir la puerta de un auto. Esta pieza obtuvo las siguientes puntuaciones en los factores evaluados:

Tabla 10.

Método selectivo de la manija para abrir la puerta.

Resistencia Mecánica	Temperatura	Complejidad Geométrica	Resistencia UV	Precisión Dimensional	Tamaño	Acabado
9	5	7	5	6	3	5

Fuente: autores.

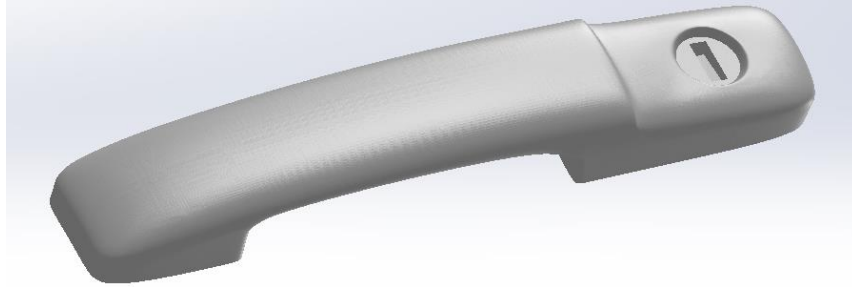
Estas puntuaciones indican que la manija de la puerta requiere una alta resistencia mecánica y tiene una complejidad geométrica considerable. La exposición a la temperatura, resistencia UV, precisión dimensional y acabado se sitúan en niveles moderados. El tamaño de la pieza presenta una exigencia relativamente baja.

5.1.8. Fabricación de la manija mediante la tecnología FDM

Este diseño de manija de puerta aprovecha las ventajas de los procesos de fabricación modernos y materiales avanzados para cumplir con los requerimientos de ergonomía, durabilidad, estética, seguridad, costo-efectividad y facilidad de producción en serie, al tiempo que incorpora optimizaciones estructurales y geométricas para un desempeño óptimo y una integración armoniosa con el diseño general del vehículo.

Figura 17.

Diseño de la Manija.

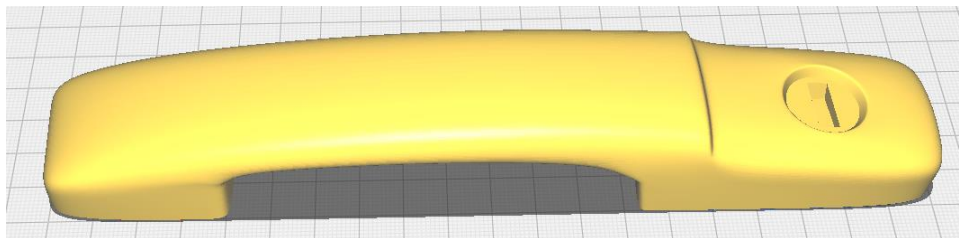


Fuente: Autores

5.1.9. Preparación del modelo:

Figura 18.

Segmentación del modelado 3D de la manija.



Fuente: Autores

5.1.10. Configuración de la impresora FDM:

Figura 19.

Parámetros de perfil de la Impresora.

Ajustes de la máquina

Crealty CR-10

Impresora

Ajustes de la impresora

X (anchura)

300.0

mm

Y (profundidad)

300.0

mm

Z (altura)

400.0

mm

Forma de la placa de impresión

Rectangular

Origen en el centro

☐

Plataforma calentada

☒

Volumen de impresión calentado

☐

Tipo de GCode

Marlin

Iniciar GCode

M201 X500.00 Y500.00 Z100.00 E5000.00 ;Setup pu

M203 X500.00 Y500.00 Z10.00 E50.00 ;Setup mach

M204 F500.00 R1000.00 T500.00 ;Setup Print/Ret

M205 X8.00 Y8.00 Z0.40 E5.00 ;Setup Jerk

M220 S100 ;Reset Feedrate

M221 S100 ;Reset Flowrate

G28 ;Home

G92 E0 ;Reset Extruder

Extruder 1

Ajustes del cabezal de impresión

X mín

-26

mm

Y mín

-32

mm

X máx

32

mm

Y máx

34

mm

Altura del puente

25.0

mm

Número de extrusores

1

Aplicar compensaciones del extrusor a GCode

☒

Finalizar GCode

G91 ;Relative positioning

G1 E-2 F2700 ;Retract a bit

G1 E-2 Z0.2 F2400 ;Retract and raise Z

G1 X5 Y5 F3000 ;Wipe out

G1 Z10 ;Raise Z more

G90 ;Absolute positioning

G1 X0 Y(machine_depth) ;Present print

M106 S0 ;Turn-off fan

M104 S0 ;Turn-off hotend

Fuente: (Crealty, 2020)

5.1.11. Ajuste de los parámetros de impresión:

46

Parámetros de la impresión 3D

Los parámetros de impresión son configuraciones que controlan cómo funciona una impresora 3D o tradicional. Ajustarlos correctamente es esencial para obtener impresiones de alta calidad.

Tabla 11.

Parámetros de impresión 3D de la manija.

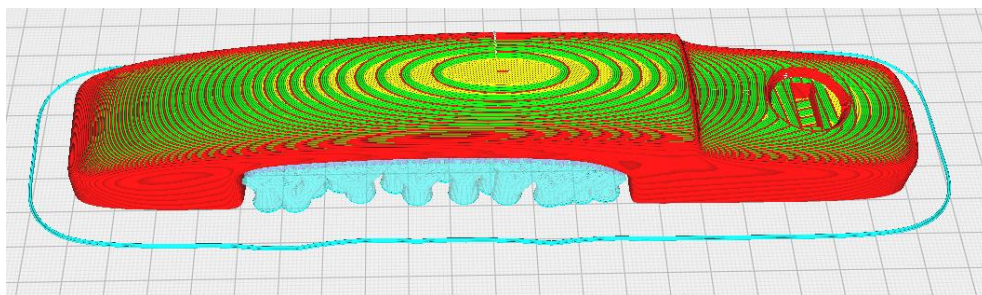
Calidad	
Altura de capa	0.32 mm
Altura de capa inicial	0.32 mm
Ancho de línea	0.44 mm
Paredes	
Grosor de la pared	0.88 mm
Recuento de líneas de pared	5
Superior o inferior	
Grosor superior/inferior	1.28 mm
Capas superiores	5
Capas inferiores	5
Patrón superior/inferior	Zigzag
Relleno	
Densidad de relleno	40 %
Patrón de relleno	Giroide
Material	
Temperatura de impresión	225°C
Temperatura de la placa de impresión	60°C

Velocidad de impresión	
Velocidad de impresión	50 mm/s
Velocidad de desplazamiento	150 mm/s
Soporte	
Estructura	Árbol
Colocación del soporte	En todos sitios
Densidad del soporte	5 %
Tipo de adherencia de la placa de impresión	Falda

Fuente: autores.

Figura 20.

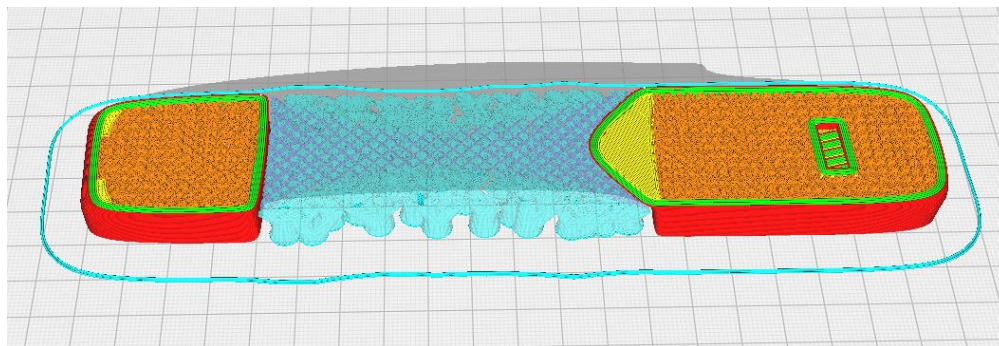
Verificación del proceso de Impresión



Fuentes: Autores

Figura 21.

Previa simulación del proceso de impresión de la manija.



Fuentes: Autores

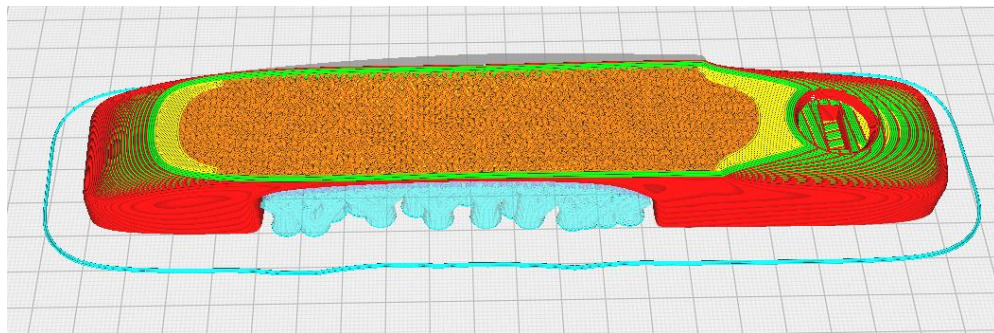
5.1.12. Selección del perfil óptimo de fabricación:

Se decidió optar por los parámetros de fabricación presentados en el Perfil 1, debido a algunas consideraciones indicadas a continuación:

- Optimiza el tiempo de producción.
- Aumenta la resistencia de la pieza debido a que la estructura interna es más robusta, lo que incrementa la durabilidad de la manija.
- Se eliminaron procesos secundarios innecesarios.
- Mejora de la calidad superficial de la manija debido a que se reguló la velocidad de inyección del material y también la cantidad de material utilizado, lo que permite un mejor acabado en la pieza final y una apariencia más atractiva.

Figura 22.

Simulación de impresión en FDM.



Fuentes: Autores

5.1.13. Previsión de tratamientos de postproceso:

Un posible y factible proceso post producción sería el de aplicar un recubrimiento protector a la manija. Esto permite mejorar la resistencia a la abrasión y a los agentes atmosféricos, además

de proporcionar un acabado más suave y atractivo. También ayuda a sellar cualquier micro imperfección en la superficie, mejorando la durabilidad y la apariencia general de la pieza.

5.1.14. Estimación del coste de pieza unitario:

Tabla 12.

Precios de Impresión FDM en ABS de la manija

Nombre	Descripción	Costo
		1.5 \$ / hora.
Tiempo de impresión	7horas 34 minutos	Total: 11.25 \$
		1 kg = 25 \$.
Peso	90 g	Total: 2.25 \$
Tratamiento postproceso	30 min	Total: 1.5 \$
	TOTAL	15 \$

Fuente: Autores

Selección de la manivela mediante factor de ponderización

La tercera pieza identificada en la matriz de decisión es la manivela. Esta pieza obtuvo las siguientes puntuaciones en los factores evaluados:

Tabla 13.

Método selectivo de la manivela.

Resistencia Mecánica	Temperatura	Complejidad Geométrica	Resistencia UV	Precisión Dimensional	Tamaño	Acabado
10	5	5	6	7	3	5

Fuente: autores.

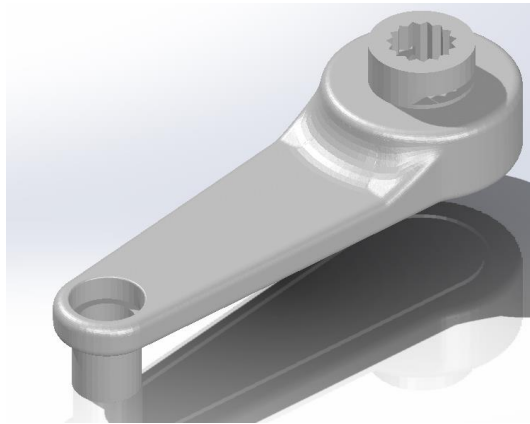
Estas puntuaciones revelan que la manivela requiere la máxima resistencia mecánica posible. La precisión dimensional también es un factor importante. La exposición a la temperatura, complejidad geométrica, resistencia UV y acabado se sitúan en niveles moderados. Al igual que las piezas anteriores, el tamaño de la manivela presenta una exigencia relativamente baja."

5.1.15. Fabricación de la manivela mediante la tecnología FDM

Este diseño de manivela aprovecha las ventajas de los procesos de fabricación modernos y materiales resistentes para cumplir con los requerimientos de ergonomía, durabilidad, estética, facilidad de uso, costo-efectividad y producción en serie, al tiempo que incorpora optimizaciones estructurales y geométricas para un desempeño óptimo y una operación suave del mecanismo de la ventana del vehículo

Figura 23.

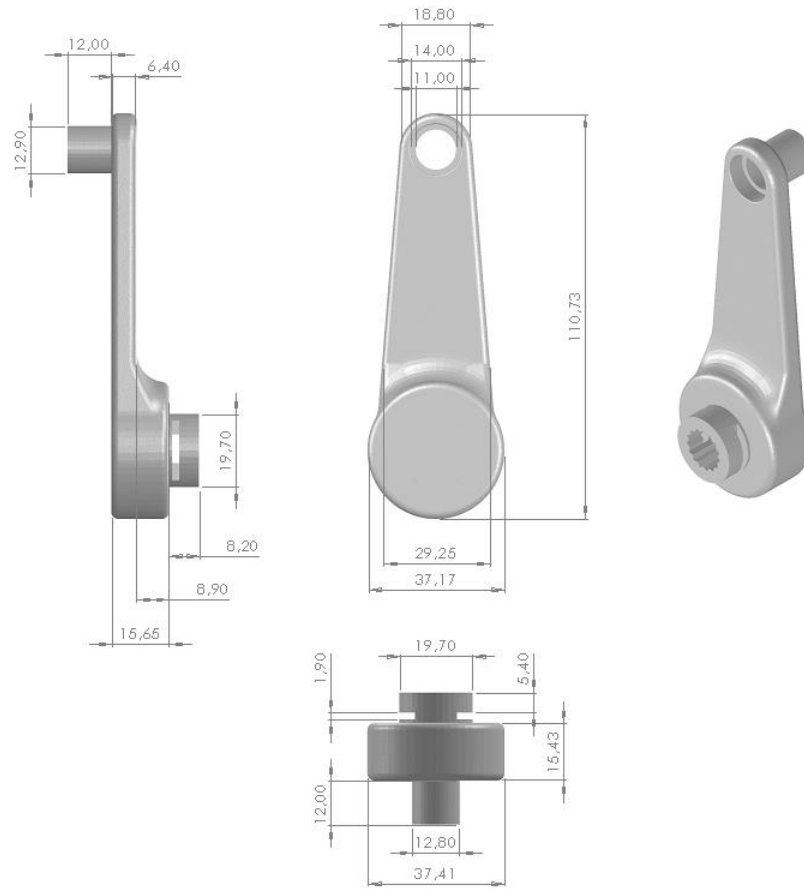
Diseño de la manivela.



Fuente: Autores

Figura 24.

Toma de dimensiones de la manivela

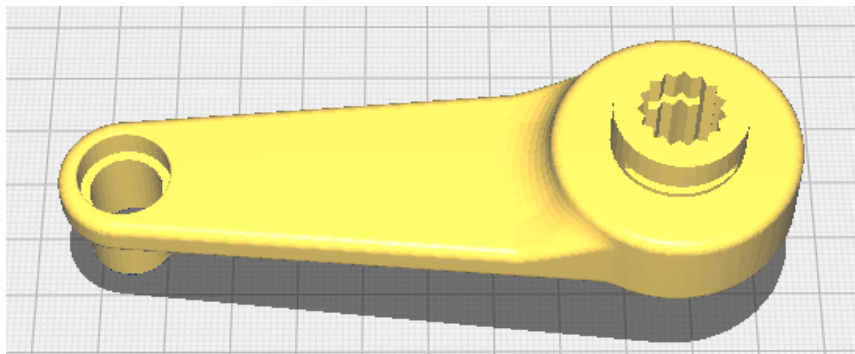


Fuente: autores.

5.1.16. Preparación del modelo:

Figura 25.

Segmentación del modelado 3D.



Fuente: Autores

5.1.17. Configuración de la impresora FDM:

Figura 26.

Parámetros de perfil de la Impresora.

The screenshot shows the 'Ajustes de la máquina' (Machine Settings) window for a Creality CR-10 printer. It is divided into two main sections: 'Impresora' (Printer) and 'Extruder 1'.

Impresora Section:

- Ajustes de la impresora:**
 - X (anchura): 300.0 mm
 - Y (profundidad): 300.0 mm
 - Z (altura): 400.0 mm
 - Forma de la placa de impresión: Rectangular (dropdown)
 - Origen en el centro: ☐
 - Plataforma calentada: ☒
 - Volumen de impresión calentado: ☐
 - Tipo de GCode: Marlin (dropdown)
- Iniciar GCode:**

```
M201 X500.00 Y500.00 Z100.00 E5000.00 ;Setup m
M203 X500.00 Y500.00 Z10.00 E50.00 ;Setup mach
M204 P500.00 R1000.00 T500.00 ;Setup Print/Ret
M205 X8.00 Y8.00 Z0.40 E5.00 ;Setup Jerk
M220 S100 ;Reset Feedrate
M221 S100 ;Reset Flowrate

G28 ;Home

G92 E0 ;Reset Extruder
```

Extruder 1 Section:

- Ajustes del cabezal de impresión:**
 - X mín: -26 mm
 - Y mín: -32 mm
 - X máx: 32 mm
 - Y máx: 34 mm
 - Altura del puente: 25.0 mm
 - Número de extrusores: 1 (dropdown)
 - Aplicar compensaciones del extrusor a GCode: ☒
- Finalizar GCode:**

```
G91 ;Relative positioning
G1 E-2 F2700 ;Retract a bit
G1 E-2 Z0.2 F2400 ;Retract and raise Z
G1 X5 Y5 F3000 ;Wipe out
G1 Z10 ;Raise Z more
G90 ;Absolute positioning

G1 X0 Y[machine_depth] ;Present print
M106 S0 ;Turn-off fan
M104 S0 ;Turn-off hotend
```

Fuente: (Creality, 2020)

5.1.18. Ajuste de los parámetros de impresión:

Para obtener piezas de alta calidad, mejorar la resistencia y la adherencia, optimizar el tiempo y los recursos de impresión y evitar fallos comunes, es fundamental ajustar los parámetros de impresión en FDM.

Tabla 14.

Parámetros de Impresión 3D en Fdm para la manivela.

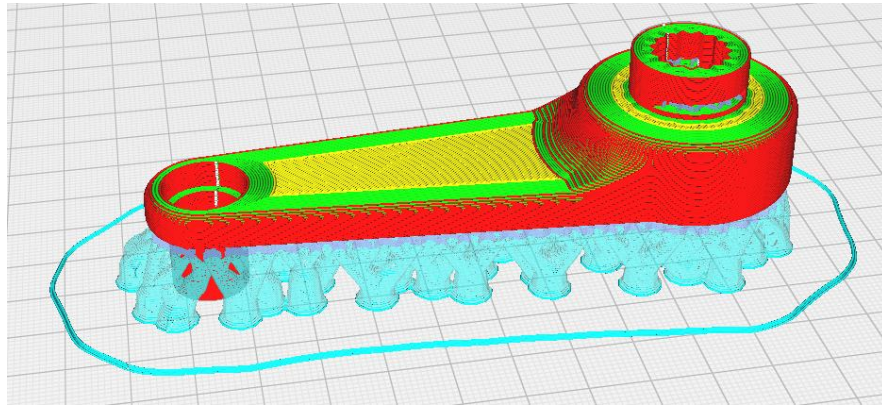
Calidad	
Altura de capa	0.32 mm
Altura de capa inicial	0.32 mm
Ancho de línea	0.44 mm
Paredes	

Grosor de la pared	0.88 mm
Recuento de líneas de pared	10
Superior o inferior	
Grosor superior/inferior	1.28 mm
Capas superiores	5
Capas inferiores	5
Patrón superior/inferior	Zigzag
Relleno	
Densidad de relleno	25 %
Patrón de relleno	Giroide
Material	
Temperatura de impresión	225°C
Temperatura de la placa de impresión	60°C
Velocidad de impresión	
Velocidad de impresión	50 mm/s
Velocidad de desplazamiento	150 mm/s
Soporte	
Estructura	Árbol
Colocación del soporte	En todos sitios
Densidad del soporte	5 %
Tipo de adherencia de la placa de impresión	Falda

Fuente: (Creality, 2020)

Figura 27.

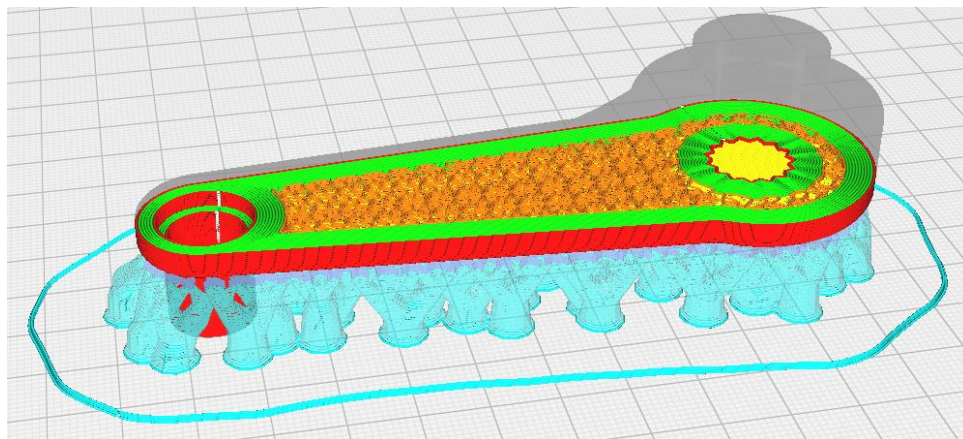
Verificación de soportes para proceso de Impresión.



Fuentes: Autores

Figura 28.

Previa simulación del proceso de impresión.



Fuentes: Autores

5.1.19. Selección del perfil óptimo de fabricación:

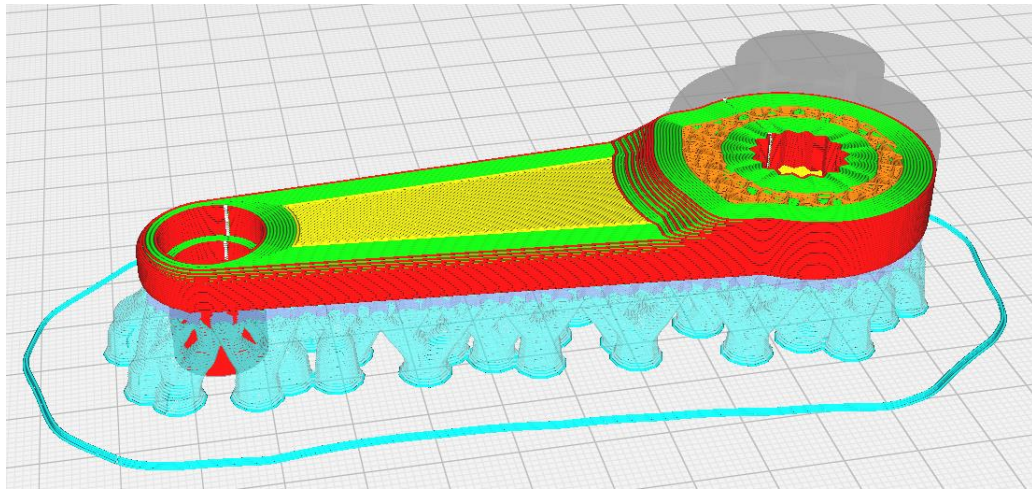
Se decidió optar por los parámetros de fabricación presentados en el Perfil 1, debido a algunas consideraciones indicadas a continuación:

- Optimiza el tiempo de producción, permitiendo una fabricación más eficiente.
- Aumenta la resistencia de la pieza debido a que la estructura interna es más robusta, lo que incrementa la durabilidad de la manivela y su capacidad para soportar el uso repetitivo.

- Se eliminaron procesos secundarios innecesarios, simplificando la fabricación.
- Mejora de la calidad superficial de la manivela debido a que se reguló la velocidad de moldeo del material y también la cantidad de material utilizado, lo que permite un mejor acabado en la pieza final, proporcionando una superficie ergonómica y agradable al tacto.

Figura 29.

Simulación de impresión en fdm



Fuentes: Autores

5.1.20. Previsión de tratamientos de postproceso:

Un posible y factible proceso post producción sería el de aplicar un recubrimiento protector a la manivela. Esto permite mejorar la resistencia al desgaste por el uso frecuente, además de proporcionar una superficie más suave y agradable al tacto. También ayuda a sellar cualquier micro imperfección en la superficie, mejorando la durabilidad y previniendo la acumulación de suciedad o la corrosión a largo plazo. Adicionalmente, este recubrimiento puede contribuir a la estética de la manivela, asegurando un aspecto uniforme y de alta calidad que se integre bien con el interior del vehículo.

5.1.21. Estimación del coste de pieza unitario:

Tabla 15.

Precios de Impresión FDM con ABS en la manivela.

Nombre	Descripción	Costo
Tiempo de impresión	3 horas 34 minutos	1.5 \$ / hora.
		Total: 5.25 \$
Peso	38 g	1 kg = 25 \$.
		Total: 0.95 \$
Tratamiento postproceso	30 min	Total: 1.5 \$
TOTAL		7.70 \$

Fuente: Autores

5.2. Manufactura de Autopartes en SLA

5.2.1. Selección de autopartes aptas para SLA mediante factor de ponderación

Con el objetivo de determinar las autopartes adecuadas para fabricar mediante la tecnología SLA, se utilizará un método basado en una matriz de decisión. En esta matriz, cada fila representará un diseño de autoparte y las columnas corresponderán a categorías clave donde evaluaremos:

- **Resistencia Mecánica:** Evaluar los tipos de cargas (tracción, compresión, flexión, torsión, impacto, etc.) y las fuerzas máximas que la pieza deberá soportar durante su uso previsto. Es fundamental analizar detalladamente el entorno y las condiciones operativas de la pieza impresa.

- **Temperatura de Operación:** Considerar la temperatura a la que estará expuesta la pieza, ya que puede afectar significativamente las propiedades mecánicas de los materiales utilizados en la impresión 3D mediante estereolitografía (SLA).
- **Resistencia a Rayos UV:** Analizar el diseño y ubicación de la pieza, puesto que la radiación UV puede causar la degradación fotoquímica de muchos polímeros utilizados en la impresión 3D.
- **Complejidad Geométrica:** Priorizar diseños con geometrías que sean adecuadas para la impresión 3D mediante SLA, evitando estructuras complejas, ángulos pronunciados, voladizos excesivos y detalles minúsculos. Esto minimizará la necesidad de estructuras de soporte temporales, facilitará el proceso, mejorará el acabado superficial, reducirá el desperdicio de material y los tiempos de Post procesamiento.
- **Precisión Dimensional:** Considerar las tolerancias dimensionales de las piezas, dado que el proceso SLA tiene limitaciones en cuanto a la precisión dimensional. Factores como la contracción del material al curarse, las imperfecciones de las capas y la resolución del láser pueden causar pequeñas desviaciones respecto a las dimensiones teóricas del diseño CAD. Se recomienda optar por piezas con tolerancias más holgadas.
- **Tamaño:** Evaluar las dimensiones de las piezas, ya que las piezas muy grandes pueden requerir impresión por secciones y posterior ensamblaje, aumentando la complejidad del proceso y comprometiendo la integridad estructural. Se deben

priorizar piezas que no excedan los límites de volumen de impresión de la máquina SLA.

- **Acabado Superficial:** Calificar las piezas que no demanden un alto grado de calidad estética o acabado superficial excepcional, favoreciendo diseños que no estarán expuestos a la vista o que no requieran un aspecto estético crítico.

A cada categoría se le asignará un factor de ponderación que refleje su importancia relativa según los requisitos de la aplicación. Las piezas se evaluarán en cada categoría usando una escala del 1 al 10. Las puntuaciones se multiplicarán por los factores de ponderación y se sumarán para obtener un puntaje total por pieza. Finalmente, se seleccionarán las piezas con el puntaje total más bajo, ya que representan el mejor equilibrio entre todas las categorías según sus factores de ponderación.

Tabla 16.

Tabla de factor de ponderación para SLA.

Calificación	Descripción
1-2	Exposición mínima o nula
3-4	Exposición baja
5-6	Exposición moderada
7-8	Exposición alta
9-10	Exposición extrema

Fuente: autores.

Tabla 17.

Selección de autopartes - Factor de ponderación para el uso en SLA.

	Resistencia Mecánica	Temperatura	Complejidad Geométrica	Resistencia UV	Precisión Dimensional	Tamaño	Acabado	RANGO
Factor de ponderación	.25	.22	.18	.05	.15	.08	.07	1
Tapa cubos	7 1,75	8 1,76	5 0,9	6 0,18	6 0,9	7 0,56	8 0,56	6,58
Sensor de velocidad	3 0,75	4 0,88	5 0,9	6 0,3	7 1,05	2 0,16	9 0,63	4,67
Helice de ventilacion	5 1,25	6 1,32	6 1,08	6 0,18	7 1,05	5 0,4	6 0,42	5,67
Seguro	6 1,5	5 1,1	6 1,08	4 0,2	6 0,9	5 0,4	5 0,35	5,53
Pomo de Cambios	5 1,25	5 1,1	7 1,26	7 0,35	7 1,05	7 0,56	5 0,35	5,92
Manija interior	6 1,5	6 1,32	5 0,9	4 0,2	8 1,20	6 0,48	6 0,42	6,02
Manivela	5 1,25	7 1,54	4 0,72	8 0,25	8 1,2	7 0,56	6 0,42	5,94
Engranajes de manivela	6 1,5	4 0,88	4 0,72	4 0,25	4 0,6	5 0,4	7 0,49	4,84
Boton de parqueo	7 1,75	2 0,44	3 0,54	3 0,15	6 0,9	6 0,48	6 0,42	4,68
Botones de A.C	7 1,75	3 0,66	3 0,54	4 0,2	4 0,6	6 0,48	7 0,49	4,72
Tacometro	4 1,0	4 0,88	6 1,08	6 0,25	6 0,9	7 0,56	8 0,56	5,23
Base de luz de salon	4 1,0	5 1,1	5 0,9	5 0,25	5 0,75	5 0,4	7 0,49	4,89
Ductos de ventilacion	5 1,25	5 1,1	8 1,44	4 0,2	8 0,12	6 0,48	8 0,56	6,23
Union de mangueras	5 1,25	5 1,1	5 0,9	5 0,25	5 0,75	5 0,4	5 0,35	5

Fuente: autores.

Hemos determinado que el sensor de velocidad es la pieza óptima para nuestro proyecto/estudio después de realizar un análisis exhaustivo utilizando una matriz de decisión. La matriz de decisión nos permitió evaluar varios factores y criterios relevantes para nuestra selección, y, según nuestros parámetros establecidos, el sensor de velocidad resultó ser la opción más adecuada.

Selección del sensor de velocidad mediante factor de ponderización

La primera pieza identificada en la matriz de decisión es el sensor de velocidad de un auto. Esta pieza obtuvo las siguientes puntuaciones en los factores evaluados:

Tabla 18.

Método selectivo para el sensor de velocidad.

Resistencia Mecánica	Temperatura	Complejidad Geométrica	Resistencia UV	Precisión Dimensional	Tamaño	Acabado
3	4	5	6	7	2	9

Fuente: autores.

Estas puntuaciones indican que el sensor de velocidad requiere una baja resistencia mecánica y tiene una complejidad geométrica considerable. La exposición a la temperatura, resistencia UV, precisión dimensional y acabado se sitúan en niveles moderados. El tamaño de la pieza presenta una exigencia relativamente baja.

Selección del botón de parqueo mediante factor de ponderización

La segunda pieza identificada en la matriz de decisión es el botón de parqueo. Esta pieza obtuvo las siguientes puntuaciones en los factores evaluados:

Tabla 19.

Método selectivo para el botón de parqueo.

Resistencia Mecánica	Temperatura	Complejidad Geométrica	Resistencia UV	Precisión Dimensional	Tamaño	Acabado
7	2	3	3	6	6	6

Fuente: autores.

El botón de parqueo se caracteriza por una resistencia mecánica sobresaliente, siendo este su atributo más destacado con una puntuación de 7. Los aspectos de resistencia UV, precisión dimensional y acabado muestran una importancia considerable, todos ellos calificados con 6 puntos. La complejidad geométrica y la resistencia general de la pieza se sitúan en un nivel intermedio, ambas con una puntuación de 3. La temperatura representa un factor de menor preocupación, con una calificación de 2. Finalmente, el tamaño de la pieza parece ser el aspecto menos crítico en su diseño y fabricación, obteniendo la puntuación más baja de 2.

Selección de botones de aire acondicionado mediante factor de ponderización

La tercera pieza identificada en la matriz de decisión fue acertada los botones de aire acondicionado. Esta pieza obtuvo las siguientes puntuaciones en los factores evaluados:

Tabla 20.

Método selectivo para el botón de parqueo.

Resistencia Mecánica	Temperatura	Complejidad Geométrica	Resistencia UV	Precisión Dimensional	Tamaño	Acabado
7	3	3	4	4	6	7

Fuente: autores.

Estas puntuaciones indican que el sensor de velocidad requiere una baja resistencia mecánica y tiene una complejidad geométrica considerable. La exposición a la temperatura, resistencia UV, precisión dimensional y acabado se sitúan en niveles moderados. El tamaño de la pieza presenta una exigencia relativamente media.

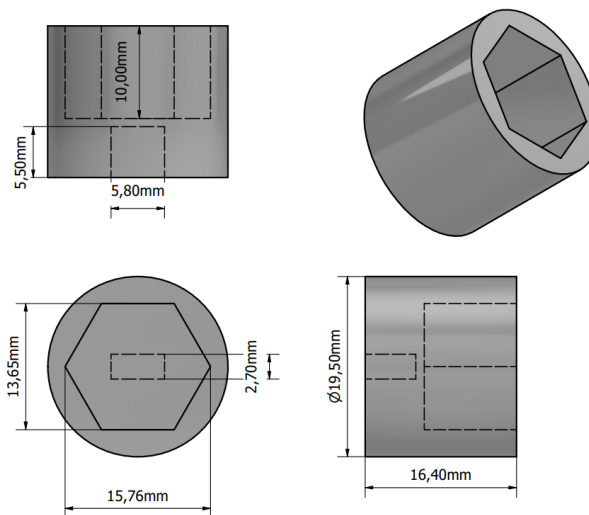
5.2.2. Modelación de las autopartes seleccionadas para SLA

Modelación del sensor de velocidad

Se realiza el diseño mediante un software inventor Profesional la cual se revisa un repuesto deteriorado para tomar las medidas una logrado sacar el boceto con sus respectivas medidas.

Figura 30.

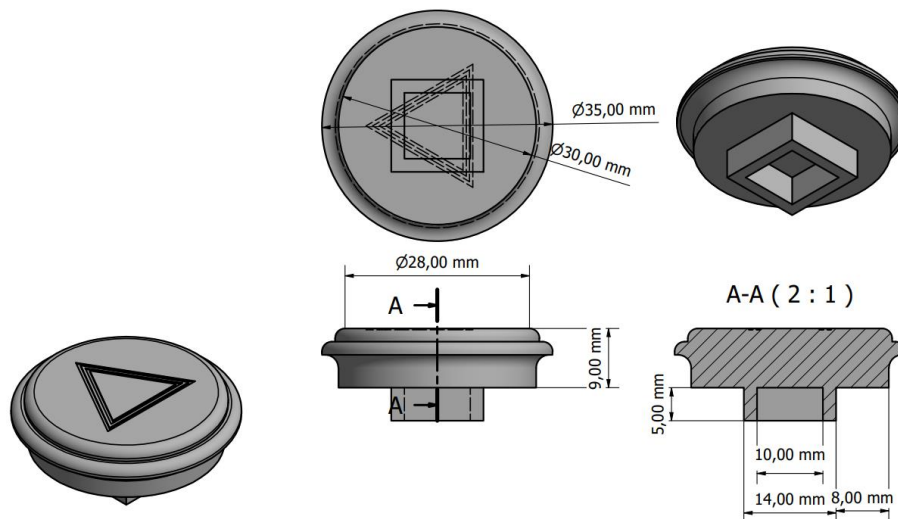
Dimensiones del Sensor de velocidad



Fuente: autores

Figura 31.

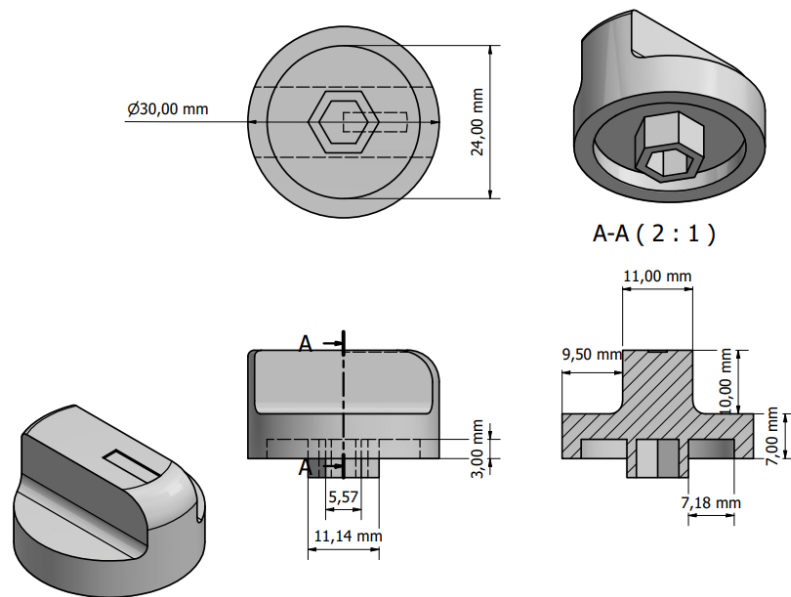
Dimensiones del Botón de Parqueo.



Fuente: autores.

Figura 32.

Dimensiones del botón de aire acondicionado.



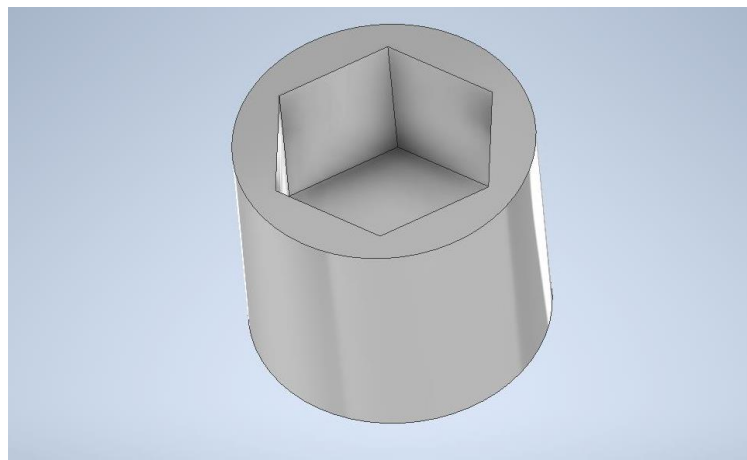
Fuente: autores.

Una vez sacado las medidas del repuesto se logra realizar el diseño en 3D mediante el software inventor profesional.

Preparación del Modelo mediante CAD

Figura 33.

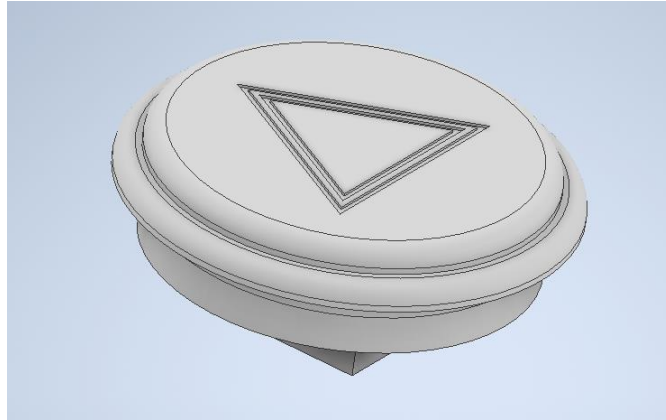
Modelación en Software Inventor el sensor de velocidad.



Fuente: Autores

Figura 34.

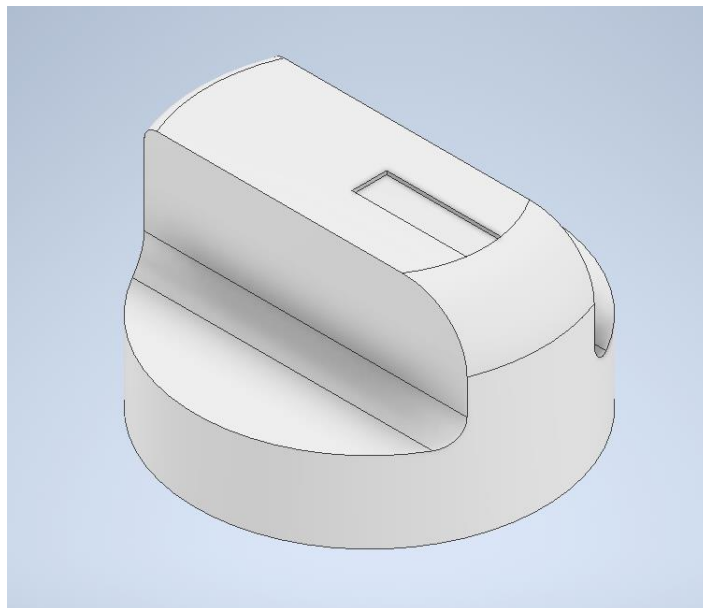
Modelación del botón de parqueo.



Fuente: autores.

Figura 35.

Modelación del botón de Aire acondicionado



Fuente: Autores

Una vez diseñado se procede a exportar en formato de impresión STL, OBJ.

Después de eso se verifica los parámetros de acuerdo del fabricante de la resina en la impresora para realizar la impresión de la pieza.

5.2.3. Configuración de la impresora 3D SLA

Estos parámetros suelen guardarse como perfiles específicos para cada tipo de resina y modelo de impresora. Es común experimentar y ajustar estos valores para optimizar los resultados según las necesidades específicas de cada proyecto.

Tabla 21.

Características de Perfil.

Maquina	Elegoo Saturn S		
Resolución	X: 4098	Y:2560	
Tamaño	X:196 mm	Y:122 mm	Z: 200 mm

Fuente: autores.

Tabla 22.

Parámetros de impresión Perfil.

Descripción	Valores
Altura de capa	0.050 mm
Total, de capas inferiores	5
Tiempo de exposición	4 S
Tiempo de exposición del fondo	30 S
Recuento de capas de transición	10
Tipo de maquina	Lineal
Decremento de transición	2.360 S
Modo de espera durante la impresión	Tiempo descanso
Distancia de elevación inferior	7,000 + 0, 000 mm
Distancia de elevación	7,000 + 0, 000 mm
Distancia de retraer inferior	7,000 + 0, 000 mm

Distancia de retracción	7,000 + 0, 000 mm
Velocidad elevación inferior	70,000 + 0,000 mm/min
Velocidad de elevación	70,000 + 0,000 mm/min
Velocidad de retracción inferior	210,000 + 0,000 mm/min
Velocidad de retracción	210,000 + 0,000 mm/min

Fuente: autores.

Se ve los parámetros de soportes para la fijación pieza automotriz que se va a imprimir y mayor fijación en la base.

5.2.4. Ajuste de los parámetros de impresión en SLA

Tabla 23.

Parámetros de los Soportes del modelo 3D.

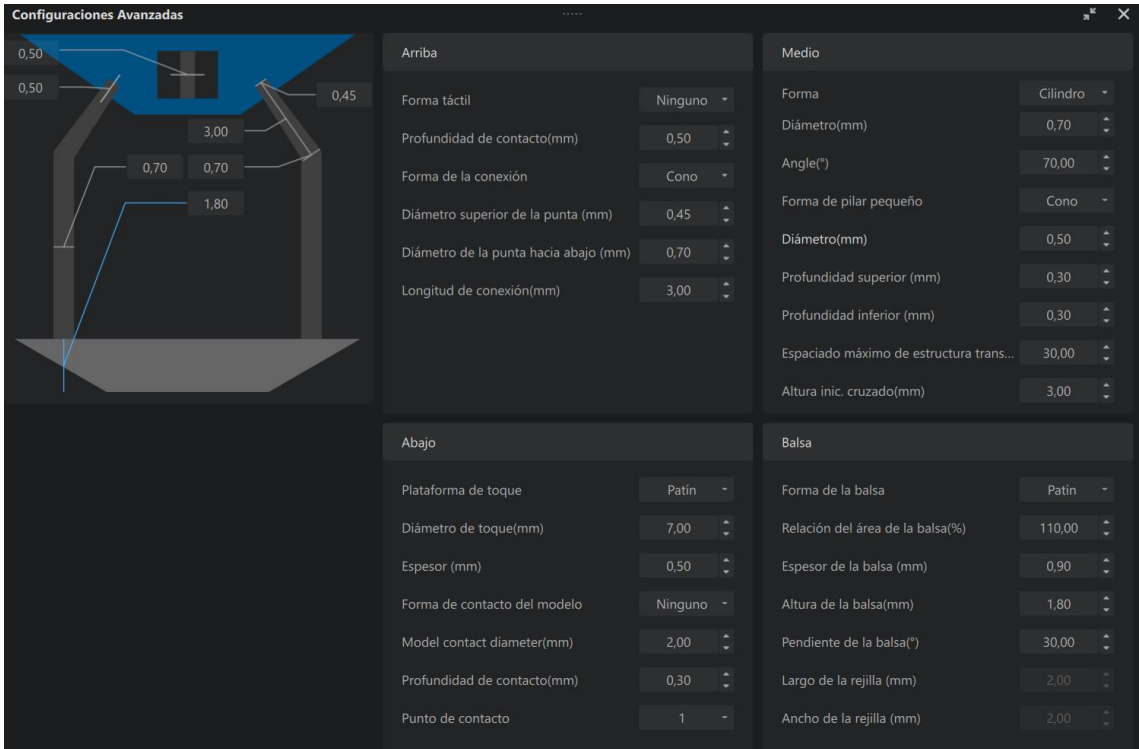
Altura de elevación Z (mm)	3,80
Arriba	
Forma de contacto	Ninguno
Diámetro de contacto del modelo (mm)	0,55
Profundidad de contacto (mm)	0,50
Forma de conexión	Cono
Diámetro superior (mm)	0,45
Diámetro inferior (mm)	0,70
Longitud de conexión (mm)	3,00
Medio	
Forma	Cilindro
Diámetro (mm)	0,70

Angulo (°)	70,00
Forma de pilar pequeño	Cono
Diámetro (mm)	0,50
Profundidad Superior (mm)	0,30
Profundidad Inferior (mm)	0,30
Abajo	
Plataforma de toque (mm)	Cubo
Diámetro de toque (mm)	7,00
Espesor	0,50
Contacto de modelo	Ninguno
Diámetro de contacto del modelo (mm)	2,00
Profundidad de contacto	0,30
Tipo de contacto	1
Balsa	
Forma de balsa	Ninguno
Relación área balsa (%)	110,00
Espesor de la balsa (mm)	1,00
Altura de la balsa (mm)	1,80
Pendiente de la balsa (°)	30,00
Soporte automático/manual	
Ancho de cruzado	5,00
Altura de inclinación cruzado	7,00
Densidad (%)	25,00

Angulo (°)	45,00
------------	-------

Fuente: autores.

Figura 36.
Parámetros del Software la Impresora SLA.



Fuente: Programa ChituBox

Una vez realizado la calibración y verificación de soportes se pasa el modelo 3D al programa ChituBox para la colocación de soportes en la pieza automotriz.

5.2.5. Colocación de soportes

En el ámbito de la impresión 3D, ChituBox se destaca como una herramienta esencial para preparar modelos, con un enfoque particular en la crucial tarea de colocar soportes, especialmente para impresoras de resina. El proceso se desarrolla en varias etapas clave:

Inicialmente, se busca la orientación óptima del modelo para reducir la necesidad de soportes y mejorar la calidad final. Luego, se aprovecha la función de generación automática de soportes de ChituBox, permitiendo ajustes en densidad, diámetro y puntos de contacto.

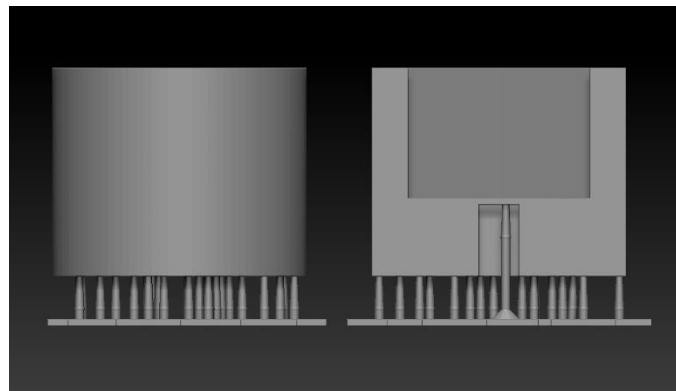
Tras la automatización, el usuario puede refinar manualmente los soportes, especialmente en zonas delicadas. ChituBox ofrece variedad en tipos de soportes, desde ligeros hasta pesados, adaptándose a las exigencias de cada pieza.

Para usuarios avanzados, existe la posibilidad de configurar detalles como ángulos y formas de las puntas de los soportes. La herramienta de vista previa por capas facilita la verificación de una correcta colocación.

El proceso concluye con una fase de optimización, que puede requerir múltiples iteraciones para lograr un equilibrio entre un soporte adecuado y una fácil remoción posterior.

Figura 37.

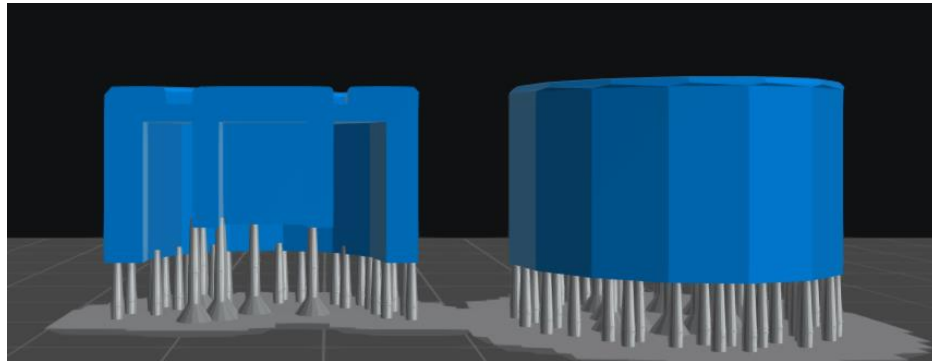
Colocación de soportes en el sensor de velocidad al 100% de relleno.



Fuente: autores.

Figura 38.

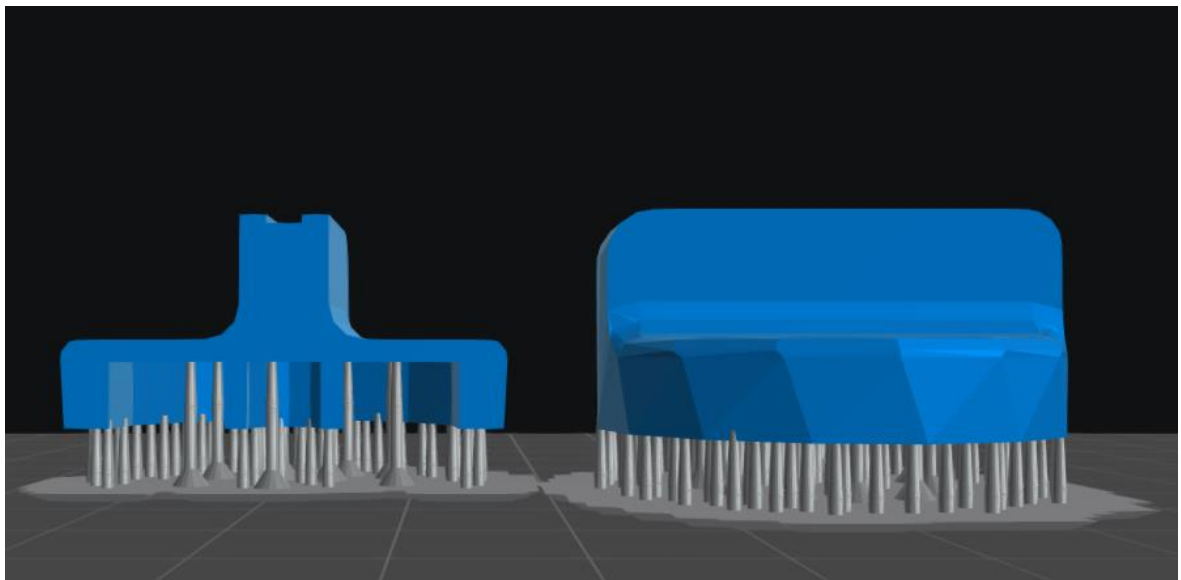
Colocación de soportes en el Botón de parqueo al 100% de relleno.



Fuente: autores.

Figura 39.

Colocación de soportes el botón A/C con un relleno al 100%.



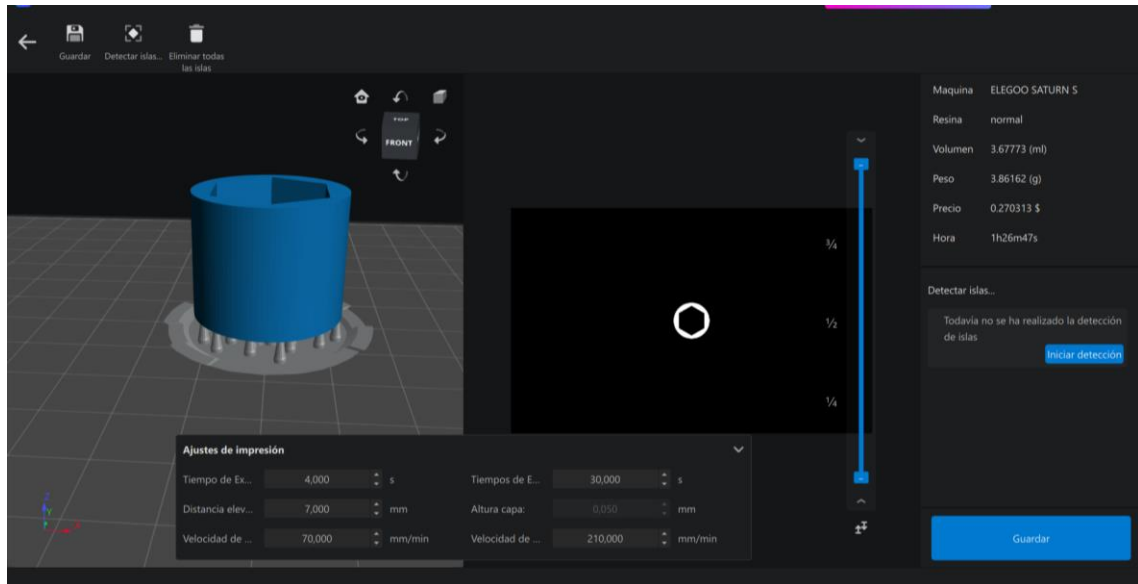
Fuente: Autores

Para usuarios avanzados, existe la posibilidad de configurar detalles como ángulos y formas de las puntas de los soportes. La herramienta de vista previa por capas facilita la verificación de una correcta colocación.

El proceso concluye con una fase de optimización, que puede requerir múltiples iteraciones para lograr un equilibrio entre un soporte adecuado y una fácil remoción posterior.

Figura 40.

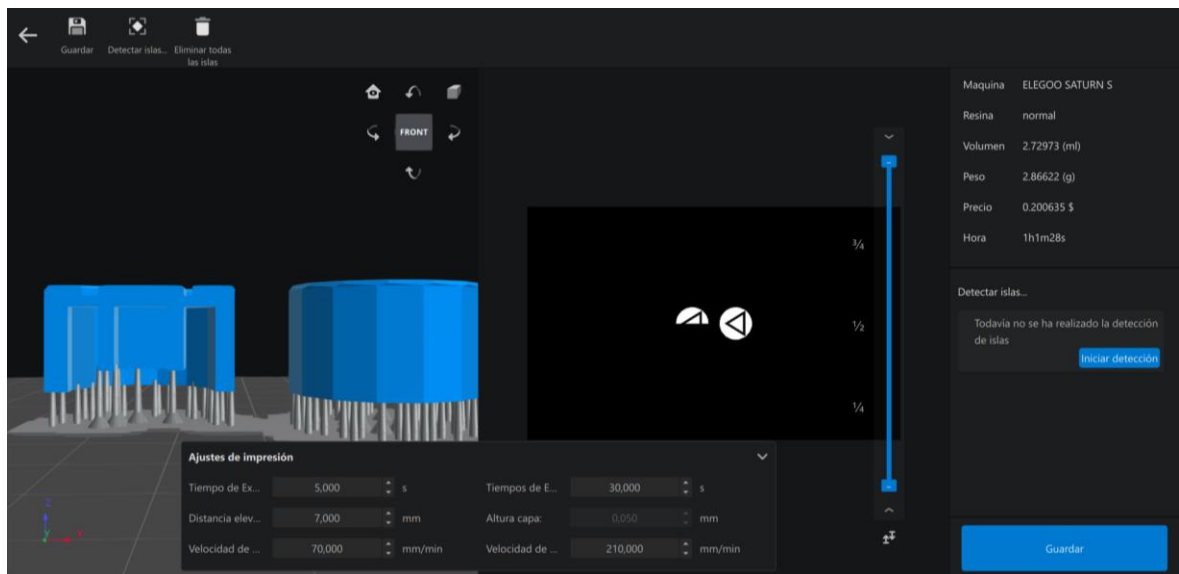
Preparación y estimación de tiempo del sensor de velocidad.



Fuente: autores.

Figura 41.

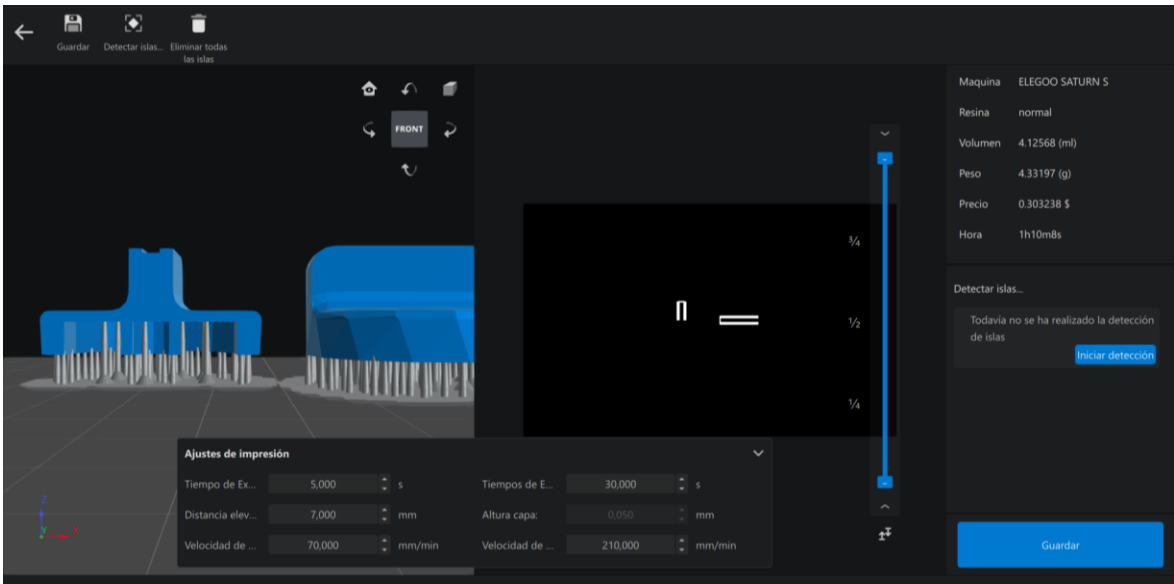
Preparación y estimación de tiempo del botón de parqueo.



Fuente: autores.

Figura 42.

Preparación y estimación de tiempo el botón de aire acondicionado



Fuente: autores.

5.2.6. Previsión de tratamientos de postproceso

Para predecir el tratamiento de postproceso de una pieza de automóvil impresa en resina SLA, es necesario establecer parámetros específicos para cada etapa del postproceso. Los parámetros recomendados para cada tratamiento son los siguientes:

Tabla 24.
Post Procesado de la Pieza 3D

Curado Uv	
Duración del curado:	5-15 minutos.
Longitud de onda UV:	365 nm o 405 nm (dependiendo de la resina).
Intensidad de la luz:	2-10 m W/cm².
Temperatura:	Ambiente o ligeramente elevada (hasta 60°C)
Limpieza	

Tiempo de inmersión	5-10 minutos.
Temperatura del baño ultrasónico	25-40°C.
Duración del ultrasonido:	5-10 minutos.
Eliminación de soportes	
Herramientas:	Cortadores de precisión, pinzas y bisturí.
Parámetros de corte:	Realizar los cortes lo más cerca posible de la superficie de la pieza sin dañar la estructura.
Lijado y pulido	
Lijas:	Granos de 100, 220, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1500 y 2000.
Duración de cada etapa de lijado:	2-5 minutos, dependiendo de la superficie y el nivel de acabado deseado.
Compuestos de pulido:	Pastas de pulido finas y ultrafinas.

Fuente: autores.

5.2.7. Estimación del coste de pieza unitario:

El coste estimado de una pieza impresa en resina SLA sería aproximadamente \$19.5 USD. Este cálculo puede variar en función de los precios actuales del material, la eficiencia de la impresora, el coste de la mano de obra y otros factores específicos de cada caso.

Tabla 25.*Costes de impresión SLA.*

		Pieza 1 Sensor velocidad	Pieza 2 Botón parqueo	Pieza 3 Botón AC
Nombre	Descripción	Costo		
Tiempo de impresión	1 hora 30 minutos	3 \$ / hora. Total: 4.5 \$	3 \$ / hora. Total: 3.5 \$	3 \$ / hora. Total: 4 \$
Costo material	3.86 g	1 kg = 65 \$. Total: 2 \$	1 kg = 65 \$. Total: 2.5 \$	1 kg = 65 \$. Total: 3 \$
Coste del postproceso	1 litro de alcohol y herramientas	8 \$ / Pieza Total: 8\$	8 \$ / Pieza Total: 7\$	8 \$ / Pieza Total: 6\$
Gastos indirectos	Diseño	5 \$ / hora Total: 5\$	5 \$ / hora Total: 2.5\$	5 \$ / hora Total: 4\$
TOTAL		19.50\$	15.5\$	17\$

Fuente: autores.

6. CAPITULO 3

6.1. Propiedades Mecánicas de las Autopartes Fabricadas en PLA o ABS

6.1.1. Resistencia a la tracción

La resistencia a la tracción del filamento mediante Ultimaker PLA y ABS, que es el filamento que usamos en este proyecto, es de 45,6 MPa. Este valor se obtuvo mediante pruebas realizadas bajo la norma ISO 527. Esta propiedad mecánica es un indicador crucial de la capacidad del material para resistir fuerzas que tienden a estirarlo o alargarlo antes de alcanzar el punto de ruptura. Con un valor de 45,6 MPa, el PLA demuestra una resistencia a la tracción moderada, lo que sugiere que es capaz de soportar cargas razonables en aplicaciones que requieren cierta resistencia mecánica.

6.1.2. Elasticidad

En cuanto a las propiedades elásticas del PLA y ABS mediante Ultimaker, según la ficha técnica del fabricante, el material presenta una elongación a la rotura del 5,2%, medida bajo la norma ISO 527 con una velocidad de 50 mm/min. Este valor relativamente bajo indica una elasticidad limitada, característica típica de los materiales PLA. Adicionalmente, el Módulo de Young (módulo de elasticidad a la tracción) de 2346,5 MPa y el Módulo de flexión de 3150,0 MPa sugieren una alta rigidez del material. Estas propiedades, en conjunto, describen un filamento con una respuesta elástica restringida, capaz de soportar tensiones considerables, pero con una capacidad limitada de deformación antes de alcanzar su punto de ruptura. El alargamiento a la deformación del 3,3% también confirma la naturaleza rígida de este material.

6.1.3. Dureza

El PLA mediante ultimaker exhibe una notable dureza, registrando un valor de 65 y 75 en la escala Shore D según los datos proporcionados por el fabricante. Esta escala, que abarca desde

0 hasta 100, se emplea comúnmente para evaluar la dureza de plásticos rígidos, siendo 0 el extremo más blando y 100 el más duro. La medición se efectúa mediante un instrumento especializado conocido como durómetro. Con una puntuación de 71, el ABS se sitúa en la franja superior de esta escala, lo que denota una resistencia significativa a la penetración y deformación superficial. Esta característica es indicativa de un material con alta resistencia al desgaste, lo que lo hace especialmente apto para aplicaciones de impresiones 3D que demandan objetos duraderos y capaces de mantener su integridad estructural.

6.1.4. Rugosidad en Fdm

La calidad y el acabado del producto final dependen significativamente de la rugosidad superficial de las piezas impresas mediante FDM (Modelado por Deposición Fundida). Utilizando tecnología de impresión 3D con PLA, el fabricante reporta una rugosidad promedio (Ra) de 22.5 μm y una rugosidad máxima (Rz) de 114.9 μm en piezas que requieren alta precisión y detalle. A continuación, se presentan algunos aspectos cruciales de la rugosidad según el fabricante de PLA:

Tabla 26.

Método calificativo de la rugosidad en FDM.

Nivel de rugosidad	Calificación	Descripción
10-20	Muy buena	La superficie es muy lisa, con pocas asperezas. Adecuada para piezas que requieren alta precisión y un acabado estético fino.
20-30	Buena	La superficie tiene una rugosidad moderada, adecuada para piezas funcionales que requieren precisión y un buen acabado.

30-50	Aceptable	La superficie muestra rugosidad visible, pero es aceptable para muchas aplicaciones funcionales donde la apariencia no es crítica.
50-70	Regular	La superficie tiene rugosidades notables, lo que puede ser aceptable para prototipos iniciales y piezas internas que no están a la vista.
70-100	Deficiente	La superficie es muy rugosa, adecuada solo para aplicaciones donde la funcionalidad es prioritaria sobre la apariencia.

Fuente: esun.co

Figura 43.

Pruebas de rugosidad en la probeta



Fuente: autores

Se llevó a cabo una prueba en la máquina rugosímetro de la marca Mitutoyo utilizando una probeta con dimensiones de 50x50x10 mm. Este ensayo fue necesario para obtener las mediciones específicas de rugosidad. Después de realizar las pruebas, se obtuvo los siguientes resultados: en la probeta de FDM, en el eje X, se registró un valor de Ra de 4.85 micrómetros y de Rz de 22.8 micrómetros; en el eje Y, el valor de Ra fue de 3.50 micrómetros y el de Rz de 15.6 micrómetros.

Estos valores se consideran un acabado muy bueno en comparación con los rangos proporcionados por el fabricante.

6.1.5. Tolerancias dimensionales en FDM

En impresión PLA , las tolerancias dimensionales tienden a ser menos precisas que en SLA. Esto se debe principalmente al proceso de extrusión y deposición del material. Las tolerancias típicas en FDM suelen estar en el rango de ± 0.2 a ± 0.5 mm, aunque pueden mejorarse con una calibración cuidadosa y ajustes finos. Factores que afectan las tolerancias en FDM incluyen la contracción del material al enfriarse, la precisión mecánica de la impresora, el diámetro de la boquilla, y la altura de capa. Las piezas FDM también pueden sufrir deformaciones debido a tensiones térmicas, especialmente en materiales propensos al warping como el ABS.

Tabla 27.

Tolerancias dimensionales para impresión 3D con Creality CR-10

Dimensión nominal (mm)	Tolerancia ($\pm$mm)
0.1 - 5	0.2
5.1 - 10	0.3
10.1 - 25	0.4
25.1 - 50	0.5
50.1 - 100	0.6
100.1 - 200	0.8
200.1 - 300	1.0

Fuente: (Creality, 2020)

Nota: Esta tabla es una guía general. Las tolerancias pueden variar según la configuración específica de la impresora, el material utilizado y los parámetros de impresión.

6.1.6. Precisión dimensional

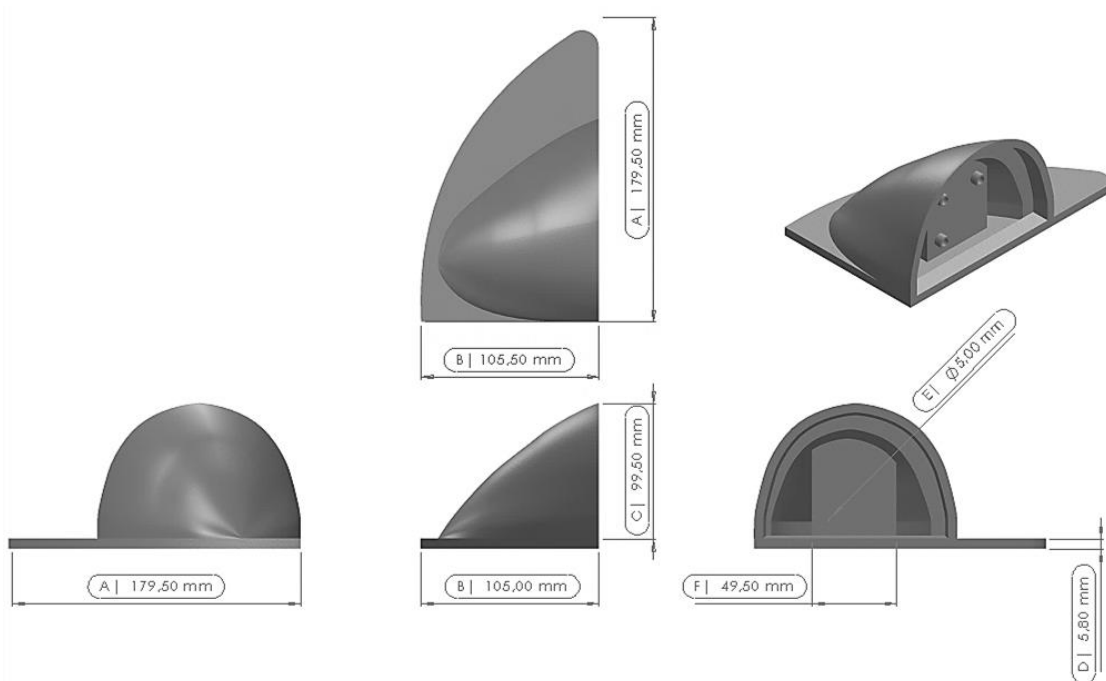
Las dimensiones generales parecen coincidir bastante bien entre el diseño CAD y las piezas impresas. La forma semiesférica y la base plana se mantienen en las impresiones 3D. Sin embargo, es posible que haya ligeras variaciones en las dimensiones exactas debido a la tolerancia de la impresora 3D y la contracción del material PLA al enfriarse.

Considerando las características típicas de la impresión 3D en PLA, he creado una tabla comparativa. Ten en cuenta que los valores para la pieza impresa son estimaciones, ya que no tengo mediciones exactas de la pieza real.

Precisión dimensional del retrovisor

Figura 44.

Dimensiones del Retrovisor mediante CAD.



Fuente: autores.

En la figura 43 se puede observar el dimensionamiento por medio de planos la cual se compara con la figura 44 sus medidas que se acercan la cual tiene mínima desviación dimensional la cual se puede observar.

Figura 45.
Dimensión real de la pieza impresa en FDM



Fuente: Autores

Para examinar en profundidad las características de dos versiones de la misma pieza: una diseñada en CAD y otra fabricada mediante impresión FDM, se crea una tabla comparativa 27. Las diferencias entre el producto físico y el modelo digital se pueden analizar mediante esta comparación.

Tabla 28.
Comparaciones dimensionales del retrovisor.

Dimensión		Dimensión Planos del Diseño CAD	Pieza Impresa Medida promedio	Desviación dimensional
A	Largo total	180.00 mm	179.5 mm	±0.5 mm
B	Ancho total	106.00 mm	105.5 mm	±0.5 mm
C	Alto total	100.00 mm	99.5 mm	±0.5 mm

D	Grosor de la base	6.00 mm	5.8 mm	± 0.2 mm
E	Diámetro de agujeros	5.00 mm	4.8 mm	± 0.2 mm
F	Ancho del soporte	50.00 mm	49.5 mm	± 0.5 mm

Fuente: autores.

Notas adicionales:

1. Las diferencias consideran la contracción del PLA y la precisión típica de las impresoras 3D de grado consumidor.
2. Los agujeros tienden a imprimirse ligeramente más pequeños debido a la extrusión del material.
3. Las superficies curvas pueden mostrar variaciones mayores debido al efecto de las capas de impresión.
4. Los bordes y esquinas probablemente sean menos afilados en la pieza impresa.
5. El acabado superficial de la pieza impresa será notablemente más rugoso que el modelo CAD.

1. Diseño CAD: Muestra superficies perfectamente lisas y bordes afilados.

2. Piezas impresas:

- Se observan las típicas capas de impresión 3D, especialmente visibles en las superficies curvas.
- Los bordes son menos definidos que en el modelo CAD, mostrando un ligero redondeado.
- La textura superficial es más rugosa en comparación con el acabado liso del modelo digital.
- Se aprecian algunas irregularidades menores en la superficie, probablemente debido al proceso de impresión capa por capa.

Detalles:

- Los agujeros para los tornillos en la base se han reproducido, aunque pueden requerir limpieza post-impresión.

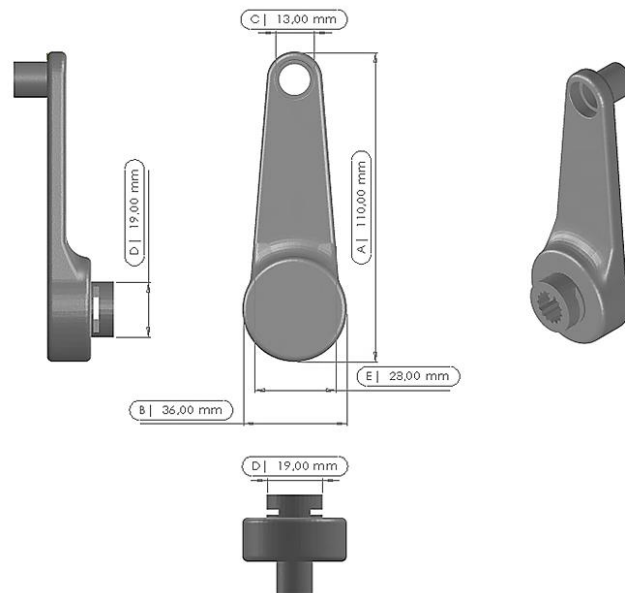
- La pequeña protuberancia circular en la base también se ha impreso, aunque con menos definición que en el modelo CAD.

En general, las piezas impresas mantienen la forma y funcionalidad del diseño original, pero muestran las limitaciones típicas de la impresión 3D FDM en términos de acabado superficial y precisión en los detalles más finos. Para aplicaciones que requieran mayor precisión o mejor acabado superficial.

Precisión dimensional de la manivela

Figura 46.

Dimensiones de la manivela mediante CAD.



Fuente: autores

En la figura 45 se puede observar el dimensionamiento por medio de planos la cual se compara con la figura 46 sus medidas que se acercan la cual tiene mínima desviación dimensional la cual se puede observar.

Figura 47.
Comparaciones de dimensiones de la manivela.



Fuente: Autores

Para examinar en profundidad las características de dos versiones de la misma pieza: una diseñada en CAD y otra fabricada mediante impresión FDM, se crea una tabla comparativa 28. Las diferencias entre el producto físico y el modelo digital se pueden analizar mediante esta comparación.

Tabla 29.
Comparación de dimensiones de la manivela con la impresión.

	Dimensión	Diseño SolidWorks	Estimación pieza impresa	Desviación dimensional
A	Longitud total	110.73 mm	~110 mm	± 0.73 mm
B	Ancho máximo	37.17 mm	~36 mm	± 1.17 mm
C	Diámetro del orificio	14.00 mm	~13 mm	± 1 mm
D	Espesor del cuerpo	19.70 mm	~19 mm	± 0.7 mm
E	Longitud del mango	29.25 mm	~28 mm	± 1.25 mm

Fuente: autores.

Precisión dimensional de la manija

Figura 48.

Dimensiones de la manija mediante CAD.



Fuente: Autores

En la figura 47 se puede observar el dimensionamiento por medio de planos la cual se compara con la figura 48 sus medidas que se acercan la cual tiene mínima desviación dimensional la cual se puede observar.

Figura 49.

Dimensiones de la manija impresa



Fuente: Autores

De la misma manera en profundidad las características de dos versiones de la misma pieza: una diseñada en CAD y otra fabricada mediante impresión FDM, se crea una tabla comparativa 29. Las diferencias entre el producto físico y el modelo digital se pueden analizar mediante esta comparación.

Tabla 30.

Comparación de dimensiones de la manija con lo impreso.

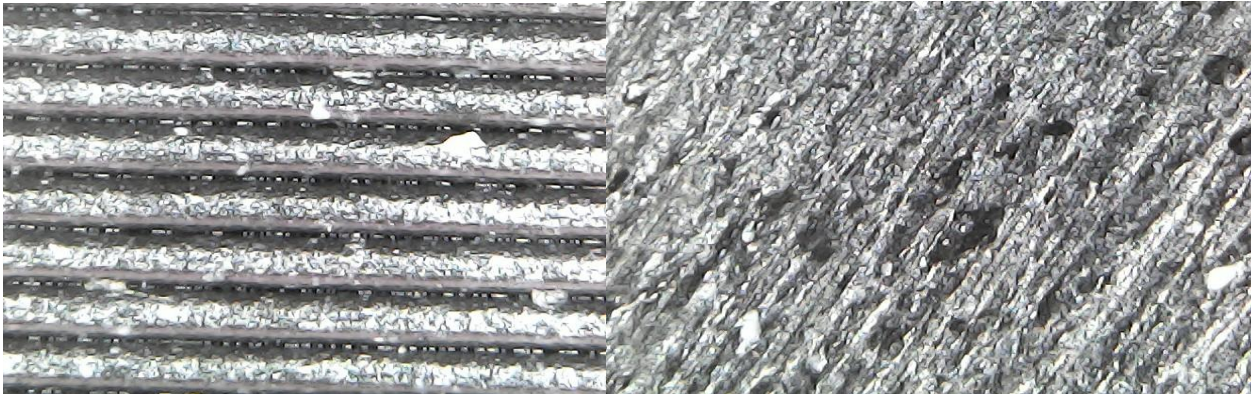
	Dimensión	Diseño SolidWorks	Estimación pieza impresa	Desviación dimensional
A	Largo total	168.5 mm	168 mm	±0.5 mm
B	Ancho total	30.5 mm	30 mm	±0.5 mm
C	Alto total	23.1 mm	23.6 mm	±0.5 mm
D	Ancho de la manija	76.1 mm	76.5 mm	±0.4 mm
E	Alto de la manija	10.8 mm	10.5 mm	±0.3 mm

6.1.7. Calidad del acabado superficial:

La calidad funcional y estética de la pieza final se determina por el acabado superficial de una impresión en PLA o ABS. Muchos factores afectan este acabado, siendo la temperatura ambiente uno de los más importantes. Mientras que el ABS tiende a tener un acabado mate con una textura ligeramente más pronunciada, una impresión en PLA puede tener una superficie suave y brillante con capas apenas perceptibles en condiciones ideales. No obstante, la temperatura del ambiente es fundamental para este resultado. Las capas pueden no adherirse adecuadamente entre sí en un ambiente demasiado frío, lo que puede causar una textura rugosa y líneas visibles.

Figura 50.

Calidad superficial del FDM en PLA.



Fuente: autores

Por otro lado, un clima excesivamente cálido puede deformar el filamento antes de que se enfríe por completo, lo que puede resultar en superficies irregulares o con protuberancias. La temperatura ambiente ideal para el PLA es entre 20°C y 25°C; por otro lado, el ABS se beneficia de temperaturas ligeramente más altas, entre 25°C y 30°C, para evitar el warping y mejorar la adhesión entre capas. También es fundamental la estabilidad térmica del entorno; cambios bruscos pueden provocar expansiones o contracciones diferenciales en la pieza, lo cual puede afectar negativamente el acabado superficial. Por lo tanto, para lograr un acabado superficial, es esencial mantener un control preciso de la temperatura ambiente, idealmente en un espacio cerrado o mediante el uso de una cámara de impresión con temperatura controlada.

6.2. Propiedades Mecánicas de las Autopartes Fabricadas en SLA

6.2.1. Resistencia a la Tracción

La resina que utilizamos en este proyecto, Anycubic, tiene una resistencia a la tracción de 45-85 MPa. Se llevaron a cabo pruebas según la norma ISO 527 para obtener este valor. Esta característica mecánica es un indicador fundamental de la habilidad del material para resistir fuerzas que suelen extenderlo o estirarlo antes de llegar al punto de ruptura. La resistencia a la

tracción moderada del PLA, con 75 MPa, indica que es capaz de soportar cargas aceptables en aplicaciones que requieren cierta resistencia mecánica.

6.2.2. Elasticidad

Según la ficha técnica del fabricante, las propiedades elásticas de Anycubic incluyen una elongación a la rotura del 30-40%, medida con una velocidad de 70 mm/min según la norma ISO 527. Los materiales SLA tienen una elasticidad limitada, lo que se muestra por este valor relativamente bajo. El módulo de flexión de 1000-1200 MPa y el módulo de elasticidad a la tracción de 45-85 MPa también indican una rigidez elevada del material. Según estas características, el ABS tiene una respuesta elástica restringida y es capaz de soportar tensiones significativas, pero tiene una capacidad de deformación limitada antes de alcanzar su punto de ruptura.

6.2.3. Dureza

La resina UV de Anycubic para impresión 3D exhibe una notable dureza, registrando valores típicos entre 61 y 80 en la escala Shore D, según los datos proporcionados por el fabricante. Esta escala, que abarca desde 0 hasta 100, se emplea comúnmente para evaluar la dureza de plásticos rígidos y resinas, siendo 0 el extremo más blando y 100 el más duro. La medición se efectúa mediante un instrumento especializado conocido como durómetro.

Con puntuaciones en el rango de 80-85, las resinas UV de Anycubic se sitúan en la franja superior de esta escala, lo que denota una resistencia significativa a la penetración y deformación superficial.

Esta dureza hace que las resinas UV de Anycubic sean especialmente aptas para aplicaciones de impresión 3D que demandan objetos duraderos y capaces de mantener su

integridad estructural. La alta dureza también contribuye a la calidad del acabado superficial, permitiendo detalles finos y superficies lisas características de la impresión 3D con resina.

6.2.4. Rugosidad en SLA.

La calidad y el acabado del producto final dependen de la rugosidad superficial de las piezas impresas mediante estereolitografía (SLA). Una tecnología de impresión 3D llamada SLA cura resina líquida capa por capa mediante un láser, lo que resulta una rugosidad mediante el fabricante es de Ra (Rugosidad promedio): 1.5 μm y Rz (Rugosidad máxima): 10.1 μm en piezas con gran precisión y detalle.

Los siguientes son algunos aspectos cruciales de la rugosidad mediante el fabricante del Anycubic ABS pro SLA:

Tabla 31.

Método calificativo de la rugosidad en SLA.

Nivel de rugosidad	Calificación	Descripción
< 0.5 μm	Excelente	Superficie extremadamente suave, casi como un espejo
0.5 - 1 μm	Muy buena	Superficie muy suave, apenas perceptible al tacto
1 - 2 μm	Buena	Superficie suave, ligera textura perceptible
2 - 4 μm	Aceptable	Textura ligeramente notable, pero aún considerada buena
4 - 8 μm	Regular	Rugosidad notable, puede requerir post-procesamiento
> 8 μm	Deficiente	Superficie muy rugosa, indica problemas en la impresión

Fuente:

Figura 51.

Prueba de Rugosidad en la Cara 2 de la Pieza.



Fuente: Autores

En la cara 2 de la probeta rectangular de 100 mm x 10 mm x 10 mm, el ensayo de rugosidad arrojó un valor de R_a de 0.30 micrómetros, lo que indicaba una superficie bien acabada y lisa. Para aplicaciones que requieren un acabado fino y una precisión elevada, este resultado muestra una alta calidad superficial. La confiabilidad de esta medición está garantizada por la consistencia de los resultados y por la configuración adecuada del equipo.

Figura 52.

Medición de rugosidad.



Fuente: Autores.

En la cara 4 de la probeta rectangular, en la prueba de rugosidad arrojó un valor de R_a de 0.15 micrómetros, lo que indicaba una superficie muy fina y bien acabada. Para aplicaciones que requieren un acabado muy fino y preciso, este resultado es una muestra de una calidad superficial excepcional. La confiabilidad de esta medición está garantizada por la consistencia de los resultados y por la configuración adecuada del equipo.

Figura 53.

Prueba de rugosidad en cara 4 de la pieza.



Fuente: autores

6.2.5. Tolerancia dimensional

La tecnología SLA generalmente ofrece tolerancias dimensionales más ajustadas que FDM. Las tolerancias típicas en SLA pueden estar en el rango de ± 0.05 a ± 0.2 mm. Esta mayor precisión se debe al proceso de curado por luz UV y al uso de capas muy finas. Sin embargo, las piezas SLA pueden experimentar cierta contracción durante el curado post-impresión, lo que puede afectar las dimensiones finales. La precisión también depende del tipo de resina utilizada, la orientación de la pieza, y la calibración del equipo.

Tabla 32.

Tolerancias dimensionales para impresión 3D SLA con resina.

Dimensión nominal (mm)	Tolerancia ($\pm$ mm)
0.1 - 10	0.025
10.1 - 25	0.050
25.1 - 50	0.075
50.1 - 100	0.100
100.1 - 200	0.150
200.1 - 300	0.200

Fuente: (Jam151)

Nota: Esta tabla es una guía general para impresión SLA con resina de alta precisión. Las tolerancias pueden variar según el modelo específico de impresora, el tipo de resina y los parámetros de impresión utilizados.

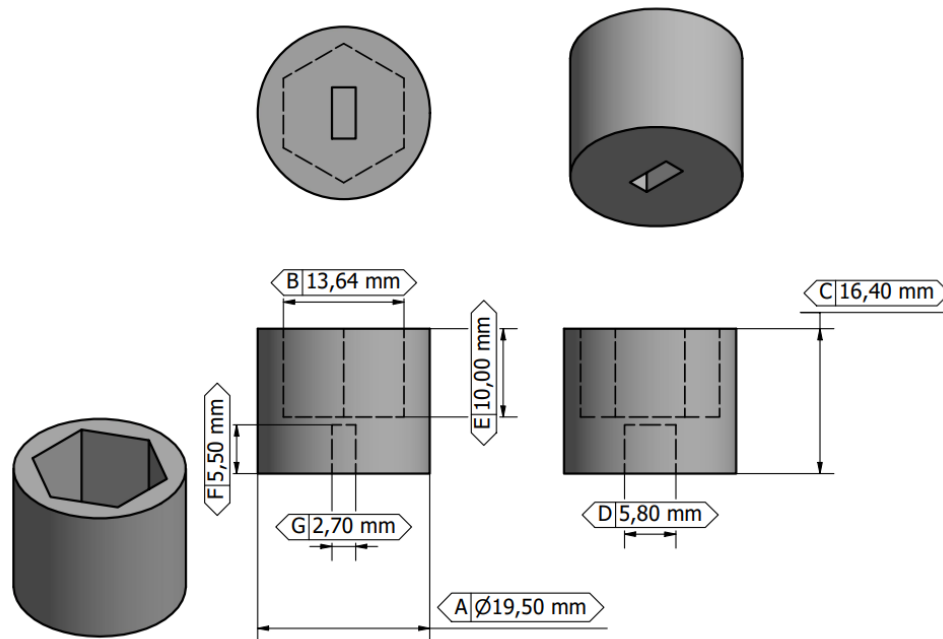
6.2.6. Precisión Dimensional

La discrepancia entre las dimensiones de la pieza impresa y las dimensiones especificadas en el diseño CAD (diseño asistido por computadora) se conoce como desviación dimensional. La precisión de la impresora, el tipo de material empleado y las condiciones de impresión son algunos de los factores que pueden provocar esta desviación durante el proceso de impresión.

Precisión dimensional del sensor de velocidad

Con un diseño CAD, las dimensiones del plano se muestran en la Figura 54. Por otro lado, como se puede ver en la Figura 55 los valores obtenidos no cumplen con las medidas establecidas en el diseño.

Figura 54.
Dimensiones mediante CAD.



Fuente: autores

Figura 55.

Comparación de dimensiones del sensor de velocidad.



Fuente: Autores

Para examinar en profundidad las características de dos versiones de la misma pieza: una diseñada en CAD y otra fabricada mediante impresión SLA, se crea una tabla comparativa. Las diferencias entre el producto físico y el modelo digital se pueden analizar mediante esta comparación.

Tabla 33.

Comparación de Dimensiones del sensor de velocidad.

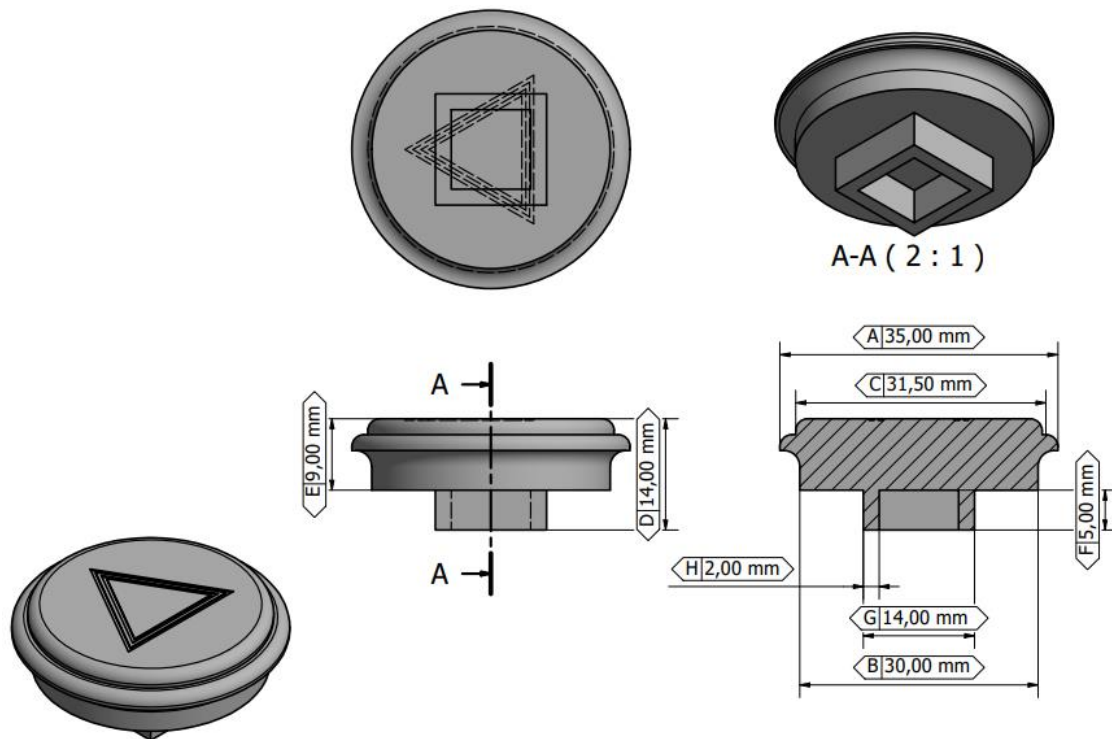
Dimensión		Dimensión Planos del Diseño CAD	Pieza Impresa Medida promedio	Desviación dimensional
A	Diámetro externo	19.50 mm	19.48 mm	± 0.02 mm
B	Diámetro interno	13.64 mm	13.67 mm	± 0.02 mm
C	Alto	16.40 mm	16.42 mm	± 0.02 mm
D	Alto del eje	5.80 mm	5.83 mm	± 0.03 mm
E	Profundidad Sup.	10.00 mm	9.97 mm	± 0.03 mm
F	Profundidad Inf.	5.50 mm	5.51 mm	± 0.01 mm
G	Ancho del eje	2.70 mm	2.72 mm	± 0.02 mm

Fuente: autores

Botón de parqueo

Figura 56.

Comparaciones de dimensiones del botón de parqueo.



Fuente: Autores

Figura 57.

Fotografía del botón de parqueo impreso.





En la Figura 56 se presentan las dimensiones del plano en el diseño CAD. Sin embargo, como se puede observar en la Figura 57, los valores obtenidos no cumplen con las medidas establecidas en el diseño. Se ha elaborado una tabla comparativa para detallar estas discrepancias.

Tabla 34.

Comparación de dimensiones del botón de parqueo.

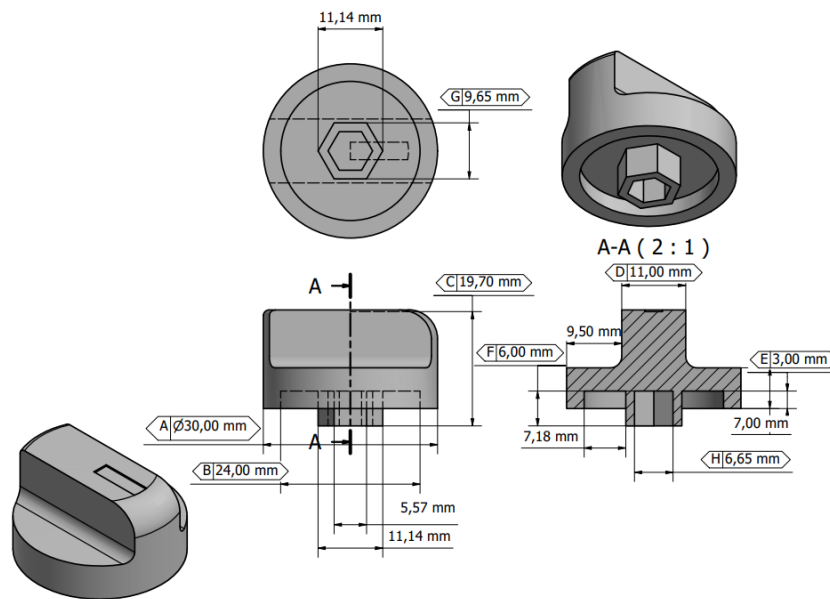
Dimensión		Dimensión Planos del Diseño CAD	Pieza Impresa Medida promedio	Desviación dimensional
A	Diámetro externo	35.00 mm	34.86 mm	± 0.14 mm
B	Diámetro interno	30.00 mm	29.87 mm	± 0.13 mm
C	Diámetro medio	31.50 mm	30.87 mm	± 0.63 mm
D	Alto	14.00 mm	14.45 mm	± 0.45 mm
E	Espesor del botón	9.00 mm	9.30 mm	± 0.30 mm
F	Profundidad Inf.	5.00 mm	4.80 mm	± 0.20 mm
G	Base x y	14.00 mm	13.95 mm	± 0.05 mm
H	Espesor de la base	2.00 mm	2.10 mm	± 0.10 mm

Fuente: Autores

Botón de aire acondicionado

Figura 58.

Dimensiones del Botón de aire acondicionado.



Fuente: Autores

Figura 59.

Fotografías del botón de aire acondicionado impreso en SLA.



Fuente: Autores

En la Figura 58 se muestran las dimensiones del plano según el diseño CAD. No obstante, en la Figura 59 se evidencia que los valores medidos no coinciden con las dimensiones especificadas en el diseño. Para detallar estas diferencias, se ha confeccionado una tabla comparativa en la cual es la tabla 35.

Tabla 35.

Comparación de dimensiones del botón A/C.

Dimensión		Dimensión Planos del Diseño CAD	Pieza Impresa Medida promedio	Desviación dimensional
A	Diámetro externo	30.00 mm	30.04 mm	±0.04 mm
B	Diámetro interno	24.00 mm	23.92 mm	±0.08 mm
C	Alto	19.70 mm	20.10 mm	±0.40 mm
D	Espesor	11.00 mm	11.04 mm	±0.04 mm
E	Profundidad inter.	3.00 mm	3.03 mm	±0.03 mm
F	Profundidad exter.	6.00 mm	5.77 mm	±0.23 mm
G	Eje externo	9.65 mm	9.60 mm	±0.05 mm
H	Eje interno	6.65 mm	6.66 mm	±0.01 mm

Fuente: Autores

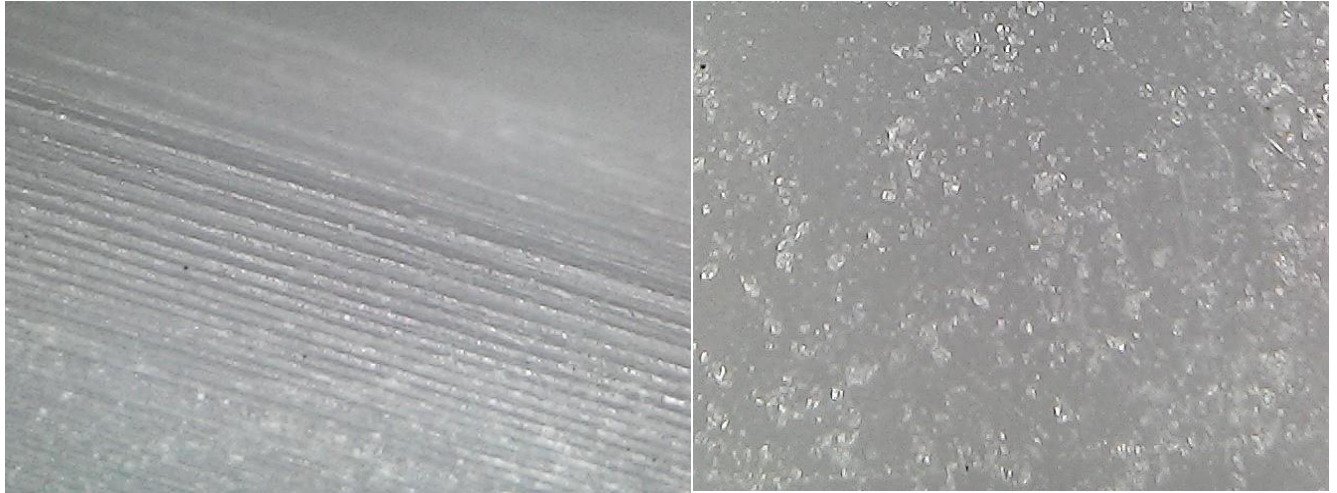
6.2.7. Calidad del acabado superficial

El acabado superficial de una impresión en SLA (Estereolitografía) se caracteriza por su notable suavidad y precisión, siendo uno de los aspectos más destacados de esta tecnología de fabricación aditiva. La naturaleza del proceso SLA, que utiliza un láser para curar selectivamente capas de resina líquida fotosensible, permite lograr superficies con una textura extremadamente fina y detalles muy precisos. Típicamente, las piezas impresas en SLA exhiben una rugosidad superficial (Ra) que puede oscilar entre 0.5 y 5 micrómetros, dependiendo de factores como la orientación de la pieza, el espesor de capa seleccionado (que puede llegar a ser tan fino como 25 micrones), y el tipo específico de resina utilizada. Esta calidad superficial superior se traduce en

piezas que requieren un mínimo Postprocesamiento para alcanzar un acabado casi liso al tacto, con líneas de capa prácticamente imperceptibles a simple vista.

Figura 60.

Calidad superficial de una impresión en SLA ABS - 400X.



Fuente: Autores

Sin embargo, es importante notar que la superficie puede presentar ligeras marcas en los puntos donde se conectaron los soportes, y que la exposición prolongada a la luz UV puede alterar ligeramente el acabado y el color de la pieza con el tiempo. Además, ciertas geometrías complejas o áreas con voladizos pronunciados pueden mostrar ligeras imperfecciones debido a la tensión superficial de la resina durante el proceso de curado, un fenómeno conocido como "efecto escalera" que, aunque mínimo en SLA, puede requerir atención en aplicaciones de alta precisión.

7. CONCLUSIONES

- Las tecnologías FDM y SLA permiten el uso de termoplásticos como ABS y PLA, los cuales ofrecen buena resistencia mecánica y dureza superficial. Esto es adecuado para la creación de prototipos mecánicos que no requieren una alta exigencia estructural.
- Con estas tecnologías, no se pueden fabricar con eficacia todas las autopartes. Las que requieren características particulares, como mayor resistencia mecánica, complejidad geométrica, precisión dimensional, acabado superficial, resistencia a la temperatura y un tamaño manejable, son las más recomendables.
- En ambas tecnologías, la resistencia del ABS es muy buena. Se ha observado que las piezas fabricadas tienen rugosidad superficial aceptable. El volumen de producción, la complejidad del diseño, los requisitos de calidad y los costos asociados determinarán la decisión al comparar el ABS de inyección con el ABS de FDM. Valores de resistencia de ambos métodos son bastante similares.
- Comparado con la inyección, los tiempos de manufactura son más largos en FDM. Sin embargo, FDM permite la personalización de las características del material, como hacer las piezas más ligeras o sólidas, lo cual es una flexibilidad que no se puede obtener con el SLA.

8. RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar soluciones sencillas cuando sea posible, evitando la creación de componentes con funciones mecánicas complejas. Estas tecnologías son apropiadas para la creación de componentes no críticos.
- Es fundamental emplear filamentos de alta calidad, preferiblemente europeos, con una ficha técnica que describa sus características. Se recomienda mantener una distancia precautoria de la impresora durante su funcionamiento debido a que ciertos filamentos contienen aditivos químicos que podrían ser perjudiciales.
- Se recomienda verificar el uso específico del autoparte en la cual va ser sometido ya que un autoparte metálico no cumplen las mismas propiedades de cada FDM y SLA porque ningún polímero no cuentan con los mismos parámetros, como por ejemplo, limitación de tamaño, tolerancias dimensionales, altas temperaturas y formas internas.

9. BIBLIOGRAFÍA

3DVR. (3 de 9 de 2022). *3d-vr*. www.3d-vr.es

Babson, B. (2019). *La Guía Completa: Configuración, software, ideas, diseños, materiales, aplicaciones, consejos y más*. Estados Unidos : Hiddenstuff Entertainment.

Cárdenas-Yáñez, R. A.-C.-P.-R. (2023). *Análisis de tracción de probetas impresas en 3D mediante deposición de hilo fundido PLA, ABS y TPU*.

Creality. (2020). *Creality 3D*. <https://www.creality.com/es/products/impresora-3d-cr-10-se>

Formlabs. (2024). *Formlabs*. <https://formlabs.com/latam/blog/materiales-impresion-3d/>

GARCIA, M. (24 de 9 de 2022). *SILDESHARE*. <https://es.slideshare.net/>

Gordón , T. (17 de 08 de 2023). *SCRIBD*. Partes de la impresora 3D FDM:
<https://es.scribd.com/document/668025022/INFORME-PRACTICA-DE-IMPRESION-3D-GRUPO-2>

Impresoras3D.com. (2024). <https://www.impresoras3d.com/guia-sobre-tipos-de-resinas-3d-para-imprimir/>

Long, J. G. (2016). *Application of Fused Deposition Modelling (FDM) Method of 3D Printing in Drug Delivery*. <https://doi.org/10.2174/1381612822666161026162707>.

Ouyang, J. (2015). *Anycubic*: <https://www.anycubic.es/>

Quan, H. Z. (2020). *Photo-curing 3D printing technique and its challenges*. *Bioactive Materials*.
<https://doi.org/10.1016/j.bioactmat.2019.12.003>.

Red.es. (17 de 10 de 2022). *Acelerapyme*.
<https://www.acelerapyme.gob.es/novedades/pildora/usos-y-ventajas-de-la-impresion-3d>

Samykano, M. S. (2019). *Mechanical property of FDM printed ABS: influence of printing parameters*.

Stratasys Inc. (1989). *The Company's Evolution to One of the Global Players in the 3D Printing*.
<https://www.stratasys.com/mx/guide-to-3d-printing/technologies-and-materials/fdm-technology/>

UNE. (2020). <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0064851>

Volkhonskiy, A. D. (2022). *Application of Additive Technologies in the Development of Aerodynamic Models for Rocket and Space Technology Products*.
<https://doi.org/10.4028/p-282grx>.

Wang, K. (25 de mayo de 2015). *Elegoo.com*. <https://www.elegoo.com/>

ANEXOS

