



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

**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

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

**TEMA:**

**«EVALUAR LA VIABILIDAD DE DIGITALIZACIÓN 3D PARA LA  
OPTIMIZACIÓN DE COMPONENTES EN LA FABRICACIÓN DE  
VEHÍCULOS»**



**AUTOR:** César Omar Córdova Córdova

**DIRECTOR:** Ing. Jorge Luis Melo Obando, MSc

Ibarra-Ecuador

**2025**



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



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

**IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA**

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

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

| <b>DATOS DE CONTACTO</b>    |                            |                    |            |
|-----------------------------|----------------------------|--------------------|------------|
| <b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b> | 1003400163                 |                    |            |
| <b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b> | Córdova Córdova César Omar |                    |            |
| <b>DIRECCIÓN:</b>           | Otavalo                    |                    |            |
| <b>EMAIL:</b>               | cocordovac@utn.edu.ec      |                    |            |
| <b>TELÉFONO FIJO:</b>       | 062947030                  | <b>TELF. MÓVIL</b> | 0997534736 |

| <b>DATOS DE LA OBRA</b>          |   |
|----------------------------------|---|
| <b>TÍTULO:</b>                   | Evaluar la viabilidad de digitalización 3D para la optimización de componentes en la fabricación de vehículos |
| <b>AUTOR (ES):</b>               | Córdova Córdova César Omar  |
| <b>FECHA:</b>                    | 26/11/2025  |
| SOLO PARA TRABAJOS DE TITULACIÓN |   |
| <b>CARRERA/PROGRAMA:</b>         | <input checked="" type="checkbox"/> GRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO                                   |
| <b>TITULO POR EL QUE OPTA:</b>   | Ingeniería Automotriz   |
| <b>DIRECTOR:</b>                 | Ing. Jorge Luis Melo Obando, MSc  |



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



## **AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD**

Yo, César Omar Córdova Córdova, con cédula de identidad Nro. 1003400163, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de integración curricular descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

Ibarra, a los 26 días del mes de noviembre de 2025

### **EL AUTOR:**

Firma.....

Nombre: César Omar Córdova Córdova



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



**CONSTANCIAS**

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 26 días, del mes de noviembre de 2025

**EL AUTOR:**

Firma.....

Nombre: César Omar Córdova Córdova



## CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, 26 de noviembre de 2025

Ing. Jorge Luis Melo Obando, MSc

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

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

*(f)* .....

*Ing. Jorge Luis Melo Obando, MSc*

*C.C.: 171834602*



## APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificador del trabajo de Integración Curricular “Evaluar la viabilidad de digitalización 3D para la optimización de componentes en la fabricación de vehículos” elaborado por César Omar Córdova Córdova, previo a la obtención del título de Ingeniería Automotriz, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:

(f):.....

Ing. Jorge Luis Melo Obando, MSc

C.C: 171834602

(f):.....

Ing. Luis Andrés Garzón Pérez, PhD

C.C.: 1002640454



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



## **DEDICATORIA**

Quiero dedicar este proyecto con todo mi cariño a mi familia por el apoyo brindado durante todo el trayecto de mi carrera universitaria. Especialmente a mis padres, por estar siempre presente en los buenos y malos momentos, por creer en mí y por ser quienes me dieron el ánimo y la fortaleza necesaria para culminar la meta propuesta.



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



## **AGRADECIMIENTO**

Quiero comenzar expresando mi agradecimiento a mis padres, por el sacrificio realizado para apoyarme en cada etapa de mi vida y por estar siempre presente con sus consejos en los momentos difíciles. A mis hermanos por acompañarme y animarme a lo largo de este camino.

A la Universidad Técnica del Norte, por permitirme ser parte de esta institución y brindarme la oportunidad de formarme académicamente en la carrera de Ingeniería Automotriz.

Finalmente, extendiendo mi gratitud a los docentes que compartieron sus conocimientos a lo largo de la carrera. En especial, al ingeniero Jorge Melo, quien como tutor tuvo la paciencia y disposición para guiarme en cada etapa de este proyecto. Y al ingeniero Luis Garzón, quien como asesor supo orientarme durante este trabajo con sus aportes.



## RESUMEN EJECUTIVO

Actualmente, la escasez de repuestos en el sector automotriz y los retrasos en los tiempos de importación representan problemas significativos; por esta razón, la digitalización 3D y la fabricación aditiva se presentan como posibles soluciones a dichos inconvenientes.

El presente proyecto tiene como objetivo evaluar la viabilidad de la digitalización 3D para la optimización de componentes en la fabricación de vehículos. Para ello, mediante revisión bibliográfica se realizó la selección de cuatro componentes internos de un vehículo: un accesorio del cinturón de seguridad, una perilla de calefacción, una brida de una compuerta trasera y las rejillas de calefacción. Estos componentes fueron digitalizados mediante un escáner 3D de luz estructurada infrarroja, procesados con software especializado en modelado 3D y simulación, y posteriormente fabricados mediante impresión 3D utilizando resina ABS-Like.

En cuanto al análisis por elemento finitos, se comprobó que el material empleado responde adecuadamente ante las cargas aplicadas y puede ser considerado como sustituto del material original, al verificarse que los valores de esfuerzos de Von Mises obtenidos fueron inferiores al límite elástico de 24.33 MPa de la resina ABS-Like. Además, los resultados de la fabricación de los componentes mostraron que, de los cuatro componentes evaluados, las rejillas de calefacción presentaron el tiempo más prolongado de 12 horas 11 minutos y la mayor diferencia de peso respecto al original de 5 g, diferencia que resulta aceptable en comparación con la escasez del componente en el mercado. En este contexto, los resultados obtenidos permiten concluir que la digitalización y fabricación aditiva es una alternativa factible para su producción.

**Palabras clave:** Digitalización 3D, Fabricación aditiva, resina ABS-Like, límite elástico



## ABSTRACT

Currently, the shortage of spare parts in the automotive sector and delays in import processes represent significant challenges; therefore, 3D digitization and additive manufacturing emerge as potential solutions to these issues. The main objective of this project is to evaluate the feasibility of 3D digitization for the optimization of components in vehicle manufacturing. For this purpose, four internal automotive components were selected through a bibliographic review: a seat belt accessory, a heating knob, a tailgate bracket, and heating grilles. These components were digitized using a 3D infrared structured-light scanner, processed with specialized 3D modeling and simulation software, and subsequently manufactured through 3D printing using ABS-Like resin.

Regarding the finite element analysis (FEA), it was verified that the employed material can withstand the applied loads and be considered as a substitute for the original one, since the obtained von Mises stress values were below the yield strength of 24.33 MPa of ABS-Like resin. Furthermore, the fabrication results showed that, among the four components evaluated, the heating grilles exhibited the longest production time (12 h 11 min) and the largest weight deviation from the original (5 g), a difference that remains acceptable considering the unavailability of spare parts in the market. In this context, the findings demonstrate that 3D digitization and additive manufacturing constitute a feasible alternative for the production of automotive components.

**Keywords:** 3D digitization, additive manufacturing, ABS-Like resin, FEM simulation, elastic limit



## LISTA DE SIGLAS

**CAD (Computer Aided Design):** Diseño Asistido por computadora

**STL (STereoLithography)**

**CMM (Coordinate Measuring Machine):** Máquina de medición por coordenadas

**SLA (Stereolithography Apparatus):** Aparato de Estereolitografía

**SLS (Selective Laser Sintering):** Sinterizado Selectivo por Láser

**FDM (Fused Deposition Modeling):** Modelado por deposición fundida

**ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene):** Acrilonitrilo Butadieno Estireno

**PLA (Polylactic Acid):** Ácido Poliláctico

**PCL (Polycaprolactone):** Policaprolactona

**PET (Polyethylene Terephthalate):** Polietileno Tereftalato



## ÍNDICE DE CONTENIDOS

|  |           |
|--|-----------|
| ÍNDICE DE CONTENIDOS .....                         | 12        |
| ÍNDICE DE TABLAS .....                             | 17        |
| ÍNDICE DE FIGURAS.....                             | 19        |
| <b>CAPÍTULO I .....</b>                            | <b>23</b> |
| 1.1.    Problema de investigación .....            | 23        |
| 1.2.    Objetivos .....                            | 24        |
| 1.2.1.    Objetivo general.....                    | 24        |
| 1.2.2.    Objetivos específicos .....              | 24        |
| 1.3.    Alcance .....                              | 24        |
| 1.4.    Justificación .....                        | 25        |
| <b>CAPÍTULO II.....</b>                            | <b>26</b> |
| 2.1.    Antecedentes .....                         | 26        |
| 2.2.    Digitalización 3D .....                    | 27        |
| 2.3.    Ingeniería Inversa.....                    | 28        |
| 2.4.    Proceso general de ingeniería inversa..... | 29        |
| 2.5.    Escáner 3D .....                           | 30        |
| 2.5.1.    Escáner 3D por Contacto .....            | 30        |
| 2.5.2.    Escáner 3D sin Contacto-Pasivo.....      | 31        |
| 2.5.3.    Escáner 3D sin Contacto- Activos .....   | 33        |



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



|                          |   |           |
|--------------------------|---|-----------|
| 2.6.                     | Fabricación Aditiva.....  | 35        |
| 2.7.                     | Polímeros utilizados en la fabricación aditiva .....                  | 36        |
| 2.8.                     | Componentes plásticos con mayor rotación en el sector automotriz..... | 37        |
| 2.9.                     | Técnicas de fabricación aditiva.....                                  | 38        |
| 2.9.1.                   | Técnica de modelado por deposición fundida (FDM) .....                | 38        |
| 2.9.2.                   | Técnica de estereolitografía (SLA) .....                              | 39        |
| 2.9.3.                   | Técnica de sinterización selectiva por láser (SLS) .....              | 40        |
| <b>CAPÍTULO III.....</b> |   | <b>42</b> |
| 3.1.                     | Materiales.....   | 42        |
| 3.1.1.                   | Revopoint Miraco PRO 3D Scanner.....                                  | 42        |
| 3.1.2.                   | Anycubic Photon Mono X 6K .....                                       | 43        |
| 3.1.3.                   | Software de edición y procesamiento de nube de puntos .....           | 44        |
| 3.1.4.                   | Software para procesamiento de mallas 3D.....                         | 45        |
| 3.1.5.                   | Software CAD.....   | 45        |
| 3.1.6.                   | Software para impresión 3D .....                                      | 46        |
| 3.2.                     | Metodología .....   | 47        |
| 3.3.                     | Selección de componentes .....  | 48        |
| 3.4.                     | Protocolo de digitalización .....                                     | 48        |
| 3.4.1.                   | Preparación del componente .....                                      | 49        |



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



|                         |  |           |
|-------------------------|--|-----------|
| 3.4.2.                  | Proceso de digitalización 3D .....                           | 49        |
| 3.4.3.                  | Proceso de reconstrucción del modelo digital 3D.....         | 51        |
| 3.4.4.                  | Reconstrucción de malla .....                                | 54        |
| 3.5.                    | Selección de la resina utilizada .....                       | 56        |
| 3.6.                    | Simulación mediante software .....                           | 56        |
| 3.7.                    | Fabricación Aditiva.....                                     | 59        |
| 3.8.                    | Análisis comparativo .....                                   | 60        |
| <b>CAPÍTULO IV.....</b> |  | <b>62</b> |
| 4.1.                    | Componentes seleccionados para la digitalización 3D .....    | 62        |
| 4.2.                    | Preparación del área de trabajo .....                        | 64        |
| 4.3.                    | Proceso de vinculación de escáner y computadora.....         | 66        |
| 4.4.                    | Digitalización del accesorio del cinturón de seguridad ..... | 66        |
| 4.4.1.                  | Preparación del componente .....                             | 66        |
| 4.4.2.                  | Configuración de escaneo .....                               | 67        |
| 4.4.3.                  | Parámetros de edición de nube de puntos .....                | 67        |
| 4.4.4.                  | Parámetros de edición de mallas.....                         | 68        |
| 4.5.                    | Digitalización de la perilla de la calefacción .....         | 69        |
| 4.5.1.                  | Preparación del componente .....                             | 69        |
| 4.5.2.                  | Configuración de escaneo .....                               | 70        |



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



|        |  |    |
|--------|--|----|
| 4.5.3. | Parámetros de edición de nube de puntos .....              | 70 |
| 4.5.4. | Parámetros de edición de malla .....                       | 72 |
| 4.6.   | Digitalización de brida automotriz.....                    | 73 |
| 4.6.1. | Preparación del componente .....                           | 73 |
| 4.6.2. | Configuración de escaneo .....                             | 73 |
| 4.6.3. | Parámetros de edición de nube de puntos .....              | 74 |
| 4.6.4. | Parámetros de edición de malla .....                       | 75 |
| 4.7.   | Digitalización de rejillas del aire acondicionado .....    | 76 |
| 4.7.1. | Preparación del componente .....                           | 76 |
| 4.7.2. | Configuración de escaneo .....                             | 76 |
| 4.7.3. | Parámetros de edición de nube de puntos .....              | 77 |
| 4.7.4. | Parámetros de edición de malla .....                       | 78 |
| 4.8.   | Simulación del accesorio del cinturón de seguridad.....    | 79 |
| 4.9.   | Simulación de perilla de calefacción .....                 | 81 |
| 4.10.  | Simulación de brida automotriz.....                        | 84 |
| 4.11.  | Simulación de la carcasa de la rejilla de calefacción..... | 87 |
| 4.12.  | Fabricación del accesorio del cinturón de seguridad.....   | 90 |
| 4.13.  | Fabricación de la perilla de calefacción.....              | 91 |
| 4.14.  | Fabricación de brida automotriz .....                      | 93 |



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



|                  |   |     |
|------------------|---|-----|
| 4.15.            | Fabricación de las rejillas de calefacción.....                           | 94  |
| 4.16.            | Análisis comparativo de componente original vs componente fabricado ..... | 96  |
| CAPÍTULO V.....  |   | 100 |
| 5.1.             | Conclusiones .....  | 100 |
| 5.2.             | Recomendaciones .....   | 101 |
| REFERENCIAS..... |   | 103 |
| APENDICE.....    |   | 110 |



## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1. Plásticos utilizados en el automóvil.....                                      | 37 |
| Tabla 2. Características REVOPOINT MIRACO PRO 3D Scanner.....                           | 42 |
| Tabla 3. Características Anycubic Photon Mono X 6K.....                                 | 43 |
| Tabla 4. Especificaciones de Resina ABS-Like .....                                      | 56 |
| Tabla 5. Configuración de escaneo del accesorio del cinturón de seguridad .....         | 67 |
| Tabla 6. Parámetros de nube de puntos para el accesorio del cinturón de seguridad ..... | 68 |
| Tabla 7. Parámetros de edición de mallas del accesorio del cinturón de seguridad .....  | 69 |
| Tabla 8. Configuración de escaneo para la perilla de calefacción.....                   | 70 |
| Tabla 9. Parámetros de edición de nube de puntos para la perilla de calefacción.....    | 71 |
| Tabla 10. Parámetros de edición de mallas de la perilla de calefacción.....             | 72 |
| Tabla 11. Configuración de escaneo de brida automotriz.....                             | 73 |
| Tabla 12. Parámetros de edición de nube de puntos de brida automotriz.....              | 74 |
| Tabla 13. Parámetros de edición de mallas de la brida automotriz .....                  | 75 |
| Tabla 14. Configuración de escaneo de rejillas de aire acondicionado .....              | 76 |
| Tabla 15. Parámetros de edición de nube de puntos .....                                 | 77 |
| Tabla 16. Parámetros de edición de malla de rejillas de aire acondicionado .....        | 78 |
| Tabla 17. Resumen de impresión del accesorio del cinturón de seguridad .....            | 91 |
| Tabla 18. Resumen de impresión de la perilla de calefacción.....                        | 92 |
| Tabla 19. Resumen de impresión de la brida automotriz.....                              | 94 |
| Tabla 20. Resumen de impresión de las rejillas de calefacción.....                      | 96 |
| Tabla 21. Criterios para el calculo total de los componentes .....                      | 97 |
| Tabla 22. Costo total de los componentes .....  | 97 |



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



|   |    |
|---|----|
| Tabla 23. Comparación del accesorio del cinturón de seguridad original y el fabricado ..... | 98 |
| Tabla 24. Comparación de la perilla de calefacción original y el fabricado.....             | 98 |
| Tabla 25. Comparación de la brida original y el fabricado.....                              | 99 |
| Tabla 26. Comparación de las rejillas de calefacción originales y el fabricado .....        | 99 |



## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Representación del proceso de digitalización.....                                   | 27 |
| Figura 2. Ingeniería inversa y comparación de procesos de producción clásicos .....           | 29 |
| Figura 3. Escáner Estereoscópico .....  | 32 |
| Figura 4. Proceso fotométrico.....  | 32 |
| Figura 5. Representación de la captura en los escáneres de captura por la triangulación ..... | 34 |
| Figura 6. Digitalización mediante luz estructurada .....                                      | 35 |
| Figura 7. Diagrama esquemático del proceso FDM .....  | 39 |
| Figura 8. Diagrama esquemático del proceso SLA .....  | 40 |
| Figura 9. Diagrama esquemático del proceso SLS .....  | 41 |
| Figura 10. REVOPOINT MIRACO PRO 3D Scanner .....  | 43 |
| Figura 11. Anycubic Photon Mono X 6K.....   | 44 |
| Figura 12. Interfaz de software REVO SCAN 5.....  | 44 |
| Figura 13. Interfaz de Software Meshmixer .....   | 45 |
| Figura 14. Interfaz del software SolidWorks educativo. ....                                   | 46 |
| Figura 15. Interfaz de Software Anycubic Photon Workshop.....                                 | 47 |
| Figura 16. Flujograma de la metodología.....  | 47 |
| Figura 17. Flujograma para el protocolo de digitalización 3D .....                            | 48 |
| Figura 18. Indicador de distancia.....  | 50 |
| Figura 19. Captura de nube de puntos .....  | 51 |
| Figura 20. Proceso- Edición de nube de puntos.....  | 52 |
| Figura 21. Proceso-Edición de mallas .....  | 54 |
| Figura 22. Inspección de superficies abiertas del componente.....                             | 55 |



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



|   |    |
|---|----|
| Figura 23. Opciones para la mejora en la superficie del componente .....                    | 55 |
| Figura 24. Zona fija del componente .....   | 57 |
| Figura 25. Zona de carga del componente .....   | 58 |
| Figura 26. Mallado del componente .....   | 59 |
| Figura 27. Orientación del componente .....   | 59 |
| Figura 28. Componente preparado.....  | 60 |
| Figura 29. Accesorio del cinturón de seguridad .....  | 63 |
| Figura 30. Perilla de la calefacción.....   | 63 |
| Figura 31. Brida de compuerta trasera.....  | 64 |
| Figura 32. Rejillas del aire acondicionado.....   | 64 |
| Figura 33. Escáner utilizado .....  | 65 |
| Figura 34. Área de trabajo .....  | 65 |
| Figura 35. Interfaz de software Revo Scan 5.....  | 66 |
| Figura 36. Accesorio de cinturón de seguridad con talco.....                                | 67 |
| Figura 37. Resultado de edición de nube de puntos del accesorio del cinturón de seguridad . | 68 |
| Figura 38. Modelo final del accesorio del cinturón de seguridad.....                        | 69 |
| Figura 39. Perilla de calefacción con talco .....   | 70 |
| Figura 40. Resultado de edición de nube de puntos de la perilla de calefacción.....         | 71 |
| Figura 41. Modelo final de la perilla de calefacción .....                                  | 72 |
| Figura 42. Brida de compuerta trasera con talco .....                                       | 73 |
| Figura 43. Resultado de edición de nube de puntos de la brida automotriz .....              | 74 |
| Figura 44. Modelo final de brida automotriz .....   | 75 |
| Figura 45. Rejilla de aire acondicionado con talco.....                                     | 76 |



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



Figura 46. Resultado de edición de nube de puntos de rejillas de aire acondicionado ..... 77

Figura 47. Modelo final de rejillas de aire acondicionado..... 78

Figura 48. Mallado de accesorio del cinturón de seguridad ..... 79

Figura 49. Parámetros para la simulación ..... 79

Figura 50. Esfuerzos de von Mises del accesorio del cinturón de seguridad ..... 80

Figura 51. Deformación del accesorio del cinturón de seguridad ..... 80

Figura 52. Factor de seguridad del accesorio del cinturón de seguridad ..... 81

Figura 53. Mallado de perilla de calefacción ..... 81

Figura 54. Parámetros de simulación para la perilla de calefacción ..... 82

Figura 55. Zona de carga ..... 82

Figura 56. Esfuerzos de von Mises de la perilla de calefacción ..... 83

Figura 57. Deformación de la perilla de calefacción ..... 83

Figura 58. Factor de seguridad de la perilla de calefacción ..... 84

Figura 59. Mallado de brida ..... 84

Figura 60. Parámetros de simulación de la brida ..... 85

Figura 61. Esfuerzos de von Mises de la brida ..... 86

Figura 62. Deformación de la brida ..... 86

Figura 63. Factor de seguridad de la brida ..... 87

Figura 64. Mallado de la carcasa de las rejillas de calefacción ..... 88

Figura 65. Parámetros de simulación de la carcasa de las rejillas de calefacción ..... 88

Figura 66. Esfuerzos de von Mises de la carcasa de las rejillas de calefacción ..... 89

Figura 67. Deformación de la carcasa de las rejillas de calefacción ..... 89

Figura 68. Factor de seguridad de la carcasa de las rejillas de calefacción ..... 90



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



|  |    |
|--|----|
| Figura 69. Preparación del accesorio del cinturón de seguridad ..... | 91 |
| Figura 70. Preparación de la perilla de calefacción .....            | 92 |
| Figura 71. Preparación de la brida automotriz .....                  | 93 |
| Figura 72. Preparación del primer grupo de componentes .....         | 94 |
| Figura 73. Preparación del segundo grupo de componentes.....         | 95 |
| Figura 74. Preparación del primer grupo de componentes .....         | 95 |



## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

#### Tema

Evaluar la viabilidad de digitalización 3D para la optimización de componentes en la fabricación de vehículos

#### 1.1. Problema de investigación

En los últimos años, la fabricación de vehículos ha experimentado un crecimiento exponencial, especialmente con el enfoque en vehículos que buscan mejorar su rendimiento y reducir su peso sin comprometer la calidad de los componentes. Los principales fabricantes de automóviles se han dedicado a la producción de vehículos livianos para cumplir con estas regulaciones. Durante el año 2024, en Ecuador se registraron ventas de 108,266 unidades vendidas, de los cuales el 84 % correspondió a importaciones y el 16 % a ensamble local [1]. La alta dependencia de importaciones también es afectada en la venta de autopartes y repuestos. Por esta razón, la venta de autopartes tiene un papel fundamental en el mercado que presenta desafíos como escasez, costos y demoras en importaciones.

En este contexto, la digitalización 3D emerge como una herramienta prometedora para la fabricación de vehículos. La digitalización 3D, asociado con la ingeniería inversa, permite diseñar nuevas piezas de repuesto basadas en modelos existentes, con el objetivo de encontrar soluciones óptimas en términos de forma y dimensiones de los componentes, manteniendo los costos de implementación lo más bajos posibles, es decir, se busca disminuir el tiempo de fabricación de un producto y optimizar el costo del producto [2]. Sin embargo, la viabilidad de la digitalización 3D para la optimización de componentes de vehículos aún no ha sido completamente evaluada. Es importante, determinar si esta tecnología puede ofrecer ventajas



significativas en términos de eficiencia, precisión y costo en comparación con los métodos tradicionales de diseño y fabricación. Para la presente investigación se hará uso de tecnologías de digitalización 3D y fabricación aditiva. Se llevarán a cabo actividades que abarcan desde la identificación de componentes, digitalización y fabricación de componentes, hasta la comparación que existe el componente original y el fabricado.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general**

Evaluar la viabilidad de digitalización 3D para la optimización de componentes en la fabricación de vehículos.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Identificar componentes clave en vehículos que puedan ser optimizados mediante ingeniería inversa y fabricación aditiva.
- Desarrollar un protocolo de digitalización 3D para la captura de geometrías complejas y características funcionales en los componentes seleccionados.
- Analizar las propiedades de los materiales utilizados en la fabricación aditiva de los componentes optimizados.
- Realizar un análisis comparativo de los componentes optimizados con los componentes convencionales del vehículo.

## **1.3. Alcance**

La presente investigación tiene como finalidad evaluar la viabilidad del uso del escáner 3D mediante el uso de tecnologías de digitalización 3D y fabricación aditiva. El estudio se centrará en aspectos técnicos, como la identificación de cuatro componentes aptos para la digitalización 3D, el desarrollo de un protocolo de digitalización 3D, análisis de materiales para fabricación



aditiva, utilizando resina en la fabricación de los componentes mediante la impresora 3D y la evaluación de los componentes fabricados.

#### **1.4. Justificación**

La digitalización 3D se ha convertido en una tecnología que ha tenido un crecimiento significativo, sobre todo en el sector automotriz. Además, la digitalización 3D trabaja en conjunto con la ingeniería inversa y fabricación aditiva. Los componentes de vehículos han sido los beneficiarios al hacer uso de estas tecnologías, gracias a que permiten optimizar los componentes mediante el estudio de materiales o de geometrías [2]. Por esta razón, es importante comprobar que tan viable es el uso de la digitalización 3D, para ello, el desarrollo de un protocolo de digitalización ayudara a capturar la geometría de cada componente, permitiendo que las ediciones y modificaciones realizadas ayuden a obtener a un modelo mucho más preciso. Por otro lado, la digitalización 3D junto a la ingeniería y fabricación aditiva permite optimizar los procesos de diseño y fabricación, enfrentando desafíos económicos y tiempos de fabricación [3]. Por consiguiente, es importante la evaluación de la viabilidad de digitalización 3D junto al uso de la fabricación aditiva, ya que trae beneficios tantos a los fabricantes como a los consumidores de dichos componentes.



## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes

En el pasado, la ingeniería inversa ha desempeñado un papel fundamental en la fabricación de componentes. Durante la Segunda Guerra Mundial, esta práctica adquirió una relevancia aún mayor. Se empezaron a utilizar técnicas de ingeniería inversa para examinar minuciosamente maquinaria de guerra, suministros militares y otros dispositivos utilizados en ese período. El propósito era aplicar un análisis detallado a los componentes que se deseaban replicar [4]. Actualmente, la industria automotriz ha estado integrando los procesos de ingeniería inversa como parte fundamental de su desarrollo [5]. Los progresos tecnológicos en diseño y construcción han sido de gran ayuda para mejorar esta colaboración de manera significativa, los cuales han reducido considerablemente los tiempos de fabricación, logrando una producción más eficiente de sus componentes [6]. Además, la rápida creación de prototipos y el uso de impresión 3D facilita una visualización más detallada del componente, lo que brinda una perspectiva mejorada de sus dimensiones [7].

La ingeniería inversa, como herramienta esencial, permite la reproducción de componentes tomando como referencia el modelo original. Los avances tecnológicos desempeñan un papel crucial en este proceso, debido al uso combinado de ingeniería inversa y fabricación aditiva, brindando al consumidor un producto con mejores características que el componente original del vehículo, esto se lleva a cabo entregando una mejor calidad del producto final y reduciendo costos sin comprometer su rendimiento, lo que a su vez agiliza el proceso de fabricación de los componentes [4]. La implementación del escáner óptico 3D en aplicaciones automotrices es fundamental. Esta tecnología ofrece ventajas significativas, permitiendo la digitalización de



objetos de diversos tamaños, para capturar geometrías complejas [2]. Para llevar a cabo el proceso de ingeniería inversa, se emplea el escaneo 3D en varias etapas para lograr un proceso óptimo. Primero, se digitaliza el componente mediante el escáner 3D para obtener su geometría. Luego, los datos se analizan y procesan utilizando software especializado, como CAD, para seleccionar los materiales y realizar simulaciones y optimizaciones. Finalmente, se reconstruye el modelo con las modificaciones necesarias y se imprime el prototipo en 3D [8].

## 2.2. Digitalización 3D

La digitalización 3D es un proceso que convierte objetos físicos en modelos digitales tridimensionales. Para hacer uso de esta tecnología, es necesario contar con un equipo de digitalización, como el escáner 3D, que se encarga de capturar la geometría del objeto [5]. Una de las herramientas que trabajan en conjunto con la digitalización 3D es la ingeniería inversa y la fabricación aditiva [9]. Dichos procesos ayudan a reducir significativamente el tiempo necesario para obtener los datos de diseño del componente y su tiempo de fabricación [10]. El proceso de digitalización utiliza el componente original para capturar la geometría de un modelo mediante una nube de puntos, y luego utilizar esta información para obtener el modelo 3D, como se visualiza en la Figura 1.

**Figura 1.** Representación del proceso de digitalización



Tomado de: Francisco Borja, Diseño de un escáner de bajo coste, 2016.



### 2.3. Ingeniería Inversa

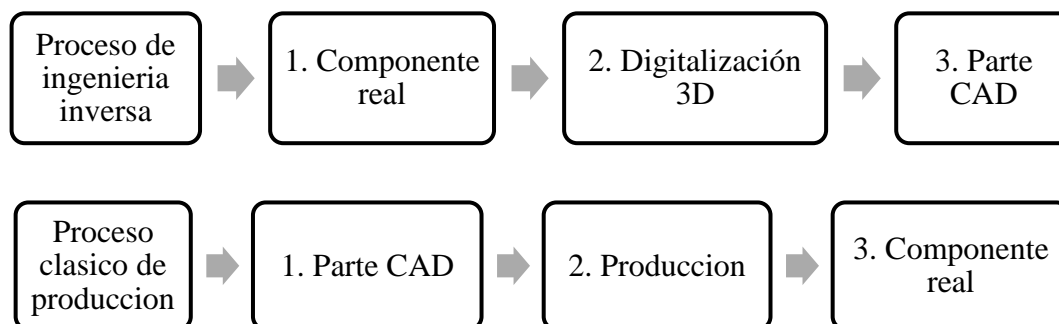
La ingeniería inversa consiste en realizar un análisis y medición de algún componente que te permite crear un objeto similar tomando como referencia un objeto ya existente [11]. Por otro lado, la ingeniería inversa puede considerarse como el proceso de duplicación o copia de una tecnología existente, siempre y cuando se optimice el componente, ya sea analizando materiales o su geometría [12].

La ingeniería inversa cuenta con dos tecnologías aplicables: con contacto y sin contacto [13].

Los métodos con contacto incluyen la medición manual, las máquinas de medición por coordenadas y las máquinas de control numérico, que son frecuentemente empleadas por los fabricantes de equipos originales. En cambio, el método sin contacto es una tecnología de medición que convierte un modelo físico en un diseño digital 3D con la ayuda de varios programas de digitalización [14]. La Figura 2 muestra el proceso de producción convencional que inicia con el diseño del componente, es decir, la creación del modelo CAD, y finaliza con el componente real. Por otro lado, el proceso de ingeniería inversa funciona de manera opuesta, inicia con el componente real, el cual es digitalizado para luego crear el modelo CAD. Esta diferencia entre ambos procesos indica como la ingeniería inversa permite la reproducción y mejora de componentes existentes, facilitando la innovación y optimización de los mismos [15].



**Figura 2.** Ingeniería inversa y comparación de procesos de producción clásicos



Tomado de: Michal Dúbravčík, Štefan Kender, Application of Reverse Engineering Techniques in Mechanics System Services, 2012.

#### 2.4. Proceso general de ingeniería inversa

El proceso general de ingeniería inversa consta de varias etapas: digitalización, procesamiento de puntos y desarrollo de modelos geométricos específicos para la aplicación. La primera fase consiste en la obtención de la geometría de la pieza seleccionada con el objetivo de generar una nube de puntos que represente su superficie. Para ello, se emplea un equipo de escaneo 3D [16]. Tras la captura de los datos, se procede a la importación y procesamiento de la nube de puntos, donde se eliminan ruidos y se reduce la cantidad de puntos que no pertenezcan a la geometría original. Es fundamental asegurar una correcta digitalización de la pieza para garantizar que toda su geometría haya sido capturada con precisión y evitar posibles alteraciones en su diseño.



A continuación, un software especializado se encarga de realizar ediciones y modificaciones que permitan obtener resultados con mayor precisión. Al tener preparado el archivo STL, se realiza el rediseño de la pieza mediante un software CAD, para posteriormente realizar distintas simulaciones que varían en función de la pieza. Este proceso ayuda a evaluar el comportamiento del objeto con diferentes materiales antes de ser fabricado [13]. Y finalmente, se realiza el proceso de fabricación del componente mediante una impresora 3D [17].

## **2.5.Escáner 3D**

El escáner 3D es un dispositivo que captura datos sobre la geometría tridimensional de un objeto físico [18]. Su tecnología se basa en recopilar información detallada sobre la forma, tamaño y posición del objeto mediante una nube de puntos. A través de esta nube de puntos, se convierte en un formato digital que puede utilizarse en procesos de diseño, desarrollo, análisis y fabricación [10]. Además, el uso de equipos de digitalización 3D presenta beneficios como un análisis más exacto de la geometría del objeto. Por otro lado, el escáner 3D se caracteriza por su eficiencia con respecto a la captura rápida de datos, gracias a que este proceso requiere de menos tiempo en comparación con los procesos tradicionales de fabricación [19].

Actualmente, existen diversos sistemas de digitalización 3D, los cuales se clasifican según la interacción con el objeto, es decir, según el contacto físico que exista. Estos se pueden dividir en dos categorías: escáneres de contacto y escáneres sin contacto [16]. A su vez, los escáneres sin contacto se dividen en dos tipos: activos y pasivos [20].

### **2.5.1. Escáner 3D por Contacto**

El escáner 3D por contacto se distingue por el uso de un palpador que establece contacto directo con la superficie del objeto a digitalizar. Su funcionamiento consiste en la obtención de las



coordenadas (X, Y, Z) de los puntos, registrando el desplazamiento del palpador sobre la superficie del objeto [21].

Uno de los métodos más utilizados dentro de esta categoría es el sistema de medición por coordenadas (CMM, por sus siglas en inglés), el cual se caracteriza por su alta precisión, alcanzando valores de hasta 0.01 mm [22]. Sin embargo, su proceso de escaneo suele ser más lento debido al movimiento controlado del brazo mecánico.

Otro método conocido es el sistema de palpador montado sobre un vaso robótico, este tipo de tecnología se caracteriza por la facilidad que tiene el técnico para manipular la sonda de medición. Además, este equipo implementa puntas intercambiables que ayuda a adaptarse a distintas geometrías, ayudando a que el resultado de escaneo sea más preciso y detallado [23].

Los escáneres 3D de contacto muestran algunos inconvenientes debido a que requieren ejercer presión sobre la superficie del objeto para capturar sus coordenadas y pueden generar daños o deformaciones en materiales frágiles o delicados [20]. Además, los procesos de digitalización con contacto suelen ser menos eficientes en comparación con los procesos de digitalización sin contacto, esto debido a que la velocidad de digitalización es menor [24].

### **2.5.2. Escáner 3D sin Contacto-Pasivo**

Los escáneres estereoscópicos operan de manera similar al sistema de visión humana, utilizando la diferencia entre dos imágenes captadas desde distintos ángulos para calcular la profundidad y la distancia de cada punto. La Figura 3 muestra que este sistema emplea dos cámaras de video separadas que registran el objeto desde diferentes perspectivas. A través del análisis comparativo de ambas imágenes, es posible determinar la distancia entre los puntos y reconstruir la geometría del objeto [24].



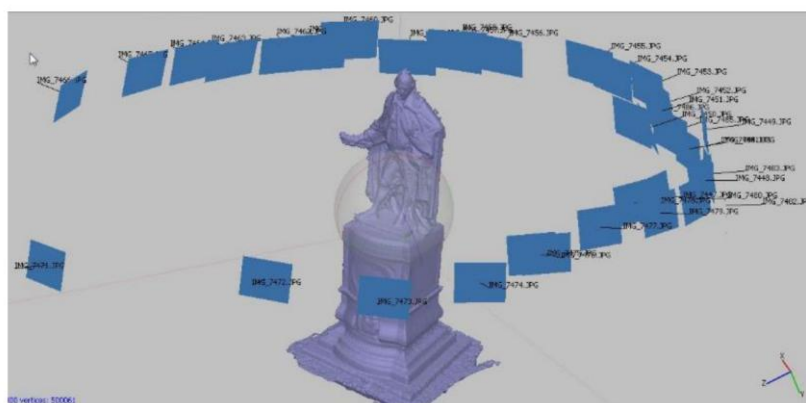
**Figura 3. Escáner Estereoscópico**



Tomado de: Fabio Romeral, Flujo de trabajo en proyectos de modelización 3D con equipos láser de escáner, 2014.

El sistema fotométrico emplea una única cámara para capturar múltiples imágenes de un mismo objeto desde distintos ángulos, como muestra la Figura 4. Sin embargo, a diferencia de otros métodos, varía las condiciones de iluminación en cada toma. Este enfoque permite analizar cómo la luz interactúa con la superficie del objeto, lo que facilita la reconstrucción de su geometría y relieve. Gracias a esta técnica, es posible obtener modelos tridimensionales detallados sin necesidad de contacto físico [20].

**Figura 4. Proceso fotométrico**



Tomado de: Carlos Morón, Metodología de trabajo conjunto de escaneado e impresión, 2018.



La técnica de reconocimiento de siluetas es un método basado en la captura de múltiples imágenes de un objeto tridimensional desde distintos ángulos, utilizando un fondo de alto contraste para facilitar su identificación. A partir de estas imágenes, se generan contornos que luego se procesan mediante extrusión y combinación para construir una representación tridimensional aproximada del objeto. Aunque esta técnica permite obtener modelos visuales de manera sencilla, su precisión puede verse afectada por la iluminación, la textura del objeto y la complejidad de su geometría [25].

### **2.5.3. Escáner 3D sin Contacto- Activos**

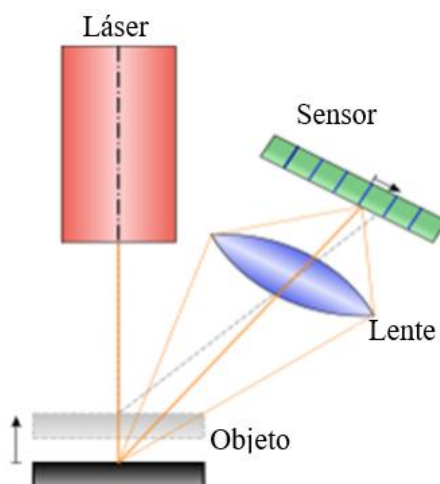
El método de tiempo de vuelo es un método basado en la medición del intervalo que tarda un haz de luz láser en viajar hasta la superficie de un objeto y regresar al sensor. Bajo el principio de la velocidad constante de luz, se obtiene la distancia con elevada precisión entre la fuente emisora y la superficie en estudio. Esta técnica es especialmente útil para el escaneo de grandes estructuras, como edificaciones o formaciones geológicas, debido a su capacidad para capturar información a largas distancias [26].

El segundo método, referente al escáner láser de triangulación 3D es un instrumento de medición que emplea luz láser para capturar la geometría de un objeto. Su principio de funcionamiento se basa en la proyección de un haz de luz sobre la superficie del objeto, mientras que una cámara registra el punto de luz reflejado. La posición de este punto varía en función de la distancia a la que el láser impacta sobre la superficie [22]. Como se puede apreciar en la Figura 5, esta técnica adoptó el nombre de triangulación láser, debido a que el láser, la cámara y el punto de luz forman un triángulo. Con la distancia conocida entre la cámara y el emisor del láser, y los ángulos del triángulo, se pueden calcular las posiciones exactas de los puntos escaneados. Este método se caracteriza por tener una alta precisión (milésimas de



milímetro), pero la precisión se reduce si el ángulo del triángulo se aleja de  $90^\circ$ . El alcance máximo práctico es de 20-30 cm, con un espacio de trabajo de alrededor de 1 metro si el objeto es grande [23].

**Figura 5.** Representación de la captura en los escáneres de captura por la triangulación

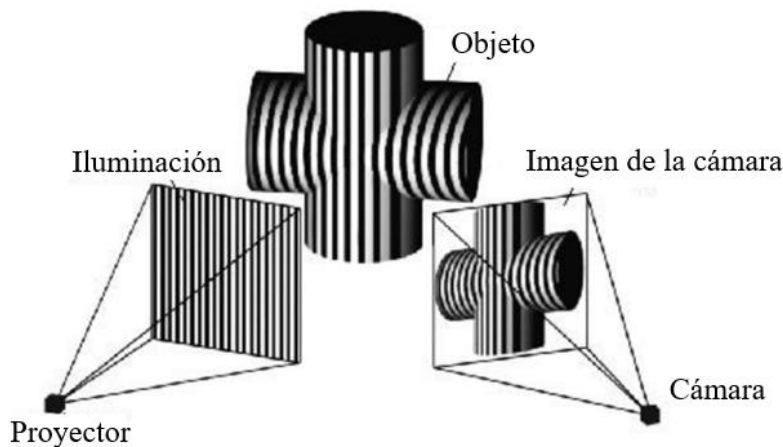


Tomado de: Wikipedia, Escáner Laser de Triangulación 3D, 2024.

El tercer método, referente al escáner 3D de luz estructurada, opera mediante el uso de una cámara y un proyector de luz, como se puede apreciar en la Figura 6 [22]. El funcionamiento de esta tecnología consiste en proyectar un patrón de luz sobre el objeto, emitido por el proyector. La cámara, posicionada en un ángulo diferente al del proyector, se encarga de capturar y analizar la deformación del patrón de luz al interactuar con la superficie del objeto [23]. Una de las principales ventajas de esta tecnología es la velocidad, ya que permite escanear múltiples puntos y, a su vez, ofrece mayor resolución y precisión a la hora de capturar la geometría del objeto [27].



**Figura 6.** Digitalización mediante luz estructurada



Tomado de: Lucia C, 3Dnatives, 2016.

## 2.6. Fabricación Aditiva

La industria manufacturera ha experimentado un notable crecimiento impulsado por la fabricación aditiva, una tecnología que permite producir piezas de forma rápida, precisa, económica y sostenible [28]. Según la norma ISO/ASTM 52900, este proceso se distingue por la unión de materiales capa por capa a partir de modelos tridimensionales [29]. Desde sus inicios en la década de 1980, la fabricación aditiva ha evolucionado considerablemente, derivando en aplicaciones como el prototipado rápido en los años 90, el desarrollo de herramientas rápidas a finales de esa misma década y la fabricación rápida en los 2000 [30]. Dentro de estas aplicaciones, la creación rápida de prototipos se refiere a la elaboración ágil de modelos a partir de materiales alternativos, utilizando tecnologías como la estereolitografía (SLA), la sinterización selectiva por láser (SLS) o el modelado por deposición fundida (FDM), entre otras [31]. Esta tecnología ha encontrado un amplio campo de aplicación en sectores como el automotriz y el aeroespacial, que en conjunto representan aproximadamente el 33% de los ingresos generados por la fabricación aditiva, y presentan un crecimiento anual estimado entre el 1% y el 2% [32].



## 2.7. Polímeros utilizados en la fabricación aditiva

A lo largo del tiempo, la industria de los plásticos ha adquirido un rol esencial en el sector automotriz, especialmente con la introducción de los termoplásticos. El desarrollo continuo de estos polímeros ha permitido su creciente aplicación en la fabricación de vehículos, favoreciendo la reducción de peso, una mayor durabilidad, propiedades mecánicas favorables, resistencia a la corrosión, flexibilidad en el diseño y costos más accesibles [33], [34].

En la actualidad, los plásticos tienen un papel fundamental en el campo vehicular, ya que conforman entre el 10 % y 15 % del peso de un vehículo. Por esta razón, el peso es un factor importante a tomar en cuenta, ya que unos de los desafíos de la industria automotriz es luchar contra el peso, para obtener beneficios con respecto al consumo de combustible [35].

Actualmente, los plásticos se utilizan en diversas partes del vehículo, tanto en el interior como en el exterior. Entre los componentes más comunes fabricados con polímeros se encuentran los parachoques, puertas, sistemas de seguridad, ventanas, carcasas de faros y retrovisores laterales, capós, rejillas y tapacubos. Aunque en la fabricación de un automóvil pueden emplearse distintos tipos de polímeros, tres de ellos representan aproximadamente el 66 % del total de plásticos utilizados: polipropileno (32 %), poliuretano (17 %) y policloruro de vinilo (16 %) [28]. Por otro lado, con respecto a la fabricación aditiva, los polímeros más utilizados son el acrilonitrilo- butadieno-estireno (ABS) y el ácido poliláctico (PLA), la policaprolactona (PCL) y el tereftalato de polietileno (PET) [35].

La Tabla 1 presenta como se clasifican los polímeros de diferentes componentes plásticos de un automóvil y de igual manera el peso de cada uno. Un dato importante es que los componentes con mayor dominio en el peso de un vehículo son los parachoques, con un valor



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



aproximado a los 10 kg. Por otro lado, los componentes que menor afectación tienen en el vehículo son los depósitos de líquidos con un peso de 1 kg.

**Tabla 1.** Plásticos utilizados en el automóvil

| <b>Componente</b>        | <b>Principales tipos de plásticos</b> | <b>Peso promedio en un automóvil. (kg)</b> |
|--------------------------|---------------------------------------|--|
| Parachoques              | PS, ABS, PC/PBT                       | 10   |
| Asientos                 | PUR, PP, PVC, ABS, PA                 | 13   |
| Tablero de instrumentos  | PP, ABS, SMA, PPE, PC                 | 7  |
| Sistemas de combustibles | HDPE, POM, PA, PP, PBT                | 6  |
| Carrocería               | PP, PPE, UP                           | 6  |
| Componentes bajo el capó | PA, PP, PBT                           | 9  |
| Revestimiento interior   | PP, ABS, PET, POM, PVC                | 20   |
| Componentes eléctricos   | PP, PE, PBT, PA, PVC                  | 7  |
| Revestimiento exterior   | ABS, PBT, POM, ASA, PP                | 4  |
| Iluminación              | PC, PBT, ABS, PMMA, UP                | 5  |
| Tapicería                | PVC, PUR, PP, PE                      | 8  |
| Depósitos de líquidos    | PP, PE, PA                            | 1  |
| <b>Total</b>             |                                       | <b>105</b>                                 |

*Nota:* PS= Poliestireno, PBT= Polibutileno Tereftalato, ABC= Acrilonitrilo Butadieno Estireno, PUR= Poliuretano, PA= Poliamida, PVC= Policloruro de vinilo, PP= Polipropileno, PC= Policarbonato, SMA= Copolímero de Estireno, PPE= Polifenileno Éter, HDPE= Polietileno de Alta Densidad, POM= Polioximetileno, UP= Poliéster no saturado, PET= Tereftalato de Polietileno, ASA= Acrilonitrilo-Estireno-Acrilato, PMMA= Polimetilmetacrilato, PE= Polietileno.

Tomado de: Katarina Szeteiová, Automotive Materials Plastics in Automotive Markets

Today, 2010.

## **2.8. Componentes plásticos con mayor rotación en el sector automotriz**

El crecimiento del sector automotriz ha tenido como consecuencia la inexistencia de ciertos componentes o el retaso en los procesos de importación. En este contexto, la digitalización 3D aplicada a la industria automotriz cobra importancia, ya que requiere una adecuada identificación de los componentes aptos para ser fabricados mediante tecnologías aditivas. Diversos estudios han demostrado que la selección de componentes plásticos puede fundamentarse en el análisis de mercado, particularmente a través de encuestas realizadas a



especialistas y asesores de repuestos en concesionarios. De acuerdo con investigaciones desarrolladas en la ciudad de Ibarra, se ha identificado que la escasez de autopartes plásticas internas representa un problema para el sector automotriz, lo que representa la búsqueda de alternativas de producción mediante tecnologías de fabricación aditiva [36]. La encuesta determinó datos que son de vital importancia para la selección de componentes, como los siguientes:

- El 90% de los encuestados consideran que la impresión 3D es la opción más viable para solucionar la escasez de autopartes plásticas, superando otras soluciones como procesos tradicionales de fabricación [36].
- El 80% de los asesores encuestados concluyeron que las piezas pequeñas del interior del vehículo, como botones, tapas y perillas, son las que presentan mayor rotación dentro de los concesionarios [36].
- Además, el 90% de los asesores consideran que los consumidores aceptarían utilizar componentes fabricados mediante impresión 3D, siempre y cuando cumplan con acabados superficiales idénticos y tiempos de entrega reducidos [36].

## **2.9. Técnicas de fabricación aditiva**

### **2.9.1. Técnica de modelado por deposición fundida (FDM)**

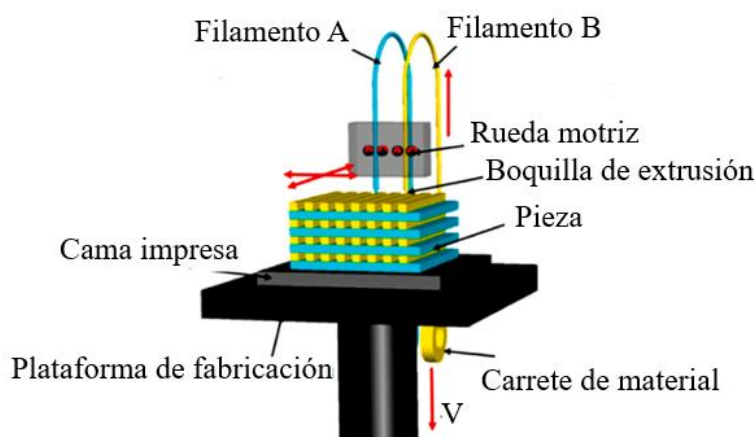
La fabricación mediante modelado por deposición fundida (FDM) es un proceso de fabricación aditiva que emplea materiales termoplásticos. En este método, el material es fundido y extruido a través de una boquilla calentada, depositándose capa por capa hasta formar el objeto deseado [37]. La tecnología de modelado por deposición fundida se caracteriza por ser económico en comparación con otras tecnologías de fabricación aditiva, y por su precisión en la fabricación



de componentes. En este caso, los materiales más utilizados en esta tecnología son el acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), el policarbonato (PC) y el ácido poliláctico (PLA).

En el proceso de FDM, el filamento es colocado sobre una cámara de extrusión, lugar que permite que el material sea calentado hasta que se funde, llegando a una temperatura mayor a la de su punto de fusión. Posteriormente, el filamento en su nuevo estado es expulsado sobre la plataforma de construcción, permitiendo que el objeto deseado sea construido capa por capa. Este proceso se realiza capa por capa, mientras el filamento se enfría, se solidifica, lo que permite la formación progresiva del modelo digital, como se ilustra en la Figura 7 [38].

**Figura 7.** Diagrama esquemático del proceso FDM



Tomado de: M Bhuvanesh Kumar, P Sathiaya, Methods and materials for additive manufacturing: A critical review on advancements and challenges, 2021.

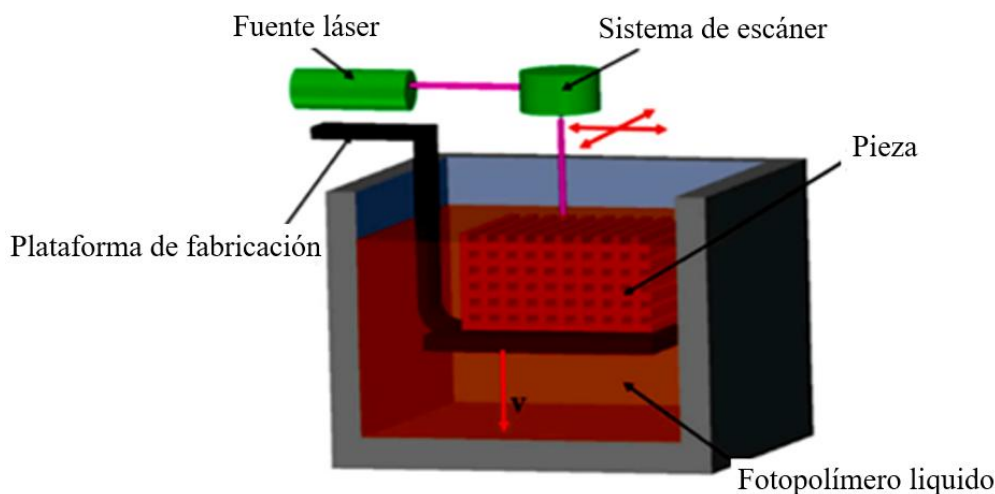
### 2.9.2. Técnica de estereolitografía (SLA)

La estereolitografía es una técnica la cual utiliza láseres o proyectores para solidificar resinas foto poliméricas líquidas de forma selectiva [39]. Este proceso ha logrado avances significativos en velocidad y precisión, en particular con la llegada de la tecnología de producción de interfaz líquida continua.



El proceso implica la curación selectiva de capas de resina mediante luz ultravioleta o láser, creando una estructura sólida capa por capa como se puede apreciar en la Figura 8. Tras la impresión, se eliminan las resinas sin curar y la pieza se somete a un post-curado adicional para completar el proceso. La SLA ofrece alta precisión y detalle, ideal para la fabricación de prototipos complejos y piezas funcionales con buenas propiedades mecánicas [38].

**Figura 8.** Diagrama esquemático del proceso SLA



Tomado de: M Bhuvanesh Kumar, P Sathiaya, Methods and materials for additive manufacturing: A critical review on advancements and challenges, 2021.

### 2.9.3. Técnica de sinterización selectiva por láser (SLS)

La sinterización selectiva por láser es una técnica de fabricación aditiva que utiliza un láser para fusionar materiales en polvo [40]. Este método ofrece importantes ventajas, como la creación de diseños intrincados y la impresión sin estructuras de soporte adicionales. En consecuencia, la técnica SLS resulta particularmente ventajoso cuando se trabaja con geometrías complejas [41].

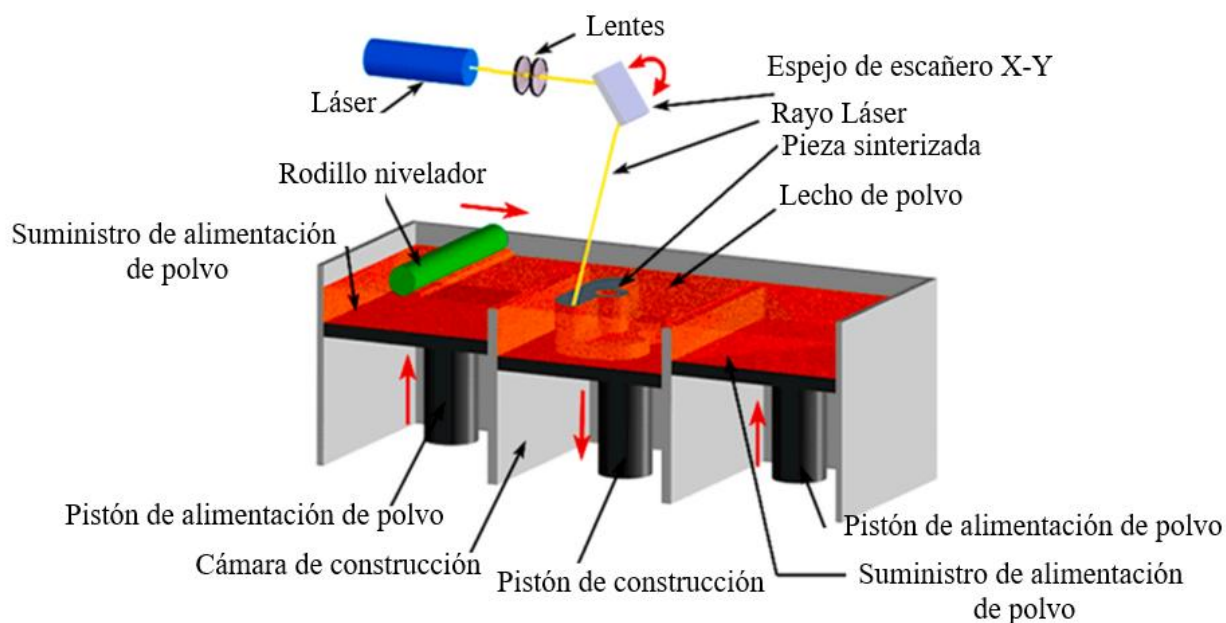
La Figura 9 muestra el diagrama esquemático del proceso SLS. En esta técnica, el lecho de polvo se precalienta a una temperatura ligeramente inferior a su punto de fusión, con el fin de



evitar deformaciones y facilitar la unión. El láser recorre una trayectoria precisa, sinterizando las partículas de polvo en esa zona. El polvo no utilizado actúa como soporte para la pieza en crecimiento. Tras la impresión, se elimina el exceso de polvo, el cual puede reutilizarse.

El tamaño de las partículas son elementos importantes para obtener un modelo más resistente, al igual que el método de escaneo láser [38].

**Figura 9.** Diagrama esquemático del proceso SLS



Tomado de: M Bhuvanesh Kumar, P Sathiaya, Methods and materials for additive manufacturing: A critical review on advancements and challenges, 2021.



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Materiales

##### 3.1.1. Revopoint Miraco PRO 3D Scanner

El escáner 3D Revopoint MIRACO PRO es una innovadora herramienta de digitalización que permite capturar la geometría de los objetos. Este dispositivo, cuenta con una resolución de hasta 0.005 mm, adaptándose a diversas necesidades industriales. Su versatilidad lo hace ideal para sectores como el automotriz y aeroespacial, facilitando la replicación, el prototipado y reparaciones precisas, eliminando la dependencia de mediciones manuales y optimizando los procesos de producción. En la Figura 10 se visualiza el equipo utilizado, mientras que en la Tabla 2 se presentan las principales características con las que cuenta el escáner.

**Tabla 2.** Características REVOPOINT MIRACO PRO 3D Scanner

| <b>REVOPOINT MIRACO PRO 3D Scanner</b>        |   |
|---|---|
| Dimensión del escáner (largo x alto x ancho)  | 200 x 50 x 110 mm   |
| Peso  | 750 gramos  |
| Resolución de la cámara RGB                   | 48 megapíxeles 8k   |
| Disco duro                                    | 256 GB  |
| Memoria RAM                                   | 16 GB   |
| Procesador                                    | 8 núcleos a 2.4GHZ  |
| Capacidad de la batería                       | Batería interna de litio de 5000 mh (2 horas de escaneo continuo) |
| Velocidad de escaneo                          | 15 fps  |
| Sensor de posición                            | IMU de 9 ejes   |
| Precisión de fotograma único                  | 0.005 mm  |
| Área de captura única a distancia más cercana | 28 x 53 mm a 100 mm   |
| Área de captura única a distancia más lejana  | 975x775 mm a 100mm  |

Tomado de: Tienda Kear3D, Revopoint Miraco Pro 3D Scanner, 2025.



**Figura 10.** REVOPOINT MIRACO PRO 3D Scanner



Tomado de: Tienda Kear3D, Revopoint Miraco Pro 3D Scanner, 2025.

**3.1.2. Anycubic Photon Mono X 6K**

La Anycubic Photon Mono X 6K es una impresora 3D de resina visualizada en la Figura 11 diseñada para ofrecer alta precisión y velocidad en la impresión, garantizando resultados excelentes. Su pantalla monocromática de 9.25 pulgadas con resolución 6K (5760 × 3600 píxeles) permite reproducir modelos geoméricamente precisos. Gracias a su sistema de iluminación LED optimizado, proporciona impresiones estables y eficientes. Además, su amplio volumen de impresión la hace ideal para una variedad de proyectos. A continuación, en la Tabla 3 se presentan las características técnicas de la impresora seleccionada.

**Tabla 3.** Características Anycubic Photon Mono X 6K

| <b>Anycubic Photon Mono X 6K</b> |                                   |
|----------------------------------|-----------------------------------|
| Tecnología                       | SLA basada en LCD                 |
| Pantalla                         | 9.25" Monocromática               |
| Precisión de impresión           | 5760 x 3600 px (6K)               |
| XY Res.                          | 5760 x 3600 PX (6K)               |
| Res. del eje Z                   | 0.001                             |
| Capa Res                         | 0.01 - 0.15 mm                    |
| Velocidad de impresión           | máx. 60 mm/h                      |
| Potencia nominal                 | 120W                              |
| Tamaño de la impresora           | 270 mm(L) x 290 mm(W) x 475 mm(H) |
| Volumen de construcción          | 197 mm(L)x 122 mm(W) x 245 mm(H)  |
| Material                         | resina UV de 40 5nm               |
| Peso neto                        | 11 kg                             |
| Costo del equipo                 | 600 \$                            |
| Consumo de energía               | 0.12 KW/h                         |

Tomado de: Anycubic, Photon Mono X 6k, 2025.



**Figura 11.** Anycubic Photon Mono X 6K

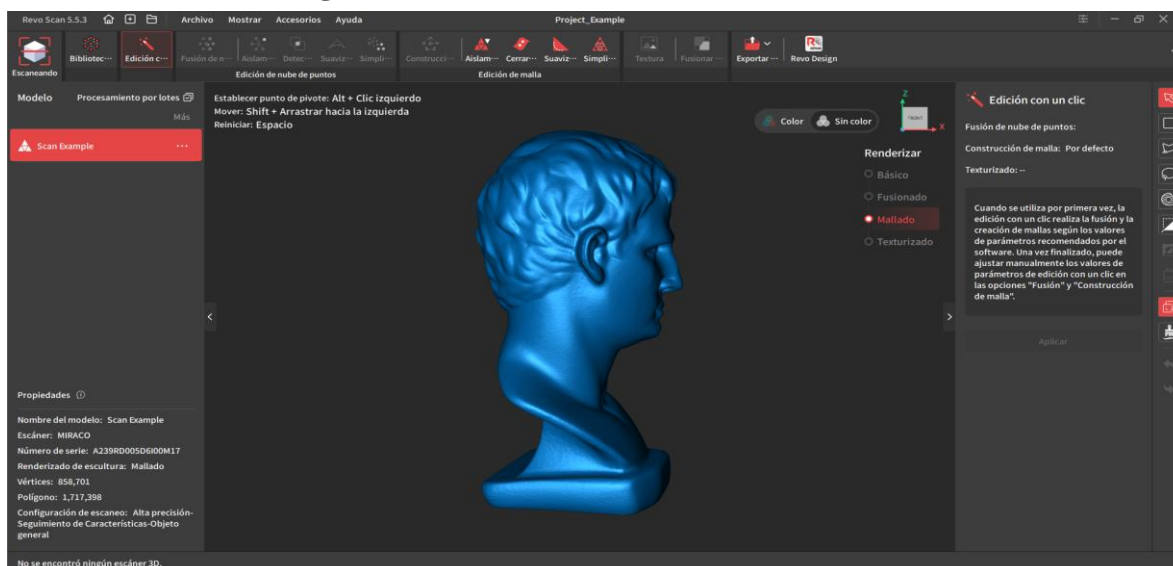


Tomado de: Anycubic, Photon Mono X 6k, 2025.

### 3.1.3. Software de edición y procesamiento de nube de puntos

REVO-SCAN 5 es un software especializado en digitalización 3D que permite la captura de nube de puntos, gracias a que trabaja vinculado al escáner 3D. Además, permite editar, procesar y optimizar la nube de puntos con el objetivo de obtener un modelo 3D preciso, para posteriormente obtener un archivo compatible con diferentes softwares. La Figura 12 presenta el interfaz del software, donde se puede apreciar que brinda varias de opciones de edición y procesamiento de nube de puntos.

**Figura 12.** Interfaz de software REVO SCAN 5

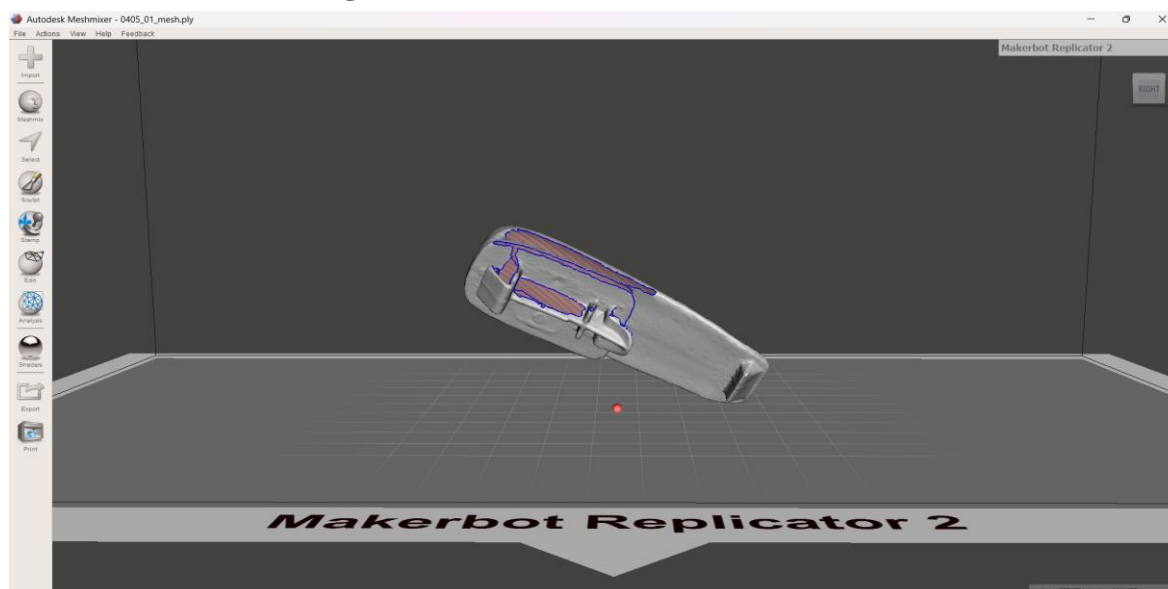




### 3.1.4. Software para procesamiento de mallas 3D

El software Meshmixer es un software especializado en el procesamiento y edición de mallas 3D. La Figura 13 muestra su interfaz, la cual ofrece varias herramientas de edición, principalmente orientadas a limpiar, reparar, modificar y preparar modelos 3D obtenidos mediante escaneo, antes de su exportación a plataformas CAD o impresión 3D. El programa permite realizar operaciones como suavizado de superficies, remallado, corte, y edición de geometrías complejas.

**Figura 13.** Interfaz de Software Meshmixer

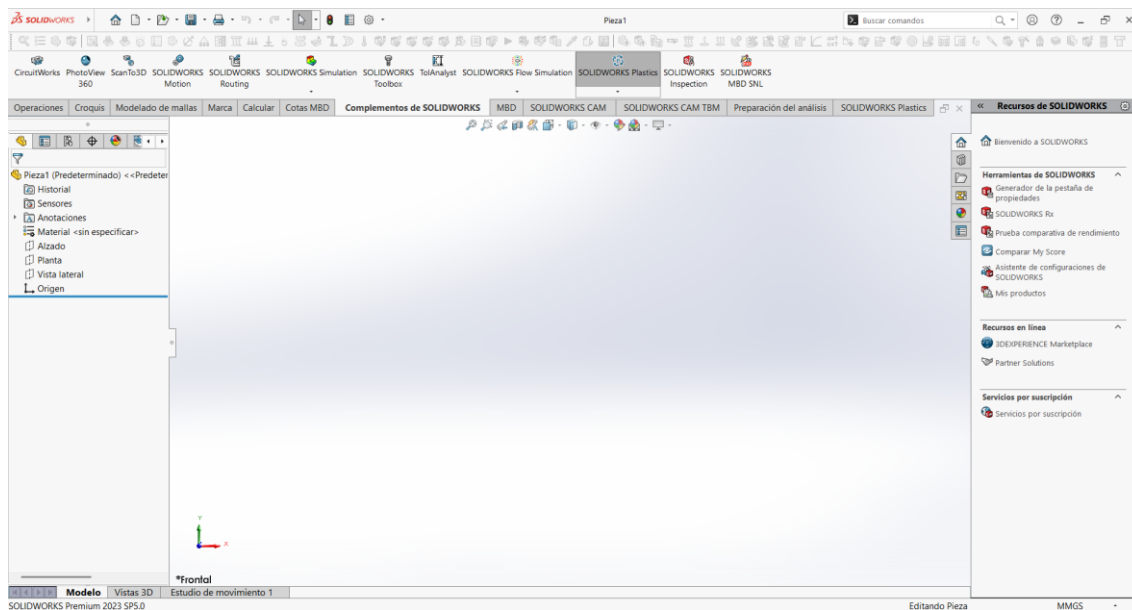


### 3.1.5. Software CAD

SolidWorks es un software de diseño CAD ampliamente utilizado en ingeniería para el modelado de sólidos y el procesamiento de datos obtenidos mediante escaneo 3D. Permite transformar la información capturada por el escáner en modelos digitales precisos, listos para su edición, optimización y fabricación. La Figura 14 muestra el interfaz del software, donde se visualizan las amplias opciones que presenta el programa, que pueden ser utilizados para diferentes funciones como simulación, diseño, ensamblaje, entre otras.



**Figura 14.** Interfaz del software SolidWorks educativo.

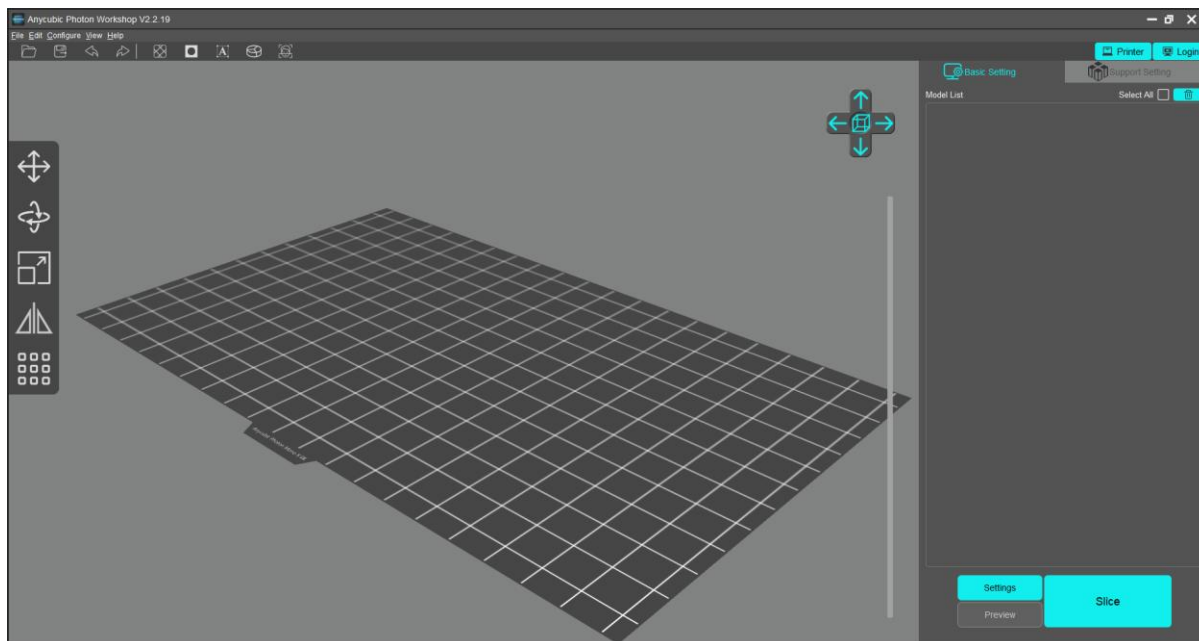


### 3.1.6. Software para impresión 3D

Anycubic Photon Workshop es un software utilizado para impresoras 3D de resina, destacado por su interfaz fácil de usar y sus amplias opciones de edición representadas en la Figura 15. El software permite preparar modelos 3D de manera eficiente, ofreciendo herramientas como la generación automática de soportes, ajuste de exposición por capa y control sobre la orientación y densidad de las capas. Compatible con diversas impresoras de resina, es adecuado tanto para principiantes como para expertos, brindando mayor flexibilidad y control en el proceso de impresión. Además, su constante actualización mejora la experiencia del usuario y la calidad de impresión.



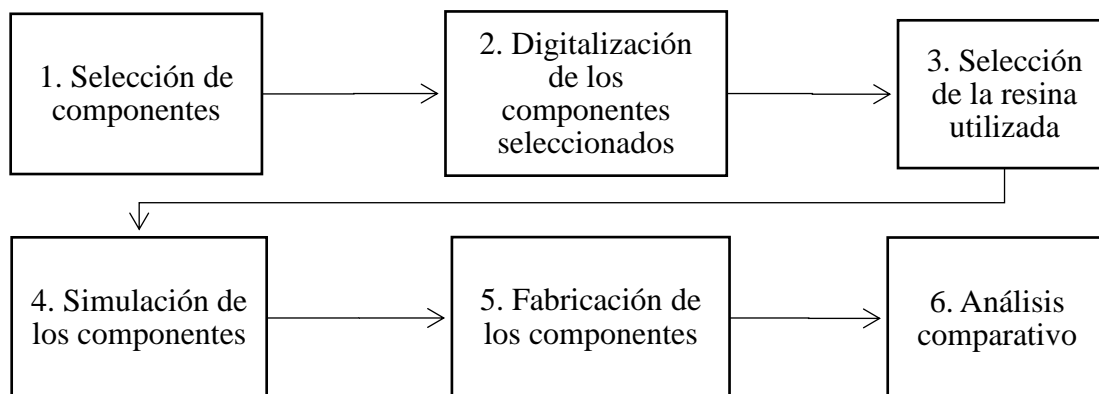
**Figura 15.** Interfaz de Software Anycubic Photon Workshop



### 3.2. Metodología

Tomando como base los objetivos específicos planteados en este proyecto, se definió una secuencia lógica de pasos para la ejecución del proceso metodológico. En la Figura 16 se presenta el diagrama que ilustra las etapas de la metodología propuesta, mostrando de forma estructurada las fases requeridas para el desarrollo de la investigación.

**Figura 16.** Flujoograma de la metodología





El primer paso fue realizar la selección de los componentes mediante referencias bibliográficas con el objetivo de digitalizar dichos componentes. Además, efectuar la simulación mediante un software especializado permite analizar su comportamiento para finalmente realizar la fabricación de dichos componentes, lo que facilitó evaluar la viabilidad de la digitalización 3D.

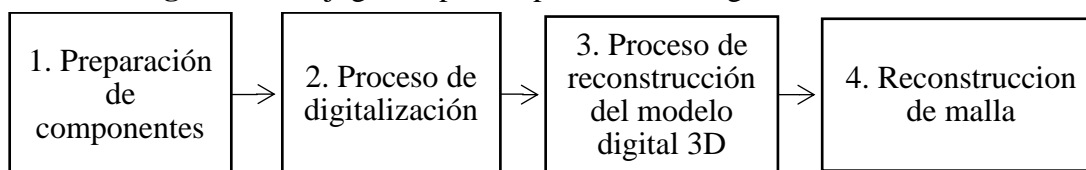
### 3.3. Selección de componentes

Con base en los resultados obtenidos del estudio de referencia [36], se determinó que los componentes con mayor potencial para ser digitalizados y fabricados mediante impresión 3D pertenecen al segmento de autopartes plásticas interiores del vehículo. Este grupo incluye elementos como botones, manijas, rejillas de ventilación, perillas y otras piezas de uso frecuente, las cuales cuentan con características geométricas compatibles con procesos de digitalización 3D y posterior fabricación aditiva.

### 3.4. Protocolo de digitalización

Para realizar el protocolo de digitalización 3D se debe cumplir con una serie de pasos que se muestran en la Figura 17 que ayudara con el cumplimiento de dicho objetivo.

**Figura 17.** Flujograma para el protocolo de digitalización 3D





### **3.4.1. Preparación del componente**

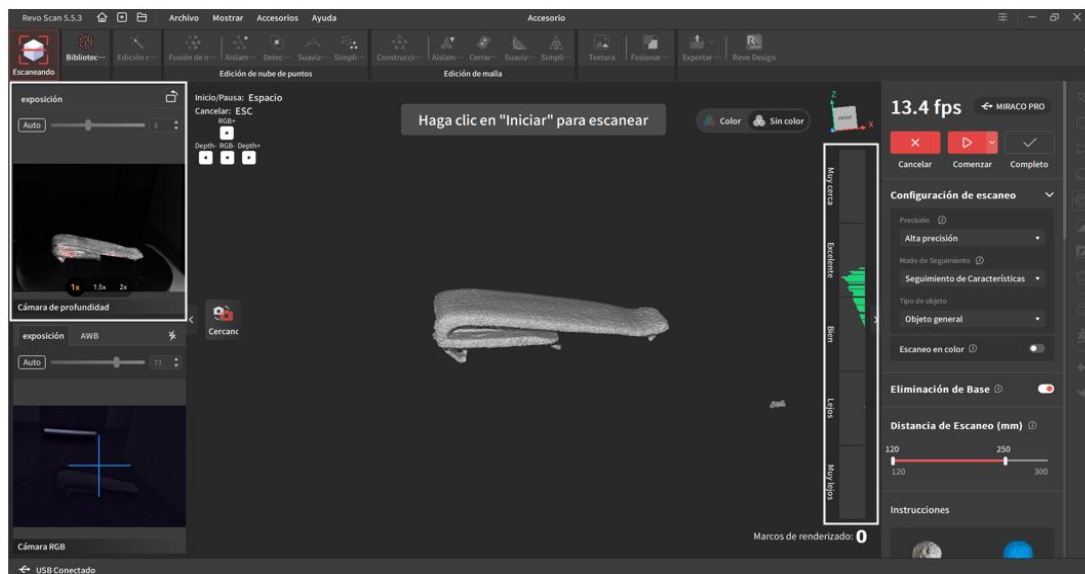
Antes de comenzar el proceso de digitalización, es fundamental preparar el objeto con el que se trabajará. Para ello, se llevará a cabo una limpieza para eliminar cualquier impureza que pueda interferir en la captura de la geometría de la nube de puntos. El escáner MIRACO PRO funciona con tecnología de luz estructurada infrarroja, la cual obtiene mejores resultados en superficies de color blanco. Por tal razón, una vez que el objeto esté completamente limpio, se aplica talco industrial sobre su superficie. Este procedimiento es fundamental para mejorar la capacidad del escáner en la captura de la geometría del objeto, ya que algunas áreas pueden presentar dificultades para la digitalización debido a reflejos, transparencias o variaciones en la textura. Además, es fundamental preparar adecuadamente la superficie de trabajo. Esta debe estar limpia y libre de exposición directa a la luz, condición que permite una captura precisa de la nube de puntos. A continuación, se utilizarán un trípode y una base giratoria. El trípode ayudara a que el escáner se mantenga estable, y no afecte en el proceso de captura de nube de puntos, mientras que la base giratoria ayuda a que el objeto gire permitiendo una captura completa de la geometría del componente. Por otro lado, la distancia del escáner y el componente, es un factor importante a tomar en cuenta, ya que afecta en el proceso de captura de nube de puntos.

### **3.4.2. Proceso de digitalización 3D**

El proceso de captura de puntos inicia con la configuración de varios parámetros, relacionados con la precisión, modo de seguimiento y la distancia de escaneo que permitirá una captura de nube de puntos eficiente. La Figura 18 muestra el indicador de distancia, este debe mostrar que la distancia es excelente, antes de iniciar con la configuración de escaneo.



**Figura 18.** Indicador de distancia



A continuación, es importante regular los parámetros de la configuración de escaneo, que ayudará a obtener un mejor resultado en el proceso de digitalización. En cuanto al apartado de precisión, se selecciona la opción “alta precisión” que ayuda a capturar objetos detallados que cuenten con geometrías complejas para obtener mejores resultados.

En este caso, en el apartado modo de seguimiento, se selecciona la opción “Seguimiento de características”. Esta opción es utilizada para objetos con características superficiales definidas y sin patrones repetitivos lo que ayudará a tener un proceso de digitalización más eficiente e ideal para este tipo de piezas.

Con respecto al tipo de objeto, se selecciona en función de las dimensiones y apariencia del objeto. En este caso se opta por la opción “Objeto general” ya que el objeto preparado para escanear es de pequeñas dimensiones lo que requiere de mayores prestaciones del escáner para que capte la mayor cantidad de puntos posibles de la geometría del componente.

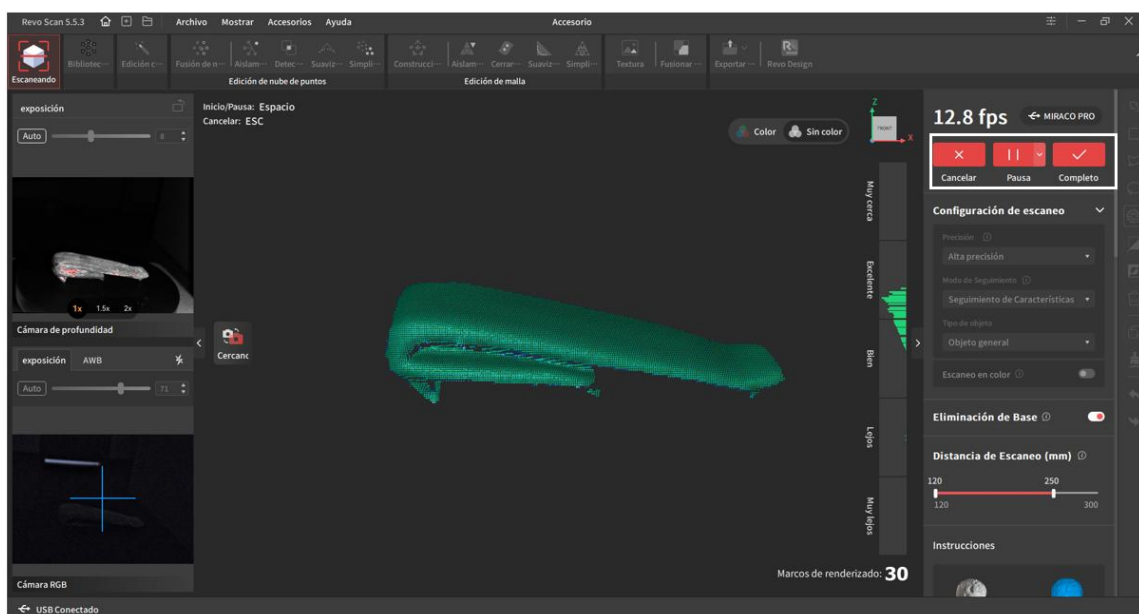
Luego, se procede a desactivar el color ya que al objeto se le colocó talco alrededor de su superficie, que permite al escáner capturar mejor la geometría del objeto. De igual manera, se



activa la opción de “Eliminación de base” para que al momento de utilizar el escáner no capte la geometría de la base en la que se coloca el objeto

A continuación, en la Figura 19 se verifica que se haya capturado la mayor cantidad posible de puntos, para facilitar la reconstrucción del modelo digital 3D.

**Figura 19.** Captura de nube de puntos



### 3.4.3. *Proceso de reconstrucción del modelo digital 3D*

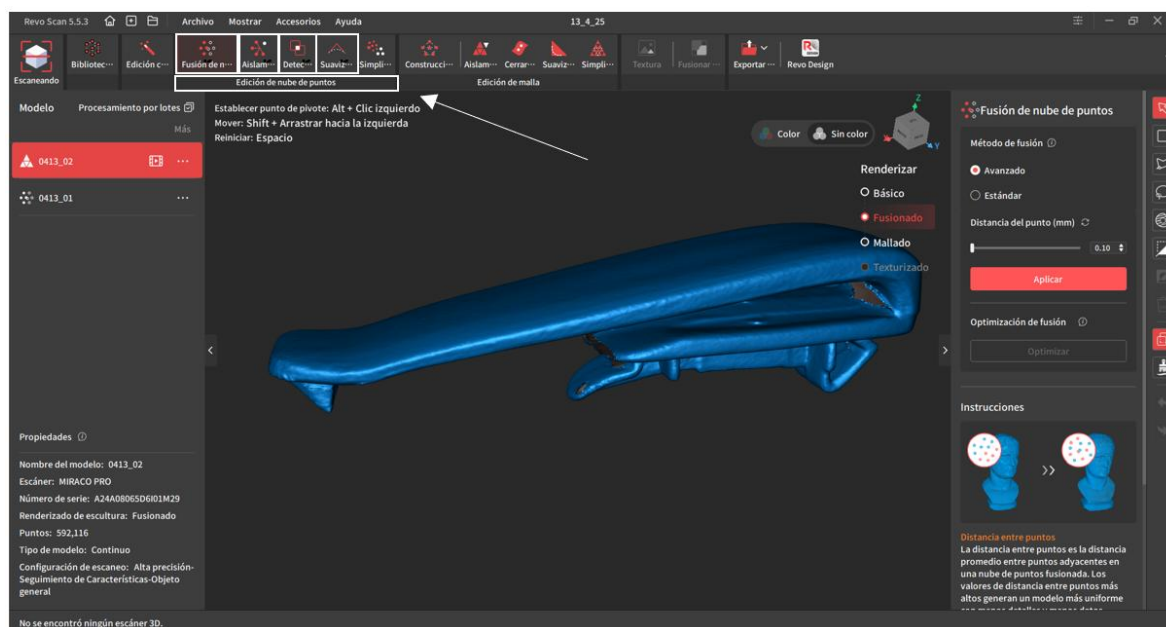
En este proceso, la edición de nube de puntos permite realizar modificaciones a la nube de puntos capturada mediante las opciones visualizadas en la Figura 20. En primer lugar, se inicia con la fusión avanzada, ya que permite obtener una nube de puntos de alta calidad. Aunque su tiempo de procesamiento es mayor en comparación con la fusión estándar, ofrece resultados con un nivel de detalle superior. Además, al contar el objeto con geometrías complejas se coloca una distancia del punto más bajo (0.10 mm) para obtener mejores resultados. Además, existen varias opciones que permiten modificar y acomodar la geometría de la nube de puntos fusionada. Al detectarse puntos capturados fuera de la nube de puntos del objeto, la opción



"aislamiento", permite eliminar los datos innecesarios capturados por el escáner hasta que la mayoría de nube de puntos fuera de la geometría del objeto desaparezcan utilizando una tasa del 100% de aislamiento.

A continuación, la opción de "Detección de superposición" permite reconocer y eliminar los datos duplicados dentro de la nube de puntos, ya que permite mejorar la calidad del modelo y mejorando la calidad de la nube de puntos. Para ello, se emplea el parámetro distancia vertical, con un rango de 0.01 mm a 0.50 mm, que permite optimizar la precisión y limpieza del modelo digital. El siguiente paso consiste en aplicar el suavizado, un proceso que corrige imperfecciones en las mallas y reduce la rugosidad de las superficies. Para obtener resultados óptimos, es fundamental ajustar correctamente la fuerza y la cantidad de veces que se aplica el suavizado, ya que un uso excesivo podría ocasionar la pérdida de detalles en el modelo.

**Figura 20.** Proceso- Edición de nube de puntos





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



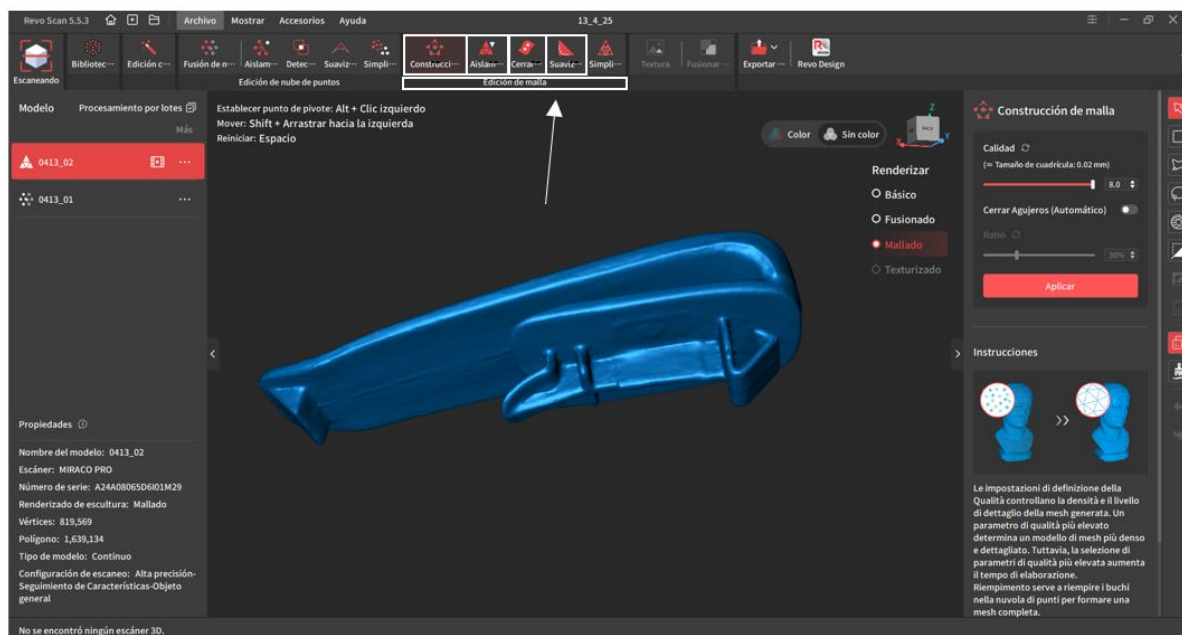
Para continuar con el proceso de reconstrucción, la Figura 21 muestra las opciones que presenta la edición de mallas, estas opciones permiten corregir y mejorar la geometría del objeto. En este caso, para la construcción de malla se emplea una calidad de 8.0 mm, el valor máximo disponible. A mayor calidad, el modelo de malla presentará un nivel de detalle superior y superficies mejor definidas.

Al igual que en la edición de nube de puntos, la edición de malla también permite utilizar la función de aislamiento durante la edición de la malla para detectar y eliminar automáticamente las superficies desconectadas del objeto principal, utilizando la tasa de aislamiento del 100%. Por otro lado, en caso de tener superficies abiertas existe la opción "Cerrar agujeros", que permite identificar y rellenar automáticamente las zonas abiertas en la malla. La opción "suavizado" permite de igual manera suavizar las superficies planas o curvas de las mallas. Pero en este caso, al no tener la necesidad de aplicarlo a la superficie completa, se emplea un pincel suavizador, dirigido únicamente a partes específicas de la geometría.

Tras realizar las ediciones y modificaciones necesarias, se obtiene un modelo semejante al objeto original. A continuación, el modelo final, puede ser exportado en formato STL a diferentes programas especializados en el diseño y reconstrucción del componente, para obtener un modelo mucho más preciso.



**Figura 21.** Proceso-Edición de mallas



#### 3.4.4. Reconstrucción de malla

Tras realizar la edición de la nube de puntos y de la malla, se procede a exportar el modelo al software Meshmixer, el cual permite editar la malla con mayor precisión y, del mismo modo, convertirla en un sólido para ser exportada en formato STL y pueda ser impresa. Este software se utiliza, en este caso, para corregir pequeñas imperfecciones que no haya sido posible reparar en el proceso de reconstrucción del modelo digital 3D, tales como:

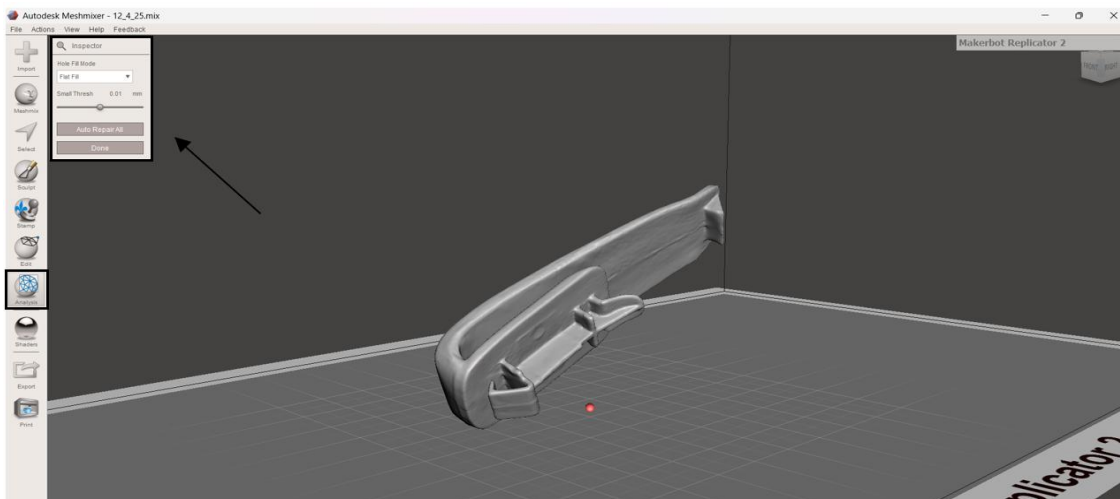
- Reparación de agujeros.
- Eliminación de ruidos o superficies incorrectas
- Creación de malla
- Eliminación de puntos innecesarios

Por lo general, se comienza verificando que no existan superficies abiertas en la geometría del objeto. Para ello, se utiliza la opción "Análisis", la cual permite realizar la inspección mediante



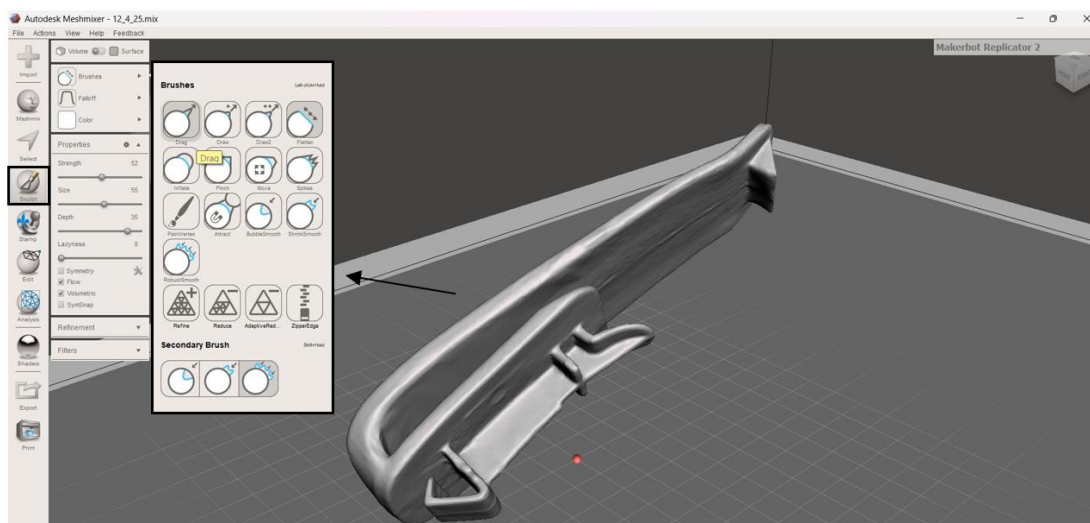
el inspector automático, que identifica y repara automáticamente los puntos que se encuentran abiertos en la Figura 22.

**Figura 22.** Inspección de superficies abiertas del componente



Otro aspecto importante para el cual se utiliza el software es la corrección de las rugosidades en la geometría de la pieza. Para ello, la opción "Esculpir" permite modificar ciertas imperfecciones que hayan sido capturadas. La Figura 23 muestra varias herramientas que ofrece el software que ayudan a mejorar geoméricamente la pieza, dependiendo de las modificaciones que se requiere realizar.

**Figura 23.** Opciones para la mejora en la superficie del componente





### 3.5. Selección de la resina utilizada

Para seleccionar el material con el cual se llevará a cabo la impresión y simulación, es fundamental considerar el equipo que será utilizado, en este caso, la impresora 3D para resina Anycubic Photon Mono X 6K. En función de esto, se ha seleccionado como material la resina ABS-Like, ya que presenta características resistentes al impacto y son ideales para la fabricación de piezas funcionales y de mayor resistencia mecánica [42]. La Tabla 4 muestra las principales características de la resina ABS-Like.

**Tabla 4.** Especificaciones de Resina ABS-Like

| <b>Especificaciones técnicas de Resina ABS-Like</b> |                             |
|---|-----------------------------|
| Límite de tracción (MPa)                            | 28                          |
| Limite elástico (MPa)                               | 24.33                       |
| Relación de Poisson                                 | 0.40                        |
| Modulo cortante G (MPa)                             | 357                         |
| Elongación en rotura (%)                            | 30-40                       |
| Resistencia a la flexión (MPa)                      | 38-50                       |
| Módulo de elasticidad (MPa)                         | 1000                        |
| Temperatura de deflexión térmica/ °C (0.45 MPa)     | 60-65                       |
| Viscosidad@25°C (mPa·s)                             | 120-250                     |
| Densidad (kg/m <sup>3</sup> )                       | 1100                        |
| Longitud de onda (nm)                               | 365-405                     |
| Dureza (D)  | 81.3                        |
| Limpieza  | Alcohol isopropílico o agua |

Tomado de: ManualsPro, Anycubic ABS-Like Resin+ User Guide, 2024

### 3.6. Simulación mediante software

En esta sección se presenta la simulación estructural del componente digitalizado, mediante el uso de un software que nos permita evaluar la viabilidad estructural del componente, es decir, la capacidad que tiene el componente para resistir las cargas aplicadas, así como analizar su comportamiento bajo dichas condiciones.



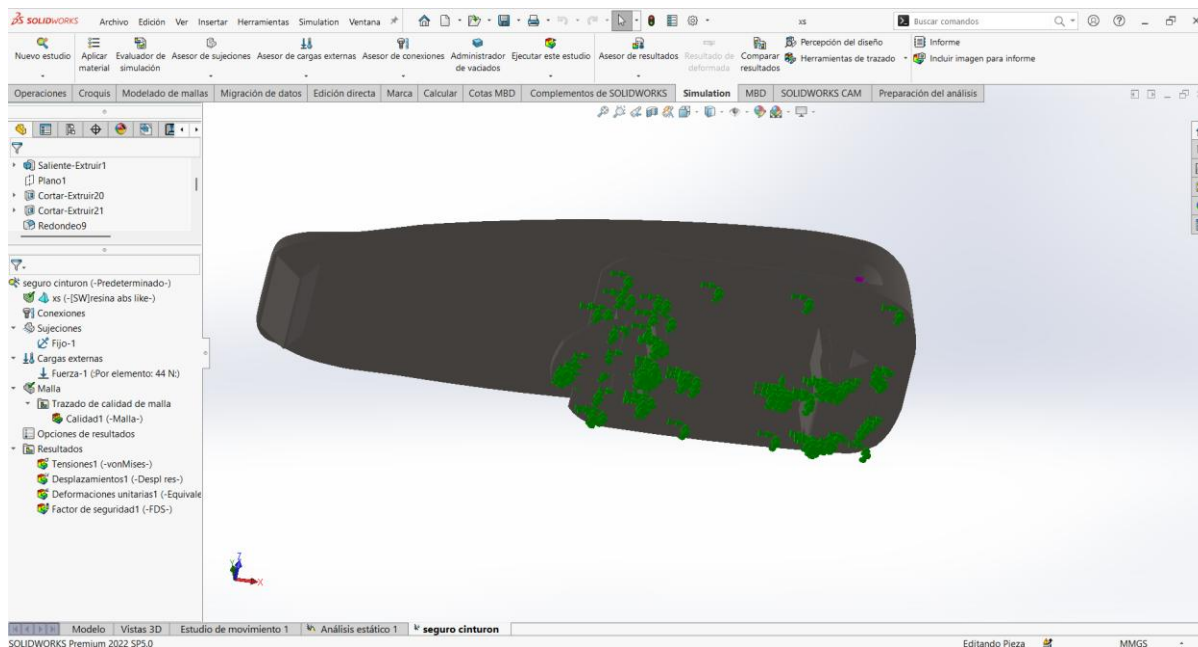
Para ello, se inicia con la importación del archivo STL al software, obtenido mediante el proceso de digitalización. Dicho archivo fue utilizado como referencia para dimensionar y corregir la geometría del modelo digital.

A continuación, se procedió con la selección del material, se tomó como referencia las especificaciones de Resina ABS-Like, cuyas propiedades se describen en el apartado 3.5.

Tras introducir los datos técnicos de la resina en el software, se procedió a establecer la zona del componente que será ensamblada, la Figura 24 muestra que la zona de color verde es la parte que permanecerá fija.

Esta región representa el punto de ensamblaje con el vehículo, por lo que se consideró completamente restringida, con el fin de replicar adecuadamente las condiciones reales de fijación.

**Figura 24. Zona fija del componente**

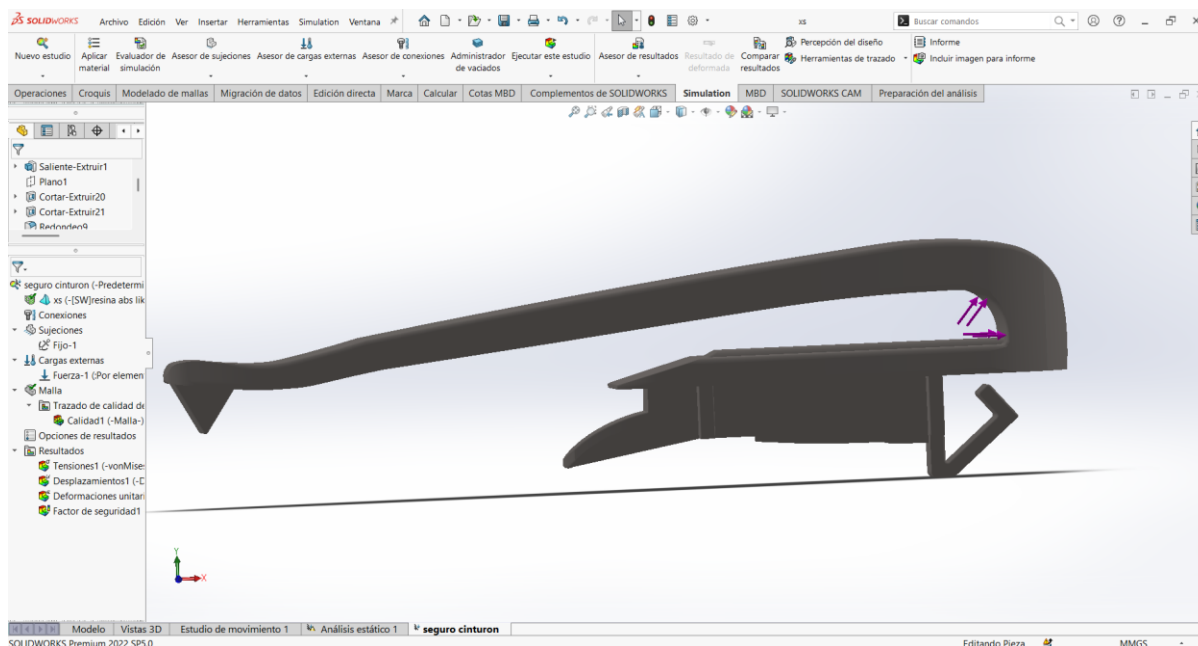


De igual manera, se definieron las zonas del componente donde se aplicará la fuerza, utilizando una carga de 44N, la cual se mantiene por debajo del límite ergonómico establecido [43].



Estas condiciones establecidas permiten analizar el comportamiento del material y determinar si el material utilizado es capaz de resistir las cargas aplicadas, la Figura 25 muestra la zona donde se aplica la carga mencionada.

**Figura 25.** Zona de carga del componente

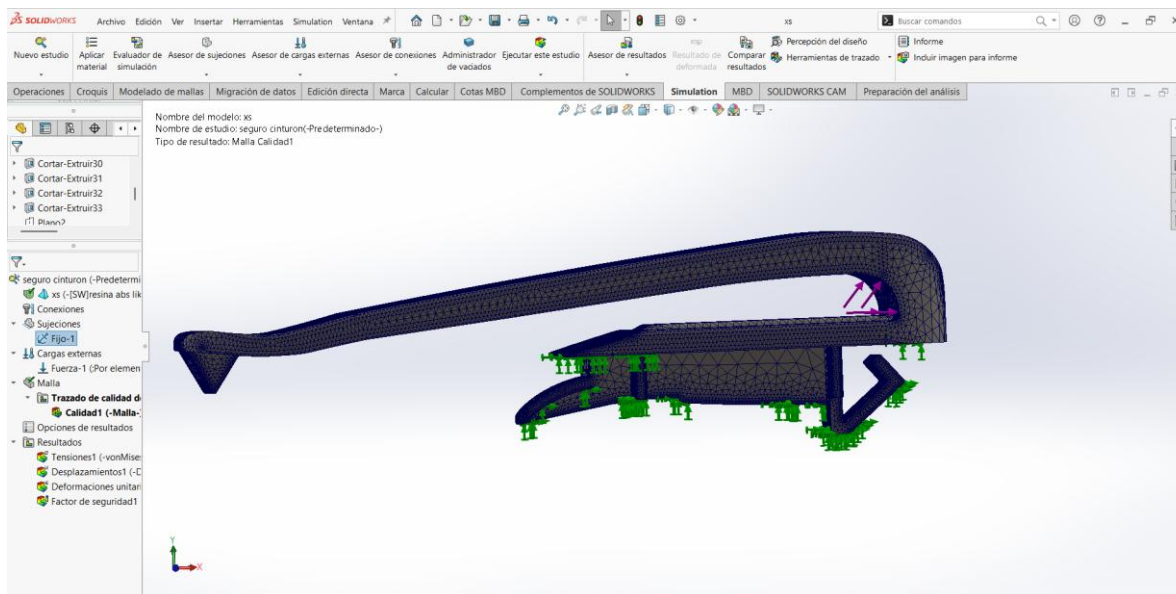


Posteriormente, una vez aplicada la malla al modelo, como se observa en la Figura 26, el componente quedó listo para iniciar la simulación. Para ello, se utilizó una densidad de malla fina y de alta calidad, complementado con el método de mallado basado en curvatura combinada, lo cual ayuda a que la malla se adapte de mejor manera a la geometría del componente.

Este proceso de simulación, permite conseguir resultados como esfuerzos de Von Mises, deformaciones máximas y el factor de seguridad, que son importantes para determinar si el material utilizado es el correcto.



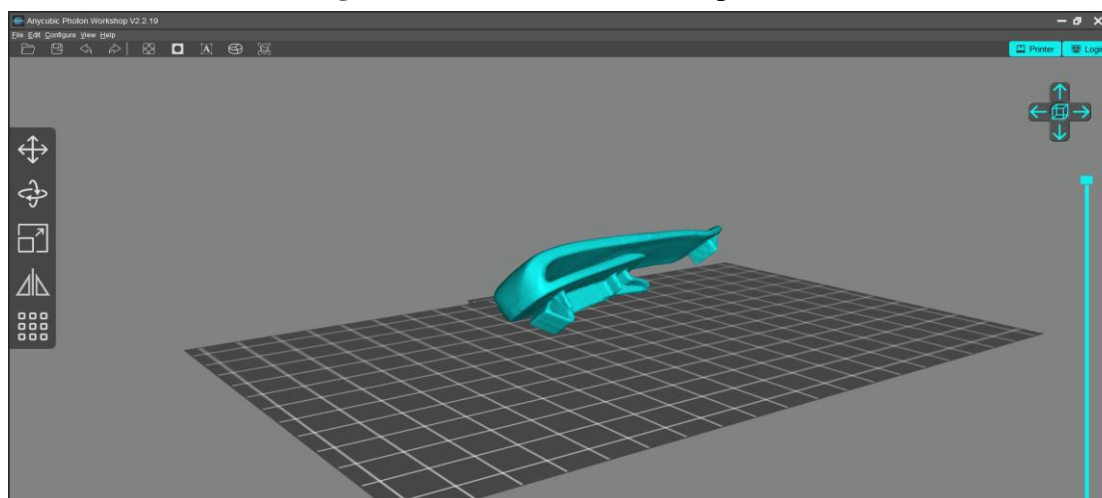
**Figura 26.** Mallado del componente



### 3.7. Fabricación Aditiva

Los modelos fueron exportados en formato STL y posteriormente procesados mediante el software Anycubic, una herramienta especializada en la preparación de archivos para impresión 3D por resina. A continuación, en la Figura 27 se presenta la orientación del modelo con el fin de minimizar la necesidad de estructuras de soporte, optimizando así tanto el uso de material como la calidad del acabado final.

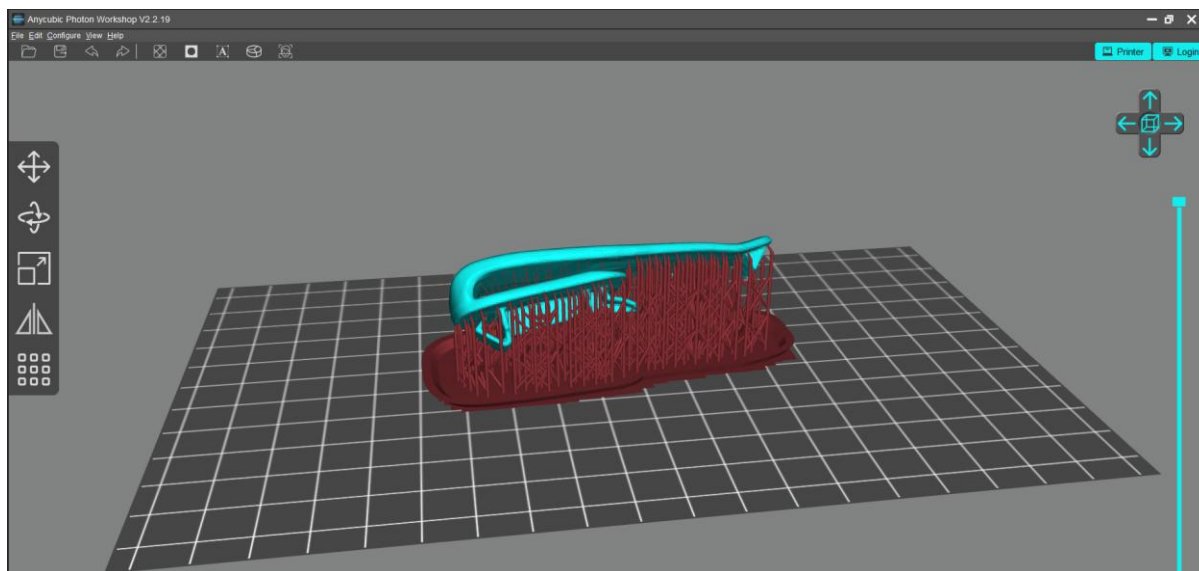
**Figura 27.** Orientación del componente





Otro paso importante fue la implementación de soportes, adaptándose según la geometría del objeto. Finalmente, en la Figura 28 se visualiza el modelo preparado mediante la aplicación de soportes delgados que optimizan el proceso de fabricación.

**Figura 28.** Componente preparado



### 3.8. Análisis comparativo

Tras terminar el proceso de fabricación de componentes, es importante realizar un análisis comparativo entre el componente original y el fabricado mediante impresión 3D. Este análisis se enfoca en criterios de peso, costo y disponibilidad.

El peso de cada componente se medirá con el objetivo de conocer las diferencias que existen entre los materiales. Además, se realizará una comparación del costo de fabricación del componente con respecto al costo del componente original. Para determinar el costo total de los componentes, se toman en cuenta diferentes factores relacionados al proceso de fabricación. En primer lugar, es importante considerar el costo de depreciación del equipo, que es la relación del costo de la impresora 3D y las unidades fabricadas durante el tiempo de vida útil. En segundo lugar, el costo de energía consumida por la impresora 3D, el cual se obtiene mediante



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



el producto del consumo de energía eléctrica de la impresora y el precio del kilovatio hora en Ecuador, dividido para el tiempo de impresión de cada componente. Por último, el costo del material se determina en función del peso del componente y el peso total de la botella de resina, que en este caso es de 1000 gramos. Como ultimo criterio, se analizará la disponibilidad del componente original, ya que existen componentes que son escasos en el mercado, considerando criterios de importación y demoras en la entrega de componentes.

Los puntos mencionados ayudaran a evaluar los beneficios del uso de la digitalización 3D junto a la fabricación aditiva. Y de igual manera, conocer los beneficios frente al proceso tradicional de adquisición de repuestos.



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los resultados obtenidos se organizan de acuerdo con los objetivos planteados, desde la selección de componentes hasta el desarrollo de un protocolo de escaneo tridimensional para su digitalización. Asimismo, se analizó el material utilizado en la fabricación de dichos componentes. Finalmente, se lleva cabo una comparación entre el componente original y el fabricado mediante impresión 3D, evaluando aspectos como peso, precio y disponibilidad en el mercado, lo que permitió evidenciar el impacto y la aplicabilidad de esta tecnología en el contexto automotriz.

#### 4.1. Componentes seleccionados para la digitalización 3D

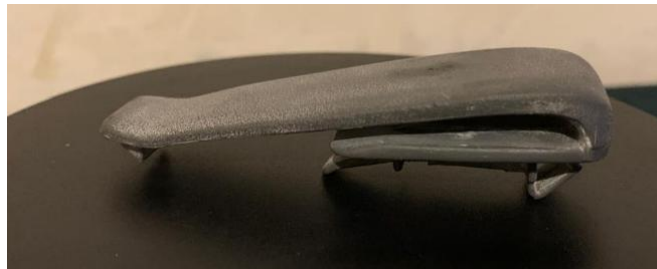
La selección de los componentes se fundamentó en un análisis previo que identificó que las autopartes plásticas interiores presentan un alto potencial para ser digitalizadas mediante tecnologías 3D. Dentro de este grupo se encuentran piezas como, perillas, botones, rejillas de ventilación y otros accesorios de tamaño reducido, los cuales, por sus características geométricas y funcionales, resultan adecuados para procesos de escaneo y modelado digital.

A continuación, se presentan los componentes seleccionados para el desarrollo del estudio.

En la Figura 29 se presenta un accesorio del cinturón de seguridad perteneciente a un Hyundai Terracan. Este componente fue seleccionado debido a la dificultad de ser obtenido en el mercado, condición que respalda su digitalización 3D con el objetivo de facilitar su reproducción mediante fabricación aditiva.



**Figura 29.** Accesorio del cinturón de seguridad



La Figura 30 muestra una perilla de calefacción de una Chevrolet D-Max. Este componente fue seleccionado debido a que dicho componente suele presentar inconvenientes, lo que impide su correcto ensamble con el vehículo. En este caso, la digitalización 3D permite obtener la geometría del componente para posteriormente ser reconstruido.

**Figura 30.** Perilla de la calefacción



En la Figura 31 se visualiza una brida de la compuerta trasera de un Chevrolet ónix. Este componente fue seleccionado debido a que presenta daños físicos y su reemplazo suele ser complicado por su escasa disponibilidad comercial. Por tal razón, se optó por su digitalización y posterior reconstrucción para viabilizar su fabricación.



**Figura 31.** Brida de compuerta trasera



La Figura 32 presenta las rejillas de ventilación perteneciente al Skoda Octavia. Estas piezas fueron seleccionadas debido a que frecuentemente presentan roturas en la zona de unión de las rejillas delanteras, lo que dificulta el movimiento adecuado de las rejillas. Por tal razón, la digitalización 3D facilita la obtención de la geometría del componente para su posterior rediseño.

**Figura 32.** Rejillas del aire acondicionado



#### 4.2. Preparación del área de trabajo

En la Figura 33 se muestra el escáner Revopoint MIRACO PRO utilizado para el desarrollo del protocolo de digitalización.



**Figura 33.** Escáner utilizado



A continuación, se procedió con la preparación tanto del entorno de trabajo como del objeto a escanear. En primer lugar, se selecciona el área de trabajo donde se realiza el proceso de digitalización, el entorno debe estar limpio y libre de exposición directa a la luz, condición facilita la captura precisa de la nube de puntos. La Figura 34 presenta la disposición de un trípode y una base giratoria. El trípode servirá como soporte para mantener fijo el escáner 3D, mientras que la base giratoria permitirá colocar y rotar el objeto, asegurando una captura más completa de su geometría. Es importante tener en cuenta la distancia entre el escáner y el componente, en este caso, se empleó una distancia que oscila entre 120 mm y 50 mm, para obtener resultados más precisos en el proceso de captura de nube de puntos.

**Figura 34.** Área de trabajo

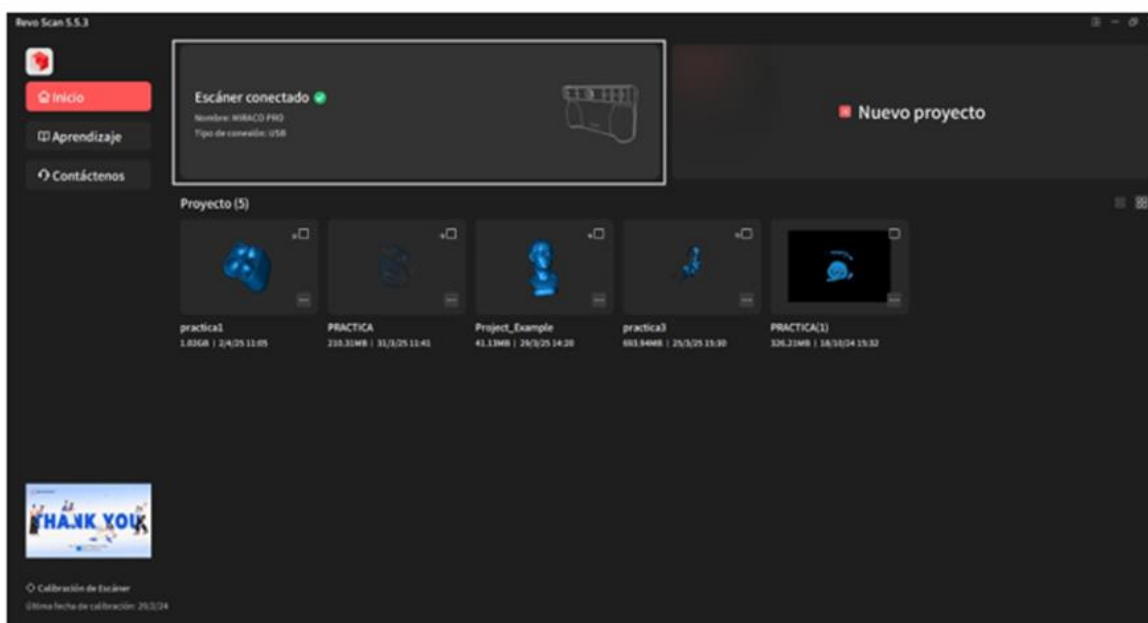




### 4.3. Proceso de vinculación de escáner y computadora

Antes de iniciar con el proceso de digitalización, es importante que la conexión se haya realizado correctamente, es necesario tener el software abierto. En la interfaz del programa, se mostrará que el escáner ha sido vinculado correctamente como se puede visualizar en la Figura 35, confirmando que la conexión ha sido exitosa y que el dispositivo está listo para su uso para posteriormente iniciar con un nuevo proyecto.

**Figura 35.** Interfaz de software Revo Scan 5



### 4.4. Digitalización del accesorio del cinturón de seguridad

#### 4.4.1. Preparación del componente

En la Figura 36 se presenta el componente completamente listo para el proceso de digitalización 3D. Se aplicó una capa uniforme de talco sobre la superficie del componente, con el fin de mejorar la captura de detalles geométricos.



**Figura 36.** Accesorio de cinturón de seguridad con talco



#### 4.4.2. Configuración de escaneo

Tras preparar el componente, ya se inicia con la configuración de escaneo para obtener una captura de nube de puntos eficiente. Para ello se optó por utilizar un modo de escaneo continuo ya que permite capturar puntos de manera secuencial. En la Tabla 5, se aprecia los parámetros aplicados durante la digitalización para garantizar una captura precisa.

**Tabla 5.** Configuración de escaneo del accesorio del cinturón de seguridad

| <b>Configuración de escaneo</b> |                                |
|---------------------------------|--------------------------------|
| Modo de escaneo                 | Continuo                       |
| Precisión                       | Alta precisión                 |
| Modo de seguimiento             | Seguimiento de características |
| Tipo de objeto                  | Objeto General                 |
| Distancia de escaneo (mm)       | 120-150                        |

#### 4.4.3. Parámetros de edición de nube de puntos

Finalizado el proceso de digitalización de este componente se procedió a realizar la fusión avanzada de nube de puntos. Se colocó una distancia del punto más bajo de 0.10 mm para obtener resultados de mayor calidad. Posteriormente, tras obtener la fusión de nube de puntos, se realizó la edición de nube de puntos, que consiste en eliminar datos innecesarios capturados por el escáner para obtener un modelo digital más claro y limpio.



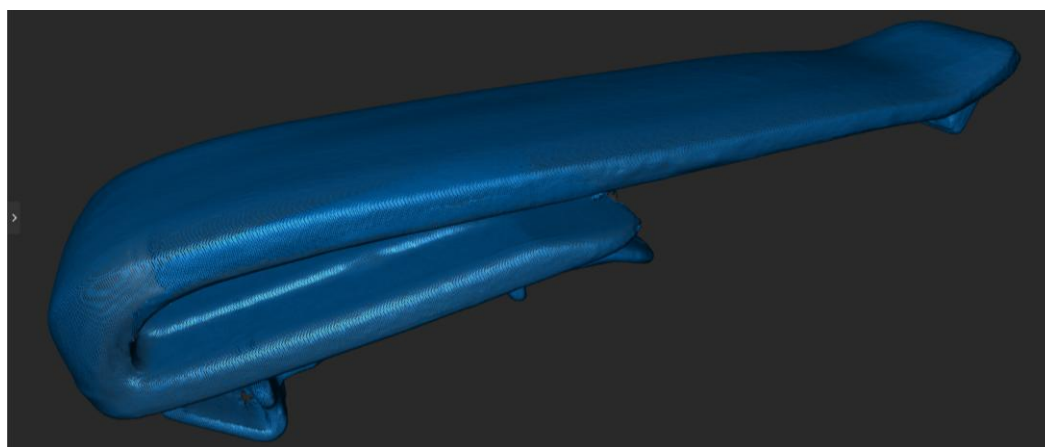
En la Tabla 6, se muestra el resumen de los parámetros aplicados para la edición de nube de puntos para dicho componente.

**Tabla 6.** Parámetros de nube de puntos para el accesorio del cinturón de seguridad

| <b>Parámetros de edición de nube de puntos</b> |                      |
|--|----------------------|
| Método de fusión                               | Avanzado- Optimizado |
| Tiempo de fusión de nube de puntos (min)       | 4                    |
| Método de fusión- Distancia del punto (mm)     | 0.10                 |
| Aislamiento (%)                                | 100                  |
| Detección de superposición                     | 0.50                 |

En la Figura 37, se puede apreciar el resultado visual de la nube de puntos completamente modificada, considerando los parámetros indicados en la tabla 5. De esta manera, se consiguió una nube de puntos editada y lista para el proceso de construcción de malla.

**Figura 37.** Resultado de edición de nube de puntos del accesorio del cinturón de seguridad



**4.4.4. Parámetros de edición de mallas**

En este apartado se llevó a cabo la edición de malla. Para ello, se emplea una calidad de 8 % con un tamaño de cuadrícula de 0.02 mm, el valor máximo disponible, con el fin de presentar un nivel de detalle superior y superficies mejor definidas. Tras haber realizado la construcción de malla, es importante editar la malla para corregir posibles errores y eliminar



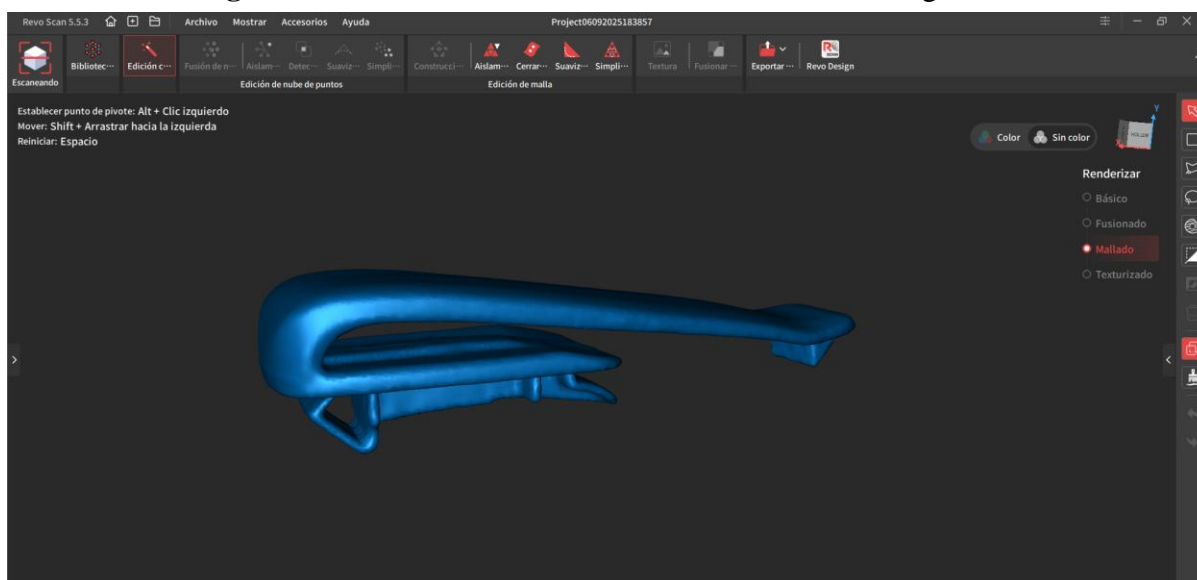
automáticamente las superficies desconectadas del objeto principal. En la Tabla 7, se indican los parámetros utilizados para la edición de mallas de dicho componente.

**Tabla 7.** Parámetros de edición de mallas del accesorio del cinturón de seguridad

| <b>Parámetros de edición de mallas</b> |     |
|--|-----|
| Calidad de construcción de malla (%)   | 8   |
| Aislamiento (%)                        | 100 |
| Tiempo de construcción de malla (min)  | 4   |

Después de finalizar la edición del modelo, se puede observar en la Figura 38, el resultado final con la malla correctamente construida, quedando así el archivo digital que servirá como guía para su posterior modificación en un software CAD.

**Figura 38.** Modelo final del accesorio del cinturón de seguridad



## 4.5. Digitalización de la perilla de la calefacción

### 4.5.1. Preparación del componente

La Figura 39 muestra la perilla de calefacción recubierta con talco antes del proceso de digitalización. Esto ayuda al escáner a capturar de mejor manera la geometría del componente en zonas curvas, ayudando a una digitalización más precisa.



**Figura 39.** Perilla de calefacción con talco



**4.5.2. Configuración de escaneo**

Para este componente, una perilla de calefacción, se optó por realizar la captura de nube de puntos mediante el método de modo de escaneo continuo, método que permite registrar datos desde diferentes ángulos. En la Tabla 8, se presentan los parámetros de configuración adaptados a este componente. A diferencia del accesorio del cinturón de seguridad, en este caso se cambió la opción a “objeto oscuro”, lo que ayuda a un mejor reconocimiento de la superficie del componente.

**Tabla 8.** Configuración de escaneo para la perilla de calefacción

| <b>Configuración de escaneo</b> |                                |
|---------------------------------|--------------------------------|
| Modo de escaneo                 | Continuo                       |
| Precisión                       | Alta precisión                 |
| Modo de seguimiento             | Seguimiento de características |
| Tipo de objeto                  | Objeto Oscuro                  |
| Distancia de escaneo (mm)       | 120-150                        |

**4.5.3. Parámetros de edición de nube de puntos**

Tras completar el proceso de digitalización, se procedió a realizar la fusión avanzada de nube de puntos con la distancia del punto más bajo de 0.10 mm, esto implica conseguir una nube de puntos semejante a la superficie del componente. Además, es importante editar la nube de puntos para eliminar datos innecesarios capturados por el escáner, mediante la aplicación de la



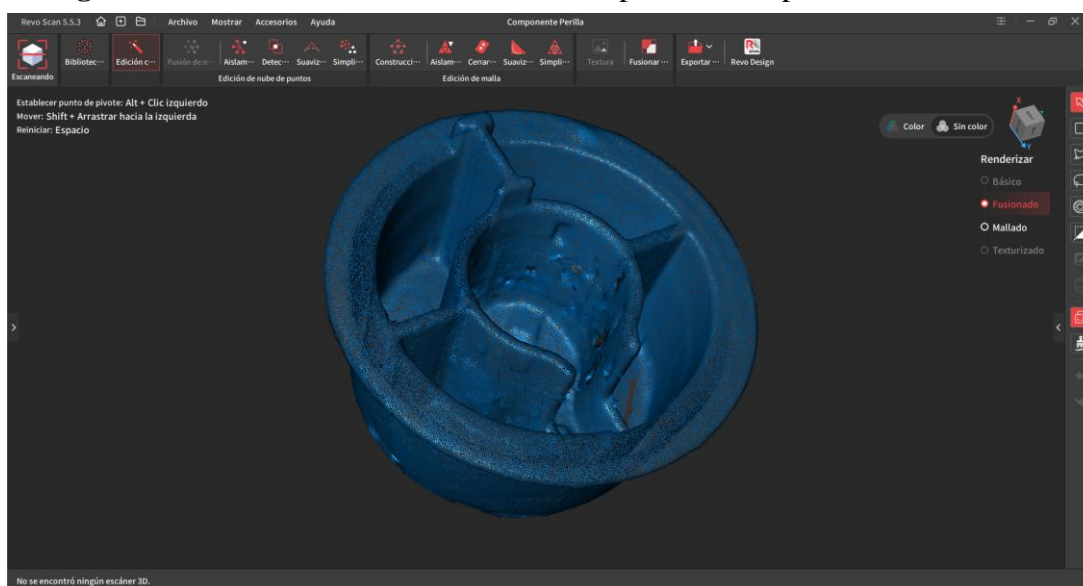
herramienta de "Aislamiento" y de igual manera, se utiliza la herramienta de "Detección de superposición" para asegurar la limpieza total de los datos innecesarios más lejanos a la nube de puntos obtenida. En la Tabla 9, se muestra el resumen de los parámetros aplicados para la edición de nube de puntos de dicho componente.

**Tabla 9.** Parámetros de edición de nube de puntos para la perilla de calefacción

| <b>Parámetros de edición de nube de puntos</b>        |                      |
|---|----------------------|
| Método de fusión                                      | Avanzado- Optimizado |
| Tiempo de fusión de nube de puntos (min)              | 1                    |
| Método de fusión- Distancia del punto (mm)            | 0.10                 |
| Aislamiento (%)                                       | 100                  |
| Detección de superposición (distancia vertical en mm) | 0.50                 |

En la Figura 40, se puede apreciar el resultado visual de la nube de puntos editada, considerando los parámetros indicados en la tabla 8. De esta manera, se obtuvo una nube de puntos editada y lista para el proceso de construcción de malla.

**Figura 40.** Resultado de edición de nube de puntos de la perilla de calefacción





#### 4.5.4. *Parámetros de edición de malla*

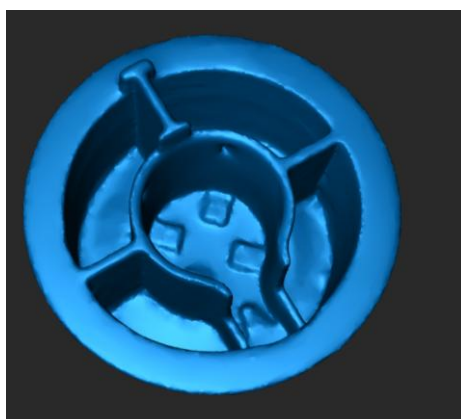
La construcción de malla empleada para este componente corresponde al 8 % con un tamaño de cuadrícula de 0.01 mm, el valor máximo disponible, con un tiempo de procesamiento de cinco minutos. Además, la construcción de malla genera superficies que no pertenecen al objeto principal, mediante la herramienta de “Aislamiento” se revisa nuevamente y se eliminan la mayor cantidad de puntos desconectados de la malla generada. En la Tabla 10, se indican los parámetros utilizados para la edición de mallas de dicho componente.

**Tabla 10.** Parámetros de edición de mallas de la perilla de calefacción

| <b>Parámetros de edición de mallas</b> |     |
|--|-----|
| Calidad de construcción de malla (%)   | 8   |
| Aislamiento (%)                        | 100 |
| Tiempo de construcción de malla (min)  | 5   |

Finalizado este proceso, se puede observar en la Figura 41, el resultado final con la malla editada completamente, preparado para ser exportado en formato STL, lo cual se toma guía para su posterior manipulación en un software CAD.

**Figura 41.** Modelo final de la perilla de calefacción





**4.6. Digitalización de brida automotriz**

**4.6.1. Preparación del componente**

La Figura 42 presenta el componente preparado para su digitalización. La aplicación de talco alrededor de su superficie ayuda a eliminar reflejos y mejorar la capacidad del escáner para obtener la nube de puntos deseada.

**Figura 42.** Brida de compuerta trasera con talco



**4.6.2. Configuración de escaneo**

Para el proceso de digitalización de este componente, se configuran los parámetros de escaneo más convenientes de acuerdo a la geometría del componente, como se observa en la Tabla 11. Dado que el componente presenta una geometría compleja, se realizó un escaneo continuo que ayudará a una captura de puntos desde diferentes ángulos con una precisión alta. Y de igual manera, en este caso, se cambió la opción a “objeto oscuro”, lo que ayuda a un mejor reconocimiento de la superficie del componente.

**Tabla 11.** Configuración de escaneo de brida automotriz

| <b>Configuración de escaneo</b> |                                |
|---------------------------------|--------------------------------|
| Modo de escaneo                 | Continuo                       |
| Precisión                       | Alta precisión                 |
| Modo de seguimiento             | Seguimiento de características |
| Tipo de objeto                  | Objeto Oscuro                  |
| Distancia de escaneo (mm)       | 120-150                        |



**4.6.3. Parámetros de edición de nube de puntos**

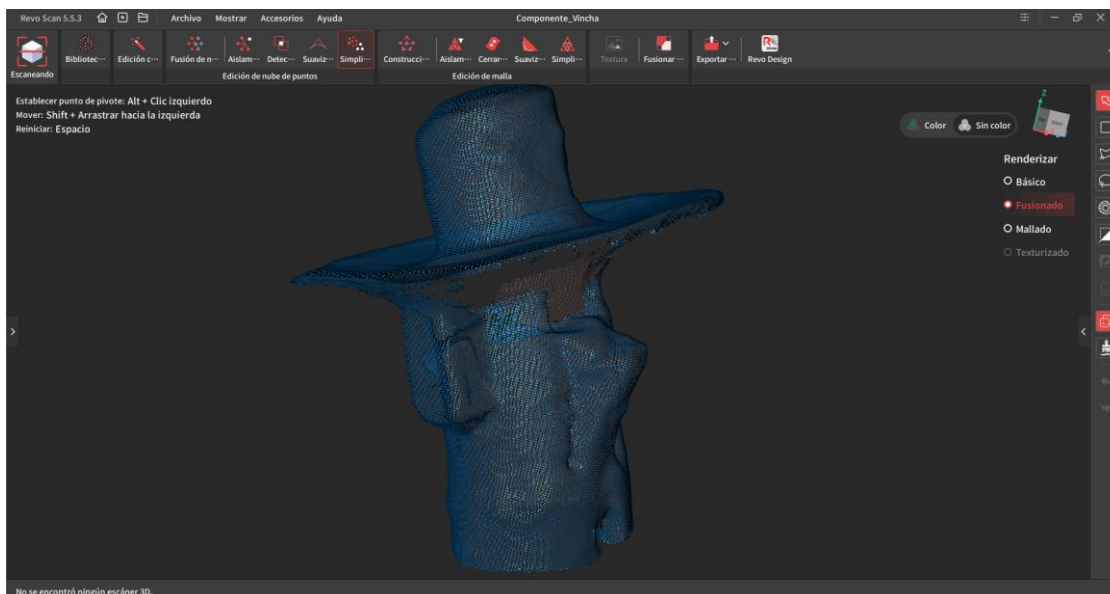
Obtenida la nube de puntos, se procedió a realizar la fusión avanzada de nube de puntos con la distancia del punto más bajo de 0.10 mm que contribuye a obtener un modelo claro y preciso. Tras obtener la fusión de nube de puntos, es importante editar la nube de puntos para eliminar datos innecesarios capturados por el escáner. En la Tabla 12, se muestra el resumen de los parámetros aplicados para la edición de nube de puntos de dicho componente.

**Tabla 12.** Parámetros de edición de nube de puntos de brida automotriz

| Parámetros de edición de nube de puntos               |                      |
|---|----------------------|
| Método de fusión                                      | Avanzado- Optimizado |
| Tiempo de fusión de nube de puntos (min)              | 1                    |
| Método de fusión- Distancia del punto (mm)            | 0.10                 |
| Aislamiento (%)                                       | 100                  |
| Detección de superposición (distancia vertical en mm) | 0.50                 |

En la Figura 43, se puede visualizar el resultado de la nube de puntos completamente editada, para su posterior construcción y edición de malla.

**Figura 43.** Resultado de edición de nube de puntos de la brida automotriz





**4.6.4. Parámetros de edición de malla**

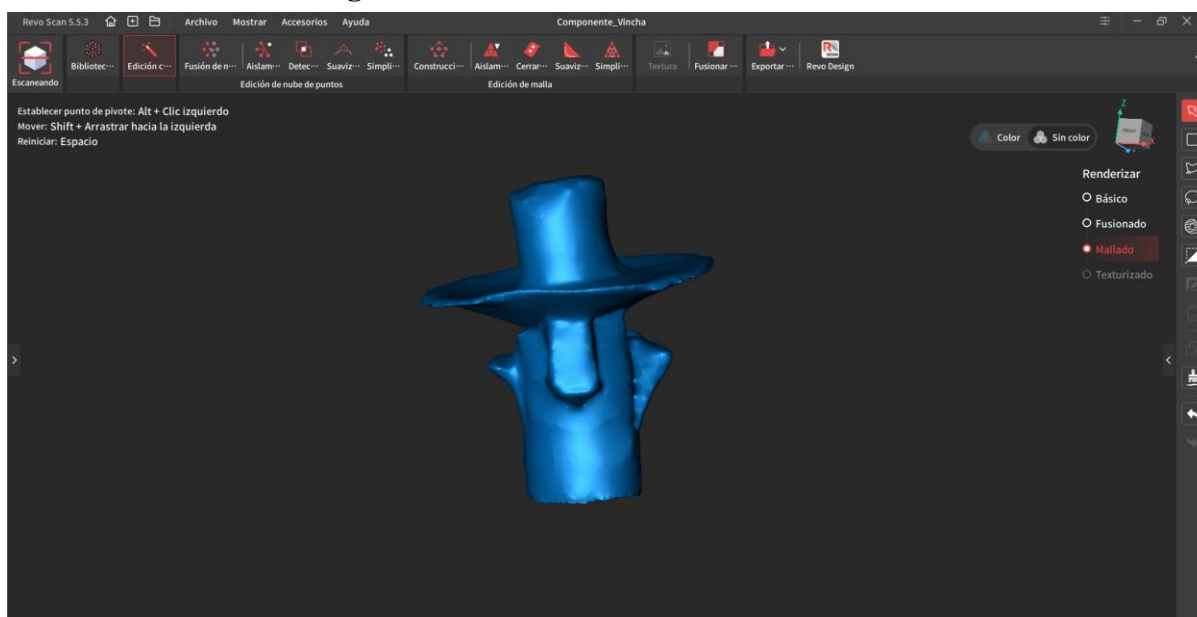
Para este componente los parámetros utilizados en la construcción de malla son de un valor del 8% con un tamaño de cuadrícula de 0.01 mm, el valor máximo disponible, con un tiempo de procesamiento de cinco minutos. Además, mediante la herramienta de “Aislamiento” se revisan nuevamente las superficies generadas, eliminando aquellas que no pertenecen al objeto principal. En la Tabla 13, se indican los parámetros utilizados para la edición de mallas de dicho componente.

**Tabla 13.** Parámetros de edición de mallas de la brida automotriz

| <b>Parámetros de edición de mallas</b> |     |
|--|-----|
| Calidad de construcción de malla (%)   | 8   |
| Aislamiento (%)                        | 100 |
| Tiempo de construcción de malla (min)  | 5   |

Después de finalizar la edición del modelo, se puede observar en la Figura 44, el modelo digital se encuentra modificado correctamente. Ahora, el modelo digital está listo para ser exportado en formato STL, permitiendo su posterior importación a un software CAD.

**Figura 44.** Modelo final de brida automotriz





**4.7. Digitalización de rejillas del aire acondicionado**

**4.7.1. Preparación del componente**

La Figura 45 muestra que en cada uno de los componentes que conforman las rejillas del aire acondicionado se aplicó el talco alrededor de toda su superficie. Este paso ayuda a mejorar la captura de la geometría de cada componente, especialmente en zonas complejas y brillantes, que dificulta el proceso de digitalización.

**Figura 45.** Rejilla de aire acondicionado con talco



**4.7.2. Configuración de escaneo**

Los parámetros de escaneo utilizados en este componente se pueden apreciar en la Tabla 14, los cuales ayudan a capturar la geometría del componente de manera continua. Y de igual manera, en este caso, se utilizó la opción “objeto oscuro”, lo que ayuda a un mejor reconocimiento de la superficie del componente.

**Tabla 14.** Configuración de escaneo de rejillas de aire acondicionado

| <b>Configuración de escaneo</b> |                                |
|---------------------------------|--------------------------------|
| Modo de escaneo                 | Continuo                       |
| Precisión                       | Alta precisión                 |
| Modo de seguimiento             | Seguimiento de características |
| Tipo de objeto                  | Objeto Oscuro                  |
| Distancia de escaneo (mm)       | 120-150                        |



**4.7.3. Parámetros de edición de nube de puntos**

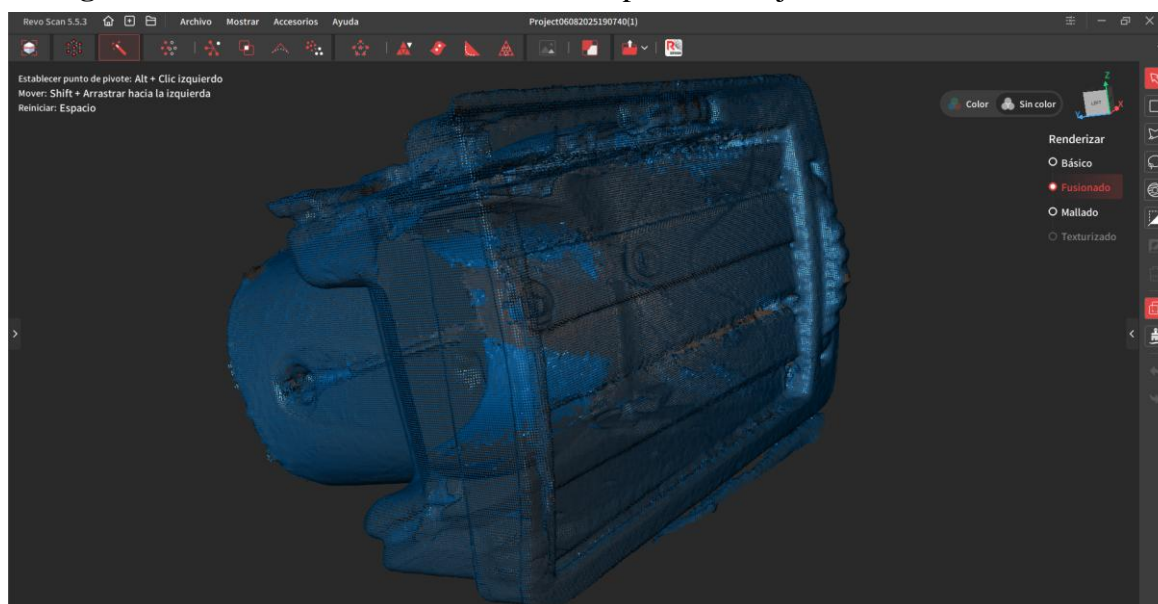
Obtenida la nube de puntos, se procedió a realizar la fusión avanzada de nube de puntos con la distancia del punto más bajo de 0.16 mm que contribuye a obtener un modelo claro y preciso. Tras obtener la fusión de nube de puntos, es importante editar la nube de puntos para eliminar datos innecesarios capturados por el escáner. En la Tabla 15, se muestra el resumen de los parámetros aplicados para la edición de nube de puntos de dicho componente.

**Tabla 15.** Parámetros de edición de nube de puntos

| <b>Parámetros de edición de nube de puntos</b>        |                      |
|---|----------------------|
| Método de fusión                                      | Avanzado- Optimizado |
| Tiempo de fusión de nube de puntos (min)              | 8                    |
| Método de fusión- Distancia del punto (mm)            | 0.16                 |
| Aislamiento (%)                                       | 100                  |
| Detección de superposición (distancia vertical en mm) | 0.50                 |

En la Figura 46 , se puede visulaizar el resultado de la nube de puntos completamente editada, para su posterior construcción y edición de malla.

**Figura 46.** Resultado de edición de nube de puntos de rejillas de aire acondicionado





#### 4.7.4. *Parámetros de edición de malla*

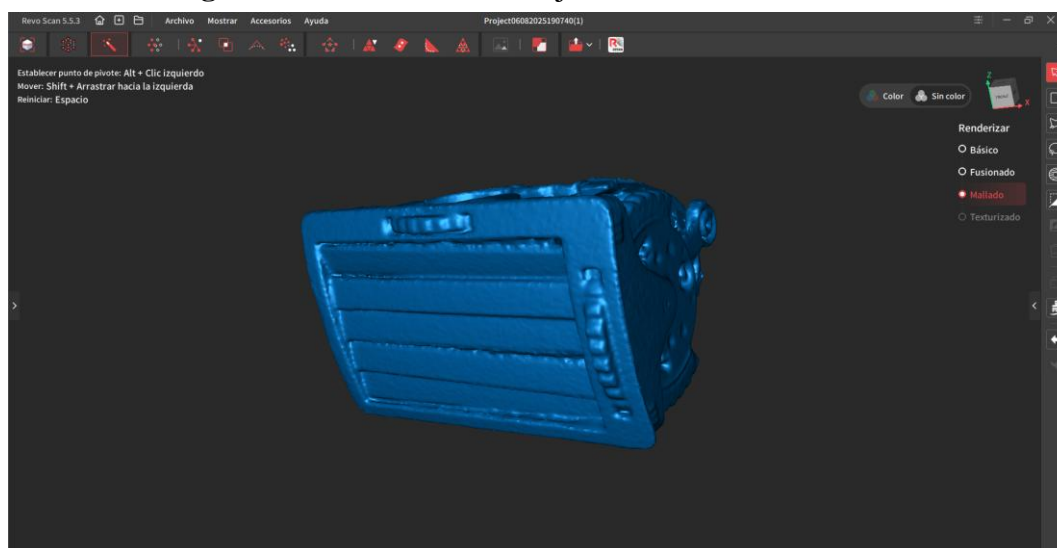
La construcción de malla empleada para este componente es de un valor del 6.9 % con un tamaño de cuadrícula de 0.06 mm, el valor máximo disponible, con un tiempo de procesamiento de ocho minutos. Además, la construcción de malla genera superficies que no pertenecen al objeto principal, mediante la herramienta de “Aislamiento” se revisa nuevamente y se eliminan la mayor cantidad de puntos desconectados del modelo. En la Tabla 16, se indican los parámetros utilizados para la edición de mallas de dicho componente.

**Tabla 16.** Parámetros de edición de malla de rejillas de aire acondicionado

| <b>Parámetros de edición de malla</b> |     |
|---------------------------------------|-----|
| Calidad de construcción de malla (%)  | 6.9 |
| Aislamiento (%)                       | 100 |
| Tiempo de construcción de malla (min) | 8   |

Finalizado este proceso, se puede observar en la Figura 47, el resultado final con la malla editada completamente, preparado para ser exportado en formato STL, lo cual permite su posterior modificación en un software CAD.

**Figura 47.** Modelo final de rejillas de aire acondicionado

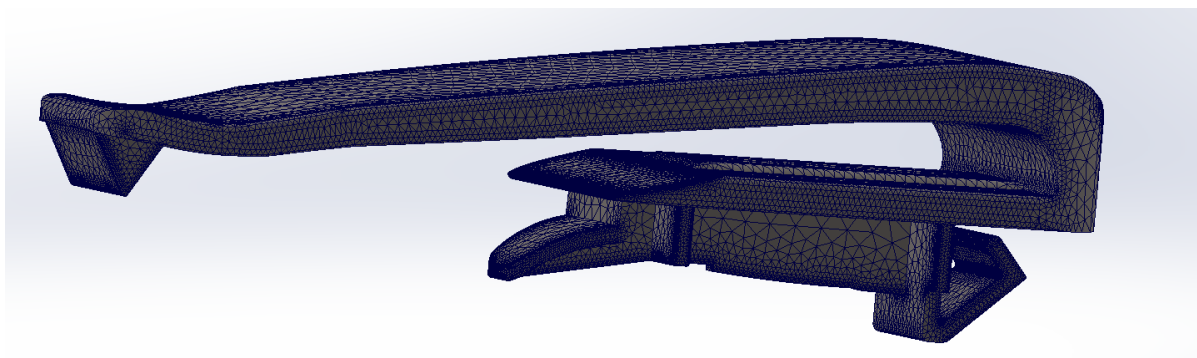




#### 4.8. Simulación del accesorio del cinturón de seguridad

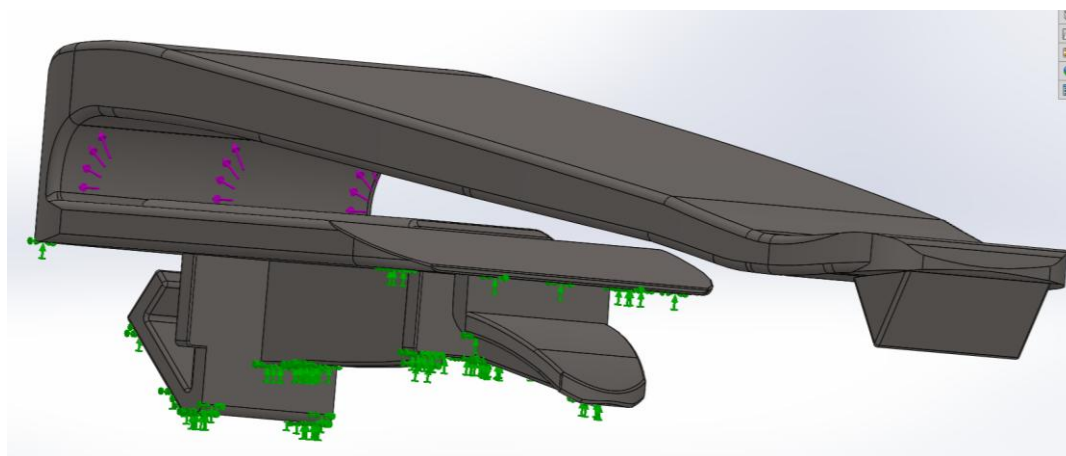
Para asegurar resultados con mayor confiabilidad en la simulación, es importante tener en cuenta la malla aplicada en el software. En este caso, se utiliza una densidad de malla fina y una malla de alta calidad, complementado con el método de mallado basado en curvatura combinada. Esta técnica permite adaptar automáticamente el tamaño de los elementos según las características geométricas del modelo, obteniendo una malla con mayor precisión, como se visualiza en la Figura 48.

**Figura 48.** Mallado de accesorio del cinturón de seguridad



En la Figura 49 se observa que la región de color verde corresponde al área que se mantiene fija, al tratarse de la parte ensamblada del componente. Por otro lado, la zona de color rosado indica el punto de aplicación de carga, que en este caso es de 44N [43].

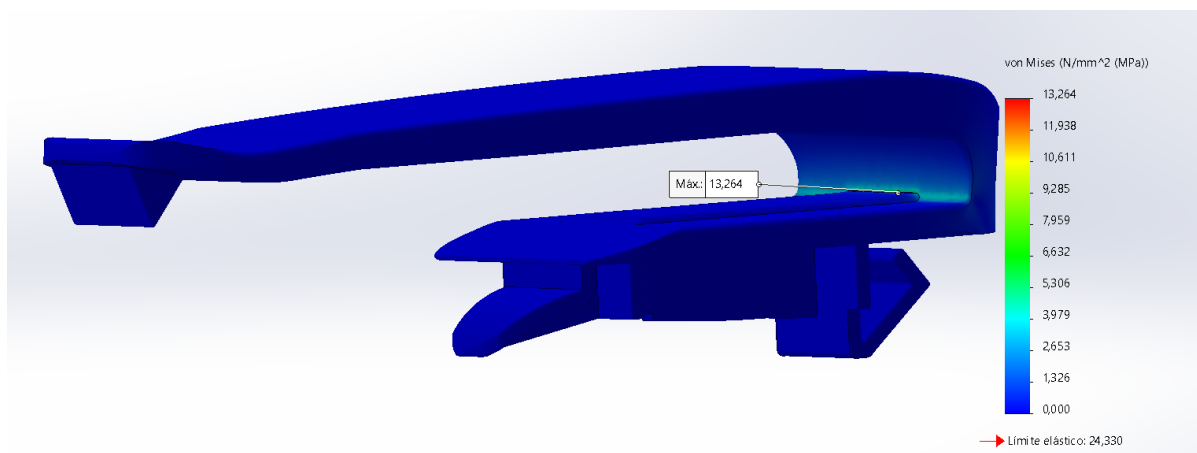
**Figura 49.** Parámetros para la simulación





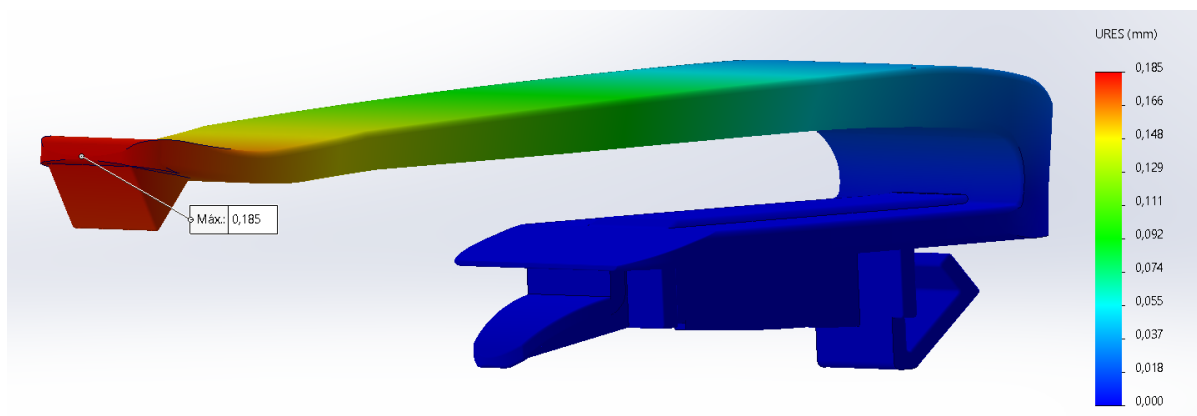
La Figura 50 muestra el esfuerzo máximo obtenido para dicho componente utilizando el material resina ABS like. Para este componente tiene un valor máximo de 13.26 MPa, inferior al límite elástico de 24.33 MPa, lo que indica que se encuentra dentro del rango de límites aceptables. Esto quiere decir que el material resistiría la fuerza aplicada y que la pieza no fallaría.

**Figura 50.** Esfuerzos de von Mises del accesorio del cinturón de seguridad



En la Figura 51 se indica que el color rojo muestra la zona en donde mayor deformación existe. Además, indica que la deformación máxima tiene un valor de 0.185 mm, lo cual es un valor insignificante, lo que quiere decir que se obtiene una respuesta adecuada antes la fuerza aplicada.

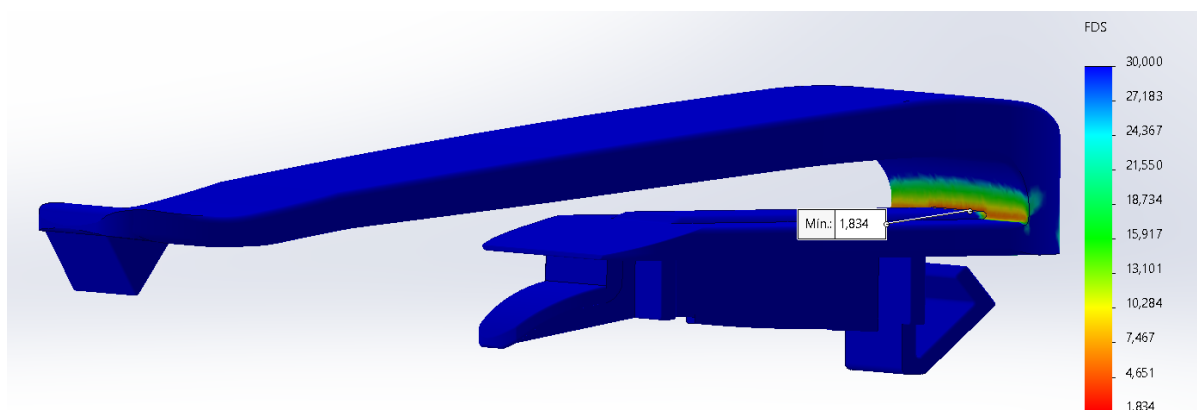
**Figura 51.** Deformación del accesorio del cinturón de seguridad





Un aspecto importante a tomar en cuenta es el factor de seguridad. La Figura 52 muestra que, en este caso, se obtiene un valor de 1.83. Al ser mayor al valor requerido, indica que el diseño mantiene su integridad estructural frente a las cargas aplicadas.

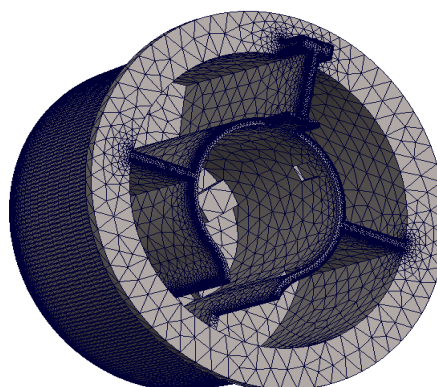
**Figura 52.** Factor de seguridad del accesorio del cinturón de seguridad



#### 4.9. Simulación de perilla de calefacción

Para asegurar resultados de mayor confiabilidad en simulación, es importante tener en cuenta la malla aplicada en el software. En este caso, se utiliza una densidad de malla fina y una malla de alta calidad, complementado con el método de mallado basado en curvatura combinada. Esta técnica permite adaptar automáticamente el tamaño de los elementos según las características geométricas del modelo, obteniendo una malla con mayor precisión, como se visualiza en la Figura 53.

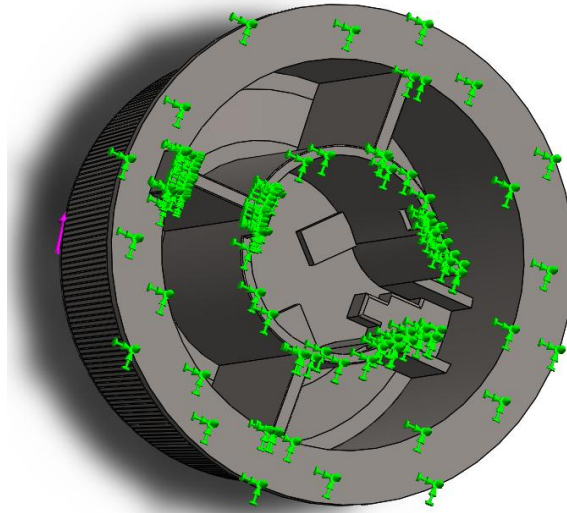
**Figura 53.** Mallado de perilla de calefacción





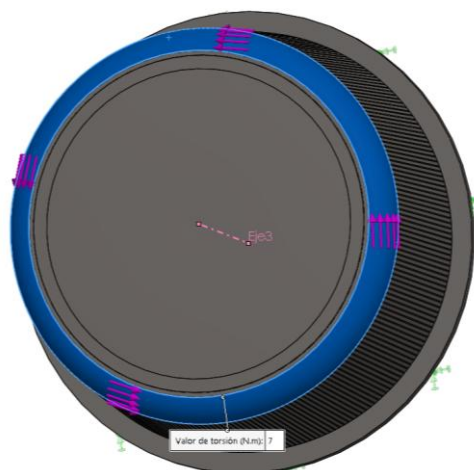
La Figura 54 muestra las restricciones planteadas para este componente, dichas restricciones dependen de la función que tiene el componente, donde la zona verde muestra la zona fija que corresponde a la zona ensamblado del componente.

**Figura 54.** Parámetros de simulación para la perilla de calefacción



La Figura 55 indica la zona en la cual se aplica una carga de torsión. En este caso, se considera una fuerza de 7N, que representa la fuerza que puede ejercer un operador humano mediante manipulación manual [44].

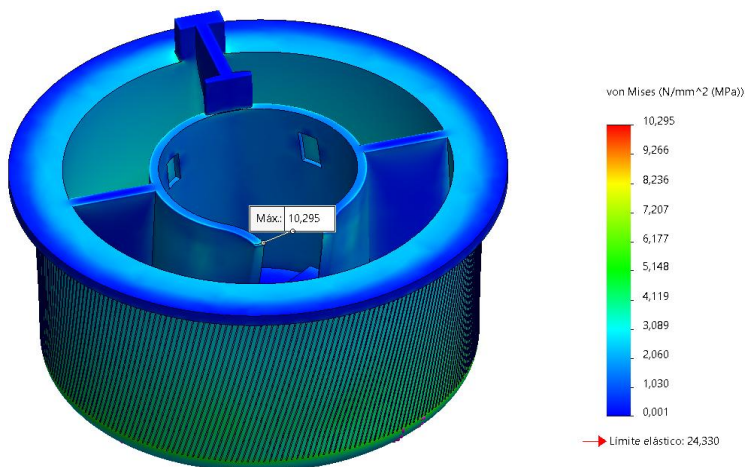
**Figura 55.** Zona de carga





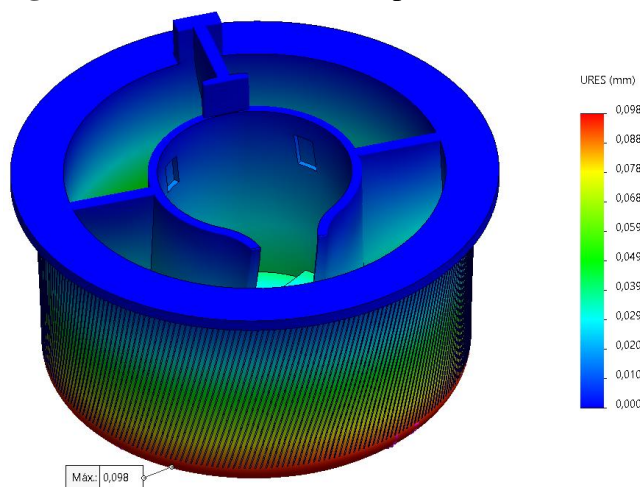
La Figura 56 muestra el esfuerzo máximo obtenido para dicho componente utilizando el material resina ABS-Like, en este caso, tiene un valor máximo de 10.29 MPa, menor al límite elástico de 24.33 MPa, lo que quiere decir que se encuentra dentro del rango de límites aceptables. Esto quiere decir que el material resistiría la fuerza aplicada y que la pieza no fallaría.

**Figura 56.** Esfuerzos de von Mises de la perilla de calefacción



En la Figura 57 se observa que el color rojo muestra la zona en donde mayor deformación existe. Además, indica que la deformación máxima tiene un valor de 0.098 mm, valor muy pequeño, que muestra que se obtiene una respuesta adecuada ante la fuerza aplicada.

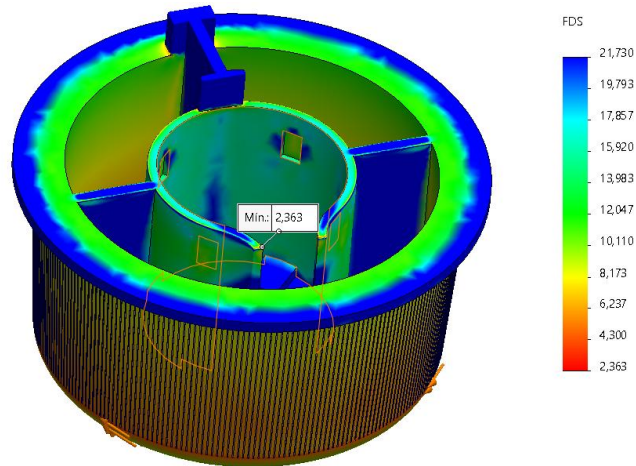
**Figura 57.** Deformación de la perilla de calefacción





La Figura 58 muestra que el factor de seguridad obtenido es 2.36, valor que confirma la validez del diseño, debido a que resistiría la carga aplicada sin tener ninguna falla.

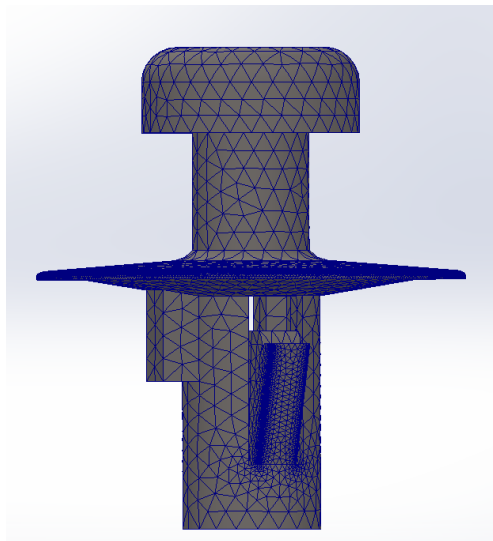
**Figura 58.**Factor de seguridad de la perilla de calefacción



#### 4.10. Simulación de brida automotriz

Para asegurar resultados con mayor confiabilidad en la simulación, es importante tener en cuenta la malla aplicada como se observa en la Figura 59. La malla aplicada cuenta con una densidad de malla fina y una malla de alta calidad, complementado con el método de mallado basado en curvatura combinada.

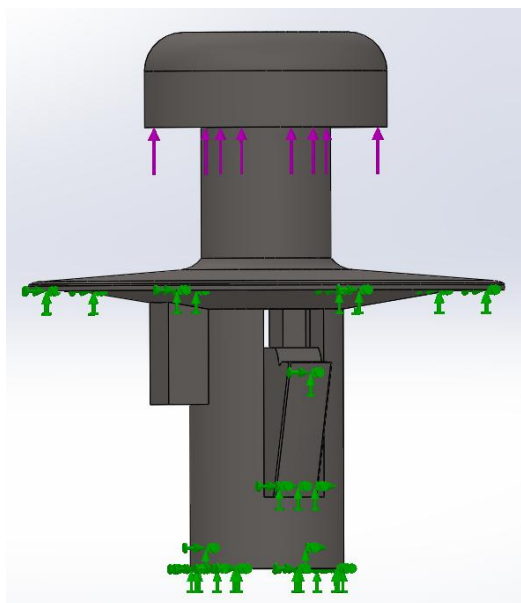
**Figura 59.** Mallado de brida





En la Figura 60 se observa que la región de color verde corresponde al área que se mantiene fija, correspondiente a la parte ensamblada del componente. Por otro lado, las flechas de color violeta indica el punto de aplicación de carga, que en este caso es 30N, debido a que el peso que sujeta este componente es 3.1.kg [45].

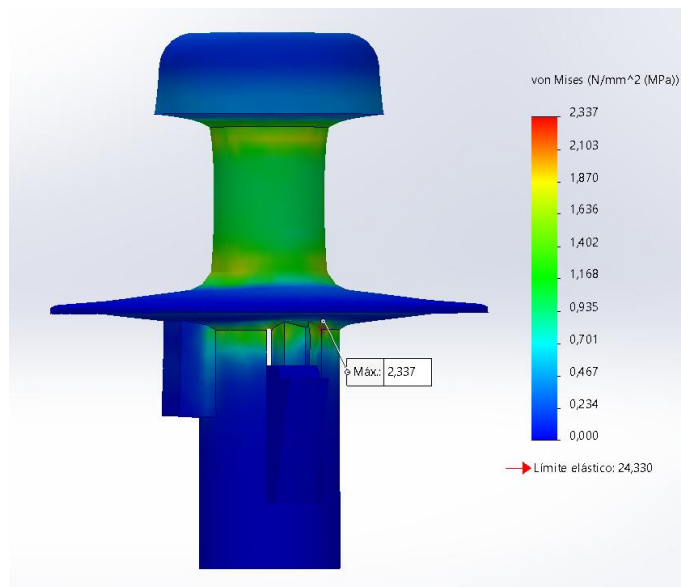
**Figura 60.** Parámetros de simulación de la brida



En la Figura 61, se muestra el esfuerzo máximo obtenido para dicho componente utilizando el material resina ABS like, en este caso, tiene un valor máximo de 2.33 MPa, menor al límite elástico de 24.33 MPa, lo que quiere decir que se encuentra dentro del rango de límites aceptables. Esto quiere decir que el material resistiría la fuerza aplicada y que la pieza no fallaría.

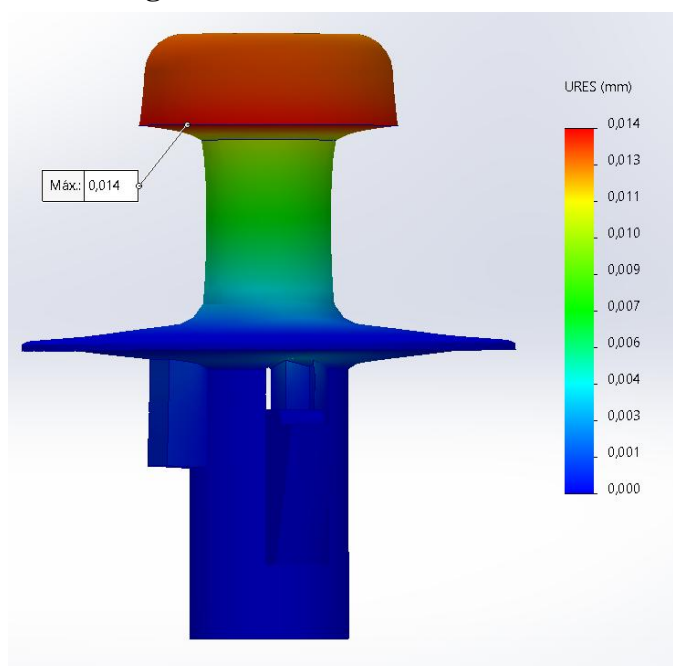


**Figura 61.** Esfuerzos de von Mises de la brida



En la Figura 62 se muestra que el color rojo muestra la zona en donde mayor deformación existe. Además, indica que la deformación máxima tiene un valor de 0.014 mm, lo cual es un valor insignificante, lo que quiere decir que se obtiene una respuesta adecuada antes la fuerza aplicada.

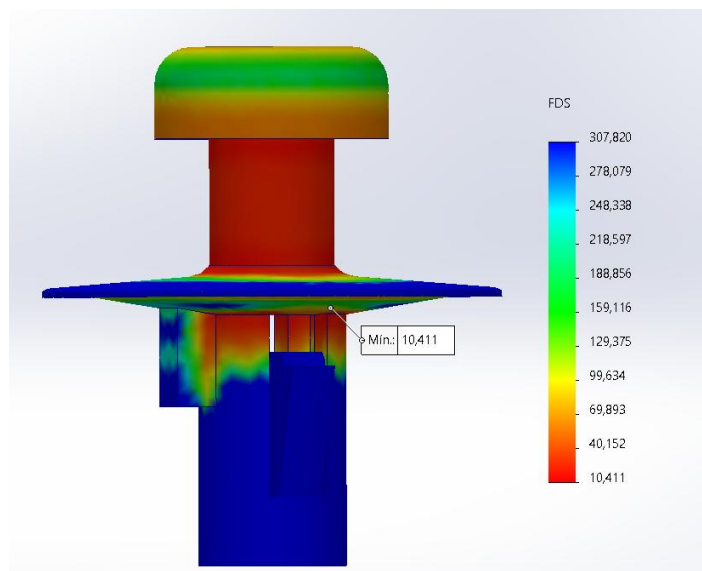
**Figura 62.** Deformación de la brida





En la Figura 63 se observa un factor de seguridad de 10.41, lo cual indica un margen estructural considerable frente a la carga aplicada. Este valor elevado es favorable, ya que la brida está sometido a esfuerzos repetitivos cada vez que se abre o cierra la compuerta trasera

**Figura 63.** Factor de seguridad de la brida

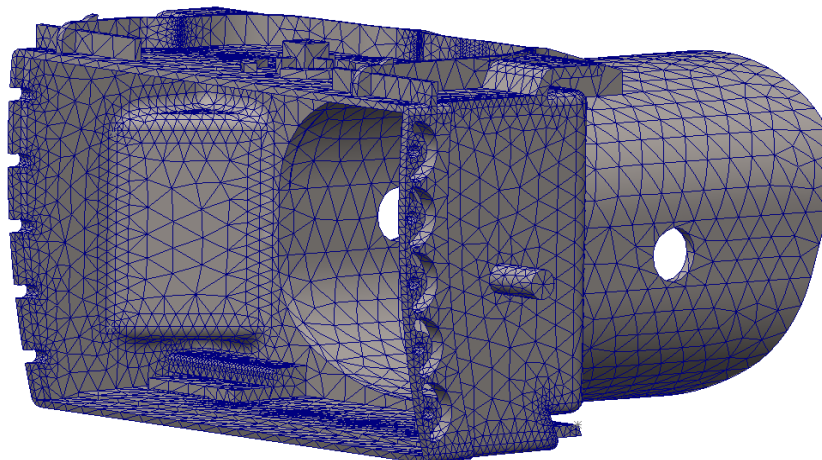


#### 4.11. Simulación de la carcasa de la rejilla de calefacción

Para iniciar con la simulación del componente es importante tener en cuenta la malla aplicada en el software. En este caso, se utiliza una densidad de malla fina y una malla de alta calidad, complementado con el método de mallado basado en curvatura combinada. Esta técnica permite adaptar automáticamente el tamaño de los elementos según las características geométricas del modelo, obteniendo una malla con mayor precisión, como se observa en la Figura 64.

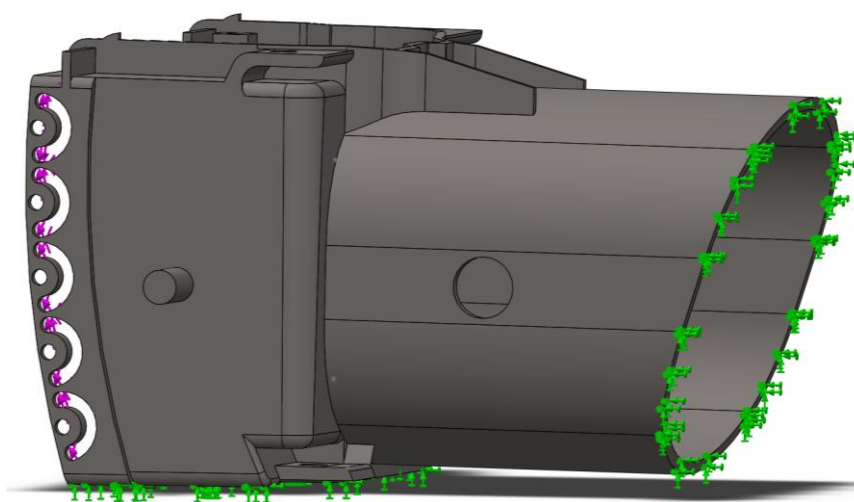


**Figura 64.** Mallado de la carcasa de las rejillas de calefacción



En la Figura 65 muestra que la región de color verde corresponde al área que se mantiene fija, correspondiente a la parte ensamblada del componente. Por otro lado, la zona de color rosado indica el punto de aplicación de carga, que en este caso es 7N.

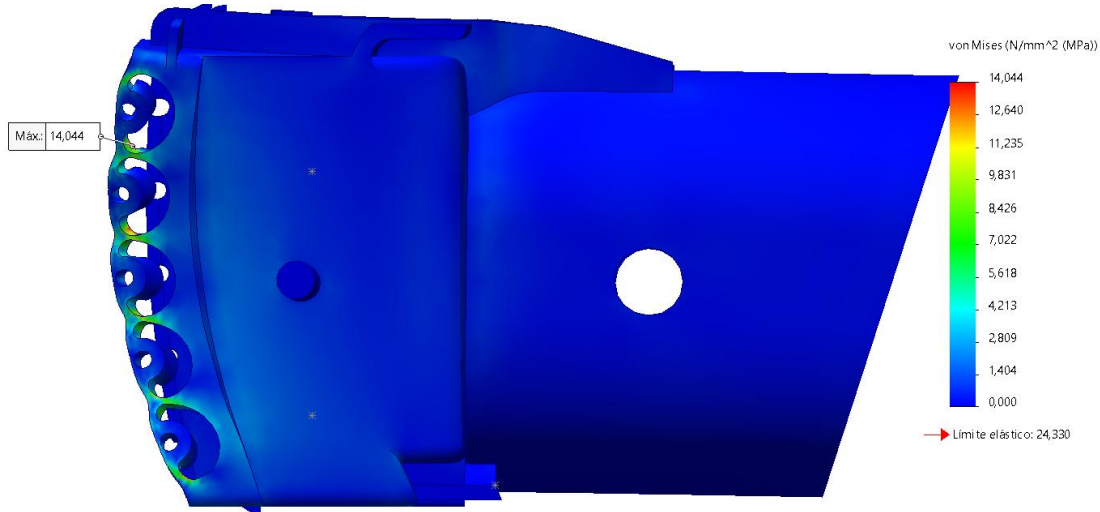
**Figura 65.** Parámetros de simulación de la carcasa de las rejillas de calefacción



La Figura 66 presenta el esfuerzo máximo obtenido para dicho componente utilizando el material resina ABS like, obteniendo un valor máximo de 14.04 MPa, menor al límite elástico de 24.33 MPa, lo que indica que se encuentra dentro del rango de límites aceptables. Esto quiere decir que el material resistiría la fuerza aplicada.



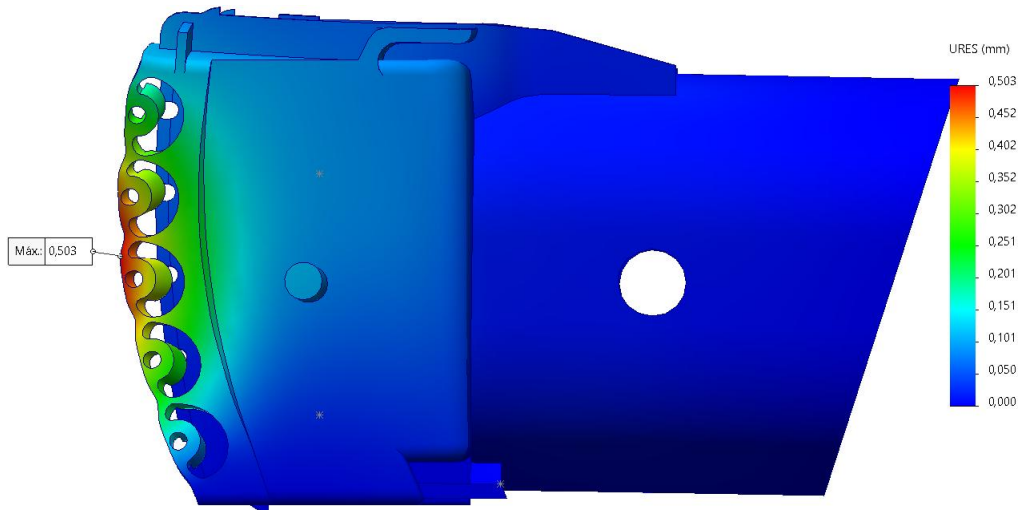
**Figura 66.** Esfuerzos de von Mises de la carcasa de las rejillas de calefacción



La Figura 67 indica que el color rojo muestra la zona en donde mayor deformación existe.

Además, indica que la deformación máxima tiene un valor de 0.50 mm, valor muy pequeño, que muestra que se obtiene una respuesta adecuada ante la fuerza aplicada.

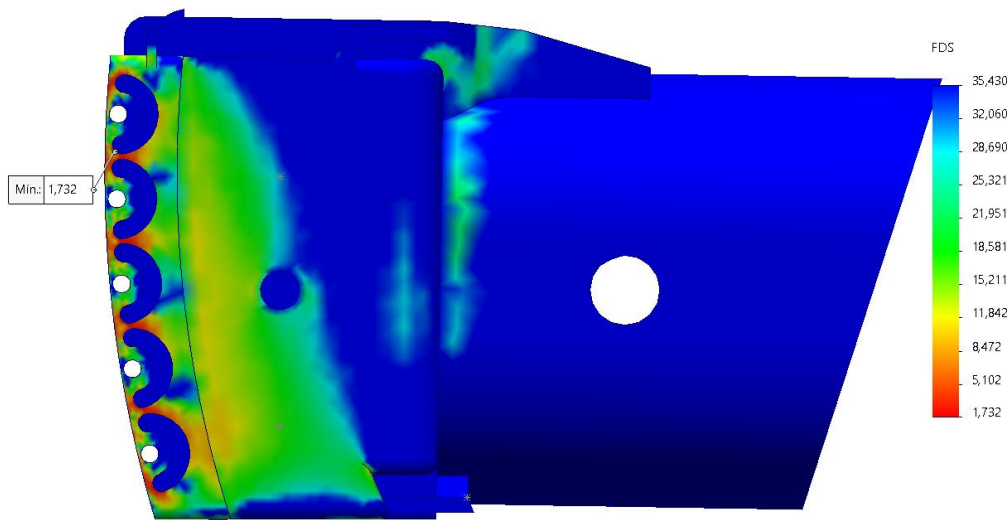
**Figura 67.** Deformación de la carcasa de las rejillas de calefacción



La Figura 68 presenta un factor de seguridad de 1.73. Al superar el valor mínimo requerido, indica que el diseño es válido debido a que soporta la carga aplicada sin comprometer su desempeño estructural.



**Figura 68.** Factor de seguridad de la carcasa de las rejillas de calefacción



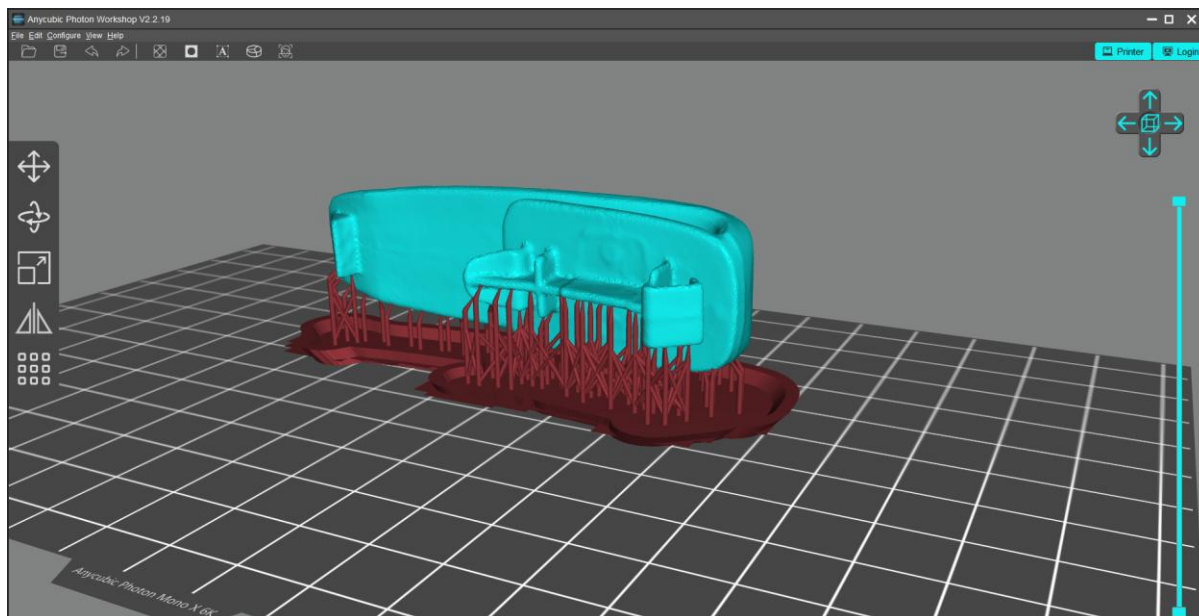
#### 4.12. Fabricación del accesorio del cinturón de seguridad

Una vez finalizada la edición del modelo digital, se procedió a exportar el archivo STL a un software de impresión 3D. En la etapa de preparación del componente, la pieza fue orientada de manera estratégica y se definió la generación de soportes, empleando soportes delgados con el fin de reducir el consumo de resina, como se observa en la Figura 69.

Además, el software permite conocer los parámetros de impresión, como el tiempo que tardará en imprimirse la pieza, en este caso, es 2 horas con 15 minutos con un consumo de resina de 11.49 mililitros.



**Figura 69.** Preparación del accesorio del cinturón de seguridad



En la Tabla 17, se muestra el resultado obtenido mediante el uso de impresión 3D, en donde se puede visualizar que el componente ha sido replicado de manera eficiente y cuenta con geometrías similares al componente original.

**Tabla 17.** Resumen de impresión del accesorio del cinturón de seguridad

| <b>Resumen de impresión del accesorio del cinturón de seguridad</b> |           |
|---|-----------|
| Soportes  | Delgados  |
| Tiempo de impresión   | 2h 15 min |
| Consumo de resina   | 11.49 ml  |

#### **4.13. Fabricación de la perilla de calefacción**

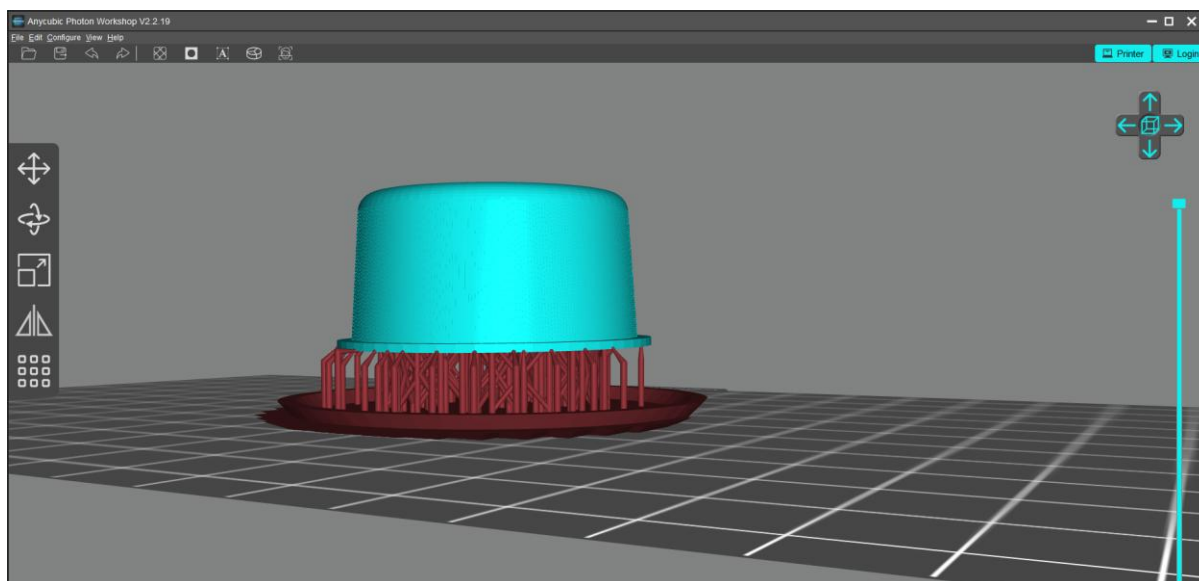
Una vez completada la edición del modelo digital correspondiente a la perilla de la calefacción, se procedió a exportar el archivo en formato STL para su preparación en el software de impresión 3D. El primer paso consistió en orientar adecuadamente la pieza dentro de la plataforma virtual de impresión, a fin de optimizar su fabricación. A continuación, se añadieron



los soportes necesarios, optando por estructuras delgadas con el objetivo de minimizar el consumo de resina durante el proceso. Esta configuración puede observarse en la Figura 70.

Además, el software permite conocer los parámetros de impresión, como el tiempo que tardará en imprimirse la pieza, en este caso, es 1 hora con 53 minutos con un consumo de resina de 11.54 mililitros.

**Figura 70.** Preparación de la perilla de calefacción



En la Tabla 18, se puede observar el resultado obtenido mediante la impresión 3D, que permite apreciar que el componente ha sido fabricado de manera

**Tabla 18.** Resumen de impresión de la perilla de calefacción

| <b>Resumen de impresión de la perilla de calefacción</b> |           |
|--|-----------|
| Soportes   | Delgados  |
| Tiempo de impresión                                      | 1h 53 min |
| Consumo de resina  | 11.54 ml  |



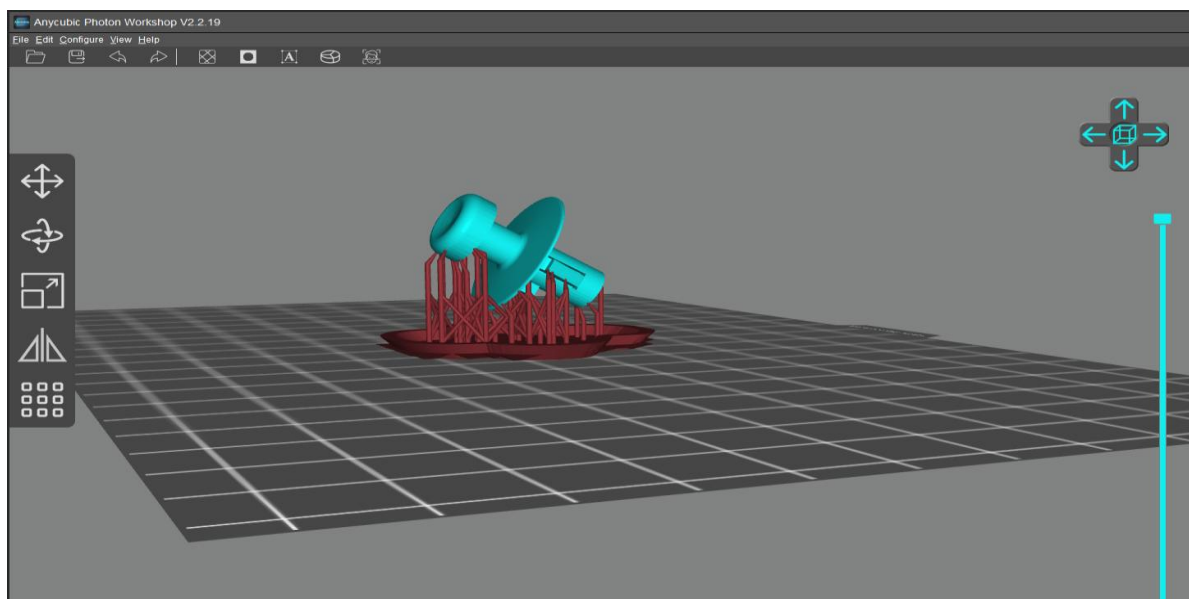


#### 4.14. Fabricación de brida automotriz

Una vez finalizada la etapa de edición del modelo digital correspondiente a la brida automotriz, se procedió a exportar el archivo en formato STL para su posterior procesamiento en el software de impresión 3D. El primer paso consistió en orientar correctamente la pieza dentro de la plataforma virtual, con el propósito de garantizar una fabricación eficiente.

A continuación, la Figura 71 muestra los soportes añadidos al componente, seleccionando estructuras delgadas para reducir el consumo de material durante el proceso. Además, el software permite conocer los parámetros relevantes del proceso, como el tiempo estimado de impresión, correspondiente a 1 hora con 37 minutos, y el consumo de resina requerido, el cual corresponde a 2.68 mililitros.

**Figura 71.** Preparación de la brida automotriz



En la Tabla 19, se muestra el resultado obtenido mediante el uso de impresión 3D, en donde se puede visualizar que el componente ha sido replicado de manera eficiente y cuenta con geometrías similares al componente original.



**Tabla 19.** Resumen de impresión de la brida automotriz

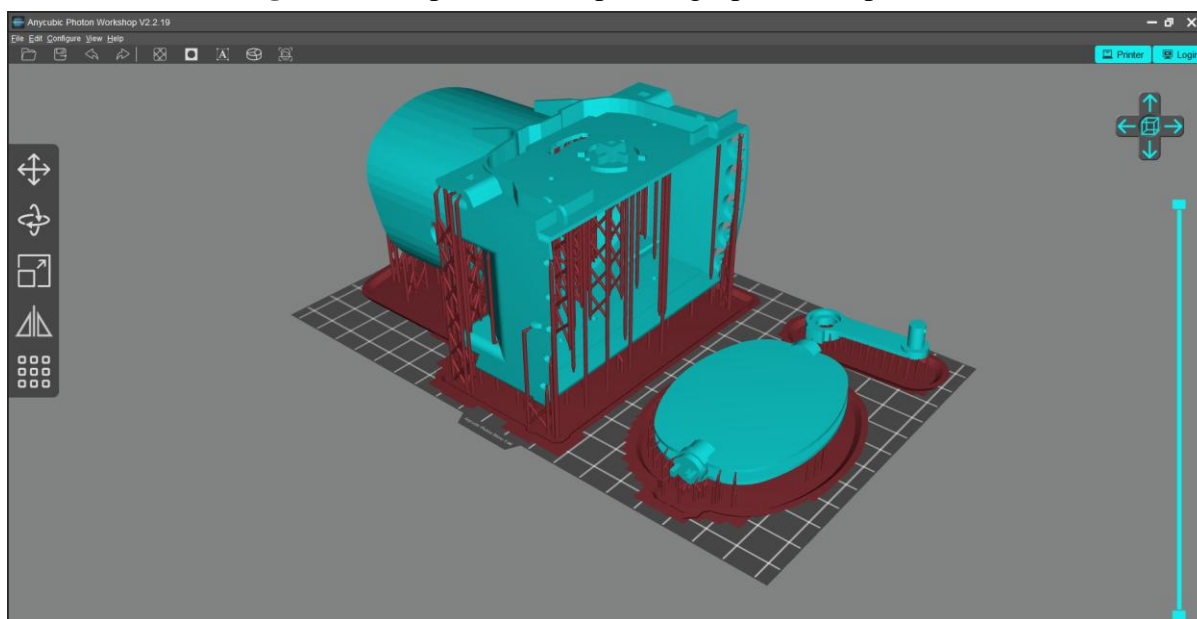
| <b>Resumen de impresión de la brida</b> |           |
|---|-----------|
| Soportes                                | Delgados  |
| Tiempo de impresión                     | 1h 37 min |
| Consumo de resina                       | 2.68 ml   |

#### 4.15. Fabricación de las rejillas de calefacción

Para iniciar con la fabricación de las rejillas de calefacción, fue necesario exportar el modelo digital en formato STL. Debido a que las rejillas de la calefacción están conformadas por varios componentes y considerando las limitaciones de la plataforma de impresión, el proceso, se dividió en tres etapas de fabricación.

En la Figura 72 se presentan los primeros componentes listos para la impresión 3D. Estos componentes incluyen soportes delgados generados por el software, con un tiempo de fabricación de 5 horas 2 minutos y un consumo de resina de 88.79 ml.

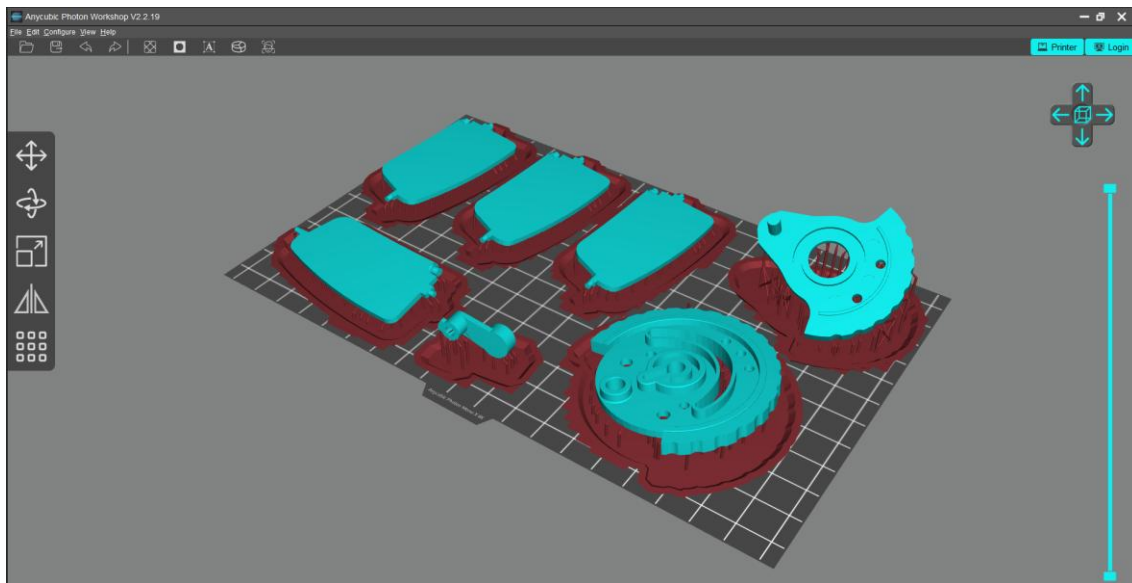
**Figura 72.** Preparación del primer grupo de componentes





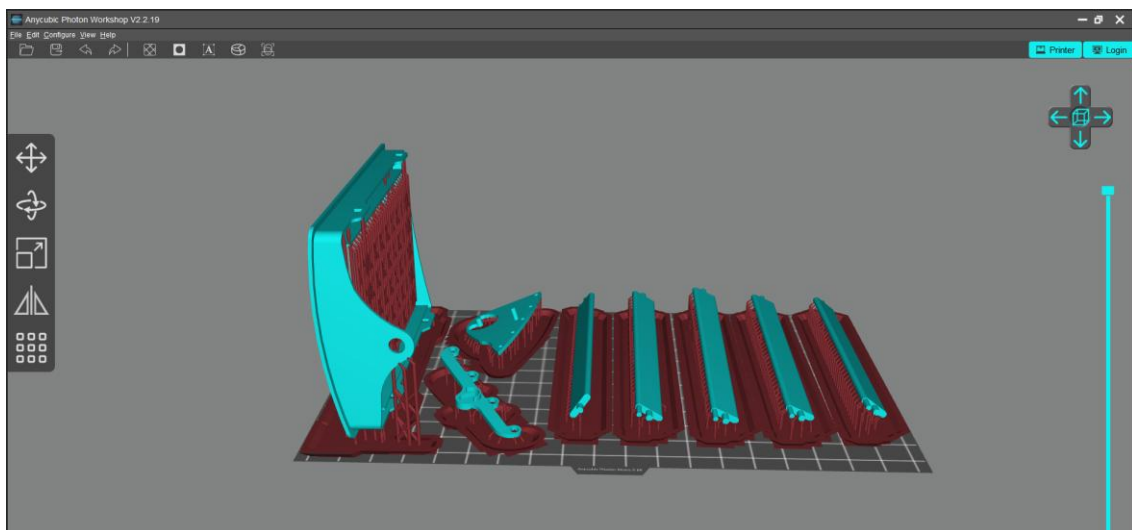
La Figura 73 muestra el segundo grupo de componentes preparados para impresión, de igual manera con soportes delgados. En este caso, el tiempo de fabricación es 2 horas 10 minutos, con un consumo de resina de 40.97 ml.

**Figura 73.** Preparación del segundo grupo de componentes



En la Figura 74 se observa el último conjunto de componentes de las rejillas, igualmente con soportes delgados. El tiempo de impresión fue de 4 horas 59 minutos, con un consumo de resina de 47.80 ml.

**Figura 74.** Preparación del primer grupo de componentes





Por último, en la Tabla 20 se presenta el resumen total de impresión de las rejillas de calefacción, donde se detallan los parámetros utilizados para que el componente haya sido fabricado de manera correcta.

**Tabla 20.** Resumen de impresión de las rejillas de calefacción

| <b>Resumen de impresión de las rejillas de calefacción</b> |           |
|--|-----------|
| Soportes   | Delgados  |
| Tiempo de impresión  | 12h 11min |
| Consumo de resina  | 177.55 ml |



#### **4.16. Análisis comparativo de componente original vs componente fabricado**

Tras finalizar con el proceso de fabricación de los componentes, se realizó una comparación del componente original y el fabricado por 3D, considerando criterios de costo, peso y disponibilidad en el mercado.

Antes de iniciar con la comparación de cada componente se debe tomar en cuenta el costo total de cada componente. Para ello, se tomaron como referencias los datos que se encuentra en la Tabla 21, la cual nos permite calcular el costo total de los componentes.



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



**Tabla 21.** Criterios para el cálculo total de los componentes

| <b>Criterios-Costo Total</b>         |       |
|--------------------------------------|-------|
| Costos de la maquina (\$)            | 600   |
| Piezas- Vida Útil                    | 720   |
| Consumo de energía- Impresora (KW/h) | 0.12  |
| Costo-Energía- Ecuador (\$*KWh)      | 0.092 |
| Costo-Energía-Impresora (\$*h)       | 0.011 |
| Costo-Resina (\$)                    | 45    |

La Tabla 22 muestra el costo total calculado de cada componente, donde se puede apreciar que el componente más costoso son las rejillas de calefacción, debido a que el consumo de energía es mayor, relacionado a un tiempo de fabricación mayor. Un aspecto importante a tener en cuenta, es el costo diseño, que está relacionado al tiempo de diseño para cada componente y la hora hombre que tiene un valor de 2.71 \$/hora. Para el obtener el modelo del accesorio del cinturón de seguridad se tomó un tiempo de 1.5 horas, la perilla de calefacción 1.5 horas, la brida 1 hora y las rejillas de calefacción 4.5 horas.

**Tabla 22.** Costo total de los componentes

**Costo total de los componentes fabricados**

| <b>Parámetros</b>                      | <b>Accesorio del cinturón</b> | <b>Perilla de calefacción</b> | <b>Brida</b> | <b>Rejillas de calefacción</b> |
|--|-------------------------------|-------------------------------|--------------|--------------------------------|
| Costo- Depreciación de la maquina (\$) | 0.83                          | 0.83                          | 0.83         | 0.83                           |
| Costos- Consumo de energía (\$)        | 0.024                         | 0.020                         | 0.017        | 0.13                           |
| Costo- Material (\$)                   | 0.45                          | 0.45                          | 0.045        | 5.4                            |
| Costo-Diseño (\$)                      | 4.06                          | 4.06                          | 2.71         | 12.19                          |
| Costo total (\$)                       | 5.36                          | 5.36                          | 3.60         | 18.55                          |

Tras obtener el costo total de cada componente, se procedió a realizar la comparación de cada uno de los componentes fabricados mediante impresión 3D



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



La Tabla 23 muestra que el accesorio del cinturón de seguridad fabricada mediante impresión 3D presenta un peso ligeramente inferior con una diferencia de 3 gramos, con un costo de 5.37\$ frente a la inexistencia del repuesto en el mercado. De igual manera, el tiempo de fabricación mediante impresión 3D es 3 horas 45 minutos que representa una ventaja significativa frente a la indisponibilidad del componente original.

**Tabla 23.** Comparación del accesorio del cinturón de seguridad original y el fabricado

| <b>Criterio</b>           | <b>Componente Original</b> | <b>Componente fabricado en 3D</b> |
|---------------------------|----------------------------|-----------------------------------|
| Peso (g)                  | 7                          | 10                                |
| Disponibilidad de mercado | No                         | Fabricado mediante impresión 3D   |
| Costo (\$)                | No disponible              | 5.37                              |
| Tiempo de obtención       | No disponible              | 3h 45 min                         |

La Tabla 24 presenta la diferencia de la perilla de calefacción fabricada con impresión 3D con el componente original. Donde se puede destacar una diferencia de peso de 3 gramos. Aunque el componente sea accesible en el mercado, el costo de fabricación mediante impresión 3D es 5.36 \$ que a diferencia del valor del compuesto original es beneficioso, con un tiempo de fabricación de 3 hora 23 minutos.

**Tabla 24.** Comparación de la perilla de calefacción original y el fabricado

| <b>Criterio</b>           | <b>Componente Original</b> | <b>Componente fabricado en 3D</b> |
|---------------------------|----------------------------|-----------------------------------|
| Peso (g)                  | 7                          | 10                                |
| Disponibilidad de mercado | Si                         | Fabricado mediante impresión 3D   |
| Costo (\$)                | 12                         | 5.36                              |
| Tiempo de obtención       | Inmediato                  | 3h 23 min                         |

En la Tabla 25 indica que la brida reconstruida presenta un peso de 2 gramos con un costo de 3.60 \$ en la fabricación, frente a la inexistencia del repuesto en el mercado. Por lo tanto, el uso



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



del escáner e impresora 3D es una opción viable para la fabricación. De igual manera, el tiempo de fabricación es 2 hora 37 minutos que representa una ventaja significativa frente a la indisponibilidad del componente original.

**Tabla 25.** Comparación de la brida original y el fabricado

| <b>Criterio</b>           | <b>Componente Original</b> | <b>Componente fabricado en 3D</b> |
|---------------------------|----------------------------|-----------------------------------|
| Peso (g)                  | 1                          | 1                                 |
| Disponibilidad de mercado | No                         | Fabricado mediante impresión 3D   |
| Costo (\$)                | No disponible              | 3.60                              |
| Tiempo de obtención       | No disponible              | 2h 37 min                         |

La Tabla 26 indica que las rejillas de calefacción fabricadas presentan un peso de 120 gramos con una diferencia de 5 gramos, dicho componente se encuentra disponible en el mercado, pero con el inconveniente de que el tiempo para la obtención del componente es largo, debido a su escasez en el mercado. Por lo tanto, el tiempo de fabricación de 16 horas 41 minutos es beneficioso en comparación con el tiempo que se demora en realizar el pedido del componente.

**Tabla 26.** Comparación de las rejillas de calefacción originales y el fabricado

| <b>Criterio</b>           | <b>Componente Original</b> | <b>Componente fabricado en 3D</b> |
|---------------------------|----------------------------|-----------------------------------|
| Peso (g)                  | 115                        | 120                               |
| Disponibilidad de mercado | Si                         | Fabricado mediante impresión 3D   |
| Costo (\$)                | 30                         | 18.56                             |
| Tiempo de obtención       | 1 mes                      | 16h 41 min                        |



## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

- Se determinó mediante una encuesta realizada por Benavidez a distintos asesores de repuestos de la ciudad de Ibarra, que el 80% de los concesionarios consideran que principales componentes con mayor aceptación y rotación en el mercado pertenecen al grupo de autopartes plásticas interiores del vehículo, Por lo tanto, en el presente proyecto se seleccionaron partes plásticas de diferentes vehículos como: accesorio del cinturón de seguridad, perilla de calefacción, brida de una compuerta trasera y rejillas de calefacción.
- El protocolo consistió en la preparación de los componentes, incluyendo la limpieza y el tratamiento de superficies reflectantes. Además, los parámetros utilizados para la edición de nube y edición de mallas, ediciones que se llevaron a cabo mediante el software Revo Scan 5, para asegurar un modelo digital mucho más preciso para la consiguiente fabricación del componente.
- El material utilizado fue la resina ABS-Like. Para ello se realizó el análisis por el método de elementos finitos. Los resultados indicaron que el accesorio del cinturón de seguridad presento un factor de seguridad de 1.83, la perilla de calefacción alcanzó un valor de 2.36, la brida tuvo un valor de 10.41 y la carcasa de la rejilla de calefacción obtuvo un valor de 1.73, todos estos valores se encuentran por encima del valor de 1.5. Estos resultados permitieron concluir que el material utilizado se encuentra dentro del rango de resultados aceptables, lo cual indica que el material resistiría la carga aplicada y que la pieza no presentará fallas.



- El análisis comparativo de los componentes originales y los fabricados, determino que el uso de las tecnologías de digitalización 3D y fabricación aditiva son viables para la fabricación de componentes. Todos los componentes presentan un peso ligeramente superior al de los originales, siendo las rejillas de calefacción el componente que mayor diferencia obtuvo con respecto al original, con una diferencia de 5 g. Por otro lado, con respecto a los costos y tiempos de fabricación, se determinó que el uso de la impresora 3D resulta más económica y rápida, debido a que existen componentes que no están disponibles en el mercado, como el accesorio del cinturón de seguridad y la brida automotriz. Y con respecto a la perrilla y rejillas de calefacción que, si se encuentran disponibles en el mercado, se obtuvo beneficios en cuanto a precios, con reducciones de precios del 55.33 % y 38.13 % respectivamente.

## **5.2. Recomendaciones**

- Se sugiere realizar el proceso de digitalización 3D con diferentes componentes de mayor complejidad y dimensiones, con el fin de evaluar su aplicabilidad en diferentes condiciones geométricas y funcionales.
- Para obtener una digitalización más precisa, se recomienda considerar factores que pueden influir negativamente en la captura de la nube de puntos. Entre ellos, la iluminación del entorno juega un papel clave, ya que sombras o reflejos pueden interferir con la calidad del escaneo. Asimismo, es aconsejable aplicar un recubrimiento mate o blanco sobre la superficie del objeto, especialmente si este posee acabados brillantes u oscuros, condición que mejora considerablemente la detección de la geometría por parte del escáner.



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



- Para próximas investigaciones, se recomienda realizar la fabricación de componentes con resinas que tenga características mecánicas superiores o explorara diferentes tecnologías de impresión para mejorar la resistencia y durabilidad del componente.
- Para fortalecer la aplicabilidad de la digitalización y fabricación aditiva, se recomienda ampliar los estudios teniendo en cuenta no únicamente los costos de fabricación, sino también la durabilidad de los componentes en condiciones reales de uso, lo cual ayudaría a validar la factibilidad industrial y comercial de esta tecnología.



## REFERENCIAS

- [1] Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador, “Anuario 2024,” Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador. Accessed: May 04, 2025. [Online]. Available: <https://www.aeade.net/anuario/>
- [2] M. Vorkapić, D. Živojinović, D. Kreculj, T. Ivanov, M. Baltić, and A. Simonović, “Application of Additive Technology and Reverse Engineering in the Realization of Damaged Obsolete Parts,” *FME Transactions*, vol. 51, no. 1, pp. 31–38, 2023, doi: 10.5937/fme2301031V.
- [3] A. Kuş, “Implementation of 3D optical scanning technology for automotive applications,” *Sensors*, vol. 9, no. 3, pp. 1967–1979, Mar. 2009, doi: 10.3390/s90301967.
- [4] A. W. L. Yao, “Applications of 3D scanning and reverse engineering techniques for quality control of quick response products,” *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 26, no. 11–12, pp. 1284–1288, Nov. 2005, doi: 10.1007/s00170-004-2116-5.
- [5] N. Baladés, P. Remigio, D. L. Sales, D. Moreno, J. M. López, and S. I. Molina, “Experimental and simulated study of 3D-printed couplings’ suitability for industrial application,” *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 127, no. 1–2, pp. 665–676, Jul. 2023, doi: 10.1007/s00170-023-11487-x.
- [6] W. Ameen, A. M. Al-Ahmari, and S. H. Mian, “Evaluation of handheld scanners for automotive applications,” *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 8, no. 2, Jan. 2018, doi: 10.3390/app8020217.



- [7] M. Fabian, R. Huñady, and F. Kupec, “Reverse Engineering and Rapid Prototyping in the Process of Developing Prototypes of Automotive Parts,” *Manufacturing Technology*, vol. 22, no. 6, pp. 669–678, 2022, doi: 10.21062/mft.2022.084.
- [8] D. W. James, F. Belblidia, J. E. Eckermann, and J. Sienz, “An innovative photogrammetry color segmentation based technique as an alternative approach to 3D scanning for reverse engineering design,” *Comput Aided Des Appl*, vol. 14, no. 1, pp. 1–16, Jan. 2017, doi: 10.1080/16864360.2016.1199751.
- [9] M. Hawryluk and J. Ziemia, “Application of the 3D reverse scanning method in the analysis of tool wear and forging defects,” *Measurement*, vol. 128, pp. 204–213, Nov. 2018, doi: 10.1016/J.MEASUREMENT.2018.06.037.
- [10] M. Javaid, A. Haleem, R. Pratap Singh, and R. Suman, “Industrial perspectives of 3D scanning: Features, roles and it’s analytical applications,” *Sensors International*, vol. 2, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.sintl.2021.100114.
- [11] M. Zhou, “A New Approach of Composite Surface Reconstruction Based on Reverse Engineering,” *Procedia Eng*, vol. 23, pp. 594–599, Jan. 2011, doi: 10.1016/J.PROENG.2011.11.2552.
- [12] A. Elizondo and F. Reinert, “Limits and hurdles of Reverse Engineering for the replication of parts by Additive Manufacturing (Selective Laser Melting),” *Procedia Manuf*, vol. 41, pp. 1009–1016, Jan. 2019, doi: 10.1016/J.PROMFG.2019.10.027.
- [13] J. Suárez, F. Flores, I. Flores, and R. Hernández, “Industry 4.0 and Digital Manufacturing: a design method applying Reverse Engineering,” *Ingeniería*, vol. 24, no. 1, pp. 6–28, Jan. 2019, doi: <https://doi.org/10.14483/23448393.13821>.



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



- [14] E. Dalpadulo, A. Petruccioli, F. Gherardini, and F. Leali, “A Review of Automotive Spare-Part Reconstruction Based on Additive Manufacturing,” *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, vol. 6, no. 6, Dec. 2022, doi: 10.3390/jmmp6060133.
- [15] M. Dúbravčík and Š. Kender, “Application of Reverse Engineering Techniques in Mechanics System Services,” *Procedia Eng*, vol. 48, pp. 96–104, Jan. 2012, doi: 10.1016/J.PROENG.2012.09.491.
- [16] J. Tepezila, “Scanner 3D para la fabricación de componentes mecánicos mediante ingeniería inversa,” B.S. Thesis, Instituto Tecnológico Superior de Martínez de la Torre, 2022. [Online]. Available: <https://rinacional.tecnm.mx/jspui/handle/TecNM/4636>
- [17] K. H. Chang and C. Chen, “3D shape engineering and design parameterization,” *Comput Aided Des Appl*, vol. 8, no. 5, pp. 681–692, 2011, doi: 10.3722/cadaps.2011.681-692.
- [18] M. Karczewski, “Influence of 3D scanner parameters on accuracy evaluation of vehicle element deformation,” *AIP Conf Proc*, vol. 2078, no. 1, p. 020012, Mar. 2019, doi: 10.1063/1.5092015.
- [19] G. Genta, P. Minetola, and G. Barbato, “Calibration procedure for a laser triangulation scanner with uncertainty evaluation,” *Opt Lasers Eng*, vol. 86, pp. 11–19, Nov. 2016, doi: 10.1016/J.OPTLASENG.2016.05.005.
- [20] F. de B. Lanza Ortega, “Diseño de un escáner 3D de bajo coste,” B.S. Thesis. , Universidad de Cantabria, 2017. [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/10902/10057>
- [21] Valverde Javier, “Desarrollo de metodologías enfocadas a aplicaciones de ingeniería inversa para reproducir objetos mediante escaneado 3D, sistemas CAD/CAM y



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



- prototipado rápido,” M.S. Thesis. , Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2019. [Online].  
 Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20357>
- [22] C. Moron, “Metodología de trabajo conjunto de escaneado e impresión 3D,” B.S. Thesis.  
 , Universidad Politécnica de Madrid, 2018. [Online]. Available:  
<https://oa.upm.es/50348/>
- [23] S. Flores, “Propuesta metodológica para documentación y evaluación de elementos  
 patrimoniales dentro del complejo histórico de la Alhambra (Granada) mediante  
 modelización tridimensional,” M.S. Thesis. , Universidad de Almería, 2013. [Online].  
 Available: <http://hdl.handle.net/10835/3357>
- [24] P. Romeral, “Flujo de trabajos en proyectos de modelización 3D con equipos láser  
 escáner,” B.S. Thesis. , Universidad Politécnica de Madrid, 2014. [Online]. Available:  
<https://oa.upm.es/32264/>
- [25] A. Martinez, “Desarrollo de prótesis ortopédicas personalizadas mediante tecnologías  
 láser escáner 3D,” M.S. Thesis. , Universidad Politécnica de Madrid, 2015. [Online].  
 Available: <https://oa.upm.es/34108/>
- [26] C. Duran and J. Tapia, “Digitalización de autopartes mediante escaneo 3D,” B.S. Thesis.  
 , Universidad Politécnica Salesiana , 2024. [Online]. Available:  
<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/28713>
- [27] A. Haleem *et al.*, “Exploring the potential of 3D scanning in Industry 4.0: An overview,”  
*International Journal of Cognitive Computing in Engineering*, vol. 3, pp. 161–171, Jun.  
 2022, doi: 10.1016/j.ijcce.2022.08.003.



- [28] M. Wiese, S. Thiede, and C. Herrmann, “Rapid manufacturing of automotive polymer series parts: A systematic review of processes, materials and challenges,” *Addit Manuf*, vol. 36, p. 101582, Dec. 2020, doi: 10.1016/J.ADDMA.2020.101582.
- [29] C. Suwanpreecha and A. Manonukul, “A Review on Material Extrusion Additive Manufacturing of Metal and How It Compares with Metal Injection Moulding,” *Metals (Basel)*, vol. 12, no. 3, Mar. 2022, doi: 10.3390/met12030429.
- [30] M. A. Islam *et al.*, “Additive manufacturing in polymer research: Advances, synthesis, and applications,” *Polym Test*, vol. 132, p. 108364, Mar. 2024, doi: 10.1016/J.POLYMERTESTING.2024.108364.
- [31] M. Dúbravčík and Š. Kender, “Application of Reverse Engineering Techniques in Mechanics System Services,” *Procedia Eng*, vol. 48, pp. 96–104, Jan. 2012, doi: 10.1016/J.PROENG.2012.09.491.
- [32] A. H. Alami *et al.*, “Additive manufacturing in the aerospace and automotive industries: Recent trends and role in achieving sustainable development goals,” *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 14, no. 11, p. 102516, Nov. 2023, doi: 10.1016/J.ASEJ.2023.102516.
- [33] H. C. Kim, R. Tu, and H. A. Sodano, “Room temperature 3D printing of high-temperature engineering polymer and its nanocomposites with porosity control for multifunctional structures,” *Compos B Eng*, vol. 279, p. 111444, Jun. 2024, doi: 10.1016/J.COMPOSITESB.2024.111444.
- [34] T. D. Ngo, A. Kashani, G. Imbalzano, K. T. Q. Nguyen, and D. Hui, “Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and



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



- challenges,” *Compos B Eng*, vol. 143, pp. 172–196, Jun. 2018, doi: 10.1016/J.COMPOSITESB.2018.02.012.
- [35] K. Szeteiová, “Automotive materials plastics in automotive markets today,” 2010. [Online]. Available: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:15991796>
- [36] M. Benavices, “Desarrollo de un plan de negocios para la fabricación de autopartes plásticas con impresión 3D- caso de estudio Ibarra,” M.S. Thesis. , Universidad Técnica del Norte, Ibarra, 2025. [Online]. Available: <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/16924>
- [37] P. Awasthi and S. S. Banerjee, “Fused deposition modeling of thermoplastic elastomeric materials: Challenges and opportunities,” *Addit Manuf*, vol. 46, p. 102177, Oct. 2021, doi: 10.1016/J.ADDMA.2021.102177.
- [38] M. Bhuvanesh Kumar and P. Sathiya, “Methods and materials for additive manufacturing: A critical review on advancements and challenges,” *Thin-Walled Structures*, vol. 159, p. 107228, Feb. 2021, doi: 10.1016/J.TWS.2020.107228.
- [39] J. Huang, Q. Qin, and J. Wang, “A review of stereolithography: Processes and systems,” *Processes*, vol. 8, no. 9, Sep. 2020, doi: 10.3390/PR8091138.
- [40] K. DePalma, M. R. Walluk, A. Murtaugh, J. Hilton, S. McConky, and B. Hilton, “Assessment of 3D printing using fused deposition modeling and selective laser sintering for a circular economy,” *J Clean Prod*, vol. 264, p. 121567, Aug. 2020, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2020.121567.
- [41] A. Awad, F. Fina, A. Goyanes, S. Gaisford, and A. W. Basit, “3D printing: Principles and pharmaceutical applications of selective laser sintering,” *Int J Pharm*, vol. 586, p. 119594, Aug. 2020, doi: 10.1016/J.IJPHARM.2020.119594.



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



- [42] ManualsPro, “Anycubic ABS-Like Resin+ User Guide,” 9 de junio de 2024. Accessed: May 05, 2025. [Online]. Available: <https://manualspro.net/143379-anycubic-abs-like-resin-user-guide>
- [43] K. Hrishikesh and P. Vinod, “Design Optimization of Snap Fit Feature of Lock Plate to Reduce its Installation Force by using DOE Methodology,” *International Research Journal of Engineering and Technology*, vol. 6, no. 6, Jun. 2019, [Online]. Available: <https://ssrn.com/abstract=3807722>
- [44] RoyMech, “Human Strength.” Accessed: Jul. 30, 2025. [Online]. Available: [https://roymech.org/Useful\\_Tables/Human/Human\\_strength.html](https://roymech.org/Useful_Tables/Human/Human_strength.html)
- [45] E. E. MONTIJO-VALENZUELA, F. Ramírez Torres, A. Cerón Franco, H. A. Casas Luna, and P. J. Gómez Vega, “Análisis de validación estática de un clip recto de presión para aplicación automotriz utilizando herramientas CAD y CAE,” *Revista de Investigación Académica Sin Frontera: Facultad Interdisciplinaria de Ciencias Económicas Administrativas - Departamento de Ciencias Económico Administrativas- Campus Navojoa*, no. 38, Nov. 2022, doi: 10.46589/rdiasf.vi38.475.

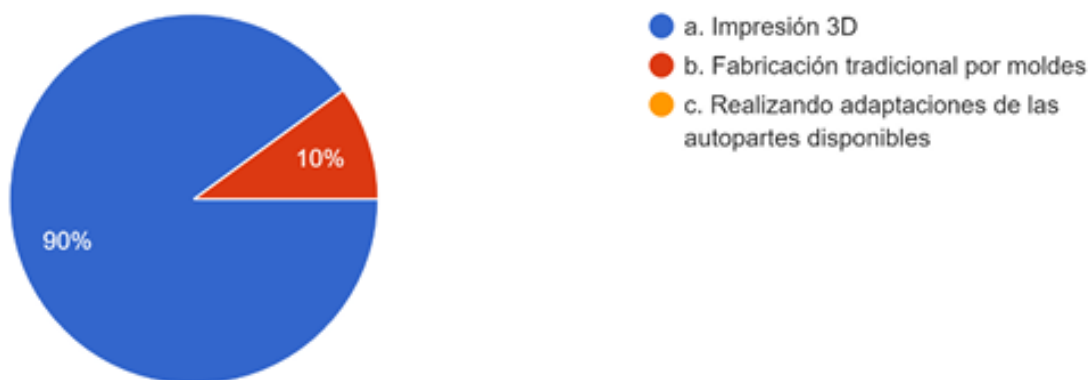


**APENDICE**

**APENDICE A: Encuesta sobre la determinación de piezas y autopartes más solicitadas en Ibarra.**

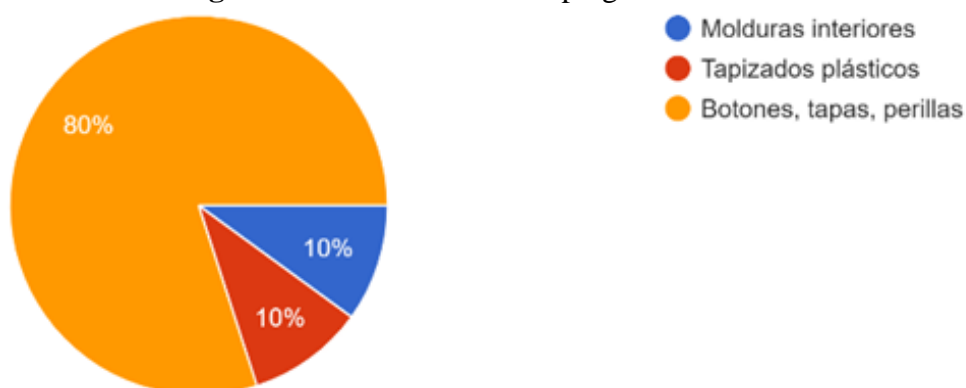
**Pregunta 1:** ¿Cómo considera que se puede solucionar de forma económica y sencilla la falta de disponibilidad de autopartes plásticas sobre todo para modelos de vehículos discontinuados?

**Figura A.1.** Resultados de la pregunta 1 de la encuesta



**Pregunta 2:** ¿Dentro de las autopartes plásticas distribuidas en el concesionario usted considera que el segmento que más rotación tiene es?

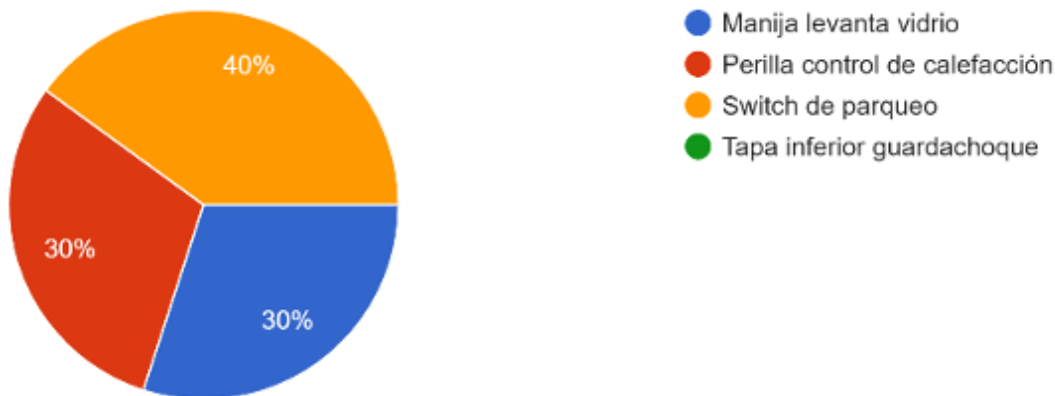
**Figura A.2.** Resultados de la pregunta 2 de la encuesta





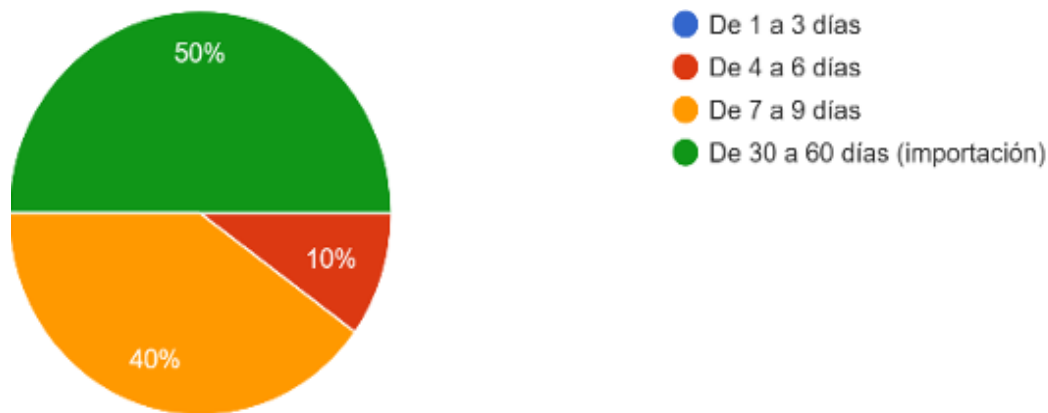
**Pregunta 3:** De las opiniones siguientes cuales son las autopartes plásticas que mayor demanda tienen de acuerdo con su experiencia

**Figura A.3.** Resultados de la pregunta 3 de le encuesta



**Pregunta 4:** ¿Cuánto tiempo se demora su área de repuestos en conseguir la autoparte plástica que mayor rotación tiene?

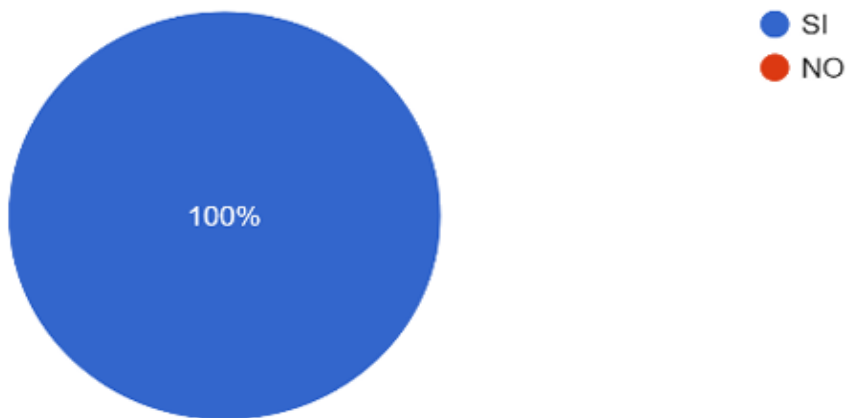
**Figura A.4.** Resultados de la pregunta 4 de le encuesta





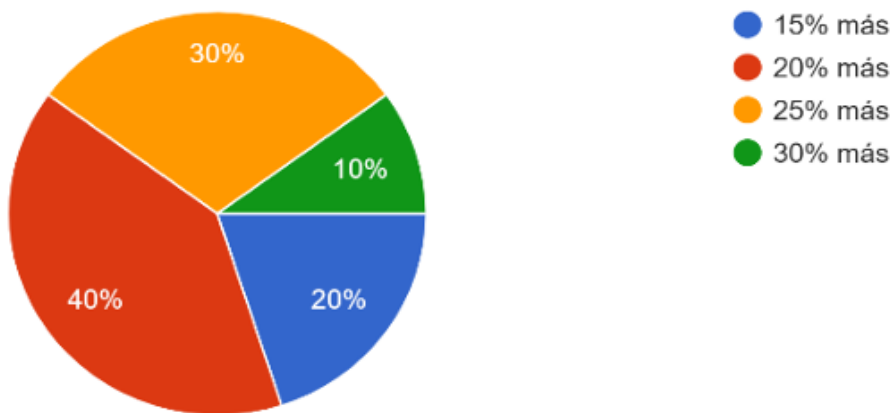
**Pregunta 5:** ¿Usted cree que el cliente final pagaría un porcentaje más de valor total de la pieza si se consigue en un mejor tiempo al habitual?

**Figura A.5.** Resultados de la pregunta 5 de le encuesta



**Pregunta 6:** Si la respuesta a la pregunta anterior fue SI, ¿Qué porcentaje más cree que el cliente estaría dispuesto a pagar?

**Figura A.6.** Resultados de la pregunta 6 de le encuesta





**Pregunta 7:** ¿Cree usted que los clientes finales estarían dispuestos a reemplazar una autoparte plástica original por una que se fabrica con impresión 3D?

**Figura A.7.** Resultados de la pregunta 7 de le encuesta

