



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:

**“PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA DE DIGITALIZACIÓN E
IMPRESIÓN 3D ENFOCADOS EN LA OBTENCIÓN DE PROTOTIPOS
DE SOCKET AUTOMOTRICES”**



AUTOR: David Gustavo Yépez Arias

DIRECTOR: Ing. Carlos Nolasco Mafla Yépez Ph.D

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:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1050285061		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Yépez Arias David Gustavo		
DIRECCIÓN:	Cotacachi-Imbabura-Ecuador		
EMAIL:	dgyepeza@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	06-2554021	TELF. MOVIL	0983113256

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Propuesta de una metodología de digitalización e impresión 3D enfocados en la obtención de prototipos de socket automotrices
AUTOR (ES):	Yépez Arias David Gustavo
FECHA: AAAA/MM/DD	2025/11/12
SOLO PARA TRABAJOS DE TITULACIÓN	
CARRERA/PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> GRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero Automotriz
DIRECTOR:	Ing. Mafla Yépez Carlos Nolasco Ph.D



AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, David Gustavo Yépez Arias, con cédula de identidad Nro. 1050285061, 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 12 días del mes de noviembre de 2025

EL AUTOR:



Firma

Nombre: Yépez Arias David Gustavo



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 12 días del mes de noviembre de 2025

EL AUTOR:



Firma

Nombre: Yépez Arias David Gustavo



CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, 7 de noviembre de 2025

Ing. Mafla Yépez Carlos Nolasco Ph.D

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. Mafla Yépez Carlos Nolasco Ph.D

C.C.:0401447826

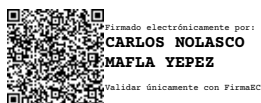


UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
 APLICADAS**
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificador del trabajo de Integración Curricular “Propuesta de una metodología de digitalización e impresión 3D enfocados en la obtención de prototipos de socket automotrices” elaborado por David Gustavo Yépez Arias, previo a la obtención del título de Ingeniero Automotriz, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:



(f):.....

Ing. Mafla Yépez Carlos Nolasco Ph.D

C.C.: 0401447826



(f):.....

Ing. Hernández Rueda Erik Paúl MSc

C.C.: 1002978060



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



DEDICATORIA

El presente estudio está dedicado con todo mi cariño y agradecimiento a mi familia Yépez Arias, quienes han sido el soporte más importante a lo largo de mi vida y de mi formación académica.

A mi padre Gustavo Yépez, por ser un ejemplo de perseverancia, esfuerzo y responsabilidad. Gracias por tus enseñanzas, por demostrarme que con sacrificio se puede lograr todos los objetivos planteados y por recordarme siempre que la mejor herencia es el estudio.

A mi madre Marías Arias, por su amor incondicional, su comprensión y su entrega infinita. Gracias por enseñarme los valores que hoy me definen como persona, por orientarme siempre por el camino correcto y por mostrarme la diferencia entre lo fácil y lo correcto.

A mis hermanas Jeniffer y Nicole, por ser mi ejemplo e inspiración. Verlas convertirse en excelentes profesionales y personas íntegras me ha motivado a seguir su camino. Su apoyo, cariño y confianza han sido fundamentales para llegar hasta aquí.

Y a mi mismo, por creer en mi, por no darme por vencido y por nunca rendirme.

David Gustavo Yépez Arias



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



AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a mi familia, por su apoyo incondicional, por creer en mí incluso en los momentos más difíciles y por ser el pilar fundamental que me motivó a culminar esta etapa. Su comprensión, paciencia y amor fueron esenciales para alcanzar este logro.

Expreso mi sincero agradecimiento a mi tutor Ph.D Carlos Mafla y a mi asesor MSc Paúl Hernández , quienes con su guía, compromiso y valiosos consejos académicos contribuyeron significativamente al desarrollo de este trabajo. Más allá de su rol docente, su cercanía y calidad humana los han convertido en verdaderos amigos y referentes a seguir tanto en lo profesional como en lo personal.

A mis amigos y compañeros de carrera, gracias por compartir experiencias, anécdotas y momentos inolvidables que hicieron de este proceso una etapa llena de aprendizaje y crecimiento. Cada uno dejó una huella imborrable en este camino.

David Gustavo Yépez Arias



RESUMEN EJECUTIVO

El presente estudio se fundamenta en la necesidad de mejorar los procesos de inspección y fabricación de autopartes, con énfasis en los conectores automotrices del motor, debido a las fallas recurrentes generadas por la manipulación continua o por deficiencias en el control de producción. Esta situación evidencia la necesidad de reemplazo de dichos componentes, la cual se ve limitada por la complejidad del proceso de adquisición y altos costos. En este contexto, el estudio tiene como objetivo de proponer una metodología de digitalización e impresión 3D mediante el uso de un escáner para la obtención de prototipos de conectores automotrices en motores. La metodología empleada inicia con la captura de la nube de puntos del conector original. Posteriormente, la nube obtenida se procesa y convierte en un modelo sólido, el cual, tras aplicar las correspondientes etapas de edición, reconstrucción y optimización geométrica, permite obtener el prototipo digital final. Finalmente, se ejecuta el proceso de impresión 3D utilizando resina tipo ABS, obteniendo como resultado un prototipo físico que replica con precisión las características geométricas y dimensionales del componente original que puede ensamblarse y presenta un comportamiento adecuado para ser empleado en la industria automotriz, debido a que no mostró inconvenientes frente a vibraciones e incluso no existió inflamación después de evaluar su comportamiento en temperaturas de 200 °C.

Palabras clave: Conector, Digitalización 3D, Impresión 3D, Resina ABS, CAD/CAM, Simulación.



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



ABSTRACT

This study is based on the need to improve auto parts inspection and manufacturing processes, with an emphasis on automotive engine connectors, due to recurring failures caused by continuous handling or deficiencies in production control. This situation highlights the need for replacement of these components, which is limited by the complexity of the procurement process and high costs. In this context, the study aims to propose a 3D scanning and printing methodology using a scanner to obtain prototypes of automotive engine connectors. The methodology used begins with the capture of the point cloud of the original connector. Subsequently, the resulting cloud is processed and converted into a solid model, which, after applying the corresponding editing, reconstruction, and geometric optimization stages, allows the final digital prototype to be obtained. Finally, the 3D printing process is carried out using ABS resin, resulting in a physical prototype that accurately replicates the geometric and dimensional characteristics of the original component. It can be assembled and exhibits suitable behavior for use in the automotive industry, as it showed no problems with vibrations and even showed no inflammation after evaluating its behavior at temperatures of 200 °C.

Keywords: Connector, 3D Scanning, 3D Printing, ABS Resin, CAD/CAM, Simulation.



LISTA DE SIGLAS

- MCIA.** Motor de Combustión Interna Alternativo
- MEC.** Motor de Encendido por Compresión
- ECU.** Unidad de Control Electrónico
- CAN.** Red de Área de Controlador
- CRDI.** Inyección Directa por Riel Común
- MAF.** Sensor de Flujo de Masa de Aire
- MAP.** Sensor de Presión Absoluta del Múltiple
- CMP.** Sensor de Posición del Árbol de Levas
- CKP.** Sensor de Posición del Cigüeñal
- APP.** Sensor de Posición del Pedal del Acelerador
- ECT.** Sensor de Temperatura del Refrigerante del Motor
- FRP.** Sensor de Presión del Riel de Combustible
- EGR.** Sistema de Recirculación de Gases de Escape
- USCAR.** Consejo de Investigación Automotriz de Estados Unidos
- CAD.** Diseño Asistido por Computadora
- CAM.** Fabricación Asistida por Computadora
- CMM.** Escáner de Contacto de Medición por Coordenadas
- AM.** Fabricación Aditiva
- FDM.** Modelado por Deposición Fundida
- DED.** Deposición Directa de Energía
- LMD.** Deposición de Metal por Láser
- PBF.** Fusión de Lecho de Polvo



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



SLS. Sinterización Selectiva

SLA. Estereolitografía

PBT. Tereftalato de Polibutileno

PLA. Ácido Poliláctico

PETG. Tereftalato de Polietileno modificado con glicol

ABS. Acrilonitrilo Butadieno Estireno



ÍNDICE DE CONTENIDOS

AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD.....	2
CONSTANCIAS.....	3
CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	4
APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR.....	5
DEDICATORIA	6
AGRADECIMIENTO	7
RESUMEN EJECUTIVO	8
ABSTRACT.....	9
LISTA DE SIGLAS.....	10
ÍNDICE DE CONTENIDOS	12
ÍNDICE DE TABLAS	19
ÍNDICE DE FIGURAS.....	20
CAPÍTULO I	25
INTRODUCCIÓN	25
1.1. Planteamiento del problema.....	25
1.2. Objetivos.....	26
1.2.1. Objetivo general.....	26
1.2.2. Objetivos Específicos.....	26



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



1.3.	Alcance	27
1.4.	Justificación	27
CAPÍTULO II		29
MARCO TEÓRICO.....		29
2.1.	Antecedentes	29
2.2.	Motores de Encendido por Compresión	30
2.2.1.	Funcionamiento.....	30
2.3.	Sistema electrónico	31
2.3.1.	Sensores	32
2.3.2.	Actuadores	33
2.3.3.	Dispositivos de conexión	33
2.3.4.	Clasificación de conectores.....	35
2.3.4.1.	Por su forma.....	35
2.3.4.2.	Por su función.....	36
2.3.4.3.	Por su material.....	37
2.3.4.4.	Por la forma de los terminales de contacto.....	37
2.3.5.	Proceso de fabricación de los conectores.....	38
2.3.5.1.	Diseño.....	38
2.3.5.2.	Selección de materiales.....	39



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



2.3.5.3.	Moldeo por inyección.	39
2.3.5.4.	Estampado y mecanizado.....	39
2.3.5.5.	Ensamble.....	39
2.3.5.6.	Control de calidad.....	40
2.3.6.	Normativa de conectores.....	40
2.3.7.	Problemas de los dispositivos de conexión.....	41
2.4.	Sustracción de componentes electrónicos de un motor	41
2.4.1.	Accesibilidad y disponibilidad de componentes electrónicos de un motor	42
2.5.	Prototipado de piezas automotrices	42
2.5.1.	Reconstrucción de piezas automotrices	42
2.6.	Introducción a las tecnologías 3D.....	43
2.6.1.	Modelado 3D	43
2.7.	Escáner 3D.....	44
2.7.1.	Tipos de escáner 3D.....	44
2.7.1.1.	Escáner de contacto.....	45
2.7.1.2.	Escáner sin contacto.....	46
2.8.	Impresión 3D	47
2.9.	Técnicas de fabricación aditiva.....	48
2.9.1.	El modelado por deposición fundida	48



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



2.9.2.	Deposición directa de energía	48
2.9.3.	Fusión de lecho de polvo	49
2.9.4.	Inyección aglutinante	49
2.9.5.	La estereolitografía	49
2.10.	Material de impresión 3D	51
2.10.1.	Polímeros	51
2.10.2.	Metales y aleaciones	51
2.10.3.	Cerámicas.....	52
2.10.4.	Resinas	53
2.10.4.1.	Resinas termoestables.	53
2.10.4.2.	Resinas termoplásticas.	55
CAPÍTULO III.....		56
MATERIALES Y MÉTODOS		56
3.1.	Materiales.....	56
3.1.1.	Conectores.....	56
3.1.2.	Escáner 3D	58
3.1.3.	Impresora 3D	59
3.1.3.1.	Resina tipo ABS Like	60
3.1.4.	Software	61



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



3.1.4.1.	Software CAD para la digitalización.	61
3.1.4.2.	Software CAD para postratamiento y reconstrucción de información de digitalización.....	61
3.1.4.3.	Software CAM para laminar el sólido	61
3.2.	Método	62
3.2.1.	Preparación del conector	63
3.2.2.	Preparación del equipo.....	63
3.2.3.	Proceso de digitalización	64
3.2.3.1.	Selección de la configuración del escáner	65
3.2.3.2.	Selección de posición del conector	67
3.2.3.3.	Captura de nube de puntos.....	67
3.2.4.	Procesamiento del sólido	68
3.2.4.1.	Fusión de la nube de puntos.....	70
3.2.4.2.	Fusión de varias nubes de puntos.....	73
3.2.4.3.	Construcción de malla.....	73
3.2.4.4.	Modelo de malla final	76
3.2.4.5.	Transformación del modelo de malla a sólido.....	77
3.2.4.6.	Edición del sólido	79
3.2.4.7.	Reconstrucción de partes del sólido preliminar	80
3.2.5.	Impresión 3D	81



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



3.2.6.	Ensamble y pruebas de control de calidad y funcionalidad.....	83
3.2.6.1.	Simulación térmica	83
3.2.6.2.	Prueba de temperatura.....	90
3.2.6.3.	Ensamble y prueba de funcionalidad	90
CAPÍTULO IV.....		91
RESULTADOS Y ANÁLISIS		91
4.1.	Preparación de los conectores	91
4.2.	Digitalización del conector MAF.....	92
4.3.	Procesamiento de la nube de puntos y del sólido del conector MAF	92
4.4.	Impresión 3D y obtención del prototipo del conector MAF	96
4.4.1.1.	Análisis de resultados: Simulación térmica del conector MAF.....	97
4.5.	Digitalización del conector del inyector	99
4.6.	Procesamiento de la nube de puntos y del sólido del conector del inyector.....	100
4.7.	Impresión 3D y obtención del prototipo del conector del inyector	104
4.7.1.1.	Análisis de resultados: Simulación térmica del conector del inyector ..	104
4.8.	Digitalización del conector del riel	106
4.9.	Procesamiento de la nube de puntos y del sólido del conector del riel.....	107
4.10.	Impresión 3D y obtención del prototipo del conector del riel	110
4.10.1.1.	Análisis de resultados: Simulación térmica del conector del riel	111



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



4.11.	Digitalización del conector APP	113
4.12.	Procesamiento de la nube de puntos y del sólido del conector APP	114
4.13.	Impresión 3D y obtención del prototipo del conector APP	117
4.13.1.1.	Análisis de resultados: Simulación térmica del conector APP	118
4.14.	Análisis de resultado: Ensamble y pruebas de control de calidad	121
4.14.1.1.	Resultado de la prueba de temperatura	122
4.14.1.2.	Comparación de pesos entre los conectores originales y los prototipos de resina	124
4.14.1.3.	Resultado de la prueba de funcionalidad	125
CAPITULO V		126
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		126
5.1.	CONCLUSIONES	126
5.2.	RECOMENDACIONES	128
BIBLIOGRAFÍA		129
ANEXOS		140



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparación de las propiedades y características de los principales materiales a base de polímeros.....	51
Tabla 2. Comparación de las propiedades y características de los principales materiales a base de metales.....	52
Tabla 3. Comparación de las propiedades y características de los principales materiales a base de cerámica	52
Tabla 4. Características de los conectores expuestos a la digitalización	56
Tabla 5. Ficha técnica del escáner Revopoint MIRACO PRO	58
Tabla 6. Ficha técnica del escáner Revopoint MIRACO PRO	59
Tabla 7. Ficha técnica de la resina tipo ABS Like.....	60
Tabla 8. Clasificación de los conectores según su temperatura de operación	83
Tabla 9. Coeficientes de transferencia de calor según el medio	85
Tabla 10. Tipos de malla basado en las características geométricas	86
Tabla 11. Número de pruebas y errores obtenidos para conseguir los prototipos finales	121
Tabla 12. Resultado de la prueba de temperatura realizada al prototipo	123
Tabla 13. Comparación de pesos entre el conector original-prototipo de resina.....	124



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclos de trabajo de un motor de encendido por compresión (MEC)	31
Figura 2. Componentes de un sistema electrónico en un MEC	32
Figura 3. Clasificación de los conectores automotrices.....	34
Figura 4. Proceso de fabricación de un conector automotriz.....	38
Figura 5. Proceso de reconstrucción de autopartes	43
Figura 6. Clasificación de los escáneres 3D aplicados a la ingeniería inversa	45
Figura 7. Componentes de una impresora SLA	50
Figura 8. Clasificación de la resina según su material.....	53
Figura 9. Escáner Revopoint MIRACO PRO	58
Figura 10. Impresora Anycubic Photon Mono X 6K.....	59
Figura 11. Marco metodológico del estudio	62
Figura 12. Preparación del conector para la digitalización.....	63
Figura 13. Preparación del equipo para la digitalización: A) Escáner B) Trípode C) Base giratoria.....	64
Figura 14. Marco metodológico del proceso de digitalización.....	64
Figura 15. Confirmación de la conexión entre el escáner 3D y la computadora.....	65
Figura 16. Configuración de parámetros del escáner antes de la digitalización	66
Figura 17. Posiciones optadas para la digitalización del conector.....	67
Figura 18. Nube de puntos capturada desde la vista frontal	68
Figura 19. Marco metodológico del procesamiento del sólido.....	69
Figura 20. Proceso de fusión de la nube de puntos.....	70



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



Figura 21. Detección y eliminación de nube de puntos que no pertenecen al objeto principal 71

Figura 22. Detección y eliminación de solapamiento de nube de puntos 72

Figura 23. Diferencia entre una nube de puntos sin suavizado, suavizado y sobre suavizado 72

Figura 24. Fusión de distintas nubes de puntos capturas desde la vista frontal y lateral del conector 73

Figura 25. Proceso de mallado a la nube de puntos final 74

Figura 26. Detección y eliminación de mallas que se encuentran aisladas del mallado principal 75

Figura 27. Detección automática y cierre de agujeros detectados en el modelo 75

Figura 28. Obtención del modelo de malla final listo para la exportación 76

Figura 29. Interfaz del software usado para la transformación a sólido 77

Figura 30. Inspección de errores en el modelo de mallado 78

Figura 31. Parámetros seleccionados para transformar el modelo de malla en sólido 79

Figura 32. Eliminación de protuberancias generadas al momento de transformar en sólido .. 79

Figura 33. Ejemplificación del uso de los pinceles para mejorar la superficie del sólido 80

Figura 34. Reconstrucción de partes del conector 80

Figura 35. Configuración de los soportes 82

Figura 36. Modelo final listo para la impresión 82

Figura 37. Configuración de la temperatura aplicada y selección de las caras de aplicación .84

Figura 38. Configuración de los parámetros de la convección y selección de las caras de aplicación 85

Figura 39. Comparativa de la densidad de malla 87



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



Figura 40. Comparativa de los valores obtenidos entre una densidad estándar y la densidad final88

Figura 41. Diagnóstico de la calidad de la malla basándose en el cociente jacobiano89

Figura 42. Selección de la calidad de la malla y de los puntos jacobianos.....89

Figura 43. Preparación de los conectores. A) MAF B) Inyector C) Riel D) APP91

Figura 44. Nubes de puntos del conector MAF obtenidas a partir de la posición lateral y frontal92

Figura 45. Proceso de fusión y eliminación de datos de las nubes de puntos de la posición lateral y frontal del conector MAF.....93

Figura 46. Proceso de fusión de las nubes de puntos capturadas en posición lateral y frontal del conector MAF94

Figura 47. Modelo de malla final del conector MAF94

Figura 48. Modelo sólido del conector MAF.....95

Figura 49. Reconstrucción de los agujeros y paredes internas del conector MAF96

Figura 50. Conector MAF A) Modelo digital B) Prototipo final.....97

Figura 51. Resultado de la simulación térmica del conector MAF98

Figura 52. Puntos de variación de temperatura del conector MAF99

Figura 53. Nubes de puntos del conector del inyector obtenidas a partir de la posición frontal y lateral..... 100

Figura 54. Proceso de fusión y eliminación de datos de las nubes de puntos de la posición frontal y lateral del conector del inyector 100

Figura 55. Proceso de fusión de las nubes de puntos capturadas en posición frontal y lateral del conector del inyector..... 101



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



Figura 56. Modelo de malla final del conector del inyector 102

Figura 57. Modelo sólido del conector del inyector 103

Figura 58. Reconstrucción de los agujeros y paredes internas del conector del inyector..... 103

Figura 59. Conector Inyector A) Modelo digital B) Prototipo final 104

Figura 60. Resultado de la simulación térmica del conector del inyector 105

Figura 61. Puntos de variación de temperatura del conector del inyector 106

Figura 62. Nubes de puntos del conector del riel obtenida a partir de la posición lateral y frontal
 107

Figura 63. Proceso de fusión y eliminación de datos de las nubes de puntos de la posición
 frontal y lateral del conector del riel 107

Figura 64. Proceso de fusión de las nubes de puntos capturadas en posición frontal y lateral del
 conector del riel..... 108

Figura 65. Modelo de malla final del conector del riel..... 109

Figura 66. Modelo sólido del conector del riel 109

Figura 67. Reconstrucción de la carcasa, seguro y zona de inserción de los pines del conector
 del riel 110

Figura 68. Conector del riel. A) Modelo digital B) Prototipo final 111

Figura 69. Resultado de la simulación térmica del conector del riel 112

Figura 70. Puntos de variación de temperatura del conector del riel 113

Figura 71. Nubes de puntos del conector APP obtenidas a partir de la posición frontal y lateral
 114

Figura 72. Proceso de fusión y eliminación de datos de las nubes de puntos de la posición
 frontal y lateral del conector APP 114



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



Figura 73. Proceso de fusión y eliminación de datos de las nubes de puntos de la posición frontal y lateral del conector APP 115

Figura 74. Modelo de malla final del conector APP 116

Figura 75. Modelo sólido del conector APP 116

Figura 76. Reconstrucción de la zona de inserción de los pines del conector APP 117

Figura 77. Conector APP. A) Modelo digital B) Prototipo final 117

Figura 78. Resultado de la simulación térmica del conector APP 119

Figura 79. Puntos de variación de temperatura del conector APP 120

Figura 80. Prototipo de resina montado en un motor en condiciones reales de funcionamiento 125



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

El proceso de fabricación de autopartes puede verse afectado por diferentes factores como equipos defectuosos y/o errores involuntarios cometidos por el personal a cargo, lo cual se refleja directamente en el producto final. Esto conlleva a la obtención de productos defectuosos que no cumplirán con los estándares de precisión y desempeño [1].

Por tal motivo, la industria ha tenido que optar por procesos de inspección y control de calidad con el objetivo de mitigar el porcentaje de autopartes que se fabrican con algún defecto, la mayoría de procesos de inspección son manuales en los que interactúa un operario y un instrumento mecánico, se realiza la verificación mediante mediciones manuales que en ocasiones han resultado deficientes por la subjetividad y el desgaste de los instrumentos de medición [2].

Los motores electrónicos de encendido por compresión presentan autopartes que, debido a su desgaste prematuro ocasionan fallas mecánicas y eléctricas. El sistema electrónico claramente ha sido afectado por la calidad de productos, el deterioro es la consecuencia del tiempo de uso o manipulación continua, provocando el desgaste de los aislantes protectores de cables, sensores y conectores. La principal problemática que genera es el contacto entre un cable de alimentación y otro de masa que se conoce como cortocircuito que causan importantes daños en la electrónica e incluso un incendio en el vehículo [3][4].



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



De los problemas mencionados surge la necesidad de adquirir componentes electrónicos de un motor, el problema se deriva debido a su alto costo y difícil adquisición. Por tanto, los propietarios de vehículos suelen adquirir componentes sustraídos de otros vehículos debido a su fácil accesibilidad, el desfalco de vehículos en suele ser uno de los problemas que más destacan en el Ecuador, según Daniela Castillo entre enero y octubre de 2023, robaron 8.851 vehículos, una cifra similar a los años anteriores [5].

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Proponer una metodología de digitalización e impresión 3D mediante el uso de nuevas tecnologías para la obtención de prototipos de conectores automotrices en motores electrónicos de encendido por compresión.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Investigar tecnologías de digitalización e impresión 3D adecuadas para la obtención de modelos tridimensionales.
- Diseñar un procedimiento de digitalización e impresión 3D que permita obtener prototipos de conectores automotrices.
- Digitalizar un modelo real de un conector para su configuración geométrica usando un software compatible con el escáner.
- Imprimir prototipos funcionales del conector automotriz utilizando resina tipo ABS para lograr una buena calidad superficial.
- Desarrollar pruebas físicas y simulaciones para la validación funcional y de compatibilidad de los prototipos obtenidos mediante la digitalización.



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



1.3. Alcance

El proyecto de titulación tiene como alcance establecer una metodología de digitalización 3D que permite obtener un modelo tridimensional del conector de los sensores MAF, APP, y riel, así mismo, de los actuadores como el inyector, que tiene como complemento la impresión 3D de prototipos con resina por la alta capacidad de moldeo y soportar altas temperaturas. Por último, la instalación y pruebas de durabilidad-temperatura que permitan comprobar la funcionalidad de los conectores en un motor de encendido por compresión (con sus siglas en inglés MEC-Compression ignition engine).

1.4. Justificación

El Plan de Desarrollo para el nuevo Ecuador 2024-2025 en el Eje Social establece un objetivo “Impulsar las capacidades de la ciudadanía con educación equitativa e inclusiva de calidad y promoviendo espacios de intercambio cultural” que propone una educación de calidad con un enfoque innovador que ayude a fortalecer las habilidades cognitivas, comunicacionales y digitales para la mejora continua, de esta manera permite el desarrollo de proyectos a base de nuevas tecnologías que pueden ser implementadas en procesos que requieren automatización como controles de calidad, reconstrucción de prototipos, análisis computacionales, entre otras actividades [6].

La necesidad de cumplir los requerimientos de calidad en las empresas productoras de autopartes trae consigo la automatización o modernización del proceso de inspección y control de calidad al que no se lo considera eficiente [2]. Por lo tanto, es necesario la implementación de equipos que permitan satisfacer la demanda, entonces se ha optado por usar un escáner 3D mediante el cual se obtendrá modelos tridimensionales de diferentes autopartes.



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



El plástico se ha convertido en un material preponderante en el sector automotriz, llegando a componer el 66% de componentes elaborados a base de materiales de matriz polimérica de un vehículo comercializado internacionalmente [7]. De esta realidad se deriva el problema de durabilidad de las autopartes, el objeto a considerar de estudio es uno de los vulnerables, los conectores de los sensores debido a su material de construcción y manipulación constante.

Al momento de realizar un diagnóstico en un vehículo, es necesario picar en los conectores para obtener valores de referencia e incluso gráficas que permitan llegar a un diagnóstico, en ese momento suelen fisurarse los conectores e incluso llegar a romperse y derivar posibles fallos de envíos de señal hacia la Unidad de Control Electrónico (con sus siglas en inglés ECU-Engine Control Unit).

La obtención de conectores resulta compleja debido al costo y por la no distribución, por eso se propone realizar prototipos con resina estándar a base de acrilonitrilo butadieno estireno mediante la digitalización e impresión 3D y obtener resultados que favorezcan a la producción de conectores más económica en comparación de los distribuidos.



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

La Universidad Northeastern de EEUU presenta un artículo en el que se realiza un estudio del potencial de la digitalización para la industria 4.0 de forma general enfocada en las principales ciencias. Se concluye que en la industria 4.0 el uso tecnológico de un escáner 3D permite obtener datos que favorecen a la calidad de fabricación y modificación de componentes, gracias a la recopilación de detalles de superficies, texturas e incluso el color [8].

Según Silva, la confiabilidad de toma de datos va a depender del tipo de escáner que se use y además tiene que ver con la precisión con las que trabaja, para obtener una mayor precisión se implementó un escaneo robotizado 3D en el que se realiza una inspección de piezas selladas, se obtuvo un error de identificación global de 0.340 mm y 15.5% de falsos negativos que se puede traducir en una confiabilidad de 96.6% [9].

La tecnología del escáner 3D no solo permite la inspección de autopartes, también mediante CAD/CAM permite la obtención de modelos tridimensionales, reconstrucción de piezas y desarrollo de prototipos, para este proceso se debe tener en cuenta los equipos y software que son necesarios, además Javier Valverde menciona en su investigación que el proceso de reproducción de objetos depende de varios factores como: el tiempo, la complejidad del objeto y sobre todo el tamaño [10].

En la inspección y desarrollo de piezas se adquiere datos mediante los cuales se realizan análisis estadísticos y la obtención de parámetros intrínsecos mediante los cuales se mejora la



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



metodología planteada para mejorar la confiabilidad en la obtención de medidas para analizar la implementación de prototipos [1].

Un ejemplo de desarrollo de prototipos lo propuso la Universidad Técnica de Košice ubicada en Eslovaquia, en el que se obtuvo resultados exitosos en la obtención de una puerta y de un retrovisor en un vehículo SKODA FABIA de la gama 1999-2007 gracias a las tecnologías de ingeniería inversa y prototipado rápido que incluyen la metodología de escaneo e impresión 3D [11].

2.2. Motores de Encendido por Compresión

El motor de encendido por compresión (con sus siglas en inglés MEC-Compression ignition engine) se encuentra en la amplia clasificación de los motores de combustión interna alternativos (con sus siglas en inglés MCIA- Alternative internal combustion engines), se los define como un motor térmico que obtiene el trabajo mediante un mecanismo llamado biela-manivela [12] y una combustión explosiva del combustible que genera un desplazamiento lineal del pistón hacia el cigüeñal [13].

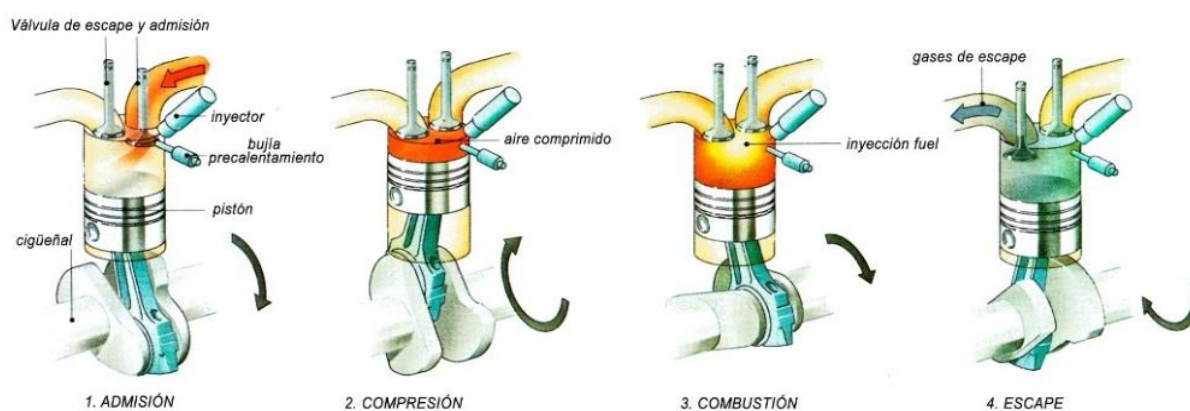
2.2.1. Funcionamiento

El principio de funcionamiento de un motor de combustión MEC comparte similitudes con los motores MCIA, los mismos que alcanzan eficiencias máximas que oscilan entre el 35% y el 50% [14]. El ciclo operativo del MEC comienza con la aspiración de aire hacia la cámara de combustión, donde se genera condiciones de alta presión y temperatura. Posteriormente, antes de alcanzar el punto máximo de compresión, se inicia la inyección de combustible [12]. La combustión resultante es de tipo difuso lo que significa que no requiere una chispa para la ignición de la mezcla. Este proceso se basa en la interacción de factores como la tasa de



inyección de combustible, la relación de mezclado aire-combustible, el intercambio de calor y los efectos de dilución [12], [15]. Por este proceso, llegan a ser uno de los motores más eficientes en combustible [16] y con resultados de eficiencias de hasta un 48% en motores electrónicos Inyección Directa por Riel Común (con sus siglas en inglés CRDI-Common Rail Direct Injection) [17].

Figura 1. Ciclos de trabajo de un motor de encendido por compresión (MEC)



Tomado de: Adrián Lara. Análisis y Rendimiento Térmico en Motores Diésel, 2017.

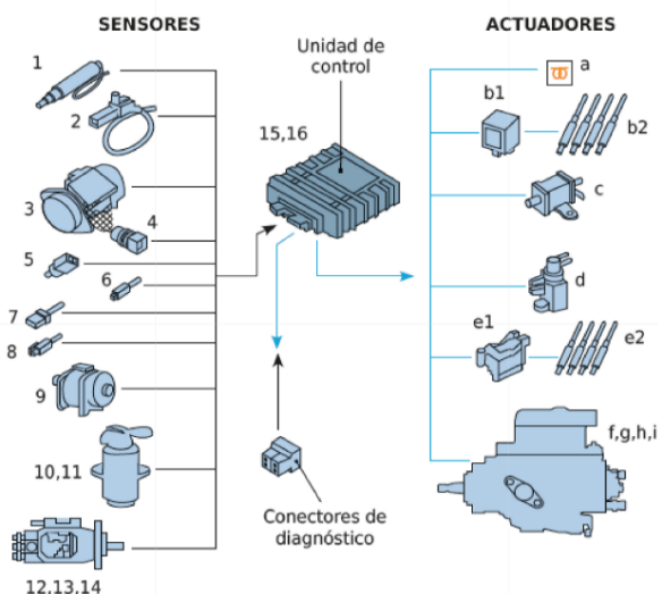
2.3. Sistema electrónico

Actualmente los vehículos diésel que circulan por las carreteras cuentan con sistemas de inyección con gestión electrónico [15], siendo los sistemas CRDI los más empleados [18] debido al funcionamiento del sistema que inyecta combustible a muy alta presión generando una atomización más fina y por consiguiente mejorando la mezcla final aire-combustible [19]. Todo el proceso es administrado por la Unidad de Control Electrónico (con sus siglas en inglés ECU- Engine Control Unit) que generalmente analiza una serie de relaciones de los parámetros del motor que provienen en forma de señales enviadas por los sensores, posterior para el control de los factores claves mediante los actuadores [20].



En la Figura 2 se observa un diagrama de conexión entre los elementos más relevantes e indispensables para la gestión electrónica de un motor MEC. El diagrama inicia por medio de sensores, los mismos que envían una señal hacia la ECU, posterior la computadora envía señales a los actuadores.

Figura 2. Componentes de un sistema electrónico en un MEC



Tomado de: Antonio Rovira y Marta Muñoz. Motores de combustión interna, 2016

2.3.1. Sensores

Es el elemento eléctrico encargado de proporcionar la información necesaria a la ECU [15], su función principal es monitorear las condiciones operativas del vehículo dependiendo su ubicación, de la misma manera, permite comprobar el desempeño correcto de las diferentes partes del vehículo caso contrario enviará una señal errónea [21].

En el vehículo se implementa una gran cantidad de sensores, pero para el correcto funcionamiento de un motor CRDI es primordial la implementación del sensor de posición del cigüeñal (con sus siglas en inglés CKP-Crankshaft Position Sensor), sensor de posición del árbol de levas (con sus siglas en inglés CMP-Camshaft Position Sensor), sensor de posición



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



del pedal del acelerador (con sus siglas en inglés APP-Accelerator Pedal Position Sensor), sensor de flujo de masa de aire (con sus siglas en inglés MAF-Mass Air Flow Sensor), sensor de temperatura del líquido refrigerante (con sus siglas en inglés ECT-Engine Coolant Temperature), sensor de presión absoluta del múltiple (con sus siglas en inglés MAP-Manifold Absolute Pressure) y el sensor de presión del riel de combustible (con sus siglas en inglés FRP-Fuel Rail Pressure).

2.3.2. Actuadores

Se lo puede definir como un dispositivo que transforma una señal eléctrica enviada por la ECU en otro tipo de energía (térmica, mecánica, luminosa, etcétera.)[15], adaptándose a las circunstancias físicas y limitaciones programadas en las que el actuador ajustara de manera dinámica la prioridad y restricciones de su trabajo [22].

Como principales actuadores para el correcto funcionamiento del motor CRDI se emplea el sistema de recirculación de gases de escape (con sus siglas en inglés EGR-Exhaust gas recirculation) y una válvula de mariposa electrónica.

2.3.3. Dispositivos de conexión

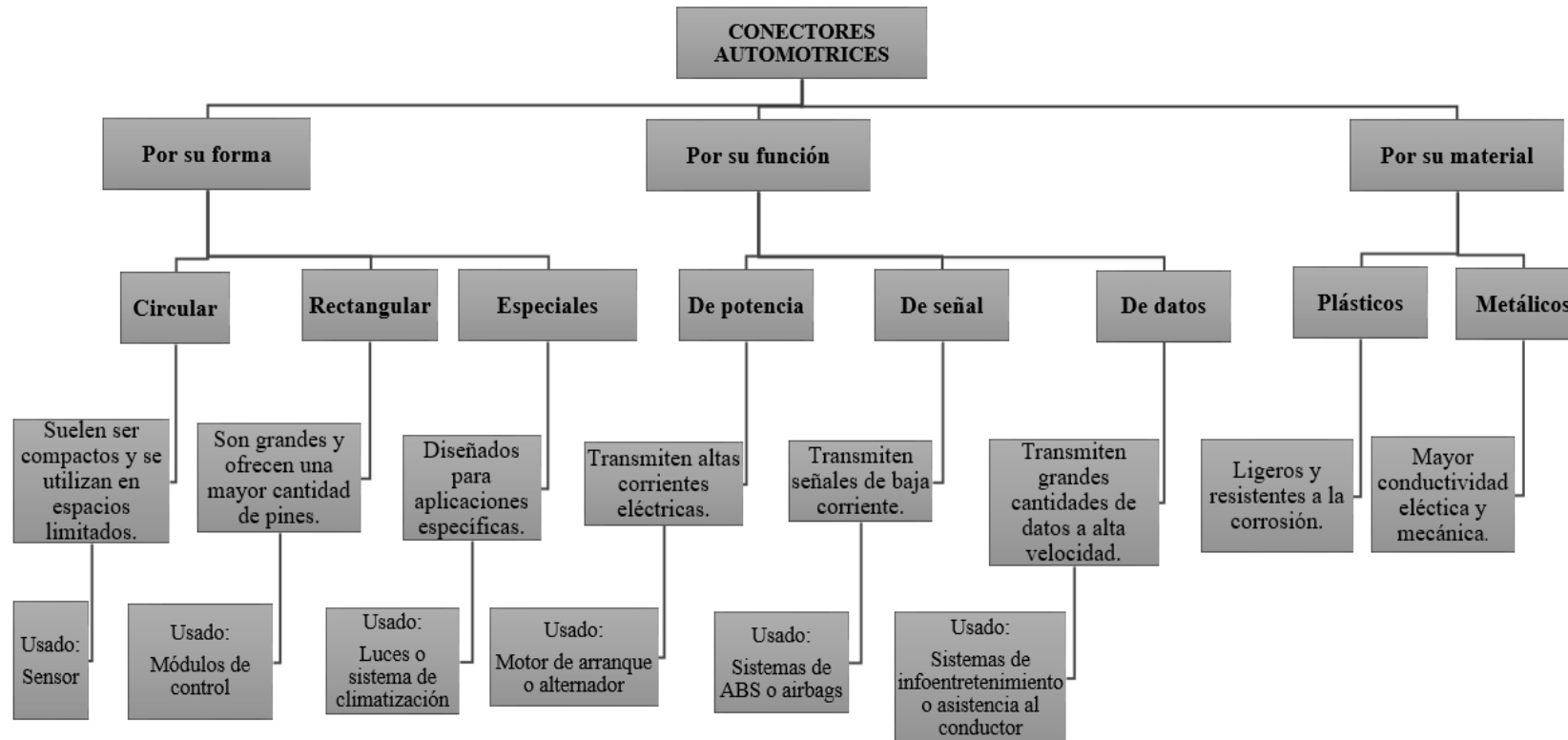
Un dispositivo de conexión, conector o socket tiene como principal objetivo la unión permanente entre componentes del sistema electrónico facilitando la conexión y gestión de la red de cables del vehículo [23]. Además, con el aumento de sensores y actuadores en un motor MEC exige un aumento de la cantidad de conectores [24] debiendo adaptarse a condiciones de vibración, humedad y temperatura que los convierte en elementos perceptibles a fallar [23].



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



Figura 3. Clasificación de los conectores automotrices



Tomado de: Juan Molina. Electricidad, electromagnetismo y electrónica aplicados al automóvil, 2013



2.3.4. Clasificación de conectores

En la Figura 3 se muestra la amplia clasificación de los conectores existentes en el campo automotriz, en el organigrama se detalla las características y las principales aplicaciones de cada uno.

La clasificación de los conectores se realiza tomando en cuenta varios criterios, como su función, forma y material [25], [26].

2.3.4.1. Por su forma.

- **Circular**

La principal característica de un conector circular se puede evidenciar en la carcasa cilíndrica y la cara de acoplamiento debido a que presenta una forma redonda que puede acoplarse de manera simétrica, asimétrica, circular o lineal. Son implementados principalmente por el poco espacio que pueden llegar a ocupar, puesto que su diseño compacto puede acomodar entre uno o cien pines [27].

- **Rectangular**

Poseen una cara de acoplamiento rectangular o trapezoidal con una disposición de contacto uniforme, que durante la inserción garantiza la orientación correcta. Su diseño permite la obtención de conectores de hasta trescientos pines dependiendo el tamaño, en los que la transmisión de potencia varía entre miliamperios hasta amperios e incluso con transmisión de datos hasta el rango de gigabits [27].

- **Especiales**

Su diseño es específicamente para utilizarlos en áreas cercanas al motor o sistemas de escape, exponiéndolos a diferentes magnitudes físicas como vibraciones, humedad y suciedad, pero



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



principalmente a altas temperaturas. Se los considera de los conectores más importantes dentro de la electrónica del vehículo [28], [29].

Por ejemplo, el sensor de flujo de masa de aire (con sus siglas en inglés MAF) al estar ubicado en una posición estratégica y cerca del motor, necesita un conector resistente capaz de soportar humedad, vibraciones y temperaturas a las que trabaja el motor. Así mismo, el sensor de presión de riel de combustible (con sus siglas en inglés APP) al estar ubicado en una posición en la que la presión es demasiada alta, tendrá que soportar altas temperaturas, mientras que los conectores del sensor del pedal de posición de acelerador están sujetos a condiciones de humedad y suciedad, principalmente por su ubicación.

2.3.4.2. Por su función.

- **De potencia**

Su diseño se enfoca para el manejo de altas corrientes y voltajes, siendo su aplicación principal en baterías, motores de arranque, sistemas de carga y bobinas del vehículo. Se los puede categorizar de dos tipos, los mixtos que son usados para transmitir señal y potencia, mientras que los híbridos, integran la transmisión de señal, datos y potencia [30].

- **De señal**

Principalmente son aplicados para la transmisión de datos de control y diversas señales que incluyen sistema de iluminación, sensores de velocidad, presión y temperatura, así como para aplicaciones de alta velocidad, como los sistemas Controller Area Network (CAN con sus siglas en inglés) [30].



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



- **De datos**

Permiten la transmisión de información de gran ancho de banda, y manejan datos a gran velocidad como la comunicación de sistemas de entretenimiento, sistemas de navegación y unidades de control [30].

2.3.4.3. Por su material.

- **Plásticos**

Lo principales materias empleados para la fabricación de este tipo de conectores son el nylon, polipropileno, polietileno y teflón debido a su resistencia al calor, humedad y productos químicos. Una de sus principales ventajas es su resistencia a la corrosión, y son más livianos en comparación con los conectores metálicos [31].

- **Metálicos**

Se fabrican a partir de materiales como el cobre, latón y aleaciones de aluminio, principalmente son aplicados en sistemas eléctricos críticos que requieren conexiones confiables. Además, son utilizados por su baja probabilidad de deformarse a temperaturas extremas o a presiones altas [31].

2.3.4.4. Por la forma de los terminales de contacto.

- **Tipo de engarce**

La conexión eléctrica entre el cable y el contacto se fija mediante el uso de una herramienta de engarce, asegurando una conexión efectiva y segura [30].

- **Tipo de soldadura**

Mediante un proceso de soldadura se logra fijar el cable y el contacto entre sí, obteniendo como resultado una conexión eléctrica de altas resistencias y confiabilidad [30].

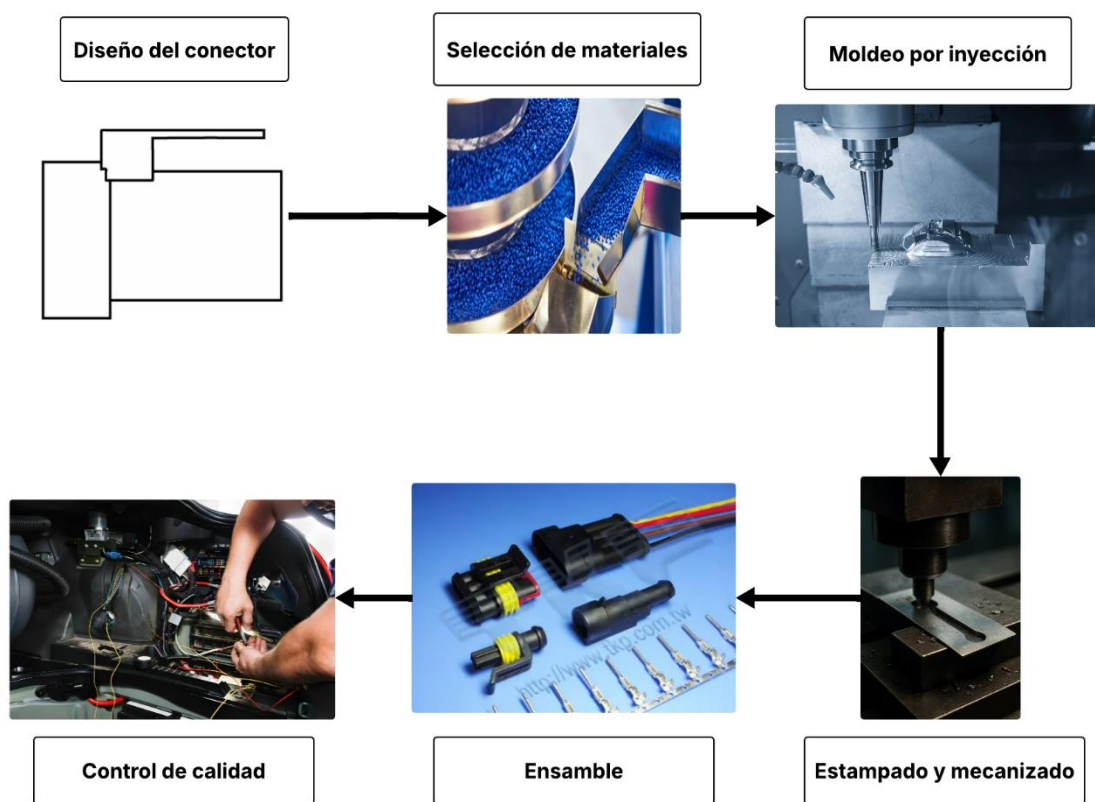


- **Tipo enchufable**

El contacto y el cable se unen a través de un mecanismo de enchufe, asegurando una conexión segura, reemplazo y reparación sencilla del conector. Gracias a este método se facilita el mantenimiento reflejado en la disminución de costos y tiempos de inactividad [30].

2.3.5. Proceso de fabricación de los conectores

Figura 4. Proceso de fabricación de un conector automotriz



2.3.5.1. Diseño.

El proceso de fabricación de un conector se inicia definiendo su propósito, considerando la normativa aplicable. En el diseño principalmente se incluye la forma, tamaño y número de contactores. Entonces, se obtiene un modelo CAD cumplimiento con las especificaciones requeridas para la correcta fabricación del conector [32].



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



2.3.5.2. Selección de materiales.

La selección de materiales implica considerar las condiciones de operación del conector, que incluye vibraciones, humedad y cambios de temperatura. La elección del material incluye para la carcasa, terminales y sellos [32], [33].

Los principales materiales empleados en la carcasa son principalmente plásticos como el Tereftalato de polibutileno (con sus siglas en español PBT) y Nylon con refuerzos de fibra de vidrio. Mientras que para los contactores el cobre, bronce o latón son la mejor opción para lograr una buena conducción eléctrica. Por último, para la fabricación de los sellos se emplean materiales como el caucho o silicona que garantizan la estanqueidad [32], [33]

2.3.5.3. Moldeo por inyección.

Para fabricar carcasas y aislantes de conectores, se recurre comúnmente al moldeo por inyección. Este método implica la fusión de gránulos de plástico que, inyectados a presión en un molde, se enfrían y solidifican, creando la pieza final [34].

2.3.5.4. Estampado y mecanizado.

Una vez que el conector ha sido moldeado, se procede a su estampado o mecanizado para formar los pines y casquillos necesarios según la aplicación. El estampado consiste en perforar y dar forma al conector mediante presión, mientras que el mecanizado emplea herramientas de corte de alta precisión para generar las geometrías requeridas [33]

2.3.5.5. Ensamble.

Tras la fabricación de cada parte del conector, estas se unen para formar el producto final. Este ensamblaje implica la combinación de elementos como carcasas, contactos, aislantes y sellos hasta obtener un conector completo. La elección del método de unión (soldadura, soldadura fuerte, engarzado o ultrasonido) depende del diseño y las especificaciones [34], [35].



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



2.3.5.6. Control de calidad.

Garantizar que los conectores cumplan con las especificaciones técnicas y el rendimiento esperado es un aspecto clave en su fabricación, lo que hace que el control de calidad sea indispensable. La fase de pruebas abarca la evaluación de diversas propiedades eléctricas, mecánicas y ambientales. Las pruebas eléctricas comprueban la conductividad, el aislamiento y la integridad de la señal. Las pruebas mecánicas se enfocan en la resistencia, la vida útil en ciclos de conexión y las medidas físicas. En cuanto a las pruebas ambientales, los conectores se someten a condiciones extremas de temperatura, humedad, vibración y exposición a sustancias químicas, con el fin de asegurar su funcionamiento en entornos reales de uso [34], [35].

2.3.6. Normativa de conectores

El Consejo de Investigación Automotriz de Estados Unidos (con sus siglas en inglés USCAR-The United States Council for Automotive Research) desempeña un rol fundamental en la estandarización dentro del sector automotriz, especialmente en lo que respecta a los conectores utilizados en los vehículos. La especificación USCAR12-6 sirve como una referencia clave durante las primeras fases del diseño de estos conectores eléctricos, ya que establece lineamientos precisos y criterios de diseño cuantificables que deben ser cuidadosamente evaluados y aplicados antes de iniciar la fabricación o el mecanizado de las piezas [36].

Por otro lado, USCAR2-8 define los requisitos de rendimiento que deben cumplir los sistemas de conectores utilizados en automóviles. Esta norma contempla una amplia gama de pruebas de desempeño, que se llevan a cabo desde las etapas conceptuales hasta la producción en masa, incluyendo un análisis minucioso de los terminales y conectores que componen las redes eléctricas. El objetivo principal de la USCAR2-8 es garantizar que las conexiones eléctricas en



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



vehículos de bajo voltaje (0-20 VCC) sean duraderas y confiables. En definitiva, estas normativas buscan asegurar la calidad, compatibilidad y seguridad de los sistemas de conexión eléctrica dentro de la industria automotriz [37].

2.3.7. Problemas de los dispositivos de conexión

Según Ma, los módulos automotrices durante su vida útil pueden sufrir condiciones de funcionamiento extremas por motivos de falla de la ECU, errores humanos y factores que pueden ser incontrolables [38], estas condiciones de fallo pueden ser relacionadas con los dispositivos de conexión debido a su similar funcionamiento.

Todas esas condiciones pueden ocasionar daños tanto en la estructura y en la parte interna de un conector, los problemas más habituales son: Cables dañados (sin aislante), conectores rotos o deteriorados y terminales de los conectores doblados o desgastado [39]. Otro de los principales problemas es la generación de corto circuitos, se originan de forma accidental por el contacto de conductores de polos opuesto que no presentan aislantes, su principal resultado es el flujo de corriente excesivo que normalmente quema al conector y otros componentes de su alrededor [40].

2.4. Sustracción de componentes electrónicos de un motor

Los vehículos han aumentado su crecimiento exponencialmente, así mismo, ha incrementado el número de casos de sustracción tanto de autopartes como de vehículos, según Saini en algunos países se estima que el robo de vehículos son uno de cada 10 minutos [41]. Por ejemplo, en Ecuador según la Fiscalía General del Estado en el año 2023 existió una cifra de 15.824 vehículos sustraídos y 8.439 casos de desfalco de bienes, accesorios y autopartes en las algunos componentes del sistema electrónico son mayormente codiciados [42].



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



2.4.1. Accesibilidad y disponibilidad de componentes electrónicos de un motor

La complejidad del diseño de los componentes electrónicos los lleva a superar la tercera parte del valor de un vehículo, entre los años setenta los componentes electrónicos solamente constituían el 1% del costo del vehículo, actualmente representan un promedio del 40% [43]. Según Lara, el valor promedio en la adquisición de componentes electrónicos en 1977 era de 110 dólares, pero con el aumento de la competencia, exigencias de seguridad propuestas por los gobiernos, la demanda de los usuarios de mayor confort, la implementación de nuevas tecnologías y la mejora en procesos de calidad de producción, hasta el año 2002 el sistema electrónico constituida el 20% del valor real del vehículo, lo que representaba 1.800 dólares [44].

2.5. Prototipado de piezas automotrices

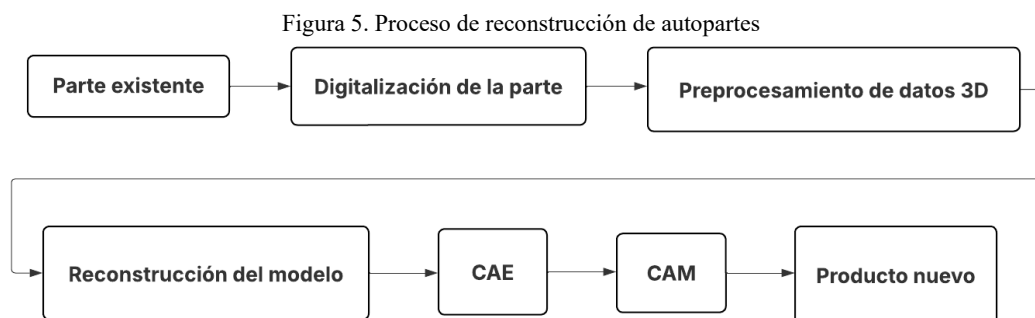
Según Rehberg, los prototipos pueden ser descritos como artefactos físicos, pero también, se los clasifica como modelos o dibujos de Diseño Asistido por Computadora que representa una versión preliminar de un producto o componente [45]. En la industria automotriz, el proceso de prototipado se lo considera de enfoque innovador debido al papel que juega en el desarrollo de autopartes, principalmente en las pruebas funcionales que someten a los prototipos para determinar si un producto está listo para la etapa de producción masiva [46].

2.5.1. Reconstrucción de piezas automotrices

Los procesos de reconstrucción de autopartes se lo realizan por medio de software de modelado 3D que incluye recursos humanos, tiempo y dinero, pero la ventaja es el proceso que se aplica para generar escenas u objetos 3D a partir de imágenes 2D mediante la combinación de varios campos, como la visión artificial, procesamiento de imágenes y computación gráfica [47].



La Figura 5 muestra el proceso de reconstrucción 3D, se inicia con la adquisición de la nube de puntos de la autoparte con el uso del escáner 3D, luego se importa a un software para la reproducción y reconstrucción del modelo, se realiza análisis del rediseño en el que se obtiene el prototipo deseado [48].



Tomado de: Yuqing Zhou. Reverse Modeling of Auto part based on CATIA, 2012

2.6. Introducción a las tecnologías 3D

La revolución de la fabricación digital y la combinación de corrientes de comportamiento basadas al uso del internet han permitido el desarrollo de tecnología para la obtención y reconstrucción de piezas mediante máquinas controladas por ordenador o dispositivos que facilitan la toma de datos [49]. Además, la comercialización de tecnología moderna y la introducción de dispositivos más avanzados como escáner e impresoras 3D ha permitido el desarrollo de la ingeniería inversa, donde el punto de partida es un objeto físico al que se lo copia y modifica para obtener un prototipo posiblemente mejor [50].

2.6.1. Modelado 3D

La industria ha optado por la creación de modelos 3D de productos mediante ingeniería inversa, pero en el modelado de objetos prefieren iniciar realizando el proceso en un taller con el uso de herramientas físicas y materiales como la arcilla o madera en lugar del uso de una computadora, una vez obtenido el prototipo físico, con el uso de tecnología 3D obtienen un



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



modelo CAD. Por ejemplo, la industria automotriz en el diseño de carrocerías, en primera instancia lo realizan de forma manual en arcilla, después lo trasladan a un modelo virtual [51]. El modelado 3D es una técnica que cambia figuras de un plano a un modelo 3D usando tecnologías de animación y simulación por computadora [52] que incluye tanto información de espacio como de textura de un objeto [53]. Además, al modelo 3D obtenido se lo puede simular a condiciones reales, mediante la configuración del posicionamiento del espacio y de las situaciones del campo [52].

2.7. Escáner 3D

Un escáner 3D es un aparato electrónico que analiza un objeto para reunir datos de sus características especialmente de la forma para la obtención de modelos tridimensionales, la información obtenida genera una nube de puntos a partir de muestras geométricas, cada punto de la nube consta de coordenadas en los planos ortogonales (x, y, z), que forman una malla para extrapolar la forma del objeto [54], [55], [56].

Un escáner 3D produce prototipos de alta precisión reduciendo errores de medición hasta en un 70%. Con la implementación en el área de ingeniería mejora significativamente la eficiencia y precisión, consecuencia de la eliminación de procesos manuales [57].

2.7.1. Tipos de escáner 3D

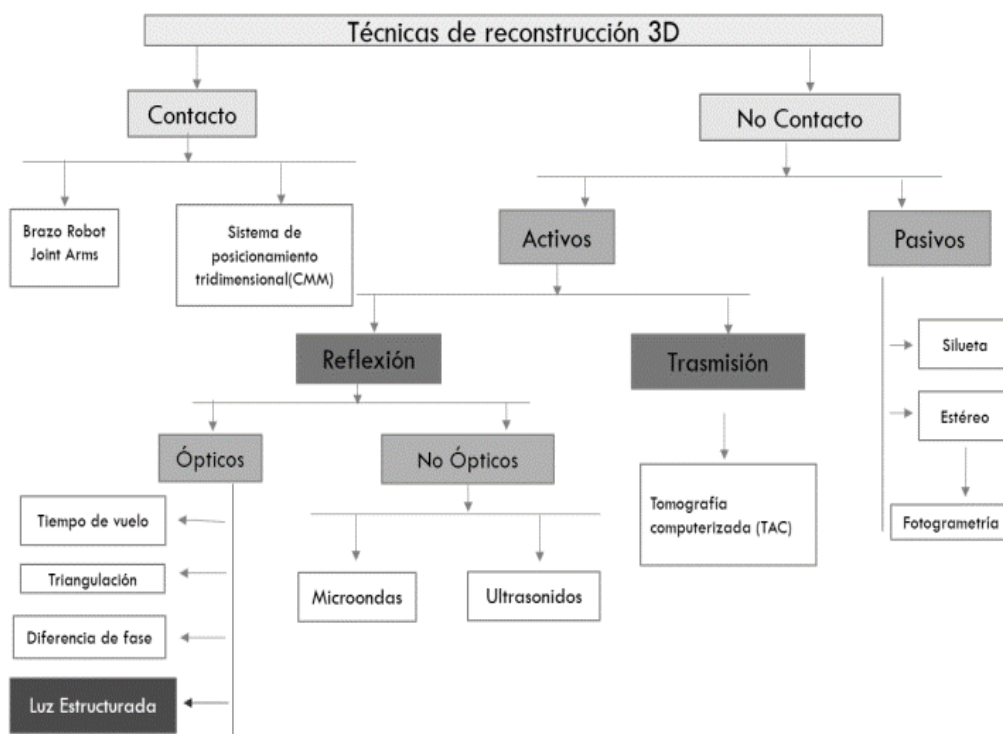
En la actualidad, existen dos tipos de escáner: el que trabaja por contacto y el que lo hace sin contacto, siendo el que se utiliza en el mundo de la impresión 3D [58].

En la Figura 6 se observa la clasificación del escáner 3D aplicados para procesos de reconstrucción 3D, los dos tipos principales se diferencian por el contacto o no que existe con



el objeto, de los cuales se clasifican en diferentes tipos, unos serán más eficientes que otros, pero todos están diseñados para el mismo fin que es la obtención de modelos tridimensionales.

Figura 6. Clasificación de los escáneres 3D aplicados a la ingeniería inversa



Tomado de: Carlos Morón. Metodología de trabajo conjunto de escaneado e impresión 3D, 2018

2.7.1.1. Escáner de contacto.

Son dispositivos que emplean sondas de contacto apoyando el elemento de medida (palpador) que generalmente su punta es de acero duro o zafiro de forma automática sobre contornos de las superficies del objeto del que se desea obtener el modelo tridimensional [55], [59].

- Escáner de contacto de punta montada

Cuenta con brazos robot que permiten girar la sonda de medición del escáner en cualquier dirección, la principal ventaja radica en que el operador tiene la posibilidad de intercambiar las puntas exploratorias dependiendo de las características de la superficie del objeto [55].



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



- Escáner de contacto de medición por coordenadas (CMM)

Una máquina de medición por coordenadas (con sus siglas en inglés CMM - Coordinate Measuring Machine) utiliza sondas de tipo láser, ópticas, mecánicas y de luz blanca, permitiendo el movimiento a lo largo de los ejes (x, y, z), y en ocasiones el control del ángulo de la sonda. Se utilizan para los procesos de fabricación de piezas con mayor precisión, pero la principal desventaja es que son relativamente lentas en comparación con otro escáner, y al estar en contacto con el objeto pueden modificar o dañar la estructura [60].

2.7.1.2. Escáner sin contacto.

Los métodos de escaneo sin contacto se los considera cada vez más sofisticados, a pesar de su menor precisión, pero su principal ventaja son los resultados objetivos que se obtiene [61] por ser rápidos en el proceso de digitalización con alta densidad de puntos para aquellos objetos que sus tolerancias son superiores a milésimas de milímetro [62] debido a la forma en que trabaja el escáner basado en una interacción entre el objeto y un tipo de radiación (rayos X, infrarrojos, láser y ondas de radio) [55].

Este tipo de escáner se subdivide en pasivos y activos.

- Escáner sin contacto pasivo

Este tipo de escáner no emite ningún tipo de radiación por sí mismo exceptuando la infrarroja o estereoscópica, pero recepta la radiación del ambiente [63].

Sistema estereoscópico: Simula el principio de un ojo humano, analizando las diferencias de las imágenes captadas y determina la profundidad de una escena. El sistema está compuesto por dos cámaras de video situadas muy cerca permitiendo mirar al mismo objeto [55].

Sistema fotométrico: Requiere de una sola cámara, toma varias imágenes de una sola escena, pero en diversos ángulos y en diferentes condiciones de iluminación [55].



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



- Escáner sin contacto activo

Emiten señales electromagnéticas, rayos X, ultrasonidos, haz de luz u ondas de radio para captar la geometría del objeto [63]. En la actualidad los más usados son:

- Tiempo de vuelo: Consta de un láser y un buscador de rango, el funcionamiento se basa en un diodo láser que emite un haz de luz, mide el tiempo transcurrido desde la emisión hasta que el detector logre ver a la luz reflejada, una vez detectada se logra conocer la posición del punto en el que se refleja, aproximadamente se mide la distancia de 10.000 a 100.000 puntos cada segundo [55].
- Triangulación: Se proyecta un rayo láser sobre el objeto, y mediante una cámara se detecta la ubicación del punto donde incide, se lo conoce de esta manera porque el punto donde el rayo láser encuentra la superficie del objeto, la cámara y el emisor forman una especie de triángulo [64].
- Luz estructurada: Consta de una o varias cámaras y un proyector de plasma de patrón, para la digitalización se proyecta un patrón hacia el objeto, la superficie del objeto deforma el patrón y las rayas se adaptan a la forma y el escáner mediante las cámaras toma en consideración el patrón distorsionado para generar el modelo 3D [64].

2.8. Impresión 3D

La impresión 3D es catalogada como una técnica de fabricación aditiva (con sus siglas en inglés AM-Additive manufacturing) que consiste en la elaboración de estructuras y geometrías complejas en un solo paso, incluyendo la adición de materias primas [65]. Mediante un proceso de impresión de capas continuas o capa por capa, a un ritmo medio de dos centímetros de altura por hora, se aplica productos químicos o calor para alinear las partículas de las capas entre sí,



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



permitiendo añadir más capas y replicar el proceso hasta la obtención del producto deseado [66], [67].

2.9. Técnicas de fabricación aditiva

2.9.1. *El modelado por deposición fundida*

El modelado por deposición fundida (con sus siglas en inglés FDM-Fused Deposition Modeling) es una de las tecnologías de impresión 3D más comunes debido a la fácil accesibilidad. En la impresión FDM, se emplea un filamento de material termoplástico que alimenta a un extrusor, el material alcanza un estado de fundición debido a la aplicación de temperatura de fusión del polímero, para ser forzado a salir por una boquilla que permite depositar el material en finas capas [68].

2.9.2. *Deposición directa de energía*

La técnica de deposición directa de energía (con sus siglas en inglés DED- Directed Energy Deposition) opera a partir de un material fundido que generalmente es alambre o polvo, funciona a partir de un haz de energía concentrada (un láser o un haz de electrones) que permite la creación de objetos sin la necesidad de soportes [69].

Existen procesos aplicados a la técnica DED, por ejemplo, la deposición de metal por láser (con sus siglas en inglés LMD) y el modelado de red mediante ingeniería láser (con sus siglas en inglés LENS) son similares debido al uso de un rayo láser, el cual forma un charco compuesto de polvo metálico sobre una capa existente, mientras que la fabricación libre por haz de electrones (con sus siglas en inglés EBF) emplea una cámara de vacío con un haz de electrones que su principal función es derretir el material para la creación de capas, por último, el proceso arco de alambre (con sus siglas en inglés WAAM) emplea un arco eléctrico como fuente de energía para depositar las capas necesarias [65].



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



2.9.3. Fusión de lecho de polvo

La fusión de lecho de polvo (con sus siglas en inglés PBF- Powder Bed Fusion) opera mediante el principio de fundir polvo metálico sobre un sustrato usando cámaras de vacío o gases inertes, una vez creada una capa, un rodillo ayudara con la distribución de una nueva capa de polvo [65]. La sinterización selectiva por láser (con sus siglas en inglés SLS) es uno de los procesos que aplica la técnica PBF, que consiste en fundir polvo plástico usando una láser de alta potencia, a diferencia del proceso de la fusión selectiva por láser (con sus singlas en inglés SLM) en la que el polvo es fundido y luego se fusiona [70].

2.9.4. Inyección aglutinante

Es un proceso que requiere un aglutinante que actúa como adhesivo en las capas y un material a base de polvo, la boquilla alterna las capas entre aglutinante y la base de polvo para formar capa a capa el objeto deseado [69].

2.9.5. La estereolitografía

La estereolitografía (con sus siglas en inglés SLA-Stereolithography Apparatus) es una de las primeras técnicas que se usaron para la impresión 3D. Es un proceso en el que se emplea un rayo láser ultravioleta que solidifica las capas de los fotopolímeros líquidos de manera sucesiva [71].

La SLA en comparación con otros procesos de fabricación aditiva puede alcanzar procesos con gran precisión y exactitud por la alta resolución de la proyección del láser. No obstante, puede presentar imperfecciones en las piezas producidas debido a ciertas limitaciones que influyen en la fabricación, considerando que la más importante es la contracción dimensional, está directamente relacionado con el grado de polimerización de la resina. Por lo tanto, este fenómeno se produce en la fase de construcción y en la fase de post-curado, este fenómeno



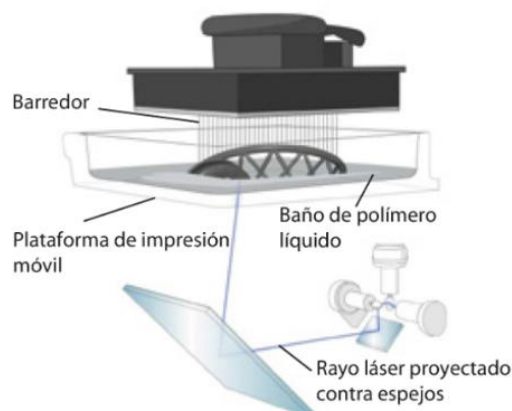
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



ocurre cuando la transformación de monómeros líquidos a un polímero reticulado sólido incrementa el número de enlaces covalentes, que son más fuertes que las fuerzas intermoleculares, lo cual provoca la contracción del área de la capa [66], [71].

Como se indica en la Figura 7, la impresora SLA cuenta con un depósito para fotopolímeros líquidos, una plataforma móvil sumergida en el depósito, un láser de rayos ultravioleta y un ordenador que se encarga de controlar el láser y la plataforma. Para el proceso de impresión 3D, el programa de la impresora analiza el archivo CAD (con sus siglas en inglés-Computer Aided Design) segmentándolo en láminas finas de alrededor de 0.05 a 0.1 mm de grosor, preparando el modelo. A continuación, el láser dibuja la primera lámina según las indicaciones, pasa sobre las superficies y solidifica los fotopolímeros líquidos que están expuestos, de esta manera crea la primera capa. Posteriormente, la plataforma móvil desciende una fracción de milímetro para que el láser pueda continuar con el trazado, este proceso se repite capa tras capa hasta la obtención del modelo final. Al terminar la impresión, es necesario lavar el modelo con un disolvente, para después colocarlo en un horno ultravioleta y que se disuelvan todas las uniones de soporte [66].

Figura 7. Componentes de una impresora SLA



Tomado de: Mathilde Berchon y Bertier Luyt. La impresión 3D, 2016



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



2.10. Material de impresión 3D

La clasificación de los materiales de impresión 3D se los divide en dos familias: los polímeros y metales, además las cerámicas y los materiales orgánicos son parte de esta clasificación. Cabe recalcar que no todos son compatibles con las técnicas debido a las propiedades que presentan [66].

2.10.1. Polímeros

Son de los materiales más utilizados para la impresión 3D y son considerados uno de los principales por su rentabilidad, disponibilidad y propiedades mecánicas, lo que los hace compatibles con varias técnicas de impresión. Los polímeros ofrecen una amplia gama de colores y acabados, pero una de sus principales desventajas es la poca resistencia mecánica y al calor de los metales siendo propensos a la deformación o encogimiento durante la impresión [65].

Tabla 1. Comparación de las propiedades y características de los principales materiales a base de polímeros

Material	Resistencia a la tracción (MPa)	Punto de fusión (°C)	Temperatura de impresión (°C)	Resolución de impresión (micras)	Costo (\$/kg)
PLA	60-70	150-160	190-220	50-200	20-40
ABS	930-45	220-240	230-260	100-300	20-40
PETG	50-70	250-260	230-250	50-200	25-45
Nylon	40-85	175-190	230-280	50-150	40-80

Tomado de: Alami Abul *et al.* Additive manufacturing in the aerospace and automotive industries: Recent trends and role in achieving sustainable development goals, 2023

2.10.2. Metales y aleaciones

La fabricación aditiva con metales se encuentra en perspectivas de crecimiento, su aplicación implica varias ventajas como una excepcional resistencia mecánica, usándolo para la



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



fabricación de componente robustos. Además, ofrecen una buena conductividad térmica y resistencia al calor. Sin embargo, una de sus principales desventajas es el peso que presentan, limitando su uso en aplicaciones [67].

Tabla 2. Comparación de las propiedades y características de los principales materiales a base de metales

Material	Resistencia a la tracción (MPa)	Punto de fusión (°C)	Temperatura de impresión (°C)	Resolución de impresión (micras)	Costo (\$/kg)
SS (316L)	485-620	1370-1450	1250-1450	20-100	100-300
Ti-6Al-4V	900-1000	1668-1700	900-1000	20-100	200-600
AlSi10Mg	310-380	1300-1400	1300-1400	20-100	200-500
Co-Cr	800-1000	1300-1400	1300-1400	20-100	200-500
Inconel 625	650-800	1290-1350	1300-1400	20-100	300-800

Tomado de: Alami Abul *et al.* Additive manufacturing in the aerospace and automotive industries: Recent trends and role in achieving sustainable development goals, 2023

2.10.3. Cerámicas

Este tipo de material presenta varias ventajas como la resistencia a la corrosión y resistencia al calor permitiendo el uso en aplicaciones de alta temperatura. De igual manera, presenta una dureza que permite la fabricación de piezas duraderas. Por otra parte, son considerados como materiales frágiles lo que limita su uso para la impresión 3D [65].

Tabla 3. Comparación de las propiedades y características de los principales materiales a base de cerámica

Material	Resistencia a la tracción (MPa)	Punto de fusión (°C)	Temperatura de impresión (°C)	Resolución de impresión (micras)	Costo (\$/kg)
Alúmina	300-400	2072	1400-1600	10-100	50-200
Zirconio	900-1200	2715	1500-1700	10-100	100-300



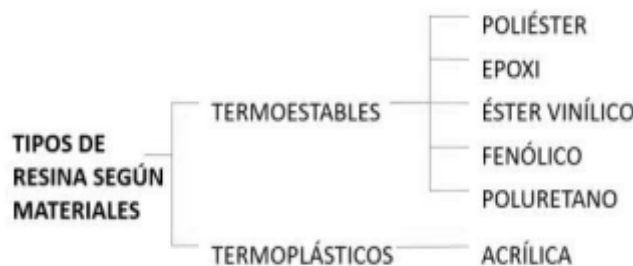
Carburo de silicio	200-400	2700-2830	2200-2400	10-100	150-400
---------------------------	---------	-----------	-----------	--------	---------

Tomado de: Alami Abul *et al.* Additive manufacturing in the aerospace and automotive industries: Recent trends and role in achieving sustainable development goals, 2023

2.10.4. Resinas

Una resina se la puede considerar como una sustancia que cambia sus propiedades por acción de la luz, principalmente ultravioleta, generando una gran diferencia entre las partes expuestas y no expuestas. Las resinas pueden clasificarse según el material de su composición. En la figura se muestra la principal clasificación de las resinas según su material [72].

Figura 8. Clasificación de la resina según su material



Tomado de: Inés Valls y David Blay. Impresora 3D de resina por estereolitografía, 2018

2.10.4.1. Resinas termoestables.

Son el principal producto para la fabricación de materiales compuestos. Este tipo de resina tiene la característica de poseer un proceso llamado polimerización, mediante el cual se convierte de estado líquido a sólido. Además, cuando se aplica en la producción de modelos, son curados mediante un catalizador, que endurece al elemento, una vez sólido no puede volver a su forma original [73].



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



- **Poliéster**

Representan un promedio del 75% del total de resinas utilizadas. Se las puede considerar muy versátiles por su capacidad de ser modificadas o adaptadas. Así mismo, presentan un equilibrio de propiedades, estabilidad dimensional, costo y facilidad de procesamiento [74].

- **Epoxi**

Ofrecen un alto nivel de rendimiento, principalmente por su característica de mezcla con otras resinas epoxis. Su aplicación está en compuestos de alto rendimiento en las que es necesario propiedades mecánicas, resistencia a líquidos, propiedades eléctricas, rendimiento a altas temperaturas y una buena adhesión a un sustrato. Sin embargo, una de sus principales desventajas es su poca resistencia UV [74].

- **Ester vinílico**

Estas resinas se producen por la reacción entre ácido acrílico y resina epoxi, resultando un material que es disuelto en estireno para obtener un líquido similar a la resina poliéster. Este proceso no se lo cataloga como complejo y no es necesario el uso de prácticas especiales de fabricación, permitiendo la obtención de propiedades de dureza mecánica y excelente resistencia a la corrosión [74].

- **Fenólico**

Su fabricación es basada en fenol, se curan a través de reacciones de condensación produciendo agua. Sus principales cualidades en el rendimiento es la resistencia a altas temperaturas, aislamiento térmico, resistencia a la fluencia y amortiguación de sonido [74].

Poliuretano

Pueden encontrarse de una gran variedad de formas y son utilizados como adhesivos, elastómeros, revestimientos o espumas. Sus principales características es la resistencia,



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



flexibilidad y rápido curado por algunos de sus constituyentes básicos con diferentes pesos moleculares [73].

2.10.4.2. Resinas termoplásticas.

Este tipo de resina no puede ser reticulada, es decir, puede fundirse, curar y volver a fundir. Su principal característica es por sus materiales que presenta como el ABS, polietileno, poliestireno y policarbonato. Son utilizadas por su capacidad de ser moldeadas mientras se encuentran en un estado semifluido, formando enlaces extremadamente fuertes dentro de las moléculas de la cadena [72].

- **Resina acrílica**

Es una resina líquida fotosensible compuesta principalmente de monómeros acrílicos y foto iniciadores. Cuando se expone a luz UV (normalmente de 405 nm), se solidifica capa por capa, permitiendo crear modelos con alta precisión y detalle [72].



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS


3.1. Materiales

3.1.1. Conectores

El material principal para el desarrollo del estudio son los conectores, los cuales se digitalizarán. En este caso, se digitalizarán cuatro conectores: tres provenientes de los sensores principales y un conector asociado al actuador, todos ellos con influencia directa en el funcionamiento de un MEC.

Cómo se determinó en el tema 1.3 los conectores a realizar son los del sensor MAF, APP, FRP y del inyector. En el tema 1.7.4.1 se menciona la importancia de este tipo de conectores.




Tabla 4. Características de los conectores expuestos a la digitalización

Conector	Características	Figura
MAF	Dimensiones (largo x ancho x alto): 26.92 x 43.55 x 22.2 mm	
	Número de pines: 5	
	Forma: Rectangular-Especial	
	Material: Termoplástico	



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



APP	Dimensiones (largo x ancho x alto): 25 x 43 x 23.8 mm	
	Número de pines: 6	
	Forma: Rectangular-Especial	
	Material: Termoplástico	
FRP	Dimensiones (largo x ancho x alto): 31.4 x 29.2 x 16.97 mm	
	Número de pines: 3	
	Forma: Rectangular-Especial	
	Material: Termoplástico	
Inyector	Dimensiones (largo x ancho x alto): 29.75 x 26 x 20 mm	
	Número de pines: 2	
	Forma: Rectangular-Especial	
	Material: Termoplástico	



3.1.2. Escáner 3D

El escáner Revopoint MIRACO PRO permite capturar geometrías de objetos pequeños de dimensiones mínimas de 10x10x10 mm y objetos de gran volumen de dimensiones máximas de 4x4x4 m, debido a su sistema de cámara de cuatro profundidades. Además, su precisión de 0.05mm permite crear modelos 3D con texturas fotorrealistas listos para el modelado 3D.

Figura 9. Escáner Revopoint MIRACO PRO



Tomado de: Revopoint. Revopoint Miraco, 2025

Tabla 5. Ficha técnica del escáner Revopoint MIRACO PRO

Revopoint MIRACO PRO	
Dimensiones del escáner (largo x ancho x alto)	200 x 50 x 110 mm
Peso	750 g
Resolución de cámara RGB	48 megapíxeles 8k
Velocidad de escaneo	15 fps
Precisión de fotograma único	0.05mm
Área de captura única a la distancia más cercana	28 x 53 mm a 100 mm
Área de captura única a la distancia más lejana	975 x 775 mm a 1000 mm
Volumen mínimo de escaneo	10 x 10 x 10 mm
Volumen máximo de escaneo	4 x 4 x 4 m
Distancia de trabajo	100-1000 mm

Tomado de: Revopoint. Revopoint Miraco, 2025



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



3.1.3. Impresora 3D

La Anycubic Photon Mono X 6K es una impresora 3D de resina que destaca por su alta resolución, lo que se traduce en una precisión superior y tiempos de impresión notablemente reducidos. Esto permite la creación de modelos 3D con detalles excepcionalmente finos y superficies lisas, satisfaciendo las demandas de proyectos que requieren alta fidelidad.

Figura 10. Impresora Anycubic Photon Mono X 6K



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

Tabla 6. Ficha técnica del escáner Revopoint MIRACO PRO

ANYCUBIC Photon Mono X 6K	
Tecnología	SLA basada en LCD
Capa Resina	0.01 ~ 0.15mm
Velocidad de impresión	Máximo 60 mm/h
Precisión de impresión	5760 x 3600 px (6k)
Potencia nominal	120W
Tamaño de la impresora (largo x ancho x alto)	270 x 290 x 475 mm



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



Volumen de construcción (largo x ancho x alto)	197 x 122 x 245mm
Material	Resina UV de 405 nm
Peso neto	11kg

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

3.1.3.1. Resina tipo ABS Like

Este tipo de resina combina resistencia y durabilidad del ABS, pero con la sencillez de manejar de una resina fotopolímera. Resulta una opción para piezas que necesitan ser funcionales, como prototipos, herramientas, piezas mecánicas y componentes sometidos a tensión o uso constante.

Tabla 7. Ficha técnica de la resina tipo ABS Like

Resina tipo ABS Like	
Peso	1Kg
Densidad (g/cm ³)	1.05 – 1.25
Viscosidad (MPa*S)	130 – 230
Fuerza Máxima (N)	1443.54±10%
Resistencia a la tracción (MPa)	34.7±10%
Módulo de Tracción (Mpa)	474.26±10%
Alargamiento a la rotura	19.54±10%
Fuerza Flexible (Mpa)	39.47±10%
Módulo de flexión (Mpa)	1156.21±10%

Tomado de: PRODEMAQ. Resina tipo ABS Like, 2025



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



3.1.4. Software

3.1.4.1. Software CAD para la digitalización.

Es una herramienta software crucial para la digitalización y el procesamiento de datos 3D, diseñada específicamente para complementar la funcionalidad del escáner Revopoint MIRACO PRO. Su principal función radica en facilitar la creación de nubes de puntos precisas, así como en proporcionar las herramientas necesarias para el procesamiento y la edición exhaustiva de los datos capturados. Esto permite refinar modelos 3D, preparándolos para su exportación a diversas aplicaciones de modelado y diseño.

3.1.4.2. Software CAD para postratamiento y reconstrucción de información de digitalización

Se presenta como una plataforma integral de diseño 3D, que permite transformar conceptos en realidades a través de la creación de modelos y ensamblajes virtuales. Este software no solo facilita la materialización, sino que también optimiza el flujo de trabajo mediante la importación de nubes de puntos digitalizadas, permitiendo una reconstrucción en modelos sólidos y la modificación detallada de figuras utilizando sus diversas herramientas.

Además, integra herramientas de simulación avanzadas, que permiten validar la funcionalidad y el rendimiento de los productos en un entorno virtual. Esto asegura que los diseños estén listos para la producción, minimizando errores y optimizando los procesos de fabricación.

3.1.4.3. Software CAM para laminar el sólido

Es un software utilizado en la impresión 3D de resina, diseñado para preparar modelos 3D para la impresión capa por capa. Su principal función es convertir archivos de modelos 3D en instrucciones que las impresoras de resina pueden entender, ajustando parámetros de impresión clave como el tiempo de exposición de capa y la altura de capa. Además, ofrece herramientas

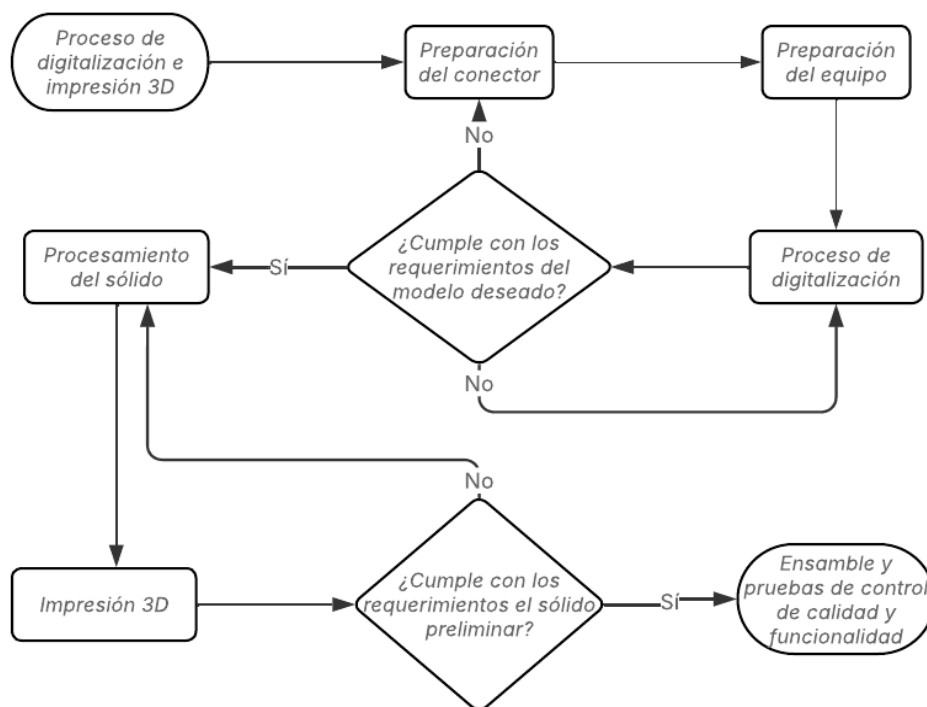


para la generación de soportes, edición básica de modelos y la creación de archivos compatibles con una variedad de impresoras.

3.2. Método

La metodología aplicada al estudio se encuentra resumida en la Figura 11, se detalla el proceso para la obtención de un prototipo de un conector automotriz mediante la digitalización. El proceso empieza con la preparación del conector y del equipo para la digitalización, permitiendo la digitalización y procesamiento del sólido, procesos extensos debido a las reiteradas ocasiones que se debe capturar la nube de puntos o editar el sólido hasta obtener lo deseado. Por último, cuando se haya obtenido el sólido deseado se procede a la impresión de 3D y la validación mediante simulaciones y pruebas de control de calidad y funcionalidad.

Figura 11. Marco metodológico del estudio





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



3.2.1. Preparación del conector

Previo al inicio del escaneo 3D, el objeto debe ser limpiado de manera que se elimine cualquier residuo graso, polvo o partículas que puedan interferir con la precisión del escáner.

Para optimizar la digitalización, como se muestra en la Figura 12, el objeto se prepara aplicando talco industrial y, en las áreas donde este no se adhiere, se utiliza tinta acrílica blanca para mejorar la reflectividad. Este recubrimiento es fundamental, debido a que el escáner 3D opera con luz estructurada infrarroja, captura la geometría del objeto con mayor precisión cuando este refleja una cantidad significativa de luz, propiedad que se maximiza con superficies blancas.

Figura 12. Preparación del conector para la digitalización



3.2.2. Preparación del equipo

En la Figura 13 se observa la instalación del escáner (A) a un trípode (B) para asegurar su estabilidad. Para maximizar la captura de detalles, el objeto se coloca sobre una base giratoria (C) que rota a una velocidad considerable. Además, la distancia entre la base giratoria y el trípode con el escáner debe ser aproximadamente 250mm, ajustándose según la posición requerida. Es crucial minimizar la exposición lumínica del área de digitalización, dado que con la reflectividad del objeto blanco se consigue una mejor precisión.



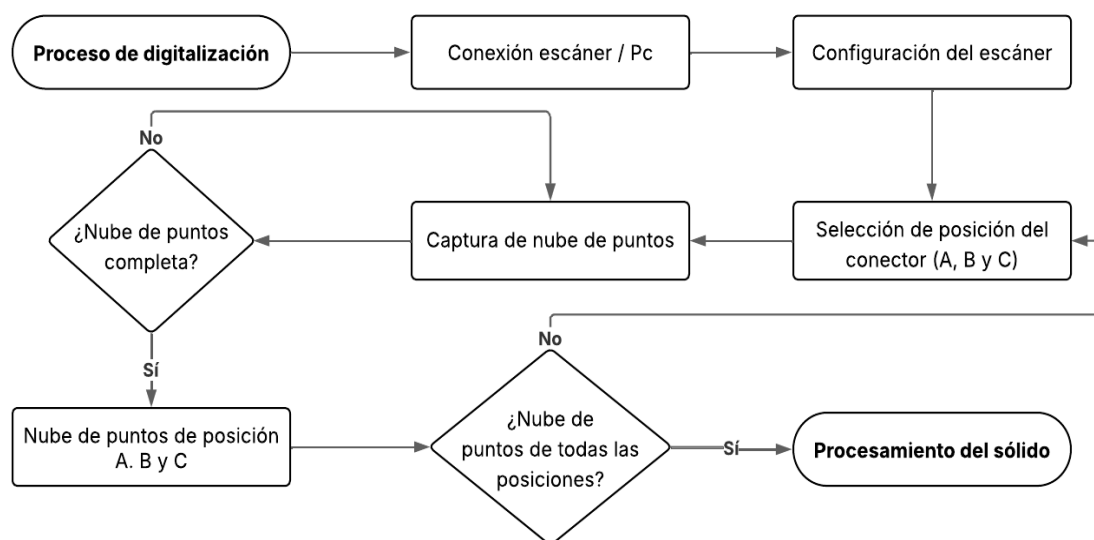
Figura 13. Preparación del equipo para la digitalización: A) Escáner B) Trípode C) Base giratoria



3.2.3. Proceso de digitalización

En la Figura 14 se detalla el proceso de digitalización, principalmente se explica la configuración del escáner, posiciones del conector para la digitalización y la captura de la nube puntos, considerándose de los procesos más importantes en el estudio.

Figura 14. Marco metodológico del proceso de digitalización

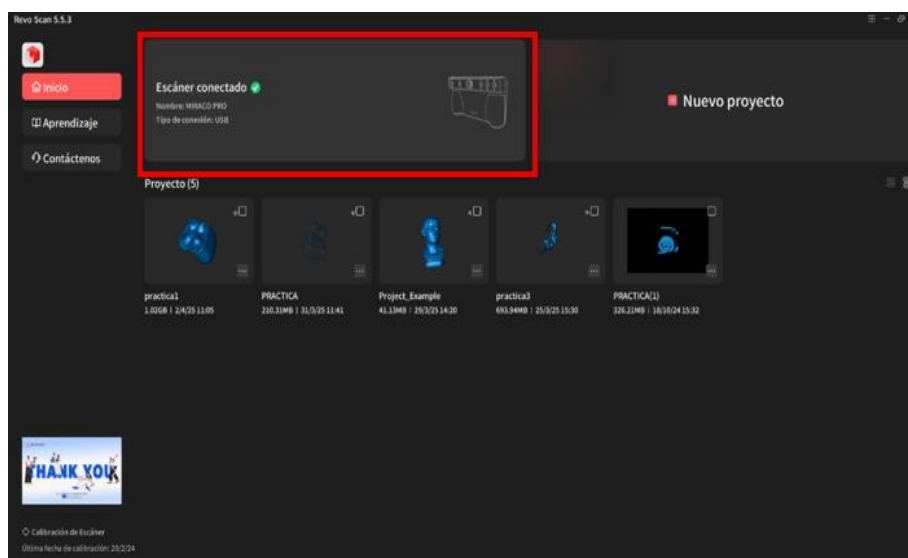




3.2.3.1. Selección de la configuración del escáner

Para el proceso de digitalización, el escáner puede operar de forma autónoma o conectado a una computadora vía USB/Wifi; en este caso, se estableció la conexión USB. Una vez establecida la conexión, en la pantalla principal del escáner se selecciona la opción “Usar MIRACO PRO en modo PC”. De este modo, la conexión entre el escáner-computadora está establecida, lista para iniciar el proceso.

Figura 15. Confirmación de la conexión entre el escáner 3D y la computadora



La obtención de un modelo 3D óptimo requiere una configuración precisa de diversos parámetros del escáner como se indica en la Figura 16. Inicialmente, se centra el objeto a digitalizar dentro de la ventana de previsualización de la cámara de profundidad (A). A continuación, se ajusta la distancia de detección del escáner a 250 mm (B), siguiendo la recomendación del fabricante. La distancia es un factor clave para la digitalización. Por tal motivo, existe la barra indicadora de distancia (C), que garantiza un posicionamiento óptimo entre el escáner y el objeto para la captura de los datos, una lectura de “Excelente” indica un posicionamiento correcto. Además, en la regulación de la exposición de la cámara de



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

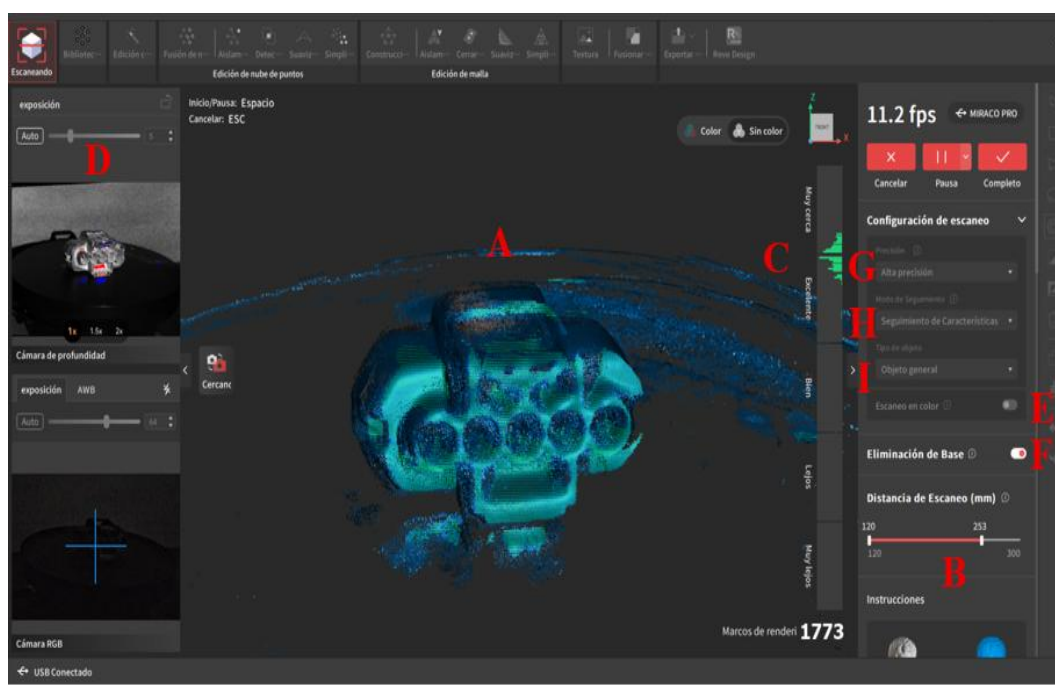


profundidad se aplica la opción “Auto” (D) para automatizar este ajuste y eliminar efectos que se producen por la subexposición y sobreexposición.

Por otra parte, se deshabilitan funciones como “Escaneo en color” (E) debido a que el objeto que se está digitalizando es blanco y no requiere esta función. La función “Eliminación de Base” (F) se desactiva para evitar que el software del escáner interprete la base giratoria como parte del objeto a digitalizar.

Para asegurar la correcta reproducción de las complicadas geometrías del conector, se selecciona el modo de "Alta Precisión" (G). Adicionalmente, dada la presencia de superficies bien definidas en el objeto, se activa la opción de "Seguimiento de Características" (H), lo que permite al escáner mantener un registro preciso de la posición y orientación del objeto durante la rotación. Finalmente, en la selección del tipo de objeto, se opta por la categoría "objeto general" (I), ya que las otras opciones predefinidas ("objeto grande", "objeto oscuro", "rostro" y "cuerpo") no se ajustan a las características del elemento.

Figura 16. Configuración de parámetros del escáner antes de la digitalización

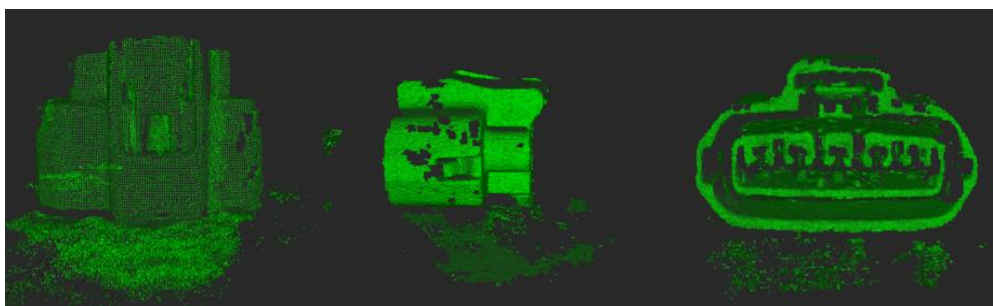




3.2.3.2. Selección de posición del conector

En la Figura 17 se observa las distintas orientaciones del conector desde las cuales se generaron varias nubes de puntos permitiendo obtener un modelo más completo. Estas se unieron posteriormente utilizando la función “Fusionar” del software. El proceso se realizó secuencialmente: primero la parte frontal, donde se ubican los pines, seguida de la geometría lateral y, por último, la vista superior del conector.

Figura 17. Posiciones optadas para la digitalización del conector

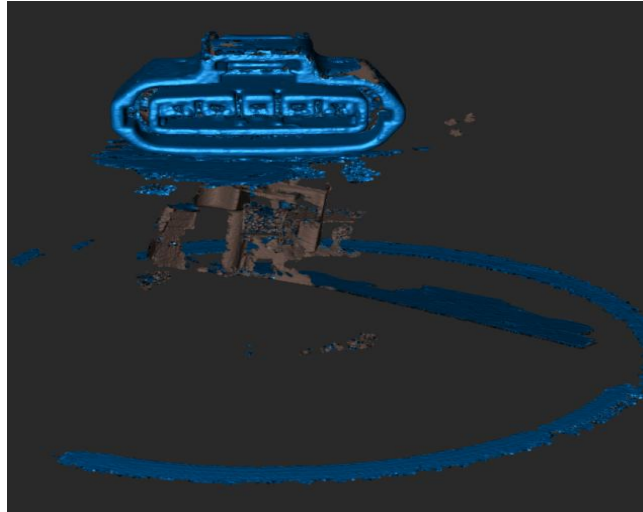


3.2.3.3. Captura de nube de puntos

Una vez finalizadas las configuraciones, se inicia el proceso de digitalización. Este procedimiento requiere tiempo, debido a que es necesario verificar la correcta captura de todos los detalles posibles. Por lo general, el escáner detecta la mayoría de puntos en dos rotaciones de la base giratoria; sin embargo, existen ocasiones que es necesario que existan más rotaciones. Para capturar la geometría completa del conector, es necesario variar su posición durante el escaneo. No obstante, el escáner puede perder la referencia del objeto al cambiar de posición, por lo que se requiere realizar escaneos separados en cada orientación.



Figura 18. Nube de puntos capturada desde la vista frontal



3.2.4. *Procesamiento del sólido*

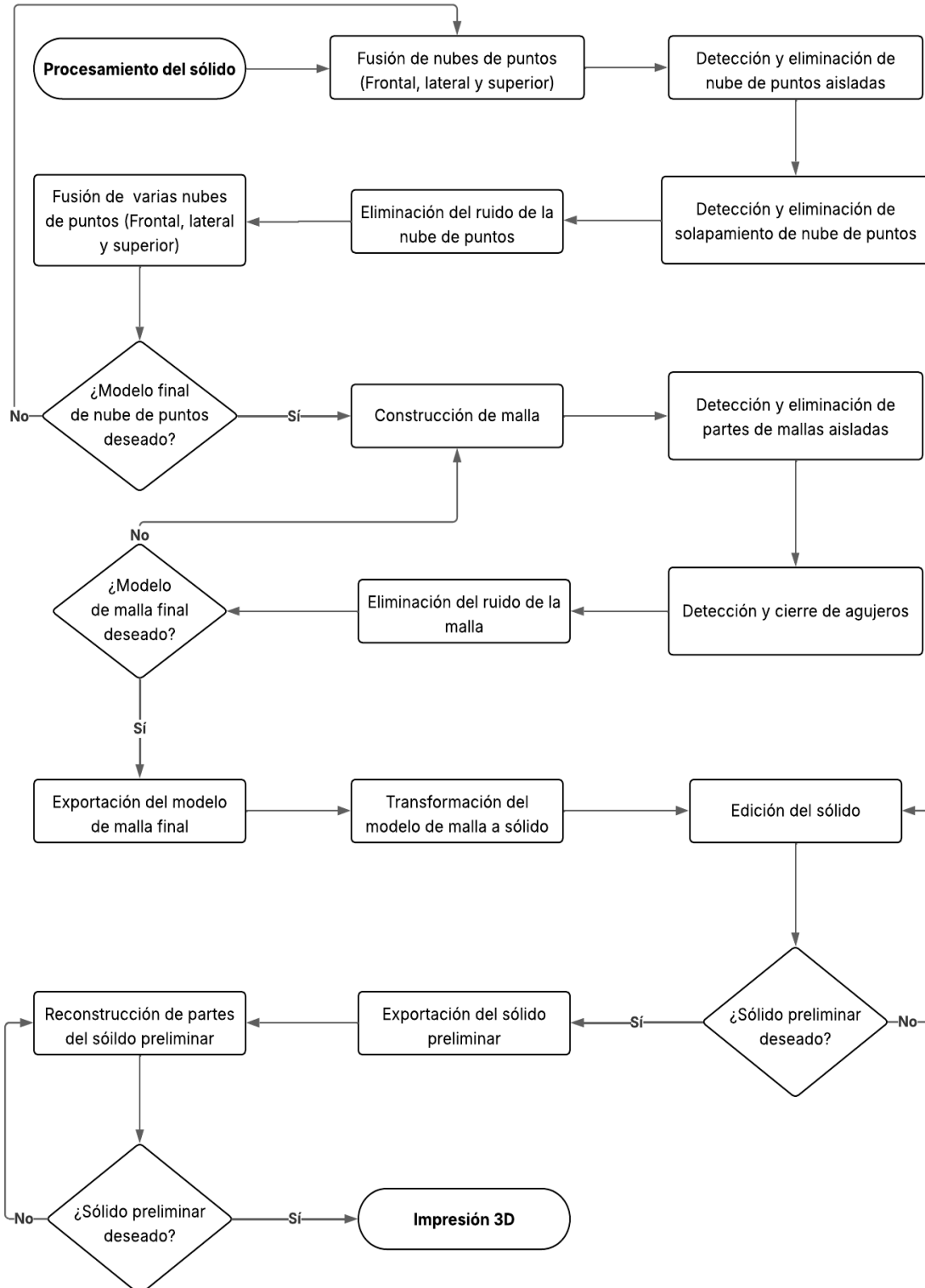
La Figura 19 detalla la metodología para el procesamiento del sólido, es el proceso más extenso dentro del marco metodológico aplicado en el estudio. Principalmente, se aplica procesos de edición tanto a la nube de puntos como al sólido preliminar con el uso de distintos softwares hasta la obtención de un prototipo funcional.



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



Figura 19. Marco metodológico del procesamiento del sólido





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

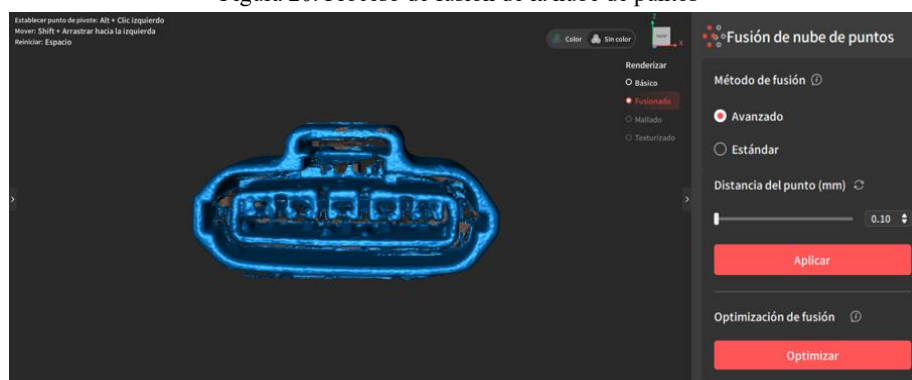


La digitalización con el escáner genera una nube de puntos sin procesar. Para la obtención de un modelo 3D, es necesario aplicar procesos de fusión y mallado mediante el uso del software del escáner. Para realizar la fusión de la nube de puntos, se seleccionó la opción “Edición Manual” que permite una edición más completa en la que se puede utilizar varias herramientas como la fusión de puntos, aislamiento, superposición, suavizado y simplificado. No es recomendable seleccionar la opción “Edición con un clic” principalmente porque esta herramienta realiza la fusión y mallado de la nube de puntos de forma automática basándose en parámetros recomendados por el software y se obtienen modelos incompletos o con nubes de puntos que no pertenecen al elemento principal.

3.2.4.1. Fusión de la nube de puntos.

Se optó por la opción “Fusión Avanzada” debido a que produce una nube de puntos de alta calidad, en la que el tiempo de procesamiento es extenso y satisface los modelos con requisitos de gran detalle. La opción “Fusión Estándar” no se aplica porque genera una nube de puntos no detallada y principalmente se usa para procesar grandes exploraciones de datos. La opción “Fusión Avanzada” permite establecer la distancia media entre puntos adyacentes en una nube de puntos fusionada, para la fusión se estableció un valor de 0.10mm obteniendo un modelo 3D más detallado como se observa en la Figura 20.

Figura 20. Proceso de fusión de la nube de puntos





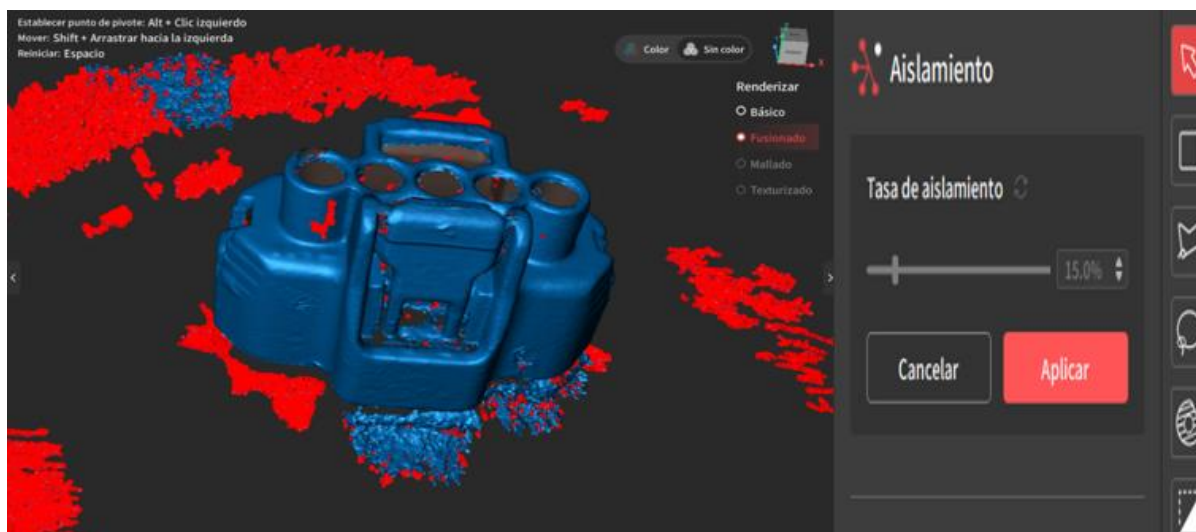
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
 APLICADAS**
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



- Detección y eliminación de nube de puntos aisladas

Durante la digitalización, el escáner frecuentemente captura puntos ajenos al objeto escaneado como se muestra en la Figura 21, es necesario eliminar los datos aislados de la nube principal. Se selecciona la opción “Aislamiento” y se manipula la “Tasa de aislamiento”. Se inicia con un índice de aislamiento de 0.5%, aumentándolo gradualmente en un 20% por cada detección hasta llegar al 100%, así se elimina la mayor parte de datos aislados obteniendo un modelo más limpio. Existen datos que se encuentran pegados al objeto principal y la función no logra detectarlos, en la barra de herramientas se selecciona la herramienta “Selección de lazo”, que permite dibujar una forma alrededor del área de los puntos no deseados para seleccionarla, posteriormente se la elimina.

Figura 21. Detección y eliminación de nube de puntos que no pertenecen al objeto principal



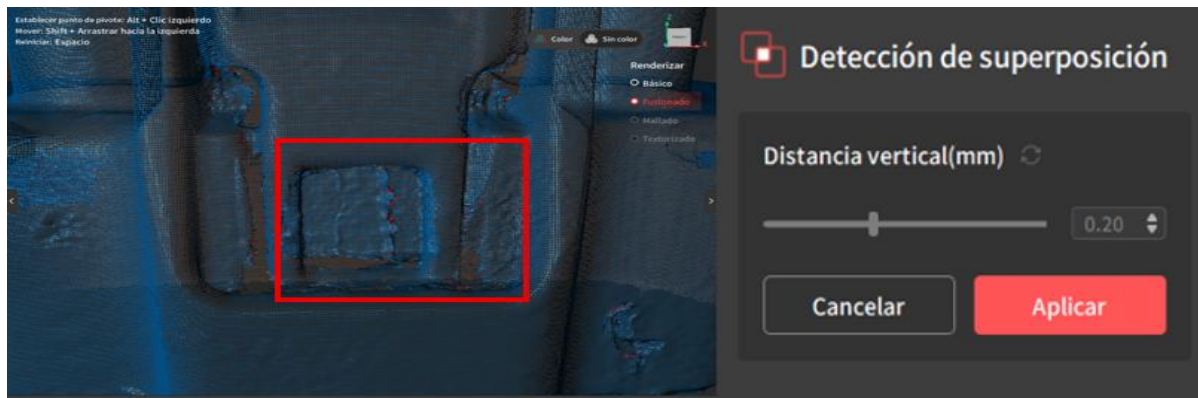
- Detección y eliminación de solapamiento de nube de puntos.

La opción “Detección de superposición” permite eliminar los datos sobrepuestos en la nube de puntos. Esta detección se lo realiza con la opción “Distancia vertical”, que permite determinar la distancia entre el ruido de la nube de puntos en la superficie local y superficie real,



identificándose visualmente con puntos rojos. Su rango de aplicación fue desde los 0.01mm hasta los 0.50 mm, pero se fue comprobando la superposición de 0.10mm cada detección.

Figura 22. Detección y eliminación de solapamiento de nube de puntos

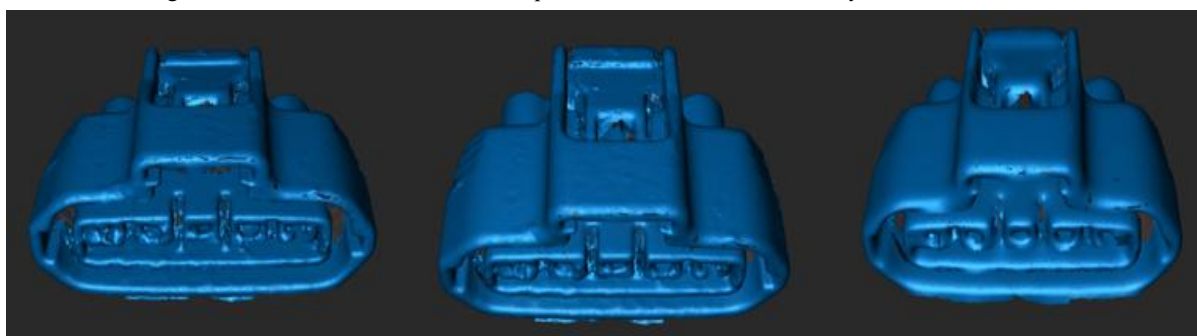


- Eliminación del ruido de la nube de puntos

La opción “Suavizado” permite obtener una nube de puntos más suave. Para configurarla, se ajusta la fuerza y el número de aplicaciones al modelo. Si bien esta función elimina el ruido, es importante considerar que un suavizado con exceso de fuerza y número de veces en modelos detallados puede provocar la pérdida de detalles.

En la Figura 23 se observa la diferencia entre una nube de puntos sin suavizar, una suavizada y una sobresuavizada. La aplicación de esta función depende del objeto, es recomendable ir probando con valores bajos hasta obtener el modelo deseado.

Figura 23. Diferencia entre una nube de puntos sin suavizado, suavizado y sobre suavizado

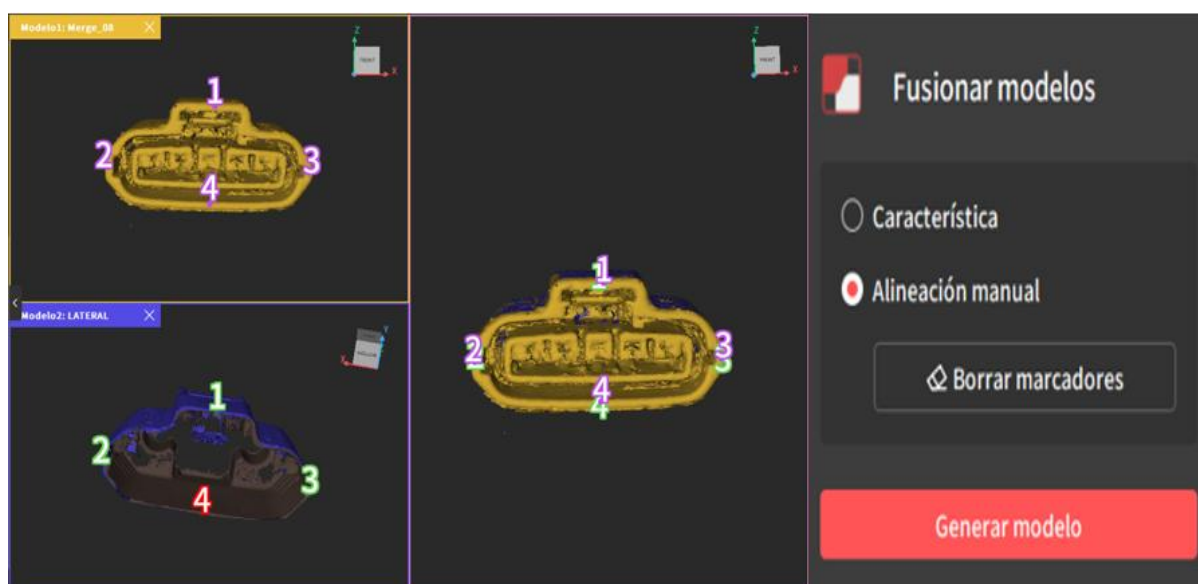




3.2.4.2. Fusión de varias nubes de puntos

Una vez procesados todas las nubes de puntos capturados desde diferentes vistas, y antes de la construcción de la malla, se procedió a su fusión. La unión de múltiples modelos puede realizarse de forma automática o mediante la selección manual de puntos coincidentes, la Figura 24 ejemplifica una unión manual de dos modelos seleccionando puntos coincidentes, en la que se unen la nube de puntos capturada de la vista frontal del conector con la vista lateral.

Figura 24. Fusión de distintas nubes de puntos capturas desde la vista frontal y lateral del conector



3.2.4.3. Construcción de malla.

Después de terminar la fusión de todas las nubes de puntos, se obtiene un solo modelo que, para seguir con su exportación y reconstrucción en otro software, es necesario mallarlo. Este proceso consiste en la creación de una malla poligonal entre los puntos. Al seleccionar la opción “Construcción de malla”, la configuración de la “Calidad” es importante, en este punto se controla la densidad y el nivel de detalle de la malla. Cuando se obtenga un modelo final después de todas las fusiones necesarias se aplica el mallado. En este caso, se aplicó la calidad



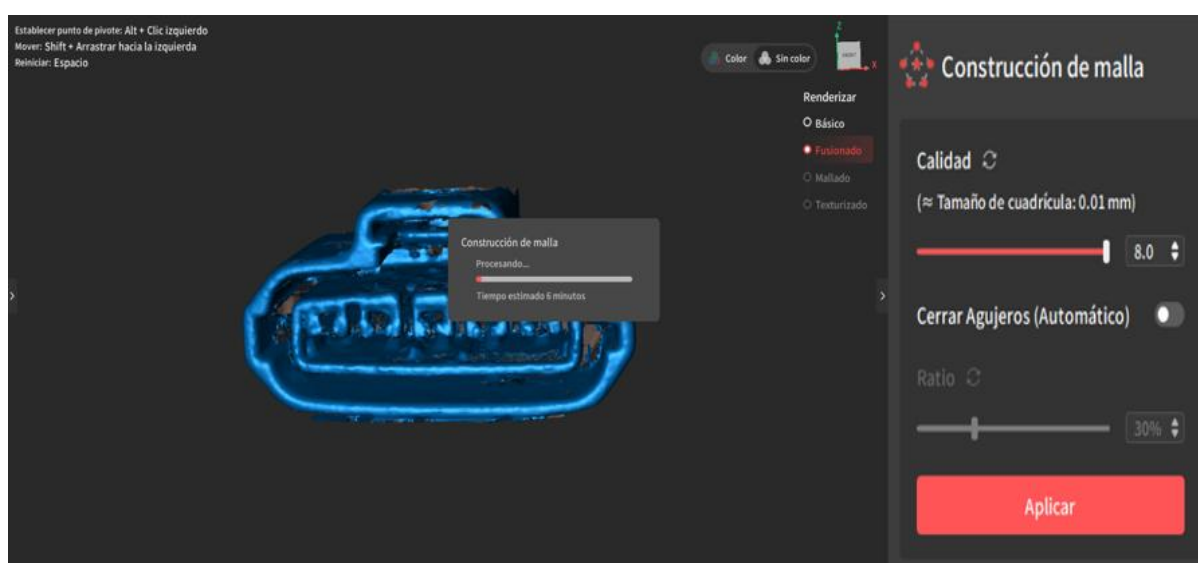
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
 APLICADAS**
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



máxima de 8.0 mm obteniendo un mejor resultado. Caso contrario, una selección de baja calidad en el modelo tiende a un cambio de forma.

Se desactivó la función 'Cerrar Agujeros (Automático)' antes de generar la malla. De lo contrario, el software rellenaría los agujeros de forma imprecisa, creando protuberancias no deseadas en las superficies.

Figura 25. Proceso de mallado a la nube de puntos final

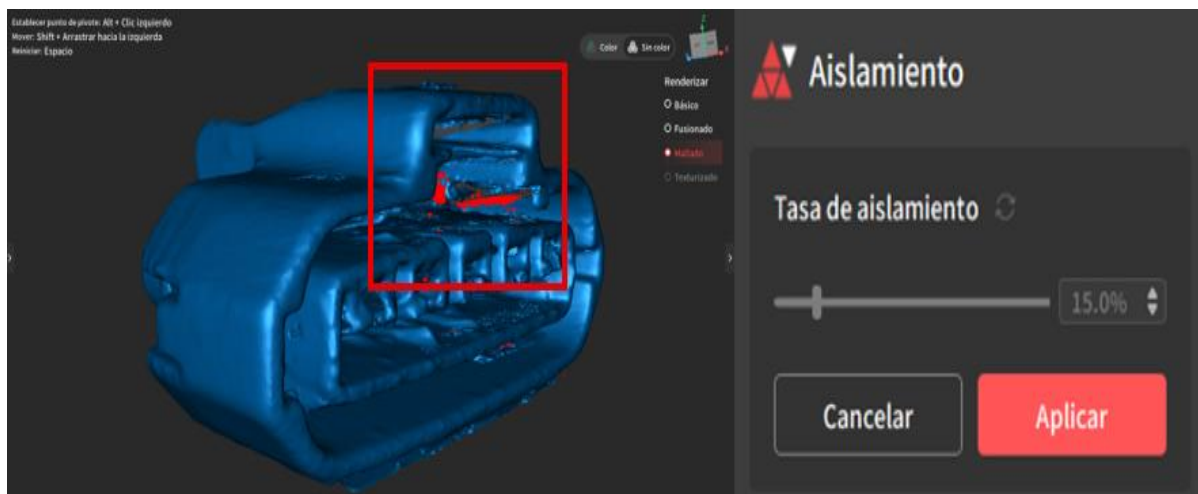


- Detección y eliminación de partes de mallas aisladas

La opción “Aislamiento” detecta datos aislados que no están conectados al cuerpo principal del modelo, identificándolos como puntos rojos. Como complemento la función “Tasa de aislamiento” se basa en el porcentaje de una malla desconectada de la principal en relación con el número total de mallas. Para asegurar un aislamiento de aquellas mallas que pueden perjudicar al modelo final, se aplicó se la detección entre 0.5% y el 100% en intervalos de 15%.



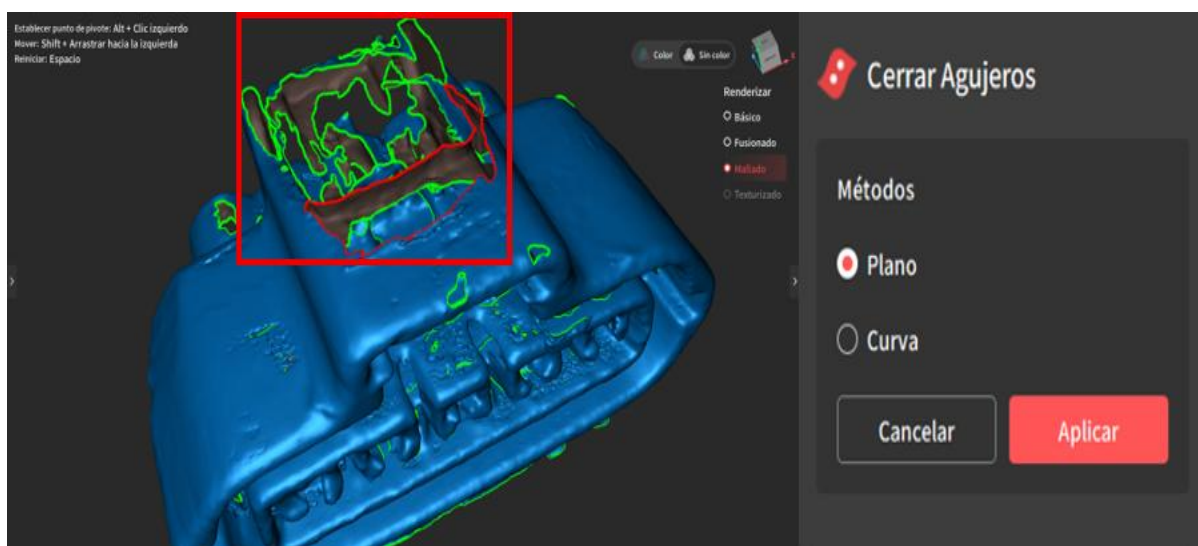
Figura 26. Detección y eliminación de mallas que se encuentran aisladas del mallado principal



- Detección y cierre de agujeros

El uso de la herramienta “Cerrar Agujeros” es sumamente útil para la detección y marcación de orificios en modelos, ya sea en superficies planas o curvas. En la Figura 27 se muestra los orificios identificados, la herramienta ofrece la opción de rellenarlos automáticamente con solo seleccionarlos.

Figura 27. Detección automática y cierre de agujeros detectados en el modelo





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



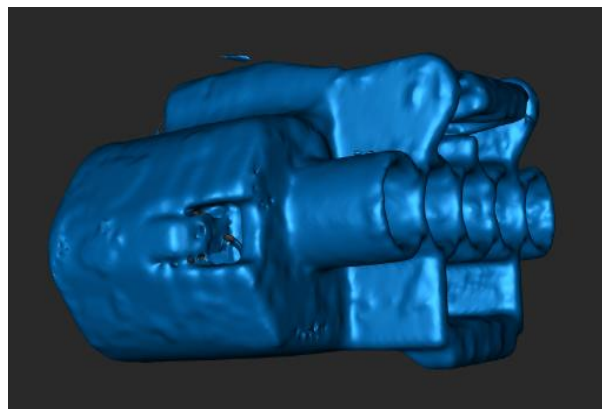
- Eliminación del ruido de la malla

Cerrados los agujeros se produce congruencias, es necesario suavizar las superficies curvas y planas del mallado, se procede a la selección de la herramienta “Suavizado” que puede aplicarse o deshacerse las veces necesarias, en la que se tendrá que seleccionar una fuerza y el número de veces que se desea suavizar. En ciertas regiones se optó la herramienta del “Pincel Suavizador”, la cual permite suavizar específicamente las zonas que requerían mayor intensidad, evitando así afectar todo el modelo.

3.2.4.4. Modelo de malla final

Finalmente, la Figura 28 ilustra el modelo 3D resultante del proceso de mallado, se compone de una superficie poligonal, lo que significa que no representa un objeto sólido definido. Por lo tanto, implica la necesidad de emplear un software adicional para llevar a cabo la conversión a un modelo sólido. Para la exportación del modelo de malla final hacia el software de transformación, es indispensable guardarlo con el formato STL.

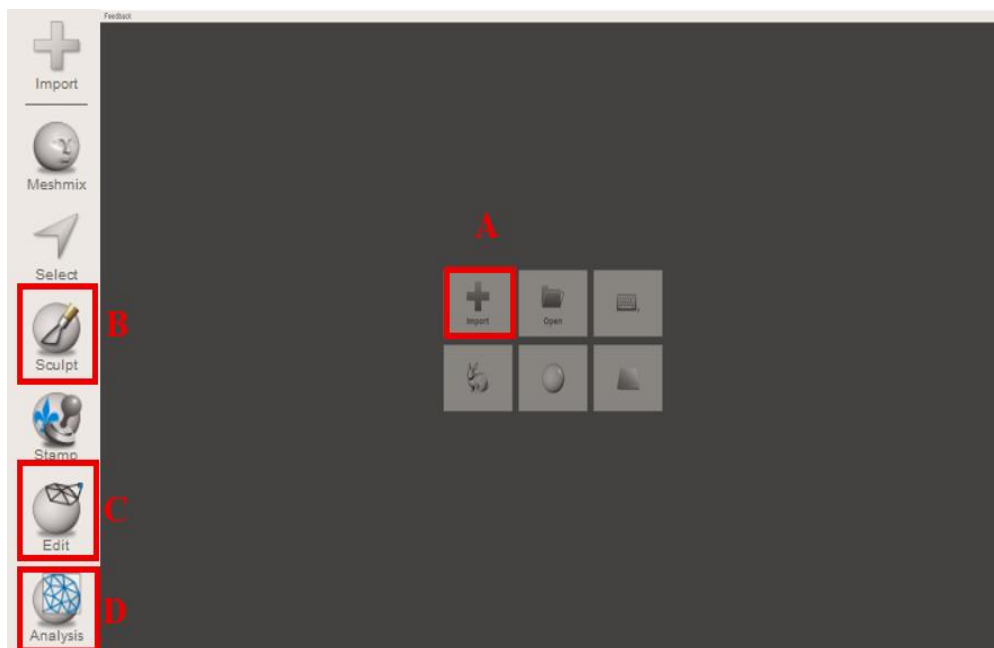
Figura 28. Obtención del modelo de malla final listo para la exportación





3.2.4.5. Transformación del modelo de malla a sólido

Figura 29. Interfaz del software usado para la transformación a sólido

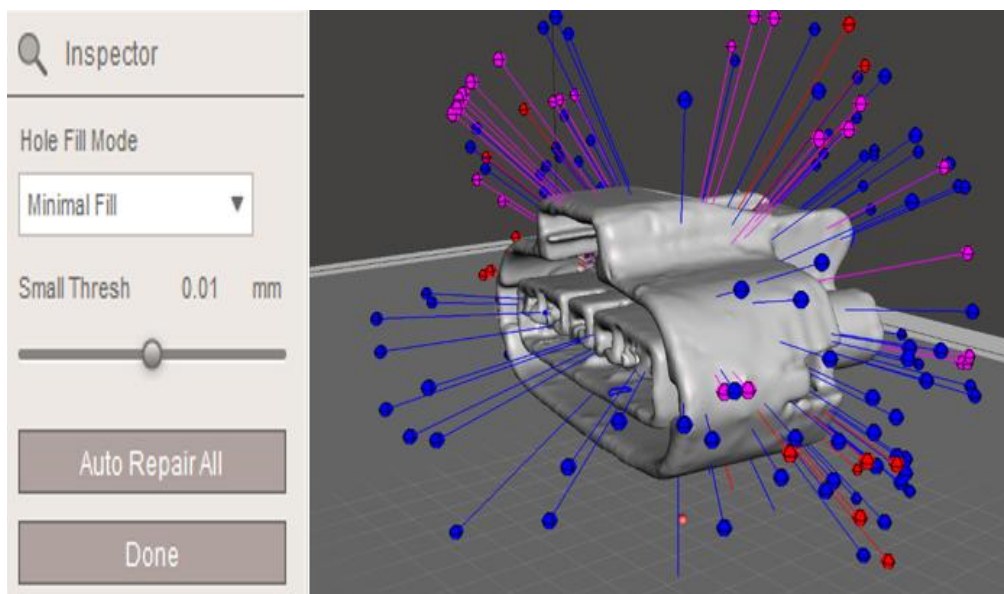


El modelo de malla final deberá ser importado al software de transformación, en la Figura 29 se observa el interfaz del software, en su parte izquierda presenta un conjunto de herramientas diseñadas para la edición de modelos basados en mallas poligonales. Para comenzar con el proceso de transformación, se importa (A) el modelo de malla.

Adicionalmente, en el apartado “Análisis” (D), se encuentra la herramienta “Inspección” que permite identificar y evaluar defectos presentes en el modelo basado en el mallado, antes de proceder con su conversión a un objeto sólido. En la Figura 30 se observa la detección de agujeros en el mallado, los puntos azules representan agujeros fáciles de solucionar para el software, mientras que los rojos representan la detección de un vacío demasiado irregular y rosas son más complejos. Para cerrar los agujeros se proceden a seleccionar el llenado mínimo para no generar protuberancias o deformar el mallado.



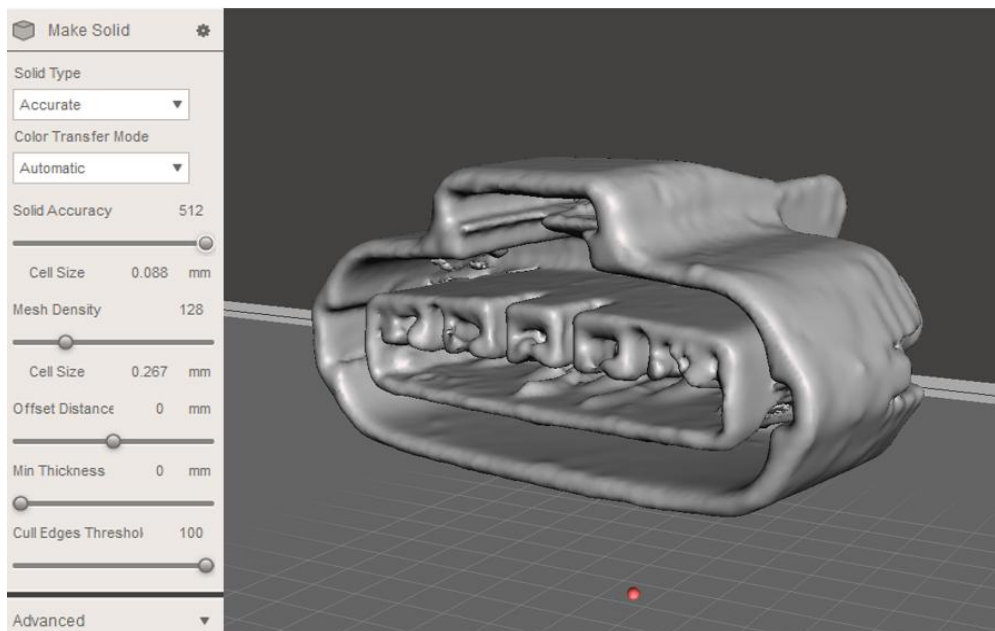
Figura 30. Inspección de errores en el modelo de mallado



La herramienta principal a utilizar se encuentra en el apartado “Editar” (C). Al desplegar las opciones, se selecciona en “Hacer Sólido”. Esta función es esencial que transforma el mallado, originado a partir de una nube de puntos, en un objeto sólido con volumen definido como se muestra en la Figura 31. Adicionalmente, la configuración de las opciones de precisión, densidad de la malla juega un papel importante en la calidad del sólido resultante. En este caso, se seleccionó un tipo de sólido preciso estableciendo una precisión máxima de 512 mm, el resto de configuraciones se las dejó estándar.



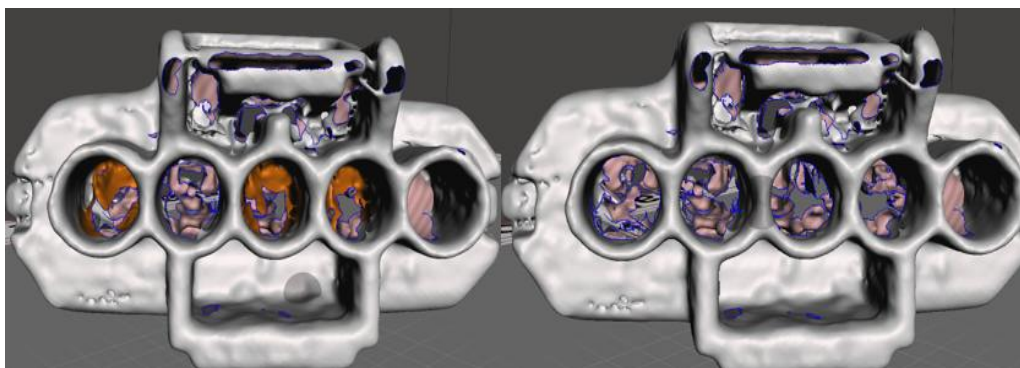
Figura 31. Parámetros seleccionados para transformar el modelo de malla en sólido



3.2.4.6. Edición del sólido

El software usado para la transformación permite editar el sólido. Existe la posibilidad de eliminar partes no deseadas con tan solo seleccionarlas. En este caso, algunas partes del conector fueron rellenados de forma automática cuando el modelo de malla se transformó a sólido generando cierre de agujeros o deformaciones en el sólido. En la Figura 32 se observa una comparativa entre el modelo que tiene relleno los agujeros y el que fue eliminado seleccionando y eliminando la parte no deseada obteniendo un sólido con mejor geometría.

Figura 32. Eliminación de protuberancias generadas al momento de transformar en sólido





3.2.5. Impresión 3D

El modelo 3D exportado desde el software CAD debe estar en un formato compatible con el software CAM. Se optó por el formato STL para el software de la impresora. Para la impresión 3D se utilizó el software sugerido por la impresora, que ofrece diversas configuraciones para la impresión en resina. Inicialmente, al iniciar el programa, se debe seleccionar varios parámetros como la impresora utilizada, tipo de resina, precios, etcétera.

Para la impresión 3D, es necesario aplicar soportes al modelo, gracias a estos elementos la impresora puede construir partes que no tengan base directa, de esta manera se logra prevenir deformaciones y la correcta adherencia a la plataforma.

El software permite la instalación de los soportes automática, pero es necesario la configuración de parámetros para la instalación de los mismos. La Figura 35 muestra la configuración de los soportes.

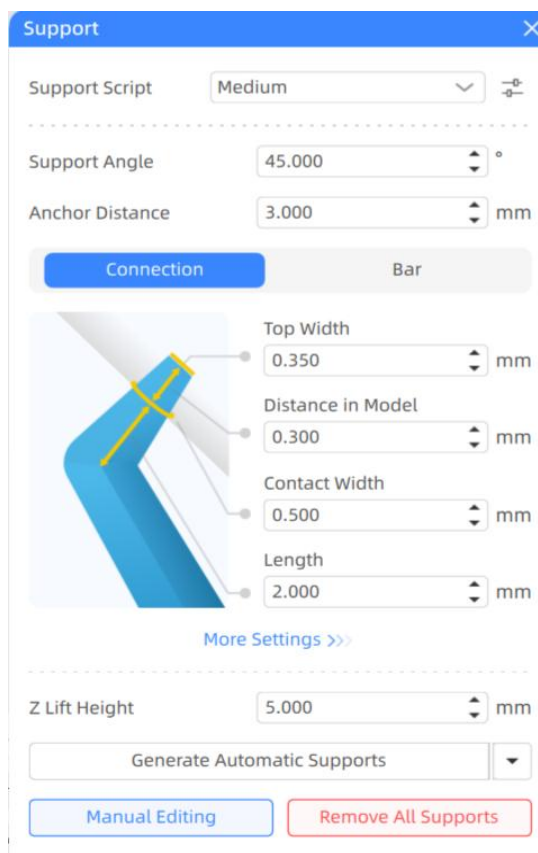
La configuración empieza con la selección del tipo de soporte en el que dependiendo de la selección se establece la densidad y grosor, el diámetro de la punta de los soportes es el lugar de contacto entre el modelo 3D y el soporte, si se elige un diámetro de contacto más fino, se obtienen marcas menos visibles en la pieza final, pero se debe considerar que los soportes se vuelven más débiles y puede afectar en la impresión. Por otra parte, la distancia de la punta táctil determina la remoción de los soportes, es decir, si la distancia es mayor los soportes son más fáciles de remover, pero son menos estables. Por último, el ángulo influye en la cantidad de soportes que se van a instalar dependiendo de la inclinación de los voladizos.



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

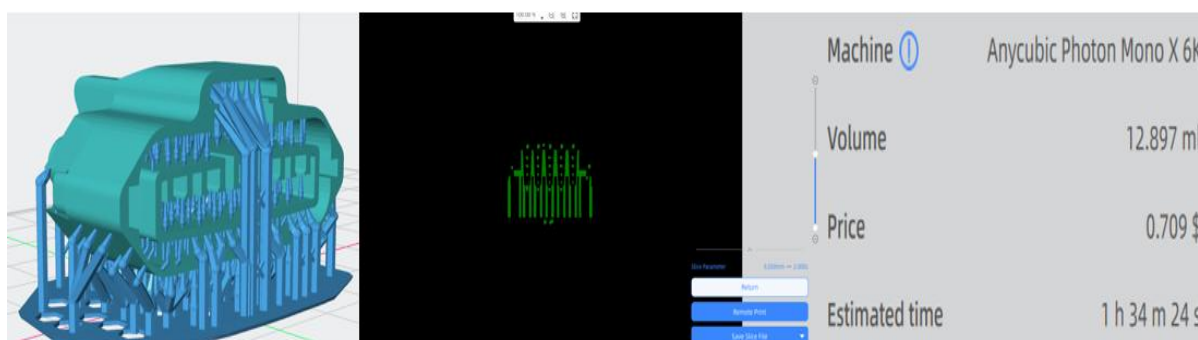


Figura 35. Configuración de los soportes



Por último, se obtiene el modelo 3D listo para la impresión, en la Figura 36 se observa el número de capas y la conformación que se irá realizando. Además, detalla el tiempo de impresión, el volumen y el precio para la obtención del modelo final.

Figura 36. Modelo final listo para la impresión





3.2.6. *Ensamble y pruebas de control de calidad y funcionalidad*

3.2.6.1. Simulación térmica

- **Selección de material**

Una vez que el prototipo impreso cumplió con las condiciones de funcionamiento, al modelo digital final se lo realizó una simulación de temperatura para analizar el comportamiento del material frente a las temperaturas a las que está expuesto el conector mediante el uso del software CAD de reconstrucción. Inicialmente, es necesario establecer el material del conector al que se lo va a simular. En este caso, se optó por el plástico ABS, considerando que sus características son similares a las de una resina Like ABS

- **Aplicación de cargas de convección y temperatura**

Para establecer la temperatura de simulación es necesario conocer la temperatura de funcionamiento del conector, según el estudio de Swingler, un conector automotriz puede operar a varios regímenes de temperatura, por ejemplo: 85 °C, 105 °C, 125 °C Y 155 °C [75]. En la Tabla 8 se observa las temperaturas principales de exposición del conector, se optó por realizar la simulación a 85 °C, una temperatura similar a la de operación del motor.

Tabla 8. Clasificación de los conectores según su temperatura de operación

Tipo de conector	Descripción	Temperatura
Baja temperatura	Conector sellado montado en el vano motor	85 °C
Media temperatura	Conector sellado montado en el vano motor	105 °C
Alta temperatura	Conector sellado montando en el motor	125 °C

Tomado de: Swingler J, McBride J y Maul C. Degradación de conectores automotrices probados en carretera, 2000

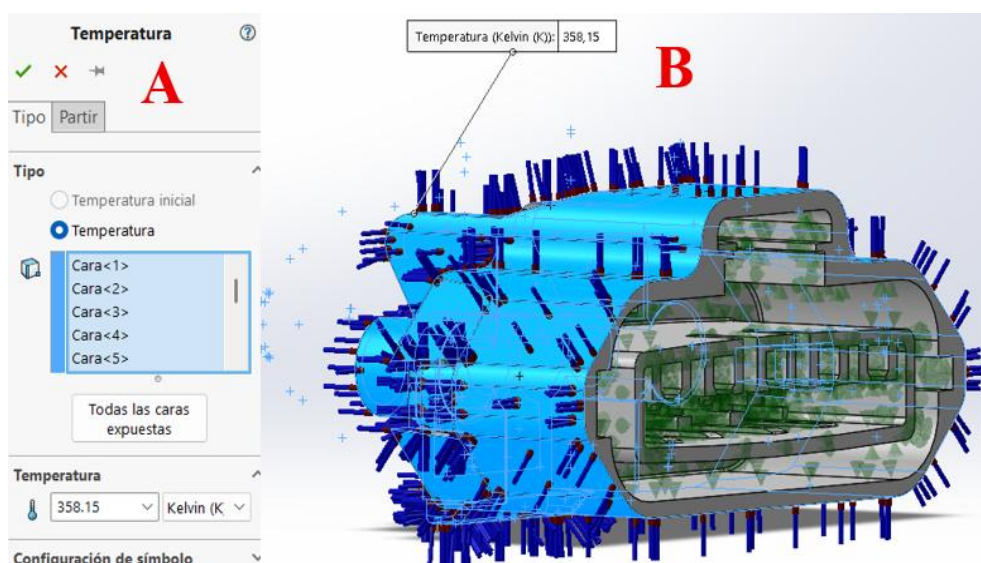


UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
 APLICADAS**
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



Se estableció dos tipos de cargas térmicas, la primera denominada temperatura en la que se aplica cargas directas de $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ / $358.15\text{ }^{\circ}\text{K}$ a las caras exteriores del sólido. En la Figura 37 se observa la configuración de la temperatura (A) y las caras seleccionadas representadas de color azul en las que se aplicaron las cargas (B).

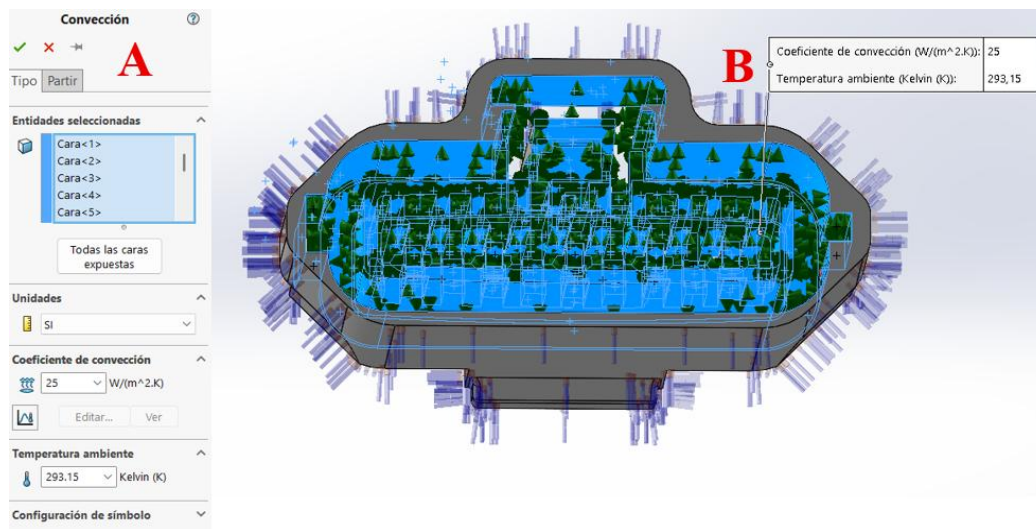
Figura 37. Configuración de la temperatura aplicada y selección de las caras de aplicación



Por otra parte, se aplicó cargas de convección (B) a toda la parte interna del conector, debido a que existe una transferencia de calor por convección entre la parte externa con la parte interna del conector siendo representadas por cargas de color verde. En la configuración de los parámetros (A) para aplicar la carga, es necesario ingresar datos como el coeficiente de convección y la temperatura ambiente como se muestra en la Figura 38.



Figura 38. Configuración de los parámetros de la convección y selección de las caras de aplicación



En la temperatura ambiente se aplicó un promedio de temperatura de 20 °C / 293.15 °K de la ciudad de Ibarra, mientras que el coeficiente de convección que hace referencia a un parámetro que mide que tan eficiente es la transferencia de calor entre una superficie sólida y un fluido (líquido o gas), dicho dato se obtuvo de la página de SolidWorks que se encuentran clasificados dependiendo el medio de transferencia como se muestra en la Tabla 9, se eligió valores relacionados a la convección natural por aire, en la que el valor es de aproximadamente 25 W/m².K.

Tabla 9. Coeficientes de transferencia de calor según el medio

Medio	Coeficiente de transferencia de calor
Aire (convección natural)	5-25
Aire/vapor supercalentado (convección forzada)	20-300
Petróleo (convección forzada)	60-1800
Agua (convección forzada)	300-6000
Agua (en ebullición)	3000-60,000
Vapor (en condensación)	6000-120,000

Tomado de: SolidWorks. Coeficiente de transferencia de calor por convección, 2025



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



- **Selección del mallado**

El proceso inicia con la elaboración de un modelo geométrico. Posteriormente, el software lo divide en pequeñas secciones de formas simples llamadas elementos, enlazándose en puntos comunes conocidos como nodos. Esta división del modelo en partes más pequeñas se denomina mallado. En la Tabla 10 se observa el tipo de malla basado en las características geométricas existentes en el software para la simulación.

Tabla 10. Tipos de malla basado en las características geométricas

Tipo de malla	Características
Malla sólida	Aplicado a todos los modelos sólidos, se mallan con elementos sólidos (tetraédricos).
Malla de vaciado	Aplicado a geometrías de la superficie y a las planchas metálicas con espesor uniforme, se mallan con elementos de vaciado triangulares.
Malla de viga	Aplicado a miembros estructurales y a soldaduras.
Malla mixta	Aplicado a modelos que presenten varias geometrías, generando una malla mixta.

Tomado de: SolidWorks. Mallado, 2025

Para el modelo del conector, el software de manera automática aplicó un tipo de malla sólida principalmente por la geometría. Además, fue necesario establecer la densidad de la malla, parámetros de mallado y otras características como la calidad.

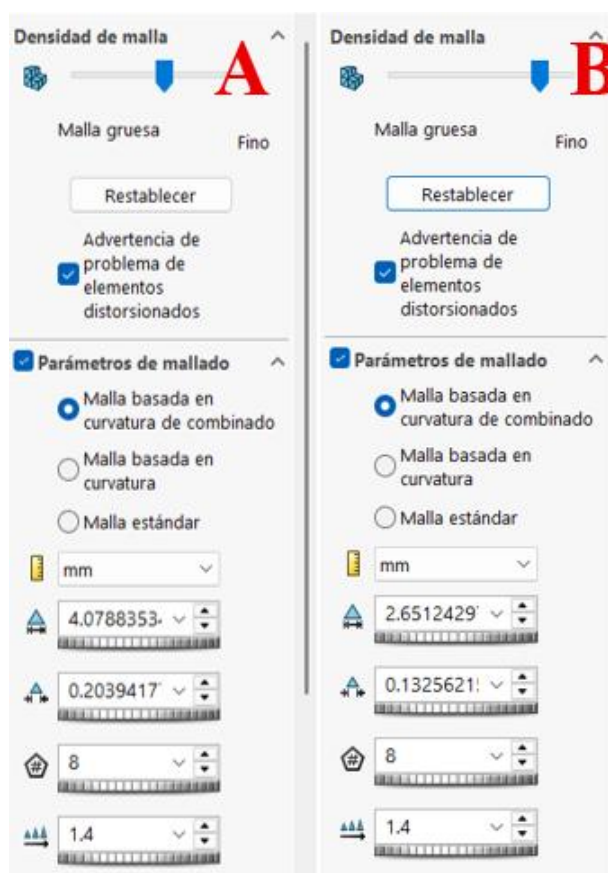


UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



Para escoger la densidad de la malla, se tuvo en cuenta los resultados que puede proporcionar el mallado. Un tipo de malla gruesa puede proporcionar resultados imprecisos, mientras que una malla más fina otorga resultados más precisos, pero el tiempo de cálculo es mayor en comparación con el de una malla gruesa. En la Figura 39 se observa la comparativa de la densidad de la malla entre una estándar (A) y en la final que fue seleccionada (B). Para llegar a obtener la densidad final, se fue comparando los resultados en varios puntos del conector.

Figura 39. Comparativa de la densidad de malla



Además, la Figura 39 ilustra los parámetros de mallado establecidos para la simulación. Se optó por la opción de un mallado basado en curvatura de combinado, que combina los beneficios de una malla basada en curvatura y una estándar. Se aplicó este tipo de malla,



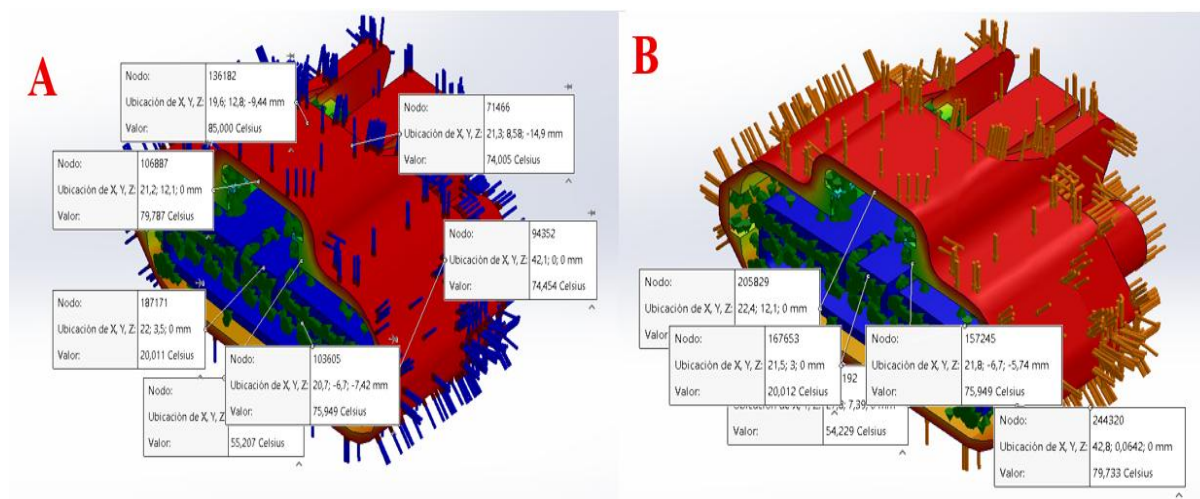
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



principalmente por la geometría del conector, esta opción refina automáticamente la malla en áreas con alta curvatura como son las esquinas, redondeos y detalles pequeños. Así mismo, usa elementos más grandes en zonas planas o con poca curvatura para reducir la cantidad total de elementos.

Con una densidad estándar (A) se obtuvo una variación de valores con respecto a la densidad final (B). Se optó por ese tipo de densidad por la comparativa y poca variación de valores con una densidad más fina posible. En la Figura 40 se observa la comparativa de valores obtenidos usando los dos tipos de densidad.

Figura 40. Comparativa de los valores obtenidos entre una densidad estándar y la densidad final



Además, para verificar la calidad de la malla se optó por aplicar un diagnóstico de control de malla usando el criterio de cociente jacobiano, que es una métrica para evaluar la distorsión de elementos de malla, comparando la forma ideal de un elemento con su forma real, cuanto más deformado esté un elemento respecto a su forma ideal, aumenta el valor del cociente. Una malla de buena calidad tiene valores de un cociente jacobiano de 1 a 10 para la mayoría de elementos [76].

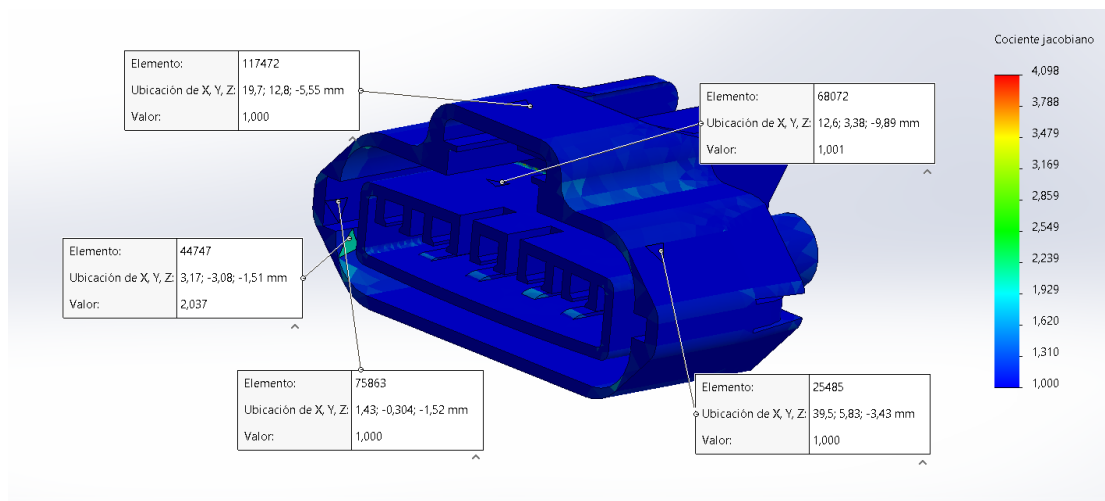


UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



En la Figura 41 se observa el análisis de la calidad de malla aplicada al modelo del conector basándose en el cociente jacobiano, en la que se obtuvo valores entre 1 y 4, no existen elementos con un cociente menor a 1, reflejando una calidad de malla de buena calidad.

Figura 41. Diagnóstico de la calidad de la malla basándose en el cociente jacobiano



Por otra parte, en la Figura 42 se observa que se aplicó una malla de elementos cuadráticos de alto orden (A), lo que significa que se tiene nodos adicionales en los bordes representando de una mejor manera las geometrías complejas. Además, se observa la selección de puntos jacobianos (B) que representa los puntos internos del elemento donde se evalúa la precisión de la forma geométrica.

Figura 42. Selección de la calidad de la malla y de los puntos jacobianos





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



3.2.6.2. Prueba de temperatura

Una vez obtenidos los prototipos finales, se procedió a comprobar los rangos óptimos de temperatura que permiten el adecuado funcionamiento de las piezas fabricadas en resina. Para este fin, se sometió a un prototipo a un ensayo térmico en un horno, incrementando la temperatura de forma gradual y registrando las variaciones mediante un sensor. El procedimiento se extendió hasta alcanzar el punto crítico en el que el material comenzó a evidenciar deformaciones, desprendimiento de secciones y, en consecuencia, la pérdida total funcionalidad.

3.2.6.3. Ensamble y prueba de funcionalidad

Para la obtención de un prototipo funcional se llevó a cabo el proceso de ensamblaje de los diferentes componentes que conforman un conector automotriz. En primer lugar, se insertaron los pines junto con los respectivos cables. Posteriormente, se incorporaron los selladores de agua, que se acoplan a los cables y se ubican en la parte posterior del conector. Finalmente, se añadió la junta de sellado, ubicada sobre la zona de inserción de los pines.

Una vez completado el proceso de ensamble, se procedió a la validación de la funcionalidad del prototipo. El prototipo fue instalado en un MEC, estableciendo las conexiones necesarias para la correcta integración al sistema electrónico. Durante la prueba el motor se mantuvo encendido hasta alcanzar una temperatura óptima de trabajo, evaluando el desempeño del prototipo.



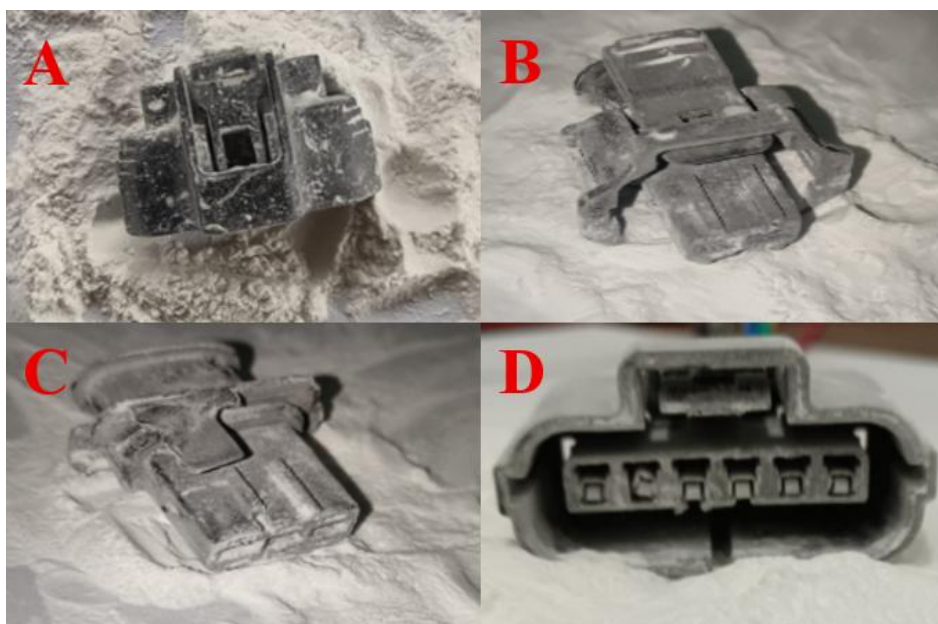
CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1. Preparación de los conectores

Se aplicó el proceso mencionado en el apartado 3.2.1, obteniendo como resultados conectores aptos para la digitalización. La Figura 43 representa el resultado final de la preparación de todos los conectores. De la misma manera, la Figura 43 A) representa el conector MAF, la Figura 43 B) representa el conector del inyector, la Figura 43 C) representa el conector del riel y la Figura 43 D) representa el conector APP, observando como la parte externa como la parte interna de los conectores terminó recubierta por el talco industrial. Por otra parte, en la zona de inserción de los pines existió partes en las que el talco no se lograba impregnar por su compleja geometría.

Figura 43. Preparación de los conectores. A) MAF B) Inyector C) Riel D) APP

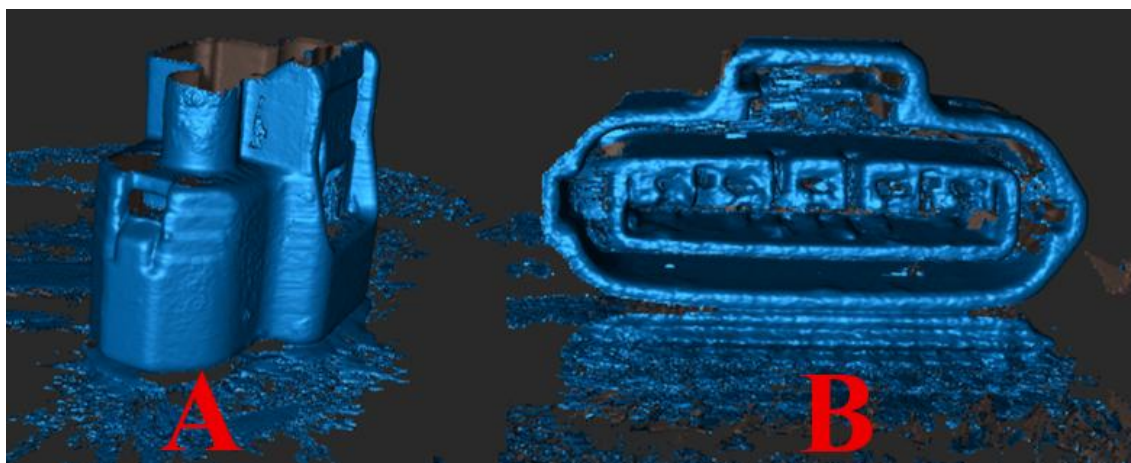




4.2. Digitalización del conector MAF

En la Figura 44 se observa las distintas nubes de puntos capturadas durante el proceso de digitalización del conector MAF, una de las posiciones por las que se optó fue la lateral (A) en la que se capturó la geometría exterior y principalmente la del seguro con el que se fija el conector. Por otra parte, mediante la posición frontal (B) se capturó la geometría interna, es decir, las paredes internas del conector, los agujeros de salida de los cables de conexión y parte de la zona de inserción de los pines.

Figura 44. Nubes de puntos del conector MAF obtenidas a partir de la posición lateral y frontal

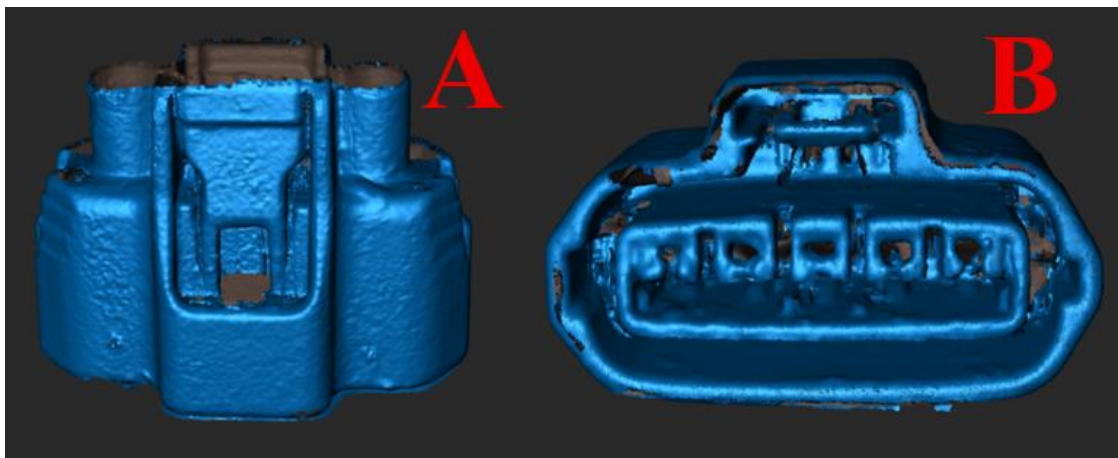


4.3. Procesamiento de la nube de puntos y del sólido del conector MAF

Se aplicó la fusión de nube de puntos a cada modelo obtenido en la digitalización para empezar con el procesamiento. En la Figura 45 se observa el resultado de las nubes de puntos fusionadas y aplicadas los procesos detallados en el apartado 3.2.4.1 obteniendo una nube de puntos de la posición lateral (A) sin ruidos y sin nubes que no pertenecen al modelo principal. Así mismo, la nube de puntos de la posición frontal (B) se encuentra limpia, pero con geometrías algo deformes que fueron corregidas en otro software.



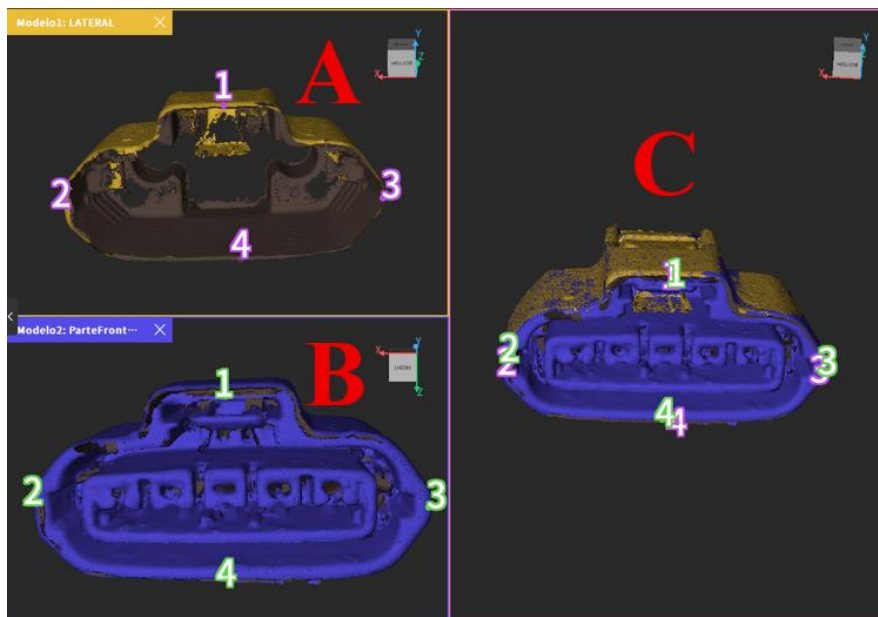
Figura 45. Proceso de fusión y eliminación de datos de las nubes de puntos de la posición lateral y frontal del conector MAF



Una vez finalizada la edición de las nubes de puntos del conector MAF capturadas en la posición frontal y lateral, se procedió a fusionarlas para obtener una nube más completa y sin vacíos que puedan afectar al modelo final. En la Figura 46 se observa la fusión establecida entre las nubes de puntos, seleccionando una configuración manual basada en la aplicación de puntos coincidentes para que el software detecte la similitud en la geometría de las dos nubes de puntos y genere una solo nube de puntos más completa. Como resultado de fusionar la nube de puntos de la posición lateral (A) con la nube de puntos frontal (B) se obtiene una nube de puntos final (C) presentando una geometría más completa. La nube de puntos de la posición lateral (A) compone la superficie externa del conector representada de color amarillo, mientras que la nube de puntos de la posición frontal (B) compone los agujeros y la parte interna del conector representada de color azul como se muestra en la Figura 46.



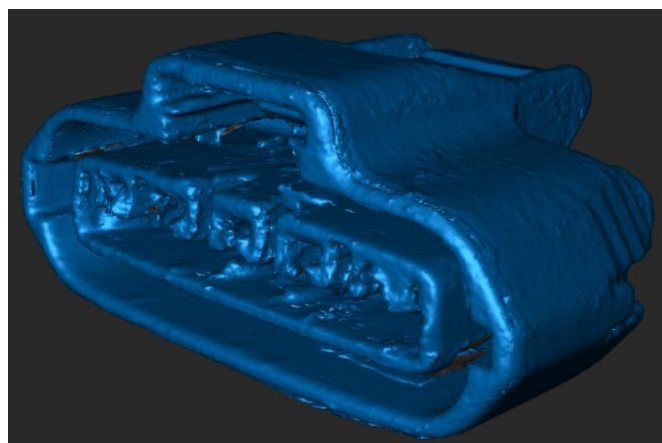
Figura 46. Proceso de fusión de las nubes de puntos capturadas en posición lateral y frontal del conector MAF



Cuando se obtiene la nube de puntos final del conector MAF, se procede a realizar el proceso de la construcción del modelo de malla y la edición detallada en el apartado 3.2.4.3.

En la Figura 47 se observa el modelo de malla final obtenido después del proceso de edición, este modelo es exportado al software de transformación.

Figura 47. Modelo de malla final del conector MAF



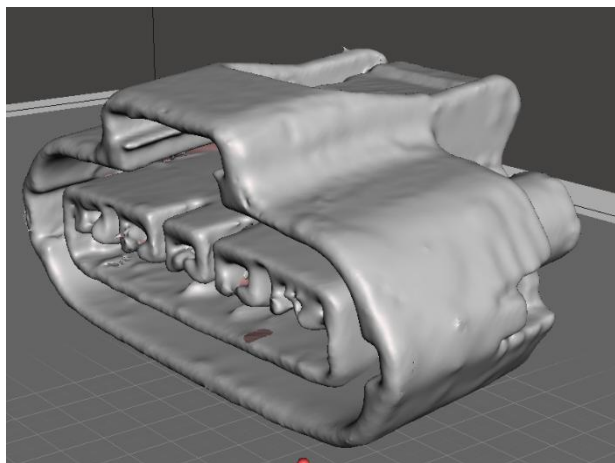


UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS**
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



Para la transformación del modelo de malla a sólido, se aplicó los parámetros establecidos en el apartado 3.2.4.5. De la misma manera, usando las diferentes herramientas se obtuvo un modelo casi listo para la impresión como se observa en la Figura 48, el principal problema fue la reconstrucción de los agujeros de los pines, el software de transformación no cuenta con las herramientas necesarias para editar dicha parte por lo que es necesario usar un software que permita la reconstrucción.

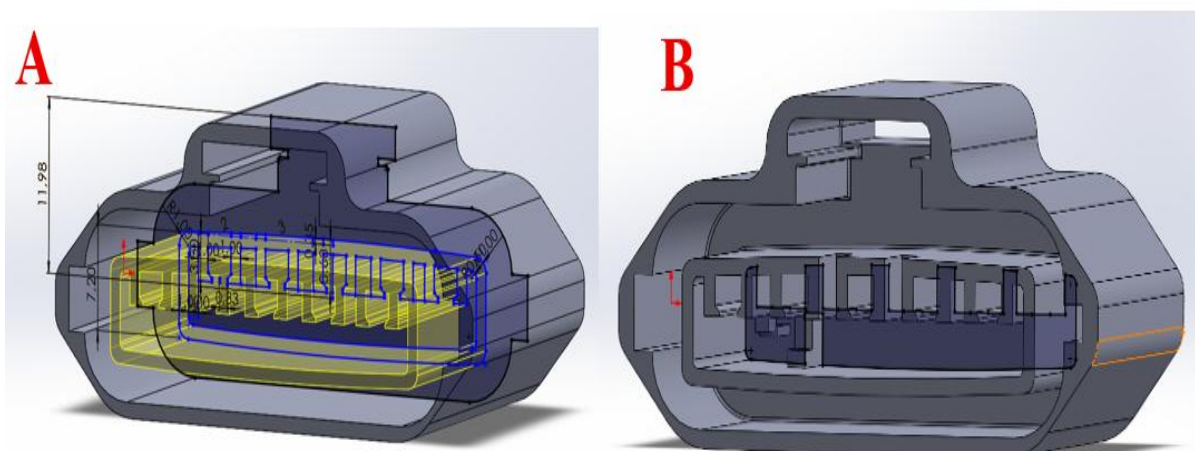
Figura 48. Modelo sólido del conector MAF



La reconstrucción del sólido preliminar principalmente se realizó en las partes internas y agujeros del conector. En este caso, el conector MAF cuenta con 4 agujeros para los pines (A), los mismo que fueron reconstruidos tomando las medidas reales de cada uno. Además, existió la necesidad de reconstruir las paredes internas (B) con la creación de un croquis como se muestra en la Figura 49.



Figura 49. Reconstrucción de los agujeros y paredes internas del conector MAF



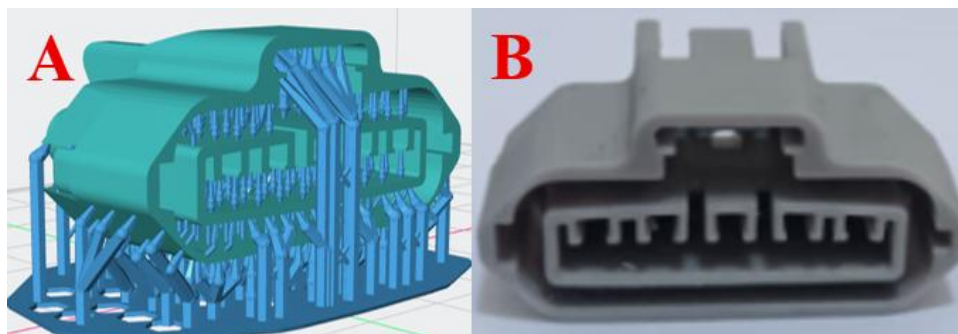
4.4. Impresión 3D y obtención del prototipo del conector MAF

En la Figura 50 A) se observa el modelo digital final obtenido después de terminar el proceso de reconstrucción, se aplicó los parámetros mencionados en el apartado 3.2.5 obteniendo como resultado un modelo apto para la impresión.

En la Figura 50 B) se observa el prototipo obtenido después del proceso de impresión tomando un lapso de tiempo de alrededor de 110 minutos, con un consumo total de 11.02 mililitros de resina. Además, el prototipo se encuentra sin el proceso de curado, limpieza de resina sobrante y sin eliminación de soportes. Finalmente, se obtuvo el prototipo final después de aplicar todos los procesos de limpieza y sobre todo el proceso de curado que llevó a cabo un tiempo de 45 minutos, obteniendo un modelo más resistente y funcional.



Figura 50. Conector MAF A) Modelo digital B) Prototipo final

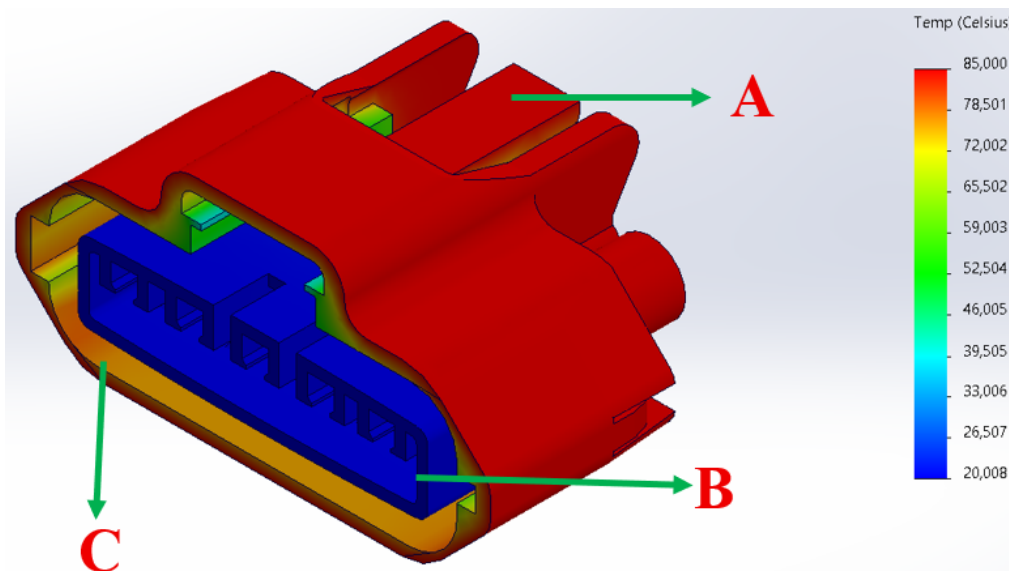


4.4.1.1. Análisis de resultados: Simulación térmica del conector MAF

En la Figura 51 se observa el resultado de la simulación térmica aplicado al modelo digitalizado del conector MAF evaluando la distribución de temperatura por todo el modelo. Para el análisis de resultado se consideró tres zonas representativas de temperatura, evidenciando una acumulación de calor en la Figura 51 sección (A) que representa la zona externa y guía de inserción del conector, alcanzando temperaturas de hasta 85°C. Además, la Figura 51 sección (C) representa la parte interna y posee una variación de temperatura que se encuentra en un rango de 30-80 °C, funcionando como un disipador de calor. Por otra parte, la Figura 51 sección (B) representa la zona de inserción de terminales que permanece aislada del calor, con temperaturas de 20-25°C existiendo una baja conducción en esa región. La zona de inserción presenta la ausencia de contacto directo con fuentes térmicas activas, principalmente para proteger los contactos eléctricos del sobrecalentamiento y del entorno del térmico del motor.



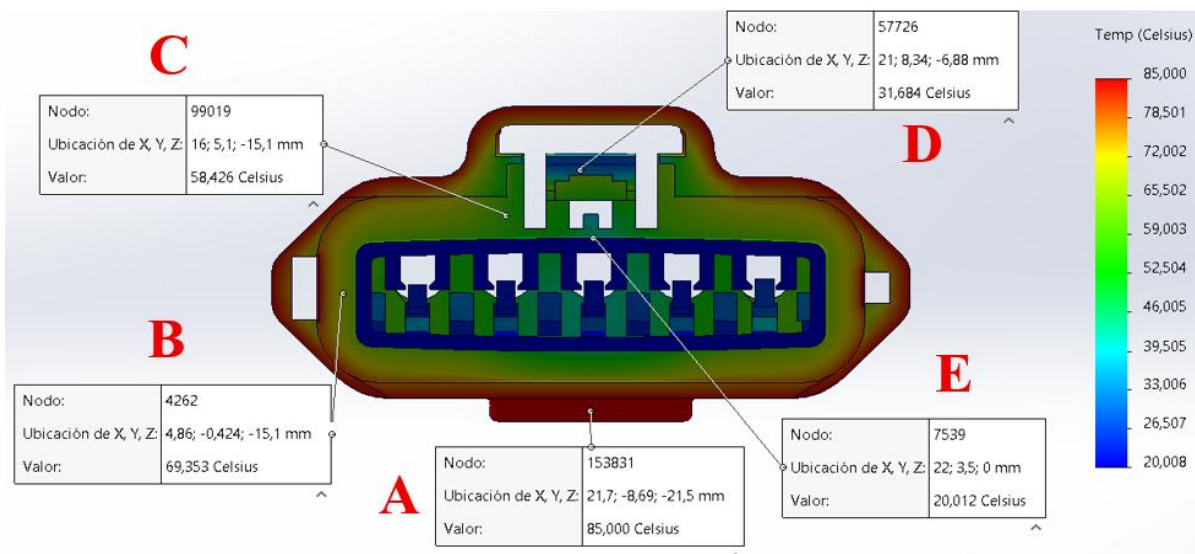
Figura 51. Resultado de la simulación térmica del conector MAF



La Figura 52 representa la vista frontal del conector y la selección de puntos en los que el cambio de temperatura varía y es representativo basándose en el cambio de color. La Figura 52 punto (A) representa la zona externa y la guía de inserción, la temperatura de esta zona está entre 78-85°C , la Figura 52 punto (B) representa la parte inicial de la pared lateral, es la consiguiente de la zona externa y mediante esta pared se puede distribuir el calor y alcanzar temperaturas de 70-75°C, la Figura 52 el punto (C) representa la parte final de la pared lateral con una disminución de temperatura de 40-60°C, la Figura 52 punto (D) representa la unión de la pared lateral con la zona de inserción de terminales, en esta región se empieza a evidenciar el inicio del aislamiento térmico, su rango de temperatura va desde los 30-40°C, Figura 52 el punto (E) representa la zona de inserción de terminales y la zona más aislada de todo el conector con temperaturas de 20-26°C.



Figura 52. Puntos de variación de temperatura del conector MAF

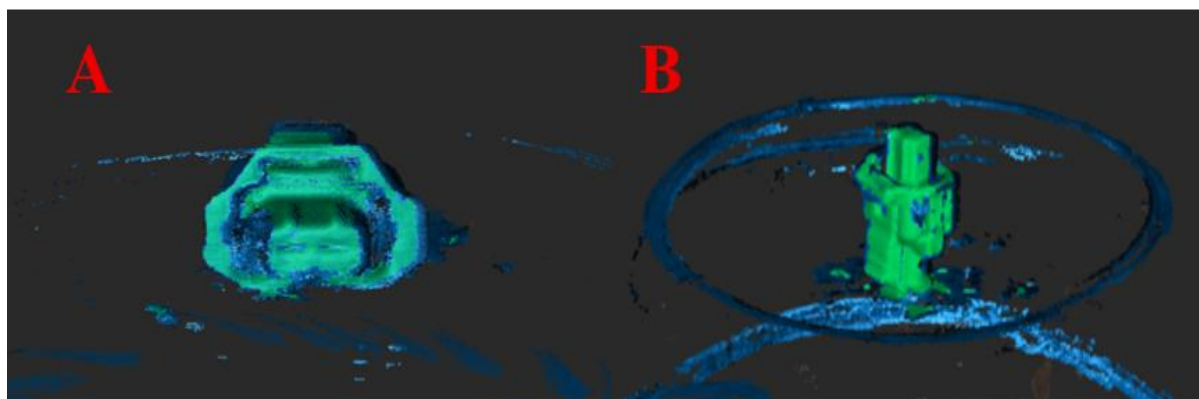


4.5. Digitalización del conector del inyector

Para la digitalización del conector del inyector se capturó la nube de puntos en dos posiciones, la primera fue en posición frontal (A), en la que se capturó partes incompletas de los agujeros de los pines y de igual manera partes incompletas de las paredes internas del conector debido a la profundidad y espacios estrechos donde existe poca iluminación. Por otra parte, con la posición lateral se capturó la parte externa del conector y el seguro con el que se fija el conector como se muestra en la Figura 53.



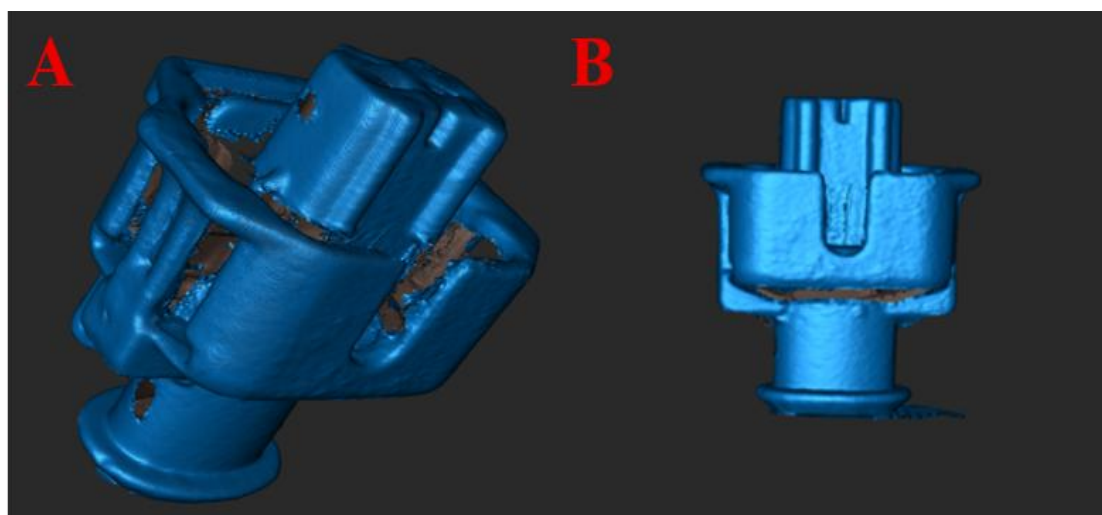
Figura 53. Nubes de puntos del conector del inyector obtenidas a partir de la posición frontal y lateral



4.6. Procesamiento de la nube de puntos y del sólido del conector del inyector

Las dos nubes de puntos obtenidas fueron aplicadas el proceso detallado en el apartado 3.2.4.1, eliminando datos que no pertenecen a los modelos principales. En la Figura 54 se observa la fusión de la nube en posición frontal (A) en la que existen partes que el escáner no logró capturar, de igual manera sucedió con la nube en posición lateral (B).

Figura 54. Proceso de fusión y eliminación de datos de las nubes de puntos de la posición frontal y lateral del conector del inyector



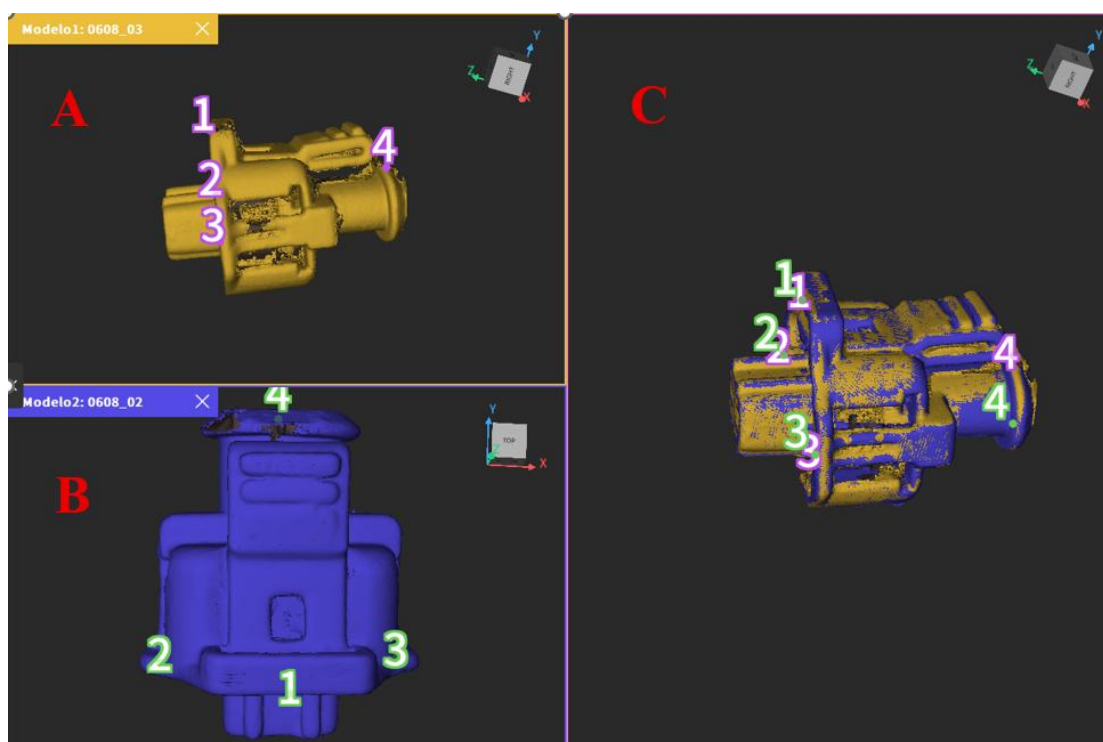


UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
 APLICADAS**
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



Una vez finalizada la edición de las nubes de puntos, se procedió a fusionar los dos modelos capturados en distintas posiciones. Se aplicó el proceso mencionado en el apartado 3.2.4.2 con el fin de obtener un modelo final y sobre todo un modelo completo en el que una posición sea el complemento de la otra. En la Figura 55 se observa la fusión entre la posición frontal (A) con la posición lateral (B), obteniendo como resultado el modelo final (C) del conector más completo. Para la fusión se optó por aplicar puntos coincidentes principalmente en la parte frontal del conector.

Figura 55. Proceso de fusión de las nubes de puntos capturadas en posición frontal y lateral del conector del inyector

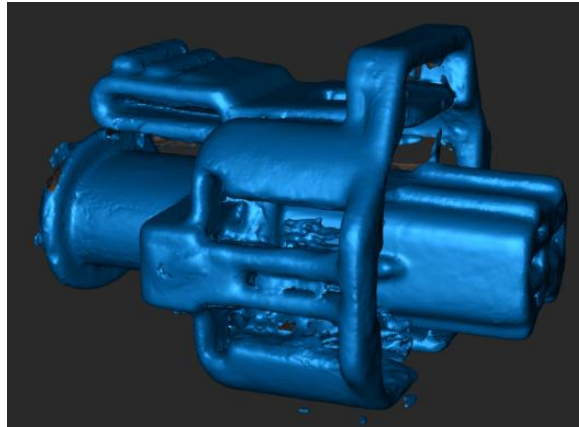


Una vez finalizada la fusión se obtuvo una nube de puntos final, se aplicó la construcción de la malla que se detalla en el apartado 3.2.4.3. para exportarlo al software el cual permite transformar en sólido. En la Figura 56 se observa un modelo de malla final más



completo que la nube de puntos, principalmente por la fusión aplicada. Además, se observa que existe ciertas partes con ruido e incompletas que posterior serán editadas.

Figura 56. Modelo de malla final del conector del inyector



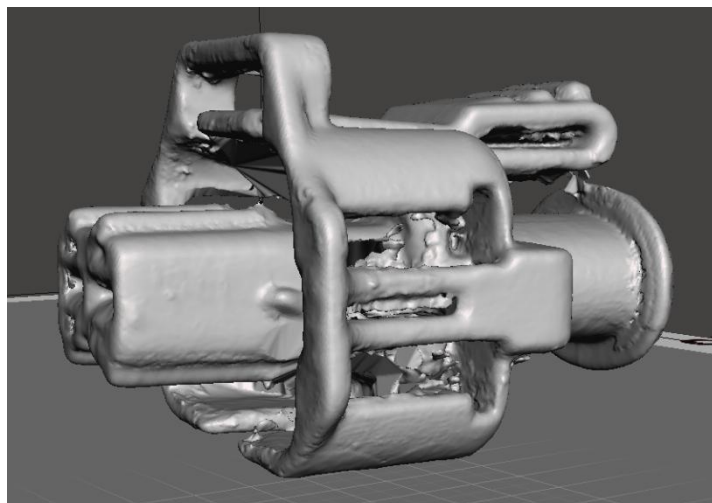
Tras usar el software de transformación se obtuvo un sólido en el que sus errores fueron corregidos y gran parte de los agujeros fueron cerrados como se muestra en la Figura 57. Además, se eliminó las mallas que no pertenecían al modelo final obteniendo un modelo más completo y limpio para realizar el proceso de reconstrucción aplicando el proceso detallado en el apartado 3.2.4.5.



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

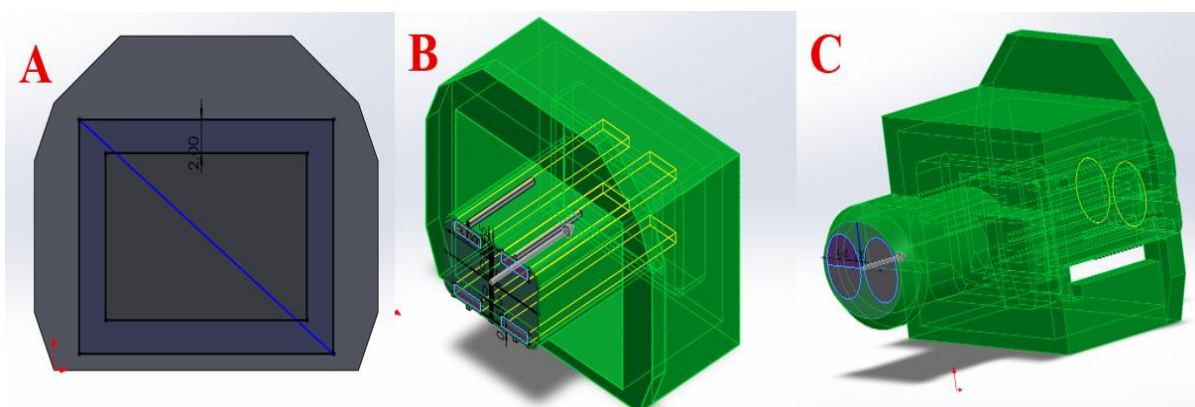


Figura 57. Modelo sólido del conector del inyector



En la reconstrucción del sólido se realizó el croquis de la pared interna (A), posterior se realizó el diseño de la zona de inserción de los pines (B), en este caso son 2 pines y los agujeros por donde ingresan los cables (C) debido a que fueron las partes en las que el escáner no capturó la nube de puntos y existían vacíos o el software transformador rellenó de forma incongruente dichos agujeros. En la Figura 58 se observa los croquis que se realizaron para reconstruir las tres partes anteriormente mencionadas aplicando el proceso mencionado en el apartado 3.2.4.7.

Figura 58. Reconstrucción de los agujeros y paredes internas del conector del inyector

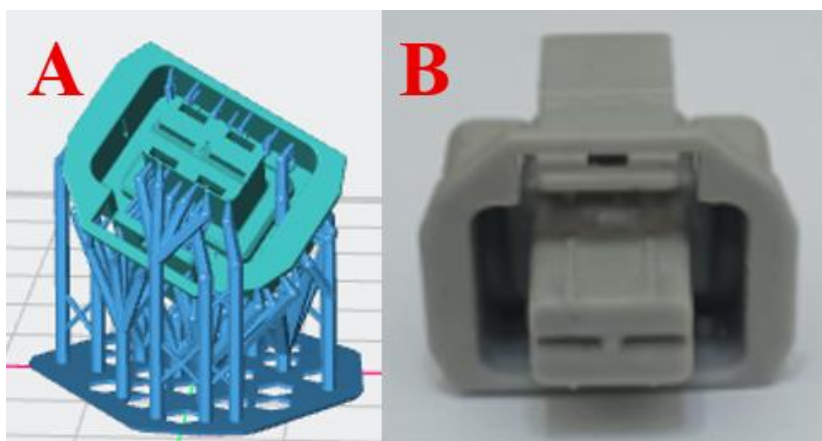




4.7. Impresión 3D y obtención del prototipo del conector del inyector

En la Figura 59 A) se muestra el resultado del modelo digital reconstruido. Además, se aplicó los parámetros establecidos en el apartado 3.2.5 para obtener un modelo final para la impresión. En la Figura 59 B) se observa el prototipo resultante de la impresión, para la obtención del prototipo tuvo una duración aproximada de alrededor de 116 minutos, con un consumo total de 5.798 mililitros de resina, tomando en cuenta que la pieza no fue sometida a los procesos de curado, limpieza de resina sobrante y eliminación de soportes. Por último, para la obtención del prototipo final, se completó todos los procesos de limpieza y sobre todo el proceso de curado que llevó a cabo 60 minutos, obteniendo un modelo más resistente y funcional.

Figura 59. Conector Inyector A) Modelo digital B) Prototipo final



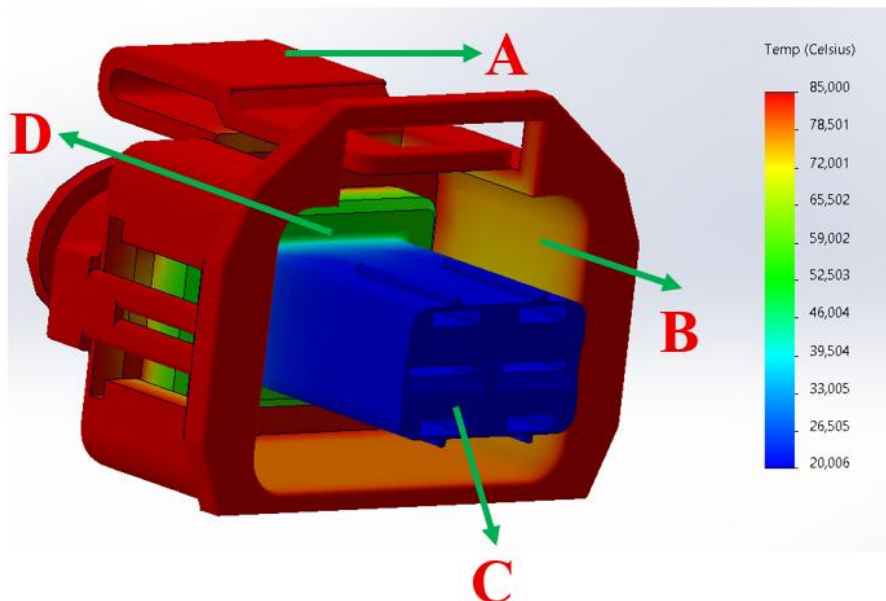
4.7.1.1. Análisis de resultados: Simulación térmica del conector del inyector

En la Figura 60 se observa el resultado de la simulación térmica, dividiéndose en cuatro partes para el análisis de la distribución de calor en el conector. La Figura 60 sección (A) representa la zona que se encuentra en mayor exposición a las cargas térmicas alcanzando temperaturas de 85°C, la Figura 60 sección (B) es la parte interna y cumple la función de distribuir la temperatura que ingresa por la zona (A) por el cuerpo del conector, alcanza temperaturas de



78°C. La Figura 60 sección (C) representa el área más fría del componente con un rango de temperatura de 20°C, mientras que la Figura 60 sección (D) representa temperaturas de entre 45-70°C.

Figura 60. Resultado de la simulación térmica del conector del inyector

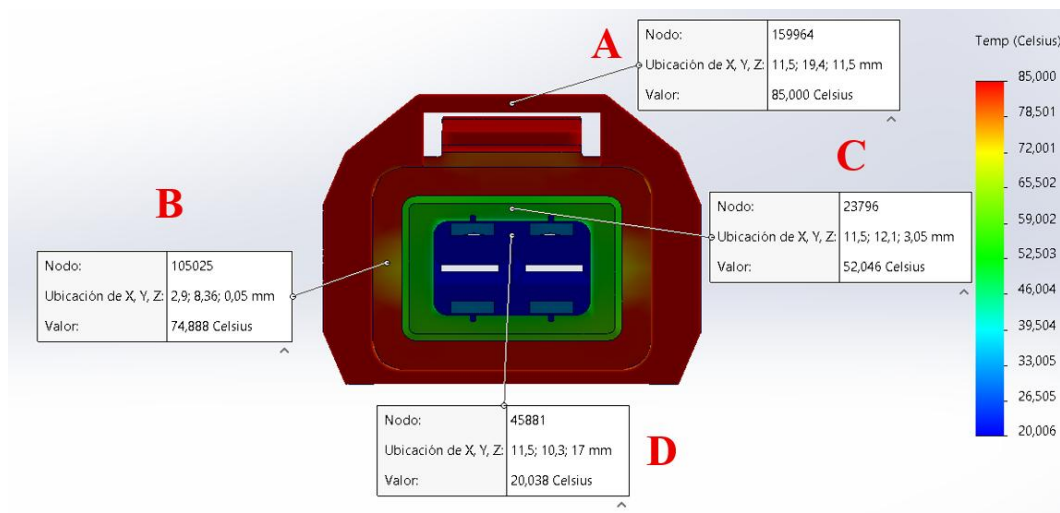


En la Figura 61 se observa el conector en una vista frontal y la selección de puntos en los que existe un cambio de temperatura por todo el conector y se refleja con el cambio de color en las distintas zonas. La Figura 61 punto (A) representa la zona externa y la guía de inserción con temperaturas promedio de 80-85°C, la Figura 61 punto (B) representa las paredes internas del conector, se observa como la temperatura empieza a disminuir y a distribuirse por toda la pared llegando a alcanzar temperaturas de 75-78°C, la Figura 61 punto (C) representa un tope del conector al momento de ser introducido, además es la unión entre la pared interna y la zona de inserción de terminales, reflejando temperaturas más bajas en comparación con los puntos (A)



y (B), en promedio la temperatura de este punto es de alrededor 42-62°C, mientras que la Figura 61 punto (D) representa la zona de inserción de los pines y la zona con menor temperatura considerándose una zona de aislamiento térmico con temperaturas de 20-26°C.

Figura 61. Puntos de variación de temperatura del conector del inyector

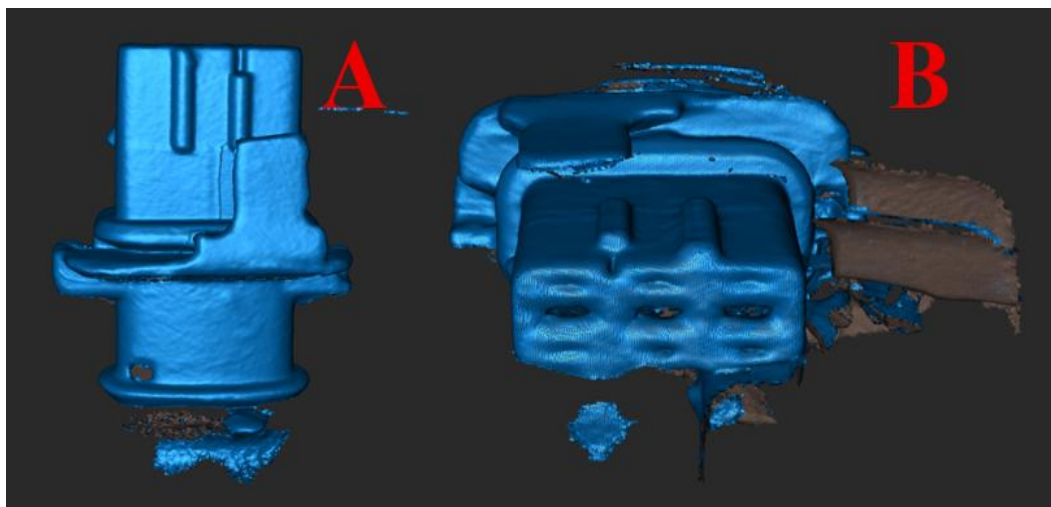


4.8. Digitalización del conector del riel

Para la captura de la nube de puntos se optó por ubicar al conector en dos posiciones como se muestra en la Figura 62. En primer lugar, el conector fue ubicado en una posición lateral (A) principalmente para capturar geometrías del seguro y las paredes externas. Por otra parte, en la posición frontal (B) se capturó geometrías de los agujeros tanto de los pines y de los cables, además se completó ciertas partes que en la posición (A) no se capturó, obteniendo un modelo más completo.



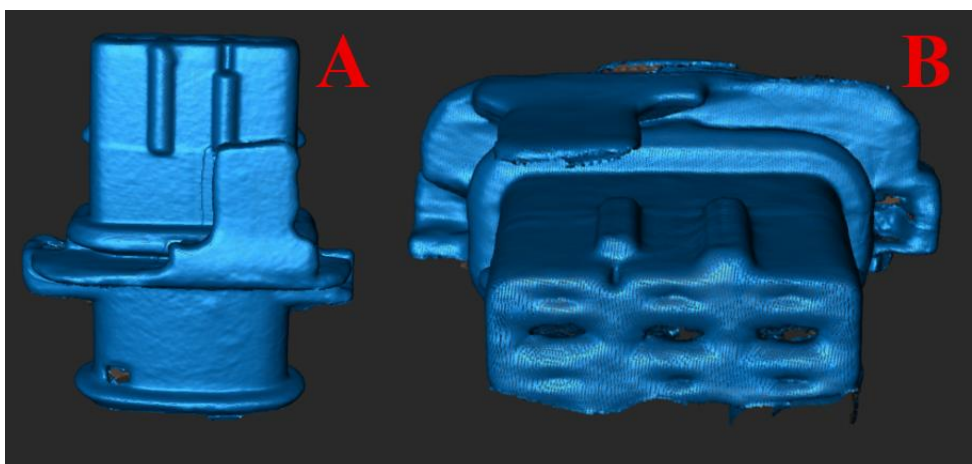
Figura 62. Nubes de puntos del conector del riel obtenida a partir de la posición lateral y frontal



4.9. Procesamiento de la nube de puntos y del sólido del conector del riel

En la digitalización del conector se capturó nube de puntos que no pertenecen al modelo original, se aplicó los procesos detallados en el apartado 3.2.4.1 obteniendo una nube de puntos más completa y sobre todo sin ruido y puntos que no pertenecen al modelo original. En la Figura 63 se observan los dos modelos tanto de la posición lateral (A) y frontal (B) sin datos innecesarios para poder fusionarlos.

Figura 63. Proceso de fusión y eliminación de datos de las nubes de puntos de la posición frontal y lateral del conector del riel



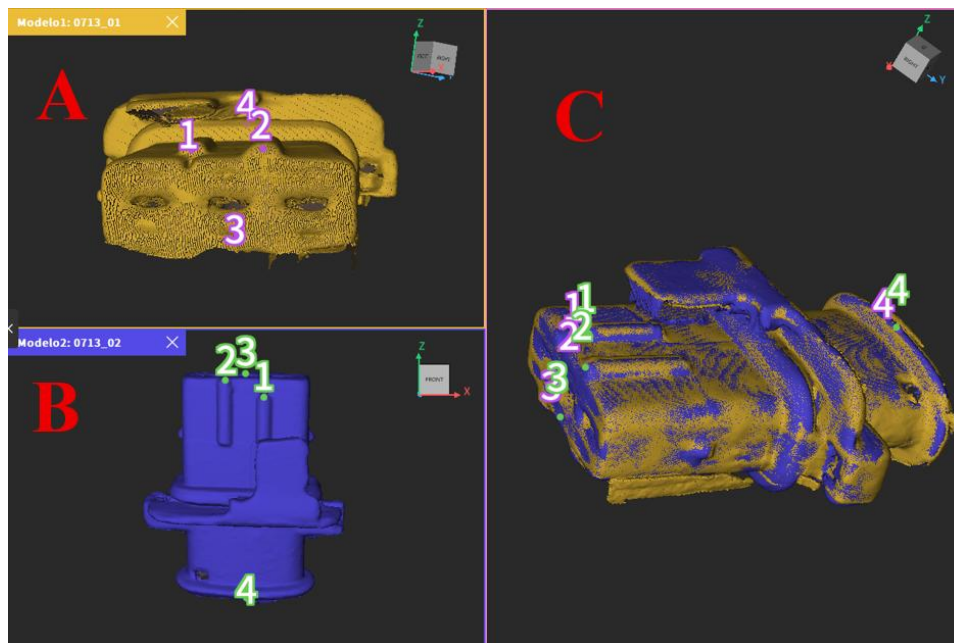


UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
 APLICADAS**
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



Para obtener un modelo final entre las dos posiciones capturadas se aplicó el proceso mencionado en el apartado 3.2.4.2, en la Figura 64 se observa la fusión aplicada en los dos modelos. Los puntos seleccionados para la coincidencia del modelo se ubicaron en la parte frontal y posterior, ubicando los tres principales puntos en la parte frontal y un solo punto en la parte posterior.

Figura 64. Proceso de fusión de las nubes de puntos capturadas en posición frontal y lateral del conector del riel



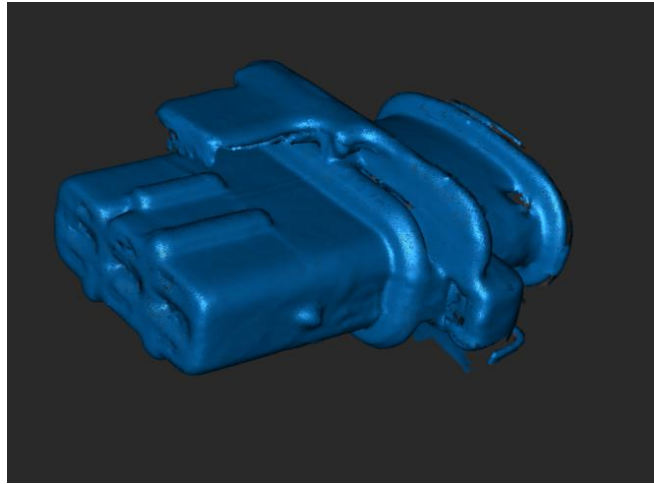
Una vez terminado el proceso de fusión, se aplicó los parámetros establecidos en el apartado 3.2.4.3 obteniendo un modelo de malla final, el mismo que fue exportado al software de transformación. En la Figura 65 se observa el modelo de malla final obtenido, presenta ciertos agujeros que fueron corregidos en otro software.



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

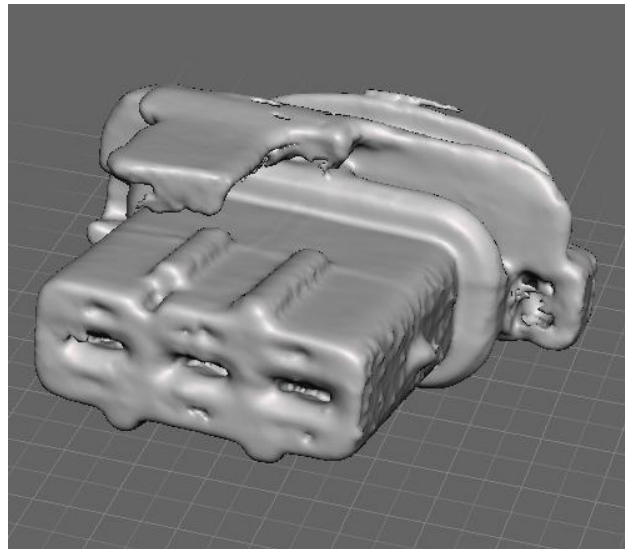


Figura 65. Modelo de malla final del conector del riel



En la Figura 66 se observa el modelo sólido final después de haber sido exportado como una malla, se obtuvo un resultado en el que el modelo presenta zonas no deseadas, agujeros sin cerrar, paredes internas incompletas y falta de un proceso de suavizado. Por tal motivo, se aplicó el proceso detallado en el apartado 3.2.4.5. obteniendo un modelo listo para reconstruir las partes faltantes.

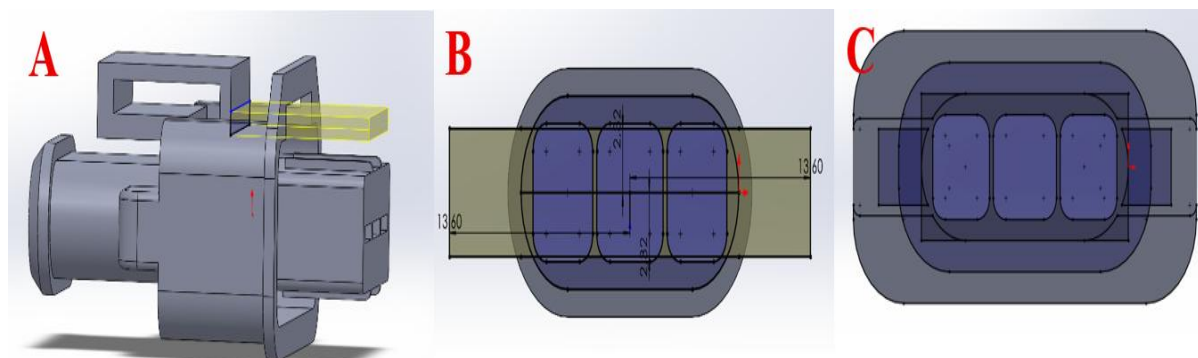
Figura 66. Modelo sólido del conector del riel





El proceso de reconstrucción del conector del riel consistió principalmente en el diseño de la carcasa en la que incluye partes externas y sobre todo el seguro del conector. Además, se reconstruyó la zona de inserción de pines aplicando el proceso mencionado en el apartado 3.2.4.7. En la Figura 67 se observa los croquis de reconstrucción en el conector, la Figura 67 (a) representa el croquis del seguro, al no existir en el modelo original se optó por basarse en la geometría del conector del inyector. Así mismo, la Figura 67 (b) representa el croquis de la carcasa incluida las paredes internas, basándose en la geometría del conector del riel. Por otra parte, la Figura 67 (c) representa el croquis de la zona de inserción de los pines, se realizó el croquis basándose en la geometría de los pines y de las partes que van ensambladas al conector.

Figura 67. Reconstrucción de la carcasa, seguro y zona de inserción de los pines del conector del riel

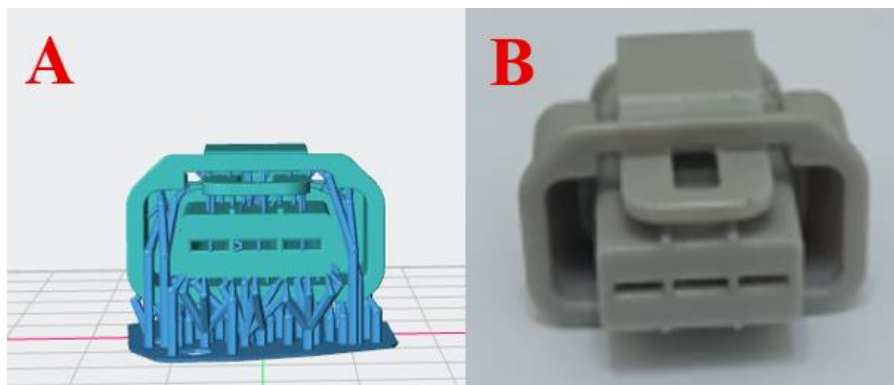


4.10. Impresión 3D y obtención del prototipo del conector del riel

En la Figura 68 A) se muestra el modelo digital final del conector, obtenido a partir de los parámetros establecidos en el apartado 3.2.5. Por otra parte, en la Figura 68 B) se observa el prototipo final obtenido una vez terminados los procesos de limpieza, curado y eliminación de soportes, tomando un tiempo de alrededor de 60 minutos. Además, el proceso de impresión para la obtención del prototipo tomó alrededor de 125 minutos con consumo de total de 7.29 mililitros de resina.



Figura 68. Conector del riel. A) Modelo digital B) Prototipo final



4.10.1.1. Análisis de resultados: Simulación térmica del conector del riel

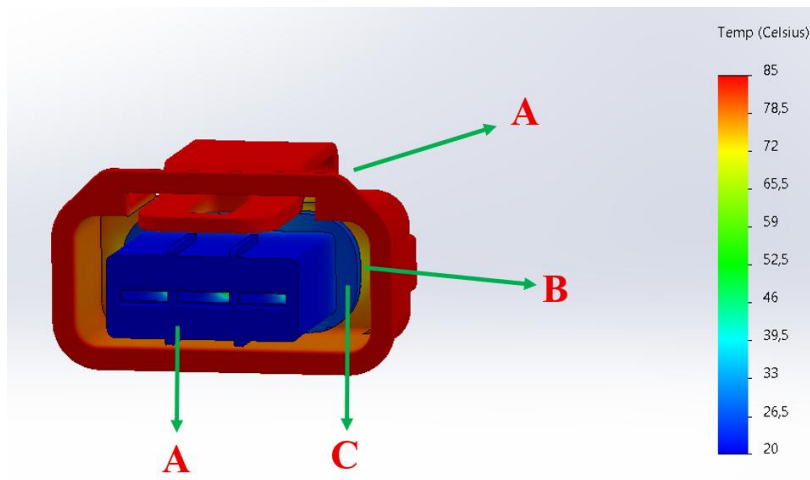
La Figura 69 representa el resultado de la simulación térmica realizada al modelo digital final, obteniendo un análisis de distribución de temperatura del conector. Para el análisis se optó por analizar las cuatro zonas significativas de variación de temperatura. La Figura 69 sección (A) al igual que el resto de conectores representa la zona más expuesta a la temperatura con 85 °C, mientras que la Figura 69 sección (B) representa las paredes internas y la principal zona de distribución de calor con temperaturas de 74-80 °C. Por otra parte, existe una zona distinta al resto de los conectores, la Figura 69 sección (C) hace referencia a una pared interna extra que su función es aislar la zona de inserción de pines representada en la Figura 69 sección (D), la temperatura de esta zona es desde los 40-33 °C. La zona de inserción de los pines es la zona con temperaturas más bajas aproximadamente de 20 °C.



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



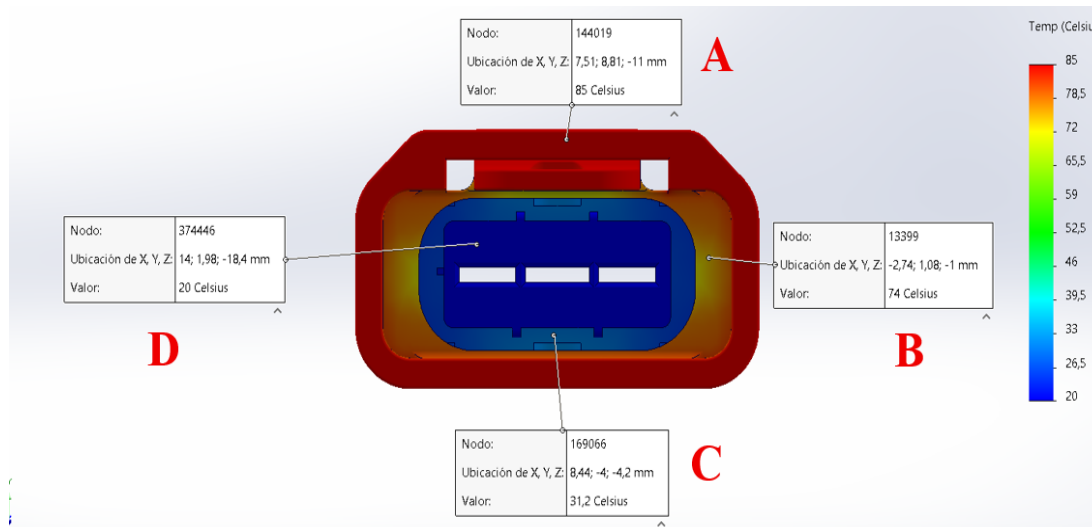
Figura 69. Resultado de la simulación térmica del conector del riel



La Figura 70 representa la vista frontal y puntos seleccionados basándose en el cambio de temperatura de las zonas y se encuentran representadas por el cambio de color. La Figura 70 punto (A) hace referencia a la carcasa del conector y en este punto no existe variación de temperatura y se mantiene en 85 °C, mientras que la Figura 70 punto (B) representa las paredes internas y existe disipación de calor, las temperaturas de esta zona son de 72-78.5 °C. La Figura 70 punto (C) representa el aislador de la zona de inserción de los pines con temperaturas que van desde los 33-40 °C, incluso pueden llegar a alcanzar temperaturas de 55-42 °C. Por último, Figura 70 punto (D) no tiene una variación de temperatura debido a que es la zona aislada de todo el conector, su temperatura es de 20 °C.



Figura 70. Puntos de variación de temperatura del conector del riel

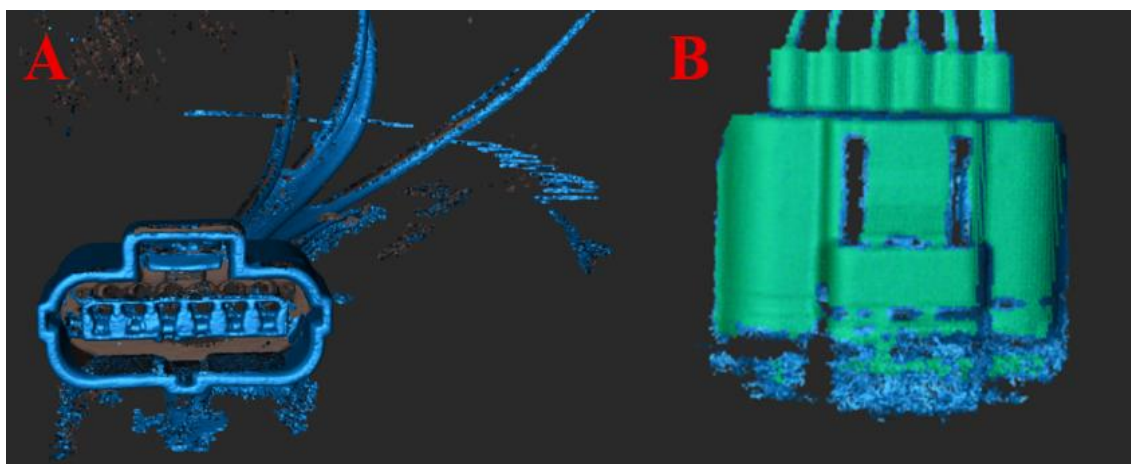


4.11. Digitalización del conector APP

En la Figura 71 se observa la nube de puntos capturada en distintas posiciones del conector APP, la figura (A) representa una vista frontal que principalmente se la utilizó para capturar parte de la geometría de la zona de inserción de terminales y paredes internas, mientras que en la figura (B) se representa una vista lateral para la captura de puntos del seguro del conector. El resultado fue similar a todos los conectores, se obtuvo nube de puntos no deseados y geometrías incompletas que el escáner no logró capturar.



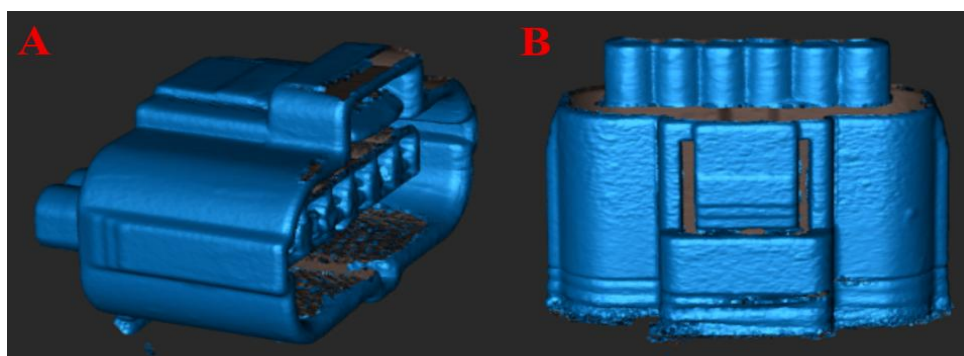
Figura 71. Nubes de puntos del conector APP obtenidas a partir de la posición frontal y lateral



4.12. Procesamiento de la nube de puntos y del sólido del conector APP

Se aplicó el proceso detallado en el apartado 3.2.4.1, obteniendo nube de puntos limpias y sin ruido en la que se suprimió puntos que afecten al modelo original. En la Figura 72 se observa el resultado de los modelos después de aplicar el proceso mencionado, tanto la nube de puntos captura en la posición (A) y (B) se observa cómo no presentan puntos que afecten al modelo original, pero presentan superficies y geometrías incompletas.

Figura 72. Proceso de fusión y eliminación de datos de las nubes de puntos de la posición frontal y lateral del conector APP



Como resultado de haber aplicado del proceso detallado en el apartado 3.2.4.2 se obtuvo un modelo único fusionando el modelo (A) con el (B), principalmente para rellenar los agujeros y

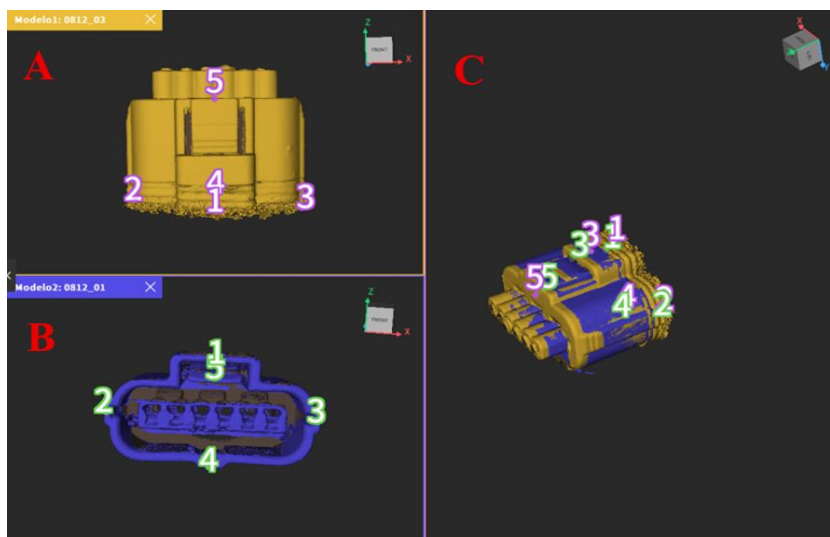


UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
 APLICADAS**
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



espacios que se encuentran sin puntos de los dos modelos, complementándose en uno solo modelo. En la figura se observa la fusión del modelo capturado en posición frontal (B) con la posición lateral (A), seleccionando cinco puntos coincidentes principalmente entre la zona de inserciones de los pines y la parte de salida del cableado obteniendo un modelo único y más completo (C).

Figura 73. Proceso de fusión y eliminación de datos de las nubes de puntos de la posición frontal y lateral del conector APP



Como resultado de la fusión se obtuvo un modelo único, el mismo que fue aplicado el proceso mencionado en el apartado 3.2.4.3 obteniendo como resultado el modelo de malla final como se observa en la Figura 74.



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



Figura 74. Modelo de malla final del conector APP



Una vez exportado el modelo de malla final al software de transformación, aplicó el proceso detallado en el apartado 3.2.4.5 obteniendo un modelo sólido del conector como se muestra en la Figura 75. Además, tras aplicar el proceso se obtuvo un modelo sólido en el que varias zonas tendieron a distorsionarse, principalmente la zona de inserción de los pines en la que la parte de los agujeros se cerró como se muestra en la Figura 75.

Figura 75. Modelo sólido del conector APP

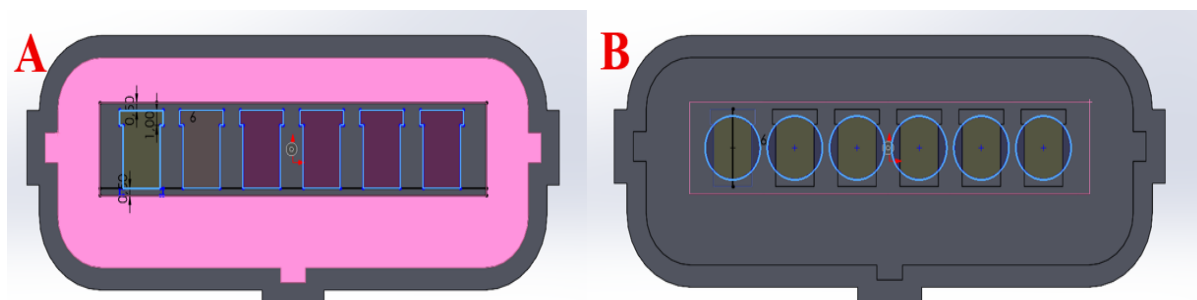


La parte principal que se reconstruyó en el modelo fue la zona de inserción de los pines, se realizó dos croquis tanto para las paredes internas y los agujeros por donde ingresan los cables y los pines. En la Figura 76 (a) se observa el croquis usado para reconstruir la zona en la que



se enclavan los pines y el seguro del conector. Además, en la Figura 76 (b) se observa el croquis usado para la reconstrucción de agujeros por los que ingresan los cables y pines, basándose en la geometría original del conector.

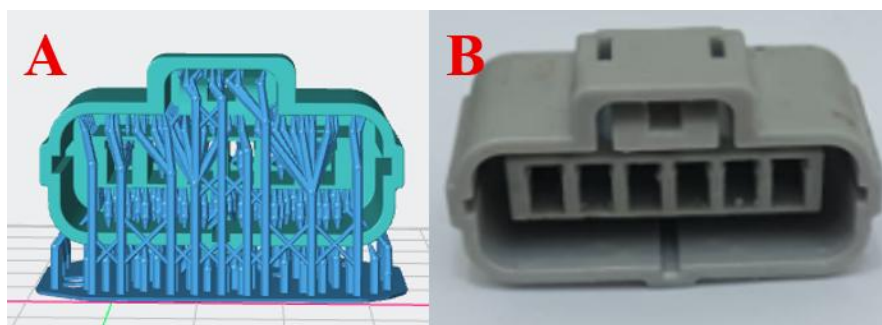
Figura 76. Reconstrucción de la zona de inserción de los pines del conector APP



4.13. Impresión 3D y obtención del prototipo del conector APP

La Figura 77 A) representa el modelo final del conector APP aplicado el proceso detallado en el apartado 3.2.5. Por otra parte, en la Figura 77 B) se observa el resultado del prototipo final posteriormente al proceso de impresión y los procesos de limpieza del prototipo, remoción de soportes y curado de la pieza, el tiempo en realizar los procesos mencionado duró alrededor de 60 minutos. Mientras que para la obtención del prototipo mediante la impresión 3D duró un tiempo de 98 minutos con un consumo total de 13.37 mililitros de resina.

Figura 77. Conector APP. A) Modelo digital B) Prototipo final





4.13.1.1. Análisis de resultados: Simulación térmica del conector APP

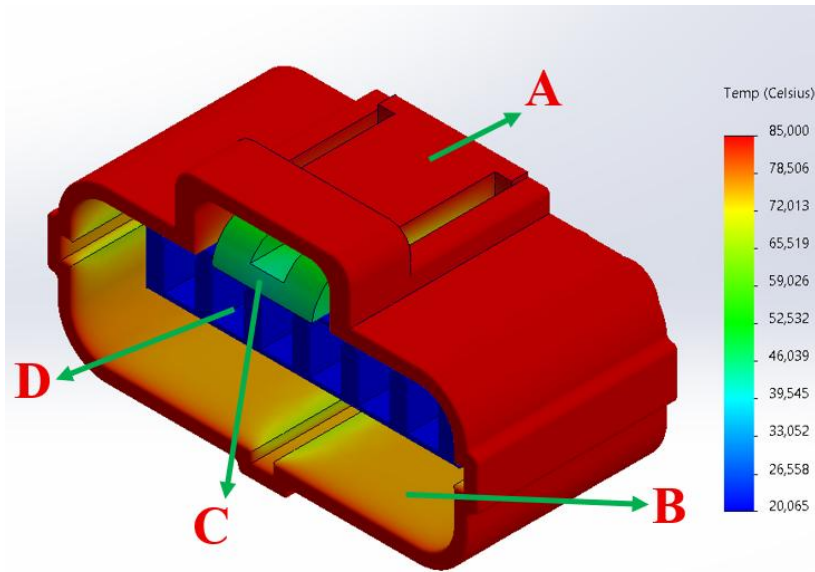
En la Figura 78 se observa el resultado obtenido de la simulación de temperatura aplicado al modelo digital del conector. La distribución de temperatura se aprecia en cuatro zonas del conector, considerando que existe variación de temperatura alrededor de todo el conector. La Figura 78 sección (A) representa la carcasa y la zona que alcanza temperaturas altas de 85 °C. Por otra parte, se puede evidenciar la variación de temperatura tanto en la Figura 78 (B) y (C), la Figura 78 (B) representa las paredes internas del conector y su función es disipar el calor lo máximo posible, las temperaturas de esta zona pueden variar de 70-80 °C dependiendo del espesor de dichas paredes. Además, la Figura 78 sección (C) representa parte del seguro y su temperatura es de 46-60 °C, cabe recalcar que la parte superior es la que tiene las temperaturas mencionadas, su función es similar al de las paredes internas en las que el calor se va distribuyendo alrededor de toda la geometría del seguro. Como última zona a analizar, se encuentra la Figura 78 sección (D) que representa la zona de inserción de los pines y la zona más aislada de todo el conector, principalmente para proteger a los pines alojados que se encuentran en la zona mencionada, la temperatura debe ser disipada y por tal motivo alcanza los 20 °C.



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



Figura 78. Resultado de la simulación térmica del conector APP



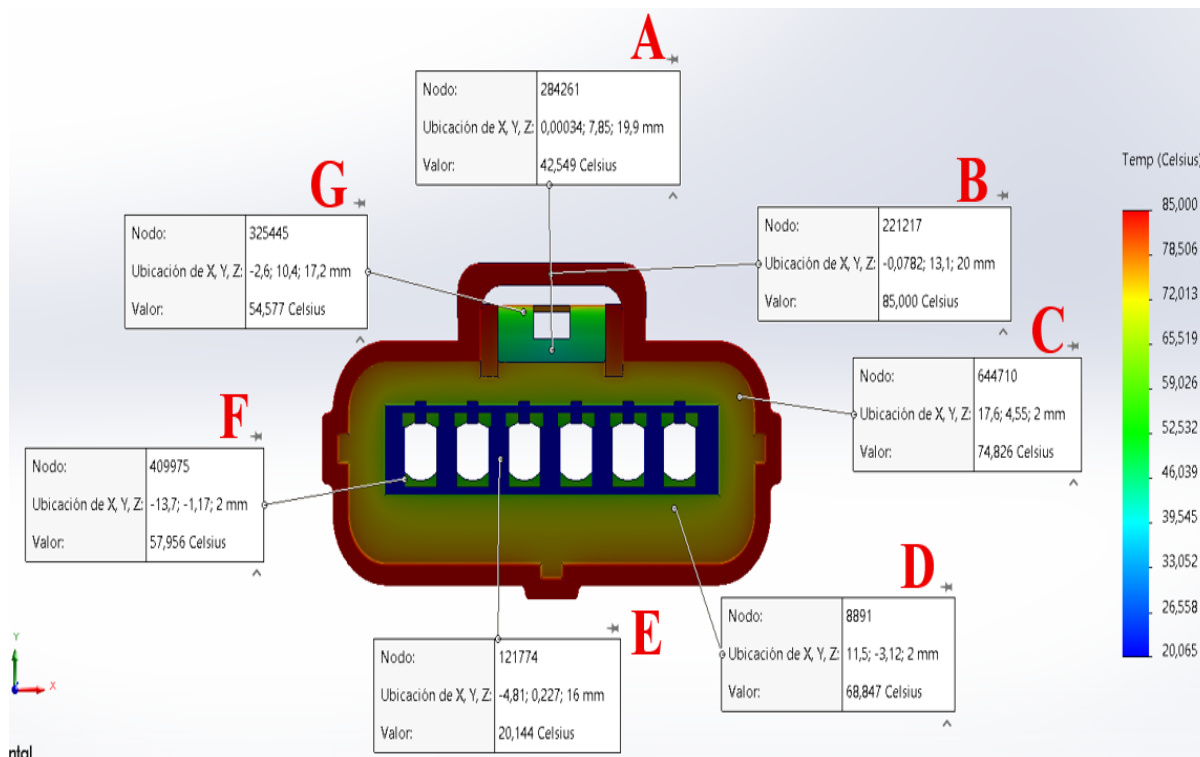
La Figura 79 representa una vista frontal y la selección de puntos donde la variación de temperatura es significativa, basándose en el cambio de color en el modelo. La Figura 79 puntos (B), (C) y (D) representan temperaturas superiores a 60 °C, considerándose como los disipadores de calor, y las zonas más expuestas a la temperatura. Por otra parte, la Figura 79 puntos (A), (F) y (G) no superan los 60 °C y representan las zonas como el seguro del conector y los agujeros de los cables salientes de los pines que no deberían estar expuestos a altas temperaturas. Por último, la Figura 79 punto (E) tiene una temperatura no superior a los 26 °C, debido a que representa la zona de inserción de los pines y debe ser la zona aislada de todo el conector.



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



Figura 79. Puntos de variación de temperatura del conector APP





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



4.14. Análisis de resultado: Ensamble y pruebas de control de calidad

La Tabla 11 presenta el número de pruebas realizadas y los errores detectados a lo largo del proceso hasta alcanzar los prototipos finales completamente ensamblados. Durante las pruebas se identificó fallas funcionales y estructurales, lo que hizo necesario realizar ajustes en el diseño CAD. Además, se procedió a una nueva impresión 3D del modelo corregido.

Tabla 11. Número de pruebas y errores obtenidos para conseguir los prototipos finales

CONECTOR MAF	
NÚMERO DE PRUEBAS	ERRORES
PRUEBA 1	Falla por ruptura en los orificios destinados a los pines, causada por un diámetro insuficiente.
	Falla del seguro debido a insuficiente resistencia durante la remoción de los soportes.
PRUEBA 2	Ruptura en la sección de sujeción de los pines provocada por una longitud mayor.
PRUEBA 3	El conector y los accesorios fueron ensamblados de manera correcta.
CONECTOR INYECTOR	
NÚMERO DE PRUEBAS	ERRORES
PRUEBA 1	Ruptura del seguro debido a insuficiente resistencia.
	Paredes del conector incompleta.
PRUEBA 2	Agujero de los pines con diámetro insuficiente.



Ruptura del seguro debido a insuficiente resistencia.

PRUEBA 3

Agujero de los pines con un excesivo diámetro, produciendo que los pines no puedan ajustarse.

Ruptura del seguro del conector.

PRUEBA 4

El conector y los accesorios fueron ensamblados de manera correcta.

CONECTOR RIEL

PRUEBA 1

La geometría mal diseñada, requiriendo una carcasa y un seguro.

PRUEBA 2

El conector y los accesorios fueron ensamblados de manera correcta.

CONECTOR APP

PRUEBA 1

Zona de inserción de los pines con geometría insuficiente.

Geometría de la parte frontal de la zona de inserción de los pines mal diseñada.

PRUEBA 2

El conector y los accesorios fueron ensamblados de manera correcta.

4.14.1.1. Resultado de la prueba de temperatura

La Tabla 12 presenta los resultados obtenidos en la prueba de temperatura descrita en el apartado 3.2.6.2. En ella se registran las temperaturas más representativas, así como el comportamiento de la resina tipos ABS frente al incremento gradual de temperatura. Se obtuvo datos que permiten identificar los rangos en los que el material conserva su estabilidad, así como los puntos críticos a partir de los cuales pierde su funcionalidad.



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



Tabla 12. Resultado de la prueba de temperatura realizada al prototipo

Temperatura	Descripción
25 °C	A temperatura ambiente el conector presenta alta resistencia, buen módulo elástico y una dureza superficial.
70-80 °C	El conector presentó un reblandecimiento de la parte externa o también llamada la zona de la carcasa. Existió pérdida de rigidez, pequeñas deformaciones y algo de pérdida de elasticidad.
100 °C	Existió fracturas en las zonas externas, la fractura más significativa se evidenció en la zona del seguro.
140-160 °C	Durante la transición de estas temperaturas el conector presentó degradaciones leves en la zona externa y fracturas en la parte interna. Además, presentó fragilidad térmica progresiva evidenciada con el cambio de color (amarillento) en la superficie.
200 °C	El conector se encontraba totalmente blando, incluso existió ruptura y desprendimiento de partes como resultado de las fracturas presentadas por todas las zonas.

De manera general, los resultados de la prueba térmica evidencian que el conector presentó un comportamiento estable hasta los 80 °C. Por encima de estas temperaturas se observó un deterioro progresivo de sus propiedades mecánicas, obteniendo como resultado la ruptura de varias secciones. Durante toda la prueba, el prototipo de resina no experimentó ignición, incluso al alcanzar los 200°C, no se produjo ningún proceso de inflamación.



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



4.14.1.2. Comparación de pesos entre los conectores originales y los prototipos de resina

En la Tabla 13 se presenta la comparativa de los pesos entre los conectores originales y los fabricados en resina. Los resultados evidencian que los valores obtenidos son muy similares, sin registrarse diferencias significativas.

En el caso del conector MAF y del inyector, se identificó una diferencia de aproximadamente un gramo, esta ligera disminución de peso responde a la modificación realizada en la geometría interna.

Por otra parte, se observa una similitud en los pesos del conector del riel y del APP. Cabe recalcar que el conector del riel fue digitalizado sin gran parte de la zona externa, lo que posteriormente requirió la reconstrucción de secciones para completar su forma, y como consecuencia aumento el peso. Además, el conector APP no requirió una reconstrucción extensa en su geometría interna, razón por la cual alcanzó un peso prácticamente similar al del modelo original.

Tabla 13. Comparación de pesos entre el conector original-prototipo de resina

	CONECTOR ORIGINAL	PROTOTIPO DE RESINA
MAF	8 gramos	7 gramos
INYECTOR	6 gramos	5 gramos
RIEL	5 gramos	5 gramos
APP	9 gramos	9 gramos



4.14.1.3. Resultado de la prueba de funcionalidad

Tras culminar el proceso de ensamble del prototipo en resina, se obtuvo un modelo apto para la prueba de funcionalidad en el motor. Durante esta evaluación, el motor permaneció en marcha durante aproximadamente 20 minutos, tiempo suficiente para alcanzar sus condiciones óptimas de temperatura y de operación.

El prototipo demostró un desempeño adecuado en todas las fases de la prueba: transmitió la señal correspondiente, caso contrario el motor salía de operación, se mantuvo correctamente fijado a pesar de las vibraciones propias del motor y, finalmente, al alcanzar la temperatura óptima del motor no presentó pérdida de sus propiedades mecánicas.

En la Figura 80 observa el prototipo montado en el motor en bajo condiciones reales de operación, validando su funcionalidad y estabilidad estructural, confirmando que el prototipo en resina es óptimo para la aplicación dentro del sistema electrónico de un motor.

Figura 80. Prototipo de resina montado en un motor en condiciones reales de funcionamiento





CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Las tecnologías de digitalización e impresión 3D son una ayuda en la industria automotriz, principalmente para la obtención de modelos tridimensionales con alta precisión geométrica, reduciendo significativamente el tiempo y los costos asociados a la producción de autopartes, pero existen limitaciones que quedaron evidenciadas durante el proceso de digitalización de un conector automotriz. A través de su configuración geométrica se comprobó el alcance y las limitaciones del escáner en el proceso de captura. Se evidenció que, a pesar de que el escáner presenta una precisión de 0.05 mm, en la captura de las piezas que presentan geometrías profundas que tienen un rango aproximado de 20-30 mm entre superficies como sucede en los conectores, generó nube de puntos incompletas de varias zonas debido a las limitaciones del escáner en la captura de espacios internos en la que la luz se dispersa, líneas de visión ocultas y geometrías que no permiten que el haz entre y salga, lo que hace necesario complementar geometrías mediante un proceso de reconstrucción en un software CAD distinto al software del escáner.
- La impresión de prototipos en resina tipo ABS, bajo tolerancias de ± 0.05 mm, permitió la obtención de resultados caracterizados por acabados lisos y uniformes que facilitaron los procesos de manipulación y ensamble. Adicionalmente, se comprobó que mediante el uso de esta resina es posible obtener prototipos con dimensiones y pesos muy similares a los originales, incluso dependiendo del diseño y del proceso de



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



reconstrucción geométrica, es factible reducir el peso desde aproximadamente un gramo, lo que abre la posibilidad de optimizar piezas sin afectar su desempeño e incluso favorece a la fabricación de conectores relacionado en los tiempos y costos de producción, la obtención de un prototipo final para el ensamble puede tardar un promedio de 165 minutos con un costo de 0.50 centavos sin tomar en cuenta varios factores como mano de obra, consumo energético, uso de equipos y otros factores.

- Los resultados obtenidos permiten establecer que los prototipos impresos en resina tipo ABS presentan un comportamiento adecuado para la aplicación en la industria automotriz, debido a que no mostraron inconvenientes frente a vibraciones propias del motor e incluso no existió inflamación al someterlos a una temperatura máxima de 200 °C. Además, quedó evidenciado que para el diseño de un conector automotriz se necesita tener una distribución de calor por toda su estructura, las tres zonas más representativas son: la carcasa que se encuentra expuesta a temperaturas de 85 °C, la zona interna que posee un espesor promedio de 1-2mm principalmente para disipar el calor debido a que la temperatura de esta zona es de 30-80 °C. Por otra parte, la zona que debe ser aislada del calor representa la sección de inserción los pines con temperatura de 20-25 °C.



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



5.2. RECOMENDACIONES

- Para la digitalización de objetos de color oscuro, en este caso los conectores automotrices, se recomienda aplicar un recubrimiento temporal con productos industriales adecuados, como, por ejemplo, talco industrial. Estos productos generan una superficie opaca, uniforme y blanquecina facilitando la correcta detección de la geometría por parte del escáner, permitiendo capturar una mayor cantidad de puntos y evitar errores en la reconstrucción del conector.
- La obtención de prototipos deseados depende fundamentalmente del proceso de captura de nube de puntos y procesamiento del sólido. Por ello, es recomendable aplicar configuraciones avanzadas de captura y procesamiento para eliminar partes no deseadas, reducir inferencias externas, mejorar la continuidad de superficies y no perder detalles relevantes.
- Para la reconstrucción de geometrías faltantes del conector, se recomienda utilizar un software CAD especializado, esto se debe a que el software propio del escáner presenta limitaciones en la reconstrucción de geometrías incompletas. Además, la reconstrucción debe realizarse con referencia a las medidas reales del conector con el fin de obtener precisión dimensional del modelo digital.
- Para garantizar que los prototipos de conectores automotrices impresos cumplan con las dimensiones y ajustes requeridos, es fundamental mantener la impresora correctamente calibrada y verificar sus tolerancias, con el propósito de evitar que las paredes internas, cavidades de inserción de los pines y zonas de fijación no se impriman con exactitud, evitando fallas de encaje o deformaciones que podrían comprometer la funcionalidad del prototipo.



BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. Felipe, C. Salcedo, A. Bejarano Martínez, E. Andrés, and Q. Salazar, “Sistema para el Control de Calidad de Piezas Metalúrgicas a partir de Imágenes 3D Quality Control System Metallurgical Parts using 3D images.”
- [2] J. Ortiz, A. Jiménez, R. Ramos, and L. Olga, “Inspección de calidad para un sistema de producción industrial basado en el procesamiento de imágenes”.
- [3] D. Salazar, “CONSTRUCCIÓN DE UN TABLERO DIDÁCTICO DE UN SISTEMA ELÉCTRICO DE ALUMBRADO DEL VEHÍCULO,” Quito.
- [4] C. Calderón, “Construcción de un Prototipo para el Bloqueo Central del Vehículo vía Telemática,” Riobamba.
- [5] C. Argüello,
 “FACTORES QUE PREDOMINAN EN EL COMETIMIENTO DE RO
 BO DE AUTOMOTORES.”
- [6] G. Lasso *et al.*, “Plan de Creación de Oportunidades2021-2025-Aprobado.” Accessed: May 29, 2024. [Online]. Available: <https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/2021/09/Plan-de-Creacio%CC%81n-de-Oportunidades-2021-2025-Aprobado.pdf>
- [7] V. Ramos, “Evolución del Uso de los Materiales Plásticos en la Industria Automotriz Evolution of the Use of Plastic Materials in the Automotive Industry,” *INNOVA Research Journal*, vol. 3, no. 12, pp. 17–27, 2018.



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



- [8] 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.
- [9] K. R. da Silva Santos, W. R. de Oliveira, E. Villani, and A. Dttmann, “3D scanning method for robotized inspection of industrial sealed parts,” *Comput Ind*, vol. 147, p. 103850, May 2023, doi: 10.1016/j.compind.2022.103850.
- [10] B. Valverde, “DESARROLLO DE METODOLOGÍAS ENFOCADAS A APLICACIONES DE INGENIERÍA INVERSA PARA REPRODUCIR OBJETOS MEDIANTE ESCANEADO 3D, SISTEMAS CAD/CAM Y PROTOTIPADO RÁPIDO,” Quito, 2019.
- [11] M. Fabian, R. Huňady, 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.
- [12] A. R. de Antonio and M. Muñoz, *Motores de combustion interna*. UNED - Universidad Nacional de Educacion a Distancia, 2016. [Online]. Available: <https://elibro.net/es/lc/utnorte/titulos/48846>
- [13] M. Acevedo, *Etapas del desarrollo del transporte automotor y los sistemas de alimentacion de combustible Diesel: novedades*. Editorial Feijoo, 2007. [Online]. Available: <https://elibro.net/es/lc/utnorte/titulos/71739>
- [14] A. Álvarez and S. Haro, “Análisis de la eficiencia de un motor diésel, mediante el estudio estadístico de fallos de filtros de combustible.,” *Ciencia Digital*, vol. 3, no. 3, pp. 431–445, Jul. 2019, doi: 10.33262/cienciadigital.v3i3.660.



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



- [15] S. Parreno, *Mantenimiento de sistemas auxiliares del motor de ciclo diesel. TMVG0409*. IC Editorial, 2023. [Online]. Available: <https://elibro.net/es/lc/utnorte/titulos/247999>
- [16] F. Lodi *et al.*, “Engine performance and emissions analysis in a cold, intermediate and hot start diesel engine,” *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 10, no. 11, Jun. 2020, doi: 10.3390/app10113839.
- [17] D. A. H. Susa, J. R. B. Samtaella, and C. E. C. Álvarez, “Analysis of Power and Torque Performance of a Diesel Engine Operating with Palm Biodiesel Blends,” *Ingenieria (Colombia)*, vol. 25, no. 3, pp. 250–263, Sep. 2020, doi: 10.14483/23448393.15676.
- [18] L. Mena, M. Román, E. A. Llanes, N. Barreno, S. Mena Palacio, and J. Rocha, “Estudio de rugosidad por análisis de Fourier de las toberas de inyectores en sistemas riel común (CRDI),” *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, vol. 26, no. 4, pp. 654–662, 2018, doi: 10.4067/s0718-33052018000400654.
- [19] S. A. Alur *et al.*, “Optimization and Modelling of EGR rate and MIS for POME fuelled CRDI diesel engine,” *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 49, Sep. 2023, doi: 10.1016/j.csite.2023.103170.
- [20] V. V. Sinyavski, A. Y. Dunin, M. G. Shatrov, I. V. Maksimov, and E. U. Akhmetzhanova, “Generation of a Gas Diesel Engine Model for its Electronic Control System,” in *2022 Intelligent Technologies and Electronic Devices in Vehicle and Road Transport Complex, TIRVED 2022 - Conference Proceedings*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2022. doi: 10.1109/TIRVED56496.2022.9965514.



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



- [21] E. López and J. Miño, “Caracterización de los componentes sensores y actuadores de un sistema de inyección electrónica con riel común,” Universidad de las Fuerzas Armadas, Latacunga, 2022.
- [22] K. Tagesson, P. Sundstrom, L. Laine, and N. Dela, “Real-time performance of control allocation for actuator coordination in heavy vehicles,” in *IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Proceedings*, 2009, pp. 685–690. doi: 10.1109/IVS.2009.5164359.
- [23] Y. Z. Lam, C. Maul, and J. W. McBride, “Temperature, humidity and pressure measurement on automotive connectors,” *IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies*, vol. 29, no. 2, pp. 333–340, Jun. 2006, doi: 10.1109/TCAPT.2006.875896.
- [24] G. G. Dankat and L. M. Dumitran, “Computation of the Electrical Resistance of a Low Current Multi-Spot Contact,” *Materials*, vol. 15, no. 6, Mar. 2022, doi: 10.3390/ma15062056.
- [25] “Una guía completa de conectores de bornes automotrices | SOLUCIÓN DE BLOQUES DE TERMINALES.” Accessed: Sep. 04, 2024. [Online]. Available: <https://www.terminalsblocks.com/es/faq/FAQ-030.html>
- [26] “Tipos de conectores automotrices - Propiedades y terminales | NAGO Perú.” Accessed: Sep. 04, 2024. [Online]. Available: <https://nagoperu.com/tipos-de-conectores-automotrices-propiedades-y-terminales/>
- [27] H. Schmidt, S. Kühn, W. Gruppe, V. Kaiser, and M. Deniers-Schlängel, “Connectors-Technologies and Trends,” 2016. [Online]. Available: www.zvei.org



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



- [28] “La guía definitiva sobre conectores eléctricos para automóviles - GVEI.” Accessed: Mar. 29, 2025. [Online]. Available: <https://www.gvei.com/es/the-ultimate-guide-to-automotive-electrical-connectors/>
- [29] “Comprensión de los tipos de conectores de cables para automóviles modernos: una guía completa - GVEI.” Accessed: Mar. 29, 2025. [Online]. Available: <https://www.gvei.com/es/understanding-modern-automotive-wire-connector-types-a-comprehensive-guide/>
- [30] “¿Qué tipos de conectores automotrices existen? - Conocimiento.” Accessed: Mar. 29, 2025. [Online]. Available: <https://www.wiringcable.com/info/what-types-of-automotive-connectors-are-there-100671911.html>
- [31] “Conectores Electricos Automotrices - Conexium Colombia.” Accessed: Mar. 29, 2025. [Online]. Available: <https://conexium.com.co/conectores-electricos-automotrices/>
- [32] “¿Cuál es el proceso de fabricación de los conectores? - Noticias.” Accessed: Apr. 03, 2025. [Online]. Available: <https://www.kbs-connector.com/news/what-is-the-manufacturing-process-of-connector-67354580.html>
- [33] “Explicación de los procesos de fabricación de conectores automotrices - Molde RJC.” Accessed: Apr. 03, 2025. [Online]. Available: <https://rjcmold.com/es/automotive-connector-manufacturing-processes-explanation/>
- [34] J. Dobránsky and M. Pollák, “Monitoring and Evaluation of the Production Process of Automotive Connectors,” *TEM Journal*, vol. 10, no. 2, pp. 900–907, May 2021, doi: 10.18421/TEM102-52.



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



- [35] “Fabricación de conectores: el proceso detrás de la elaboración de conectores | Conectores MOCO.” Accessed: Apr. 03, 2025. [Online]. Available: <https://www.mococonnectors.com/es/a-news-connector-manufacturing-the-process-behind-crafting-connectors>
- [36] “Electrical Connector Design Requirements,” Jan. 2021, doi: 10.4271/USCAR12-6.
- [37] “Performance Specification for Automotive Electrical Connector Systems,” Jun. 2022, doi: 10.4271/USCAR2-8.
- [38] K. Ma *et al.*, “The Mechanism of Short-Circuit Oscillations in Automotive-Grade Multi-Chip Parallel Power Modules and an Effective Mitigation Approach,” *Sensors*, vol. 24, no. 9, May 2024, doi: 10.3390/s24092858.
- [39] Centro de Experimentación y Seguridad Vial MAPFRE, *Electricidad básica en reparación de automóviles*. CESVIMAP, 2002.
- [40] KIA MOTORS AMERICA, “Course Introduction Automotive Electrical Course S E R V I C E T R A I N I N G Student Learning Guide BEC,” 1999.
- [41] P. Saini, K. Bidhan, and S. Malhotra, “A Detection System for Stolen Vehicles Using Vehicle Attributes With Deep Learning,” *IEEE*, Oct. 2019.
- [42] “Fiscalía General del Estado | Analítica cifras de robo.” Accessed: Jun. 21, 2024. [Online]. Available: <https://www.fiscalia.gob.ec/analitica-cifras-de-robo/>
- [43] M. Noroña and M. Gómez, “Desarrollo e innovación de los sistemas mecatrónicos en un automóvil: una revisión,” *SCIELO*, no. 1, pp. 117–127, 2019, [Online]. Available: <http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/>



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



- [44] A. Lara, “De sistema mecánico a sistema tecnológico complejo El caso de los automóviles,” *Contaduría y Administración*, vol. 59, no. 2, pp. 11–39, May 2014, doi: [https://doi.org/10.1016/S0186-1042\(14\)71253-7](https://doi.org/10.1016/S0186-1042(14)71253-7).
- [45] L. Rehberg and A. Brem, “Industrial prototyping in the German automotive industry: bridging the gap between physical and virtual prototypes,” *Journal of Engineering and Technology Management - JET-M*, vol. 71, Jan. 2024, doi: [10.1016/j.jengtecman.2024.101798](https://doi.org/10.1016/j.jengtecman.2024.101798).
- [46] S. Cecchel, R. Ferraresi, M. Magni, L. Guerini, and G. Cornacchia, “Evolution of prototyping in automotive engineering: a comprehensive study on the reliability of Additive Manufacturing for advanced powertrain components,” *Frattura ed Integrita Strutturale*, vol. 18, no. 68, pp. 109–126, Apr. 2024, doi: [10.3221/IGF-ESIS.68.07](https://doi.org/10.3221/IGF-ESIS.68.07).
- [47] B. Wang, Q. Wu, H. Wang, L. Hu, and B. Li, “3D Surface Reconstruction of Car Body Based on Any Single View,” *IEEE Access*, vol. 12, pp. 74903–74914, 2024, doi: [10.1109/ACCESS.2024.3404635](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3404635).
- [48] Y. Zhou, “Reverse modeling of Auto part reconstruction based on CATIA,” *Applied Mechanics and Materials*, vol. 159, pp. 253–256, 2012, doi: [10.4028/www.scientific.net/AMM.159.253](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.159.253).
- [49] A. Jorquera, *Fabricacion Digital: introduccion al modelado e impresion 3D*. Ministerio de Educacion y Formacion Profesional de Espana, 2017. [Online]. Available: <https://elibro.net/es/lc/utnorte/titulos/49441>



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



- [50] M. Karczewski, “Influence of 3D scanner parameters on accuracy evaluation of vehicle element deformation,” in *AIP Conference Proceedings*, American Institute of Physics Inc., Mar. 2019. doi: 10.1063/1.5092015.
- [51] A. Hattab and G. Taubin, “3D Modeling by Scanning Physical Modifications,” *Brazilian Symposium of Computer Graphic and Image Processing*, vol. 2015-October, pp. 25–32, Oct. 2015, doi: 10.1109/SIBGRAPI.2015.8.
- [52] Q. Gu, “Study on the Application of Computer Three-Dimensional Model’s Simulation Functions,” *Applied Mechanics and Materials*, vol. 443, pp. 27–30, Oct. 2014, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.443.27.
- [53] W. Liu, X. Zhao, and B. Xu, “Application of constructing three-dimensional model using laser scanning technology,” *Applied Mechanics and Materials*, vol. 94–96, pp. 86–89, 2011, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.94-96.86.
- [54] 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.
- [55] C. Morón, “METODOLOGÍA DE TRABAJO CONJUNTO DE ESCANEADO E IMPRESIÓN 3D,” Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2018.
- [56] S. Flores, “Propuesta metodológica para documentación y evaluación de elementos patrimoniales dentro del complejo histórico de la Alhambra (Granada) mediante modelización tridimensional,” Universidad de Almería , Almería , 2013.
- [57] A. Waqar, I. Othman, N. Saad, A. H. Qureshi, M. Azab, and A. M. Khan, “Complexities for adopting 3D laser scanners in the AEC industry: Structural equation modeling,”



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



Applications in Engineering Science, vol. 16, Dec. 2023, doi:
 10.1016/j.apples.2023.100160.

- [58] D. Parras, L. Romero, F. Cavas, J. Nieto, F. J. F. Cañavate, and D. G. Fernández-Pacheco, “UTILIZACIÓN DEL ESCANEADO 3D E INGENIERÍA INVERSA PARA EL PROTOTIPADO DE PIEZAS MECÁNICAS,” *Congreso Internacional de Dirección e Ingeniería de Proyectos*, pp. 731–743, 2016, Accessed: Jul. 04, 2024. [Online]. Available: <http://dSPACE.aepro.com/xmlui/handle/123456789/816>
- [59] J. Tepezila, “SCANNER 3D PARA LA FABRICACIÓN DE COMPONENTES MECÁNICOS MEDIANTE INGENIERÍA INVERSA,” Instituto Tecnológico Superior de Martínez de la Torre, 2022.
- [60] C. Garay, “Reconstrucción 3D de objetos,” Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona, 2022.
- [61] R. Mendický, “Using Contactless Scanners for Quality Inspection,” Liberec, 2017. doi: 10.1051/mateconf/20178901011.
- [62] P. Minetola, L. Luliano, and G. Argentieri, “Contactless inspection of castings: Analysis of alignment procedures,” *International Journal of Cast Metals Research*, vol. 25, no. 1, pp. 38–46, Apr. 2012, doi: 10.1179/1743133611Y.0000000013.
- [63] D. Del Castillo, D. Loza, B. Cortez, and V. Erazo, “Desarrollo de un escáner 3D de bajo costo implementado por el método de triangulación espacial,” *Congreso de Ciencia y Tecnología ESPE*, vol. 13, no. 1, Jun. 2018, doi: 10.24133/ctespe.v13i1.713.
- [64] L. Menéndez, M. Domínguez, and M. del M. Espinosa, “Escáneres ópticos 3D de mano en ingeniería inversa,” *Proyecta56, an Industrial Design Journal*, no. 1, pp. 8–19, Jun. 2021, doi: 10.25267/p56-idj.2021.i1.3.



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



- [65] 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, Nov. 2023, doi: 10.1016/j.asej.2023.102516.
- [66] Mathild. Berchon, M. Bertie. Berchon, and Rubén. . Martín Giráldez, “La impresión 3D: guía definitiva para makers, diseñadores, estudiantes, profesionales, artistas y manitas en general,” 2016.
- [67] 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 challenges,” *Compos B Eng*, vol. 143, pp. 172–196, Jun. 2018, doi: 10.1016/j.compositesb.2018.02.012.
- [68] P. Awasthi and S. S. Banerjee, “Fused deposition modeling of thermoplastic elastomeric materials: Challenges and opportunities,” *Addit Manuf*, vol. 46, Oct. 2021, doi: 10.1016/j.addma.2021.102177.
- [69] M. Bhuvanesh Kumar and P. Sathiya, “Methods and materials for additive manufacturing: A critical review on advancements and challenges,” *Thin-Walled Structures*, vol. 159, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.tws.2020.107228.
- [70] 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, Aug. 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.121567.
- [71] A. W. F. Coelho, A. C. Araujo, and R. M. da S. M. Thiré, “Additive manufacturing by stereolithography: Analysis of the part geometry and influence of manufacturing



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



position

- and orientation,” *Revista Materia*, vol. 23, no. 4, 2018, doi: 10.1590/s1517-707620180004.0600.
- [72] I. Valls, P.-D. Blay, P. Víctor, and G. Departamento, “IMPRESORA 3D DE RESINA POR ESTEREOLITOGRAFÍA.”
- [73] N. Antonio Alejandro Norambuena Quinteros and D. Elizabeth Astorga Bustamante, “UNIVERSIDAD DE CHILE FACULTAD DE ODONTOLOGÍA DEPARTAMENTO DE REHABILITACIÓN ORAL ESTUDIO COMPARATIVO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DE RESINAS IMPRIMIBLES A TRAVÉS DEL MÉTODO DE IMPRESIÓN TRIDIMENSIONAL ‘LIQUID CRYSTAL DISPLAY’ (LCD), SIGUIENDO ESPECIFICACIONES DE LA NORMA ISO 527-1 REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE CIRUJANODENTISTA TUTOR PRINCIPAL.”
- [74] “Difference Between Polyester, Acrylic, and Epoxy Resins » Juxtamorph » United Artworks.” Accessed: Apr. 11, 2025. [Online]. Available: <https://juxtamorph.com/difference-between-polyester-acrylic-and-epoxy-resins/>
- [75] J. Swinger, J. W. McBride, and C. Maul, “Degradation of Road Tested Automotive Connectors,” 2000.



ANEXOS

ANEXO 1. PROCESO DE DIGITALIZACIÓN CON EL SCANNER REVOPOINT

MIRACO PRO

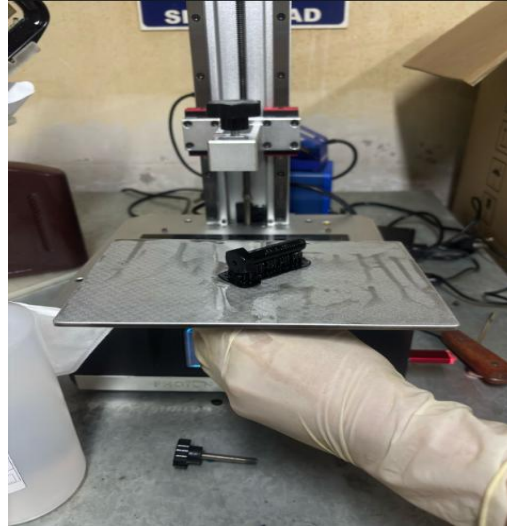


ANEXO 2. CONECTORES





ANEXO 3. PROCESO DE IMPRESIÓN 3D



ANEXO 4. PROCESO DE LIMPIEZA Y CURADO





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



ANEXO 6. CONECTOR FUNCIONAL

