



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**

**“DISEÑO Y FABRICACIÓN DE AUTOPARTES UTILIZANDO
INGENIERÍA INVERSA E IMPRESIÓN 3D”**



AUTORES:

CABRERA PROAÑO JOSEPH SANTIAGO
NARVÁEZ UBIDIA WALTER ATIC

DIRECTOR:

ING. MELO OBANDO JORGE LUIS MSC.

IBARRA-ECUADOR

2024



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

DIRECCIÓN DE BIBLIOTECA

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

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

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1004463616		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Narvaez Ubidia Walter Atic		
DIRECCIÓN:	Ibarra – Princesa Pacha 326		
EMAIL:	wanarvaezu@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:		TELÉFONO MÓVIL:	0988111447
DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	040168130-9		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Cabrera Proaño Joseph Santiago		
DIRECCIÓN:	Quito y 13 de abril, Ibarra		
EMAIL:	jscabrerap@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:		TELÉFONO MÓVIL:	0980432435
DATOS DE LA OBRA			
TÍTULO:	"DISEÑO Y FABRICACIÓN DE AUTOPARTES UTILIZANDO INGENIERÍA INVERSA E IMPRESIÓN 3D"		
AUTOR (ES):	NARVÁEZ UBIDIA WALTER ATIC CABRERA PROAÑO JOSEPH SANTIAGO		
FECHA: DD/MM/AAAA	02/12/2024		
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO			
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> GRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO		
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero Automotriz		
ASESOR /DIRECTOR:	ING. FAUSTO TAPIA MSC / ING. MELO OBANDO JORGE LUIS MSC		

2. CONSTANCIAS

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

Ibarra, a los 02 días del mes de Diciembre de 2024

EL AUTOR:

(Firma).....

Nombre: Narvaez Ubidia Walter Atic

.....

Cabrera Proaño Joseph Santiago

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, 2 de diciembre del 2024

Ing. Melo Obando Jorge Luis MSc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

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

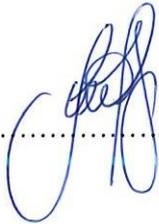
(f) 

Ing. Melo Obando Jorge Luis MSc.

C.C.: 1718346529

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificador del trabajo de Integración Curricular “DISEÑO Y FABRICACION DE AUTOPARTES UTILIZANDO INGENIERIA INVERSA E IMPRESIÓN 3D” elaborado por los estudiantes, Cabrera Proaño Joseph Santiago y, Narváez Ubidia Walter Atic 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. Melo Obando Jorge Luis MSc.

C.C.: 1718346529.....

(f):.....


Ing. Tapia Gudiño Fausto Eduardo MSc.

C.C.: 1000051351.....

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia, a mi hermanos y especialmente a mis queridos padres; José María Cabrera y Ana Guadalupe Proaño, en su santa gloria, cuyo amor incondicional y apoyo constante fueron y seguirán siendo mi fortaleza durante cada etapa de mi vida y educación.

JOSEPH CABRERA

En profundo agradecimiento a mis amados padres.

Este logro académico refleja sus continuos esfuerzos por brindarme una educación guiada en valores, perseverancia y ganas de salir adelante. Cada sacrificio que hicieron a lo largo de sus vidas, cada decisión que tomaron por mi bienestar son los cimientos de mi éxito.

Su dedicación y compromiso con mi educación es un regalo indescriptible para mí.

Este documento es un testimonio de su sacrificio y amor, y estoy orgulloso de honrarlos de esta manera.

Gracias por ser las estrellas que guían mi vida, iluminando el camino del conocimiento e inculcándome la importancia del trabajo y perseverancia son el más claro ejemplo de la persona en que me quiero convertir algún día.

ATIC NARVAEZ

AGRADECIMIENTO

Expreso mi más sincero agradecimiento a mi familia especialmente a mis hermanos, por su invaluable guía y apoyo durante la realización a lo largo del presente trabajo de investigación.

Mi enorme gratitud con la Universidad Técnica del Norte, así como a los distinguidos docentes de la carrera Ingeniería Automotriz en especial al Ing. Jorge Melo; director de presente trabajo de grado, por su invaluable guía, conocimiento y predisposición a culminar el presente proyecto. Y al Ing. Fausto Tapia; asesor, por su orientación y compartir sus conocimientos.

Agradezco a mi compañero, Ing. Maderson Chamorro, por su constante apoyo y motivación durante esta investigación.

JOSEPH CABRERA

Este proyecto no sería posible sin el apoyo y ayuda de muchas personas.

Un sincero agradecimiento al Ing. Jorge Melo quien es un gran mentor. Su sabiduría, conocimiento y compromiso con la excelencia inspiran y motivan profundamente mi trabajo. Estoy eternamente agradecido con mis padres, Nely Ubidia y Juri Narvaez. Su amor y sacrificio han sido la columna vertebral de mi vida.

Gracias por creer en mí y darme la libertad de seguir mi pasión.

A mis amigos, a quienes considero mi segunda familia, gracias por su apoyo emocional y todas las risas y momentos de relajación en momentos de estrés.

Por último, pero no menos importante está mi hermana Savitri Narváez quien siempre me ha apoyado en cada etapa de mi vida.

ATIC NARVAEZ

RESUMEN EJECUTIVO

La impresión 3D empleando resinas a lo largo de los últimos años ha estado ganando campo en el ámbito de la impresión aditiva debido a su alta calidad y precisión en los detalles y acabados. El presente trabajo investigado trata sobre la impresión 3D MSLA de autopartes con dos tipos de resinas, para ello se realizó un procedimiento por etapas que implica es escaneo, modelamiento, análisis FEM e impresión de la autoparte. Para el desarrollo de la metodología se empleó métodos experimentales y analíticos con la finalidad de diseñar y replicar auto repuestos con una impresora 3D de tecnología estereolitografía enmascarada MLSA, y así mostrar el potencial de esta tecnología en el campo automotriz. En base al proceso metodológico, en el tema de análisis se optó por emplear la simulación y análisis de los diseños propuestos por el método FEM, donde se logró constatar que el material con mejores propiedades mecánicas fue la resina ABS-LIKE soportando cargas máximas de 92 N. En la impresión, parámetros como el tiempo, peso y dimensiones se diferenciaron en un mínimo porcentaje de 1%, siendo el tiempo de impresión de 2:54horas como tiempo máximo y al respecto al peso se obtuvo una diferencia de +/- 1 gramo; con lo que respecta a las dimensiones se tuvo una diferencia del 3% de acuerdo a las medidas del modelaje de la autoparte. Así, determinando que el diseño propuesto D2M0 se destacó por soportar mayor carga en comparación con el diseño original de la pieza.

Palabras clave: Impresión 3D, resinas, análisis FEM, MSLA, CAD, diseños, probetas, ensayos, autoparte, ASTM D638.

ABSTRACT

3D printing using resins over the last years has been gaining ground in the field of additive printing due to its high quality and precision in details and finishes. The present research work deals with the MSLA 3D printing of auto parts with two types of resins, for which a step-by-step procedure involving scanning, modeling, FEM analysis and printing of the auto part was carried out. For the development of the methodology, experimental and analytical methods were used in order to design and replicate auto parts with a 3D printer of MSLA masked stereolithography technology, and thus show the potential of this technology in the automotive field. Based on the methodological process, in the analysis topic we chose to use the simulation and analysis of the designs proposed by the FEM method, where it was found that the material with the best mechanical properties was the ABS-LIKE resin, withstanding maximum loads of 92 N. In the printing process, parameters such as time, weight and dimensions differed in a minimum percentage of 1%, being the printing time of 2:54h as maximum time and with respect to the weight a difference of +/- 1 gram was obtained; with respect to the dimensions there was a difference of 3% according to the measurements of the modeling of the auto part. Thus, determining that the proposed design D2M0 stood out for supporting greater load compared to the original design of the part.

Keywords: 3D printing, resins, FEM analysis, MSLA, CAD, designs, specimens, testing, auto part, ASTM D638.

LISTA DE SIGLAS

MLSA. Estereolitografía De Máscara

SLA. Tecnología de Estereolitografía

SLS. Sinterización por Láser

FDM. Modelado por Deposición Fundida

LCD. Pantalla de Cristal Líquido

DLP. Proyección de Luz Digital

ASTM. Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales

FEM. Método de los Elementos Finitos

CAD. Diseño Asistido por Computadora

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN EJECUTIVO	7
ABSTRACT	8
INTRODUCCIÓN	20
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	21
OBJETIVOS	21
OBJETIVO GENERAL	21
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
ALCANCE	22
JUSTIFICACIÓN	22
ANTECEDENTES	22
CAPÍTULO I	24
1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	24
1.1. Manufactura	24
1.1.1 Manufactura en el área automotriz	24
1.1.2 Manufactura aditiva	24
1.2. Tipos de procesos de manufactura aditiva	24
1.2.1 Estereolitografía (SLA)	25
1.2.2 Sinterización por láser (SLS)	25
1.2.3 Deposición de material compuesto (FDM)	25
1.2.4 Modelado por deposición fundida (FDM)	25
1.3. Etapas de la manufactura en impresión 3D	25
1.4. Impresión 3D en resina	28

	11
1.5. Diferencias entre LCD, DLP y SLA.	28
1.5.1 (LCD) o pantalla de cristal líquido:	28
1.5.2 (DLP) o proyección de luz digital:	29
1.5.3 (SLA) estereolitografía:	29
1.6. Tipos de resina plástica para impresión 3D	29
1.6.1 Resina foto polimérica:	29
1.6.2 Resina termoplástica:	29
1.6.3 Resina de polipropileno	30
1.7. Aplicaciones de la resina en la impresión 3D	31
1.8. Ventajas y desventajas de la impresión 3D en resina	31
1.8.1 Precisión y detalle:	31
1.8.2 Resolución de capa:	31
1.8.3 Variedad de materiales:	31
1.8.4 Resistencia mecánica	31
1.8.5 Compuestos tóxicos	32
1.8.6 Curado de las piezas	32
1.9. Prototipado	32
1.10. Piezas en etapa final	32
1.11. Impresión 3D SLA y MSLA	33
1.11.1 Características de las tecnologías SLA y MSLA	33
1.11.2 Estereolitografía SLA	34
1.11.3 Beneficios e inconvenientes del uso de tecnología impresora 3D SLA/MSLA	35
1.12. Software de impresión 3D	35
1.12.1 Software de impresión 3d para principiantes y profesionales	36
1.12.2 Lychee slicer	36
1.12.3 Meshlab	36
1.12.4 Chitubox	36
CAPITULO II	37

	12
2. MATERIALES Y MÉTODOS	37
2.1. Metodología	37
2.1.1 Metodología documental	37
2.1.2 Metodología experimental	37
2.1.3 Metodología analítica	37
2.1.4 Enfoque investigativo	37
2.2. Materiales y equipos	39
2.2.1 Resina uv tough anycubic	39
2.2.2 Resina abs-like	40
2.2.3 Scáner einstar 3D	41
2.2.4 Software shining 3D	42
2.2.5 Software solidworks	42
2.2.6 Software ansys	42
2.2.7 Software lychee slicer	43
2.2.8 Anycubic photon mono X 6K	44
2.3. Elaboración e impresión de probetas	45
2.3.1 Diseño y configuración de probetas según norma astm de polímeros	46
2.3.2 Diseño cad de las probetas de tracción según norma ASTM D638	46
2.3.3 Impresión de las probetas	48
2.3.4 Ensayo de tracción en probetas según la norma ASTM D368.	50
2.4. Diseño cad de la manija	50
2.4.1 Escaneo 3D manija	51
2.4.2 Modelado 3D de la manija	52
2.4.3 Definición de parámetros de diseño y requerimientos de la autoparte	52
2.4.4 Metodología para análisis de la manija por elementos finitos	53
2.4.5 Propiedades de materiales	53
2.4.6 Diseños propuestos	54
2.4.7 Mallado	55
2.4.8 Condiciones para análisis estructural de la manija	55
2.5. Impresión	56

	13
2.6. Rentabilidad de la impresión 3D	58
CAPÍTULO III	59
3. RESULTADOS	59
3.1. Análisis de probetas	59
3.1.1 Control de calidad de las probetas con resina ABS-LIKE ELEGOO	59
3.1.2 Control de calidad del material con resina ANYCUBIC UV	62
3.1.3 Selección del material	65
3.2. Resultados del diseño CAD	66
3.2.1 Escaneo de la autoparte	66
3.2.2 Modelado original de la autoparte (D0)	67
3.2.3 Modelado del diseño propuesto de la autoparte (D1)	67
3.2.4 Modelado del diseño propuesto de la autoparte (D2)	68
3.3. Parámetros de simulación	69
3.3.1 Calidad del mallado	69
3.3.2 Condiciones de borde	72
3.4. Resultados del proceso de simulación	72
3.4.1 Propiedades físicas	72
3.4.2 Análisis estructural modelo original (D0) con material ABS original (M0)	73
3.4.3 Análisis estructural diseño 1 (D1) con material ABS original (M0)	74
3.4.4 Análisis estructural diseño 2 (D2) con material ABS original (M0)	75
3.4.5 Análisis estructural modelo original (D0) con material elegoo ABS like (M1)	77
3.4.6 Análisis estructural diseño 1 (D1) con material elegoo ABS like (M1)	78
3.4.7 Análisis estructural diseño 2 (D2) con material elegoo ABS like (M1)	80
3.5. Resumen de resultados de la simulación FEM	81
3.6. Impresión de manija con resina ELEGOO ABS LIKE	82
3.6.1 Renderización del diseño original (D0) en el software	82
3.6.2 Renderización del diseño propuesto (D1) en el software	84
3.6.3 Renderización del diseño propuesto (D2) en el software	86

	14
3.7. Impresión de manija con resina UV TOUGH ANYCUBIC	88
3.7.1 Renderización del diseño original (D0) en el software	88
3.7.2 Renderización del diseño propuesto (D1) en el software	90
3.7.3 Renderización del diseño propuesto (D2) en el software	92
3.8. Desperfectos de las piezas impresas	94
3.8.1 Mala calibración de la impresora	94
3.8.2 Rotura	95
3.9. Rentabilidad de la impresión 3D con resinas	95
3.9.1 Cálculo para determinar la rentabilidad del uso de impresión 3D con resinas	95
CAPÍTULO IV	97
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	97
4.1. Conclusiones	97
4.2. Recomendaciones	99
REFERENCIAS	100
ANEXOS	103

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURAS

NÚM.	PÁGINA
1.1 Modelado CAD en Solidworks educativo	26
1.2 Archivo STL	26
1.3 Impresión de modelo	27
1.4 Impresión 3D en resina	28
1.5 Tecnologías de impresión 3D.	28
1.6 Resina foto polimérica	29
1.7 Resina termoplástica.	30
1.8 Resina de polipropileno	30
1.9 Composición de una impresora 3D MSLA	33
2.1 Proceso Metodológico	38
2.2 Resina Uv Tough Anycubic	39
2.3 Resina ABS-LIKE	40
2.4 Escaner EINSTER	41
2.5 Interfaz del software SolidWorks educativo.	42
2.6 Interfaz Software ANSYS educativo	43
2.7 Interfaz del software Lychee Slicer.	44
2.8 Impresora: ANYCUBIC Photon Mono X 6K	44
2.9 Proceso para la impresión de probetas.	45
2.10 Diseño de probeta IV.	46
2.11 Diseño de probeta.	47
2.12 Espesor de la probeta bajo la norma ASTM 638 Tipo IV.	47
2.13 Probeta en el software Lychee Slicer.	48
2.14 Impresión de las probetas.	49
2.15 Impresión y control de calidad de probetas de Resina Elegoo ABS Like	49
2.16 Impresión y control de calidad de probetas de Resina Uv Tough Anycubic	50
2.17 Proceso del diseño de la manija.	51
2.18 Ubicación de marcadores para escaneo de manija	51
2.19 Importación de archivo escaneado en SolidWorks.	52
2.20 Daños en la manija	54

2.21 Propuesta de diseño 1 (D1) de la manija	54
2.22 Propuesta de diseño 2 (D2) de la manija	55
2.23 Espectro de métrica de calidad de malla	55
2.24 Ubicación de las restricciones.	56
2.25 Ubicación de la carga.	56
2.26 Interfaz del software de impresión	57
2.27 Preparación de la pieza a imprimir	57
2.28 Impresión de la pieza.	58
3.1 Curva de tensión-deformación de la resina 1 ABS LIKE 1	60
3.2 Curva de tensión-deformación de la probeta 2 con resina ABS LIKE	61
3.3 Curva de tensión-deformación de la probeta 3 con resina ABS LIKE	62
3.4 Curva de tensión-deformación de la probeta 1 con resina ANYCUBIC UV	63
3.5 Curva de tensión-deformación de la probeta 2 con resina ANYCUBIC UV	64
3.6 Curva de tensión-deformación de la probeta 3 con resina ANYCUBIC UV	65
3.7 Unión de partes para la obtención de la manija	66
3.8 Manija escaneada para exportar en STL	67
3.9 Modelado 3D de la manija original en base al escaneo 3D	67
3.10 Modelado 3D de la manija propuesta (D1) en base al escaneo 3D	68
3.11 Propuesta de diseño 2 (D2) de la manija	68
3.12 Mallado diseño original (D0)	69
3.13 Resultados de la calidad de malla del diseño original D0.	70
3.14 Mallado diseño 1 (D1)	70
3.15 Resultados de la calidad de malla del diseño D1.	71
3.16 Mallado diseño 2 (D2).	71
3.17 Resultados de la calidad de malla del diseño D2.	72
3.18 Condiciones de borde para simulación de manija	72
3.19 Esfuerzo de Von Mises D0-M0	73
3.20 Deformación D0-M0	73
3.21 Factor de seguridad D0-M0	74
3.22 Esfuerzo de Von Mises D1-M0	74
3.23 Deformación D1-M0	75
3.24 Factor de seguridad D1-M0	75
3.25 Esfuerzo de Von Mises D2-M0	76

3.26 Deformación D2-M0	76
3.27 Factor de seguridad D2-M0	77
3.28 Esfuerzo de Von Mises D0-M1	77
3.29 Deformación D0-M1	78
3.30 Factor de seguridad D0-M1	78
3.31 Esfuerzo de Von Mises D1-M1	79
3.32 Deformación D1-M1	79
3.33 Factor de seguridad D1-M1	80
3.34 Esfuerzo de Von Mises D2-M1	80
3.35 Deformación D2-M1	81
3.36 Factor de seguridad D2-M1	81
3.37 Renderización de la pieza D0 con resina ABS.	82
3.38 Tiempo, peso y volumen de la pieza D0 con resina ABS.	83
3.39 Curado de la pieza D0 con resina ABS.	83
3.40 Dimensionamiento del diseño D0.	84
3.41 Renderización de la pieza D1 con resina ABS.	84
3.42 Tiempo, peso y volumen de la pieza D1 con resina ABS.	85
3.43 Curado de la pieza D1 con resina ABS.	85
3.44 Dimensionamiento de la pieza D1.	86
3.45 Renderización de la pieza D2 con resina ABS.	86
3.46 Tiempo, peso y volumen de la pieza D2 con resina ABS.	87
3.47 Curado de la pieza D2 con resina ABS.	87
3.48. Dimensionamiento de pieza D2.	88
3.49 Renderización de la pieza D0	88
3.50 Tiempo, peso y volumen de la pieza D0 con resina AV Tough.	89
3.51 Curado de la pieza DO.	89
3.52 Dimensionamiento de la pieza D0.	90
3.53 Renderización de la pieza D1.	90
3.54 Tiempo, peso y volumen de la pieza D1 con resina AV Tough.	91
3.55 Curado de la pieza D1.	91
3.56 Dimensionamiento de la pieza D1.	92
3.57 Renderización de la pieza D2.	92
3.58 Tiempo, peso y volumen de la pieza D2 con resina AV Tough.	93

3.59 Curado de la pieza D2.	93
3.60 Dimensionamiento de la pieza D2.	94
3.61 Deformación de la pieza impresa.	94
3.62 Falla de rotura.	95

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA	PÁGINA
NÚM.	
1.1 Aplicaciones y características de estereolitografía SLA.	34
1.2 Ventajas y desventajas de la utilización de la impresión 3D SLA/MSLA	35
2.1 Resina Uv Tough Anycubic	39
2.2 Especificaciones de la resina	40
2.3 Especificaciones del scanner	41
2.4 Especificaciones técnicas de la impresora Anycubic Photon Mono X 6K	45
2.5 Medidas de la probeta.	46
2.6 Condiciones y parámetros de ensayo de tracción vs deformación bajo norma ASTMD638	50
2.7 Propiedades mecánicas de la resina ABS.	53
2.8 Propiedades mecánicas de la resina Elegoo ABS Like Photopolymer	53
3.1 Dimensionamiento de la probeta en el laboratorio.	59
3.2 Propiedades mecánicas probetas de resina tipo ABS Like Elegoo	60
3.3 Dimensionamiento en laboratorio con resina ANYCUBIC UV	62
3.4 Propiedades mecánicas probetas Resina Anycubic UV Tough	63
3.5 Promedio de límite de fluencia y resistencia a tracción.	65
3.6 Valores de la masa de la manija por modelo y material	72
3.7 Resumen de resultados de la simulación FEM de la manija	82

ÍNDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN	PÁGINA
NÚM.	
3.1 Tiempo de recuperación de la inversión	58

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO	PÁGINA
NÚM.	
1. Probetas impresas bajo norma ASTM D638.	103
2. Probetas impresas bajo norma ASTM D638.	103
3. Resultados de ensayo de tracción de las probetas ABS.	104
4. Diagrama de ensayo de tracción de las probetas ABS-1.	105
5. Diagrama de ensayo de tracción de las probetas ABS-2.	106
6. Diagrama de ensayo de tracción de las probetas ABS-3.	107
7. Resultados de ensayo de tracción de las probetas ANY.	108
8. Diagrama de ensayo de tracción de las probetas ANY-1.	109
9. Diagrama de ensayo de tracción de las probetas ANY-2.	110
10. Diagrama de ensayo de tracción de las probetas ANY-3.	111

INTRODUCCIÓN

Debido a la nueva implementación de nuevas tecnologías en el campo automotriz, se ha observado que la variedad de vehículos en las calles del Ecuador ha aumentado significativamente, muchos vehículos nuevos, seminuevos y antiguos. Con este crecimiento, se ha hecho más evidente la dificultad de obtener piezas de repuesto (principalmente de plástico, por ejemplo, tapones, respiraderos, etc.) que sólo pueden obtenerse comprando un paquete múltiple de piezas a un precio elevado o en ocasiones incluso imposibles de

conseguir porque no están disponibles en los mercados locales o incluso mercados internacionales.

Debido a esta necesidad se ha propuesto esta tesis, con el fin de diseñar y fabricar piezas 3D de resina MLSA de difícil accesibilidad, permitiendo que sea posible obtener repuestos que cumplan con las especificaciones y características necesarias para brindar una solución esta necesidad.

El marco teórico incluye los diversos procedimientos utilizados para el diseño 3D, diferentes tipos de componentes que se pueden utilizar, sistemas de impresión 3D, varios programas diseñados para convertir archivos de diseño 3D a lenguajes asociados a la impresora y diversos errores que se puede encontrar una impresora 3D.

La metodología, por otro lado, determina los dos tipos de resina y herramientas como el scanner con el proceso de diseño que podemos utilizar para la fabricación de autopartes.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el presente tiempo, el uso, implementación y expansión de las impresoras 3D para la producción de objetos 3D aplicados en cualquier ámbito tecnológico, productivo y laboral requiere que la fabricación sea rentable y amigable ya que de no serlo perdería el interés de los usuarios, debido a costos de producción, uso de los softwares de diseño y los mismos diseños que podría tener por complejidad al realizarlos. En Ecuador, la mayoría de los estudiantes no pueden acceder a sistemas de producción 3D ya que son excepcionales los casos en que las Universidades cuenten con estos equipos en sus laboratorios (Andrés Gualberto Sánchez Guerrero, 2015).

Debido a que en la actualidad existe una gran carencia de autorrepuestos específicos que no se encuentran en stock por piezas sino por todo un conjunto, se ha visto la necesidad de implementar una impresora 3D, que por medio de la aplicación de ingeniería inversa brindara solución y fácil acceso a repuestos no disponibles.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Diseño y Fabricación de Autopartes mediante Ingeniería Inversa e Impresión 3D.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obtener el modelado de una pieza utilizando Ingeniería Inversa CAD.
- Diseñar autopartes utilizando software de modelado CAD.
- Determinar el material que será utilizado en la impresión de las autopartes.
- Fabricar Autopartes utilizando Impresión 3D.

ALCANCE

Mediante el proceso de Ingeniería inversa e impresión 3D se replicará autopartes con la ayuda de un software de modelado CAD, estas replicas se imprimirán con un tipo de material polímero, el cual será seleccionado dependiendo de la función de la réplica. Estas autopartes podrían ser utilizadas como una pieza sustituible a la original con sus limitadas mediciones de impresión y material.

JUSTIFICACIÓN

En el Ecuador la implementación de equipos de impresión 3D de polímeros es un campo totalmente nuevo y novedoso debido a que este tipo de tecnología aún se encuentra en desarrollo, gracias a esto se ha podido verificar los resultados que ofrece tanto en calidad y eficiencia.

Actualmente los laboratorios de Ingeniería Automotriz no cuentan con una herramienta de impresión 3D. La implementación de este equipo junto a una capacitación tanto para docentes como para estudiantes brindará crear oportunidad laboral.

Mediante el estudio y desarrollo de esta tecnología permitirá generar prototipos simples y complejos de forma fácil y económica. Las cuales en un futuro podrían proyectarse para su comercialización.

ANTECEDENTES

Conocida por el acrónimo SLA, la estereolitografía fue la primera tecnología de impresión 3D inventada en 1986 por Chuck Hull de los Estados Unidos, el fundador del sistema 3D gigante. Este proceso se basa en la fotopolimerización de polímeros sensibles a los rayos UV por láser, DLP, MSLA, VLM (por BCN3D), Moving Light (por Prodways) y más recientemente CLIP (por carbón). Hasta hace unos años, las impresoras que usaban estas

tecnologías estaban destinadas solo a entornos más especializados, pero el tremendo crecimiento de la industria ha popularizado esta tecnología sin comprometer la calidad de impresión (Metro, 2022a).

Las impresoras 3D están dando grandes pasos en cuanto a eficiencia, creando objetos de una manera más detallada y sencilla. Hay algunas habilidades que debe tener en cuenta para utilizar una impresora 3D: diseño, impresión y acabado. Existen diferentes tipos de impresoras, dependiendo de las necesidades que encuentren en diferentes áreas, tales como: Vehículos guiados automatizados, maquinaria industrial, componentes electrónicos, vehículos, industria médica, otros (IMPRESORAS 3D, 2018).

En la industria automotriz, las impresoras de modelado laminado pueden producir niveles muy detallados y complejos con materiales únicos y diseños específicos que son muy difíciles de imitar con los métodos tradicionales. La mayor ventaja de acoger este tipo de tecnología en la industria automotriz es que los clientes ya no tienen que pedir piezas en línea que solo se venden en otros países del mundo. Además, los gastos de envío se reducen considerablemente porque no hay necesidad.

CAPÍTULO I

1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. MANUFACTURA

La manufactura es una etapa de la producción de algún producto o bien, por lo general consiste en transformar diferentes materias primas en productos con cierta necesidad y utilidad. A continuación, se presenta el concepto de manufactura y sus derivaciones en el campo automotriz.

1.1.1 MANUFACTURA EN EL ÁREA AUTOMOTRIZ

La fabricación aditiva ha revolucionado la industria automotriz al acortar los tiempos de respuesta, permitiendo flexibilidad, personalización y ahorro de costos. Además, permite la producción en masa de piezas ligeras y complejas y promueve La creación de automóviles que sean tanto más eficaces en su consumo de energía como más amigables con el entorno (López, 2023a).

1.1.2 MANUFACTURA ADITIVA

La impresión 3D ha transformado múltiples sectores, y el ámbito automotriz no se ha quedado atrás en esta revolución tecnológica, la capacidad de fabricar componentes complejos en cuestión de horas ha transformado radicalmente la dinámica operativa de la industria automotriz y ha brindado muchos beneficios que han acelerado la adopción de esta tecnología en la industria (López, 2023a).

1.2. TIPOS DE PROCESOS DE MANUFACTURA ADITIVA

En la actualidad hay varios tipos de técnicas de fabricación aditiva, cada una de las cuales utiliza diferentes métodos y procesos para crear objetos tridimensionales. Algunos de los tipos más comunes de tecnología de impresión 3D están mencionados en la siguiente lista. Cabe mencionar que estos son solo algunos ejemplos de tecnologías de fabricación aditiva disponibles en la actualidad, y cada una de ellas tiene sus propias ventajas, limitaciones y aplicación específica, lo que otorga a la impresión 3D un amplio abanico de posibilidades (Metro, 2022b).

1.2.1 ESTEREOLITOGRAFÍA (SLA)

Usa un láser ultravioleta el cual solidifica la resina líquida capa por capa para así endurecer selectivamente las áreas expuestas para crear objetos tridimensionales.

1.2.2 SINTERIZACIÓN POR LÁSER (SLS)

Se utilizan láseres de alta potencia para fundir partículas de polvo hechas de plásticos y metales. Cualquier átomo que no se disuelva en el proceso actúa como soporte temporal para la pieza impresa (Metro, 2022b).

1.2.3 DEPOSICIÓN DE MATERIAL COMPUESTO (FDM)

Se alimenta un filamento de plástico o metal a través de una boquilla calentada y el material se deposita capa por capa. esta tecnología se destaca como una de las más empleadas y disponibles dentro del campo de la impresión 3D (Metro, 2022b).

1.2.4 MODELADO POR DEPOSICIÓN FUNDIDA (FDM)

Es similar a la tecnología FDM, esta tecnología utiliza filamentos de plástico o metal que se fusionan y se vierten capa por capa. La diferencia radica en cómo se va controlando y en cómo se controla el material fundido (Metro, 2022b).

1.3. ETAPAS DE LA MANUFACTURA EN IMPRESIÓN 3D

La manufactura aditiva se desarrolla en algunas etapas:

Etapa 1: Modelado CAD.

Las piezas por desarrollar deben comenzar con un modelado en software el cual caracterice completamente las dimensiones de la pieza. Para este proceso se puede utilizar la gran mayoría de programas profesionales de modelado de sólidos CAD como el SOLIDWORKS cuya interfaz se muestra en la figura 1.1, no obstante, el resultado del diseñador debe ser una imagen sólida o de superficie en 3D y de ser necesario utilizar ingeniería inversa para poder tener el resultado deseado.

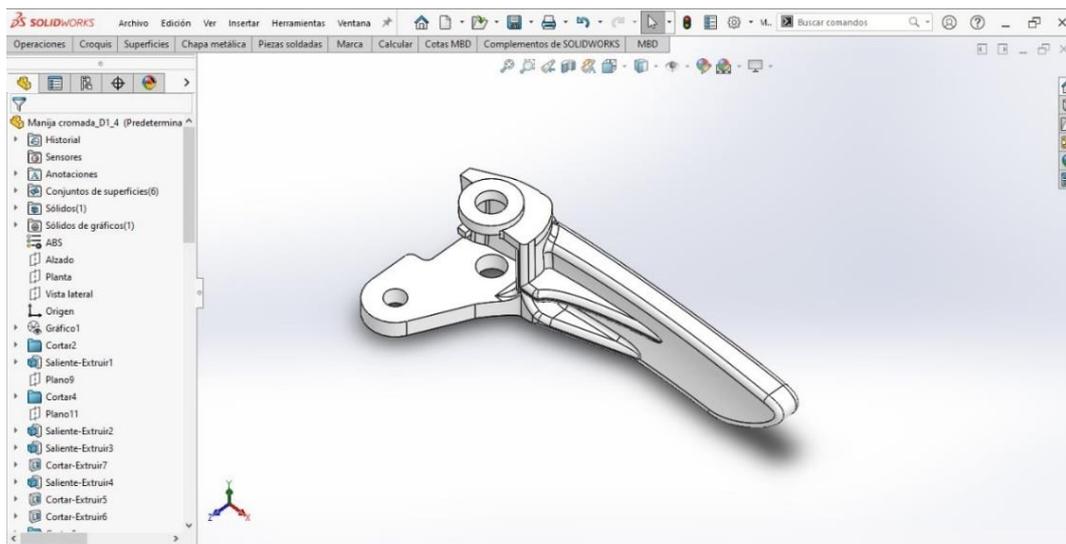


Figura 1.1 Modelado CAD en SolidWorks educativo

Etapa 2: Convertir el archivo a un formato STL.

El formato de archivo STL es el formato de transferencia mayormente ocupado debido a su alta compatibilidad con los programas de modelado CAD como se indica en la figura 1.2, lo que hace tan efectivo a este formato de archivo es que describe con mayor exactitud las superficies de los modelos CAD.

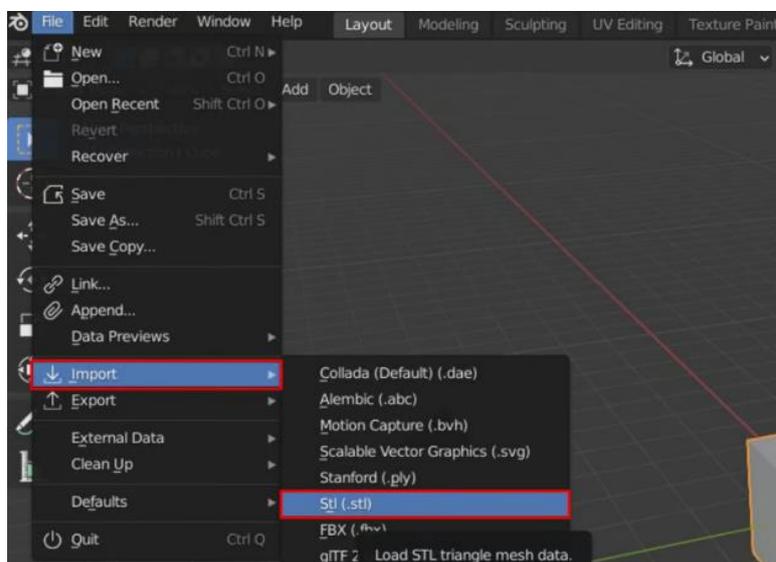


FIGURA 1.2 ARCHIVO STL
(Geekflare, 2024).

Etapa 3: Transferencia y Procesamiento del archivo STL.

El archivo STL debe transferirse a la máquina, pero antes de eso se debe tener en cuenta el tamaño, posición y orientación de la pieza, estas son algunas recomendaciones las cuales servirán para tener un adecuado resultado.

Etapa 4. Configuración de la máquina.

Las configuraciones que deben efectuarse son idóneas para que la pieza cumpla las características que el diseñador necesita en la pieza, estas configuraciones definen parámetros de fabricación entre los cuales destacan la restricción de material, espesor de la capa, energía a utilizarse, velocidad y tiempo, los cuales en combinación brindaran una pieza con mejor acabado gran solides y flexibilidad.

Etapa 5: Reconstrucción e impresión.

En esta etapa con ayuda del software se detecta errores que tiene el diseño de la pieza los cuales se corrigen automáticamente y a su vez incluye estructuras para mejorar el detalle y acabado final, en la figura 1.3 se puede observar cómo se imprime un modelo en resina.

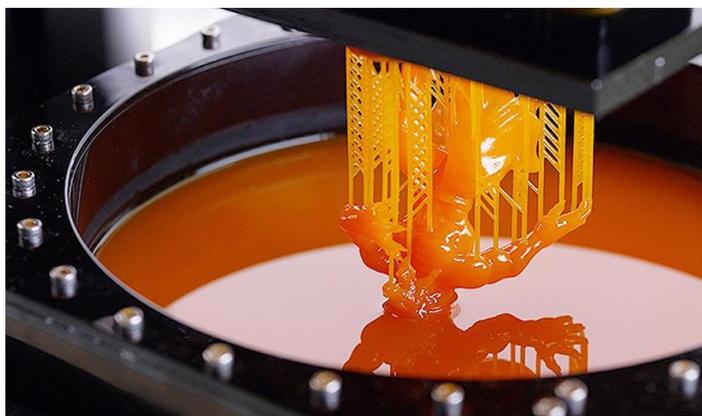


FIGURA 1.3 IMPRESIÓN DE MODELO
(AIROBOT, 2024).

Etapa 6: Post tratamiento.

En este punto al momento de la terminación de impresión, las piezas suelen necesitar una limpieza adicional antes de ser usadas, algo que se debe tener en cuenta es que al ser fabricadas con un material liquido suelen quedar un poco débiles debido a la falta de endurecimiento, pero para solucionar esto se debe hacer un buen curado de la pieza.

Etapa 7: Ensamble final.

Una vez terminado el post tratamiento las piezas están listas para ser ensambladas en el caso de requerirlo, sin embargo, si el diseñador requiere de agregar mayor detalle a las piezas como pintura es recomendable hacerlo antes de ensamblarlas, algo que se debe tomar en cuenta es que en algunas situaciones existen piezas que requieren mantenimiento ya que suelen ser sometidas a movimientos mecánicos.

1.4. IMPRESIÓN 3D EN RESINA

La impresión 3D con resina se refiere a una técnica de producción aditiva que emplea resina líquida reemplazando los filamentos de plástico. Es decir, una impresora 3D especial como la indicada en la figura 1.4 que se encarga del proceso de curar la resina capa a capa, exponiéndola a luz UV para obtener un objeto tridimensional. Este tipo de impresión tiende a destacarse debido a su excelente detalle y precisión lo cual la hace una perfecta opción para la creación de piezas con alto grado de detalle, personalización, rapidez en la fabricación y alta durabilidad.



Figura 1.4 Impresión 3D en resina
(3DNATIVES, 2023)

1.5. DIFERENCIAS ENTRE LCD, DLP Y SLA.

Estos términos tratan sobre las diferentes tecnologías existentes en la impresión 3d con resinas. En la figura 1.5 se puede observar el significado de cada una de las siglas.

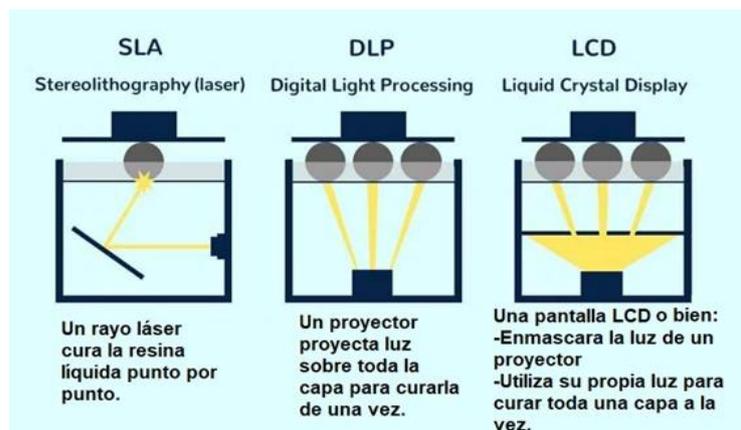


Figura 1.5 Tecnologías de impresión 3D.
(SOLECTRO, 2021)

1.5.1 (LCD) O PANTALLA DE CRISTAL LÍQUIDO:

Se trata de un panel de cristal líquido que concentra la radiación ultravioleta mediante una máscara, lo que ocasiona la solidificación de la resina con una precisión y rapidez extraordinarias.

1.5.2 (DLP) O PROYECCIÓN DE LUZ DIGITAL:

Es un tipo de tecnología la cual un proyector genera la imagen digital de una capa completa de la pieza en la resina, haciendo que esta se solidifique lo cual brinda a este tipo de impresión gran velocidad en comparación con la tecnología SLA debido a que cura capas enteras a la vez (CABALLERO 3D, 2023).

1.5.3 (SLA) ESTEREOLITOGRAFÍA:

Es una tecnología que utiliza un láser ultravioleta el cual endurece la resina capa a capa, una importante limitación de este método de impresión radica en que la velocidad es considerablemente reducida en comparación con las tecnologías anteriormente mencionadas (CABALLERO 3D, 2023).

1.6. TIPOS DE RESINA PLÁSTICA PARA IMPRESIÓN 3D:

Los tipos de resina utilizadas en la impresión 3D tienen diferentes propiedades y composiciones físicas lo cual brinda un amplio catálogo en la creación de prototipos con diferentes características.

1.6.1 RESINA FOTO POLIMÉRICA:

Presenta diversas posibilidades de aplicación, abarcando la impresión 3D. Una de las propiedades de estas resinas es que son líquidas y se endurecen al exponerlas a la luz ultravioleta (UV); un ejemplo de resina es la indicada en la figura 1.6, por lo que se utilizan en impresoras 3D que funcionan mediante luz digital (DLP) o estereolitografía (SLA) (IMAGIA, 2020).



Figura 1.6 Resina foto polimérica (LDLC, 2024).

1.6.2 RESINA TERMOPLÁSTICA:

A diferencia de las resinas fotopolimerizables, las resinas termoplásticas se imprimen en 3D mediante extrusión o deposición fundida; un ejemplo de resina es la indicada en la figura

1.7, conocida como FDM. En otras palabras, esta resina se calienta a través de una impresora especial, se funde y forma objetos 3D capa por capa (QUIMISOR, 2023).



Figura 1.7 Resina termoplástica.
(JAYO, 2024)

1.6.3 RESINA DE POLIPROPILENO

El polipropileno destaca como una resina plástica con un impacto ambiental reducido, ya que es completamente reciclable, lo que lo hace altamente favorable para la sostenibilidad medioambiental, un ejemplo de marca resina de polipropileno se indica en la figura 1.8.



Figura 1.8 Resina de polipropileno
(CABALLERO3D, 2023)

El polipropileno se define como un hidrocarburo compuesto que pertenece al grupo de las poliolefinas, obtenido a través de la polimerización del propileno. Su estructura molecular se compone de un grupo metilo (CH₃) enlazado a un grupo vinilo (CH₂). Además, el polipropileno puede ser copolimerizado con etileno para generar copolímeros aleatorios, que ofrecen mayor transparencia y brillo, así como copolímeros de impacto, que brindan resistencia al impacto y a bajas temperaturas. Destaca por su alta resistencia al calor, aunque presenta una flexibilidad limitada (Quimisor, 2023a).

1.7. APLICACIONES DE LA RESINA EN LA IMPRESIÓN 3D

Además de cada tipo de resina (resina dental, resina de colado, resina flexible, resina resistente a altas temperaturas, etc.), algunas resinas específicas también tienen otro tipo aplicación. Algo importante a recalcar es que las resinas dentales tienen altas propiedades mecánicas y un acabado superficial de alta calidad lo cual las hacen ideales para imprimir piezas funcionales finales (Quimisor, 2023b).

1.8. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA IMPRESIÓN 3D EN RESINA

Este tipo de tecnología ofrece al usuario un gran número de ventajas como, por ejemplo:

1.8.1 PRECISIÓN Y DETALLE:

La tecnología de impresión 3D utilizando resina ofrece un nivel de detalle que se asemeja casi a la realidad, gracias a sus acabados extremadamente precisos.

1.8.2 RESOLUCIÓN DE CAPA:

la resina posibilita la creación de capas extremadamente delgadas durante el proceso de impresión.

1.8.3 VARIEDAD DE MATERIALES:

Al ser una tecnología muy utilizada tiene una amplia gama de materiales los cuales pueden ser usados para distintas aplicaciones específicas brindando al usuario otros métodos de fabricación (VISI, 2023a).

1.8.4 RESISTENCIA MECÁNICA

Algunas resinas están diseñadas para proporcionar una buena resistencia mecánica y alta flexibilidad haciéndolas idóneas en la creación de prototipos. En esta tecnología no todo puede ser bueno por lo que existe una serie de desventajas las cuales el usuario debe tener en cuenta al momento de trabajar con este tipo de material (VISI, 2023a).

1.8.5 COMPUESTOS TÓXICOS

Existen resinas las cuales tiene componentes tóxicos para la salud humana, debido a esto siempre se recomienda que al momento de manipular este tipo de materiales se lo haga con las protecciones adecuadas como es el uso de mascarilla, uso de guantes y estar en un lugar ventilado.

1.8.6 CURADO DE LAS PIEZAS

Para algunas personas puede ser un poco tedioso tener que realizar un curado a las piezas debido a que es un procedimiento que si o si se debe realizar ya que al momento de terminar la impresión las piezas suelen estar en un estado blando y con resina líquida sobrante.

1.9. PROTOTIPADO

El prototipado hace parte de la ingeniería de los productos el cual consiste en procesos de diseño y la creación de objetos optimizados y probados.

Los ingenieros desarrollan un modelo conceptual inicial. Luego construyen la pieza para luego ser sometida a una serie de pruebas para luego ser analizada viendo las ventajas y desventajas del diseño y a su vez sus posibles mejoras. Estos pasos se tienden a repetir hasta que se logra un diseño final verificado el cual cumpla con los requisitos de ingeniería y del cliente (MARKFORGED, 2024).

El prototipado tiene una amplia variedad de aplicaciones que abarcan áreas como la aeroespacial, automotriz, educativa, petrolera, médica, entre otros; su utilidad se extiende a diversos campos, mostrando una lista interminable de posibilidades (3D EXPERIENCE, 2024).

1.10. PIEZAS EN ETAPA FINAL

Las piezas impresas en 3D de grado industrial en la actualidad mantienen un muy régimen de calidad, tanto es así que las industrias pueden utilizarlas sin ninguna preocupación.

Sin embargo, a pesar de manejar altos estándares de calidad existen aún una serie de obstáculos que se debe superar antes de que la impresión 3D se adapte al consumo público ya que estos prototipos deben pasar por una serie de certificaciones que avalen garantía a los usuarios y tengan gran acogida en la comunidad, especialmente a industrias altamente reguladas como la aeroespacial (3D EXPERIENCE, 2024).

1.11. IMPRESIÓN 3D SLA Y MSLA

Existen diferentes métodos de producción para la impresión 3D de resina. Dependiendo de la fuente de luz o del proceso de curado del fotopolímero podemos encontrar tecnologías como SLA, DLP o MSLA. Pero hoy queremos centrarnos en dos enfoques específicos: SLA y MSLA. Por un lado, la tecnología de estereolitografía (SLA) utiliza láseres para solidificar capa a capa. Cuando se termina una capa, la losa se baja nuevamente para dar paso a la siguiente capa. Este procedimiento se realiza de forma iterativa hasta obtener la pieza final. Por otro lado, el llamado equipo de estereolitografía de máscara (MSLA) es una forma modificada de impresión 3D SLA. Aunque el principio de fotopolimerización de la resina utilizando una fuente de luz es el mismo, el método es ligeramente diferente. Específicamente, en lugar de utilizar un láser para trazar la capa, las impresoras MSLA como la indicada en la figura 1.9 usan una fuente de luz UV más grande que luego queda enmascarada por la pantalla LCD (3D SYSTEMS, 2024).

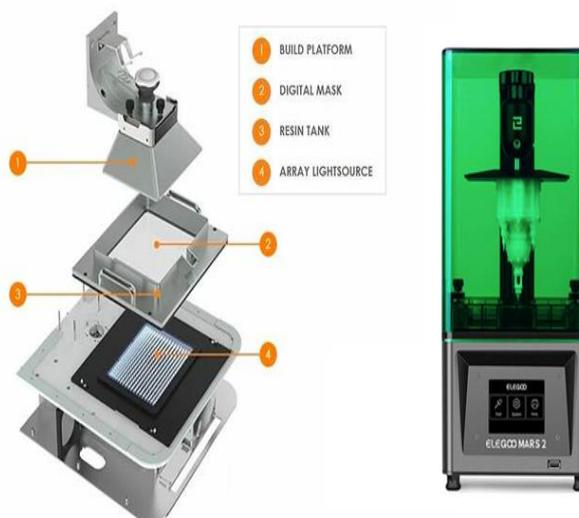


Figura 1.9 Composición de una impresora 3D MSLA (3D SYSTEMS, 2024).

1.11.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS TECNOLOGÍAS SLA Y MSLA

La principal diferencia entre la impresión 3D SLA y MSLA es el curado de la resina y la fuente de luz que utilizan. Por tanto, la composición y los componentes de una impresora 3D variarán de una máquina a otra. Como cada capa tiene una exposición diferente a los rayos UV, la velocidad de impresión y el tiempo de producción también varían. Por otro lado, las impresoras 3D SLA tradicionales dependen únicamente del número de capas y de la cantidad de material que se va a curar con láser por capa, la tecnología MSLA se basa

únicamente en el número de capas que se van a imprimir. Esta diferencia de rendimiento significa que las impresoras MSLA tienen una ventaja de velocidad en cada capa, especialmente cuando se imprimen varios objetos a la vez.

Por otro lado, aunque la altura de las capas en el proceso MSLA es la misma que en SLA, la resolución horizontal es diferente para cada proceso. En las máquinas SLA, la calidad de resolución está vinculada al tamaño del haz láser, a diferencia de lo que ocurre en otros contextos las MSLA, la resolución depende de la resolución de la pantalla LCD. Sin embargo, la tecnología SLA también tiene ciertas ventajas. Dado que el láser está alineado a través del espejo, no hay pasos en el eje X/Y. Por tanto, usar una pantalla basada en píxeles significa que la solución MSLA realmente puede ingresar al eje X/Y, aunque la gravedad del efecto depende de la densidad de píxeles de la pantalla.

Después de este pequeño análisis, podemos comprender qué la tecnología de impresión 3D de resina es la más adecuada para prototipos que requieren gran detallado. Aunque las soluciones MSLA aún no están tan extendidas como SLA, han demostrado ser una mejora casi imperceptible con respecto a la estereolitografía tradicional. Reducir el tiempo de producción es una gran ventaja sobre cualquier otro método de impresión 3D. Además, a medida que los precios siguen bajando con el tiempo, las impresoras SLA estándar pueden empezar a perder popularidad (3D SYSTEMS, 2024).

1.11.2 ESTEREOLITOGRAFÍA SLA

Se basa en el endurecimiento de resina fotosensible líquida, esto se hace mediante un rayo ultravioleta (láser) o luz UV. Una vez que se completada la fase de fabricación se pasa a un proceso de procesamiento, este proceso implica sumergirlo en un solvente químico para eliminar el exceso de material, seguido por un curado en un horno de luz ultravioleta (3D SYSTEMS, 2024). En la tabla 1.1, se pueden observar las aplicaciones y características de la estereolitografía SLA.

Tabla 1.1 Aplicaciones y características de estereolitografía SLA.

APLICACIONES	CARACTERÍSTICAS
Modelos de fundición.	Requiere personal cualificado.
Prototipos con alto detalle	Algunos materiales pueden ser tóxicos.

Tabla 1.1 Aplicaciones y características de estereolitografía SLA (**Continuación...**)

Patrones	Tiempo necesario para el post-curado y procesos de acabado, aunque pueden ser mecanizados.
Moldes de inyección, soplado.	Alta capacidad para reproducir detalles con precisión.
	Adecuado para piezas de dimensiones superiores a 0,5 metros cúbicos.

1.11.3 BENEFICIOS E INCONVENIENTES DEL USO DE TECNOLOGÍA IMPRESORA 3D SLA/MSLA

Los beneficios e inconvenientes de la utilización de impresoras 3D del tipo SLA/MSLA se pueden observar en la tabla 1.2.

Tabla 1.2 Ventajas y desventajas de la utilización de la impresión 3D SLA/MSLA

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Utilización en la reparación de componentes de gran valor.	Costo elevado de material
Empleo en la fabricación de piezas que no pueden ser producidas de otra forma.	Elevado tiempo de impresión y post curado
Disponibilidad de materiales duraderos y robusto.	Alta toxicidad de material.

1.12. SOFTWARE DE IMPRESIÓN 3D

Existen muchos programas que pueden ayudar con el proceso de impresión 3D, desde diseñar piezas hasta cortar con código G, e incluso controlar la impresora 3D durante el proceso de fabricación.

Sin embargo, a pesar de los orígenes gratuitos y de código abierto de la fabricación aditiva, no todos los programas son gratuitos. El software de simulación posibilita la predicción numérica de los resultados de la impresión tridimensional. Pueden detectar cualquier error de impresión en cuestión de minutos, ahorrando a los usuarios un tiempo valioso y reduciendo así el costo del desperdicio de material (ALL 3DP, 2024).

1.12.1 SOFTWARE DE IMPRESIÓN 3D PARA PRINCIPIANTES Y PROFESIONALES

Los softwares mencionados a continuación son programas de licencia libre los cuales están diseñados para ser utilizados tanto para principiantes como para profesionales.

1.12.2 LYCHEE SLICER

Es una opción atractiva para las necesidades de corte de impresiones en resina. Además, ofrece una de las opciones más prácticas, fáciles de seguir y con muchas funciones para la impresión de resina de escritorio.

La orientación automática del modelo permite comenzar con la preparación de la impresión, pero podemos omitir todos estos pasos y simplemente presionar el botón mágico y dejar que Lychee Slicer haga el resto.

Además de permitir manipular, pelar o cortar el modelo, también tiene una función de visualización de impresión detallada que puede habilitar y mostrar las proporciones del diseño a escala (ALL 3DP, 2024).

1.12.3 MESHLAB

MeshLab es un editor avanzado de archivos STL que se trata de un software de código abierto que ofrece herramientas para manipular y modificar estructuras tridimensionales. Esta aplicación gratuita capacita a los usuarios para editar, corregir, inspeccionar, renderizar y transformar mallas, así como para combinar modelos en objetos sólidos y reparar imperfecciones en modelos 3D (González, 2022).

1.12.4 CHITUBOX

Este software está diseñado para fragmentar modelos tridimensionales con el propósito de prepararlos para su impresión utilizando una impresora 3D de resina. El programa es gratuito y, por tanto, de fácil acceso para todos los usuarios. Este programa está diseñado para usarse con impresoras 3D que utilizan tecnología SLA o estereolitografía (González, 2022).

CAPITULO II

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. METODOLOGÍA

Para realizar adecuadamente este trabajo se utilizaron tres métodos de investigación que se describen a continuación.

2.1.1 METODOLOGÍA DOCUMENTAL

Es necesario aplicar esta metodología ya que en este trabajo se genera información práctica y confiable sobre las diversas tecnologías de impresión existentes, y dado que el enfoque principal está en la producción de repuestos utilizando tecnología MSLA, es necesario comprender sus funciones.

2.1.2 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Se utilizaron diversos experimentos y así poder obtener resultados válidos, la reproducción de autopartes con los más altos requisitos nos brindara la oportunidad de demostrar la alta calidad que maneja la impresora y a su vez se podrán comparar los resultados con la información previamente registrada lo cual nos ayudara a analizar estas pruebas de manera sencilla.

2.1.3 METODOLOGÍA ANALÍTICA

Se aplico el método de análisis para llevar a cabo las pruebas experimentales proporcionan resultados fiables, ya que el método permite examinar todos los aspectos y obtener conclusiones cualitativas y seguras.

2.1.4 ENFOQUE INVESTIGATIVO

El presente trabajo es realizado con la finalidad de diseñar y replicar auto repuestos con una impresora 3D de tecnología estereolitografía enmascarada MLSA usando como material dos tipos de resina, a su vez mostrar las diferentes partes fijas y móviles que conforman esta impresora con el fin de mostrar que es una herramienta practica y útil la cual puede ser usada en los laboratorios por los estudiantes en las distintas materias a fines a la misma y así mostrar el potencial de esta tecnología en el campo automotriz. En la figura 2.1 se observa el proceso metodológico empleado para elaborar y desarrollar el trabajo de

investigación.

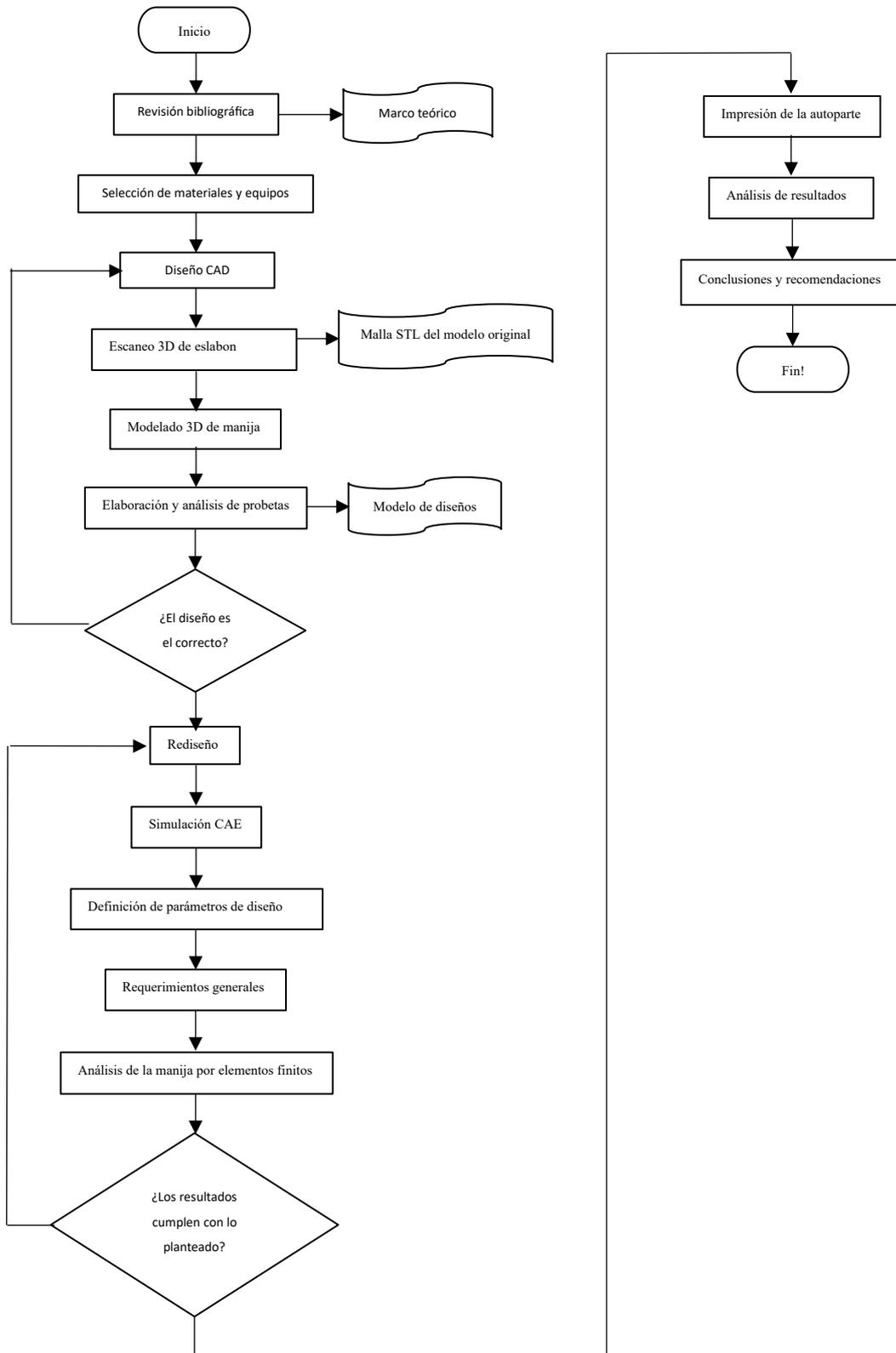


Figura 2.1 Proceso Metodológico

2.2. MATERIALES Y EQUIPOS

Los materiales y equipos empleados para el desarrollo de este trabajo de investigación se presentan junto con sus especificaciones y propiedades técnicas.

2.2.1 RESINA UV TOUGH ANYCUBIC

Para obtener piezas impresas, las características de la resina son cruciales y determinarán todas sus cualidades. Por lo tanto, dependiendo del propósito para el que se destine la pieza, es necesario elegir la resina apropiada. Para la reproducción de piezas, se empleará la resina fabricada por la marca Anycubic como se aprecia en la Figura 2.2.



Figura 2.2 Resina Uv Tough Anycubic
(ANYCUBIC, 2024b)

Los modelos impresos con la resina Anycubic se caracterizan por soportar cualquier prueba de choque y muestran una alta resistencia al impacto. Además, puede soportar la flexión, el doblado y la compresión. El módulo de prueba y la resina no curada tienen un tamaño de 10 mm*4 mm*80 mm, demostrando que no es fácil que la pieza se rompa al doblarse. En la tabla 2.1 se pueden observar las especificaciones.

Tabla 2.1 Resina Uv Tough Anycubic

ESPECIFICACIONES DE LA RESINA UV TOUGH ANYCUBIC			
Longitud de onda UV	365-405nm	Elongación en rotura	30-50%
Densidad	1.10-1.15g/cm ³	Módulo de elasticidad en tracción	800-1200MPa
Viscosidad	150-250MPa·s (25°C)	Resistencia a la flexión	35-45MPa
Módulo de elasticidad en flexión	>900-1200 MPa	Dureza	76 Shore D
Temperatura de deflexión térmica	>60-65°C	Resistencia a la tracción	50-60 MPa
Resistencia al impacto Izod	>50-60J/m	Temperatura de deflexión bajo carga	60°C (0.45MPa)
Lavado de resina	Alcohol	Período de conservación	1.5 años

Fuente: (ANYCUBIC, 2024b).

2.2.2 RESINA ABS-LIKE

Esta resina se caracteriza por su alta tenacidad y resistencia al impacto, se caracteriza por su gran fluidez y baja viscosidad, se adapta muy bien a diversas técnicas de limpieza, como ultrasonidos, lavadora y agua, y puede limpiarse fácilmente en diversas situaciones, se encuentra en presentaciones como se indica en la figura 2.3. Además, es una resina que al momento de la impresión tiene una menor contracción, lo que reduce el riesgo de distorsión y deformación de la pieza, lo que da como resultado una alta precisión de modelo.



Figura 2.3 Resina ABS-LIKE (ANYCUBIC, 20241).

En la tabla 2.2 se muestran las especificaciones de este tipo de resina. Como se mencionó anteriormente esta resina se caracteriza por su dureza y resistencia, que como se puede observar en la tabla 2.2 corresponde a la dureza de 80-85D y la resistencia a la flexión de 40 a 50 MPa, por lo que en comparación con la resina Anycubic la resina ABS soporta mayor flexión.

Tabla 2.2 Especificaciones de la resina

ESPECIFICACIONES DE LA RESINA ABS-LIKE			
Longitud de onda UV	365-405 nm	Elongación en rotura	30-40%
Densidad	1.1-1.2 g/cm ³	Contracción de moldeo	4.3-5.6%
Viscosidad	180-200 cP·mPa·s	Resistencia a la flexión	40-50 MPa
Dureza	80-85D	Módulo de flexión	1000-1200 MPa
Resistencia a la tracción	35-45 MPa	Temperatura de deflexión térmica	60-65°C
Tiempo de exposición inferior	20-40 s	Lavado de resina	Agua/Alcohol
Tiempo de exposición normal	1.5-3 s (pantalla a color 8 s)	Vida útil	1.5 años

Fuente: (ANYCUBIC, 20241).

2.2.3 ESCÁNER EINSTAR 3D

El escáner 3D Einstar que se indica en la figura 2.4 es diseñado por la empresa Shining 3D es un escáner 3D que se caracteriza por su bajo peso y coste, cualquier usuario puede crear modelos 3D de alta calidad recopilando datos de nubes de puntos de alta densidad a una velocidad de hasta 14 fotogramas por segundo, con un espaciado entre puntos de hasta 0,1 mm.



Figura 2.4 Escáner EINSTER
(EINSTAR, 2024)

Para el proceso de ingeniería inversa se utilizó un escáner modelo Einstar que posee las características definidas por el fabricante de acuerdo con la Tabla 2.3.

Tabla 2.3 Especificaciones del scanner

CARACTERÍSTICAS	DETALLES
Modo de escaneo	Escaneo de luz estructurada
Distancia de punto	0,1mm – 3mm
Distancia de trabajo	Distancia de trabajo efectiva: 160mm-1400mm; Distancia de trabajo óptima; 400mm
Campo de visión máxima	434mm*379mm (bajo la distancia de trabajo óptima)
Velocidad de escaneo	980.000 punto/s, hasta 14 FPS
Modos de alineación	Alineación de características, alineación híbrida, alineación de textura, mascadores globales
Escaneo de textura	Si
Escaneo al aire libre	Si
Interfaz	USB2.0 o superior
Formato de salida	OBJ; STL; CAPA; P3; 3MF
Configuración básica de la computadora	SO: Win10, 64bits; Tarjeta gráfica: NVIDIA GTX1050; Memoria de video:>4GB; Procesador: I7-7700H; Memoria: >16GB

Fuente: (EINSTAR, 2024).

2.2.4 SOFTWARE SHINING 3D

El programa Shining 3D está desarrollado principalmente para el modelado y escaneo 3D. Shining 3D es conocido por su tecnología y software, que permiten escanear con precisión elementos físicos, lo que da como resultado modelos tridimensionales que pueden modificarse y utilizarse en diversas aplicaciones. Se caracteriza por el escaneo 3D; Shining 3D vende numerosos escáneres 3D, incluida la línea EinScan. Estos escáneres utilizan tecnología avanzada de luz estructurada o láser para capturar la geometría de los objetos y las superficies. Los escáneres, que pueden ser portátiles o de sobremesa, están diseñados para capturar con gran precisión y detalle.

2.2.5 SOFTWARE SOLIDWORKS

SolidWorks es un software CAD muy utilizado en ingeniería y diseño de productos. SolidWorks, desarrollado por Dassault System; su interfaz se puede observar en la figura 2.5, es conocido por sus funciones de modelado de sólidos y su interfaz de fácil manejo, que facilitan la creación de modelos 3D precisos y detallados. Es un programa de diseño mecánico asistido por computadora (CAD) que utiliza una interfaz gráfica de usuario basada en Microsoft Windows para crear rápida y fácilmente modelos sólidos, ensamblajes y dibujos en 3D. Las dimensiones y relaciones necesarias para realizar las operaciones están contenidas en el modelo, el modelado paramétrico, en el que se basa, minimiza el esfuerzo necesario para alterar y generar variantes en el diseño.

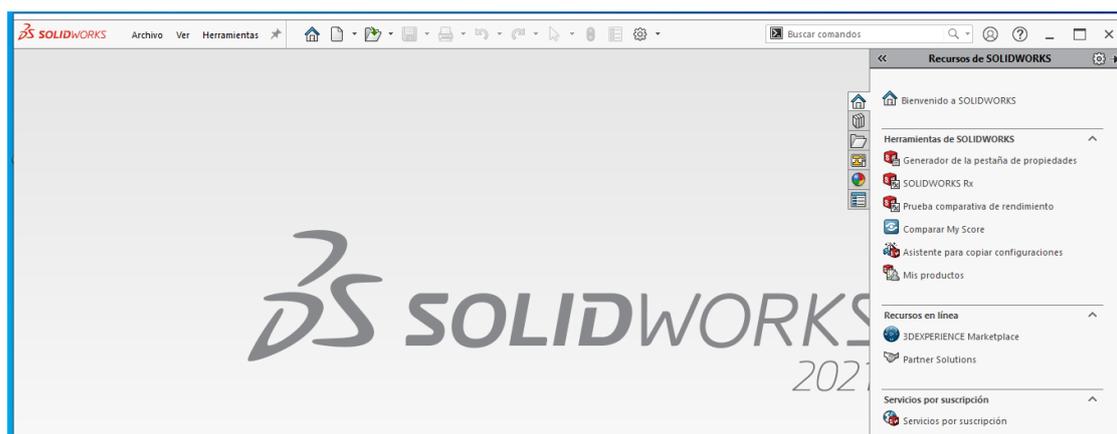


Figura 2.5 Interfaz del software SolidWorks educativo.

2.2.6 SOFTWARE ANSYS

El software ANSYS es una plataforma principalmente utilizada para la simulación y análisis de ensamblajes o piezas previamente diseñadas, a su vez permite modelar, analizar y optimizar

cualquier pieza. Se caracteriza por la simulación y análisis de elementos finitos aplicando cargas y tensiones, En la figura 2.6 se puede observar la interfaz del software.

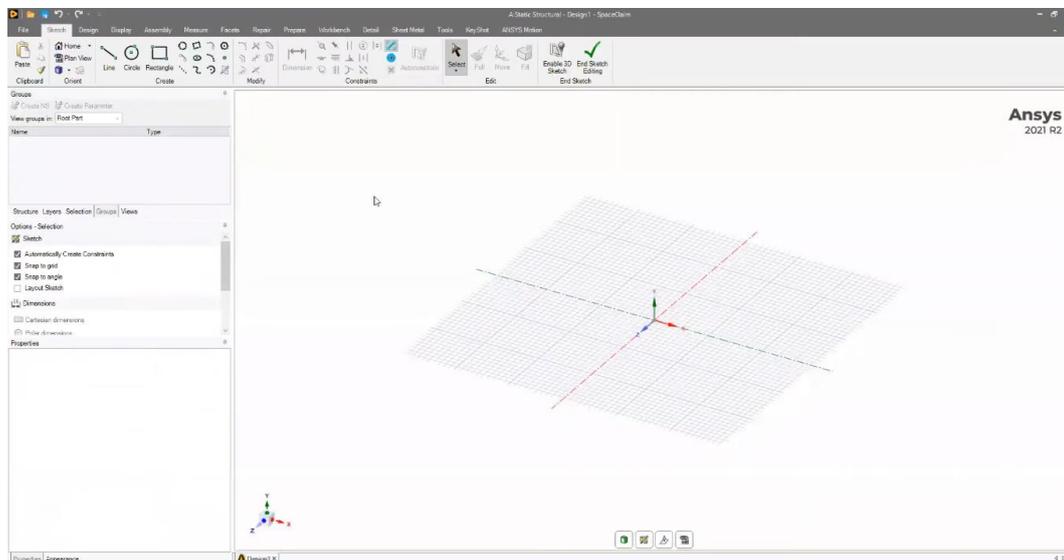


Figura 2.6 Interfaz Software ANSYS educativo
(Yahaya et al., 2019, p. 47)

En el caso del análisis de elementos finitos, ANSYS en sus simulaciones utiliza el método de incorporar y desarrollar una malla de elementos por lo general lo más posible pequeños para obtener los resultados más precisos, posteriormente se emplean ecuaciones y algoritmos matemáticos para generar los resultados deseados, sea esfuerzo de Von Mises, deformaciones y factor de seguridad.

2.2.7 SOFTWARE LYCHEE SLICER

El software Lychee Slicer cuya interfaz se muestra en la figura 2.7, es un laminador con funciones diseñadas especialmente para la impresión 3D de resina. En general, se trata de un programa desarrollado por el fabricante Mango 3D, que también es conocido por el slicer Mango, así como por el software Mango OS. Se caracteriza por ser un software de código abierto utilizado para cortar modelos 3D en múltiples capas para su impresión en 3D. Se utiliza como una herramienta para preparar modelos 3D para la impresión 3D con resina, permitiendo a los usuarios modificar diferentes parámetros para la impresión de la pieza, como la densidad de la impresión, velocidad, espesor de la capa y la calidad de la impresión.

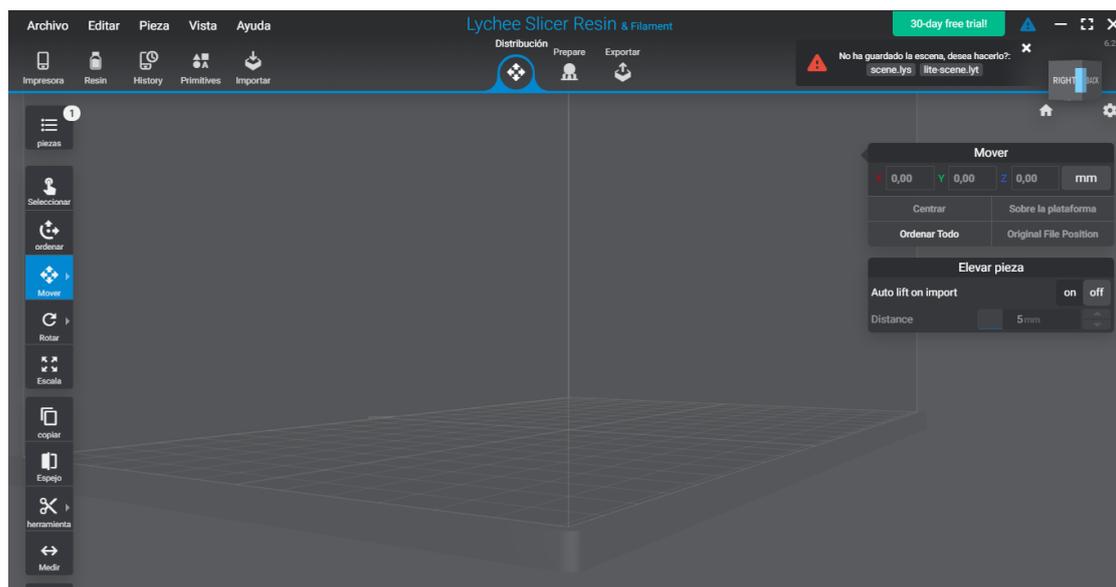


Figura 2.7 Interfaz del software Lychee Slicer.

2.2.8 ANYCUBIC PHOTON MONO X 6K

Es una impresora 3D que utiliza resina para el diseño de objetos, se caracteriza por ofrecer alta resolución y precisión durante la impresión. Toda la impresora se encuentra diseñada en un solo chasis de aluminio robusto como se puede observar en la figura 2.8, lo que le permite reducir las vibraciones durante la impresión, mejorando así también la estabilidad y calidad de las piezas que se imprimen.



Figura 2.8 Impresora: ANYCUBIC Photon Mono X 6K
(ANYCUBIC, 2020)

Para su funcionamiento adecuado, es recomendable cumplir con los requerimientos del software tales como el slicer que se recomienda es el Photon Workshop, aunque existen diversas otras aplicaciones que pueden servir, cualquier sistema operativo, formato de

archivo STL; las características técnicas de la impresora utilizada se pueden observar en la tabla 2.4.

Tabla 2.4 Especificaciones técnicas de la impresora Anycubic Photon Mono X 6K

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS			
Potencia	80W	Transmitancia de luz	6,5%
Volumen de impresión	195,84 x 122,4 x 200 mm	Relación de contraste	380:1
Material de plataforma de impresión	Aleación de aluminio	Precisión de posicionamiento en el eje Z	Doble riel lineal con precisión de 0,01 mm
Altura de capa	10 micrones (0,01 mm)	Velocidad de impresión	15 – 60 mm/h
Resolución en el plano XY	35 micrones (5760 x 3600 pixeles)	Nivelación de cama	Manual de 4 puntos
Dimensiones de la LCD	Monocromática de 9.1 pulgadas	Display	Pantalla táctil de 3.5 pulgadas
Fuente de luz	Fuente mejorada Anycubic LighTurbo Matrix	Materiales	Resinas UV 405 nm

Fuente: (ANYCUBIC, 2024a).

2.3. ELABORACIÓN E IMPRESIÓN DE PROBETAS

Para la elaboración de las probetas con cada una de las resinas se utilizó el procedimiento que se indica en el flujograma de la figura 2.9.

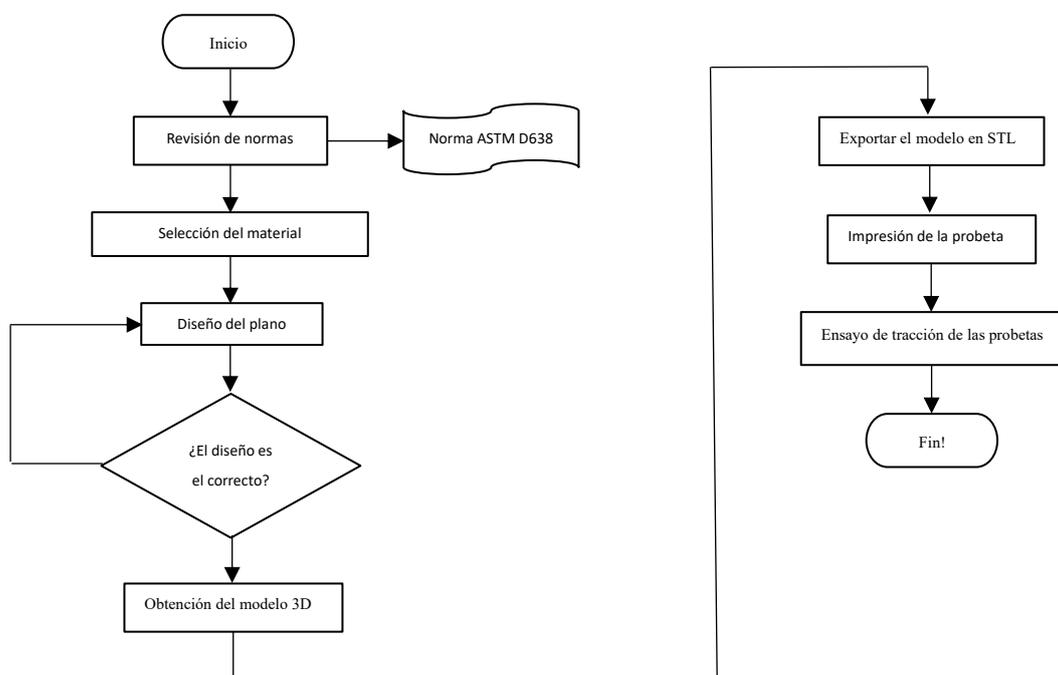


Figura 2.9 Proceso para la impresión de probetas.

2.3.1 DISEÑO Y CONFIGURACIÓN DE PROBETAS SEGÚN NORMA ASTM DE POLÍMEROS

El diseño de las probetas para los ensayos experimentales se realizó en el programa SolidWorks basados en la norma ASTM D638.

2.3.2 DISEÑO CAD DE LAS PROBETAS DE TRACCIÓN SEGÚN NORMA ASTM D638

Para determinar las propiedades mecánicas de un material se llevaron a cabo ensayos experimentales de tracción, compresión, flexión, metalografías, ensayos de dureza, etc. En este caso se realizó ensayos a tracción bajo la norma ASTM D638 Tipo IV usada para comparación de polímeros semirrígidos (ASTM, 2016a) que para este caso fueron dos tipos de resina, la primera es Resina UV Tough Anycubic y la segunda es Resina Elegoo ABS Like Photopolymer con la finalidad de obtener tanto los diagramas esfuerzo vs deformación de los materiales como los valores de las propiedades mecánicas (ASTM, 2016). El diseño de la probeta se puede observar en la figura 2.10 en la cual se indica las nomenclaturas de las dimensiones que debe tener el modelo de diseño de probeta tipo IV indicado en la norma ASTM D638.

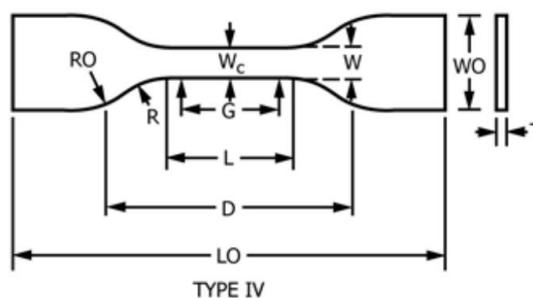


Figura 2.10 Diseño de probeta IV. (TBT, 2014).

Para el ensayo de tracción se desarrolló 3 probetas por cada tipo de resina es decir un total de 6 probetas, las medidas de la probeta diseñada en SolidWorks se pueden observar en la tabla 2.5 las cuales corresponde a la figura 2.10.

Tabla 2.5 Medidas de la probeta.

MEDIDAS DE LA PROBETA IV			
Ancho de la sección estrecha (W)	6 mm	Longitud de calibre (G)	25 mm
Longitud de la sección estrecha (L)	33 mm	Distancia entre agarres (D)	65 mm
Ancho total (WO)	19 mm	Radios internos (R)	14 mm
Longitud total (LO)	115 mm	Radio exterior (RO)	25 mm

Fuente: (TBT, 2014).

En la figura 2.11, se puede observar el diseño del plano 2D en SolidWorks de la probeta con las medidas correspondientes indicadas en la tabla anterior mencionada.

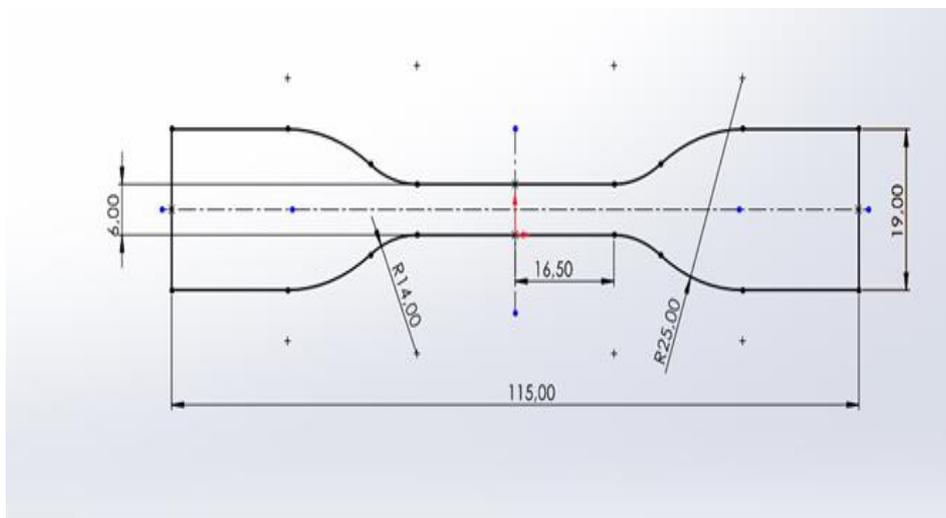


Figura 2.11 Diseño de probeta

Con el diseño del plano, se procede al diseño 3D de la misma en el mismo software obteniendo el resultado de la figura 2.12 el cual posteriormente será exportada en formato STL para realizar la impresión con cada una de las dos resinas. La caracterización de estas dos resinas permitió seleccionar la de mejores características mecánicas para los respectivos ensayos de simulación FEM a la manija del vehículo, tanto al diseño original como a las propuestas de diseño, para de esta forma realizar las respectivas comparaciones en cuanto a los esfuerzos, deformaciones y factor de seguridad que éstas arrojen y así determinar su factibilidad tanto en el uso como en su fabricación.

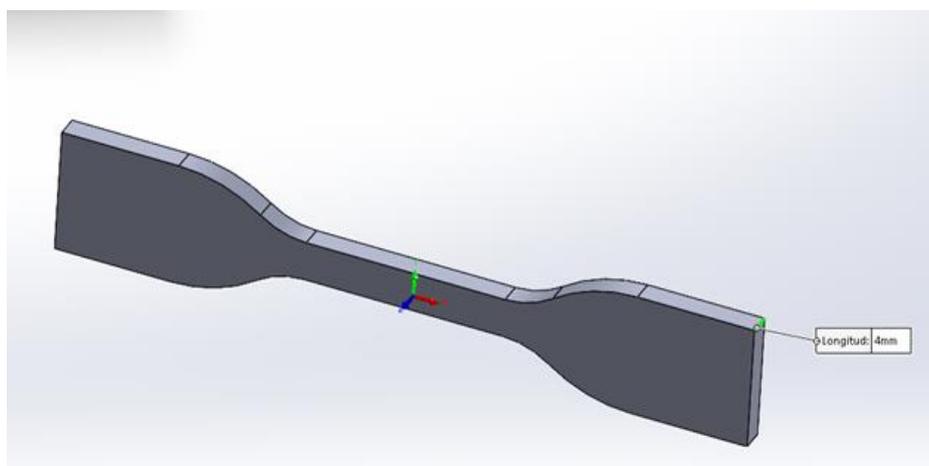


Figura 2.12 Espesor de la probeta bajo la norma ASTM 638 Tipo IV.

2.3.3 IMPRESIÓN DE LAS PROBETAS

Posterior al desarrollo de las probetas en el software CAD, y obtenido los archivos STL se procede a importar el archivo de la probeta al software de impresión; en este caso Lychee Slicer como se puede observar en la figura 2.13, en la cual además se puede observar el modelamiento que será impreso.

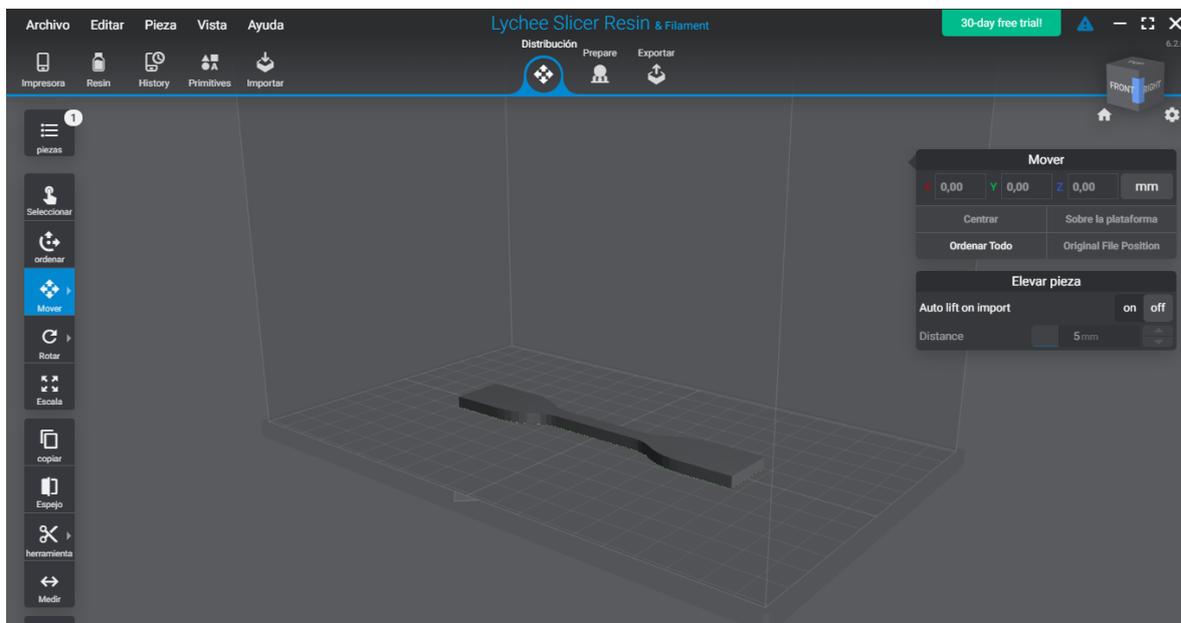


Figura 2.13 Probeta en el software Lychee Slicer.

La obtención de las probetas se llevó a cabo en una impresora Anycubic 4max previo a una calibración considerando el material a utilizarse que para este caso son las resinas antes nombradas, a continuación, se realizó el control de calidad de las probetas como de las características y detalles de la impresión, rediseño y Simulación CAE.

La obtención de las probetas se llevó a cabo en una impresora ANYCUBIC Photon Mono X 6K, algo a tomar en cuenta es que se debe realizar una calibración de la impresora antes de realizar cualquier impresión. Luego de realizar este paso se debe realizar una configuración en el software en el cual se especifica material a utilizarse en este caso elegir el tipo de resina, tiempo de exposición, grosor de capa y tiempo de la impresión. Para este caso se usó las resinas antes nombradas, a continuación, se realizó el control de calidad de las probetas como de las características y detalles de la impresión; en la figura 2.14 se puede observar el resultado de impresión de las probetas, se realizó cuatro probetas por cada tipo de resina.



Figura 2.14 Impresión de las probetas.

La figura 2.15 muestra la impresión y control de calidad de la resina Elegoo ABS Like Photopolymer, algo que a tener en cuenta es la importancia de la calibración de la impresora ya que brindara mejores resultados en la pieza brindando así una muy alta calidad, detalle y precisión de las dimensiones de la probeta.



Figura 2.15 Impresión y control de calidad de probetas de Resina Elegoo ABS Like Photopolymer

Se puede apreciar en la figura 2.16 muestra de la impresión y control de calidad de la resina Uv Tough Anycubic, otra consideración a tener en cuenta es la configuración correcta del software ya que en este debemos digitar los parámetros precisos de impresión como es tiempo de exposición, grosor de capa, y tiempo de impresión. Al tener estos parámetros en una configuración correcta se podrá tener resultados de alta calidad ya que de ser contrario la figura presentaría diversas fallas como burbujas, fisuras o una mala solidificación.

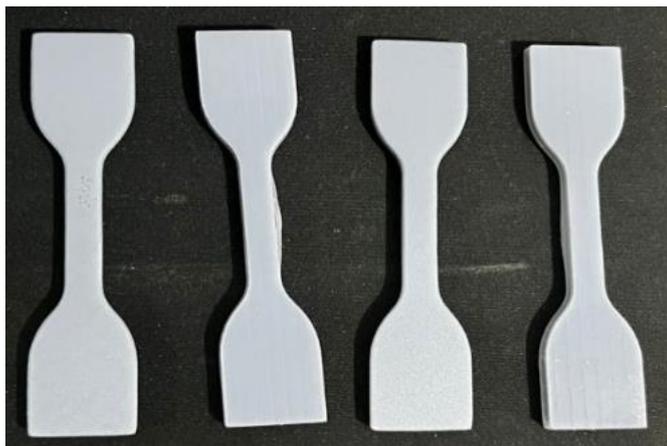


Figura 2 y control de calidad de probetas de Resina Uv Tough Anycubic

2.3.4 ENSAYO DE TRACCIÓN EN PROBETAS SEGÚN LA NORMA ASTM D368.

Los ensayos destructivos se realizaron en el Laboratorio ILPM ENGINEERING CIA LTDA Ingeniería Líder en Proyectos y Materiales, la carga se aplicó en un solo sentido y longitudinal a las probetas, a condiciones ambientales y velocidad de ensayo propia que exige la norma, en este caso el material considerado es semirrígido del tipo IV por lo tanto la velocidad para el ensayo de la misma será de 5 mm/min (+/- 25%). En la tabla 2.6 se observa los parámetros que se llevaron a cabo en la prueba de tracción:

Tabla 2.6 Condiciones y parámetros de ensayo de tracción vs deformación bajo norma ASTM D638

EQUIPO:	ENS-09 Máquina de ensayo de Tensión
CONDICIONES AMBIENTALES:	Temperatura: 22±4°C / Humedad Relativa: 48±22%
NÚMERO DE PROBETAS POR PRUEBA:	3
MÉTODO DE ENSAYO:	Se procedió de acuerdo con el método basado en la norma ASTM D638.
CONDICIONES ESPECIALES:	Velocidad de ensayo determinada de acuerdo con el criterio de la norma ASTM D638 para probetas tipo IV.

2.4. DISEÑO CAD DE LA MANIJA

Para la elaboración del diseño de la autoparte y su análisis con cada una de las resinas se utilizó el procedimiento que se indica en el flujograma de la figura 2.17.

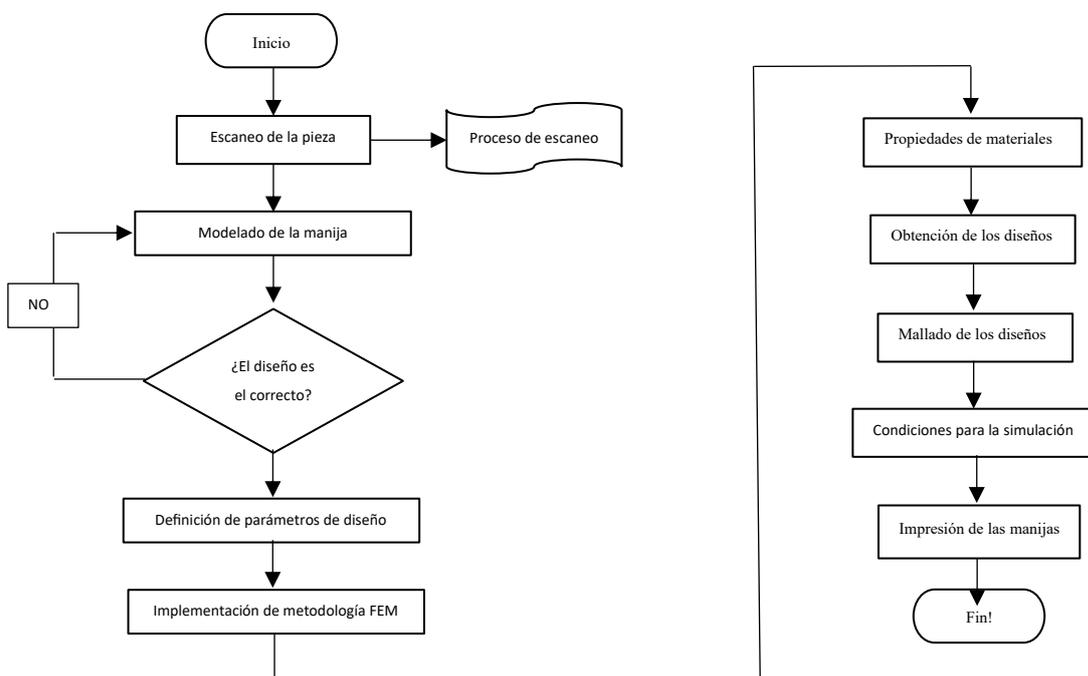


Figura 2.16 Proceso del diseño de la manija.

2.4.1 ESCANEEO 3D MANIJA

Para el proceso de ingeniería inversa se utilizó un escáner modelo Einstar que posee las características definidas por el fabricante.



Figura 2.17 Ubicación de marcadores para escaneo de manija

El proceso de escaneo requirió ubicar marcadores propios del equipo que permiten al escáner ubicarse con mayor facilidad y realizar el escaneo con mayor rapidez. Estos marcadores se ubicaron alrededor de la pieza escaneada como se puede observar en la figura 2.18, durante el escaneo se puede observar como el modelo se va estructurando mediante el software Shining 3D.

Se escaneó las piezas por partes para luego generar la unión de estas dentro del software a fin de tener el elemento completo que posteriormente será procesado y rectificado en caso de tener errores simétricos, una vez corregido la pieza escaneada se exporta el archivo en formato SLDR para abrirlo en SolidWorks.

2.4.2 MODELADO 3D DE LA MANIJA

El archivo obtenido mediante el escaneado se importa en SolidWorks como base para realizar el proceso de ingeniería inversa, es decir obtener el modelo 3D de la manija con las medidas y formas semejante a la autoparte original como se puede observar en la figura 2.19, se revisa nuevamente las medidas y se realiza alguna corrección de ser necesario para posteriormente realizar el proceso de análisis por elementos finitos de la autoparte y su impresión.

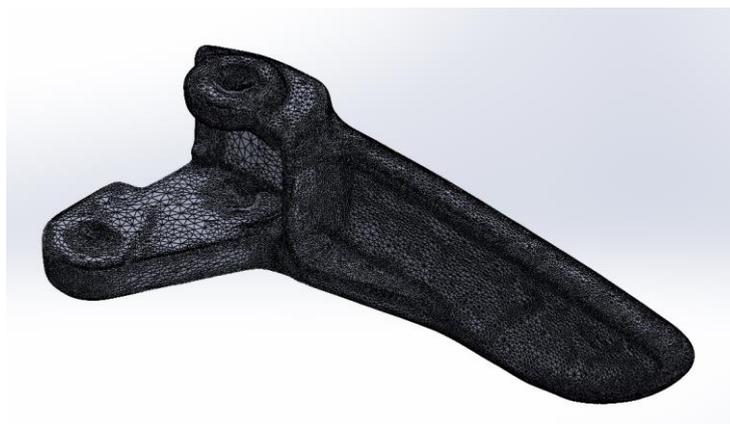


Figura 2.18 Importación de archivo escaneado en SolidWorks.

2.4.3 DEFINICIÓN DE PARÁMETROS DE DISEÑO Y REQUERIMIENTOS GENERALES DE LA AUTOPARTE

Para el proceso de simulación se necesitó definir la fuerza de aplicación en la manija, para lo cual se consideró la capacidad de halar de una persona de 12,6 Kgf o su equivalente 124,25 N (E. Zumba, 2012). Esta fuerza supera la requerida para abrir la puerta del vehículo, pero se utilizó como el valor máximo a ejercer por una persona para comparar el comportamiento del diseño original y los diseños propuestos. Cabe recalcar que este valor es una condición de carga extrema más no habitual que se aplica a la manija, es por ello que los diseños propuestos se enfocaron en una mejor distribución de esfuerzos.

2.4.4 METODOLOGÍA PARA ANÁLISIS DE LA MANIJA POR ELEMENTOS FINITOS

A continuación, se detalla la metodología para el análisis por elementos finitos de la manija de puerta objeto de estudio y los dos rediseños propuestos, así como también, con los dos materiales analizados el original y alternativo.

2.4.5 PROPIEDADES DE MATERIALES

2.4.5.1 Material Original (M0)

Para el material original se consideró ABS, el cual es el material original de la manija de fábrica. Las propiedades mecánicas del material en mención se muestran en la tabla 2.7, este material se caracteriza por su alto límite de tracción de 36,2 MPa y el límite elástico de 27,4 MPa.

Tabla 2.7 Propiedades mecánicas de la resina ABS.

PROPIEDAD	VALOR	UNIDAD
Densidad	1030	Kg/m ³
Relación de Poisson	0,40	-
Módulo de elasticidad	1,6	GPa
Límite elástico	27,4	MPa
Límite de tracción	36,2	MPa

Fuente: (ANSYS Inc, 2024).

2.4.5.2 Material Alternativo de Construcción (M1)

De acuerdo con los ensayos de laboratorios aplicados en las probetas impresas con ambas tipos de resinas, se escogió el material la resina ABS Elegoo ABS LIKE Photopolymer que contiene menores propiedades mecánicas entre los dos. Los valores requeridos para ingresar al software se detallan en la tabla 2.8.

Tabla 2.8 Propiedades mecánicas de la resina Elegoo ABS Like Photopolymer

PROPIEDAD	VALOR	UNIDAD
Densidad	1100	Kg/m ³
Relación de Poisson	0,40	-
Módulo de elasticidad	1000	MPa
Límite elástico	24,33	MPa
Límite de tracción	28	MPa

2.4.6 DISEÑOS PROPUESTOS

Al analizar la manija de puerta del vehículo Great Wall Voleex dañada siendo este un caso común de falla la rotura de la manija se pudo apreciar que existen dos zonas de falla del elemento: una zona de rotura (A) y una zona de fisura (B), las cuales se detallan en la figura 2.20.

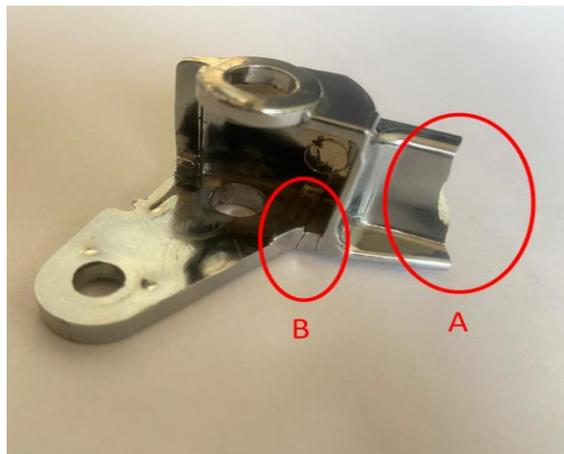


Figura 2.19 Daños en la manija

Luego del análisis de las fisuras y rotura presentes en la manija se planteó dos alternativas de diseño a fin de mejorar el comportamiento del elemento buscando reducir los esfuerzos en la autoparte para prolongar su vida útil. Para el diseño 1 indicado en la figura 2.21, se ubicó un soporte en la zona A y un refuerzo en la zona B a fin de reducir la aparición de fisuras en los cambios de sección del elemento.

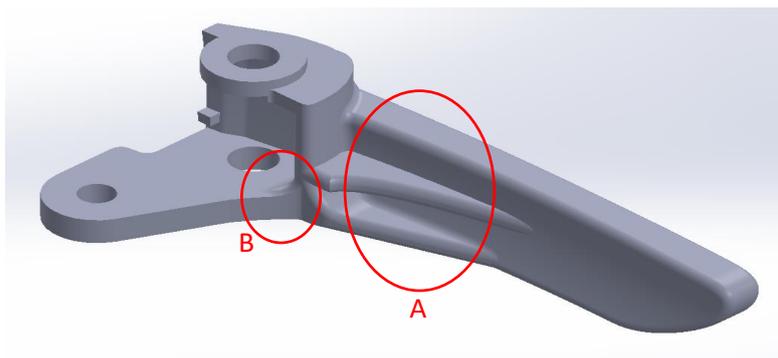


Figura 2.20 Propuesta de diseño 1 (D1) de la manija

Para el diseño 2 presentado en la figura 2.22, se ubicó un soporte más ligero a lo largo de toda la manija para lograr una distribución uniforme de los esfuerzos y un refuerzo en la zona B para lograr un cambio de sección suave en la zona de aparición de fisuras.

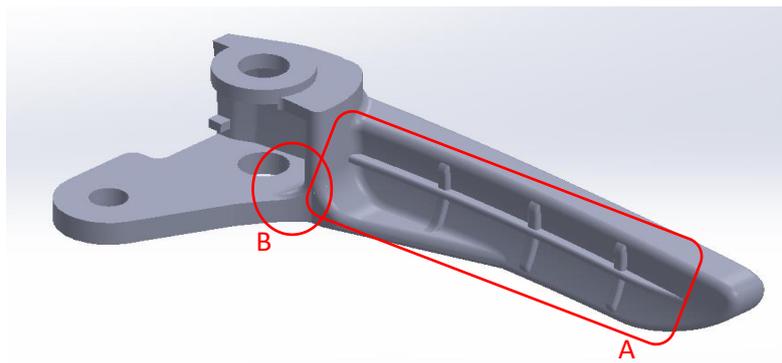


Figura 2.21 Propuesta de diseño 2 (D2) de la manija

2.4.7 MALLADO

Se empleó el criterio de "Element Quality" para validar la calidad de la malla, que varía de 0 a 1, donde 0 representa una calidad baja (inaceptable) y 1 una calidad alta (excelente) como se indicada en la figura 2.23. Para evitar tener elementos muy distorsionados es recomendable elegir el tamaño de malla adecuado a la pieza.

El tamaño deberá ser lo suficientemente pequeño para acoplarse a la mayor forma posible de la geometría del modelo, a su vez mientras el tamaño de la malla sea más pequeño esté repercutirá directamente sobre el tiempo para la obtención de los resultados.

Inaceptable	Malo	Aceptable	Bueno	Muy bueno	Excelente
0-0.001	0.001-0.14	0.15-0.20	0.20-0.69	0.70-0.95	0.95-1.00

Figura 2.22 Espectro de métrica de calidad de malla
(J. Ardila et al., 2016).

2.4.8 CONDICIONES PARA ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LA MANIJA

Con el diseño establecido y seleccionado en material del mismo, se procede al análisis de la parte de las condiciones a considerar para realizar la simulación, esto implica que tipo de fuerzas o cargas se van a aplicar sobre el modelo diseñado.

2.4.8.1 RESTRICCIONES

Las restricciones se ubican de acuerdo a la funcionalidad que tiene la pieza, es así que se ha determinado en este caso dos tipos de restricciones:

Restricción fija: Ubicada en el orificio de unión al mecanismo que abre la puerta.

Soporte cilíndrico: Ubicado en los orificios donde pivota la manija durante la apertura de la puerta como se indica en la figura 2.24.

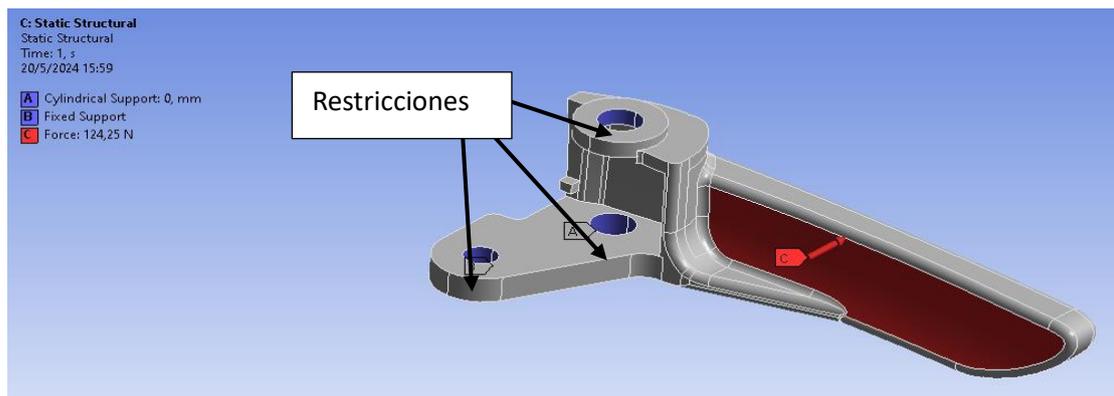


Figura 2.23 Ubicación de las restricciones.

2.4.8.2 CARGA

Para el proceso de simulación se necesitó definir la fuerza de aplicación en la manija, para lo cual se consideró la capacidad de halar de una persona de 12,6 Kgf (Zumba, 2020) o su equivalente 124,25 N. Por lo tanto, fuerza máxima de 124,25 N en la cara interna del cuerpo de la manija. La figura 2.25 a continuación muestran los parámetros de borde ingresados en el software para el respectivo análisis estructural.

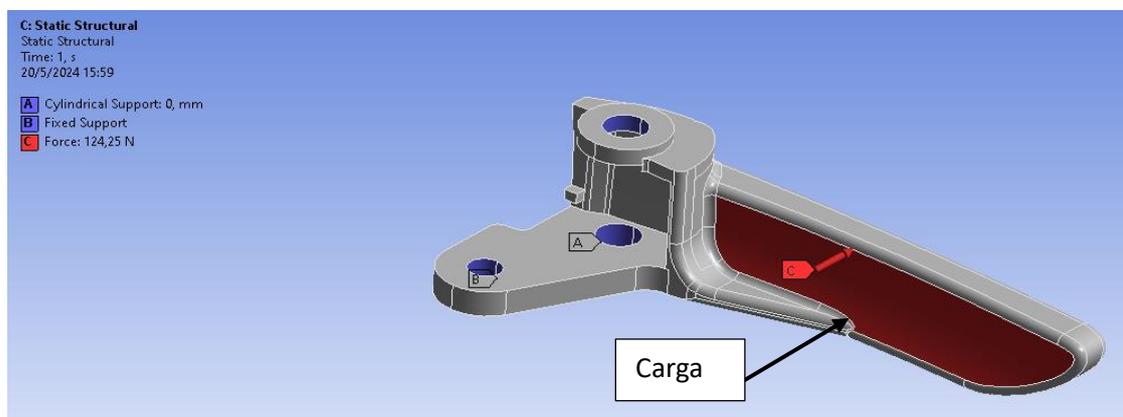


Figura 2.24 Ubicación de la carga.

2.5. IMPRESIÓN

Posterior al escaneo de la pieza, y obtenido los archivos STL se procede a importar el archivo de la pieza al software de impresión; en este caso Chitubox como se puede observar en la figura 2.26, en la cual además se puede observar el modelamiento de las piezas que serán impresas.

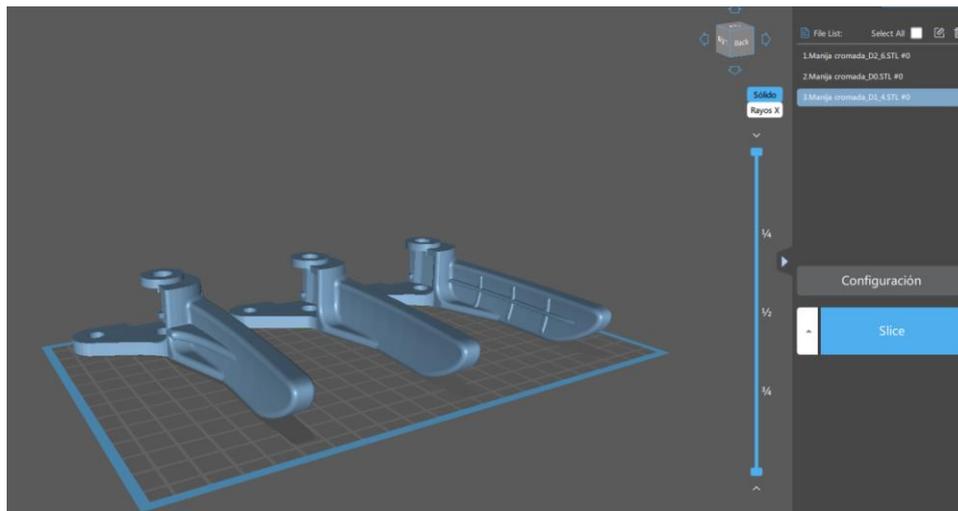


Figura 2.25 Interfaz del software de impresión

Revisado el modelo en la sección de distribución, se procede a la sección de preparación en donde se calibrará todo y se seleccionará el material, además se observan las características como el peso, volumen y tiempo de impresión como se observar en la figura 2.27.

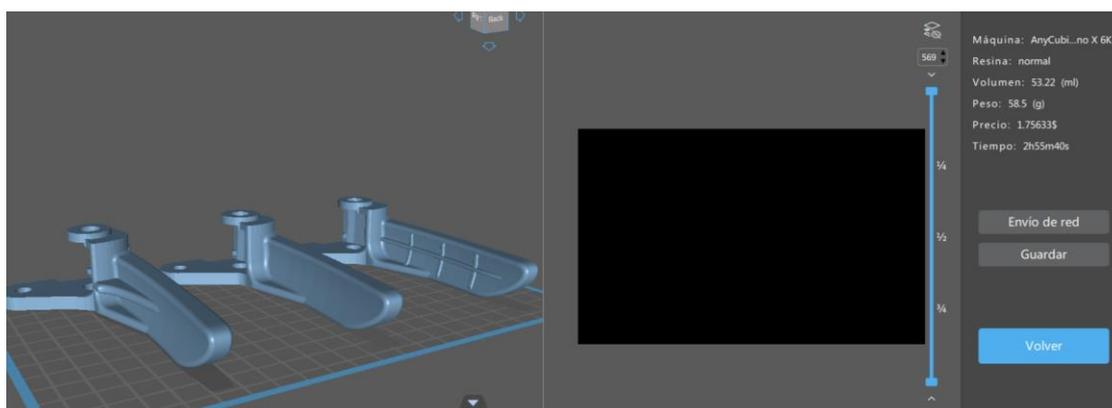


Figura 2.26 Preparación de la pieza a imprimir

Posteriormente, se verificará la cantidad de resina disponible para la impresión de la pieza; verificado la cantidad se procede con la impresión de la pieza siendo la parte donde más tiempo tomará, a su vez, la impresora indicará el proceso mediante una pantalla en el cual se observa cómo se está elaborando la pieza como se indica en la figura 2.28.



Figura 2.27 Impresión de la pieza.

2.6. RENTABILIDAD DE LA IMPRESIÓN 3D

Para determinar si es viable o no la impresión 3D con resinas, es necesario e indispensable conocer los costos de adquisición de la impresora en Ecuador; alrededor de \$1600, y de las resinas que en este caso el valor por 1 litro de resina ABS-LIKE es de \$90 y de la resina ANYCUBIC tiene el costo de \$90 (A mayor unidad se presenta descuentos). Por lo tanto, se realizará un análisis del costo por hora de trabajo empleando en la elaboración de cada pieza; en consecuencia, para elaborar un prototipo se necesita 7 horas donde se realiza las siguientes actividades:

- Proceso de escaneo de la pieza original.
- Proceso de modelado CAD de la autoparte y sus mejoras.
- Procesos de simulación FEM.
- Proceso de impresión.

$$TRI = \frac{CTI}{CU/t} \quad [2.1]$$

Donde,

TRI = Tiempo de recuperación de la inversión.

CTI = Costo total de inversión.

CU = Costo por unidad

t = Tiempo de manufactura

En base a estos datos, se realizará un análisis de la inversión considerando todos los recursos y asumiendo los costos de una sola manija.

Ganancia= Valor de venta por lote – Costo de elaboración (Costo de resina y modelado de la pieza)

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS

3.1. ANÁLISIS DE PROBETAS

El desarrollo y análisis de las probetas se realizará mediante el uso de la norma ASTM-D638 donde se especifica las dimensiones y diseño para realizar las probetas para ensayos de tracción, a su vez, estas probetas fueron impresas con las resinas ABS LIKE y ANICUBIC UV con la finalidad de obtener los resultados de propiedades mecánicas tales como la resistencia última, cargas máximas y límite de fluencia.

3.1.1 CONTROL DE CALIDAD DE LAS PROBETAS CON RESINA ABS-LIKE ELEGOO

En cada ensayo de tracción, se realiza un control de calidad de las probetas teniendo así los resultados del dimensionamiento y las propiedades mecánicas del material con el que están fabricadas las probetas y las cuales serán sometidas al ensayo, obteniendo así los resultados de la tabla 3.1 que indica el dimensionamiento de cada probeta con la resina ABS-LIKE.

Las medidas que en comparación con la norma ASTM-D638 tienden a ser lo más cercanas posibles a lo impuesto como se detalla en la misma norma, su tolerancia se debe al proceso y calidad de impresión. A su vez, se denota la longitud inicial de la probeta la cual es la longitud de diseño original y la longitud final posterior al ensayo de tracción.

Tabla 3.1 Dimensionamiento de la probeta en el laboratorio.

ID Probeta	Espesor menor	Ancho menor	Longitud inicial	Longitud final
ABS-1	4,07 mm	6,20 mm	25,00 mm	27,33 mm
ABS-2	4,00 mm	6,21 mm	25,00 mm	28,11 mm
ABS-3	4,02 mm	6,14 mm	25,00 mm	27,03 mm

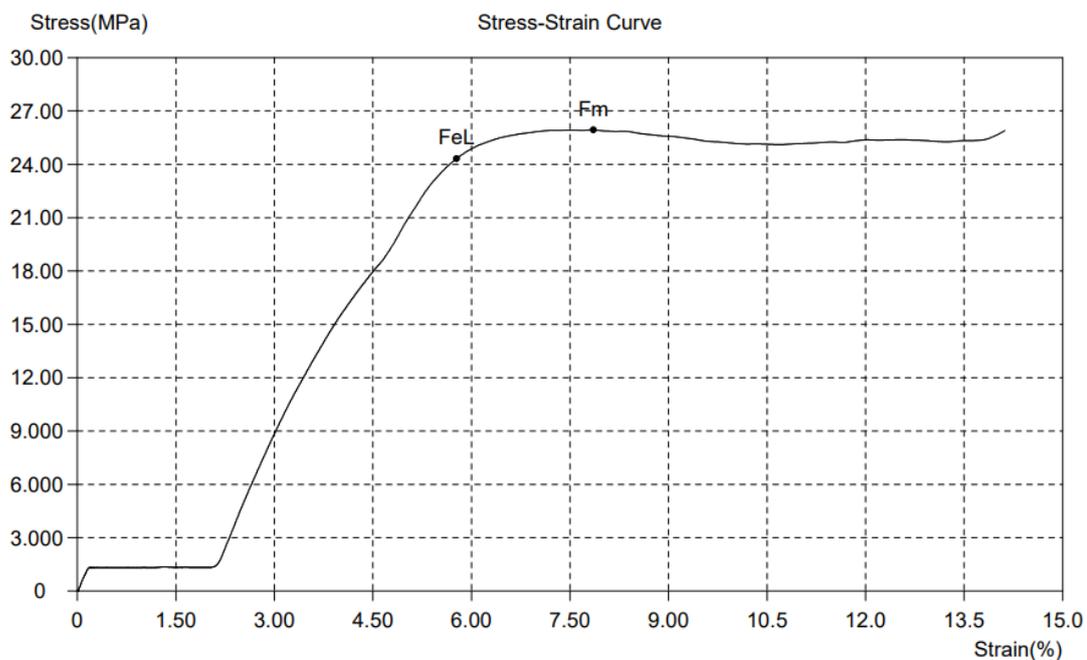
De acuerdo con los resultados de los ensayos de laboratorio realizados a las probetas con la resina ABS LIKE ELEGOO, se obtuvo las propiedades mecánicas indicadas en la tabla 3.2, destacando los resultados; de la resistencia a tracción máxima de 31 MPa, límite de fluencia con el valor de 26 MPa y la carga máxima que soporto cada una de las probetas siendo la carga máxima soportando de 0,64 kN en la probeta ABS-3.

Tabla 3.2 Propiedades mecánicas probetas de resina tipo ABS Like Elegoo

ID Probeta	Área	Carga de Fluencia (FeL)	Límite de Fluencia Sy (SY)		Carga Máxima (Fm)	Resistencia a Tracción SUT (SUT)		Elongación 25 mm	Localización de Rotura
	mm ² .		kN	KSI		MPa	kN		
ABS-1	25,2	0,61	3,53	24	0,65	3,76	26	9,3	NA
ABS-2	24,8	0,57	3,35	23	0,66	3,86	27	12,4	NA
ABS-3	24,7	0,64	3,77	26	0,76	4,45	31	8,1	NA

3.1.1.1 Curva de Tensión – Deformación de la probeta ABS 1

De acuerdo con la figura 3.1 correspondiente a la curva de tensión y deformación de la primera probeta hecha con la resina ABS LIKE ELEGOO se puede manifestar que el valor de la resistencia a la tracción máximo que soporta la probeta 1 antes de la rotura es de 26 MPa a una carga máxima de 0,65 kN. En cambio, el límite o resistencia de fluencia tiene el valor de 24 MPa a una carga de fluencia de 0,61 kN el cual indica en punto en el que la probeta comienza con la etapa de la deformación plástica. A su vez la elongación registrada fue de 27,33 mm, es decir se estiro 2,33 mm.

**Figura 3.1** Curva de tensión-deformación de la resina 1 ABS LIKE 1

3.1.1.2 Curva de Tensión – Deformación de la probeta ABS 2

De acuerdo con la figura 3.2 correspondiente a la curva de tensión y deformación de la segunda probeta hecha con la resina ABS LIKE ELEGOO se puede manifestar que el valor de la resistencia a la tracción máximo que soporta la probeta 2 antes de la rotura es de 27 MPa a una carga máxima de 0,66 kN. En cambio, el límite o resistencia de fluencia tiene el valor de 23 MPa a una carga de fluencia de 0,57 kN el cual indica en punto en el que la probeta comienza con la etapa de la deformación plástica. A su vez la elongación registrada fue de 28,11 mm, es decir se estiro 3,11 mm.

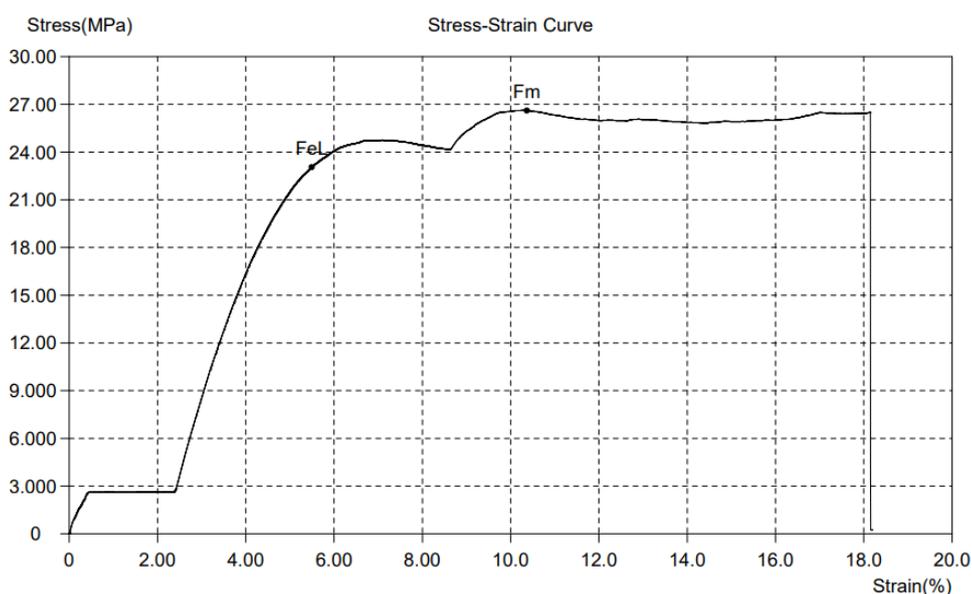


Figura 3.2 Curva de tensión-deformación de la probeta 2 con resina ABS LIKE

3.1.1.3 Curva de Tensión – Deformación de la probeta ABS 3

En la figura 3.3 muestra la correspondiente curva de tensión y deformación de la tercera probeta hecha con la resina ABS LIKE ELEGOO. De acuerdo a la gráfica de tensión – deformación se puede manifestar que el valor de la resistencia a la tracción máximo que soporta la probeta 3 antes de la rotura es de 31 MPa a una carga máxima de 0,758 kN. En cambio, el límite o resistencia de fluencia tiene el valor de 26 MPa a una carga de fluencia de 0,64 kN el cual indica en punto en el que la probeta comienza con la etapa de la deformación plástica. A su vez la elongación registrada fue de 28,11 mm, es decir se estiro 2,03 mm.

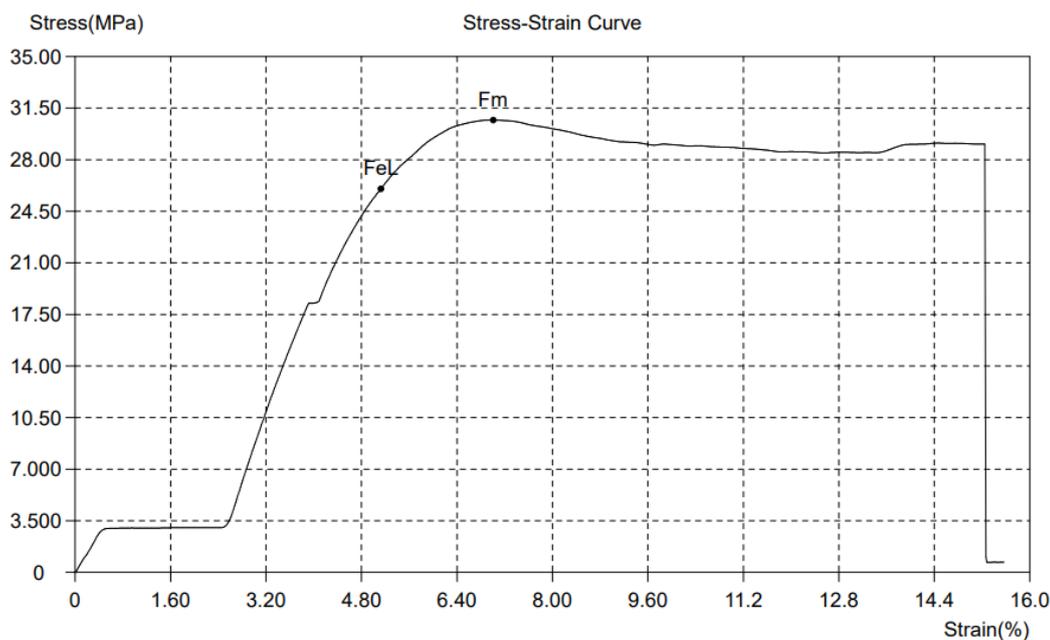


Figura 3.3 Curva de tensión-deformación de la probeta 3 con resina ABS LIKE

3.1.2 CONTROL DE CALIDAD DEL MATERIAL CON RESINA ANYCUBIC UV

En cada ensayo de tracción, se realiza una inspección y control de calidad de las probetas teniendo así los resultados del dimensionamiento y las propiedades mecánicas de la resina ANYCUBIC UV con el que están fabricadas las tres probetas y las cuales serán sometidas al ensayo de tracción, obteniendo así los resultados de la tabla 3.3 el cual indica el dimensionamiento de cada probeta analizada; espesor mínimo, ancho menor, longitud inicial y longitud final.

Las medidas que en comparación con la norma ASTM-D638 tienden a ser lo más cercanas posibles a lo impuesto en la misma norma, su variación de las dimensiones se debe al proceso y calidad con la que las probetas son impresas. A su vez, se denota la longitud inicial de la probeta la cual es la longitud de diseño original y la longitud final posterior al ensayo de tracción.

Tabla 3.3 Dimensionamiento en laboratorio con resina ANYCUBIC UV

ID PROBETA	ESPEJOR MENOR	ANCHO MENOR	LONGITUD INICIAL	LONGITUD FINAL
ANY-1	4,27 mm	6,01 mm	25,00 mm	30,71 mm
ANY-2	4,16 mm	6,00 mm	25,00 mm	31,98 mm
ANY-3	4,26 mm	6,02 mm	25,00 mm	29,31 mm

De acuerdo con los resultados de los ensayos de laboratorio realizados a las probetas con la resina ANYCUBIC UV, se obtuvo como resultados los valores de las propiedades mecánicas

registradas en la tabla 3.4, destacando los resultados de la resistencia a tracción, límite de fluencia, la carga máxima y la longitud inicial y final con cada una de las probetas.

Tabla 3.4 Propiedades mecánicas probetas Resina Anycubic UV Tough

ID Probeta	Área	Carga de Fuerza	Límite de Fluencia S_y		Carga Máxima	Resistencia a Tracción SUT		Elongación 25 mm	Localización de Rotura
	mm ² .		KSI	MPa		kN	KSI		
ANY-1	25,66	0,14	0,79	5	0,32	1,83	13	22,8	NA
ANY-2	24,96	0,18	1,04	7	0,42	2,44	17	27,9	NA
ANY-3	25,65	0,15	0,86	6	0,31	1,75	12	17,2	NA

3.1.2.1 Curva de Tensión – Deformación de la probeta ANYCUBIC UV 1

De acuerdo con la figura 3.4 que corresponde a la curva de tensión y deformación de la primera probeta hecha con la resina ANYCUBIC UV se puede manifestar que el valor de la resistencia a la tracción máximo que soporta la probeta 1 antes de la rotura es de 13 MPa a una carga máxima de 0,32 kN. En cambio, el límite o resistencia de fluencia tiene el valor de 5 MPa a una carga de fluencia de 0,14 kN el cual indica en punto en el que la probeta comienza con la etapa de la deformación plástica. A su vez la elongación registrada fue de 27,33 mm, es decir se estiro 5,71 mm.

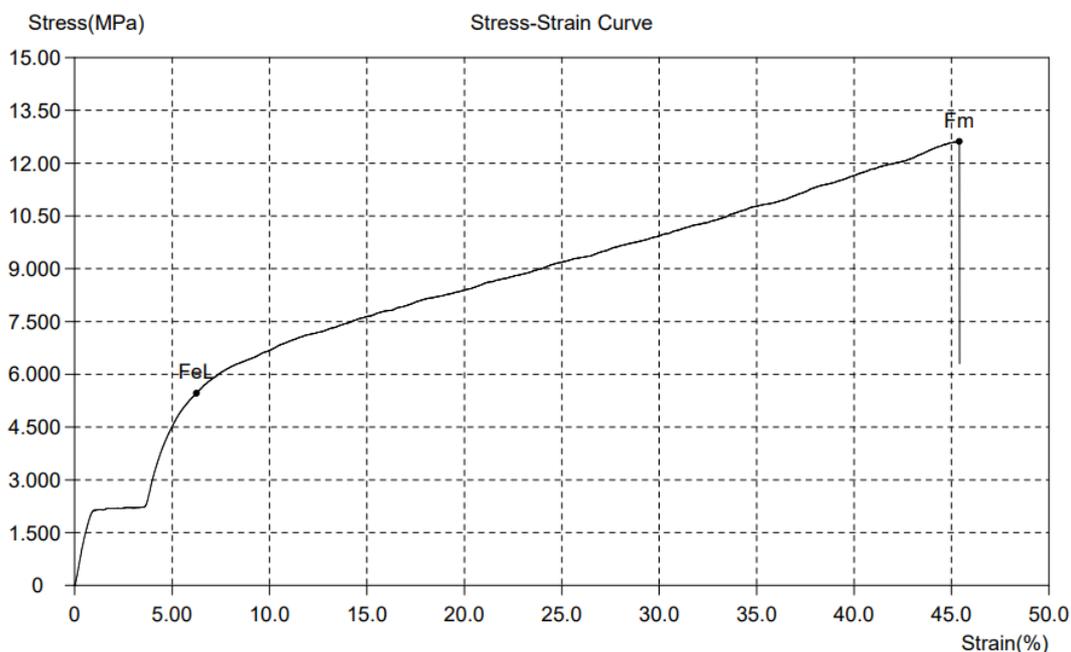


Figura 3.4 Curva de tensión-deformación de la probeta 1 con resina ANYCUBIC UV

3.1.2.2 Curva de Tensión – Deformación de la probeta ANYCUBIC UV 2

En la figura 3.5 muestra la correspondiente curva de tensión y deformación de la tercera probeta hecha con la resina ANYCUBIC UV.

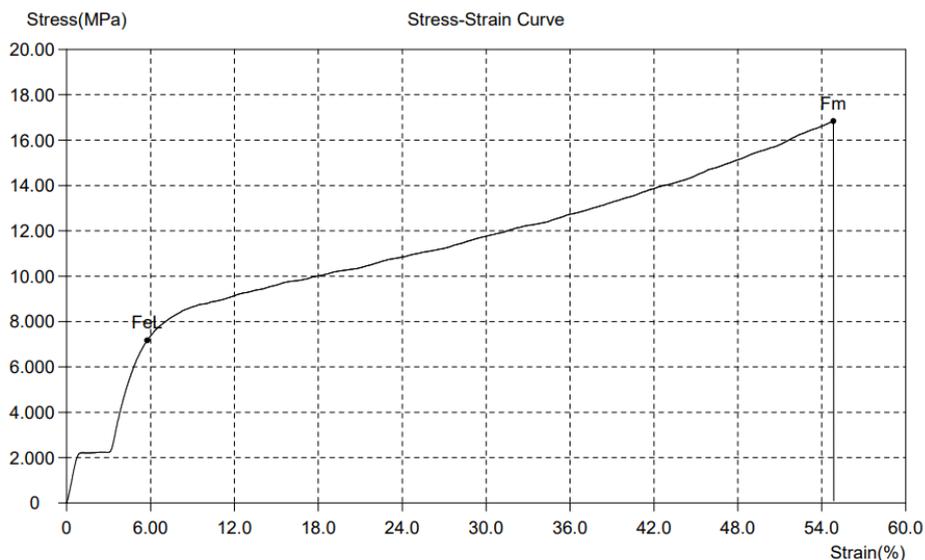


Figura 3.5 Curva de tensión-deformación de la probeta 2 con resina ANYCUBIC UV

De acuerdo con la figura 3.5 correspondiente a la curva de tensión y deformación de la segunda probeta hecha con la resina ANYCUBIC UV se puede manifestar que el valor de la resistencia a la tracción máximo que soporta la probeta 2 antes de la rotura es de 17 MPa a una carga máxima de 0,42 kN. En cambio, el límite o resistencia de fluencia tiene el valor de 7 MPa a una carga de fluencia de 0,17 kN el cual indica en punto en el que la probeta comienza con la etapa de la deformación plástica. A su vez la elongación registrada fue de 28,11 mm, es decir se estiro 6,98 mm.

3.1.2.3 Curva de Tensión – Deformación de la probeta ANYCUBIC UV 3

De acuerdo a la figura 3.6 correspondiente a la curva de tensión y deformación de la segunda probeta hecha con la resina ANYCUBIC UV se puede manifestar que el valor de la resistencia a la tracción máximo que soporta la probeta 3 antes de la rotura es de 12 MPa a una carga máxima de 0,309 kN. En cambio, el límite o resistencia de fluencia tiene el valor de 6 MPa a una carga de fluencia de 0,15 kN el cual indica en punto en el que la probeta comienza con la etapa de la deformación plástica. A su vez la elongación registrada fue de 28,11 mm, es decir se estiro 4,31 mm.

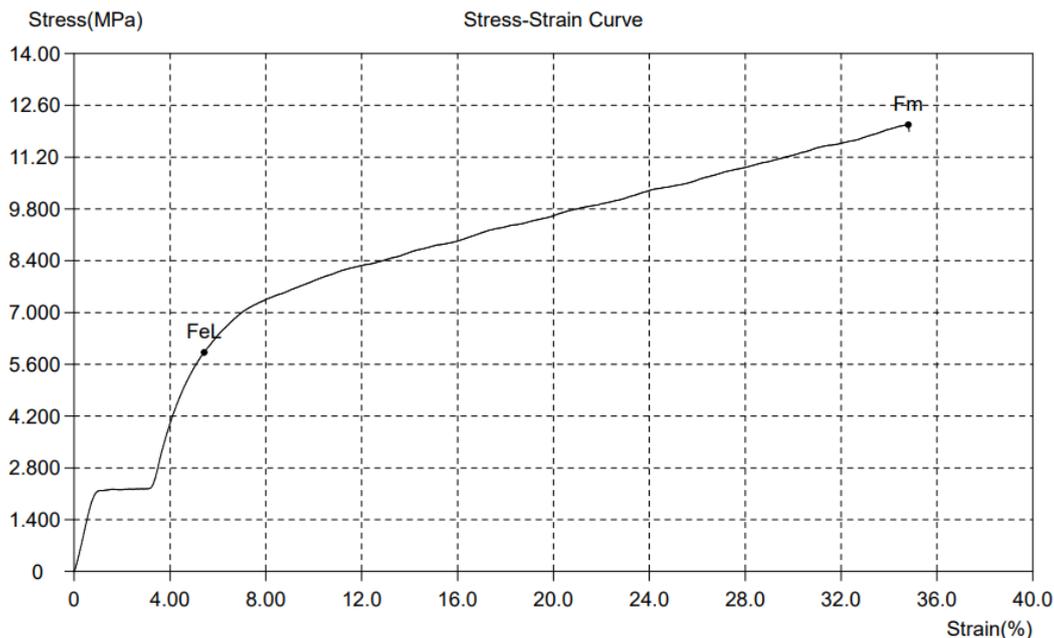


Figura 3.6 Curva de tensión-deformación de la probeta 3 con resina ANYCUBIC UV

3.1.3 SELECCIÓN DEL MATERIAL

De acuerdo al análisis de los resultados de los ensayos de tracción con cada una de las probetas y con ambos materiales, se considera seleccionar el mejor material; de acuerdo con la tabla 3.5 los resultados de las probetas diseñadas con la resina ABS LIKE obtuvieron mejores resultados en los aspectos de resistencia última a la tracción y el límite de fluencia en comparación con las probetas realizadas con la resina ANYCUBIC UV. Considerando los valores de las propiedades mecánicas de cada uno de ellos, por ejemplo, en los valores promedio del límite de fluencia y la resistencia última a la tracción (24,33 MPa y 28 MPa respectivamente) para el primer material y (6 MPa y 14 MPa respectivamente) para el otro material, se seleccionó el material con mejores características para el diseño y simulación por FEM.

Tabla 3.5 Promedio de límite de fluencia y resistencia a tracción.

ID Probeta	Límite de Fluencia Sy		Resistencia a Tracción SUT		ID Probeta	Límite de Fluencia Sy		Resistencia a Tracción SUT	
	KSI	MPa	KSI	MPa		KSI	MPa	KSI	MPa
ABS-1	3,53	24	3,76	26	ANY-I	0,79	5	1,83	13
ABS-2	3,35	23	3,86	27	ANY-2	1,04	7	2,44	17
ABS-3	3,77	26	4,45	31	ANY-3	0,86	6	1,75	12
PROMEDIO	3,55	24,33	4,02	28	PROMEDIO	0,896	6	2,01	14

3.2. RESULTADOS DEL DISEÑO CAD

Los resultados del diseño CAD de la manija empleando los equipos como el escaneo, y su modelado en el software Solidworks se explican a continuación.

3.2.1 ESCANEADO DE LA AUTOPARTE

Se escaneó las piezas por partes para luego generar la unión de estas dentro del software a fin de tener el elemento 3D completo virtualizado como se puede observar en la figura 3.7. La finalidad de realizar el escaneo por partes se debe a que se busca obtener un escaneo mucho más claro y con todas las características posibles para así poder lograr un detallado mucho más viable y a su vez acortar los tiempos de reconstrucción del modelo en el software.

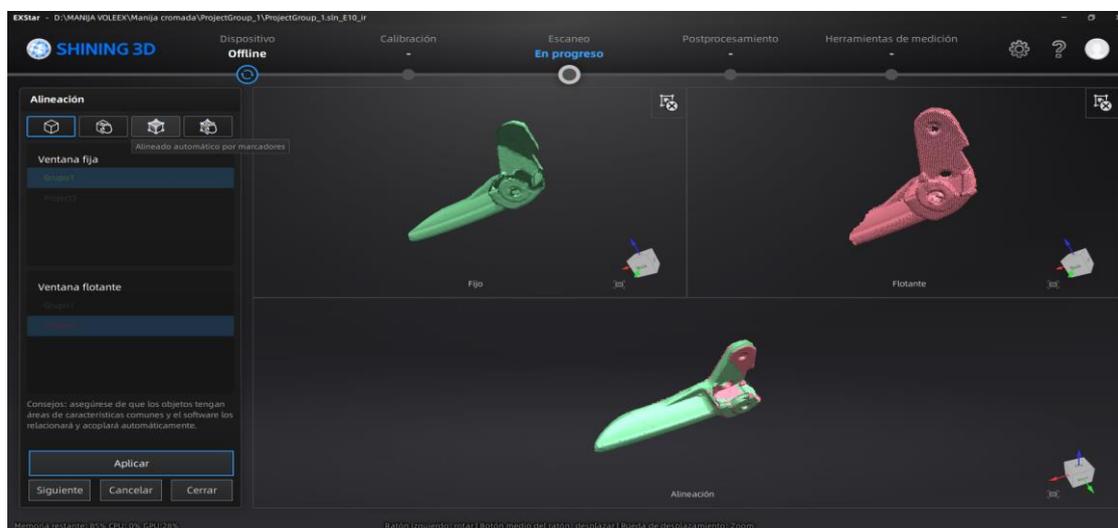


Figura 3.7 Unión de partes para la obtención de la manija

Luego de escanear el modelo desde sus distintos ángulos se realizó la limpieza de elementos este proceso nos sirve para eliminar o corregir defectos que no son útiles en el archivo de escaneo para finalmente exportar el archivo en formato STL en tamaño real del elemento como se observa en la figura 3.8, para posteriormente revisar detalles y pasar a la etapa de la impresión de la pieza con las diferentes resinas.

Además, se exporta otro archivo en formato SLDR para ser abierto en el software de SolidWorks, con el objetivo de obtener un modelado y posteriormente realizar la simulación la pieza mediante la metodología FEM.

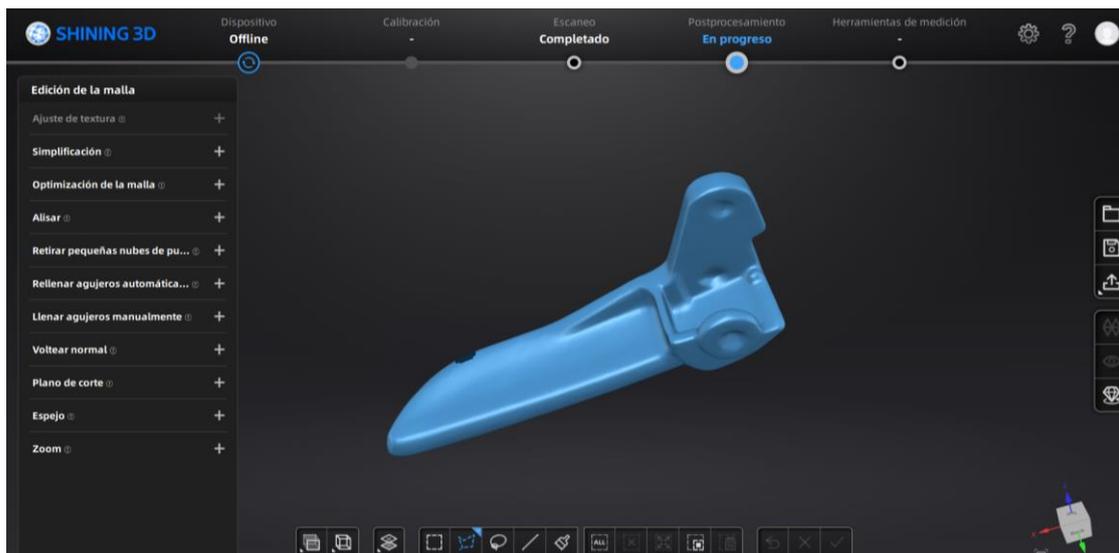


Figura 3.8 Manija escaneada para exportar en STL

3.2.2 MODELADO ORIGINAL DE LA AUTOPARTE (D0)

Con el uso de las herramientas de modelado que dispone el software SolidWorks como la creación de planos, croquis 2D, operaciones de superficie y operaciones de sólidos se obtuvo el modelo 3D de la manija como se observa en la figura 3.9. Para asegurar el dimensionamiento del elemento fue necesario además tomar algunas medidas como el diámetro de orificios y espesores con el uso de un calibrador para garantizar así mayor precisión a la hora de replicar la autoparte de forma física, obteniendo así el modelado de la manija original.

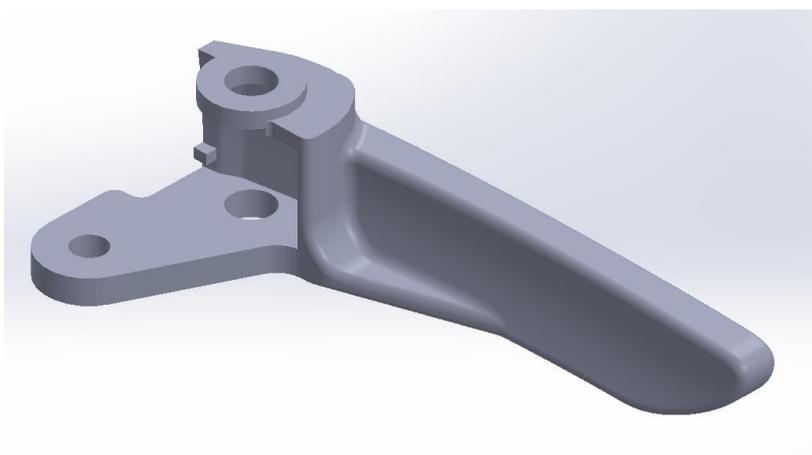


Figura 3.9 Modelado 3D de la manija original en base al escaneo 3D

3.2.3 MODELADO DEL DISEÑO PROPUESTO DE LA AUTOPARTE (D1)

Con la utilización de las herramientas de modelado que dispone el software SolidWorks como la creación de planos, croquis 2D, operaciones de superficie y operaciones de sólidos se obtuvo el modelo 3D de la manija como se observa en la figura 3.10. En base el diseño

original se desarrolló las mejoras correspondientes al diseño propuesto (D1) obteniendo así el modelado de la manija mejorada, en la cual se ha agregado un soporte como se muestra en la zona A y un refuerzo en la zona B a fin de reducir la aparición de posibles fisuras en los cambios de sección de la pieza.

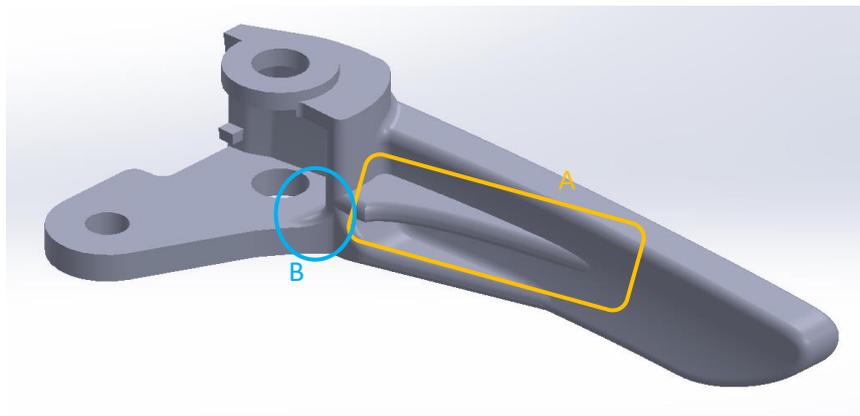


Figura 3.10 Modelado 3D de la manija propuesta (D1) en base al escaneo 3D

3.2.4 MODELADO DEL DISEÑO PROPUESTO DE LA AUTOPARTE (D2)

En base el diseño original se desarrolló las mejoras correspondientes al diseño propuesto (D2) obteniendo así el modelado de la manija mejorada indicado en la figura 3.11, en la cual se ha agregado un soporte más ligero a lo largo de toda la manija como se indica en la zona A con la finalidad de lograr una distribución uniforme de los esfuerzos y se incorporó un refuerzo en la zona B para lograr un cambio de sección suave en la zona de posibles apariciones de fisuras.

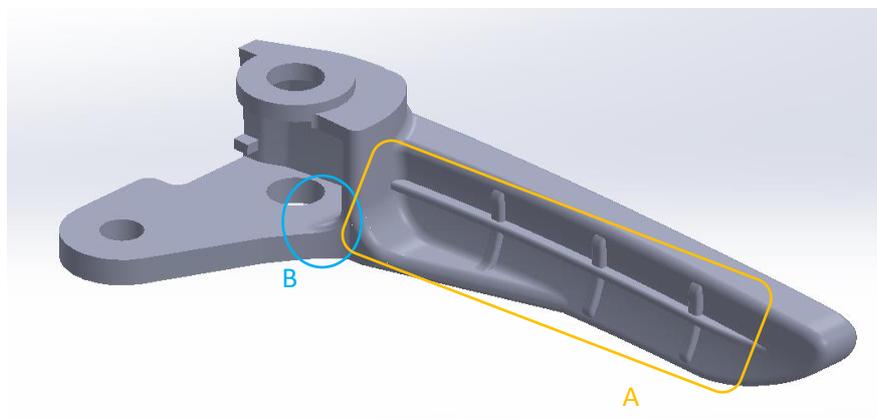


Figura 3.11 Propuesta de diseño 2 (D2) de la manija

3.3. PARÁMETROS DE SIMULACIÓN

Con el diseño establecido y seleccionado en material de la misma, se procede con el análisis de la autoparte, para ello se considera la calidad del mallado de la pieza y las condiciones de borde; cargas y fijaciones.

3.3.1 CALIDAD DEL MALLADO

Para determinar la calidad de la malla del ensamble se empleó el criterio de "Element Quality" para validar la calidad de la malla, que varía de 0 a 1, donde 0 representa una calidad inaceptable y 1 una calidad excelente. Los valores promedio de la malla se muestran en las figuras siguientes, específicas para cada uno de los modelos.

3.3.1.1 Calidad de Mallado del Diseño Original (D0)

Para la simulación de la pieza original, se realiza y plantea algunas consideraciones que se introducen en el software con la finalidad de obtener los resultados con más confiabilidad, es así que el proceso de realizar la malla se debe considerar el tipo de mallado, en este caso se empleó una malla de alta calidad y densidad de malla del tipo fina. La malla debe aplicarse a toda la pieza como se puede observar en la figura 3.12.

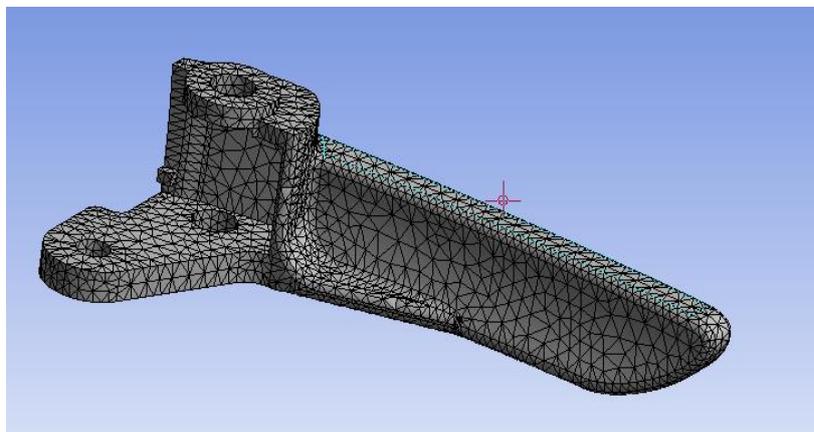


Figura 3.12 Mallado diseño original (D0)

EL software nos indica los resultados de la calidad de la malla como se puede observar en la figura 3.13, que, para el análisis estructural del modelo original, se obtuvo un valor promedio de 0,70 lo cual está en el rango de "Muy Bueno" según el espectro de métrica de calidad de malla lo que también representa una calidad de malla muy buena y brinda confiabilidad en los resultados de las simulaciones.

Details of "Mesh"	
[-] Display	
Display Style	Use Geometry Setting
[-] Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Element Order	Program Controlled
<input type="checkbox"/> Element Size	1,5 mm
[+] Sizing	
[-] Quality	
Check Mesh Qua...	Yes, Errors
Error Limits	Aggressive Mechanical
<input type="checkbox"/> Target Elemen...	Default (5, e-002)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	Element Quality
<input type="checkbox"/> Min	8,5677e-002
<input type="checkbox"/> Max	0,99915
<input type="checkbox"/> Average	0,70393
<input type="checkbox"/> Standard Devi...	0,15117
[+] Inflation	

Figura 3.13 Resultados de la calidad de malla del diseño original D0.

3.3.1.2 Calidad de Mallado del Diseño Propuesto (D1)

Para la simulación de la pieza propuesta denominada con el diseño D1, se realiza y plantea nuevamente las consideraciones que se introducen en el software con la finalidad de obtener los resultados con más confiabilidad, es así que el proceso de realizar la malla se debe considerar el tipo de mallado, en este caso se emplea la misma malla con alta calidad y densidad de malla del tipo fina. La malla debe aplicarse a toda la pieza como se puede observar en la figura 3.14.

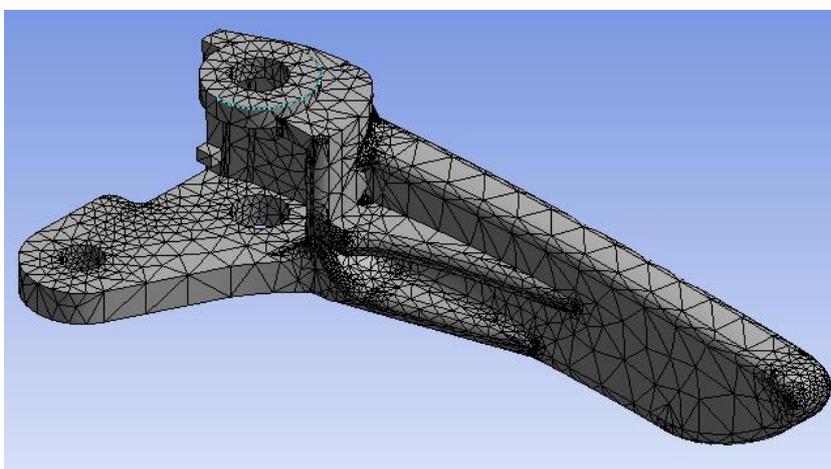


Figura 3.14 Mallado diseño 1 (D1)

EL software nos indica los resultados de la calidad de la malla como se puede observar en la figura 3.15, que, para el análisis estructural del modelo propuesto D1, se obtuvo un valor promedio de 0,72 lo cual está en el rango de “Muy Bueno” según el espectro de métrica de calidad de malla lo que también representa una calidad de malla muy buena y brinda confiabilidad en los resultados de las simulaciones

+	Sizing	
-	Quality	
	Check Mesh Qua...	Yes, Errors
	Error Limits	Aggressive Mechanical
	<input type="checkbox"/> Target Elemen...	Default (5,e-002)
	Smoothing	Medium
	Mesh Metric	Element Quality
	<input type="checkbox"/> Min	3,6782e-002
	<input type="checkbox"/> Max	0,99997
	<input type="checkbox"/> Average	0,72381
	<input type="checkbox"/> Standard Devi...	0,1659
+	Inflation	
+	Advanced	
+	Statistics	

Figura 3.15 Resultados de la calidad de malla del diseño D1.

3.3.1.3 Calidad de Mallado del Diseño Propuesto (D2)

Para la simulación de la pieza propuesta denominada con el diseño D2, se realiza y plantea nuevamente las consideraciones que se introducen en el software con la finalidad de obtener los resultados con más confiabilidad, es así que el proceso de realizar la malla se debe considerar el tipo de mallado, en este caso se emplea la misma malla con alta calidad y densidad de malla del tipo fina. La malla debe aplicarse a toda la pieza como se puede observar en la figura 3.16.

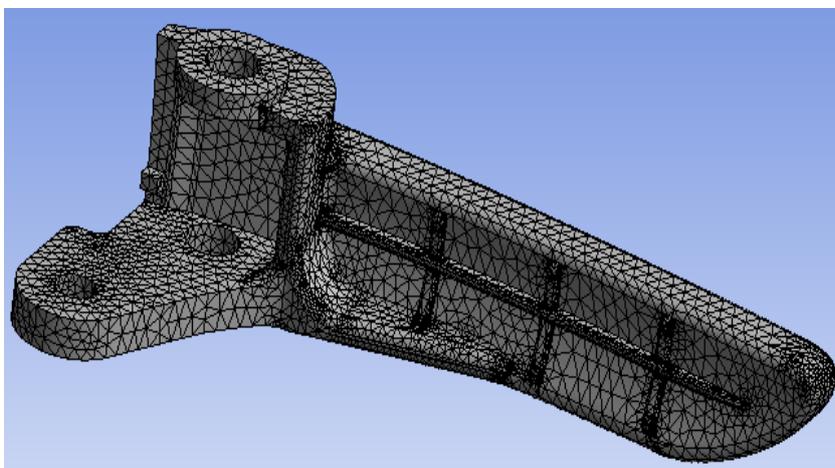


Figura 3.16 Mallado diseño 2 (D2).

EL software nos indica los resultados de la calidad de la malla como se puede observar en la figura 3.17, que, para el análisis estructural del modelo propuesto D1, se obtuvo un valor promedio de 0,76 lo cual está en el rango de “Muy Bueno” según el espectro de métrica de calidad de malla lo que también representa una calidad de malla muy buena y brinda confiabilidad en los resultados de las simulaciones.

⊕ Sizing	
⊖ Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
Error Limits	Aggressive Mechanical
<input type="checkbox"/> Target Element Quality	Default (5, e-002)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	Element Quality
<input type="checkbox"/> Min	3,7555e-002
<input type="checkbox"/> Max	0,99993
<input type="checkbox"/> Average	0,76645
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,1388

Figura 3.17 Resultados de la calidad de malla del diseño D2.

3.3.2 CONDICIONES DE BORDE

Para el proceso de simulación computacional se colocaron las siguientes condiciones indicadas en la figura 3.18. Las imágenes a continuación muestran los parámetros de borde ingresados en el software para el respectivo análisis estructural.

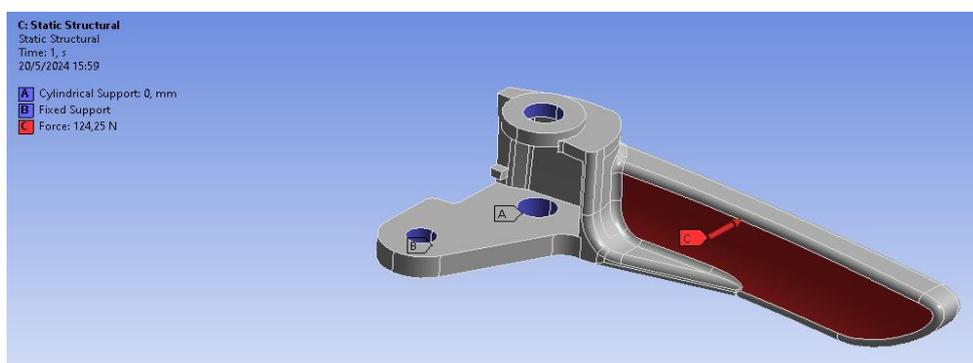


Figura 3.18 Condiciones de borde para simulación de manija

3.4. RESULTADOS DEL PROCESO DE SIMULACIÓN

3.4.1 PROPIEDADES FÍSICAS

Se detallan los resultados de masa para cada uno de los modelos con la asignación de cada material como se identifica en la tabla 3.6, así como también los resultados de volumen para cada uno de los modelos lo cual es relevante para conocer la cantidad de material a utilizar en dichos modelos.

Tabla 3.6 Valores de la masa de la manija por modelo y material

DISEÑO	VOLUMEN	MASA CON M0	MASA CON M1
D0	17,27 cm ³	17,61 g	18,98 g
D1	18,02 cm ³	18,38 g	19,83 g
D2	17,9 cm ³	18,26 g	19,69 g

3.4.2 RESULTADOS DEL ANÁLISIS ESTRUCTURAL MODELO ORIGINAL (D0) CON MATERIAL ABS ORIGINAL (M0)

Considerando la carga de 124,25 N que es una situación no rutinaria y extrema de acuerdo a la capacidad de halar de una persona enfocado a la manija de puerta de un vehículo, se llevó a cabo las simulaciones FEM. Cabe recalcar que estos análisis se llevaron a cabo con la carga máxima antes mencionada (124,25 N) buscando mejorar la distribución de esfuerzo a la manija, sin que afecte significativamente la deformación y el factor de seguridad de los modelos propuestos tanto en diseño como en material alternativo.

En la figura 3.19 se determinó que el esfuerzo máximo experimentado fue de 45,4 MPa, justamente en la zona real de falla de este elemento.

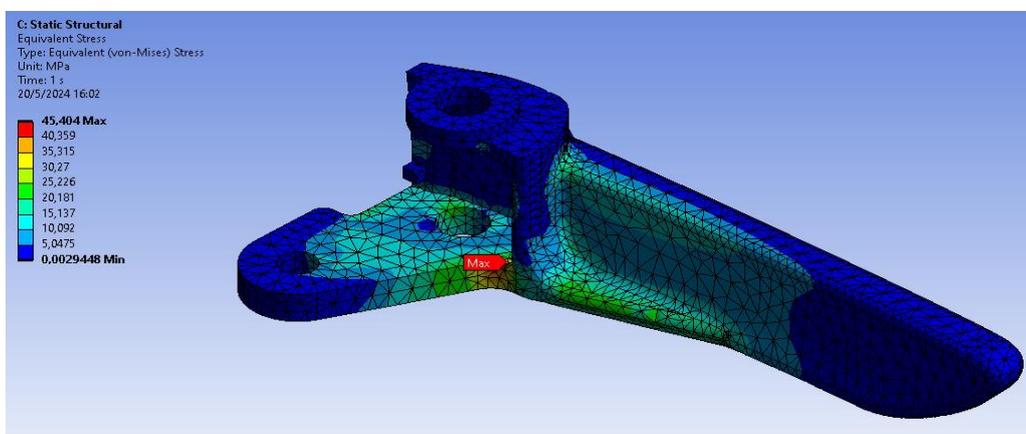


Figura 3.19 Esfuerzo de Von Mises D0-M0

Asimismo, la deformación registrada en la zona donde se presenta mayor esfuerzo aproximadamente es de 0,21 mm. Además, como se puede observar en la figura 3.20, la mayor deformación se tendría en la zona roja que como se indica en el espectro métrica obteniendo una deformación del 8,03 mm.

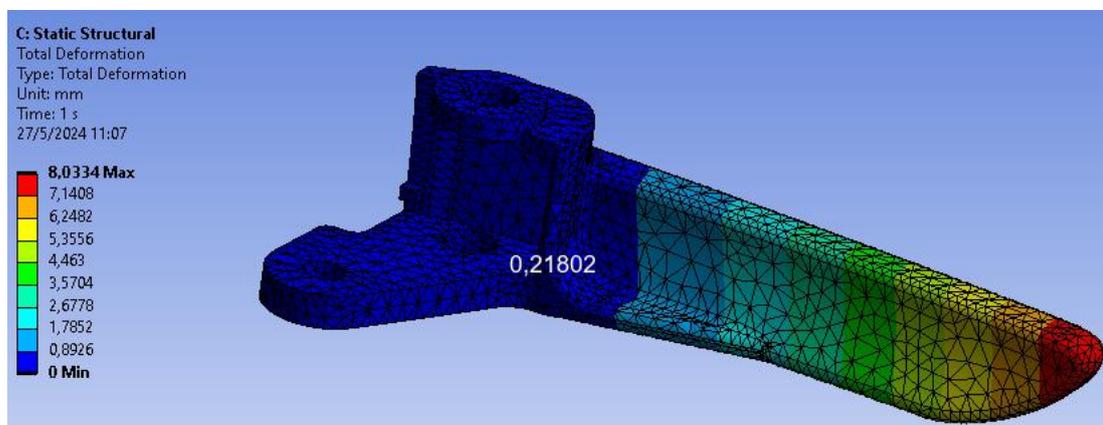


Figura 3.20 Deformación D0-M0

Un punto importante de los resultados es el factor de seguridad que en este caso se obtuvo el resultado de 0,6 indicado en la figura 3.21. Considerando este factor de seguridad, la manija original con el material propio alcanzaría una fuerza máxima de resistencia de 74,55 N sin que llegue a deformarse.

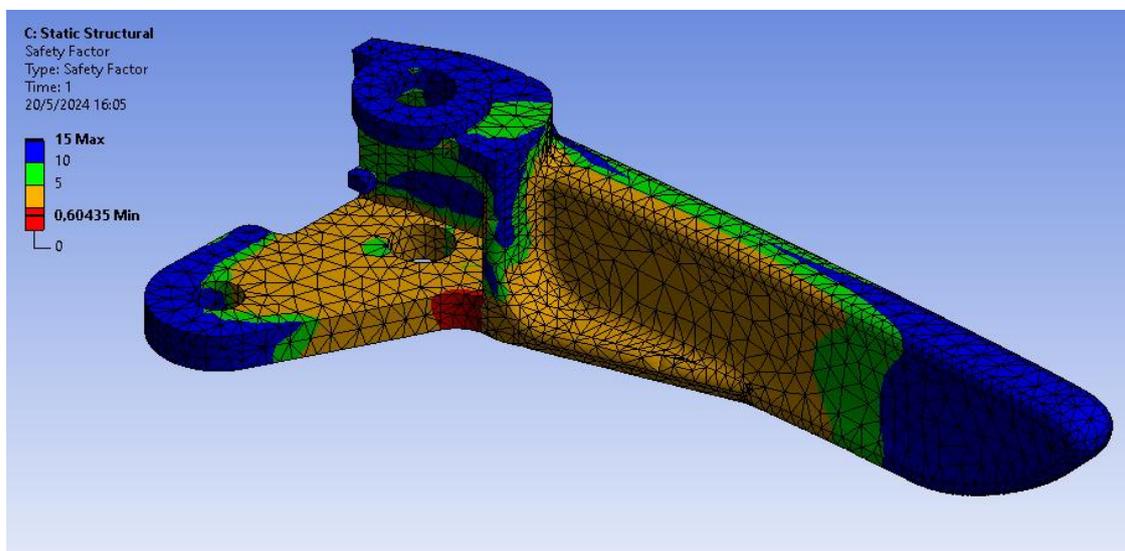


Figura 3.21 Factor de seguridad D0-M0

3.4.3 RESULTADOS DEL ANÁLISIS ESTRUCTURAL DISEÑO 1 (D1) CON MATERIAL ABS ORIGINAL (M0)

La primera propuesta de diseño se analizó con el material original dando los siguientes resultados. Con respecto al D0M0, en este caso el esfuerzo disminuyó a 36,84 MPa como se puede observar en la figura 3.22, justamente en la zona real de falla de este elemento.

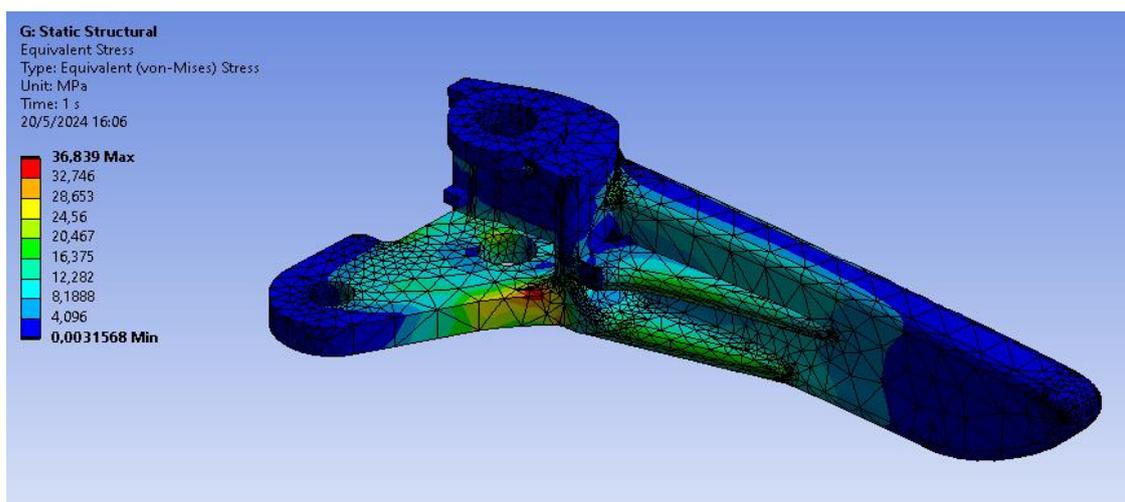


Figura 3.22 Esfuerzo de Von Mises D1-M0

La deformación con la carga de 36,84 MPa se mantuvo la deformación aproximadamente en 0,209 mm como se puede observar en la figura 3.23. Además, como se puede observar en la

figura 3.23, la mayor deformación se tendría en la zona roja que como se indica en el espectro métrica obteniendo una deformación del 7,22 mm.

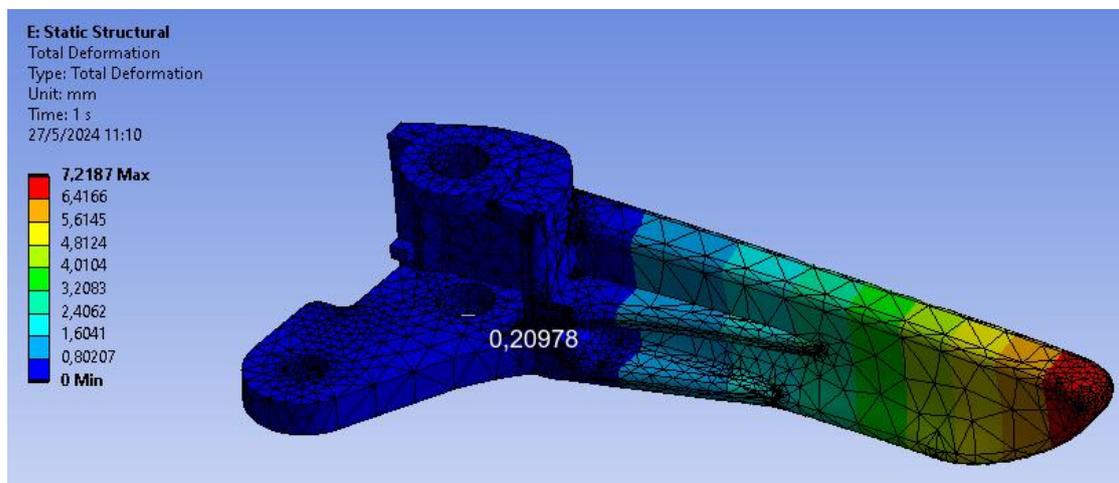


Figura 3.23 Deformación D1-M0

Con respecto al factor de seguridad en este diseño aumentó a 0,74 como se indica en la figura 61 lo que significaría que avanzaría a resistir una fuerza de 92 N sin deformarse. A su vez, como se puede observar en la figura 3.24, el factor de seguridad máximo se tendría en la zona azul que como se indica en el espectro métrica obteniendo el valor de 15.

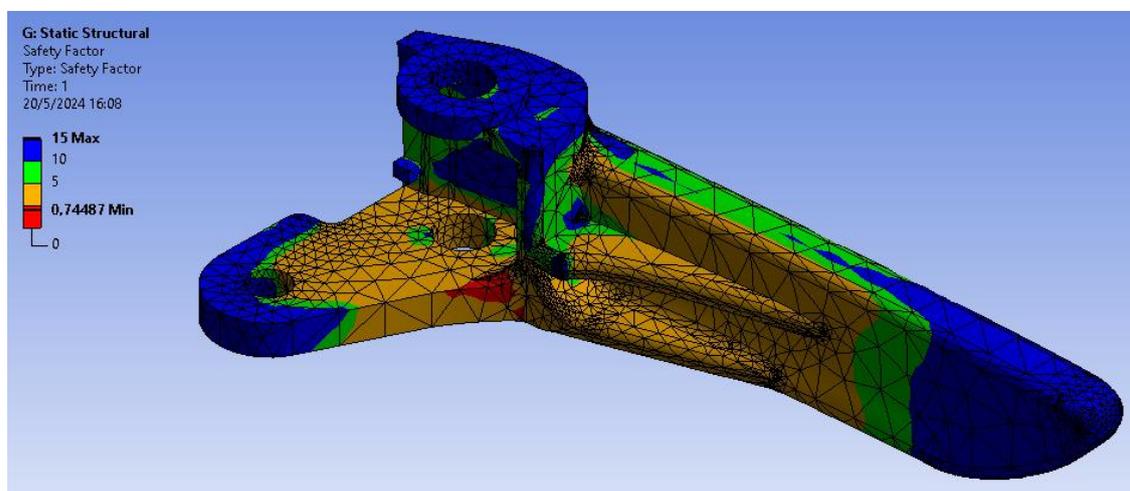


Figura 3.24 Factor de seguridad D1-M0

3.4.4 RESULTADOS DEL ANÁLISIS ESTRUCTURAL DISEÑO 2 (D2) CON MATERIAL ABS ORIGINAL (M0)

La segunda propuesta de diseño se analizó con el material original dando los siguientes resultados. Con respecto al D0M0, en este caso el esfuerzo disminuyó a 37,07 MPa como se puede observar en la figura 3.25, justamente en la zona real de falla de este elemento.

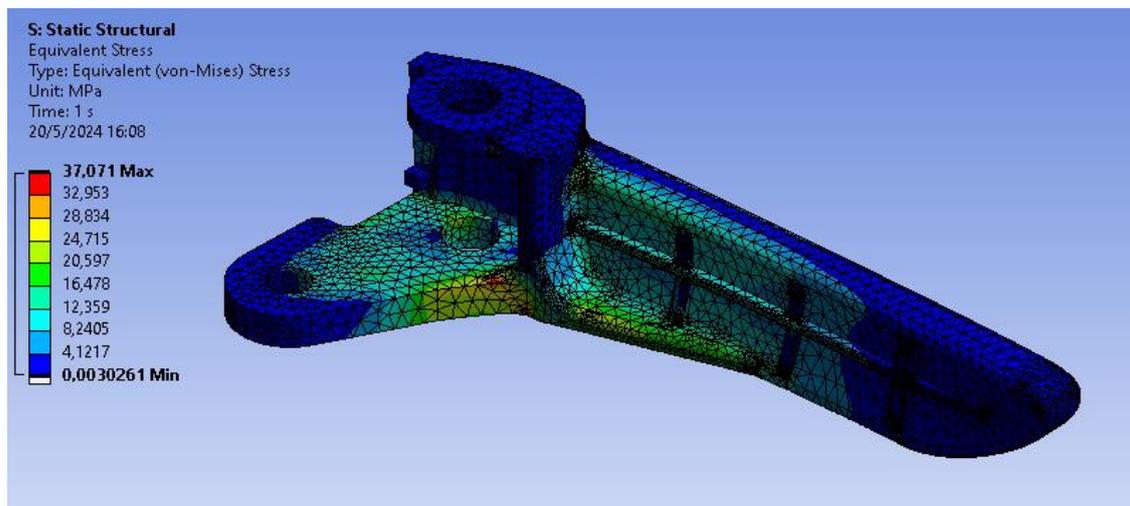


Figura 3.25 Esfuerzo de Von Mises D2-M0

La deformación con la carga de 37,07 MPa se mantuvo la deformación aproximadamente en 0,21 mm como se puede observar en la figura 3.26. Además, como se puede observar en la figura 3.26, la mayor deformación se tendría en la zona roja que como se indica en el espectro métrica obteniendo una deformación del 7,44 mm.

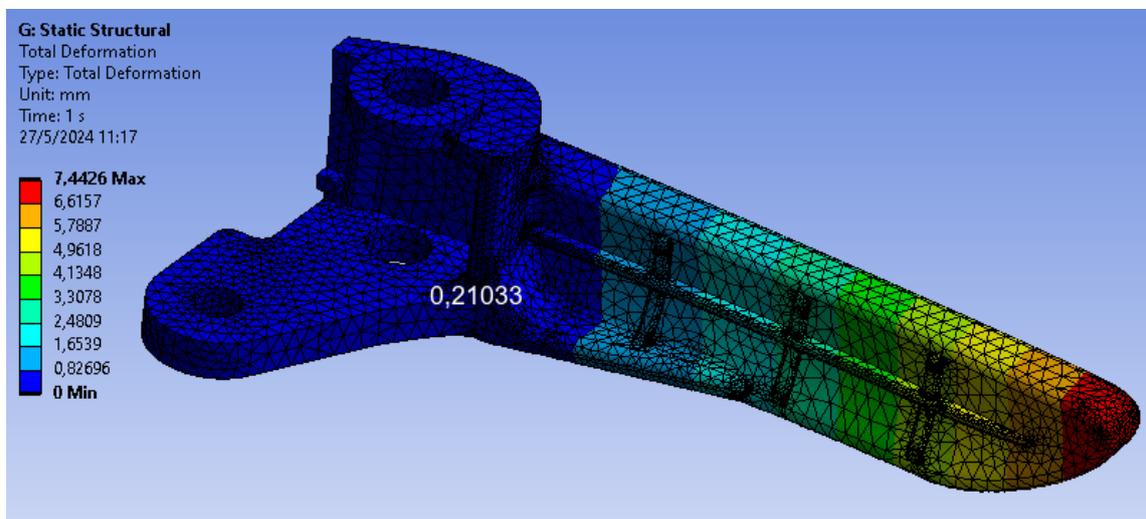


Figura 3.26 Deformación D2-M0

Con respecto al factor de seguridad en este diseño aumentó a 0,74 como se indica en la figura 64 lo que significaría que avanzaría a resistir una fuerza de 92 N sin deformarse. A su vez, como se puede observar en la figura 3.27, el factor de seguridad máximo se tendría en la zona azul que como se indica en el espectro métrica obteniendo el valor de 15.

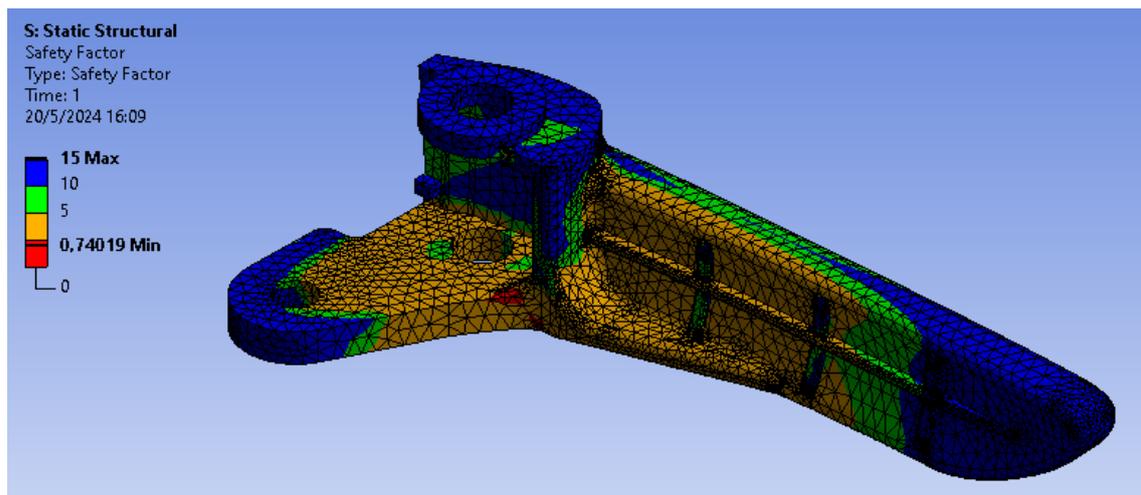


Figura 3.27 Factor de seguridad D2-M0

3.4.5 RESULTADOS DEL ANÁLISIS ESTRUCTURAL MODELO ORIGINAL (D0) CON MATERIAL ELEGOO ABS LIKE (M1)

El esfuerzo máximo se obtuvo de 45,44 MPa, como se puede observar en la figura 3.28, justamente en la zona real de falla de este elemento como en el anterior diseño.

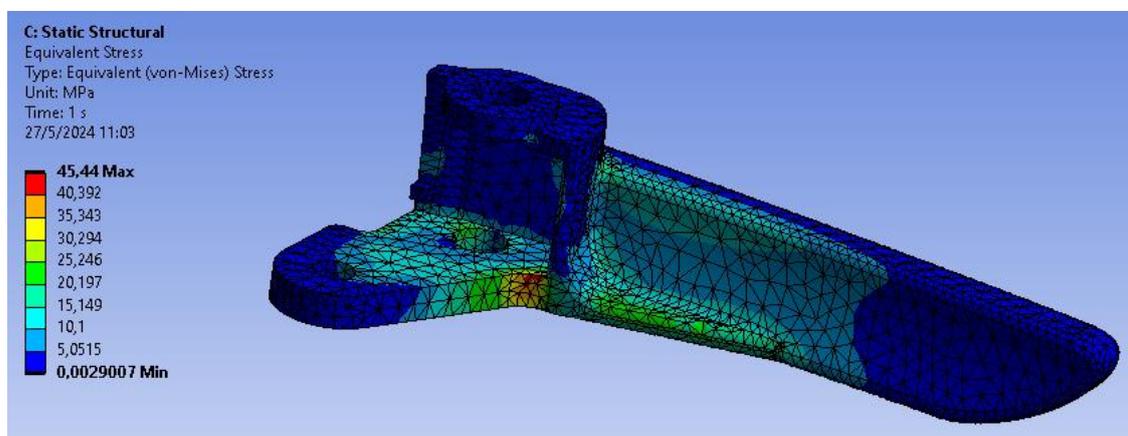


Figura 3.28 Esfuerzo de Von Mises D0-M1

La deformación con la carga de 45,44 MPa se mantuvo la deformación aproximadamente en 0,27 mm como se puede observar en la figura 3.29. Además, como se puede observar en la figura 3.29, la mayor deformación se tendría en la zona roja que como se indica en el espectro métrica obteniendo una deformación del 13,08 mm.

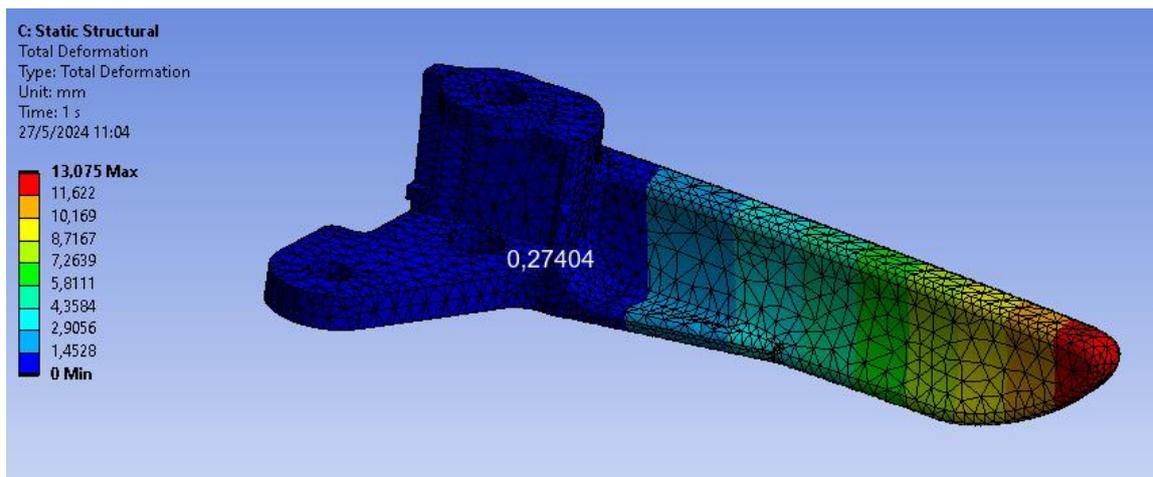


Figura 3.29 Deformación D0-M1

Con respecto al factor de seguridad en este diseño da como resultado el valor de 0,534 como se indica en la figura 3.30 lo que significaría que avanzaría a resistir una fuerza de 65.85 N sin deformarse. Además, como se puede observar en la figura 3.30, el factor de seguridad máximo se tendría en la zona azul que como se indica en el espectro métrica obteniendo el valor de 15.

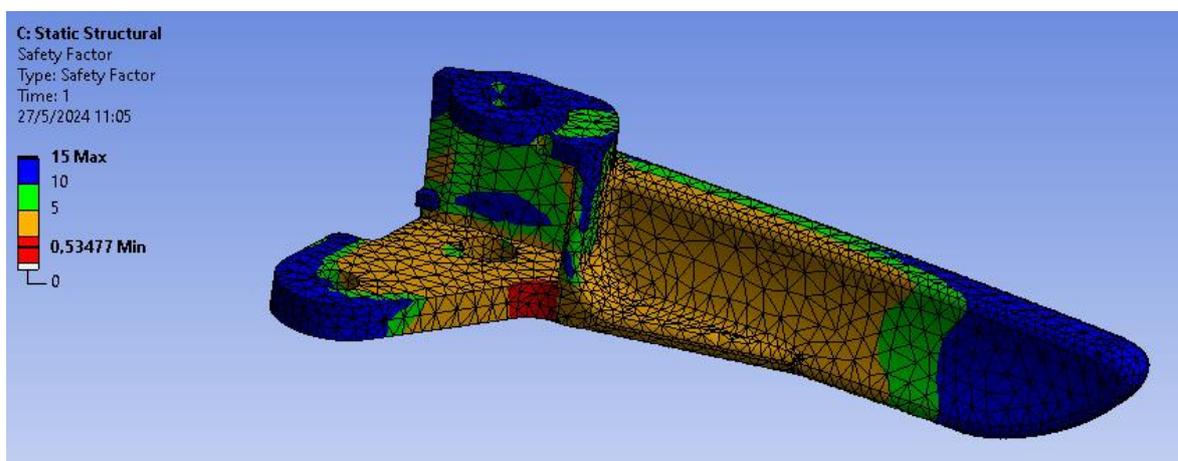


Figura 3.30 Factor de seguridad D0-M1

3.4.6 RESULTADOS DEL ANÁLISIS ESTRUCTURAL DISEÑO 1 (D1) CON MATERIAL ELEGOO ABS LIKE (M1)

El diseño 1 se analizó con el material propuesto dando los siguientes resultados.

El esfuerzo máximo respecto al D0M1, el esfuerzo disminuyó a 36,71 MPa, como se puede observar en la figura 3.31, justamente en la zona real de falla de este elemento como en el anterior diseño.

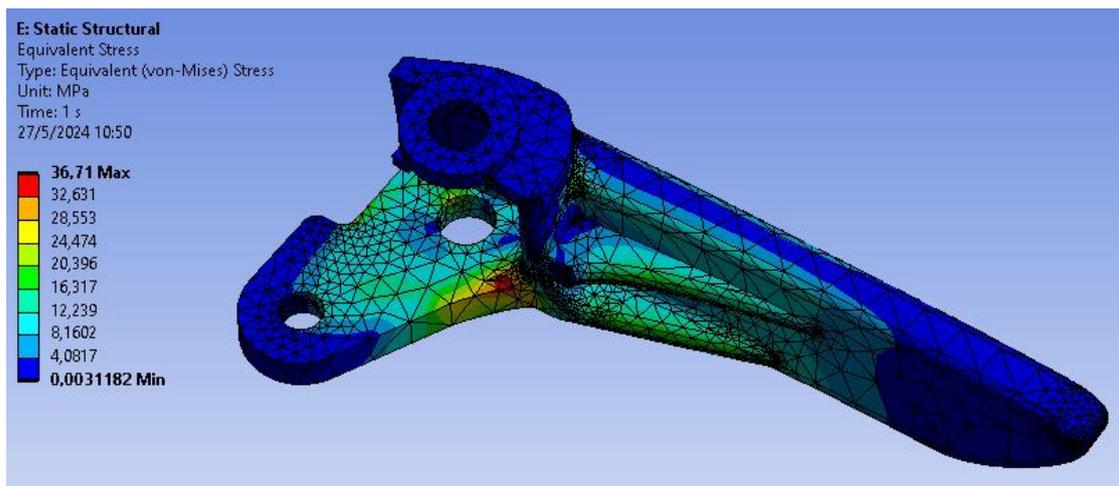


Figura 3.31 Esfuerzo de Von Mises D1-M1

La deformación con la carga de 36,71 MPa disminuyó aproximadamente en 0,23 mm como se puede observar en la figura 3.32. Además, como se puede observar en la figura 3.32, la mayor deformación se tendría en la zona roja que como se indica en el espectro métrica obteniendo una deformación del 11,75 mm.

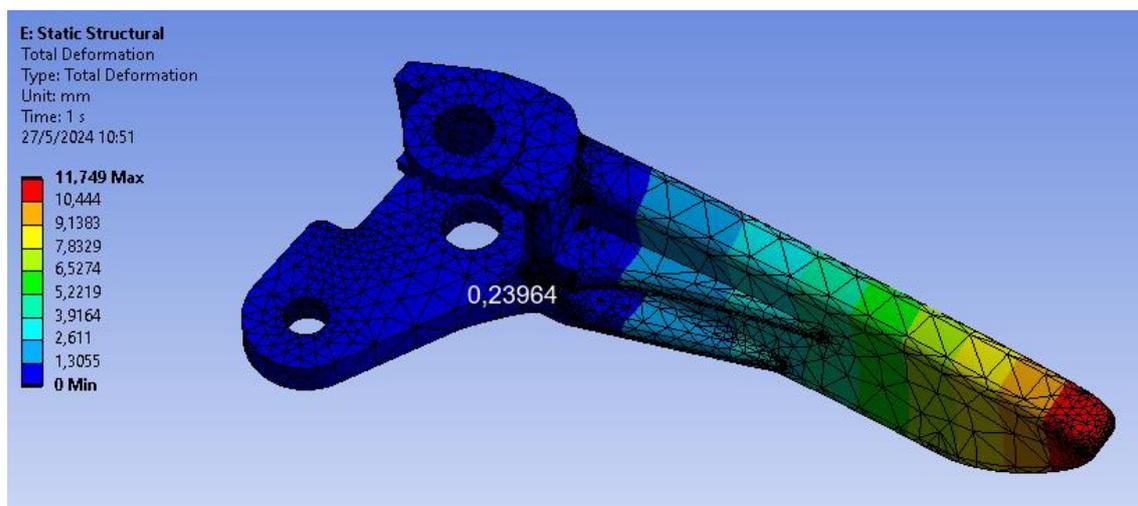


Figura 3.32 Deformación D1-M1

Con respecto al factor de seguridad en este diseño da como resultado el valor de 0,66 como se indica en la figura 3.33 lo que significaría que avanzaría a resistir una fuerza de 82 N sin deformarse. A su vez, como se puede observar en la figura 3.33, el factor de seguridad máximo se tendría en la zona azul que como se indica en el espectro métrica obteniendo el valor de 15.

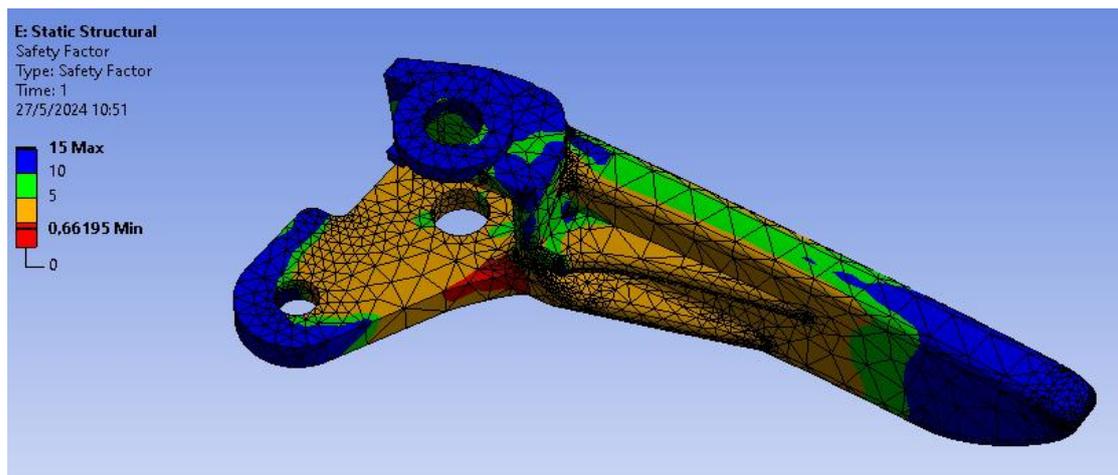


Figura 3.33 Factor de seguridad D1-M1

3.4.7 RESULTADOS DEL ANÁLISIS ESTRUCTURAL DISEÑO 2 (D2) CON MATERIAL ELEGOO ABS LIKE (M1)

El diseño 2 se analizó con el material propuesto dando los siguientes resultados.

El esfuerzo máximo respecto al D0M1, el esfuerzo disminuyó a 37,10 MPa, como se puede observar en la figura 3.34, justamente en la zona real de falla de este elemento como en el anterior diseño.

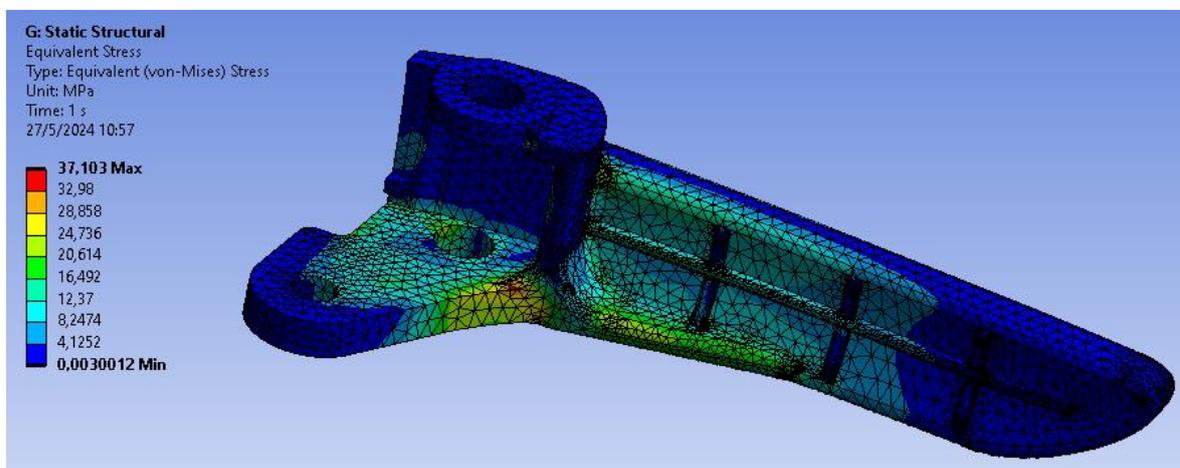


Figura 3.34 Esfuerzo de Von Mises D2-M1

La deformación con la carga de 37,10 MPa disminuyó aproximadamente en 0,239 mm como se puede observar en la figura 3.35. A su vez, como se puede observar en la figura 3.35, la mayor deformación se tendría en la zona roja que como se indica en el espectro métrica obteniendo una deformación del 12,11 mm.

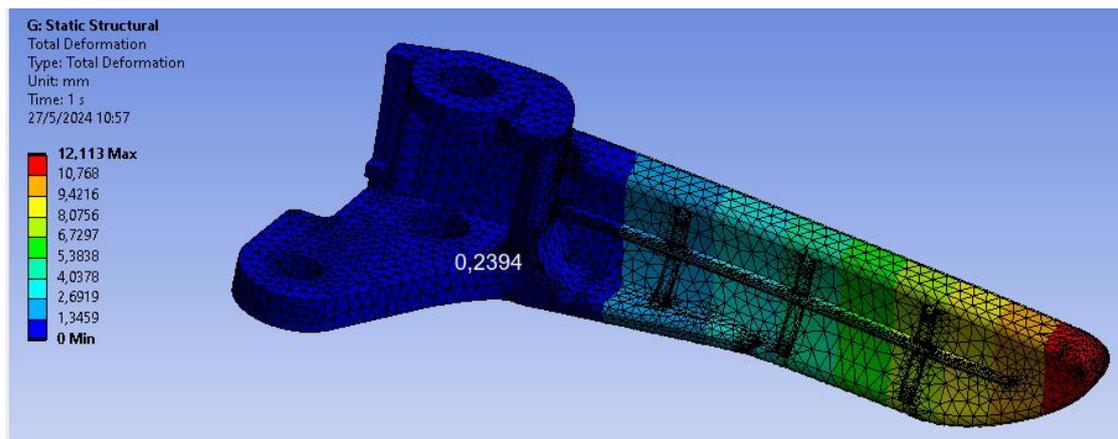


Figura 3.35 Deformación D2-M1

Con respecto al factor de seguridad en este diseño da como resultado el valor de 0,65 como se indica en la figura 3.36 lo que significaría que avanzaría a resistir una fuerza de 81 N sin deformarse. A su vez, como se puede observar en la figura 3.36, el factor de seguridad máximo se tendría en la zona azul que como se indica en el espectro métrica obteniendo el valor de 15.

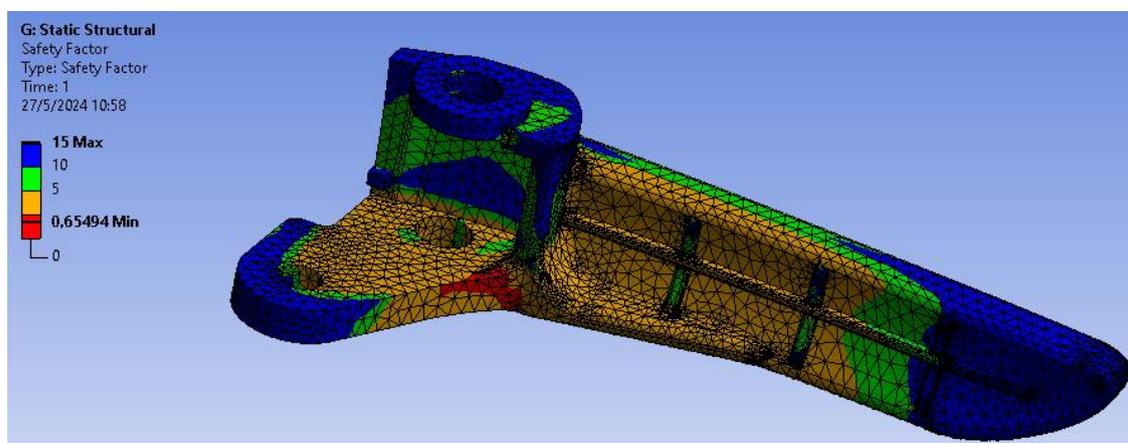


Figura 3.36 Factor de seguridad D2-M1

3.5. RESUMEN DE RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN FEM

La siguiente tabla 3.7, muestra un resumen de los resultados obtenidos de todos los ensayos de simulación considerando los diseños y materiales en estudio. De la tabla podemos observar que la manija con el diseño y material original alcanzaría a soportar una fuerza de 74,55 N sin deformarse lo que en todos los casos propuestos alcanzamos a incrementar la fuerza de resistencia del elemento considerando las alternativas de diseño y el material en resina.

Tabla 3.7 Resumen de resultados de la simulación FEM de la manija

CONFIGURACIÓN	ESFUERZO (MPa)	DEFORMACIÓN (mm)	FACTOR DE SEGURIDAD	FUERZA A SOPORTAR POR LA MANIJA (N)
D0M0	45,4	0,21	0,60	74,55
D1M0	36,83	0,21	0,74	92
D2M0	37	0,21	0,74	92
D0M1	45,44	0,27	0,53	65,85
D1M1	36,71	0,23	0,66	82
D2M1	37,1	0,23	0,65	81

En el caso D0M1 disminuye puesto que el diseño original se analiza con el material alternativo y que en este caso siendo la resina tipo ABS que presenta menores propiedades mecánicas obviamente disminuiría su resistencia, es por ello que los diseños propuestos desempeñan un papel muy importante al trabajar con resina a la hora de la simulación y posterior trabajo real de la manija. A su vez, el diseño D1M0 resulta mejor con sus características de acuerdo a la tabla 3,7.

3.6. IMPRESIÓN DE MANIJA CON RESINA ELEGOO ABS LIKE

La impresión de cada manija se realiza con el mismo archivo STL, con la diferencia de que se empleara dos tipos de resinas, por lo tanto, las renderizaciones serán las mismas, así como también el tiempo de impresión, peso y volumen.

3.6.1 RENDERIZACIÓN DEL DISEÑO ORIGINAL (D0) EN EL SOFTWARE

Posteriormente al diseño y simulación de la autoparte se procede con el procedimiento de la impresión el cual comienza con la importación del archivo STL del diseño D0 como se puede ver en la figura 3.37, en este caso se imprime una sola pieza debido a las dimensiones de la autoparte, correspondiente al diseño D0 del modelo original de la manija.

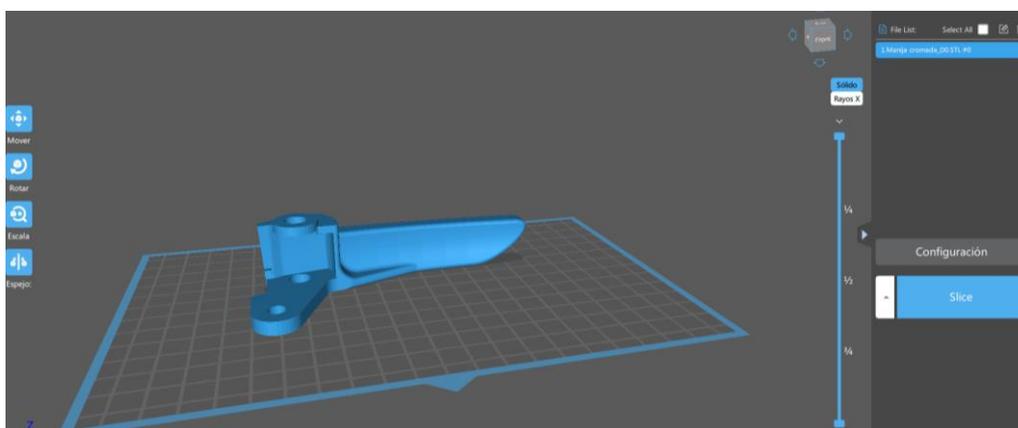


Figura 3.37 Renderización de la pieza D0 con resina ABS.

A su vez, tras la renderización el mismo software indica el tiempo de duración que en este caso es de 2 horas 50 minutos con 9 segundos, de igual manera el peso estimado por el software es de 190 gramos y por último el volumen de la pieza que es de 17,28 ml como se puede observar en la figura 3.38.

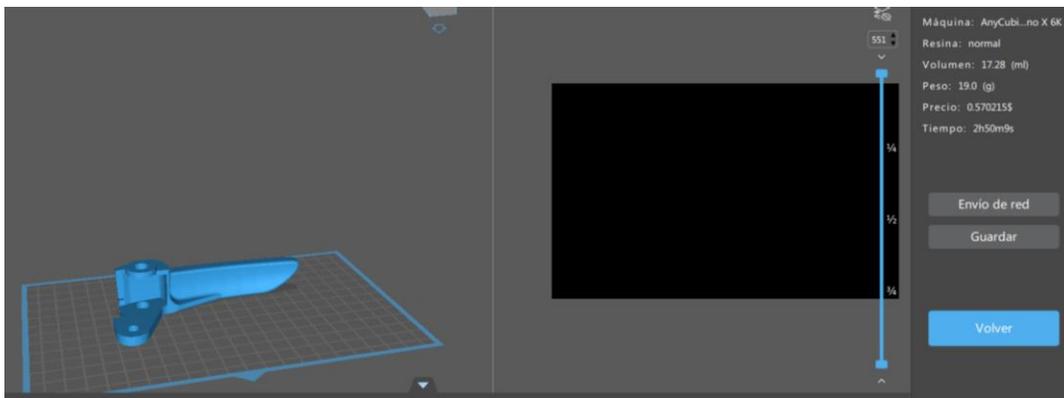


Figura 3.38 Tiempo, peso y volumen de la pieza D0 con resina ABS.

3.6.1.1 Limpieza de la pieza impresa

La limpieza de la pieza post a la impresión es fundamental para quitar el exceso de resina, es así que se realiza la limpieza usando alcohol del tipo isopropílico en toda la superficie de la autoparte asegurándose de retirar todo el excedente del material ya que al curar la pieza se tendrá problemas con respecto al acabado final, en este caso en el diseño D0 con resina ABS-LIKE se debió tener el debido cuidado en las bases ya que la pieza recién impresa presenta fragilidad.

3.6.1.2 Curado de la pieza

La pieza es sometida a un proceso de curado, con la finalidad mejorar su propiedad de endurecimiento por lo generar este proceso se lo puede hacer mediante la exposición de la pieza al sol y a su vez utilizando una base que posee un ventilador como se puede observar en la figura 3.39, todo el proceso de curado de la autoparte debe realizarse durante un tiempo de 30 minutos para garantizar la calidad de la pieza final.



Figura 3.39 Curado de la pieza D0 con resina ABS.

3.6.1.3 Dimensionamiento de la pieza impresa

Posterior al proceso de la impresión, se realiza una verificación de las medidas como método de control de calidad, a su vez estas medidas deben tener una tolerancia entre el rango de 0,1 mm a 0,5 mm de diferencia que el modelado de la autoparte, las medidas se pueden observar en la figura 3.40.

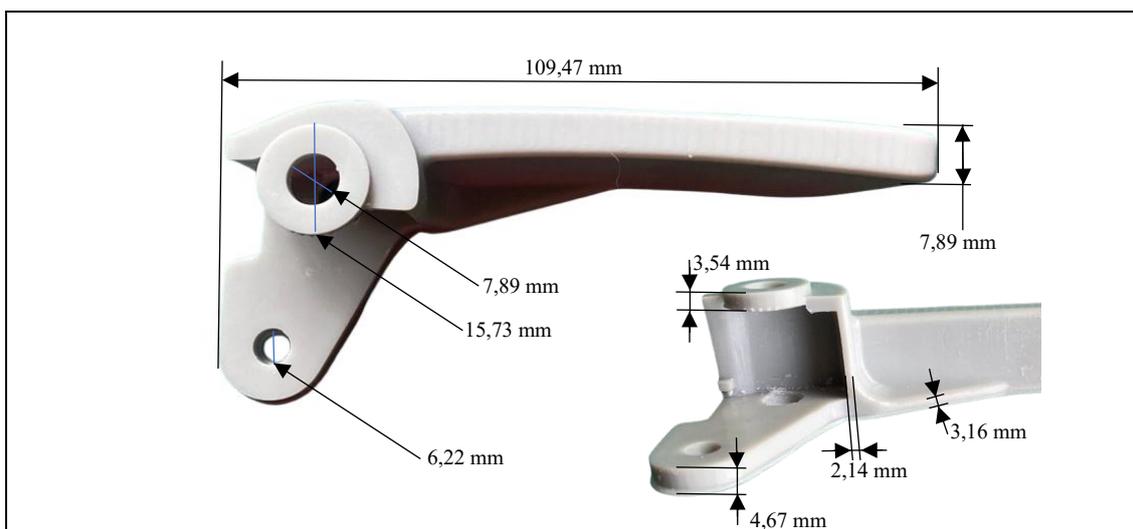


Figura 3.40 Dimensionamiento del diseño D0.

De igual manera, se realizó el peso de la autoparte que en este caso el diseño D0 tiene el peso de 22 gramos.

3.6.2 RENDERIZACIÓN DEL DISEÑO PROPUESTO (D1) EN EL SOFTWARE

Posteriormente al diseño y simulación de la autoparte se procede con el procedimiento de la impresión el cual comienza con la importación del archivo STL del diseño D1 como se puede indicar en la figura 3.41, en este caso se imprime una sola pieza debido a las dimensiones de la autoparte.

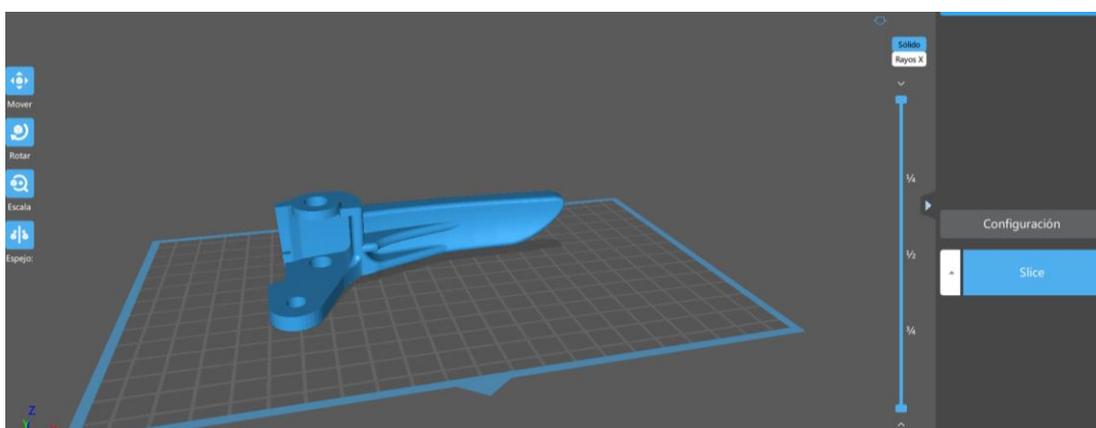


Figura 3.41 Renderización de la pieza D1 con resina ABS.

A su vez, tras la renderización el mismo programa indica el tiempo de duración que en este caso es de 2horas 50 minutos con 9 segundos, de igual manera el peso estimado por el software es de 198 gramos y por último el volumen de la pieza que es de 18,03 ml como se puede observar en la figura 3.42.

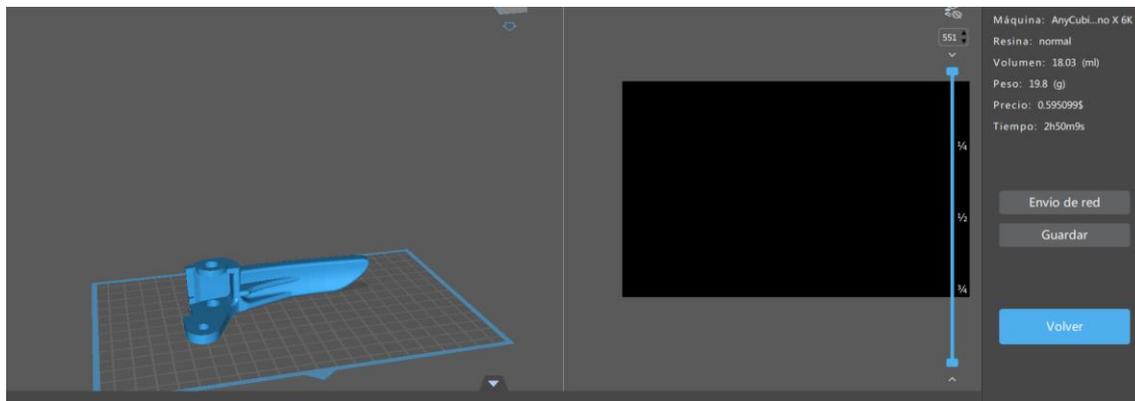


Figura 3.42 Tiempo, peso y volumen de la pieza D1 con resina ABS.

3.6.2.1 Limpieza de la pieza

La limpieza de la pieza post a la impresión es fundamental para quitar el exceso de resina, es así que se realiza la limpieza usando alcohol del tipo isopropílico en toda la superficie de la autoparte asegurándose de retirar todo el excedente del material ya que al curar la pieza se tendrá problemas con respecto al acabado final, en este caso en el diseño D1 con resina ABS-LIKE se debió tener el debido cuidado en las bases ya que la pieza recién impresa presenta fragilidad.

3.6.2.2 Curado de la pieza

La pieza es sometida a un proceso de curado, con la finalidad mejorar su propiedad de endurecimiento por lo generar este proceso se lo puede hacer mediante la exposición de la pieza a la fuente natural del sol y a su vez utilizando una base que posee un ventilador como se puede observar en la figura 3.43, todo el proceso de curado de la autoparte debe realizarse durante un tiempo de 30 minutos para garantizar la calidad de la pieza final.



Figura 3.43 Curado de la pieza D1 con resina ABS.

3.6.2.3 Dimensionamiento de la pieza impresa

Posterior al proceso de la impresión, se realiza una verificación de las medidas como método de control de calidad, a su vez estas medidas deben tener una tolerancia entre el rango de 0,1 mm a 0,5 mm de diferencia que el modelado de la autoparte, las medidas se pueden observar en la figura 3.44. De igual manera, se realizó el peso de la autoparte que en este caso el diseño D0 tiene el peso de 23 gramos.

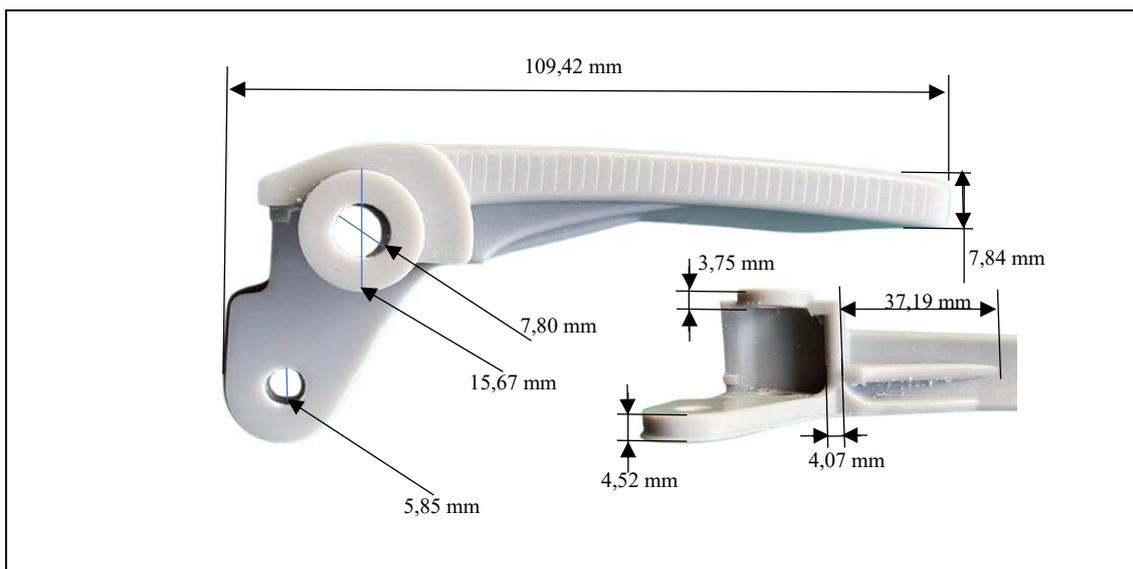


Figura 3.44 Dimensionamiento de la pieza D1.

3.6.3 RENDERIZACIÓN DEL DISEÑO PROPUESTO (D2) EN EL SOFTWARE

Posteriormente al diseño y simulación de la autoparte se procede con el procedimiento de la impresión el cual comienza con la importación del archivo STL del diseño D2 como se puede indicar en la figura 3.45, en este caso se imprime una sola pieza debido a las dimensiones de la autoparte.

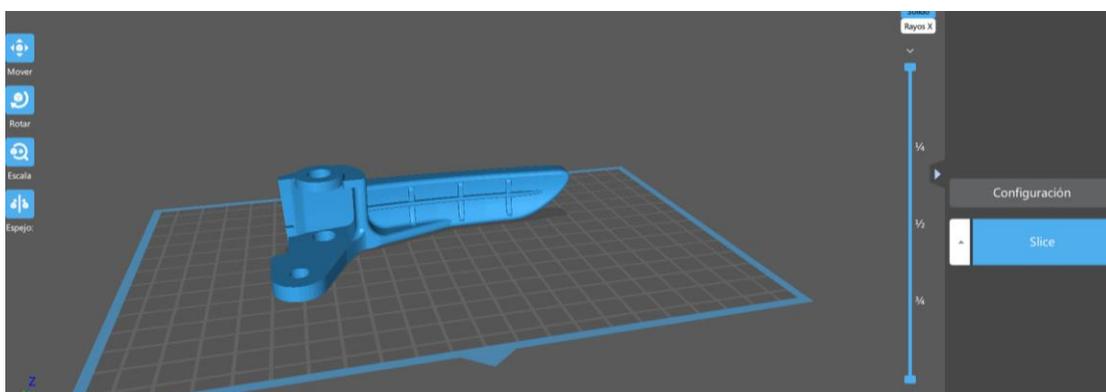


Figura 3.45 Renderización de la pieza D2 con resina ABS.

A su vez, tras la renderización el mismo programa indica el tiempo de duración que en este caso es de 2horas 54 minutos con 26 segundos, de igual manera el peso estimado por el

software es de 197 gramos y por último el volumen de la pieza que es de 17,91 ml como se puede observar en la figura 3.46.

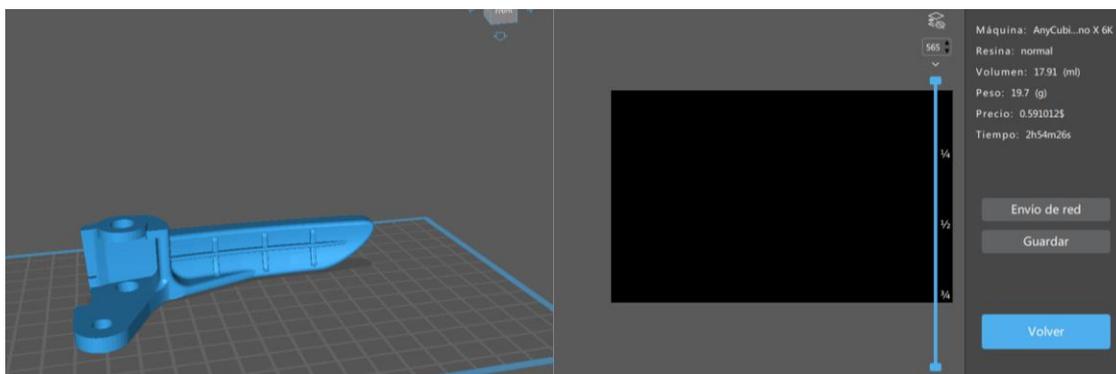


Figura 3.46 Tiempo, peso y volumen de la pieza D2 con resina ABS.

3.6.3.1 Limpieza de la pieza

La limpieza de la pieza post a la impresión es fundamental para quitar el exceso de resina, es así que se realiza la limpieza usando alcohol del tipo isopropílico en toda la superficie de la autoparte asegurándose de retirar todo el excedente del material ya que al curar la pieza se tendrá problemas con respecto al acabado final, en este caso en el diseño D2 con resina ABS-LIKE se debió tener el debido cuidado en las bases ya que la pieza recién impresa presenta fragilidad.

3.6.3.2 Curado de la pieza

La pieza es sometida a un proceso de curado, con la finalidad mejorar su propiedad de endurecimiento por lo generar este proceso se lo puede hacer mediante la exposición de la pieza al sol y a su vez utilizando una base que posee un ventilador como se puede observar en la figura 3.47, todo el proceso de curado de la autoparte debe realizarse durante un tiempo de 30 minutos para garantizar la calidad de la pieza final.



Figura 3.47 Curado de la pieza D2 con resina ABS.

3.6.3.3 Dimensionamiento de la pieza impresa

Posterior al proceso de la impresión, se realiza una verificación de las medidas como método de control de calidad, a su vez estas medidas deben tener una tolerancia entre el rango de 0,1 mm a 0,5 mm de diferencia que el modelado de la autoparte, las medidas se pueden observar en la figura 3.48. De igual manera, se realizó el peso de la autoparte que en este caso el diseño D0 tiene el peso de 23 gramos.

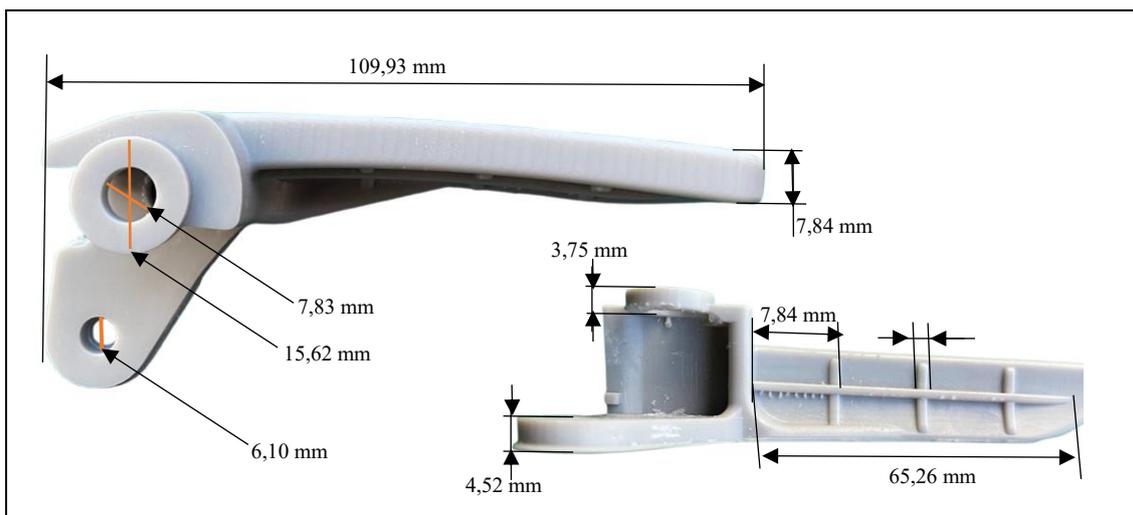


Figura 3.48. Dimensionamiento de pieza D2.

3.7. IMPRESIÓN DE MANIJA CON RESINA UV TOUGH ANYCUBIC

3.7.1 RENDERIZACIÓN DEL DISEÑO ORIGINAL (D0) EN EL SOFTWARE

Posteriormente al diseño y simulación de la autoparte se procede con el procedimiento de la impresión el cual comienza con la importación del archivo STL del diseño DO como se puede ver en la figura 3.49, en este caso se imprime una sola pieza debido a las dimensiones de la autoparte.

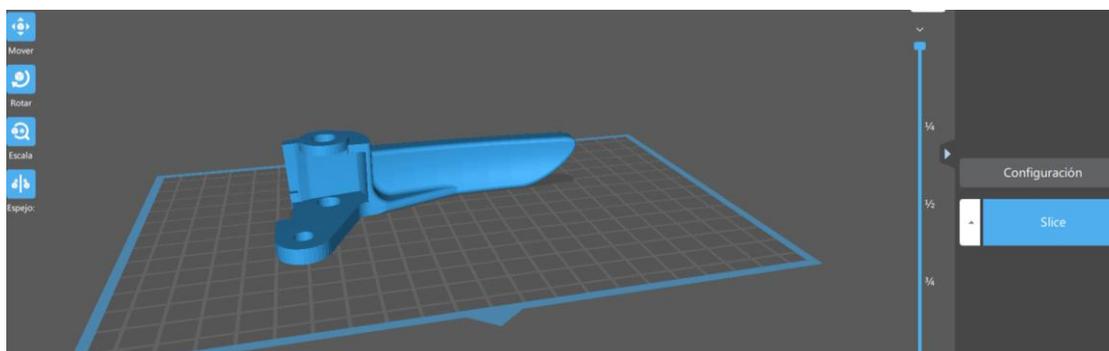


Figura 3.49 Renderización de la pieza D0

A su vez, tras la renderización el mismo software indica el tiempo de duración que en este caso es de 2 horas 50 minutos con 9 segundos, de igual manera el peso estimado por el software es de 190 gramos y por último el volumen de la pieza que es de 17,28 ml como se puede observar en la figura 3.50.

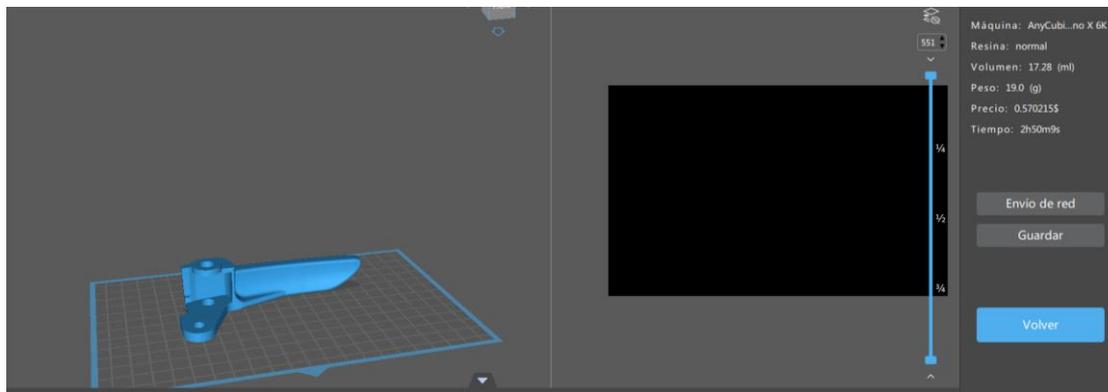


Figura 3.50 Tiempo, peso y volumen de la pieza D0 con resina AV Tough.

3.7.1.1 Limpieza de la pieza

La limpieza de la pieza post a la impresión es fundamental para quitar el exceso de resina, es así que se realiza la limpieza usando alcohol del tipo isopropílico en toda la superficie de la autoparte asegurándose de retirar todo el excedente del material ya que al curar la pieza se tendrá problemas con respecto al acabado final, en este caso en el diseño D0 con resina UV anycubic se debió tener el debido cuidado en las bases ya que la pieza recién impresa presenta fragilidad.

3.7.1.2 Curado de la pieza

La pieza es sometida a un proceso de curado, con la finalidad mejorar su propiedad de endurecimiento por lo generar este proceso se lo puede hacer mediante la exposición de la pieza al sol y a su vez utilizando una base que posee un ventilador como se puede observar en la figura 3.51, todo el proceso de curado de la autoparte debe realizarse durante un tiempo de 30 minutos para garantizar la calidad de la pieza final.



Figura 3.51 Curado de la pieza D0.

3.7.1.3 Dimensionamiento de la pieza impresa

Posterior al proceso de la impresión, se realiza una verificación de las medidas como método de control de calidad, a su vez estas medidas deben tener una tolerancia entre el rango de 0,1 mm a 0,5 mm de diferencia que el modelado de la autoparte, las medidas se pueden observar en la figura 3.52. De igual manera, se realizó el peso de la autoparte que en este caso el diseño D0 tiene el peso de 21 gramos.

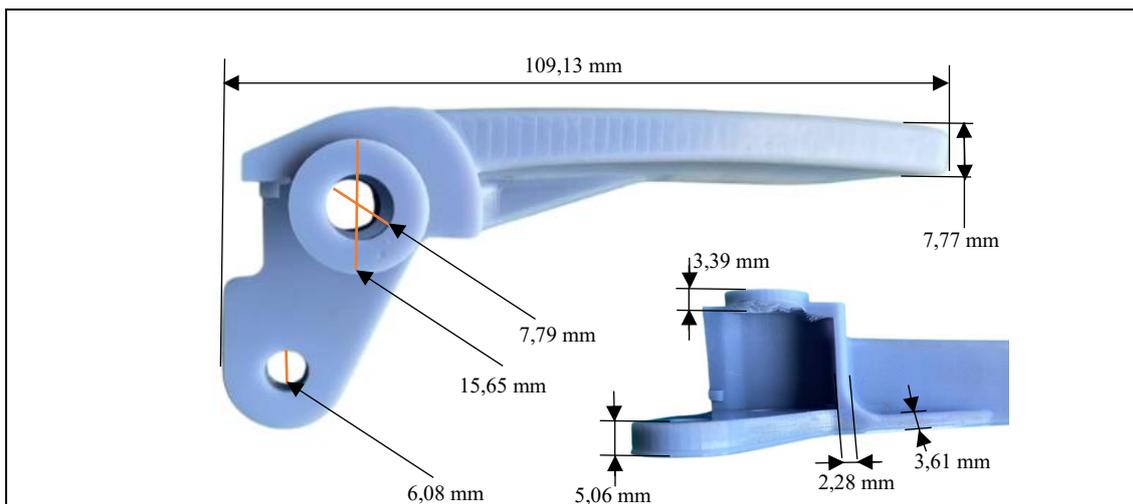


Figura 3.52 Dimensionamiento de la pieza D0.

3.7.2 RENDERIZACIÓN DEL DISEÑO PROPUESTO (D1) EN EL SOFTWARE

Posteriormente al diseño y simulación de la autoparte se procede con el procedimiento de la impresión el cual comienza con la importación del archivo STL del diseño D1 como se puede ver en la figura 3.53, en este caso se imprime una sola pieza debido a las dimensiones de la autoparte.

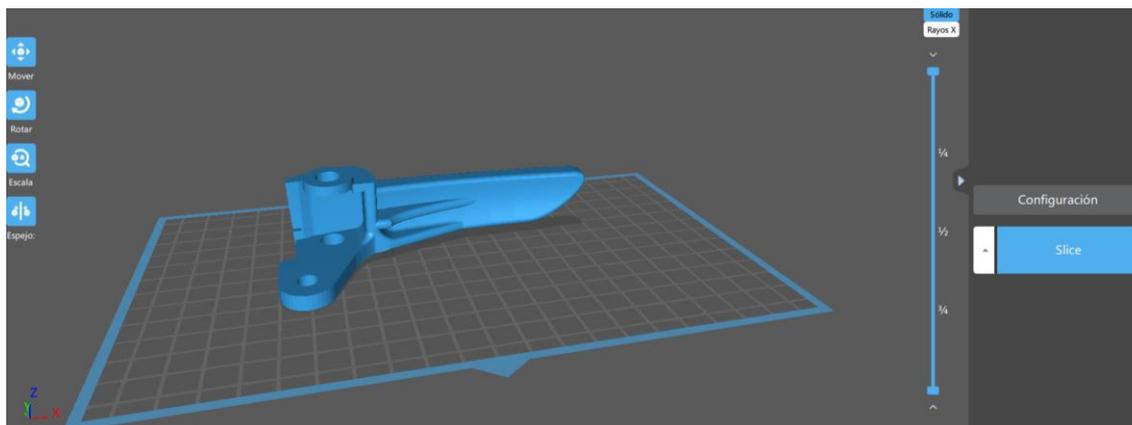


Figura 3.53 Renderización de la pieza D1.

A su vez, tras la renderización el mismo programa indica el tiempo de duración que en este caso es de 2 horas 50 minutos con 9 segundos, de igual manera el peso estimado por el

software es de 198 gramos y por último el volumen de la pieza que es de 18,03 ml como se puede observar en la figura 3.54.

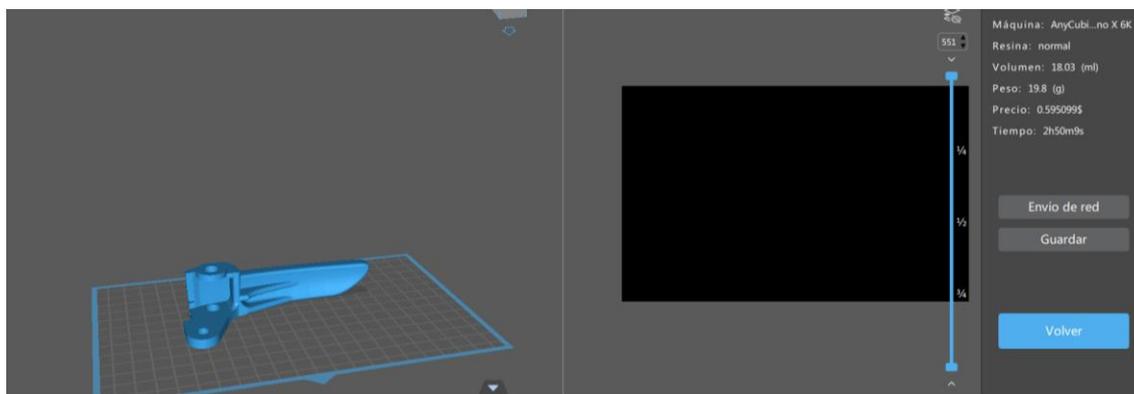


Figura 3.54 Tiempo, peso y volumen de la pieza D1 con resina AV Tough.

3.7.2.1 Limpieza de la pieza

La limpieza de la pieza post a la impresión es fundamental para quitar el exceso de resina, es así que se realiza la limpieza usando alcohol del tipo isopropílico en toda la superficie de la autoparte asegurándose de retirar todo el excedente del material ya que al curar la pieza se tendrá problemas con respecto al acabado final, en este caso en el diseño D1 con resina UV anycubic se debió tener el debido cuidado en las bases ya que la pieza recién impresa presenta fragilidad.

3.7.2.2 Curado de la pieza

La pieza es sometida a un proceso de curado, con la finalidad mejorar su propiedad de endurecimiento por lo generar este proceso se lo puede hacer mediante la exposición de la pieza a la fuente natural del sol y a su vez utilizando una base que posee un ventilador como se puede observar en la figura 3.55, todo el proceso de curado de la autoparte debe realizarse durante un tiempo de 30 minutos para garantizar la calidad de la pieza final.



Figura 3.55 Curado de la pieza D1.

3.7.2.3 Dimensionamiento de la pieza impresa

Posterior al proceso de la impresión, se realiza una verificación de las medidas como método de control de calidad, a su vez estas medidas deben tener una tolerancia entre el rango de 0,1 mm a 0,5 mm de diferencia que el modelado de la autoparte, las medidas se pueden observar en la figura 3.56.

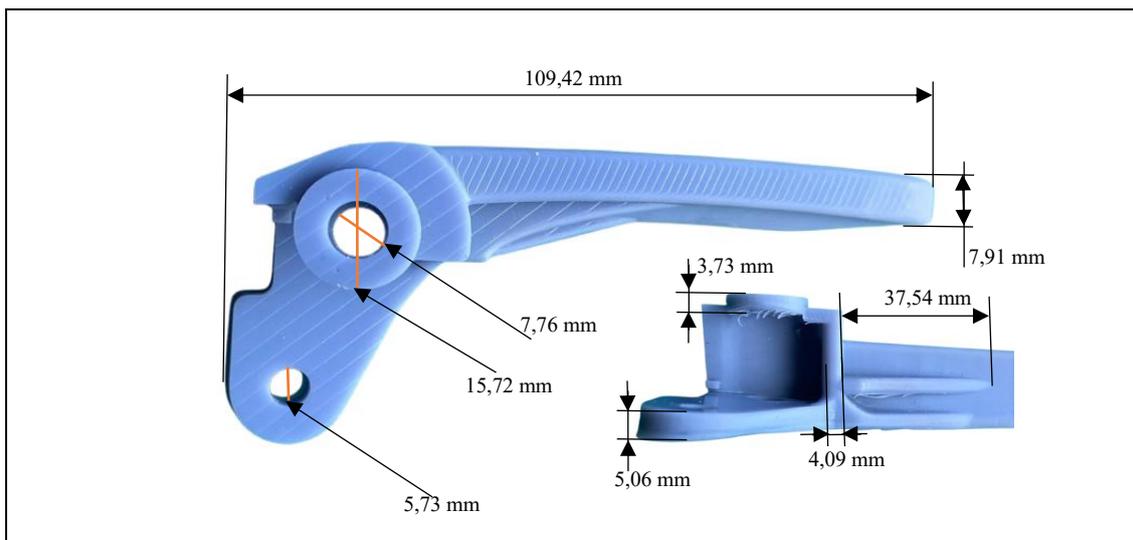


Figura 3.56 Dimensionamiento de la pieza D1.

De igual manera, se realizó el peso de la autoparte que en este caso el diseño D0 tiene el peso de 22 gramos.

3.7.3 RENDERIZACIÓN DEL DISEÑO PROPUESTO (D2) EN EL SOFTWARE

Posteriormente al diseño y simulación de la autoparte se procede con el procedimiento de la impresión el cual comienza con la importación del archivo STL del diseño D2 como se puede ver en la figura 3.57, en este caso se imprime una sola pieza debido a las dimensiones de la autoparte.

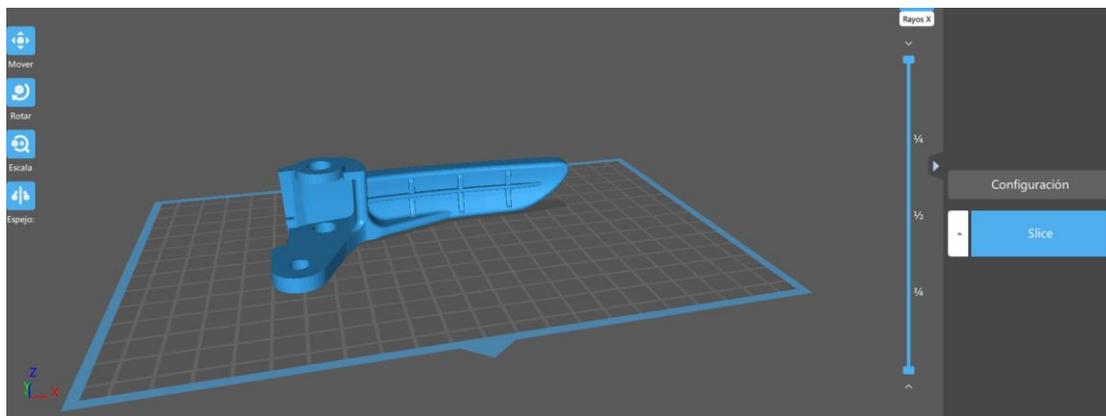


Figura 3.57 Renderización de la pieza D2.

A su vez, tras la renderización el mismo programa indica el tiempo de duración que en este caso es de 2horas 54 minutos con 26 segundos, de igual manera el peso estimado por el software es de 197 gramos y por último el volumen de la pieza que es de 17,91 ml como se puede observar en la figura 3.58.

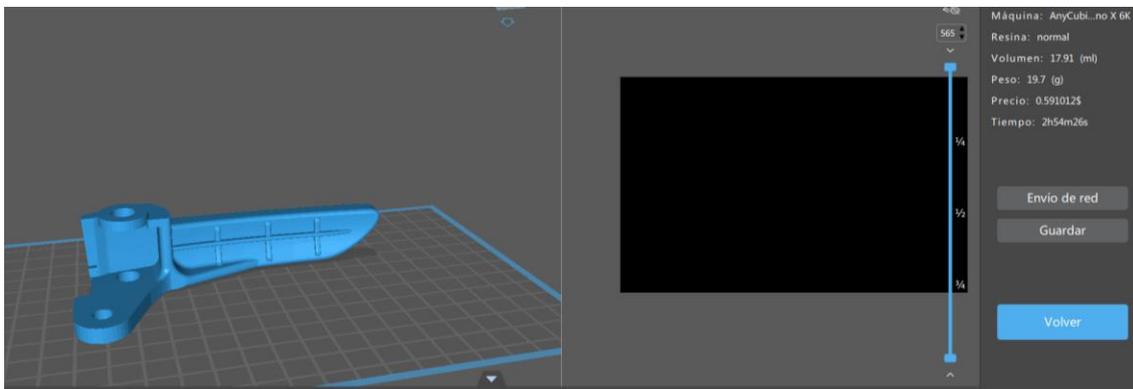


Figura 3.58 Tiempo, peso y volumen de la pieza D2 con resina AV Tough.

3.7.3.1 Limpieza de la pieza

La limpieza de la pieza post a la impresión es fundamental para quitar el exceso de resina, es así que se realiza la limpieza usando alcohol del tipo isopropílico en toda la superficie de la autoparte asegurándose de retirar todo el excedente del material ya que al curar la pieza se tendrá problemas con respecto al acabado final, en este caso en el diseño D2 con resina UV anycubic se debió tener el debido cuidado en las bases ya que la pieza recién impresa presenta fragilidad.

3.7.3.2 Curado de la pieza

La pieza es sometida a un proceso de curado, con la finalidad mejorar su propiedad de endurecimiento por lo generar este proceso se lo puede hacer mediante la exposición de la pieza al sol y a su vez utilizando una base que posee un ventilador como se puede observar en la figura 3.59, todo el proceso de curado de la autoparte debe realizarse durante un tiempo de 30 minutos para garantizar la calidad de la pieza final.



Figura 3.59 Curado de la pieza D2.

3.7.3.3 Dimensionamiento de la pieza impresa

Posterior al proceso de la impresión, se realiza una verificación de las medidas como método de control de calidad, a su vez estas medidas deben tener una tolerancia entre el rango de 0,1 mm a 0,5 mm de diferencia que el modelado de la autoparte, las medidas se pueden observar en la figura 3.60. De igual manera, se realizó el peso de la autoparte que en este caso el diseño D0 tiene el peso de 23 gramos.

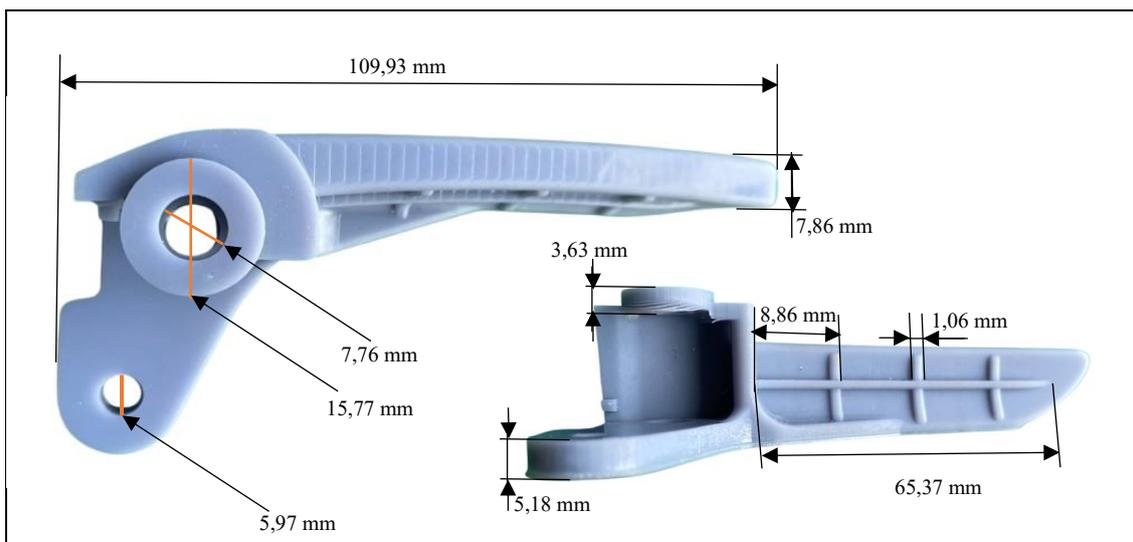


Figura 3.60 Dimensionamiento de la pieza D2.

3.8. DESPERFECTOS DE LAS PIEZAS IMPRESAS

3.8.1 MALA CALIBRACIÓN DE LA IMPRESORA

Durante la impresión de las piezas se puede presentarse desperfectos de la pieza, esto debido a una mala calibración de los ajustes en la impresora, por lo que se puede producir deformaciones. En este caso se presentó una falla de la altura de las capas de impresión ocasionando la deformación que se puede observar en la figura 3.61, la pieza conforme avanza la impresión presenta una deformación del tipo escalonada, se puede corregir verificando la configuración de impresión y sobre todo el valor de la velocidad.



Figura 3.61 Deformación de la pieza impresa.

3.8.2 ROTURA

En algunos casos, ya finalizada la impresión de la pieza se puede presentar roturas como se observa en la figura 3.62, esto debido a una mala impresión de las capas. En este caso se presentó una falla del espesor de impresión de las primeras capas que, ocasionando la rotura, la pieza conforme avanza la impresión presenta deformaciones y en algunos casos se desprende el material base de la impresión que favorecen a la rotura de esta.



Figura 3.62 Falla de rotura.

3.9. RENTABILIDAD DE LA IMPRESIÓN 3D CON RESINAS

Los procedimientos para la elaboración de autopartes representan actualmente un costo elevado debido a todo el desarrollo que conlleva realizar ingeniería inversa y a su vez, el precio de las resinas y de la impresora 3D. En este caso se requiere emplear equipos de escaneo para obtener las medidas más exactas posibles por lo que usar estos equipos encarecen aún más la elaboración de una pieza.

3.9.1 CÁLCULO PARA DETERMINAR LA RENTABILIDAD DEL USO DE IMPRESIÓN 3D CON RESINAS

Para determinar si es viable o no la impresión 3D con resinas, es necesario e indispensable conocer los costos de adquisición de la impresora en Ecuador; alrededor de \$1600, y de las resinas que en este caso el valor por 1 litro de resina ABS-LIKE es de \$90 y de la resina ANYCUBIC tiene el costo de \$90 (A mayor unidad se presenta descuentos). Por lo tanto, se realizará un análisis del costo por hora de trabajo empleando en la elaboración de cada pieza; en consecuencia, para elaborar un prototipo se necesita 7 horas donde se realiza las siguientes actividades:

- Proceso de escaneo de la pieza original.
- Proceso de modelado CAD de la autoparte y sus mejoras.
- Procesos de simulación FEM.

- Proceso de impresión.

$$TRI = \frac{CTI}{CU/t}$$

Donde,

TRI = Tiempo de recuperación de la inversión.

CTI = Costo total de inversión.

CU = Costo por unidad

t = Tiempo de manufactura

$$TRI = \frac{\$1690}{\$8/5h}$$

$$TRI = 1056,25 h$$

De acuerdo al resultado de la ecuación anterior, para recuperar la inversión inicial se requiere 151 días. El resultado obtenido equivale a una sola manija, sin embargo, si se considera la resina que en este caso es de 1 litro, podríamos imprimir alrededor de 20 piezas de los diseños propuestos. De esta manera, se analizará las horas que se emplea para la producción de esa cantidad considerando la misma inversión incluyendo el costo de las 20 manijas cuyo precio sería de \$160.

$$TRI = \frac{\$1690}{\$160/5h}$$

$$TRI = 52,81 h$$

Para la producción de 20 manijas con los diseños propuestos se obtiene 52,81 horas de trabajo para que se recupere la inversión que sería en un aproximado de 6,6 días considerando una jornada de 8 horas laborables. En base a estos datos, se realizará un análisis de la inversión considerando todos los recursos y asumiendo los costos de una sola manija.
Ganancia= Valor de venta por lote – Costo de elaboración (Costo de resina y modelado de la pieza)

$$\text{Ganancia} = \$160 - \$100$$

$$\text{Ganancia total} = \$60/20 \text{ unidades} = \$3 \text{ por unidad}$$

Para que sea rentable la impresión de las manijas, es conveniente realizar una producción en granel de al menos 20 manijas que sería la cantidad que abastece 1 litro de resina.

CAPÍTULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

- La obtención del modelado de la pieza se realizó empleando métodos de ingeniería inversa CAD, utilizando equipos de escaneo y software para dimensionar la autoparte, posteriormente se empleó un software CAD para redimensionar la pieza con la finalidad de lograr un detallado mucho más viable y una reconstrucción del modelo en el software semejante a la pieza real, a su vez para realizar los análisis por método FEM donde se concluyó que los diseños propuestos DIM1 y D2M1 correspondientes a la resina ABS-LIKE soportan la fuerza máxima de 82 N.
- El diseño de las autopartes con el uso de las herramientas de modelado que en este caso dispone el software SolidWorsk, cuyo modelado de la pieza se realizó el análisis por FEM mediante el software ANSYS en el cual se aplicó una carga de 124,25 N; cabe recalcar que estos análisis se llevaron a cabo con la carga máxima antes mencionada extra no rutinaria obteniendo valores del factor de seguridad promedio de 0,66.
- La determinación del material que será utilizado en la impresión de las autopartes se basó en el análisis FEM, que en este caso el diseño D1M1 y D2M1 con la resina ABS-LIKE demostró mejores propiedades mecánicas en los valores promedio del límite de fluencia y la resistencia última a la tracción (24,33 MPa y 28 MPa respectivamente) y (6 MPa y 14 MPa respectivamente) para el otro material, se seleccionó el material con mejores características para el diseño y simulación por FEM en este caso con la resina ABS-LIKE.
- La impresión 3D empleando resinas y una impresora de tecnología MSLA conlleva un proceso complejo, que para obtener una alta calidad de la autoparte dependerá de las configuraciones establecidas en la renderización, el modelado de la pieza, de las propiedades del material, limpieza y curado de la pieza. Como se pudo constatar, los tiempos de impresión con cada material fue de máximo 2:54 horas por cada pieza; y a su vez el peso real de las piezas fueron 23 gramos con la tolerancia +/- 1 gramo en cada modelo y resina usada.

4.2. RECOMENDACIONES

- Para el proceso de ingeniería inversa se recomienda emplear y ubicar marcadores alrededor de la autoparte que será escaneada, estos marcadores vienen equipados junto al equipo de escaneo, que permiten al escáner interpretar los puntos con mayor facilidad y realizar el escaneo con mayor rapidez y precisión.
- El diseño de las autopartes con el uso de las herramientas de modelado que en este caso dispone el software SolidWorks como la creación de planos, croquis 2D, operaciones de superficie y operaciones de sólidos se obtuvo el modelo 3D de la manija en base al escaneo de la autoparte original. Además, para garantizar el dimensionamiento del elemento es importante recopilar medidas como los diámetros de orificios y espesores con el uso del calibrador con el objetivo de garantizar la precisión a la hora de replicar la autoparte en la impresión.
- Realizar una investigación empleando otro tipo de resinas que existan en el mercado, realizando probetas para aplicar ensayos de tracción, deformación, torsión y resistencia al impacto con la finalidad de comparar y verificar si existen mejoras con la calidad de la autoparte.
- Se recomienda emplear equipos de curación que dispongan luces ultravioletas para el proceso de tratamiento post-impresión. Esto garantizará una exposición uniforme a la luz UV ya que la ventaja de estos equipos es permitir la exposición de la autoparte a 360 grados evitando el riesgo de presentar fragilidad, mejorando la calidad y durabilidad de las piezas impresas en 3D.

REFERENCIAS

1. 3D EXPERIENCE. (2024). *Impresión 3D*.
<https://www.3ds.com/es/make/guide/process/3d-printing>
2. 3D SYSTEMS. (2024). *Estereolitografía*. <https://es.3dsystems.com/3d-printers/sla-750>
3. 3DNATIVES. (2023). *Las mejores impresoras 3D de resina en la industria*.
<https://www.3dnatives.com/es/mejores-impresoras-resina-19052016/>
4. AIROBOT. (2024). *¿Por qué utilizar resina para impresión 3D?* <https://airobot.es/por-que-utilizar-resina-para-impresion-3d/>
5. ALL 3DP. (2024). *Los mejores programas para impresoras 3D de 2024*.
<https://all3dp.com/es/1/programas-software-impresora-3d-printer-software-3d-gratis/>
6. Andrés Gualberto Sánchez Guerrero. (2015). *IMPRESORA 3D DE ESCRITORIO BASADA EN EL MODELO OPEN SOURCE PARA LA ELABORACIÓN DE OBJETOS FÍSICOS*. UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO.
7. ANSYS Inc. (2024). *ANSYS* (Versión R1 [Software]).
8. ANYCUBIC. (2020). *ANYCUBIC Photon Mono X 6K Impresora 3D Resina*.
<https://www.amazon.es/ANYCUBIC-Impresora-Pantalla-Velocidad-Impresi%C3%B3n/dp/B08HVMK2MV>
9. ANYCUBIC. (2024a). *Anycubic Photon Mono X 6KS*.
<https://radlab.com.ec/shop/product/bqw55y3viawmgtw9ubybyidzlstchjvzhvjdg8/>
10. ANYCUBIC. (2024b). *Tough Resin*. <https://www.anycubic.es/products/resina-resistente>
11. ANYCUBIC. (20241). *Resina ABS V2lavable*. <https://www.anycubic.es/products/resina-abs-v2-lavable>
12. ASTM. (2016a). ASTM D638-14, Standard practice for preparation of metallographic specimens. En *ASTM International* (Vol. 82, Número C).
<https://doi.org/10.1520/D0638-14.1>
13. ASTM. (2016b). *ASTM D638-14, Standard practice for preparation of metallographic specimens*. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rfc/article/view/54231>

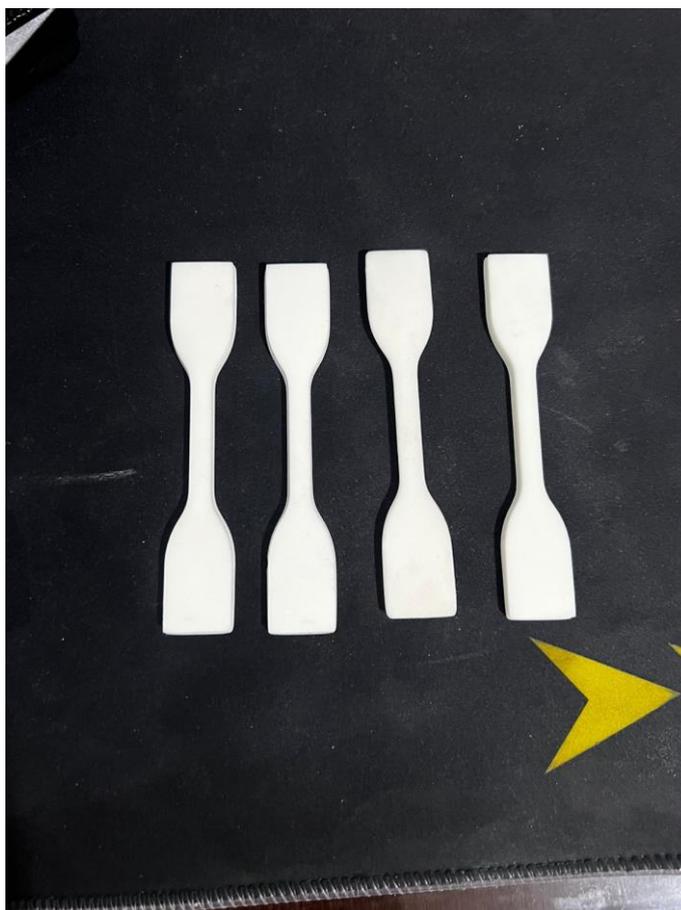
14. CABALLERO 3D. (2023). *RESINA 3D*. <https://www.caballero3d.com/categoria-producto/resina-3d/>
15. CABALLERO3D. (2023). *3DMaterials Super PP/PCS*. <https://caballero3d.com/tienda-2/3dmaterials-super-pp-super-pcs/>
16. E. Zumba. (2012). *Optimización en el proceso de fabricación por impresión 3d de la manija del elevador de vidrios del vehículo Chevrolet aveo family para la mejora de propiedades mecánicas y térmicas*. <https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/4074>
17. EINSTAR. (2024). *EINSTAR Escáner 3D portátil de consumo*. <https://www.bing.com/search?q=Esc%C3%A1ner+EINSTAR+3D&qs=ds&form=QBRE>
18. GEEKFLARE. (2024). *Los 7 mejores editores de archivos STL para reparar o editar su archivo de modelo 3D*. <https://geekflare.com/es/best-stl-file-editors/>
19. González, A. (2022, febrero 12). *Chitubox 64, qué es y cómo funciona*. <https://www.profesionalreview.com/2022/02/12/que-es-y-como-funciona-chitubox-64/#:~:text=El%20programa%20de%20Chitubox%2064,con%20tecnolog%C3%ADa%20SLA%20o%20Estereolitograf%C3%ADa>
20. IMAGIA. (2020, octubre 6). *Tipos de resinas plásticas. Usos y aplicaciones*. <https://imagiaglobal.com/tipos-de-resinas-plasticas/>
21. IMPRESORAS 3D. (2018, enero 15). *Las mejores impresoras 3D para este 2.018*. <https://www.impresoras3d.com/las-mejores-impresoras-3d-este-2-018/>
22. J. Ardila, D. Hincapié, & J. Sierra. (2016, junio). *INDEPENDENCIA DE MALLA EN TUBOS TORSIONADOS PARA INTERCAMBIO DE CALOR*: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rfc/article/view/54231/57107>
23. JAYO. (2024). *JAYO - Resina termoplástica*. <https://www.amazon.com.mx/JAYO-impresora-est%C3%A1ndar-fotopol%C3%ADmero-precisi%C3%B3n/dp/B0CPHLVTV8?th=1>
24. LDLC. (2024). *Resina fotopolímera estándar Elegoo LCD (1000 g) - Gris*. <https://www.ldlc.com/es-es/ficha/PB00448446.html>
25. López, O. (2023, marzo 1). *Transformando la industria automotriz con la manufactura aditiva*. <https://www.mms-mexico.com/columnas/transformando-la-industria-automotriz-con-la-manufactura-aditiva>
26. MARKFORGED. (2024). *Prototipado rápido con la impresión 3D*. <https://markforged.com/es/resources/blog/understanding-rapid-prototyping-with-3d-printing>

27. Metro, A. (2022a, julio 28). *¿En qué se diferencian la impresión 3D SLA y MSLA?*
<https://www.3dnatives.com/es/diferencias-impresion-3d-sla-msla-280720222/#!>
28. Metro, A. (2022b, julio 28). *¿En qué se diferencian la impresión 3D SLA y MSLA?*
<https://www.3dnatives.com/es/diferencias-impresion-3d-sla-msla-280720222/#!>
29. Quimisor. (2023). *Tipos de resina plástica utilizadas en la impresión 3D.*
<https://quimisor.com.mx/tipos-de-resina-plastica-utilizadas-en-la-impresion-3d/>
30. QUimisor. (2023). *Tipos de resina plástica utilizadas en la impresión 3D.*
<https://quimisor.com.mx/tipos-de-resina-plastica-utilizadas-en-la-impresion-3d/>
31. QUIMISOR. (2023, noviembre 8). *Tipos de resina plástica utilizadas en la impresión 3D.*
<https://quimisor.com.mx/tipos-de-resina-plastica-utilizadas-en-la-impresion-3d/>
32. SOLECTRO. (2021). *Tecnologías de impresoras 3D y sus diferencias.*
<https://solectroshop.com/es/blog/tecnologias-de-impresoras-3d-y-sus-diferencias--n78>
33. TBT. (2014). *Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics1* (14).
<https://borgoltz.aoe.vt.edu/aoe3054/manual/expt5/D638.38935.pdf>
34. VISI. (2023, diciembre 8). *Ventajas Y Desventajas De La Impresión 3D En Resina.*
<https://www.visiseries-mexico.com/ventajas-y-desventajas-de-la-impresion-3d-en-resina/>
35. Yahaya, M., Oyediran, O., & H.N, O. (2019). *Transaction Costs on Contractors for Eligibility Documents, Contract Administration and Bidding.* 12, 47–78.
https://www.researchgate.net/figure/Ansys-Fluent-interface_fig8_339431957

ANEXOS



Anexo 1 Probetas impresas bajo norma ASTM D638.

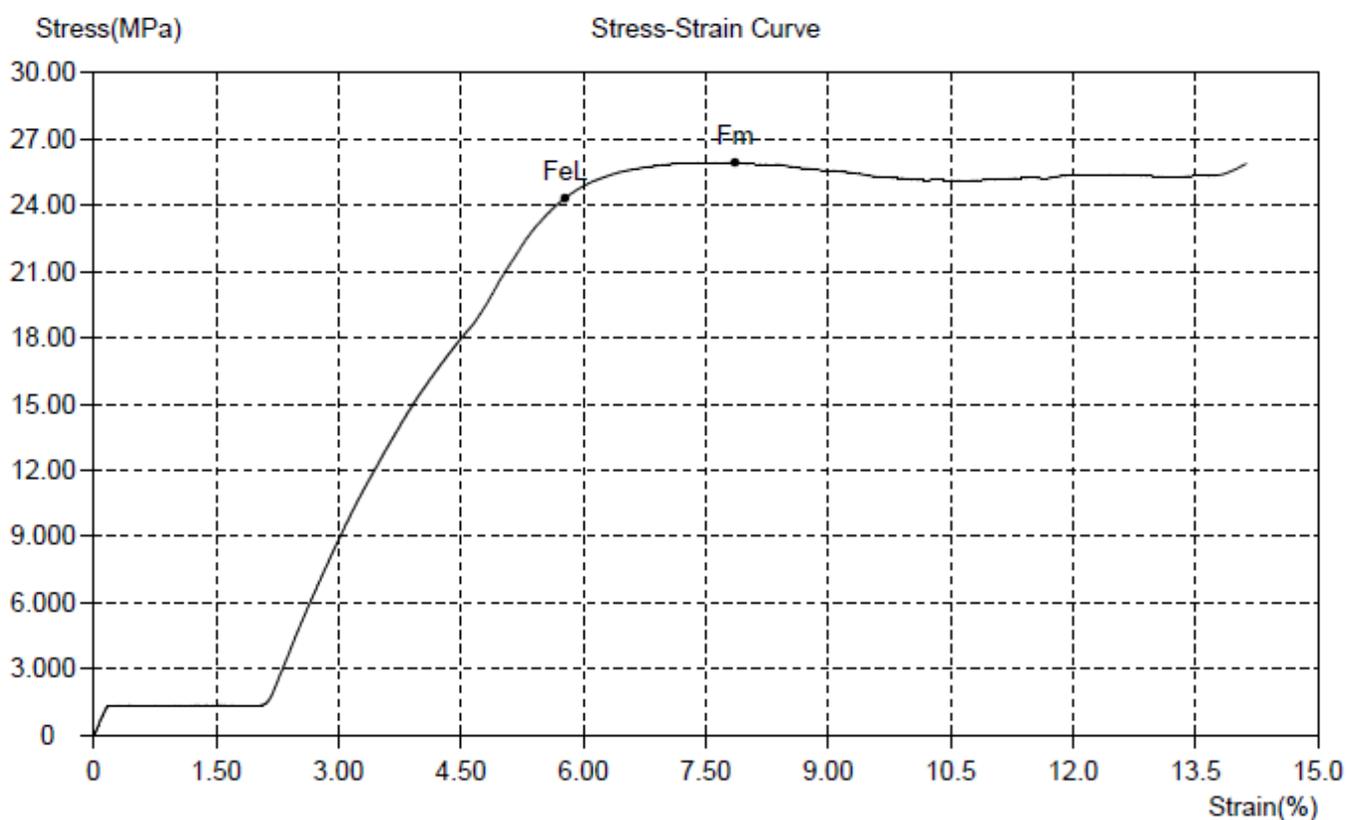


Anexo 2. Probetas impresas bajo norma ASTM D638.

 <small>ID DOCUMENTO ILPM-RT-16-I Revisión Nro. 10 Fecha de Rev.: 02/10/2023</small>	ILPM ENGINEERING CIA LTDA Ingeniería Líder en Proyectos y Materiales	Informe No. ILPM 2024-373							
REPORTE DE ENSAYO DE TRACCIÓN NORMAS: ASTM D412 / ASTM D638									
Cliente final:	NARVAEZ UBIDIA WALTER ATIC	Fecha de ensayo:	jueves, 23 de mayo de 2024						
Solicitado por:	WALTER NARVAEZ	Testificado por:	—						
Material:	RESINA ABS	Probeta elaborada por:	CLIENTE						
Equipo:	ENS-09 Máquina de ensayo de Tensión	Calibración:	13/3/2023						
Temperatura:	22±4°C	Humedad relativa:	48±22%						
<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td>Control de Calidad de Material</td> <td style="text-align: center;">X</td> </tr> </table>		Control de Calidad de Material	X	<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td>Control de Soldadura</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>		Control de Soldadura	<input type="checkbox"/>		
Control de Calidad de Material	X								
Control de Soldadura	<input type="checkbox"/>								
ID Probeta	Espesor Menor	Ancho Menor	Longitud Inicial	Longitud Final	OBSERVACIONES				
	mm.	mm.	mm.	mm.					
ABS-1	4,07	6,20	25,00	27,33	RESINA ABS - 1				
ABS-2	4,00	6,21	25,00	28,11	RESINA ABS - 2				
ABS-3	4,02	6,14	25,00	27,03	RESINA ABS - 3				
ID Probeta	Area	Carga de Fluencia	Limite de Fluencia Sy		Carga Máxima	Resistencia a Tracción SUT		Elongación 25mm	Localización de Rotura¹
	mm ² .	kN	KSI	MPa	kN	KSI	MPa	%	
ABS-1	25,23	0,61	3,53	24	0,65	3,76	26	9,3	NA
ABS-2	24,84	0,57	3,35	23	0,66	3,86	27	12,4	NA
ABS-3	24,68	0,64	3,77	26	0,76	4,45	31	8,1	NA
<p><small>- ¹ Para juntas soldadas, la localización de rotura será designada por : FJS Falla Junta Soldada, FMB Falla en Material Base.</small></p> <p><small>- Como Anexo se adjuntan las curvas de ensayo.</small></p> <p><small>- El presente informe NO debe ser reproducido parcialmente.</small></p> <p><small>- Los ensayos han sido realizados bajo las indicaciones del Procedimiento técnico ILPM-PT-06 "Ensayo de Tensión".</small></p> <p><small>- ILPM no se hace responsable por la información suministrada por el cliente: "Solicitado por", "Cliente final", "Material", "Testificado por", "ID probeta"</small></p>									
REALIZADO POR: Ing. Danny Parco ILPM Engineering					APROBADO POR: MSc. Patricio Estupiñán Director técnico				

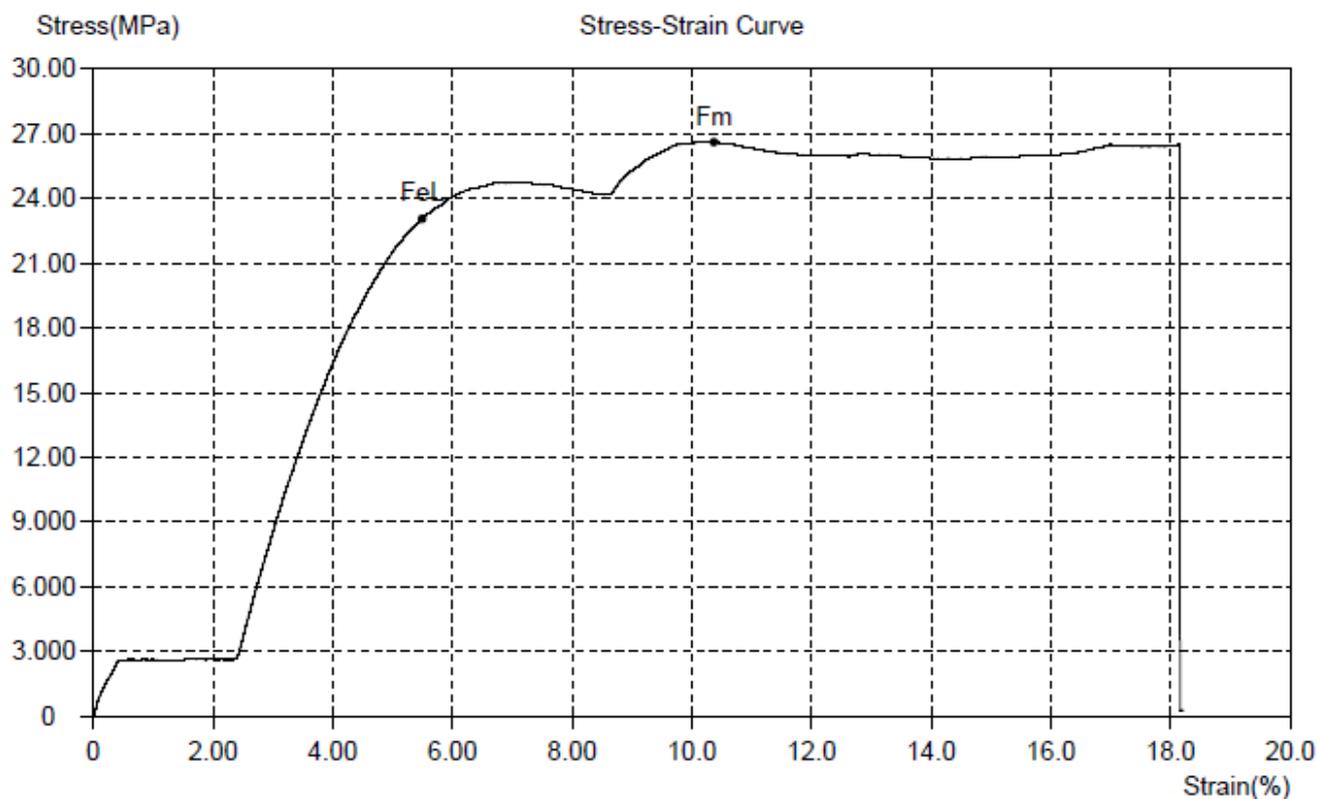
ILPM CIA LTDA
REGISTRO DE ENSAYO DE TRACCION

Customer/Informe	ILPM 2024-373		
Probeta No.	ABS-1		
TestDate	5/23/2024	Type	Flat
Size(mm)	4.07*6.20	So(mm ²)	25.23
Lo(mm)	25	Lu(mm)	27.33
Fm(kN)	0.654	SUT(MPa)	26
FeL(kN)	0.614	SY(MPa)	24



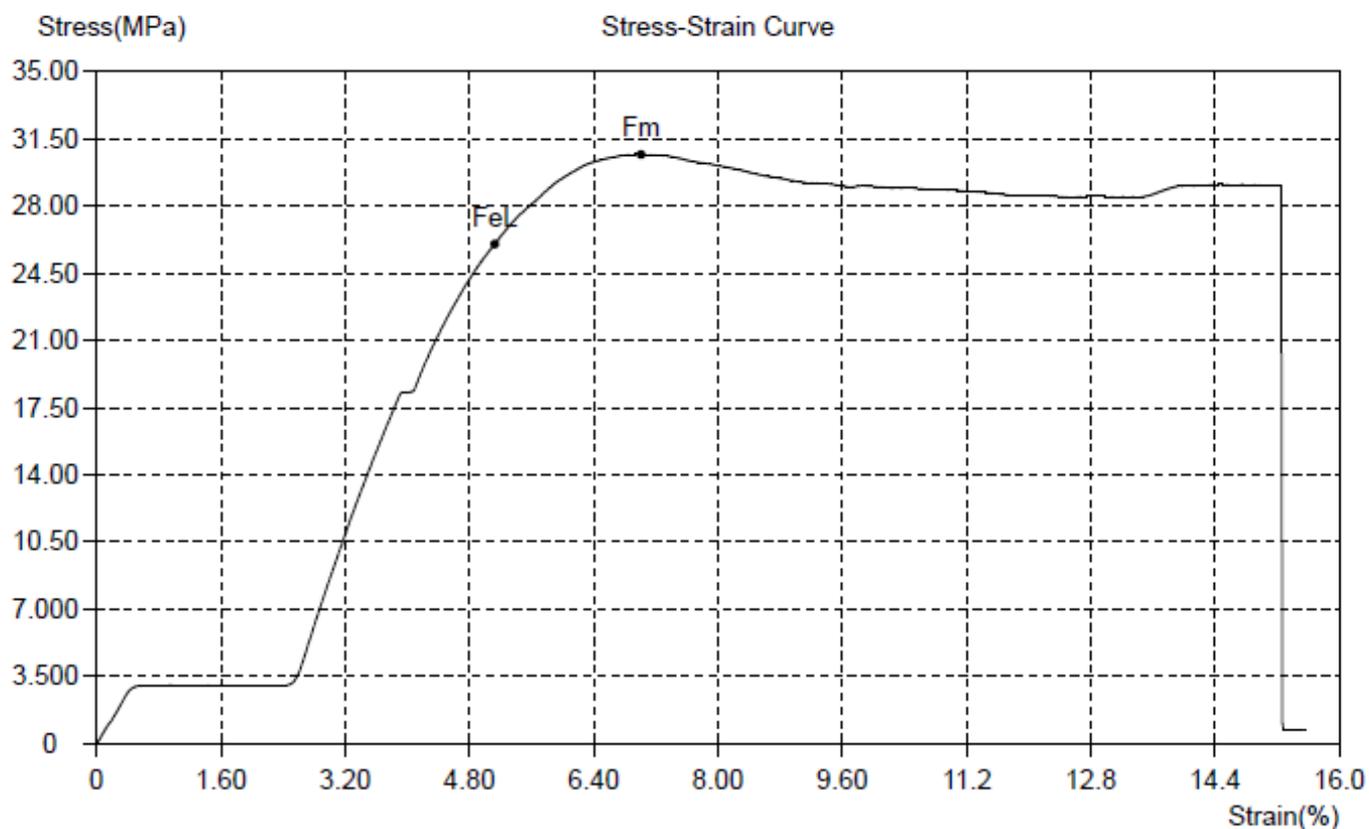
ILPM CIA LTDA REGISTRO DE ENSAYO DE TRACCION

Customer/Informe	ILPM 2024-373		
Probeta No.	ABS-2		
TestDate	5/23/2024	Type	Flat
Size(mm)	6.21*4	So(mm ²)	24.84
Lo(mm)	25	Lu(mm)	28.11
Fm(kN)	0.661	SUT(MPa)	27
FeL(kN)	0.573	SY(MPa)	23



ILPM CIA LTDA
REGISTRO DE ENSAYO DE TRACCION

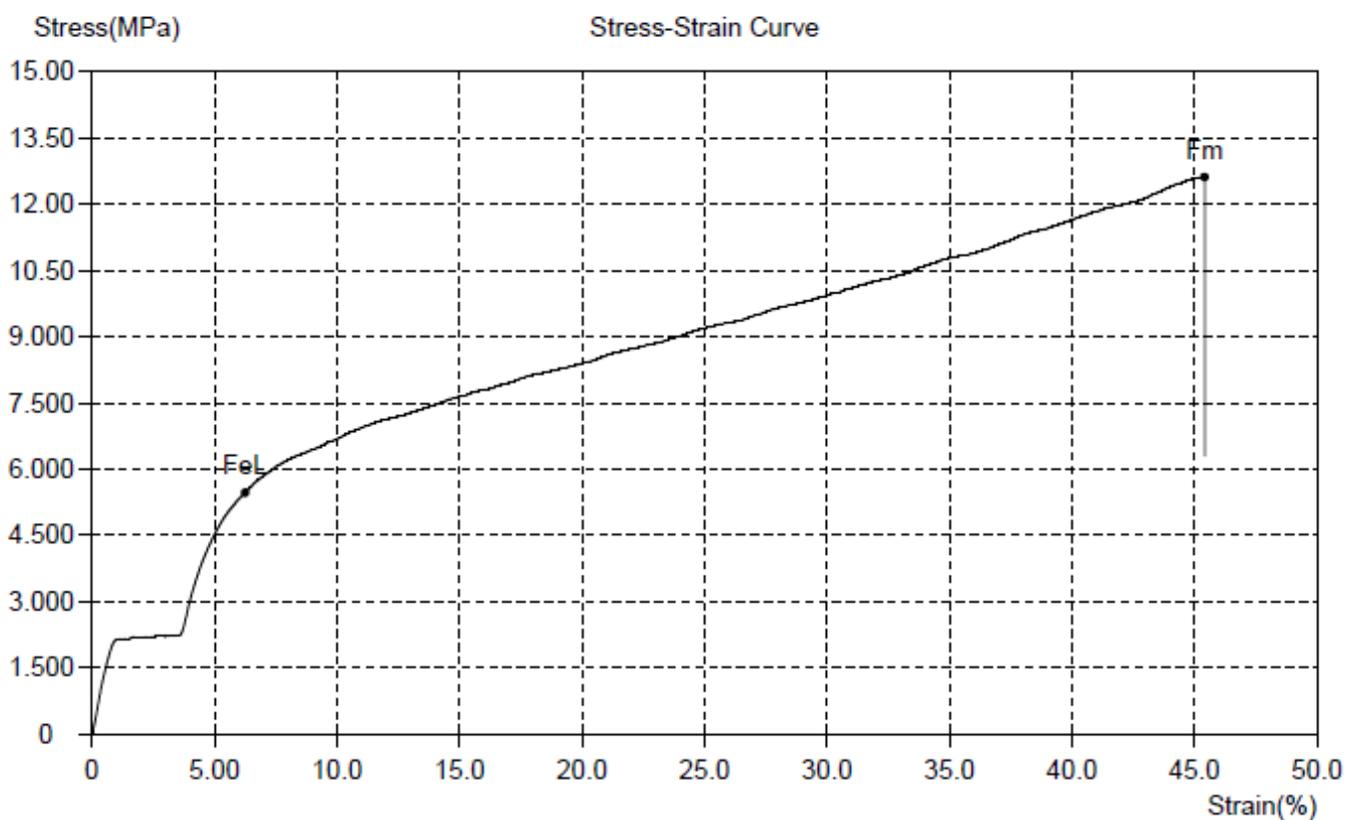
Customer/Informe	ILPM 2024-373		
Probeta No.	ABS-3		
TestDate	5/23/2024	Type	Flat
Size(mm)	6.14*4.02	So(mm ²)	24.68
Lo(mm)	25	Lu(mm)	27.03
Fm(kN)	0.758	SUT(MPa)	31
FeL(kN)	0.642	SY(MPa)	26



 <p>INGENIERIA LIDER EN PROYECTOS Y MATERIALES</p> <p>ID DOCUMENTO ILPM-ET-16-I Revisión Nro. 10 Fecha de Rev.: 02/10/2023</p>		ILPM ENGINEERING CIA LTDA Ingenieria Lider en Proyectos y Materiales		Informe No. ILPM 2024-373					
REPORTE DE ENSAYO DE TRACCIÓN NORMAS: ASTM D412 / ASTM D638									
Cliete final:	NARVAEZ UBIDIA WALTER ATIC		Fecha de ensayo:	jueves, 23 de mayo de 2024					
Solicitado por:	WALTER NARVAEZ		Testificado por:	—					
Material:	RESINA ANYCUBIC		Probeta elaborada por:	CLIENTE					
Equipo:	ENS-09 Máquina de ensayo de Tensión		Calibración:	13/3/2023	Verificación: 1/4/2024				
Temperatura:	22±4°C		Humedad relativa:	48±22%					
<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td>Control de Calidad de Material</td> <td style="text-align: center;">X</td> </tr> </table>			Control de Calidad de Material	X	<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td>Control de Soldadura</td> <td></td> </tr> </table>			Control de Soldadura	
Control de Calidad de Material	X								
Control de Soldadura									
ID Probeta	Espesor Menor	Ancho Menor	Longitud Inicial	Longitud Final	OBSERVACIONES				
	mm.	mm.	mm.	mm.					
ANY-1	4,27	6,01	25,00	30,71	RESINA ANYCUBIC - 1				
ANY-2	4,16	6,00	25,00	31,98	RESINA ANYCUBIC - 2				
ANY-3	4,26	6,02	25,00	29,31	RESINA ANYCUBIC - 3				
ID Probeta	Area	Carga de Fluencia	Límite de Fluencia Sy		Carga Máxima	Resistencia a Tracción SUT		Elongación 25mm	Localización de Rotura¹
	mm ² .	kN	KSI	MPa	kN	KSI	MPa	%	
ANY-1	25,66	0,14	0,79	5	0,32	1,83	13	22,8	NA
ANY-2	24,96	0,18	1,04	7	0,42	2,44	17	27,9	NA
ANY-3	25,65	0,15	0,86	6	0,31	1,75	12	17,2	NA
<p>- ¹ Para juntas soldadas, la localización de rotura será designada por: FJS Falla Junta Soldada, FMB Falla en Material Base.</p> <p>- Como Anexo se adjuntan las curvas de ensayo.</p> <p>- El presente informe NO debe ser reproducido parcialmente.</p> <p>- Los ensayos han sido realizados bajo las indicaciones del Procedimiento técnico ILPM-PT-06 "Ensayo de Tensión".</p> <p>- ILPM no se hace responsable por la información suministrada por el cliente: "Solicitado por", "Cliente final", "Material", "Testificado por", "ID probeta"</p>									
REALIZADO POR: Ing. Danny Parco ILPM Engineering					APROBADO POR: MSc. Patricio Estupiñán Director técnico				

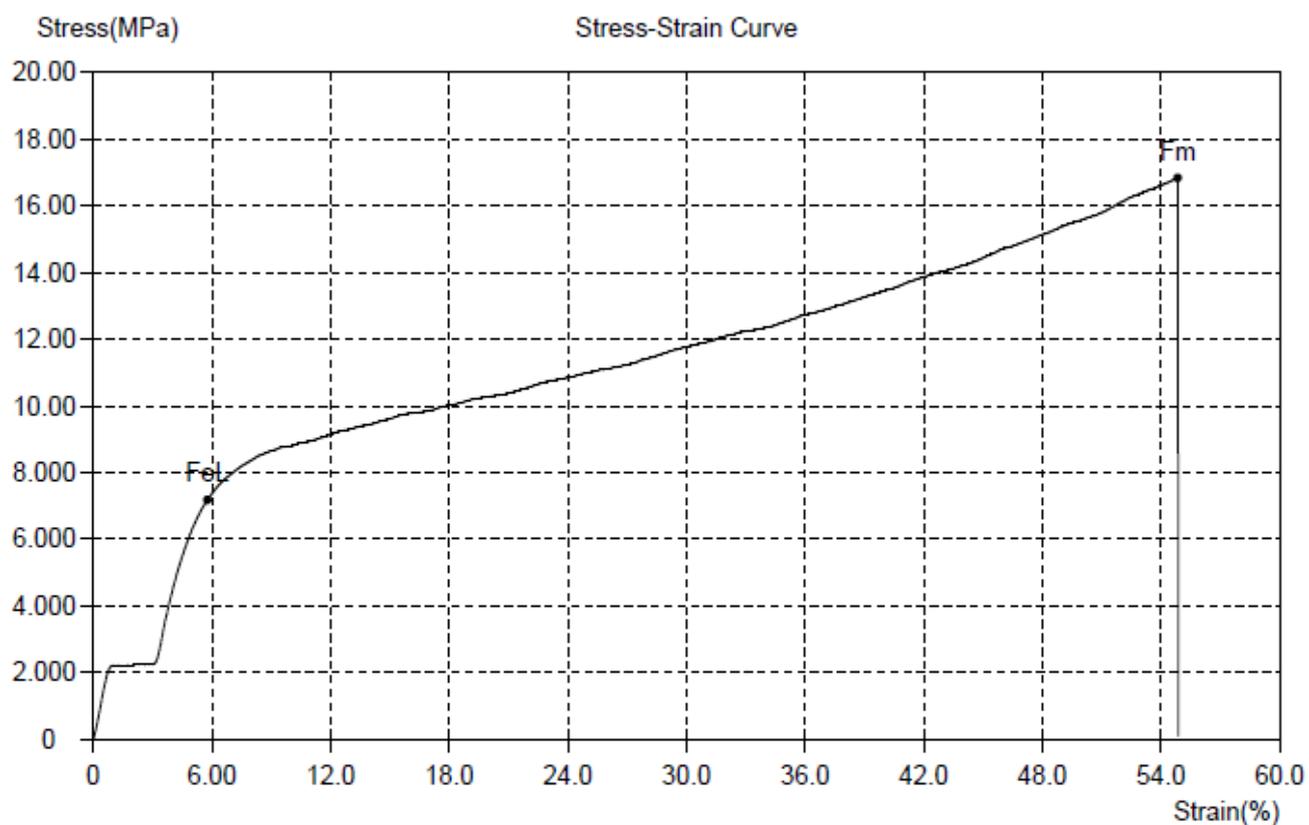
ILPM CIA LTDA
REGISTRO DE ENSAYO DE TRACCION

Customer/Informe	ILPM 2024-373		
Probeta No.	ANY-1		
TestDate	5/23/2024	Type	Flat
Size(mm)	6.01*4.27	So(mm ²)	25.66
Lo(mm)	25	Lu(mm)	30.71
Fm(kN)	0.324	SUT(MPa)	13
FeL(kN)	0.140	SY(MPa)	5



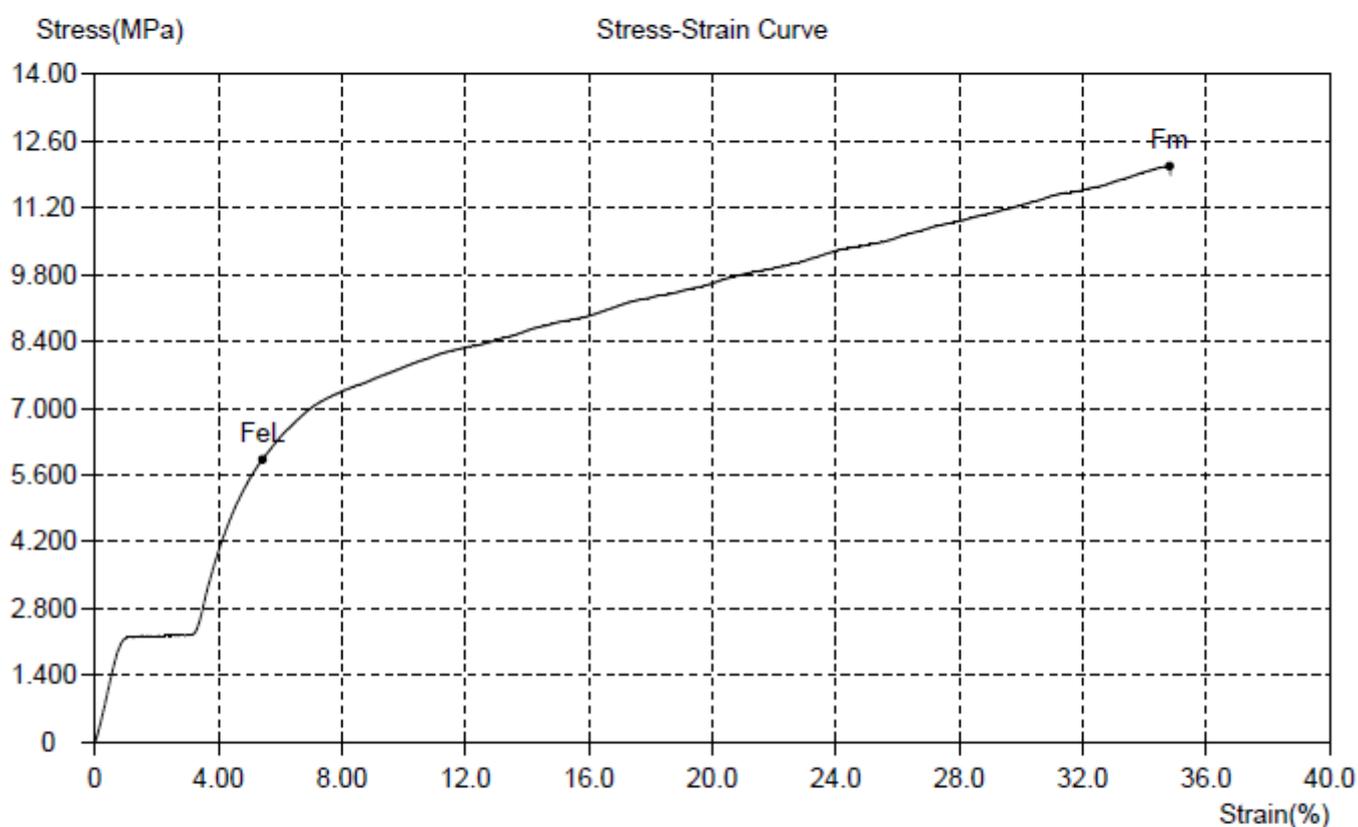
ILPM CIA LTDA
REGISTRO DE ENSAYO DE TRACCION

Customer/Informe	ILPM 2024-373		
Probeta No.	ANY-2		
TestDate	5/23/2024	Type	Flat
Size(mm)	6*4.16	So(mm ²)	24.96
Lo(mm)	25	Lu(mm)	31.98
Fm(kN)	0.420	SUT(MPa)	17
FeL(kN)	0.179	SY(MPa)	7



ILPM CIA LTDA
REGISTRO DE ENSAYO DE TRACCION

Customer/Informe	ILPM 2024-373		
Probeta No.	ANY-3		
TestDate	5/23/2024	Type	Flat
Size(mm)	6.02*4.25	So(mm ²)	25.58
Lo(mm)	25	Lu(mm)	29.31
Fm(kN)	0.309	SUT(MPa)	12
FeL(kN)	0.152	SY(MPa)	6



*** Fin de Documento ***