



**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS APLICADAS**

**Trabajo de fin de Carrera titulado:**

**Caracterización mecánica y térmica de TPU (Thermoplastic Polyurethane) para  
impresión 3D del guardapolvo de palanca de cambios del Nissan Sentra b13**

**Realizado por:**

José Andrés Fuertes Alvear

**Director del proyecto:**

PhD.(c) Diana Belén Peralta Zurita Msc

**Como requisito para la obtención del título de:**

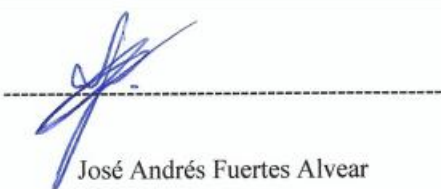
**INGENIERO EN MECANICA AUTOMOTRIZ**

QUITO, septiembre de 2023

## DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, Jose Andrés Fuertes Alvear, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado por ningún grado y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en el documento.

La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, a las cuales cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes, según lo establecido por la ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por normativa institucional vigente.

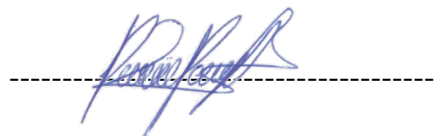


José Andrés Fuertes Alvear

C.I.: 1721128443

## DECLARACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS

Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el estudiante, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación.



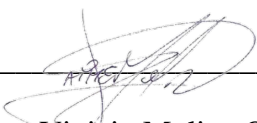
PhD.(c) Diana Belén Peralta Zurita Msc

**LOS PROFESORES INFORMANTES:**

Ing. Jaime Vinicio Molina Osejos, Msc

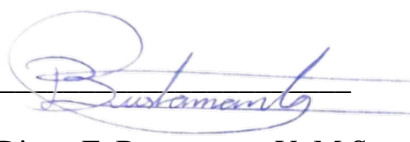
Ing. Diego F. Bustamante V. M.Sc

Después de revisar el trabajo presentado lo han calificado como apto para su defensa oral ante el tribunal examinador.



A horizontal line is drawn across the page, and the signature is written over it.

Ing. Jaime Vinicio Molina Osejos, Msc



A horizontal line is drawn across the page, and the signature is written over it.

Ing. Diego F. Bustamante V. M.Sc

Quito, 14 de septiembre de 2023

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.



José Andrés Fuertes Alvear

C.I.: 1721128443

## **Agradecimientos**

Agradezco a Dios por la vida, por ayudarme en todo lo necesario que ha sido mi guardián y protector, agradezco a mis padres que me han guiado en todo el camino de mi existencia

## Resumen

El propósito principal de esta investigación fue la caracterización de la resistencia mecánica y el comportamiento térmico del material TPU (Poliuretano Termoplástico) obtenido mediante la técnica de impresión 3D. Este material se empleó en la fabricación del guardapolvo de la palanca de cambios del vehículo Nissan Sentra B13. Para lograr este objetivo, se diseñaron diversas probetas con configuraciones específicas siguiendo estándares como ASM, ASTM 638 de tensión y ASTM D695. La metodología empleada incluyó el uso del software Inventor para el diseño de las probetas y la selección de las configuraciones más apropiadas. Posteriormente, se llevaron a cabo ensayos destinados a evaluar la resistencia, flexibilidad y comportamiento térmico del material, con su análisis complementado mediante el software SimSolid. Los resultados obtenidos revelaron que el material TPU utilizado en la fabricación del guardapolvo mostró propiedades mecánicas notables, como un esfuerzo último promedio de aproximadamente 29 Mpa para cada patrón de relleno impreso, evidenciando tanto resistencia a la tracción como flexibilidad. Destacó especialmente un patrón de relleno cúbico que presentó una mayor similitud con la pieza original, lo cual es crucial para su funcionamiento en el contexto automotriz. Además, se observó que el material exhibía una estabilidad térmica sólida durante cambios de temperatura, con un resultado de volatilidad del material del 0.16 %. Estos datos garantizan su rendimiento en condiciones automotrices. En resumen, esta investigación logró caracterizar de manera efectiva tanto la resistencia mecánica como el comportamiento térmico del material TPU utilizado en la impresión 3D del guardapolvo de la palanca de cambios del Nissan Sentra B13. Los resultados obtenidos respaldan la idoneidad de este material para su implementación en la industria automotriz, demostrando propiedades mecánicas adecuadas y una sólida estabilidad térmica.

**Palabras clave:** Guardapolvo, probetas, tracción, flexión, impresión 3D.



## Abstract

The main objective of this research was the characterization of the mechanical resistance and thermal behavior of the TPU material (Thermoplastic Polyurethane) obtained through the 3D printing technique. This material was used in the manufacture of the gear lever dust cover for the Nissan Sentra B13 vehicle. To achieve this goal, various probes with specific configurations are designed following standards such as ASM, IZOD D256, ASTM 638 for tension and ASTM D695. The methodology used included the use of Inventor software for the design of the probes and the selection of the most appropriate configurations. Subsequently, tests were carried out to evaluate the resistance, flexibility and thermal behavior of the material, with its analysis complemented by the SimSolid software. The results obtained revealed that the TPU material used in the manufacture of the dust cover showed notable mechanical properties, such as an average ultimate stress of approximately 29 Mpa for each printed infill pattern, evidencing both tensile strength and flexibility. He especially highlighted a cubic infill pattern that presented a greater similarity to the original part, which is crucial for its operation in the automotive context. In addition, it will be noted that the material exhibited robust thermal stability during temperature changes, with a material volatility result of 0.16%. These data guarantee its performance under automotive conditions. In summary, this research was able to effectively characterize both the mechanical resistance and the thermal behavior of the TPU material used in the 3D printing of the gear lever boot of the Nissan Sentra B13. The results obtained support the suitability of this material for implementation in the automotive industry, demonstrating adequate mechanical properties and strong thermal stability.

**Keywords:** Dust boot, specimens, tensile strength, bending, 3D printing.

## Tabla de Contenidos

	4
<b>PORTADA</b>	<b>I</b>
<b>DECLARACIÓN JURAMENTADA</b>	<b>II</b>
<b>DECLARACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS</b>	<b>III</b>
<b>DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE</b>	<b>V</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	<b>VI</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>I</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>II</b>
<b>TABLA DE CONTENIDOS</b>	<b>III</b>
<b>ABREVIATURAS</b>	<b>XII</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
ANTECEDENTES	4
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
JUSTIFICACIÓN	10
OBJETIVOS	12
<i>Objetivo general</i>	12
<i>Objetivos específicos</i>	12
HIPÓTESIS	13
<b>ESTADO DEL ARTE</b>	<b>14</b>
ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	14

	5
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	16
<i>Poliuretano Termoplástico (TPU)</i>	17
<i>Composición del TPU</i>	18
<i>Ventajas y limitaciones del TPU</i>	19
<i>Modelado de Deposición Fundida (FDM)</i>	21
<i>Funcionamiento del FDM</i>	22
<i>Parámetros de impresión FDM</i>	24
<i>Materiales para la impresión FDM</i>	26
ENSAYO DE TRACCIÓN	29
<i>Dimensión de ensayo de tracción</i>	29
<i>Dimensiones del ensayo de flexión</i>	30
<i>Diseño del guardapolvo en 3D</i>	31
MARCO NORMATIVO	34
<i>Normas ASTM e ISO para los ensayos mecánicos de polímeros</i>	34
SÍNTESIS DEL ESTADO DEL ARTE	35
<b>METODOLOGÍA</b>	<b>38</b>
TIPO DE INVESTIGACIÓN	38
<i>Enfoque de investigación</i>	38
TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	39
DIMENSIONES DEL ENSAYO DE FLEXIÓN	41
IMPRESIÓN DE LAS PROBETAS Y ENSAYOS	42
<i>Calidad</i>	44

	6
<i>Paredes</i>	45
<i>Materiales</i>	46
<i>Extrusión de la impresión</i>	47
ENSAYO DE FLEXIÓN	52
<i>Equipo para ensayo de flexión</i>	52
<i>Ensayo en TPU</i>	55
Carga sobre una de las caras laterales del guardapolvo	58
Carga en pared frontal del guardapolvo	60
Carga en pared posterior del guardapolvo	61
<i>Ensayos caucho</i>	62
Carga en cara posterior con material ABS	64
Carga aplicada sobre las caras laterales	66
<i>Ensayos con material PA</i>	68
Carga en pared frontal con PA	70
Carga en pared posterior con PA	71
Carga en pared lateral con material PA	73
<i>Ensayos con material PLA</i>	74
Carga en pared frontal con material PLA	75
Carga en pared posterior con material PLA	76
Cargas en paredes laterales con PLA	78
SÍNTESIS METODOLÓGICA	79
<i>Ensayos Mecánicos</i>	80
<i>Ensayos Térmicos</i>	81

	7
<i>Simulación</i>	82
<i>Mecánica de los Materiales</i>	83
<i>Simulación Térmica</i>	84
<b>RESULTADOS</b>	<b>86</b>
RESULTADOS DE INVESTIGACIÓN	86
<i>Resultados de la tracción</i>	87
<i>Ensayo de tracción para el material TPU</i>	91
SÍNTESIS DE RESULTADOS	108
<b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>	<b>111</b>
DISCUSIÓN	111
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>117</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>119</b>
<b>LISTA DE REFERENCIAS</b>	<b>121</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>130</b>

## Índice de tablas

	8
<b>Tabla 1</b>	8
<b>Tabla 2</b>	25
<b>Tabla 3</b>	27
Tabla 4	33
<b>Tabla 5</b>	41
<b>Tabla 6</b>	45
<b>Tabla 7</b>	45
<b>Tabla 8</b>	47
<b>Tabla 9</b>	48
<b>Tabla 10</b>	49
<b>Tabla 11</b>	50
<b>Tabla 12</b>	51
<b>Tabla 13</b>	53
<b>Tabla 14</b>	57
<b>Tabla 15</b>	68
<b>Tabla 16</b>	74
<b>Tabla 17</b>	87
<b>Tabla 18</b>	88
<b>Tabla 19</b>	90
<b>Tabla 20</b>	90
<b>Tabla 21</b>	92
<b>Tabla 22</b>	93

	9
<b>Tabla 23</b>	94
<b>Tabla 24</b>	96
<b>Tabla 25</b>	99
<b>Tabla 26</b>	100
<b>Tabla 27</b>	103
<b>Tabla 28</b>	113
<b>Tabla 29</b>	114

	10
<b>Índice de figuras</b>	
<b>Figura 1</b>	23
<b>Figura 2</b>	28
<b>Figura 3</b>	29
<b>Figura 4</b>	30
<i>Figura 5</i>	32
<b>Figura 6</b>	33
<b>Figura 7</b>	40
<b>Figura 8</b>	42
<b>Figura 9</b>	43
<b>Figura 10</b>	51
<b>Figura 11</b>	54
<b>Figura 12</b>	55
<b>Figura 13</b>	56
<b>Figura 14</b>	59
<b>Figura 15</b>	59
<b>Figura 16</b>	60
<b>Figura 17</b>	61
<b>Figura 18</b>	63
<b>Figura 19</b>	65
<b>Figura 20</b>	67
<b>Figura 21</b>	70
<b>Figura 22</b>	71



<b>Figura 23</b>	11
<b>Figura 24</b>	72
<b>Figura 25</b>	73
<b>Figura 26</b>	76
<b>Figura 27</b>	77
<b>Figura 28</b>	77
<b>Figura 29</b>	78
<b>Figura 30</b>	93
<b>Figura 31</b>	97
<b>Figura 32</b>	98
<b>Figura 33</b>	102
	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

**Índice de anexos**

Anexo 1	130
Anexo 2	131
Anexo 3	132
Anexo 4	133
Anexo 5	134
Anexo 6	135
Anexo 7	136
Anexo 8	136
Anexo 9	137
Anexo 10	137
Anexo 11	138
Anexo 12	138

**ECUACIONES**

## LISTA DE NOMENCLATURA

## NOMENCLATURA

Modulo elástico

Carga Ultima

Esfuerzo a la fluencia

## SIMBOLOGIA

$$\delta^{def} = \frac{tension}{deformacion}$$

$$q_s = \frac{q_u}{FS}$$

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

**Abreviaturas**

CAD	Diseño Asistido por Computador
HIPS	Poliestireno de alto impacto
TPU	Poliuretano Termoplástico (Thermoplastic Polyurethane)
FDM	Modelado por Deposición Fundida
PLA	Polo Ácido Láctico
TPE	Elastómeros Termoplásticos
ROM	Rango de Movimiento
PETG	Polyethylene Terephthalate Glicol
ASTM	Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales
ISO	International Organization for Standardization
ABS	Acrilonitrilo Butadieno Estireno
PA	Poliamida

## INTRODUCCIÓN

La impresión 3D o fabricación aditiva ha revolucionado los métodos de producción, reemplazando gradualmente técnicas tradicionales como el moldeo por inyección. Este proceso permite crear objetos complejos utilizando diferentes materiales, como el Ácido Poliláctico (PLA). Sin embargo, la impresión 3D debe garantizar características esenciales como fiabilidad, versatilidad, precisión, velocidad, personalización y coste, que dependen del material de impresión, el diseño y el objeto deseado.

En el campo automotriz, la fabricación aditiva ha encontrado numerosas aplicaciones, aunque muchos consumidores desconocen que algunas partes de sus vehículos pueden imprimirse en 3D con materiales específicos o incluso reemplazarse fácilmente con este método (Álvarez, 2019). La mayoría de las personas solo han tenido contacto con impresoras 3D de plástico a pequeña escala en centros comerciales y escuelas, sin comprender completamente el amplio alcance de esta tecnología en la industria automotriz.

La fabricación aditiva se ha convertido en una alternativa atractiva para los fabricantes de automóviles que buscan reducir costes operativos, ya que los métodos de producción tradicionales, como la fabricación de moldes, pueden resultar costosos (Cortés, 2017). La impresión 3D de accesorios y autopartes se presenta como una opción viable. Sin embargo, seleccionar el material adecuado para cada sección del automóvil sigue siendo un desafío importante.

En Ecuador, el mercado de autopartes enfrenta problemas relacionados con la disponibilidad y el progreso de estas piezas, lo que ha llevado a la implementación de restricciones para abordar la situación. Existe la necesidad de aprovechar mejor la tecnología para aumentar la rentabilidad de los recursos económicos, lo que ha llevado a la fabricación de autopartes limitadas a componentes simples y piezas metálicas, como esponjas de asientos, radios, altavoces y partes plásticas.

Sin embargo, la fabricación de autopartes más complejas sigue siendo un desafío, por lo que es necesario explorar nuevas tecnologías, como el diseño y modelado de software, junto con la impresión 3D. Esta tecnología ofrece la posibilidad de producir piezas y repuestos a un coste menor. Esta investigación busca demostrar la viabilidad de fabricar autopartes utilizando herramientas de impresión 3D, al tiempo que amplía la comprensión de las limitaciones de este enfoque, como los materiales disponibles y el tiempo requerido para fabricar una pieza. La impresión 3D se está convirtiendo en una opción prioritaria para las principales automotrices.

El problema identificado se relaciona con la escasez y los altos costes de las autopartes. Cuando ocurren daños, los propietarios intentan reparar las autopartes con compuestos o métodos temporales, pero estas reparaciones no ofrecen una solución definitiva, ya que su durabilidad es limitada. Por ejemplo, las autopartes de caucho presentan grietas evidentes incluso después de una restauración. Este proceso es complejo y difiere de la fabricación de materiales compuestos termoestables tradicionales, que requieren herramientas y equipos costosos. Estas limitaciones son una desventaja importante de los materiales compuestos termoplásticos.

La falta de precisión y el rendimiento del sistema automotriz en su forma física hacen que se descuiden mejoras basadas en los parámetros que conforman su arquitectura. Por lo tanto, es necesario realizar un estudio exhaustivo de los materiales que puedan ofrecer características similares a las piezas originales de fábrica.

El objetivo general de esta investigación es caracterizar mecánica y térmicamente el material TPU mediante la impresión 3D para la fabricación del guardapolvo de la palanca de cambios del Nissan Sentra B13. Este objetivo permitirá evaluar la viabilidad de utilizar esta tecnología y sus limitaciones en términos de materiales y tiempo de fabricación de las piezas. Además, se busca ampliar la consideración de las ventajas y desventajas de la fabricación de autopartes mediante impresión 3D, para que se convierta en una opción prioritaria, tal como ocurre con las principales automotrices.

La metodología empleada en este estudio es cualitativa-cuantitativa, lo que permitirá obtener resultados precisos y confiables sobre las propiedades mecánicas y térmicas del material TPU impreso en 3D. Se realizará una revisión exhaustiva de la literatura científica y técnica para obtener una base teórica sólida y conocer los avances más recientes en la fabricación aditiva de autopartes.

Se diseñará y modelará digitalmente el guardapolvo del Nissan Sentra B13, teniendo en cuenta las especificaciones técnicas y los requisitos funcionales del vehículo. Se seleccionará cuidadosamente el material TPU, considerando su resistencia mecánica y capacidad para soportar temperaturas extremas.

Se realizarán pruebas mecánicas y térmicas para evaluar la resistencia y la capacidad de adaptación del TPU impreso en 3D. Los resultados se compararán con los estándares de calidad establecidos para las autopartes del Nissan Sentra B13, con el fin de determinar la idoneidad del material y el proceso de fabricación aditiva para esta pieza específica.

En consecuencia, esta investigación busca ampliar el conocimiento sobre la fabricación aditiva de autopartes mediante la caracterización mecánica y térmica del material TPU para el guardapolvo de la palanca de cambios del Nissan Sentra B13. Los resultados obtenidos contribuirán al desarrollo de soluciones innovadoras en la fabricación de autopartes y fomentarán la adopción de la impresión 3D como una opción viable en la industria automotriz.

### **Antecedentes**

El primer antecedente al que se hace mención es el desarrollado por Rodríguez & Niño (2021), titulado "Caracterización de las propiedades mecánicas a tensión y compresión de materiales celulares en HIPS y TPU obtenidos por fabricación de filamento fundido". En este estudio, además de los ensayos de caracterización mecánica, se realizaron ensayos térmicos para evaluar las propiedades térmicas de los materiales HIPS y TPU. Análisis termogravimétrico (TGA) según las normativas correspondientes. Estos ensayos permitieron determinar las transiciones térmicas, como las temperaturas de fusión y cristalización, y analizar la estabilidad térmica de los materiales.



En el estudio realizado por Veloso y Vargas (2022), denominado "Metodología y simulación computacional de probetas impresas en 3D para la selección de materiales en la fabricación de prótesis externas de seno", además de los ensayos de pruebas mecánicas, se llevaron a cabo ensayos térmicos para caracterizar las propiedades térmicas de los filamentos de TPU utilizados. El TGA para evaluar las transiciones y la estabilidad térmicas de los filamentos. Estos ensayos proporcionaron información sobre las propiedades térmicas de los materiales y su comportamiento frente a cambios de temperatura.

En la investigación de Cuéllar (2018), además de los ensayos de adhesión y las pruebas mecánicas, se realizaron ensayos térmicos para evaluar las propiedades térmicas del filamento diseñado. Se llevaron a cabo análisis TGA para investigar las transiciones térmicas y la estabilidad térmica del filamento blando. Estos ensayos proporcionaron información sobre las propiedades térmicas del material y su comportamiento térmico durante el proceso de impresión.

Bustamante (2021) desarrolló un estudio titulado "Estudio paramétrico e impresión 3D de una prótesis de mano para niños", enfocado en la personalización de prótesis de mano impresas en 3D para satisfacer los requisitos de los pacientes en términos de tamaño, peso y estética. Se propuso un método de modelado paramétrico parcial utilizando una metodología basada en la revisión de referencias consultadas sobre innovaciones en neumáticos sin aire y diseños únicos empleados. Se utilizaron materiales como PLA, TPU y polietileno tereftalato glicol (PETG) para imprimir los elementos de la prótesis mediante FDM. Las manos impresas se sometieron a pruebas de sujeción de objetos de diferentes

formas y pesos, y se evaluó el cumplimiento de las tareas definidas en el protocolo de pruebas. Se utilizó un protocolo para probar los objetos impresos y los parámetros de impresión con FDM.

Cabello (2021) realizó un estudio sobre el efecto de la temperatura en las propiedades mecánicas de probetas fabricadas por impresión 3D mediante FDM. Se fabricaron piezas de PLA utilizando diferentes temperaturas de la boquilla de impresión (desde 180 °C hasta 260 °C) y se realizaron ensayos de resistencia a la tracción uniaxial, compresión y flexión en tres puntos. Se analizó la influencia de la temperatura de extrusión en las propiedades mecánicas de las piezas y se determinó que la temperatura de extrusión es un factor importante para obtener propiedades mecánicas específicas, aunque otros parámetros como la orientación de impresión, la cantidad y el patrón de relleno también tienen influencia.

En el estudio de Palomino (2022), se diseñó y construyó un prototipo de impresora 3D basada en FDM para generar modelos 3D a partir de CAD, utilizando PLA como material de fabricación. Se aplicaron metodologías cuantitativas y comparativas para el diseño y análisis del prototipo. Se utilizaron correas dentadas GT2 y varillas roscadas ACME T8 para el desplazamiento del cabezal de extrusión, y se empleó el programa Repetier Host y el firmware Marlin para controlar la impresora. Se estableció una temperatura de impresión de 210 °C y una velocidad de impresión de 50 mm/s. Las piezas impresas se midieron y se obtuvo una variación dimensional máxima de -0,36 mm en la coordenada X, considerada dentro de los límites aceptables. Además, se comparó el costo

de la impresora desarrollada con impresoras 3D existentes en el mercado, y se encontró que el costo era un 9,74 % menor.

Por último, Muñoz (2022) realizó el diseño y análisis de un prototipo a escala de un neumático sin aire para vehículos livianos. Se empleó la metodología cuantitativa y comparativa, seleccionando el poliuretano termoplástico (TPU) como material de fabricación. Se diseñaron y compararon tres prototipos con geometrías distintas, basándose en la revisión de referencias sobre neumáticos sin aire y diseños únicos. Se utilizó el software CAD SolidWorks para realizar simulaciones de los prototipos, y se determinó que el modelo C fue la mejor opción según el análisis comparativo. Este estudio también destacó la importancia del análisis comparativo y las bases teóricas consultadas.

En síntesis, los antecedentes de investigación mencionados abordan diferentes aspectos de la impresión 3D utilizando tecnología FDM, desde la caracterización de propiedades mecánicas hasta la selección de materiales, diseño de prótesis, análisis de parámetros de impresión y desarrollo de prototipos. Los ensayos térmicos realizados en el marco de estos estudios, el análisis termogravimétrico (TGA), proporcionaron información adicional sobre las propiedades térmicas de los materiales utilizados.

### **Planteamiento del Problema**

En la industria automotriz ecuatoriana, se identifica un problema significativo relacionado con la escasez de autopartes originales. Esta escasez se debe principalmente a dos causas principales: los altos costos de las autopartes originales y la falta de producción suficiente por parte de los fabricantes.

El efecto de esta escasez de autopartes originales se refleja en varios aspectos. En primer lugar, los propietarios de vehículos y los talleres de reparación se enfrentan a dificultades para encontrar y adquirir las autopartes necesarias para la reparación y el mantenimiento de los vehículos. Esto conlleva a la utilización de alternativas, como autopartes genéricas o reparaciones temporales, que no siempre garantizan un rendimiento óptimo ni una duración precisa. Además, los altos costos de las autopartes originales generan un impacto económico significativo para los propietarios de vehículos y los talleres de reparación.

Si no se aborda adecuadamente la escasez de autopartes originales, se espera que el problema persista y empeore en el futuro. Con el continuo crecimiento del parque automotor en Ecuador, el aumento de la demanda de autopartes originales se traducirá en una mayor dificultad para encontrar estas piezas y un incremento en los costos asociados.

Para comprender mejor la magnitud del problema, se realizó un análisis estadístico utilizando datos del Servicio de Rentas Internas (SRI) del Ecuador, específicamente en relación con los vehículos y los taxis. A continuación, se presenta una tabla estadística que evidencia la escasez de autopartes originales en base al porcentaje de vehículos y taxis registrados en años anteriores:

**Tabla 1***Constante de autopartes originales (2019 – 2022)*

<b>Año</b>	<b>Porcentaje de Vehículos con Autopartes Originales (%)</b>	<b>Porcentaje de Taxis con Autopartes Originales (%)</b>
2019	72%	68%
2020	69%	65%
2021	66%	61%
2022	63%	57%

*Fuente:* (Servicio de Rentas Internas, 2022)

Los datos de la tabla evidencian una disminución constante en el porcentaje de vehículos y taxis que cuentan con autopartes originales en los últimos años. Esto indica que el problema de escasez persiste y ha afectado tanto a los propietarios de vehículos como a los conductores de taxis en Ecuador.

La disminución constante en el porcentaje de vehículos y taxis con autopartes originales en los últimos años, tal como se muestra en la tabla estadística anterior, puede ser atribuida en gran medida a la pandemia de COVID-19 que afectó a Ecuador en el año 2020. La crisis sanitaria y las medidas de confinamiento implementadas como respuesta a la propagación del virus tuvieron un impacto significativo en la industria automotriz y en la disponibilidad de autopartes originales.

Durante el año 2020, muchas fábricas y distribuidores de autopartes se vieron obligados a suspender temporalmente sus operaciones o reducir su capacidad de producción debido a las restricciones impuestas para contener la propagación del virus.

Esto provocó interrupciones en la cadena de suministro y una escasez generalizada de autopartes originales en el mercado ecuatoriano.

Además, la disminución en la demanda de vehículos y servicios de transporte, como los taxis, durante los períodos de confinamiento y restricciones de movilidad, también contribuyó a la reducción en la adquisición de autopartes originales. Muchos propietarios de vehículos y conductores de taxis optaron por posponer las reparaciones o buscar alternativas más económicas debido a las dificultades económicas causadas por la crisis.

Por tanto, la escasez de autopartes originales en la industria automotriz ecuatoriana representa un desafío significativo. Los altos costos y la falta de producción suficiente son las principales causas de esta situación. El efecto se refleja en dificultades para encontrar autopartes originales, la utilización de alternativas óptimas y un impacto económico negativo. Con un pronóstico de persistencia y empeoramiento del problema, es crucial abordar esta escasez para garantizar la disponibilidad de autopartes originales de calidad y a precios

### **Justificación**

La relevancia y pertinencia de la investigación planteada se sustenta en varios argumentos que destacan la importancia teórica y práctica, la innovación, el interés, el impacto social y científico, y la factibilidad de abordar el problema planteado. En primer lugar, la investigación es relevante debido a la alta demanda de diferentes autopartes de vehículos que ya no están en producción o cuyas fábricas han cerrado. Esta situación ha llevado a la necesidad de utilizar materiales con características similares a las originales

para reemplazar las autopartes escasas. Sin embargo, la falta de diseños para modelos de autos obsoletos ha limitado esta actividad y ha resultado en accesorios en mal estado o la ausencia de los mismos.

Además, en un mundo globalizado, la tecnología se ha generalizado rápidamente en campos como la electrónica, pero su aplicación en la industria manufacturera aún requiere elementos complejos. El problema técnico existente radica en la falta de consideración de las autopartes de manera individual en lugar de como un conjunto de piezas que forman un sistema automotriz. Este enfoque limita la capacidad de cumplir con la demanda de manera individual y dificulta la producción de piezas específicas para modelos de autos obsoletos.

La importancia de abordar este problema radica en la necesidad de satisfacer la demanda de autopartes de manera individual y cumplir con los estándares de calidad esperados. La escasez de autopartes originales y la falta de alternativas de calidad en el mercado han llevado a la importación de piezas de diferentes países, lo que resulta en tiempos de entrega prolongados y costos elevados. La investigación propuesta busca ofrecer una solución parcial a este problema al imprimir en 3D el guardapolvo de la palanca del vehículo Nissan Sentra b13 o Tsuru, utilizando el material TPU, que ofrece características mecánicas y térmicas adecuadas.

Desde el punto de vista teórico, la investigación se basa en la aplicación de la impresión 3D y el uso del material TPU, un elastómero termoplástico resistente al desgaste. Esto representa una innovación en el campo de la fabricación de autopartes y ofrece la

posibilidad de obtener productos de calidad a un costo más bajo. Además, el estudio aborda un problema específico relacionado con la escasez de autopartes para un modelo de automóvil utilizado en el transporte público y comercial, lo que tiene un impacto directo en la economía y la movilidad de la población.

El impacto social de esta investigación se refleja en la disponibilidad de autopartes asequibles y de calidad para vehículos obsoletos, lo que contribuye a prolongar su vida útil y mantener su funcionalidad. Esto tiene un efecto positivo en propietarios de vehículos y conductores de taxis, quienes podrán acceder a autopartes necesarias sin incurrir en costos excesivos. Además, la investigación proporcionará información científica sobre el uso del material TPU en la impresión 3D de autopartes, lo que puede ser utilizado por la comunidad académica y la industria automotriz para futuros desarrollos y mejoras en la fabricación de repuestos.

En cuanto a la factibilidad de la investigación, se cuenta con las herramientas necesarias como el software SolidWorks e Inventor para el diseño en 3D y la impresora 3D para la fabricación de las piezas. Además, el material TPU está ampliamente disponible en el mercado y se ha utilizado en aplicaciones similares, lo que respalda su viabilidad en este estudio.

En consecuencia, la investigación propuesta aborda un problema relevante en la industria automotriz, ofreciendo una solución parcial a la escasez de autopartes para vehículos obsoletos. La aplicación de la impresión 3D con el material TPU tiene un alto potencial de innovación y ofrece beneficios teóricos y prácticos, así como un impacto social



y científico significativo. Además, la factibilidad de llevar a cabo esta investigación está respaldada por las herramientas disponibles y la disponibilidad del material.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Caracterizar las propiedades mecánicas y térmicas del material TPU (*Thermoplastic Polyurethane*) mediante impresión 3D para la fabricación del guardapolvo de la palanca de cambios del Nissan Sentra B13.

### **Objetivos específicos**

- Diseñar probetas con diferentes configuraciones según la normativa y las normativas ASTM 638 de tensión y ASTM D695, utilizando el software Inventor, para selección de las mejores características mecánicas y térmicas.
- Realizar ensayos de flexión, resistencia y análisis térmico en el TPU para análisis de sus características mecánicas y térmicas, en determinación de su importancia en la fabricación aditiva de autopartes automotrices.
- Estudiar la conducta del TPU mediante el uso de diferentes softwares y ensayos mecánicos y térmicos, para un análisis detallado y una simulación de la pieza original del guardapolvo utilizando el material propuesto.
- Imprimir el guardapolvo utilizando una impresora 3D, siguiendo un diseño previamente evaluado y aprobado en base a los resultados obtenidos en los objetivos anteriores.

- Realizar una simulación mecánica y térmica de la pieza original del guardapolvo utilizando el material original propuesto, permitiendo realizar un diagnóstico completo de su comportamiento y verificación de su adecuación para su aplicación en el Nissan Sentra B13.
- Comparar los resultados con el material original el caucho y su homónimo el TPU y probar que es apto para su uso y comprobar las resistencias mecánicas y térmicas de las mismas

### **Hipótesis**

La impresión 3D con TPU para fabricar el guardapolvo de la palanca del Nissan Sentra B13 para mejorar su durabilidad y funcionalidad mediante caracterización mecánica y térmica y se generaran los resultados de ensayos de los diferentes indoles, para la fabricación de la autoparte y así mejorarán su durabilidad y funcionalidad.

## **ESTADO DEL ARTE**

### **Antecedentes investigativos**

La fabricación de autopartes mediante la tecnología de impresión 3D ha revolucionado la industria automotriz al permitir la producción rápida y personalizada de piezas. En este contexto, el uso del material TPU (Thermoplastic Polyurethane) ha ganado relevancia debido a sus propiedades mecánicas destacadas y su capacidad de adaptarse a diferentes diseños. En el estado del arte actual, se han realizado diversos estudios que abordan diferentes aspectos de la fabricación aditiva de autopartes utilizando TPU.

En primer lugar, se ha investigado la caracterización mecánica del TPU obtenido mediante fabricación de filamento fundido (FDM). Estos estudios han evaluado las propiedades mecánicas a tensión y compresión de materiales celulares en HIPS y TPU. Los resultados han proporcionado información valiosa sobre las características mecánicas de estos materiales y su comportamiento bajo diferentes cargas.

Otro aspecto relevante en el estado del arte es la aplicación del TPU en la fabricación de prótesis externas y personalizadas. Se han desarrollado metodologías para evaluar las propiedades mecánicas de los filamentos utilizados en la impresión 3D y se han realizado simulaciones de ensayos mecánicos para mejorar el diseño y la evaluación de estas prótesis. Estos estudios demuestran la importancia de la selección de materiales y el diseño adecuado en la fabricación de prótesis impresas en 3D.

Además, se ha investigado la viabilidad de imprimir en elastómeros termoplásticos como el TPU. Se han realizado estudios sobre la adhesión de filamentos diseñados con diferentes copolímeros comerciales y sobre el fenómeno de la extrusión en la impresión 3D

de materiales flexibles. Estos aspectos son fundamentales para comprender los desafíos y consideraciones en la impresión 3D de materiales elastoméricos.

En el campo de la personalización de piezas impresas en 3D, se han realizado investigaciones para desarrollar objetos impresos en 3D que combinen diferentes propiedades y diseños. Estos estudios han explorado la combinación de materiales blandos y duros, armonizando sus propiedades y diseño. Además, se han utilizado materiales como el PLA, TPU y PETG en la fabricación de elementos personalizados mediante FDM. Estas investigaciones han proporcionado conocimientos valiosos sobre la personalización de piezas impresas en 3D para diversas aplicaciones.

Por último, se ha estudiado el efecto de la temperatura en las propiedades mecánicas de piezas fabricadas por impresión 3D. Estos estudios han evaluado el impacto de diferentes temperaturas de extrusión en las propiedades mecánicas de los materiales utilizados en la impresión 3D. El conocimiento de este efecto es fundamental para comprender el comportamiento de los materiales termoplásticos, como el TPU, durante el proceso de impresión y en su aplicación final.

Por tanto, el estado del arte en la fabricación de autopartes mediante impresión 3D con TPU ha abordado la caracterización mecánica de materiales, la selección de materiales en la fabricación de prótesis, el diseño paramétrico, la personalización de piezas impresas en 3D y el efecto de la temperatura en las propiedades mecánicas. Estos avances han sentado las bases para la aplicación exitosa del TPU en la fabricación aditiva de autopartes automotrices.

Sin embargo, existe una brecha en la investigación relacionada con la fabricación del guardapolvo de la palanca de cambios del Nissan Sentra B13 y la evaluación de su comportamiento mecánico y térmico. La presente investigación tiene como objetivo cerrar esta brecha y contribuir al campo de la fabricación aditiva de autopartes automotrices.

### **Fundamentación teórica**

La fundamentación teórica de la presente investigación se basa en un sólido estado del arte sobre la fabricación aditiva de autopartes utilizando el material TPU. Los estudios previos han proporcionado una base sólida de conocimiento en áreas clave, como la caracterización mecánica del TPU, la selección de materiales en la fabricación de prótesis, el diseño paramétrico y la personalización de piezas impresas en 3D.

En términos de la caracterización mecánica del TPU, se han realizado estudios que evalúan las propiedades mecánicas a tensión y compresión de materiales celulares en HIPS y TPU obtenidos mediante fabricación de filamento fundido. Estos estudios han permitido comprender las características mecánicas del TPU y su comportamiento bajo diferentes cargas, lo cual es fundamental para garantizar la resistencia y durabilidad de las autopartes impresas en 3D.

En cuanto a la selección de materiales en la fabricación de prótesis, se ha investigado la aplicación del TPU en la fabricación de prótesis externas personalizadas. Los estudios han abordado la evaluación de las propiedades mecánicas de los filamentos utilizados en la impresión 3D y han realizado simulaciones de ensayos mecánicos para mejorar el diseño y la evaluación de estas prótesis. Esto ha permitido identificar los materiales más adecuados para garantizar la calidad y funcionalidad de las prótesis impresas en 3D.

En términos de diseño paramétrico y personalización de piezas impresas en 3D, se han realizado investigaciones para desarrollar objetos impresos que combinen diferentes propiedades y diseños. Estos estudios han explorado la combinación de materiales blandos y duros, así como la utilización de materiales como el PLA, TPU y PETG en la fabricación de elementos personalizados mediante FDM. Esto ha ampliado las posibilidades de diseño y ha permitido adaptar las piezas a las necesidades específicas de cada aplicación.

En consecuencia, la fundamentación teórica de esta investigación se basa en un sólido estado del arte que abarca aspectos fundamentales relacionados con la fabricación aditiva de autopartes utilizando TPU. El conocimiento generado hasta el momento ha sentado las bases para abordar el problema planteado y contribuir al campo de la fabricación aditiva de autopartes automotrices.

### **Poliuretano Termoplástico (TPU)**

El Poliuretano Termoplástico (TPU) es un tipo de plástico sintético compuesto por polímeros que forman largas cadenas macromoleculares. Los plásticos son materiales que presentan plasticidad, lo que significa que pueden deformarse permanentemente y ser remodelados mediante diferentes procesos como el moldeo, la extrusión y la aplicación de presión (Asensio, 2022).

Los termoplásticos, como el TPU, reciben su nombre debido a su reacción al calor; a ciertas temperaturas, se vuelven plásticos y pueden adquirir la forma deseada, pero al enfriarse, conservan permanentemente esa forma hasta que son calentados nuevamente. Estos materiales tienen altas temperaturas de flexibilidad, lo que significa que, durante su uso normal, hay pocas posibilidades de que pierdan su forma original.

Los elastómeros, como el TPU, son materiales altamente flexibles y versátiles que encuentran aplicación en numerosos campos. El TPU es un elastómero termoplástico procesable por fusión, que combina las propiedades del plástico y del caucho. Posee durabilidad, flexibilidad y excelente resistencia a la tracción, lo que lo hace adecuado para aplicaciones exigentes como la industria automotriz, la fabricación de alambres y cables, accesorios deportivos y revestimientos textiles (Contreras, 2021).

El TPU es solo una de las muchas variedades de poliuretano disponibles en el mercado. Se puede moldear mediante técnicas como la inyección, el soplado y la extrusión, aprovechando su procesabilidad por fusión y sus características flexibles, duraderas y resistentes a la abrasión. Su amplio rango de propiedades lo convierte en un material versátil y de elección en diferentes industrias (Asensio, 2022).

Por tanto, el TPU, como poliuretano termoplástico, se destaca por su capacidad de ser moldeado y remodelado mediante procesos de fusión. Sus propiedades mecánicas, flexibilidad, durabilidad y resistencia a la tracción lo convierten en una opción atractiva para diversas aplicaciones industriales y comerciales, satisfaciendo las demandas de sectores como la automoción, la fabricación de cables y accesorios deportivos. Su versatilidad y procesabilidad lo convierten en un material de gran interés en la industria actual (Contreras, 2021).

### **Composición del TPU**

El Poliuretano Termoplástico (TPU) se obtiene a partir de una reacción química entre polioles de cadena larga, diisocianatos y dioles de cadena corta. Esta reacción de poliadición da lugar a un copolímero de bloque lineal segmentado con secuencias alternas de segmentos

duros y blandos. Los polioles utilizados pueden ser de poliéster poliéter o policarbonato, y los diisocianatos pueden ser uno o varios, dependiendo de la formulación específica (Gómez, 2019).

La presencia de segmentos duros y blandos en el TPU es lo que le confiere su alta adaptabilidad y la capacidad de ajustar su dureza. La proporción de estos segmentos puede variar para obtener diferentes grados de dureza. En general, a medida que aumenta la proporción de segmentos duros, el TPU se vuelve más rígido en sus propiedades mecánicas. Por lo tanto, la composición del TPU puede ser ajustada y optimizada para cumplir con requisitos específicos de dureza y rendimiento (Gómez, 2019).

En términos más técnicos, el segmento blando del TPU está compuesto por un poliéter o poliéster, obtenido a partir de un poliol y un isocianato. Este segmento proporciona la flexibilidad y la naturaleza elastomérica del TPU. Por otro lado, el segmento duro puede ser de naturaleza aromática o alifática, dependiendo del tipo de isocianato utilizado. Este segmento se construye a partir de un extensor de cadena y un isocianato, y es responsable de la dureza y las propiedades físicas del TPU (Gómez, 2019).

En consecuencia, el TPU es un copolímero de bloque lineal segmentado que combina segmentos duros y blandos en su estructura molecular. La proporción y la naturaleza de estos segmentos determinan las propiedades mecánicas y de dureza del TPU. Su composición versátil permite obtener una amplia gama de durezas y propiedades adaptadas a diferentes aplicaciones industriales y comerciales (Gómez, 2019).



## **Ventajas y limitaciones del TPU**

Presenta una serie de ventajas que lo hacen destacar como un material versátil y de alto rendimiento en diversas aplicaciones. Entre sus principales ventajas se encuentran su excelente resistencia a la abrasión, su buena adherencia a los sustratos y su capacidad ignífuga. Además, el TPU muestra una resistencia microbiana notable, así como una alta resistencia a los rayos ultravioleta y a la hidrólisis. Estas propiedades lo convierten en un material duradero, capaz de soportar condiciones adversas y mantener su integridad estructural a lo largo del tiempo. A su vez, el TPU presenta una capacidad amortiguadora y una resistencia a la deformación superiores a las de otros materiales, lo que lo hace especialmente adecuado para aplicaciones que requieren flexibilidad y resistencia (Pineda & Herrera, 2019).

Además de sus propiedades técnicas sobresalientes, el TPU ofrece beneficios desde el punto de vista ambiental y económico. Este material es reciclable, a diferencia del caucho, lo cual lo convierte en una opción más sostenible. Asimismo, el TPU consume menos energía durante su procesamiento en comparación con los elastómeros termoestables y no requiere aditivos especiales, como las siliconas y los cauchos, para su procesamiento. Estos aspectos contribuyen a reducir los costos de fabricación y a minimizar el impacto ambiental asociado con la producción de autopartes. Además, el TPU permite una fácil coloración con pigmentos comunes y facilita el control de calidad del producto final, lo que agrega valor desde una perspectiva industrial (Pineda & Herrera, 2019).

Sin embargo, es importante tener en cuenta algunas limitaciones asociadas al uso de poliuretanos termoplásticos. Algunos grados de TPU pueden presentar una vida útil relativamente corta, lo que puede afectar su durabilidad en ciertos contextos. Además, el TPU

requiere un tiempo de secado previo al procesamiento, lo cual puede aumentar los tiempos de producción. Aunque el TPU es rentable en comparación con otras alternativas, su rango de dureza y temperatura de procesamiento es más estrecho en comparación con otros elastómeros termoplásticos. Por último, el TPU a base de poliéster puede ser susceptible a la hidrólisis en determinadas condiciones. Estas limitaciones deben ser consideradas al seleccionar el TPU como material para la fabricación de autopartes (León et al., 2019).

### **Modelado de Deposición Fundida (FDM)**

El modelado de deposición fundida (FDM) es una técnica de impresión 3D ampliamente utilizada en la fabricación aditiva. También conocida como fabricación de filamentos fundidos (FFF), el FDM se basa en el proceso de extrusión de materiales termoplásticos. En este método, las piezas se construyen capa por capa depositando selectivamente material fundido siguiendo un camino predefinido. El material utilizado en el FDM se presenta en forma de filamentos, que son alimentados a través de una boquilla y se funden para formar las capas de la pieza.

Con la mayor base instalada de impresoras 3D tanto a nivel industrial como de escritorio en todo el mundo, el FDM se ha convertido en la tecnología más comúnmente utilizada en la impresión 3D (López et al., 2022). Este proceso fue pionero en la década de 1980 por Scott Crump, quien lo registró como modelado de deposición fundida (FDM). La empresa Stratasys Inc., cofundada por Scott Crump, es propietaria de la marca registrada FDM y ha sido una figura destacada en el desarrollo y la popularización de esta tecnología.

El FDM ofrece numerosas ventajas, como su amplia disponibilidad y accesibilidad, su capacidad para utilizar una amplia gama de materiales termoplásticos y su relativa

sencillez de uso. Además, las impresoras FDM son capaces de producir piezas de tamaño considerable con una buena precisión y detalle. Sin embargo, también presenta algunas limitaciones, como la rugosidad superficial inherente a la técnica y la necesidad de soportes de material durante la impresión para mantener la estabilidad de las partes con voladizos o estructuras complejas.

A pesar de estas limitaciones, el modelado de deposición fundida sigue siendo una tecnología muy popular debido a su versatilidad, su facilidad de uso y su capacidad para producir piezas funcionales en una amplia gama de aplicaciones. Su prevalencia en la industria y el crecimiento constante de los avances en materiales y tecnología demuestran su importancia en el campo de la fabricación aditiva.

### **Funcionamiento del FDM**

El funcionamiento de una impresora 3D FDM se basa en el proceso de deposición de material de filamento fundido sobre una plataforma de construcción, construyendo la pieza de manera gradual, capa por capa. Este proceso utiliza archivos de diseño digital, que son cargados en la máquina y traducidos a dimensiones físicas. Los materiales utilizados en la tecnología FDM incluyen polímeros como ABS, PLA, PETG, PTU, PA y PEI, los cuales son suministrados a la máquina en forma de hilos a través de una boquilla calentada.

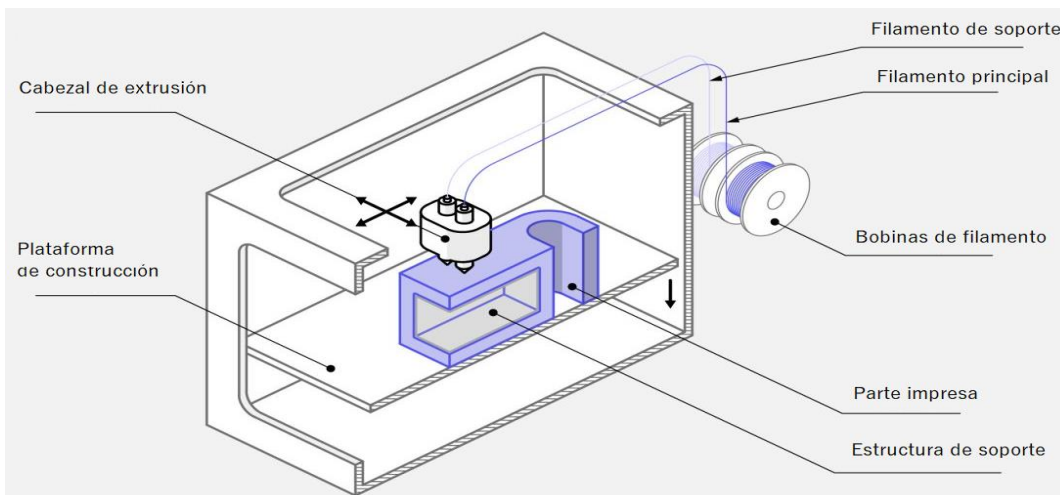
Para poner en funcionamiento una impresora FDM, se carga un carrete de filamento termoplástico en la máquina. Una vez que la boquilla alcanza la temperatura adecuada, el filamento es alimentado a través de un cabezal de extrusión y una boquilla. Este cabezal de extrusión está conectado a un sistema de tres ejes, que permite el movimiento en los ejes X, Y y Z. La impresora extruye el material fundido en finas hebras y las deposita capa por capa

siguiendo un camino determinado por el diseño. Una vez que el material es depositado, se enfría y solidifica. En algunos casos, se pueden utilizar ventiladores conectados al cabezal de extrusión para acelerar el proceso de enfriamiento y mejorar la calidad de la impresión (Romero, 2019).

Este proceso de deposición de material fundido capa por capa permite la creación de piezas tridimensionales con gran precisión y detalles. La tecnología FDM ofrece ventajas como la posibilidad de utilizar una amplia gama de materiales termoplásticos, lo que permite la elección del material más adecuado para cada aplicación. Además, el proceso es relativamente rápido y eficiente, lo que lo hace adecuado para la producción de prototipos y piezas personalizadas. La figura 1 ilustra el esquema típico de una impresora FDM.

### Figura 1

*Esquema de una impresora FDM*



Nota. Adaptado de (HUBS B.V, 2022).

Sin embargo, también existen algunas limitaciones en el funcionamiento de una impresora FDM. La calidad de la impresión puede verse afectada por factores como el espesor de la capa, la resolución de la impresora y la temperatura de extrusión. Además, la

orientación de la pieza y el diseño del soporte de impresión pueden influir en la calidad y estabilidad de la estructura impresa. Es importante tener en cuenta estas consideraciones durante el proceso de diseño y preparación del archivo de impresión.

En consecuencia, el funcionamiento de una impresora 3D FDM se basa en la deposición de material de filamento fundido capa por capa, utilizando archivos de diseño digital y materiales termoplásticos. Este proceso permite la creación de piezas tridimensionales con gran precisión y detalles. Aunque presenta algunas limitaciones, la tecnología FDM se ha establecido como una de las más utilizadas y versátiles en la impresión 3D, siendo ampliamente empleada en diversos campos, desde prototipado hasta producción de piezas finales.

Por tanto, para rellenar un área, se requieren varias pasadas, de forma similar a colorear una forma con un marcador. Cuando la impresora termina una capa, la plataforma de construcción desciende y la máquina comienza a trabajar en la siguiente capa. En algunas configuraciones de máquina, el cabezal de extrusión se mueve hacia arriba. Este proceso se repite hasta que la pieza está terminada.

### **Parámetros de impresión FDM**

La impresión 3D mediante el proceso de modelado por deposición fundida (FDM) ofrece la posibilidad de ajustar diversos parámetros del proceso para obtener resultados óptimos. Estos parámetros incluyen las temperaturas de la boquilla y la plataforma de construcción, la velocidad de construcción, la altura de la capa y la velocidad del ventilador de enfriamiento. Aunque, en general, los diseñadores no necesitan preocuparse por estos

ajustes, ya que los operadores de impresoras 3D suelen encargarse de ellos (Farfán, et al., 2022).

No obstante, es importante considerar factores como el tamaño de construcción y la altura de la capa al utilizar la tecnología FDM. El tamaño de construcción está determinado por las dimensiones máximas que puede imprimir una impresora 3D, que varían según el tipo de máquina. Las impresoras 3D de escritorio suelen tener un tamaño de construcción de alrededor de 200 x 200 x 200 mm, mientras que las máquinas industriales pueden alcanzar tamaños de hasta 1000 x 1000 x 1000 milímetros. En caso de que se desee imprimir una pieza de gran tamaño utilizando una impresora de escritorio, se puede dividir el modelo en partes más pequeñas y luego ensamblarlas posteriormente (González, 2019). En la tabla 2 se sintetizan las características relevantes de la impresión 3D mediante el proceso FDM, proporcionando una visión general de los parámetros y opciones disponibles para la configuración de impresión.

**Tabla 2**

*Características relevantes de la impresión 3D en el proceso FDM*

Característica	Descripción
Pandeo	<p>Es uno de los defectos más comunes en FDM. Cuando el material extruido se enfría durante la solidificación, sus dimensiones disminuyen. Dado que las diferentes secciones de la pieza impresa se enfrían a diferentes velocidades, sus dimensiones también cambian a diferentes velocidades. El enfriamiento diferencial provoca la acumulación de tensiones internas que tiran de la capa subyacente hacia arriba, provocando su deformación.</p> <p>Hay varias formas de evitar la deformación. Un método es monitorear de cerca la temperatura de su sistema FDM, especialmente la plataforma y la cámara de construcción. También puede aumentar la adhesión entre la pieza y la plataforma de construcción para mitigar la deformación.</p>
Adhesión	Para un componente FDM, una buena adhesión entre las capas

de capas	depositadas es fundamental. El termoplástico fundido es forzado contra la capa anterior a medida que la boquilla extruye la corriente. La alta temperatura y la presión vuelven a fundir la superficie de la capa anterior, lo que permite que la nueva capa se conecte con la parte previamente impresa. La fuerza de unión entre las múltiples capas es siempre menor que la fuerza base del material.
Estructura de soporte	Las impresoras FDM no pueden depositar termoplástico fundido en el aire. Ciertas geometrías de piezas requieren estructuras de soporte, que suelen estar impresas en el mismo material que las propias piezas. A menudo, quitar los materiales de la estructura de soporte puede ser difícil, por lo que suele ser mucho más fácil diseñar las piezas de forma que se minimice la necesidad de estructuras de soporte.
Grosor del relleno y de la cubierta	Las piezas FDM normalmente no se fabrican sólidas para ahorrar tiempo y material. En cambio, el perímetro exterior, conocido como caparazón, se imprime con numerosas pasadas, y el interior con una estructura interna de baja densidad, conocida como relleno. El grosor del relleno y de la cubierta de una impresión influye en la resistencia de un componente. La opción predeterminada para las impresoras FDM de escritorio es una densidad de relleno del 25 % y un grosor de carcasa de 1 mm, que es un justo equilibrio entre fuerza y velocidad para impresiones rápidas.

Nota. Adaptado de (Engineering product design, 2022).

La altura de la capa es otro parámetro importante en la impresión FDM. La altura típica de la capa oscila entre 50 y 400 micras. La elección de una capa más fina permitirá obtener piezas con superficies más suaves y mayor precisión en la captura de geometrías curvas. Por otro lado, imprimir capas más gruesas acelerará el proceso de impresión y puede resultar en un costo más bajo. Es fundamental encontrar un equilibrio entre la calidad y la eficiencia en función de los requisitos específicos del proyecto.

Por tanto, la tecnología FDM permite ajustar diversos parámetros de impresión para obtener resultados óptimos. Si bien los diseñadores suelen confiar en los operadores de impresoras 3D para estos ajustes, es importante considerar aspectos como el tamaño de construcción y la altura de la capa al utilizar la tecnología FDM. Estos parámetros influirán

en la calidad, el tiempo de impresión y el costo del proyecto. Al comprender y ajustar adecuadamente estos parámetros, se pueden lograr piezas impresas en 3D con las características deseadas.

### **Materiales para la impresión FDM**

La impresión 3D mediante el proceso FDM ofrece una amplia variedad de materiales para su utilización, tanto en impresoras de escritorio como en sistemas industriales. Entre estos materiales se encuentran termoplásticos básicos como el PLA y el ABS, materiales de ingeniería como el nylon (PA), TPU y el PETG, así como termoplásticos de alto rendimiento como el PEEK y el PEI.

El filamento TPU es impositratne ya que tiene buena relación y se asemeja al material caucho en cual tiene similares propiedades con este el cual es de la manera racional en la que se lo compara

**Tabla 3**

*Comparación de materiales para FDM*

<b>Material</b>	<b>Características</b>
<b>CAUCHO</b>	Elasticidad. Repelente al agua. capaz de soportar la abrasión.
<b>TPU</b>	Alta resistencia a la tracción y al desgarre. Fácil de imprimir. Alta resistencia al desgaste y a la abrasión. Muy flexible.

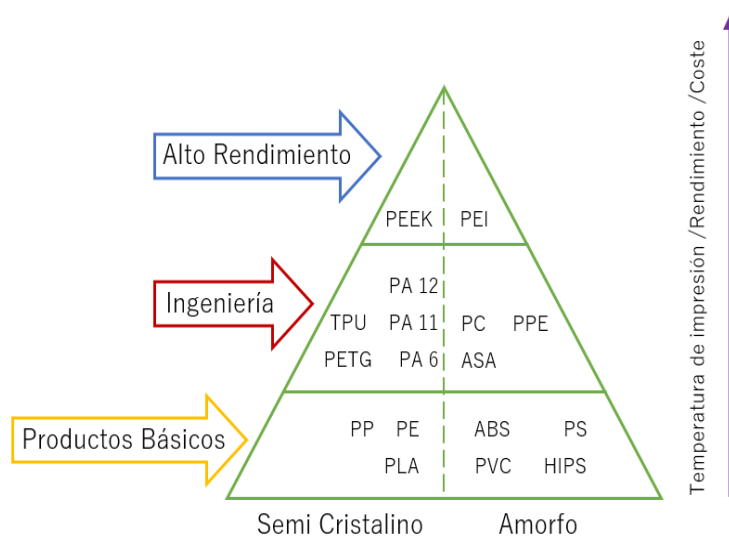
La elección del material de impresión tendrá un impacto significativo en las propiedades mecánicas y la precisión de la pieza, así como en su costo. Es importante



comparar y seleccionar el material adecuado según las necesidades específicas del proyecto. La tabla 2 proporciona una comparativa de los materiales más comunes utilizados en la tecnología FDM, mientras que la tabla 3 ofrece una visualización de estos materiales en función de su estructura, aplicabilidad y parámetros operativos.

**Figura 2**

*Materiales para FDM en función de su estructura, aplicabilidad y parámetros operativos*



Es fundamental considerar factores como la resistencia, la flexibilidad, la estabilidad térmica y las propiedades químicas al seleccionar el material adecuado para la impresión 3D. Cada material tiene sus propias características y limitaciones, por lo que es importante evaluar cuidadosamente las necesidades del proyecto antes de tomar una decisión.

En consecuencia, la tecnología FDM ofrece una amplia gama de materiales para la impresión 3D, desde termoplásticos básicos hasta materiales de ingeniería y termoplásticos de alto rendimiento. La elección del material adecuado dependerá de los requisitos específicos del proyecto, como la resistencia, la flexibilidad y la estabilidad térmica. Al

seleccionar el material correcto, se pueden obtener piezas impresas en 3D con las propiedades deseadas y un alto nivel de calidad.

Tabla 4

Características mecánicas del caucho

	<b>Caucho</b>
<b>Modulo elástico (Mpa)</b>	15
<b>Resistencia a la traccion</b>	32
<b>Resistencia a la compression</b>	33

Nota. Adaptado de (cmmaterials Universidad de Barcelona).

### **Normas ASTM e ISO para los ensayos mecánicos de polímeros**

Las normas ASTM y ISO establecen los estándares para llevar a cabo ensayos mecánicos en polímeros con el objetivo de determinar sus propiedades y características. Estas normas proporcionan directrices claras y uniformes para la realización de pruebas, lo que permite una comparación precisa de los resultados obtenidos en diferentes laboratorios y asegura la calidad y confiabilidad de los datos recopilados.

Entre las normas ASTM destacadas se encuentra la ASTM D638, la cual establece el procedimiento para realizar el ensayo de tracción en plásticos. Esta norma define las dimensiones y características de las probetas de ensayo, como su forma de mancuerna, y los parámetros medidos incluyen la resistencia a la tracción, el límite elástico, el alargamiento a la rotura y el módulo de elasticidad. Asimismo, la norma ASTM D790 se centra en el ensayo

de flexión de materiales plásticos, proporcionando métodos para determinar la resistencia a la flexión y el módulo de flexión. Esta norma se divide en dos procedimientos, el A y el B, según las características de los materiales a ensayar.

Por otro lado, la norma ISO 527 desarrollada por la Organización Internacional de Normalización se utiliza para la caracterización de la tracción en plásticos, estableciendo los métodos de ensayo y los parámetros a medir. La norma ISO 37, por su parte, abarca la determinación de las propiedades de tracción en termoplásticos y cauchos vulcanizados.

En cuanto a los ensayos de impacto, las normas ASTM D256 y ASTM D6110 establecen los métodos para medir la resistencia al impacto de las probetas de plástico entalladas, utilizando martillos de tipo péndulo. Estas normas permiten evaluar la capacidad del material para resistir fuerzas de impacto.

En relación a la fatiga de los materiales plásticos, la norma ASTM D7791 se utiliza para medir las propiedades de fatiga bajo carga uniaxial, mientras que la norma ASTM D3479 se enfoca en la fatiga por tensión de materiales compuestos de matriz polimérica. Asimismo, la norma ASTM D7774 cubre las propiedades de fatiga de los materiales plásticos bajo flexión.

Además de estas normas, existen otras que abordan diferentes aspectos de los ensayos mecánicos en polímeros, como la norma ASTM D2990 que se utiliza para el análisis de la fluencia y la norma ASTM D695 para el ensayo de compresión de plásticos rígidos.

Un aspecto importante a tener en cuenta en el diseño de piezas impresas en 3D es minimizar la anisotropía y lograr una excelente calidad. Es recomendable alinear las cargas

y tensiones de la pieza con la orientación más fuerte del material para aprovechar al máximo sus propiedades mecánicas adaptables. De esta manera, se puede garantizar la resistencia y durabilidad de las piezas impresas en 3D.

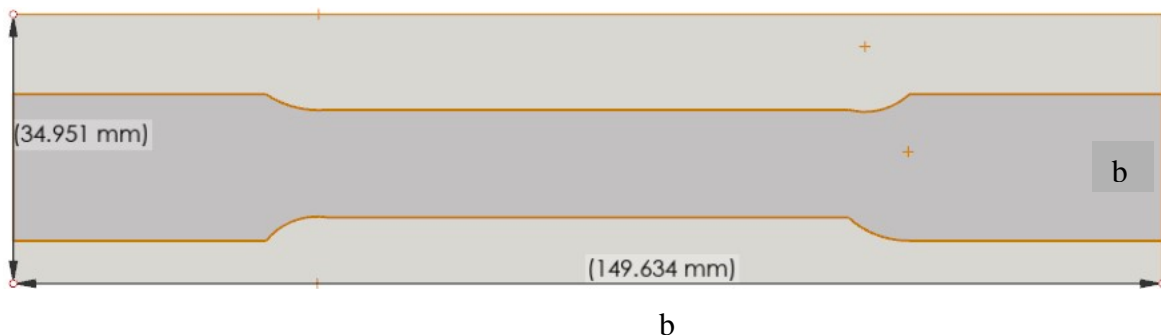
## Ensayo de tracción

### Dimensión de ensayo de tracción

El ensayo de tracción se llevó a cabo siguiendo la norma ASTM D638-14, utilizando el tipo 1 especificado en dicha norma. Se establecieron las dimensiones de las muestras de acuerdo a la propuesta de combinación de TPU, las cuales se detallan en la geometría mostrada en la figura 3. Se realizaron pruebas en varias composiciones y se seleccionó el valor más alto obtenido en la primera composición para invertir la configuración del material, colocando el TPU como núcleo.

### Figura 3

*Dimensiones según la propuesta de combinación con refuerzo para tracción*



Las pruebas de tracción se realizaron de acuerdo a la norma ASTM D638-14, específicamente utilizando el tipo 1 establecido en dicha norma. Las dimensiones de la muestras se determinaron siguiendo la propuesta de combinación de TPU, cuyos detalles geométricos se encuentran en la figura 3. Se obtuvieron resultados para la primera

composición y se seleccionó el valor más alto, lo que llevó a invertir la configuración del material, colocando el TPU como núcleo.

### **Dimensiones del ensayo de flexión**

Para la realización del ensayo de flexión según la norma establecida para un material compuesto es la ASTM D790, en donde se establece las dimensiones detalladas en la geometría en la figura 5, de tal forma obteniendo resultados de la primera composición, se escoge el más alto valor y así poder invertir la configuración del material donde el TPU es el núcleo.

Para llevar a cabo el ensayo de flexión, se siguió la norma ASTM D790, la cual establece las especificaciones para materiales compuestos. Según esta norma, se determinaron las dimensiones de las muestras de acuerdo con la geometría detallada en la figura 5. Estas dimensiones son cruciales para garantizar la precisión y consistencia de los resultados obtenidos durante el ensayo.

#### **Figura 4**

*Dimensiones según la propuesta de combinación con refuerzo para flexión*



Una vez obtenidos los resultados de la primera composición, se seleccionó el valor más alto obtenido. Esta selección se realiza con el objetivo de invertir la configuración del material, donde el TPU se convierte en el núcleo de la muestra. Esta elección se basa en el desempeño superior observado en la primera composición y se busca aprovechar las

propiedades mecánicas y de resistencia del TPU para mejorar la calidad y el rendimiento de la muestra.

En el marco de la investigación realizada en el Departamento de Ciencias de Alimentos y Biotecnología de la Escuela Politécnica Nacional, se llevaron a cabo una serie de ensayos mecánicos y ensayos térmicos para evaluar las propiedades de diferentes materiales, así como su comportamiento frente a cargas y temperaturas variables. Estos ensayos fueron complementados con simulaciones realizadas mediante el software Inventor, lo que permitió obtener una visión más completa de las características y desempeño de los materiales evaluados.

Posteriormente, se realizó un ensayo de análisis termogravimétrico (TGA) en la misma muestra de TPU con el objetivo de determinar su composición y analizar su comportamiento frente a la temperatura. Para este ensayo se utilizó un analizador termogravimétrico marca Mettler Toledo modelo TGA 2. Se aplicó un flujo de gas de nitrógeno a 50 mL/min y una velocidad de calentamiento de 10 °C/min, en un rango de temperatura desde 25 °C hasta 1000 °C.

En cuanto a la simulación, se utilizaron datos obtenidos de los ensayos mecánicos y térmicos para analizar el comportamiento del guardapolvo fabricado con diferentes materiales (TPU) frente a cargas y movimientos específicos. Se empleó el software SimSolid para llevar a cabo las simulaciones y se observaron los resultados de tensiones y deformaciones en diferentes partes del guardapolvo.

#### Ensayos Mecánicos

En el marco de la investigación llevada a cabo en el Departamento de Mecánica de Material de la Universidad ESPE, se realizaron ensayos mecánicos con el objetivo de evaluar las propiedades y el comportamiento de diferentes materiales utilizados en la fabricación de componentes impresos en 3D. Estos ensayos proporcionaron información clave sobre la resistencia, la flexibilidad y otras características mecánicas de los materiales, lo que permitió realizar análisis comparativos y tomar decisiones informadas en cuanto a su uso y aplicaciones.

El material evaluado se encuentra el TPU. Para cada uno de ellos, se llevaron a cabo ensayos específicos para determinar propiedades como el módulo de Young, el límite elástico, la tensión de rotura y la dureza. Estos ensayos se realizaron siguiendo las normativas ASTM correspondientes, garantizando así la precisión y confiabilidad de los resultados.

Los ensayos mecánicos se realizaron en el laboratorio de ensayos mecánicos de la universidad, utilizando una máquina universal de ensayos. Esta máquina permite aplicar cargas controladas a las muestras y medir su respuesta frente a dichas cargas. Se utilizaron diferentes configuraciones de ensayo dependiendo de la propiedad específica que se quería evaluar.

Los resultados obtenidos de los ensayos mecánicos proporcionaron información detallada sobre las características de resistencia y flexibilidad de los materiales. Estos datos fueron de gran utilidad para la selección de los materiales más adecuados para la fabricación de los componentes deseados, teniendo en cuenta las aplicaciones y los requisitos específicos de cada proyecto.

Ensayos Térmicos

Además de los ensayos mecánicos, se realizaron ensayos térmicos para evaluar el comportamiento de los materiales frente a diferentes temperaturas y determinar propiedades como la temperatura de fusión, la temperatura de transición vítrea y la conductividad térmica. Estos ensayos proporcionaron información valiosa sobre la estabilidad y el rendimiento térmico de los materiales, lo que resulta crucial en aplicaciones donde se requiere resistencia a altas temperaturas o donde se espera una exposición prolongada a condiciones térmicas variables.

El analizador termogravimétrico (TGA). Estos equipos permiten medir cambios en las propiedades físicas y químicas de los materiales a medida que se someten a diferentes temperaturas. Se siguieron las normativas ASTM correspondientes para garantizar la consistencia y comparabilidad de los resultados.

Los resultados obtenidos de los ensayos térmicos proporcionaron información detallada sobre las propiedades termo-mecánicas de los materiales, como su capacidad de resistir cambios de temperatura, su estabilidad térmica y su conductividad térmica. Estos datos fueron fundamentales para comprender el comportamiento de los materiales en diferentes entornos y para tomar decisiones informadas en cuanto a su uso en aplicaciones específicas.

La elección de las dimensiones adecuadas para el ensayo de flexión es esencial para garantizar la reproducibilidad y confiabilidad de los resultados. La norma ASTM D790 proporciona pautas claras sobre las dimensiones requeridas, lo que permite una comparación precisa de los materiales evaluados. Además, la figura 5 muestra la geometría específica que debe seguirse durante la preparación de las muestras.



Al invertir la configuración del material y colocar el TPU como núcleo de la muestra, se busca aprovechar las propiedades únicas de este elastómero termoplástico. El TPU ha demostrado tener una alta flexibilidad, resistencia a la deformación y durabilidad, lo que lo convierte en una opción ideal para esta aplicación. Al seleccionar el valor más alto obtenido en la primera composición, se busca maximizar las características deseables del TPU y mejorar la calidad y resistencia de la muestra final.

Por tanto, el ensayo de flexión se realizó siguiendo la norma ASTM D790 y se determinaron las dimensiones de las muestras según la geometría especificada en la figura 5. La elección del valor más alto obtenido en la primera composición permitió invertir la configuración del material, colocando el TPU como núcleo de la muestra para aprovechar sus propiedades mecánicas superiores. Esto asegura la precisión y confiabilidad de los resultados, así como el mejoramiento de la calidad y rendimiento de la muestra final.

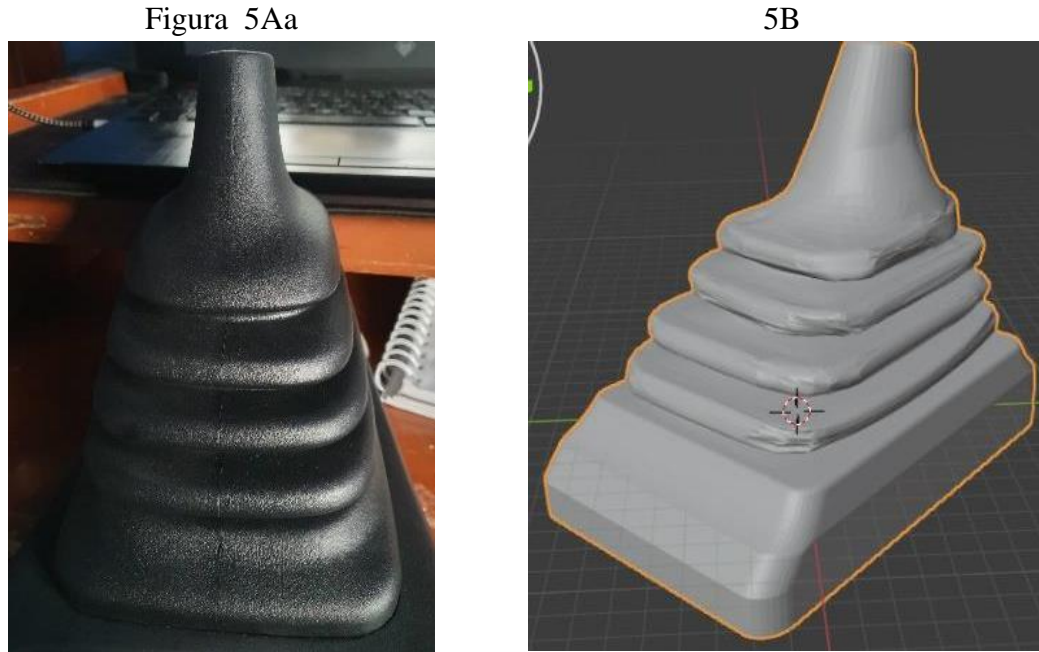
### **Diseño del guardapolvo en 3D**

Para llevar a cabo la modelación en tercera dimensión, se utilizó el software Inventor 2020. En este proceso, se tuvieron en cuenta las dimensiones y características del material original, tomando como referencia el material utilizado en la Nissan Sentra B13. La elección de este material como referencia se debe a su naturaleza universal y a la necesidad de realizar una simulación precisa que se ajuste a las características específicas del guardapolvo de la palanca de cambios.

Una vez completada la modelación en tercera dimensión, se procedió a realizar la simulación en elementos finitos utilizando el software SimSolid. Este software permite evaluar el comportamiento mecánico y estructural de la pieza bajo diferentes condiciones de

carga y estrés. Al aplicar la normativa ASTM D790, específica para plásticos, se aseguró que los parámetros y módulos utilizados fueran los correctos, garantizando así la precisión de los resultados obtenidos durante el ensayo de flexión.

**Figura 5** Imagen del guardapolvo de la palanca. 5.a) Guardapolvo de la palanca original, 5b) Modelo CAD



Durante el ensayo de flexión, se determina el esfuerzo de flexión máximo al que la pieza puede ser sometida sin sufrir deformaciones plásticas permanentes. Este valor es crucial para evaluar la resistencia y la capacidad de carga de la pieza bajo condiciones reales de uso. Al seguir la normativa ASTM D790, se asegura que el ensayo se realice de acuerdo a estándares reconocidos y confiables, permitiendo comparar los resultados obtenidos con otros materiales y garantizando la validez de los datos obtenidos. A continuación, la figura 6, presenta la gráfica de la impresora 3D Ender 3 V2.

**Figura 6**

*Gráfica de la impresora 3D Ender 3 V2*



Fuente: ( Impresora 3D Ender-3 V2 Neo. (s/f).

Por tanto, la modelación en tercera dimensión se llevó a cabo en el software Inventor 2020, considerando las dimensiones y características del material original de la Nissan Sentra B13. Posteriormente, se realizó la simulación en elementos finitos utilizando el software SimSolid, siguiendo la normativa ASTM D790 para plásticos.

Tabla 4

Especificaciones técnicas de la impresora 3D Ender 3 V2

<b>Extrusión</b>	<b>FDM (Sistema <i>Bowden</i>)</b>
Volumen de extrusión	220x220x250 mm
Diámetro filamento	1,75 mm
Espesor de capa	0.1-0.4 mm
Diámetro Boquilla	0.4 mm
Diámetro de fimalmento	1.75 mm

Material	Cobre
Peso	2g
Hilo de la boquilla	MK8

Fuente: ( Impresora 3D Ender-3 V2 Neo. (s/f).

Durante el ensayo de flexión, se determinó el esfuerzo de flexión máximo, lo que permite evaluar la resistencia y capacidad de carga de la pieza. El cumplimiento de estas normativas y el uso de software especializado garantizan la precisión y confiabilidad de los resultados obtenidos en la simulación y el ensayo de flexión.

## METODOLOGÍA

### **Tipo de investigación**

La presente investigación se basó en un enfoque cualitativo – cuantitativo, es decir mixto, combinando elementos de investigación cualitativa y cuantitativa, debido a que se hizo una revisión cualitativa del estado del arte como un elemento de sustentación práctica para la etapa cuantitativa. Esto implica utilizar tanto métodos y técnicas que se centran en la recopilación y análisis de datos numéricos, como aquellos que se enfocan en la comprensión profunda y detallada de los fenómenos estudiados.

Por tanto, este estudio adoptó un enfoque mixto, combinando elementos de investigación cualitativa y cuantitativa. Se empleó un enfoque deductivo y bibliográfico que respaldó los resultados específicos basadas en teorías existentes y fuentes relevantes. Además, se utilizó enfoques descriptivos y exploratorios para analizar en detalle las características del material y explorar nuevas perspectivas en el campo de estudio.

### **Enfoque de investigación**

En cuanto al enfoque de estudio, se emplearon múltiples enfoques que se complementaron entre sí. En primer lugar, se utilizó un enfoque deductivo, partiendo de teorías existentes y principios generales para llegar a conclusiones específicas. A través de simulaciones y análisis de datos cuantitativos, se obtuvieron resultados numéricos para la caracterización mecánica y térmica del guardapolvo de palanca de cambios impreso en 3D con TPU.

Además, se empleó un enfoque bibliográfico, realizando una exhaustiva revisión y análisis de fuentes bibliográficas relevantes sobre el tema de investigación. Se recopiló

información de otros autores en artículos, ensayos de revisión y tesis de tercer o cuarto nivel, con el fin de respaldar y fundamentar el estudio.

Por otro lado, se utilizaron enfoques descriptivos y exploratorios. El enfoque descriptivo se empleó para analizar y describir las características del material objeto de investigación, así como posibles alternativas que pudieran ser utilizadas con el mismo propósito. Se recolectaron y analizaron datos cualitativos y cuantitativos para obtener una comprensión detallada del fenómeno estudiado. El enfoque exploratorio se utilizó para explorar nuevas ideas, perspectivas y posibilidades dentro del campo de estudio, permitiendo descubrir información relevante y generar nuevas hipótesis.

### **Técnicas e instrumentos de recolección de información**

Los datos fueron recolectados utilizando una variedad de técnicas e instrumentos de investigación. Para la modelación 3D y la obtención de la mayoría de los datos, se utilizó el software Inventor. Este software permitió realizar simulaciones y generar modelos tridimensionales que posteriormente fueron impresos.

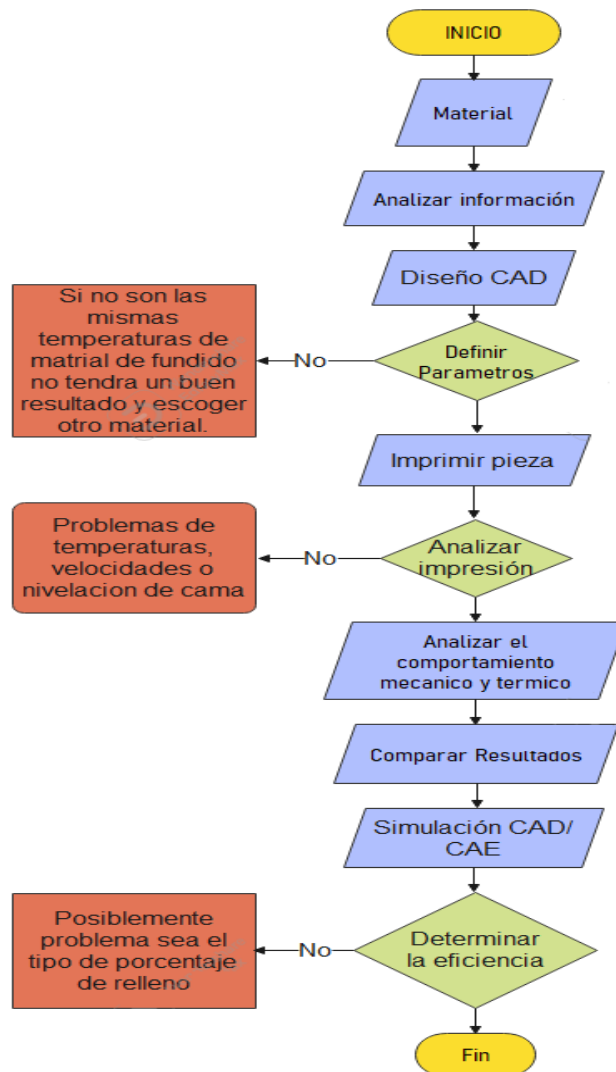
Para realizar los análisis térmicos, mecánicos y los ensayos de material con el fin de reemplazar el guardapolvo de la palanca del Nissan Sentra b13, se emplearon tanto métodos de campo como simulaciones. Estas técnicas combinadas permitieron obtener datos de manera objetiva y precisa para la posterior presentación de resultados y conclusiones del trabajo.

Además, se incluyen anexos que contienen análisis de tensión del TPU realizados con el software mencionado. Estos anexos, identificados como Anexo 1, 2, 3 y 4, proporcionan información adicional y detallada sobre los resultados obtenidos en los análisis de tensión.

Por tanto, se utilizaron técnicas de modelación 3D, análisis térmicos y mecánicos, así como ensayos de material, combinando métodos de campo y simulaciones para recolectar la información necesaria en este estudio. A continuación, se muestra un diagrama de flujo en donde se describen el proceso realizado por medio de una investigación experimental que hizo factible la ejecución de ensayos de tracción, flexión y análisis térmico del material seleccionado basándose en la normativa respectiva para el trabajo.

**Figura 7**

*Diagrama de flujo del proceso experimental*



En consecuencia, el software Inventor fue fundamental en la obtención de datos y se presentan anexos que respaldan y complementan los resultados obtenidos. A continuación, la tabla 5, presentan los parámetros de ensayos al momento de impresión.

**Tabla 5**

*Parámetros de ensayos al momento de impresión*

Prueba	TPU (°C)	Temperatura de cama (°C)	Velocidad de impresión (mm/s)
1	230	85	60
2	235	85	70
3	242	90	45

Ya con la metodología definida, se sigue una serie de pasos para completar la investigación, estas actividades son las siguientes:

- a. Construcción y diseño para someter a prueba de tracción, flexión y dureza
- b. Impresión 3D de la pieza
- c. Resultados de los diferentes ensayos
- d. Comparación de datos obtenidos en los ensayos
- e. Impresión de la autoparte en 3D
- f. Análisis de datos

### **Dimensiones del ensayo de flexión**

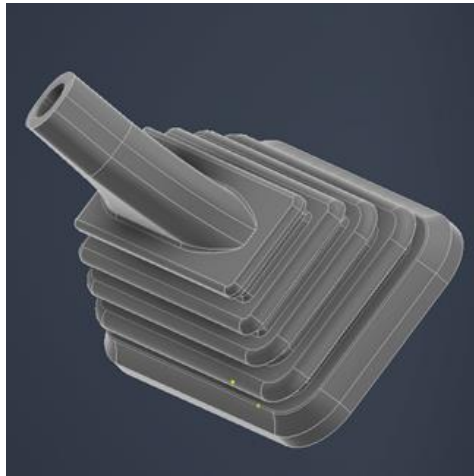
Para la realización del ensayo de flexión según la norma establecida para un material compuesto es la ASTM D790, en donde se establece las dimensiones detalladas en la geometría en la figura 5, de tal forma obteniendo resultados de la primera composición, se



escoge el más alto valor y así poder invertir la configuración del material donde el TPU es el núcleo.

**Figura 8**

*Modelación 3D de guardapolvo realizado en el software INVENTOR*



Para esta parte de la investigación se tomó las medidas exteriores para realizar la pieza en el software SimSolid, sin embargo, los radios no fueron tomados de forma precisa por la ausencia de un equipo especial para medirlos, razón por la cual existieron ciertos problemas en los primeros borradores de la simulación.

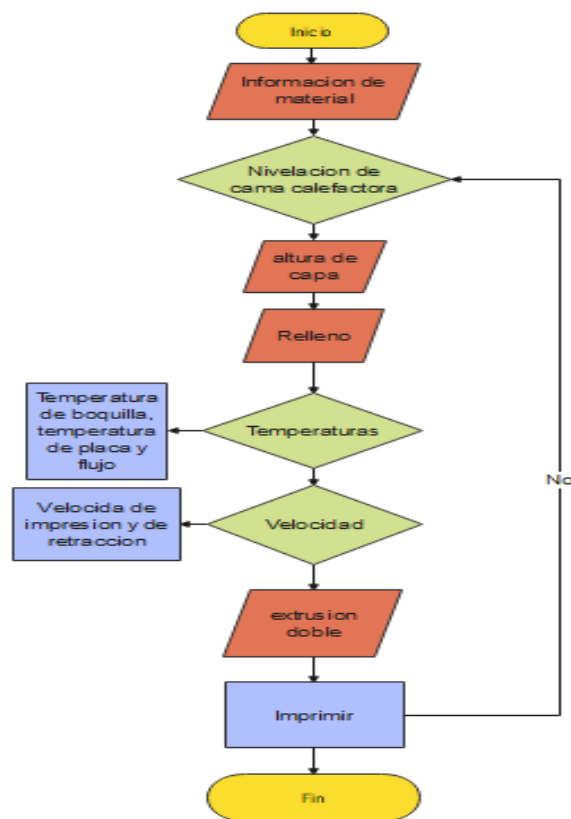
Además, el espesor de la pieza es aproximado debido a las consideraciones que se deben tener para su impresión y las condiciones óptimas de este, por lo que los valores que se analizarán bajo tensión serán aproximados. Posteriormente, con la mejor opción de diseño es posible identificar el esfuerzo que soporta el material al realizar un cambio de marcha en el vehículo, esto visto desde todos los ángulos y presentado más adelante.

## Impresión de las probetas y ensayos

Para la realización de las probetas se utilizó la impresora Creality3D CR-X Dual Color. En la tabla 3 se muestran las especificaciones técnicas de la impresora que son de gran relevancia para tener una idea clara de la eficiencia de impresión, esta misma herramienta tiene dos extrusores de una sola boquilla que ayuda para la mezcla de temperaturas de los materiales usados para las probetas.

**Figura 9**

*Diagrama de flujo del proceso de impresión*



Después de analizar el proceso de impresión, se realizaron modificaciones en los parámetros de impresión en UltiMarker Cura 5.0. Durante este proceso, surgieron algunos problemas al imprimir el material compuesto, pero se lograron obtener resultados como se

muestra en la tabla 4, donde se detallan las temperaturas utilizadas con el objetivo de encontrar la mejor temperatura de fusión.

En la primera prueba, se observó un desfase en los hilos de impresión, por lo que se decidió aumentar la temperatura. En el segundo intento, se realizó un corte con una sierra, pero debido a la fricción del corte no se pudo apreciar correctamente cómo se compacta el material. Por lo tanto, en la tercera prueba se utilizó una temperatura más alta, como se muestra en el tercer apartado, donde se pudo observar una mejora en la fusión del filamento TPU. Se pudo apreciar una mejor fusión del material y, en base a esto, se seleccionaron las mejores condiciones de impresión.

### **Calidad**

En cuanto a la calidad, se optó por una altura de capa de 0.2, con el objetivo de verificar la viabilidad de imprimir con esa altura de capa para lograr un funcionamiento adecuado. Por otro lado, se realizaron ajustes en la capa inicial cuando la cama de la impresora no estaba correctamente calibrada, lo que resultaba en una altura de 0.3 o 0.4 mm, que se utilizó para los materiales.

Por tanto, se realizaron ajustes en los parámetros de impresión para obtener mejores resultados en la fusión del material. También se realizaron pruebas con diferentes alturas de capa y se realizaron ajustes en la capa inicial para garantizar una impresión de calidad. Estas modificaciones y ajustes permitieron obtener condiciones de impresión más adecuadas y funcionales. A continuación, la tabla 6 presenta las condiciones de los parámetros de calidad.

**Tabla 6***Condiciones de los parámetros de calidad*

<b>Parámetros</b>	<b>Medida</b>
Altura de capa	0.2 mm
Altura de capa inicial	0.3mm

Estas medidas y configuraciones establecidas permitieron obtener resultados más precisos y consistentes en la impresión en 3D del guardapolvo de la palanca de cambios. Asimismo, contribuyeron a mejorar la funcionalidad y durabilidad del producto final.

### **Paredes**

Los ajustes realizados en los parámetros de impresión se reflejan en la tabla 6, donde se detallan los cambios realizados para mejorar la calidad y precisión de la impresión. Estos cambios incluyeron la modificación de la posición de costura en el eje Z, estableciéndola en "Posterior". Además, se ajustó la coordenada X de la costura Z a 0 mm y la coordenada Y de la costura Z a 300 mm. Asimismo, se seleccionó la opción de "Ocultar costura" como preferencia de esquina de costura.

**Tabla 7***Condiciones de los parámetros de paredes*

<b>Parámetros</b>	<b>Posición</b>
Posición de costura en z	Posterior
X de la costura Z	0 mm
Y de la costura Z	300 mm
Preferencia de esquina de costura	Ocultar costura

Estas modificaciones fueron implementadas con el objetivo de optimizar el proceso de impresión y garantizar que la pieza se inicie desde el punto adecuado, evitando así comenzar la impresión en la mitad de la misma donde se realizará el ensayo.

En la tabla 7 se presentan en detalle las condiciones específicas de los parámetros de las paredes. Estas configuraciones permiten obtener resultados más precisos y consistentes en la impresión, asegurando una mejor calidad y funcionalidad del guardapolvo de la palanca de cambios impreso en 3D.

## **Materiales**

En la tabla 7 se realizó la selección de la velocidad de impresión para la extrusión del material. En un principio, se estableció una velocidad de 45 mm/s. Sin embargo, se observó que la salida del material era demasiado abundante, lo que requería ajustes adicionales. Como resultado, se decidió modificar el número de capas a cero, lo que implicó una impresión más lenta y controlada. Además, se estableció una proporción de ecualización del flujo del 100% para evitar la extrusión excesiva de material.

Estas modificaciones en los parámetros de impresión permitieron obtener un mejor control del flujo de material durante la impresión. La disminución en la velocidad y la ajuste en la proporción de ecualización del flujo contribuyeron a lograr una impresión más precisa y con un consumo de material más eficiente.

En la tabla 8 se detallan las condiciones específicas establecidas para la velocidad de impresión. Se seleccionó una velocidad de 45 mm/s en un principio, pero luego se ajustó el número de capas más lentas a cero y se estableció una proporción de ecualización de flujo del 100%. A continuación, la tabla 8 presenta las condiciones para la velocidad de impresión.

**Tabla 8***Condiciones para la velocidad de impresión*

<b>Parámetros</b>	
Velocidad de impresión	45 m/s
Numero de capas más lentas	0
Proporción de ecualización de flujo	100%

Estas configuraciones permitieron obtener resultados óptimos en términos de velocidad de impresión, control del flujo de material y eficiencia en el consumo de material. La impresión se llevó a cabo de manera más precisa y consistente, asegurando una calidad y funcionalidad adecuadas del guardapolvo de la palanca de cambios impreso en 3D.

### **Extrusión de la impresión**

Este parámetro se modificó según la extrusión para evitar que el material se fusione mediante láminas de impresión donde se modifica el tamaño de la torre auxiliar, el volumen mínimo de la torre auxiliar, la posición de X e Y donde se va a imprimir, activación de la limpieza de tobera inactiva de la torre auxiliar, la distancia de retracción de cambio de tobera y su velocidad de retracción (Tabla 8).

Una vez que se estableció la configuración adecuada para el material, se procedió a realizar la impresión. Para ello, se seleccionaron diferentes tipos de relleno, como se detalla en la tabla 9, para su uso en los ensayos de tracción y flexión de las probetas. En total, se imprimieron 10 probetas, divididas en 5 para ensayos de tracción y 5 para ensayos de flexión. Cada una de estas probetas se imprimió utilizando diferentes patrones de relleno, los cuales se describen en las tablas 10 y 11, respectivamente. A continuación, se presenta la tabla 9, donde se presentan las adecuadas condiciones para la extrusión de la impresión.

**Tabla 9***Condiciones para la extrusión de la impresión*

<b>Parámetros</b>	
Tamaño de torre auxiliar	35 mm
Volumen mínimo de la torre auxiliar	48 mm <sup>3</sup>
Posición de la torre auxiliar sobre el eje X	290.2 mm
Posición de la torre auxiliar sobre el eje Y	253.2
Distancia de retracción del cambio de tobera	16 mm
Velocidad de retracción del cambio de tobera	50 mm/s
Densidad de impresión	1.21 g/cm <sup>3</sup>

El ajuste y control de los parámetros de extrusión, así como la elección de los patrones de relleno adecuados, son elementos fundamentales para garantizar la calidad y consistencia de las probetas impresas en 3D. Estos aspectos contribuyen a obtener resultados precisos y confiables en los ensayos de tracción y flexión, lo que a su vez permite evaluar las propiedades mecánicas del material utilizado en el guardapolvo de la palanca de cambios.

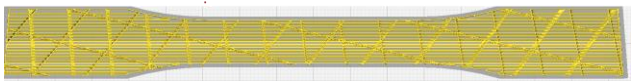
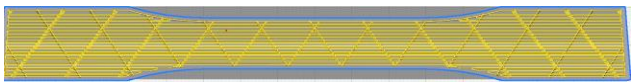
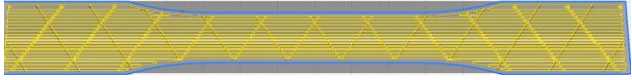
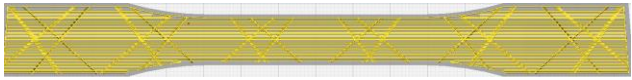
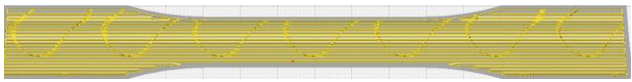
Además de los parámetros de extrusión, la elección de los patrones de relleno también desempeña un papel crucial en la calidad y resistencia de las probetas impresas. Los patrones de relleno determinan cómo se distribuye el material dentro de la probeta y afectan directamente sus propiedades mecánicas. Al seleccionar el patrón de relleno adecuado, se puede optimizar la resistencia y la rigidez de las probetas, garantizando así resultados más precisos y confiables en los ensayos de tracción y flexión.

Los ensayos de tracción y flexión son métodos estándar utilizados para evaluar las propiedades mecánicas de los materiales. Estas pruebas permiten determinar la resistencia, la elasticidad y la capacidad de deformación del material utilizado en el guardapolvo de la

palanca de cambios. Mediante la impresión de probetas con diferentes configuraciones de parámetros y patrones de relleno, es posible obtener datos comparativos y analizar el rendimiento del material en diferentes condiciones. A continuación, se presenta la tabla 10, de condiciones de relleno para los ensayos de tracción.

**Tabla 10**

*Condiciones de relleno para los ensayos de tracción*

<b>Parámetros de relleno</b>	<b>Tracción</b>
Cubica	
Subdivisión cubica	
Cubico Bitruncado	
Octeto	
Giroide	

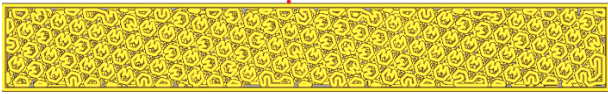


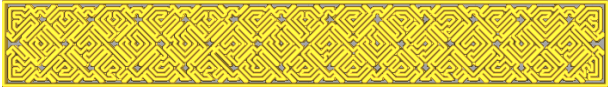
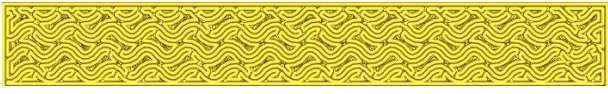
La precisión y consistencia en la impresión de las probetas son fundamentales para obtener resultados confiables en los ensayos mecánicos. Cualquier variación en los parámetros de extrusión o en los patrones de relleno puede afectar significativamente las propiedades mecánicas de las probetas y, por lo tanto, los resultados obtenidos en los ensayos. Por lo tanto, es imprescindible realizar un ajuste adecuado de los parámetros y seleccionar los patrones de relleno óptimos para garantizar la reproducibilidad de los resultados y obtener



una evaluación precisa de las propiedades mecánicas del material. A continuación, la tabla 11, presenta las condiciones de relleno para los ensayos de flexión.

**Tabla 11**

*Condiciones de relleno para los ensayos de flexión*

<b>Parámetros de relleno</b>	<b>Flexión</b>
Cubica	
Subdivisión cubica	
Cubico Bitruncado	
Octeto	
Giroide	

Tras realizar un análisis de los parámetros de impresión y probar diferentes combinaciones de relleno, se tomó la decisión de seleccionar el material y la configuración adecuada. Se tuvo en cuenta la norma ASTM y se enfocó en las cualidades necesarias para llevar a cabo los ensayos de tracción en el laboratorio de mecánica de la Universidad UISEK, utilizando una máquina universal.

En la tabla 12 se detallan las condiciones de impresión establecidas según la norma ASTM. Se consideraron las condiciones ambientales, con una temperatura de 25 °C, y se imprimieron un total de 5 probetas. La velocidad de impresión fue de 30 mm/s y la velocidad

de ensayo se fijó en 5 mm/min. Las dimensiones de las probetas fueron de 155 mm de largo y 53 mm de ancho.

**Tabla 12**

*Condiciones de impresión, según norma ASTM*

<b>Condiciones Ambientales</b>	<b>Temperatura ambiente 25° C</b>
Probetas	5
Velocidad	30 mm/s
Condiciones	5mm/min
Largo	155 mm
Ancho	53 mm

La máquina universal utilizada para realizar el ensayo de tracción cumplió con los requisitos de la norma ASTM y fue calibrada de acuerdo a los estándares especificados en la Tabla 13. Se siguió la norma ASTM D638 para materiales plásticos, garantizando así la precisión y la confiabilidad de los resultados obtenidos. A continuación, la figura 10 presenta la maquina universal de ensayos, marca MTS

**Figura 10**



*Maquina universal de ensayos marca MTS*

### **Velocidad de ensayo**

Con lo respecto a la Maquina Universal de ensayos de la figura 10 y las cualidades requeridas para este ensayo se adecuo pro la Normativa vigente de ensayos de tracción ASTM D790 en el laboratorio de Mecánica de Materiales de la Universidad ESPE, como inicial la velocidad de 5 mm/min

### **Ensayo de flexión**

En el informe de ensayo de flexión, se realizaron pruebas adicionales para evaluar las propiedades de tracción del material TPU utilizado en los componentes impresos en 3D. Estas pruebas se llevaron a cabo siguiendo los procedimientos establecidos por la norma ASTM D790, que abarca la determinación de las propiedades de flexión.

En la tabla 13 se detallan los parámetros utilizados durante el ensayo de flexión. El estudio se llevó a cabo en el laboratorio de ensayos mecánicos de la Universidad ESPE, que cuenta con el equipo y las instalaciones adecuadas para realizar este tipo de análisis.

Durante el ensayo de flexión, se tuvieron en cuenta las condiciones ambientales, manteniendo una temperatura constante de 25 °C. Se utilizaron un total de 5 probetas para realizar el ensayo, lo que permite obtener resultados representativos y confiables. La velocidad de ensayo se fijó en 20 mm/min para garantizar una aplicación uniforme de la carga.

## Equipo para ensayo de flexión

**Figura 11**

*Soporte y puntero para la flexión de 3 puntos de la máquina de ensayo universal*



Este enfoque metódico y riguroso en la selección de materiales, configuración de impresión y cumplimiento de las normas establecidas aseguró la validez de los ensayos de tracción realizados en el laboratorio. Estos ensayos permitieron evaluar las propiedades mecánicas del material utilizado en el guardapolvo de la palanca de cambios y brindaron información relevante para su análisis y mejora continua.

En consecuencia, la utilización de la norma ASTM, la adecuada configuración de impresión y el empleo de una máquina universal calibrada según las especificaciones, aseguraron la calidad y confiabilidad de los ensayos de tracción. Estos ensayos jugaron un papel fundamental en la evaluación de las propiedades mecánicas del material utilizado y proporcionaron una base sólida para futuras investigaciones y mejoras en el diseño y fabricación de componentes impresos en 3D.

**Tabla 13***Datos del informe de ensayo de flexión*

<b>Condiciones ambientales</b>	<b>Temperatura 25° C</b>
Numero de probetas	5
Velocidad de ensayo	20 mm/min
Espacio de soportes	60 mm
Ancho	13 mm
Longitud	127 mm

**ENSAYO TGA**

En la tabla 14 se indica los niveles de pruebas y distintas características para el ensayo TGA el cual por medio la normativa ASTM E1131-20 en el laboratorio de la escuela politécnica nacional en el centro de investigaciones aplicadas a polímeros

**Tabla 14**

FLUJO DE GAS (mL/min)	50
Velocidad de calentamiento (°C/min):	10
Temperatura inicial (°C)	25
Temperatura final (°C)	1000

## Figura 12 Maquina Thermal Analysis TGA

*Maquina Thermal Analysis System TGA 1*



Además de los ensayos de flexión, se llevaron a cabo análisis térmico utilizando y análisis termogravimétrico (TGA). Estas pruebas permitieron estudiar las transiciones térmicas, las entalpías de fusión y la estabilidad térmica del material TPU.

Las probetas utilizadas en el ensayo cumplieron con los requisitos establecidos por la normativa, que incluyen dimensiones específicas. El espacio entre los soportes de las probetas fue de 60 mm, mientras que el ancho de las probetas fue de 13 mm y la longitud de las mismas fue de 127 mm. Estas dimensiones aseguraron una adecuada aplicación de la carga durante el ensayo de flexión. A continuación, la tabla 13 presenta los datos del informe de ensayo de flexión.

Por lo tanto, se ensayaron las probetas con el llenado adecuado y el espesor indicado, utilizando los apoyos mencionados anteriormente. Al finalizar el ensayo, se observó la deformación producida y se realizaron las comprobaciones correspondientes. El informe de ensayo de flexión y los análisis térmicos proporcionaron un conjunto completo de datos sobre

las propiedades mecánicas y térmicas del material TPU. Estos resultados son de gran importancia para la evaluación del material y la optimización del diseño de los componentes impresos en 3D. Además, permiten garantizar su adecuado funcionamiento en diferentes aplicaciones y contribuir al avance de la tecnología de impresión 3D.

### **Ensayo en TPU**

Para ejecutar los ensayos se asigna una carga de 500 N sobre una de las paredes internas, fuerza capaz de simular la acción de la palanca de cambios sobre el guardapolvo de manera natural. Para poder realizar una comparación de resultados entre materiales es necesario tener en cuenta las propiedades mecánicas de los materiales, esto también ya que el software seleccionado; Inventor, no posee todos los materiales que se están estudiando, siendo necesario el ingreso manual de las características del material.

### **Equipo para el ensayo TGA:**

Para llevar a cabo la simulación térmica, se deben tomar en consideración los datos obtenidos previamente. En primer lugar, es necesario imponer un impedimento de traslación en la cara inferior del guardapolvo, ya que esta cara estará anclada en el vehículo. Esta restricción asegura que la simulación sea lo más precisa posible, ya que refleja las condiciones reales de uso del guardapolvo.

Una vez aplicado el impedimento de traslación, se procede a realizar el mallado del modelo. El mallado es un paso crucial, ya que divide el modelo en elementos más pequeños, lo cual permite analizar de manera más detallada la reacción del cuerpo ante el esfuerzo realizado por la palanca de cambio. Este proceso garantiza una simulación más precisa y confiable.

Posteriormente, se seleccionan las caras del guardapolvo que estarán en contacto directo con la palanca de cambio. Estas caras son de particular importancia, ya que permiten estudiar cómo reacciona el cuerpo del guardapolvo frente a la interacción con la palanca. Este análisis es esencial para evaluar la resistencia y durabilidad del material en condiciones de uso real.

**Tabla 14**

*Características mecánicas de TPU*

Densidad	1.18 e3 – 1.21 e3 kg/m <sup>3</sup>
Temperatura de fusión	135 – 164 °C
Temperatura de transición vítrea	-43 – -30 °C
Módulo de Young	0.0285 – 0.0398 GPa
Límite elástico	38 – 49.4 MPa
Tensión de rotura (Tracción)	38 – 49.4 MPa
Tensión al 300% de alargamiento	9.58 – 14.5 MPa
Alargamiento	502 – 653 %
Coefficiente de Poisson	0.48 – 0.495
Esfuerzo de compresión	45.6 – 59.3 MPa
Dureza (Vickers)	11 – 15 HV
Conductividad térmica	0.151 – 0.172 W/m*°C
Calor específico	1.54e3 – 1.6e3 J/Kg*°C

En cuanto al material utilizado en la simulación, se toma en consideración el TPU. Aunque este material no se encuentra disponible directamente en el software Inventor, es posible crear una biblioteca personalizada para ingresarlo con sus características mecánicas



específicas. Estas propiedades se basan en los datos presentados en la tabla 14, la cual detalla las propiedades relevantes del TPU utilizado en el estudio.

#### Simulación el software SimSolid

Además de los ensayos mecánicos y térmicos, se llevaron a cabo simulaciones mediante el uso de software especializado para evaluar el comportamiento de los materiales y componentes bajo diferentes condiciones de carga y movimiento. Estas simulaciones proporcionaron una representación virtual del comportamiento real de los materiales, lo que permitió analizar su respuesta ante situaciones específicas y realizar ajustes en el diseño para optimizar su desempeño.

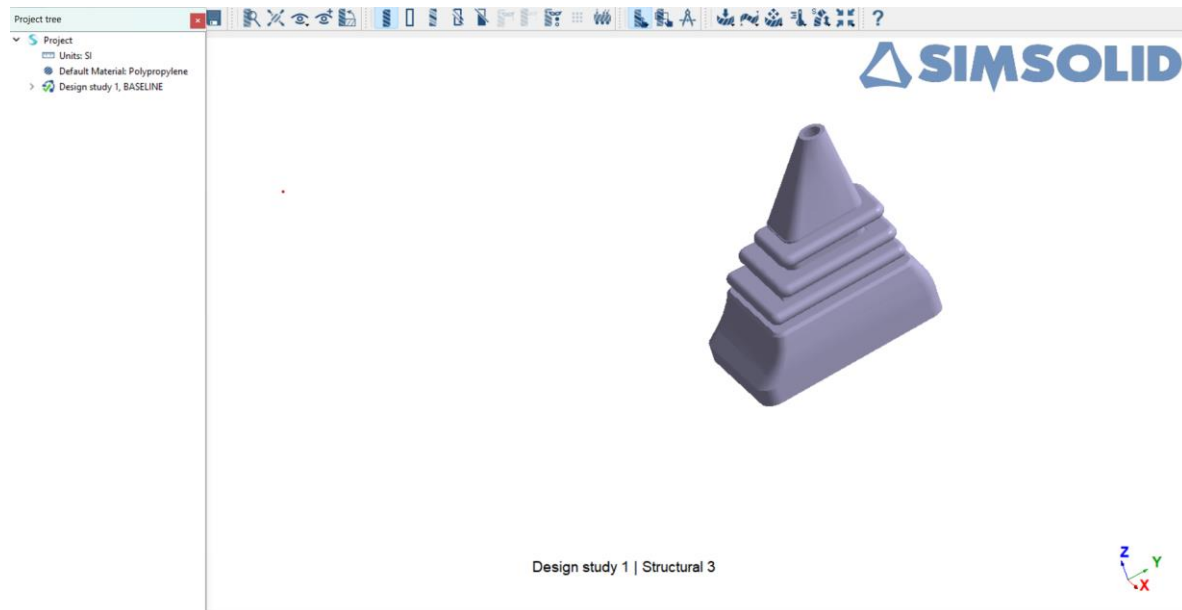
Se utilizó el software SimSolid para realizar las simulaciones, aprovechando los datos obtenidos de los ensayos mecánicos y térmicos. Las simulaciones permitieron analizar tensiones, deformaciones y otros parámetros de interés en diferentes partes de los componentes, como las paredes frontal, posterior y lateral del guardapolvo. Esto proporcionó una visión más detallada y precisa del comportamiento de los materiales en situaciones reales, ayudando a identificar posibles áreas de mejora y optimización.

Las simulaciones fueron una herramienta valiosa para complementar los ensayos mecánicos y térmicos, ya que permitieron obtener información adicional y realizar análisis más detallados sin la necesidad de fabricar prototipos físicos. Esto agilizó el proceso de diseño y desarrollo de los componentes, permitiendo realizar ajustes y mejoras de manera más eficiente y económica.

En la figura se muestra el diseño de la autoparte la cual se realizara el estudio en el software como se observa en la figura 14

### Figura 13

*Ensayos de la simulación en SimSolid*



Una vez que se ingresan correctamente las propiedades mecánicas del TPU en la biblioteca de SimSolid, se procede con la simulación. Este proceso implica aplicar las cargas y condiciones adecuadas al modelo, y analizar la respuesta del material ante estas condiciones. La simulación permitirá obtener información valiosa sobre la resistencia y comportamiento del guardapolvo impreso en 3D con TPU, lo cual es crucial para su validación y mejora continua.+

Figura 14

## Parámetros del material en software SimSolid

Property	Value	Units
▼ Mechanical properties		
Elasticity modulus	1.3400000000e+09	[pa]
Poisson's ratio	3.9200000000e-01	[dimensionless]
Density	8.9900000000e+02	[kg/m <sup>3</sup> ]
Ultimate tensile stress	3.6500000000e+07	[pa]
Tensile yield stress	3.0300000000e+07	[pa]
Compressive yield stress	3.0300000000e+07	[pa]
Default failure criterion	Not Specified	
Thermal expansion coefficient	9.0500000000e-05	[1/(degree C)]
▼ Thermal properties		
Thermal conductivity	1.9800000000e-01	[W/(m*K)]
Specific heat capacity	0.0000000000e+00	[J/(kg*K)]

En consecuencia, la simulación térmica se realiza considerando los datos previos recopilados y analizados. Se aplican restricciones, se realiza el mallado y se seleccionan las caras de contacto para un análisis detallado. El material utilizado, en este caso el TPU, se introduce en el software Inventor mediante una biblioteca personalizada. A partir de allí, se ejecuta la simulación para obtener información relevante sobre el comportamiento del guardapolvo en condiciones reales de uso. Esta simulación contribuye a la validación y optimización del diseño de los componentes impresos en 3D.

### ***Carga sobre una de las caras laterales del guardapolvo***

Mediante la simulación térmica del guardapolvo en TPU, se logra reproducir el movimiento de izquierda a derecha que experimenta la palanca de cambios cuando se encuentra en la posición de neutro. Esta simulación permite evaluar el comportamiento estructural del guardapolvo frente a las cargas aplicadas en una de sus caras laterales.

En la figura 14 se muestra la vista superior de la simulación, donde se aprecia la carga ejercida sobre la pared lateral del guardapolvo. Esta carga representa el movimiento lateral de la palanca de cambios y permite analizar la distribución de tensiones en el componente.

La figura 15, por su parte, muestra la vista posterior de la simulación, brindando una perspectiva adicional de la carga aplicada. A continuación, se presenta la figura 14, de simulación de guardapolvo en TPU, vista superior, carga en pared lateral.

**Figura 14**

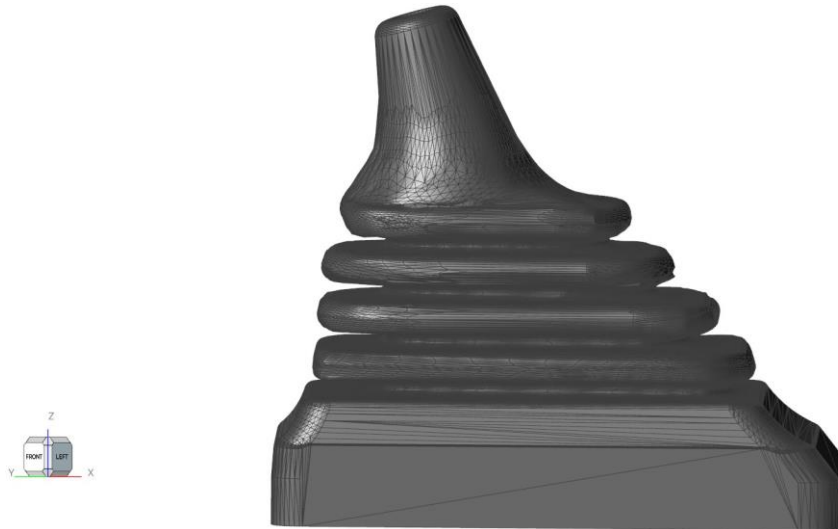
*Simulación de guardapolvo en TPU, vista superior, carga en pared lateral*



En referencia a esto, se puede apreciar que las cargas soportadas durante este primer movimiento no generan tensiones excesivas en la mayor parte del guardapolvo. Solo se registra una tensión máxima de 54.18 MPa en la zona interna del primer eslabón. Estos datos indican que no se presentan problemas significativos en cuanto al correcto funcionamiento y la vida útil del guardapolvo. A continuación, se presenta la figura 15, de simulación de guardapolvo en TPU, vista posterior, carga en pared lateral.

**Figura 15**

*Simulación de guardapolvo en TPU, vista posterior, carga en pared lateral*



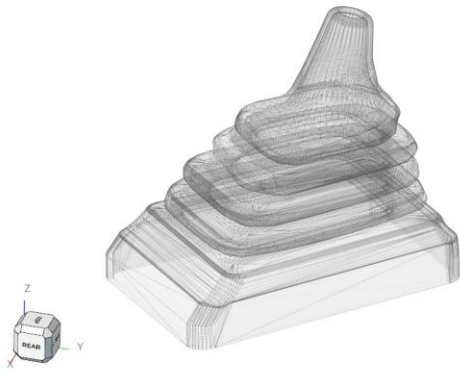
En consecuencia, la simulación térmica del guardapolvo en TPU brinda información clave sobre su capacidad para resistir las cargas generadas durante el movimiento de la palanca de cambios. Los resultados obtenidos demuestran que el guardapolvo es capaz de soportar estas cargas sin comprometer su funcionamiento y durabilidad. Estos hallazgos respaldan la idoneidad del TPU como material de impresión para este componente y respaldan la calidad y el rendimiento del guardapolvo impreso en 3D.

### ***Carga en pared frontal del guardapolvo***

Para las simulaciones se procede a darle movimiento con una carga ejercida similar al cambio de marchas durante un uso natural de la palanca de cambios.

**Figura 16**

*Simulación de guardapolvo en TPU, vista general, carga en pared frontal*



Con esta siguiente simulación de cargas se da el movimiento al sólido equivalente a poner la primera marcha en el auto. Con este movimiento se observa que la mayor tensión existe únicamente en la parte superior del guardapolvo, exclusivamente en la parte posterior y trasera del primer eslabón. Esto da a entender que el material da una buena respuesta a las cargas que representa el uso continuo con la palanca de cambios. Ahora se procederá a aplicar la carga sobre otra cara de contacto del guardapolvo con la palanca de cambios para poder apreciar las deformaciones que este cuerpo sufrirá.

### ***Carga en pared posterior del guardapolvo***

Al analizar los resultados de esta simulación, se observan valores de tensión similares a los obtenidos en la simulación anterior. Sin embargo, es importante destacar que se registra una ligera tensión superior en la parte frontal superior del primer eslabón del guardapolvo. Esta tensión adicional se debe a la forma particular del guardapolvo, que presenta una inclinación en su parte posterior. A pesar de esta ligera tensión adicional, no se identifican

problemas significativos que puedan afectar el funcionamiento adecuado y la durabilidad del guardapolvo.

En cuanto a los demás movimientos de cambio de marcha, como la tercera, cuarta, quinta y retro, las cargas aplicadas son similares a las presentadas en los movimientos de las paredes frontal y posterior. Esto indica que el guardapolvo en TPU es capaz de soportar de manera eficiente las cargas generadas durante los distintos cambios de marcha, sin comprometer su integridad estructural ni su rendimiento.

Los resultados obtenidos en esta simulación proporcionan información valiosa para evaluar la resistencia del guardapolvo en TPU en situaciones de carga realistas. Los valores de tensión registrados demuestran que el diseño y el material seleccionado son adecuados para soportar las fuerzas ejercidas durante los movimientos de la palanca de cambios.

Por tanto, la simulación de carga en la pared posterior del guardapolvo en TPU ha permitido identificar y evaluar las tensiones generadas durante el movimiento de colocar la palanca de cambios en segunda velocidad. A pesar de una ligera tensión adicional en la parte frontal superior del primer eslabón, no se presentan inconvenientes significativos. Estos resultados respaldan la idoneidad del TPU como material de impresión para el guardapolvo y confirman su capacidad para resistir las cargas asociadas con los cambios de marcha. Asimismo, estos hallazgos contribuyen a garantizar el buen funcionamiento y la durabilidad del guardapolvo impreso en 3D en diversas condiciones de uso.

Es importante destacar que la simulación de carga lateral es una prueba crucial para evaluar la resistencia y la estabilidad del guardapolvo durante los cambios de marcha. El hecho de que tanto el caucho como el TPU muestren resultados similares en esta prueba indica que ambos materiales son viables para su aplicación en esta parte del vehículo.

Estos hallazgos respaldan la idea de que la selección del material adecuado para el guardapolvo debe basarse en consideraciones más amplias, como el costo, la disponibilidad y otros factores de rendimiento y fabricación, además de las propiedades mecánicas específicas. Es fundamental realizar un análisis exhaustivo y evaluar todos los aspectos relevantes antes de tomar una decisión informada sobre el material a utilizar.

En resumen, la simulación de carga en las caras laterales del guardapolvo fabricado con material caucho su material original no presenta diferencias significativas en términos de tensiones en comparación con el guardapolvo de material TPU. Estos resultados indican que ambos materiales son igualmente capaces de resistir las cargas generadas durante los movimientos laterales en el uso de la palanca de cambios. La elección final del material dependerá de otros factores, además de las propiedades mecánicas, que deben ser considerados para lograr un diseño óptimo y un funcionamiento adecuado del guardapolvo.

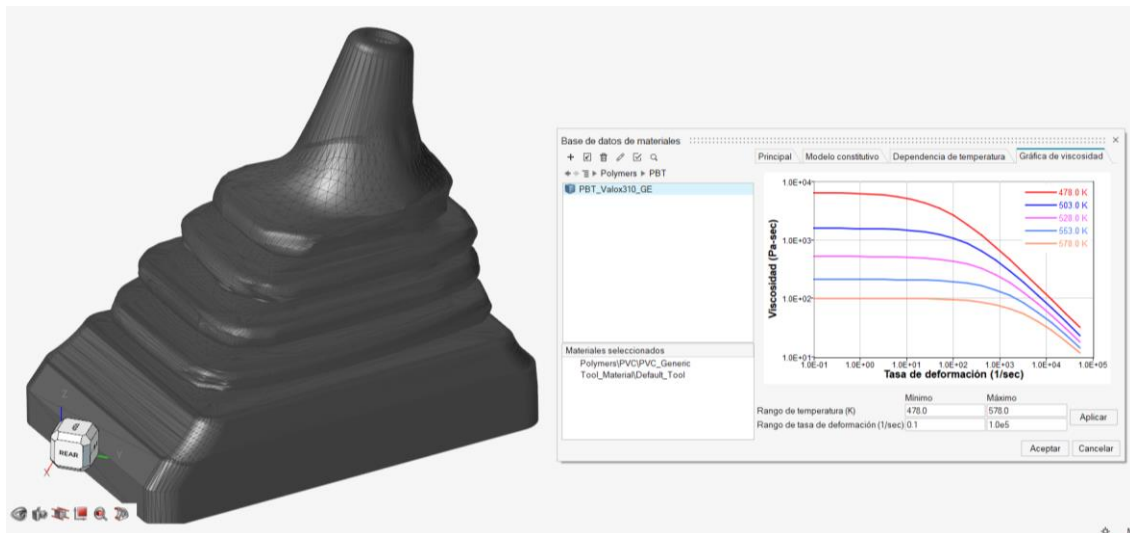
### **Análisis de resistencia estructural**

Se considera que el proceso de la optimización se lo realizara en el software SimSolid se lo aplica con el material TPU en cual se da el proceso de la estructura y el térmico. Ya que dispone de la biblioteca en la cual se encuentran los materiales en los elementos se basa en elemento diseñado



**Figura 21**

*Simulación de guardapolvo en PA, vista superior, carga en pared frontal*



Los resultados de la simulación proporcionan una base sólida para la toma de decisiones en cuanto a la selección del material más adecuado para el guardapolvo. Si bien el PA puede ofrecer ciertas ventajas en términos de procesabilidad y costos, es esencial considerar todos los factores, incluidas las características mecánicas, para tomar una decisión informada.

## RESULTADOS

### Resultados de investigación

Los resultados obtenidos a través de los ensayos mecánicos y térmicos fueron de gran importancia para evaluar la calidad y el rendimiento de los materiales utilizados en los componentes impresos en 3D. Estos resultados se compararon con los estándares establecidos en la normativa para elementos plásticos sometidos a ensayos de tracción y flexión.

En cuanto a los ensayos mecánicos, se analizaron propiedades como el módulo de Young, el límite elástico y la tensión de rotura. Estos parámetros proporcionaron una medida de la resistencia y la capacidad de carga de los materiales en situaciones de tracción y flexión. Los resultados de los ensayos mecánicos permitieron evaluar si los materiales cumplían con los requisitos establecidos en la normativa y si eran adecuados para soportar las cargas y esfuerzos esperados en los componentes impresos en 3D.

Por otro lado, los ensayos térmicos proporcionaron información valiosa sobre la estabilidad y la resistencia de los materiales frente a cambios de temperatura. Se evaluaron propiedades como la temperatura de fusión, la temperatura de transición vítrea y la conductividad térmica. Estos datos permitieron determinar si los materiales eran aptos para aplicaciones que involucraban altas temperaturas o fluctuaciones térmicas, garantizando así su integridad y durabilidad a lo largo del tiempo.

La comparación de los resultados de los ensayos con los estándares de la normativa permitió evaluar si los materiales cumplían con los requisitos establecidos en términos de resistencia mecánica y estabilidad térmica. Además, estos resultados sirvieron como base

para tomar decisiones informadas en cuanto a la selección de materiales y el diseño de los componentes impresos en 3D, asegurando que cumplieran con los estándares de calidad y rendimiento esperados.


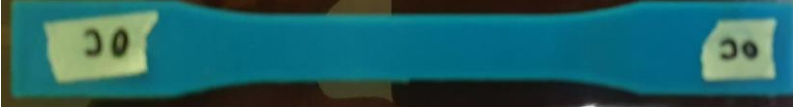


Por tanto, los ensayos mecánicos y térmicos, junto con la comparación de los resultados con la normativa aplicable, proporcionaron una sólida base de conocimiento para evaluar y seleccionar los materiales adecuados para los componentes impresos en 3D. Estos ensayos permitieron analizar las propiedades mecánicas y térmicas de los materiales, garantizando su resistencia y estabilidad en condiciones de carga y temperatura.

### Resultados de la tracción

En la tabla 17, se aprecian los diferentes mallados realizados en el ensayo de tracción, con su respectiva impresión 3D.

**Tabla 17**

*Probetas de ensayos con diferentes rellenos*

Mallado	Impresión 3D
Cubico Bitruncado	
Octeto	
Subcubica	
Cubica	

Giroide	
---------	--

Ya una vez con las impresiones realizadas en sus diferentes mallados se procede a utilizar las probetas para el ensayo respectivo, para así obtener los diferentes resultados y verificar su resistencia a la tracción. En la tabla 18 se observa la condición final de estas probetas.




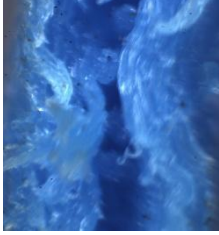

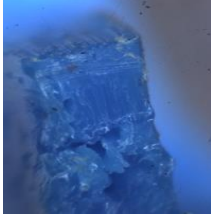
### Muestra Microscopio

Utilizando un microscopio, debido a que el aspecto físico se encontraba en buen estado, pero al aplicar fuerza al tubo se observó que la rejilla no estaba fusionada con el material, donde se detalló los problemas obtenidos, y se indicó temperatura suficiente, para continuar imprimiendo la muestra. Como se muestra en la tabla 18

**Tabla 18**

*Estado de las probetas después del ensayo de tracción*

<b>Muestras</b>	<b>Impresión 3D de tracción</b>	<b>Microscopio</b>
Cubico Bitruncado		
Octeto		

Subcúbica		
Cúbica		
Giroide		

Los resultados del ensayo de tracción fueron evaluados considerando diferentes mallados utilizados en la impresión 3D. La tabla 19 muestra los distintos mallados empleados, así como las correspondientes impresiones 3D realizadas. Una vez obtenidas las impresiones en los diferentes mallados, las probetas fueron sometidas al ensayo de tracción para evaluar su resistencia. La tabla 20 refleja el estado final de las probetas después del ensayo, y se realizó una inspección macroscópica de cada una de ellas.

En la vista del microscopio con una vista de 10x se logra observa en la fractura de la probeta y se observan las hebras del material TPU al fracturarse por el ensayo de tracción en las diferentes patrones de relleno y el porcentaje del que se realizo en l oque se observa el punto máximo después de convertirse en material elástico

Los ensayos se llevaron a cabo siguiendo los estándares de la norma ASTM, en el laboratorio de mecánica de la Universidad UISEK. Además de la evaluación macroscópica, se recopilaron datos sobre el punto de aplicación de cada material para seleccionar la mejor opción. Esta información se presenta en la tabla 18, con estos datos en mano, se realizó una comparativa entre los diferentes materiales utilizados en el proceso de impresión 3D. Esta comparativa permitió analizar y evaluar las propiedades de cada material, y así determinar cuál era la mejor opción para dicho proceso.

En conjunto, los resultados obtenidos de los ensayos de tracción, la inspección macroscópica y la comparativa entre materiales proporcionaron una visión integral de la resistencia y el comportamiento de las probetas impresas en 3D. Estos resultados fueron fundamentales para tomar decisiones informadas sobre la elección del material más adecuado para el proceso de impresión 3D, garantizando la calidad y el rendimiento de los componentes fabricados.

En referencia a ello, en la tabla 19, se puede observar que el material PA es quien soporto de esfuerzos ante las cargas aplicadas, dejando al TPU como el segundo material con mayor deformación soportada en los tres diferentes puntos de flexión, siendo este último material el elegido para los resultados en laboratorio presentados en la tabla 20. Se ha decidido hacer pruebas en relación al porcentaje de relleno para cada tipo de patrón presentado en la tabla.

**Tabla 19***Comparativa de esfuerzos por material*

<b>Punto de aplicación</b>	<b>TPU (Mpa)</b>	<b>ABS (Mpa)</b>	<b>PA (Mpa)</b>	<b>PLA (Mpa)</b>
Frontal	51.93	51.84	52.07	51.84
Posterior	55.14	55.04	55.28	55.04
Lateral	67.73	67.18	68.25	67.18

En concordancia con ello, la tabla 20 presenta los resultados obtenidos del informe del laboratorio. De los diferentes patrones de relleno en las probetas en valor promedio

**Tabla 20***Resultados obtenidos del informe del laboratorio UISEK*

<b>Patrón</b>	<b>Relleno</b>	<b>Carga máxima (kN)</b>	<b>Resistencia a la Tracción (Mpa)</b>	<b>Elongación a la rotura (%)</b>	<b>Anexo</b>
Cúbica	50%	0,68	38	475%	6
	40%	0,59	33	475	11
Octeto	50%	0,68	38	475%	7
	40%	0,55	31	475	12
Bitruncado	50%	0,87	48	475%	8
	40%	0,50	-	-	13
Giroide	50%	0,73	41	475%	9
Sub-cúbica	40%	0,50	28	475%	10

En consecuencia, la tabla 19 muestra una comparativa de los esfuerzos por material en diferentes puntos de aplicación, como frontal, posterior y lateral. Los valores de esfuerzo en megapascales (MPa) se mantienen relativamente similares para los materiales TPU, ABS, PA y PLA.

Por otro lado, la tabla 20 presenta los resultados obtenidos del informe del laboratorio UISEK. Se detallan los diferentes patrones de relleno utilizados, la carga máxima en kilonewtons (kN), la resistencia a la tracción en megapascales (MPa) y la elongación a la rotura en porcentaje.

Estos resultados proporcionan información importante sobre la capacidad de resistencia y deformación de los materiales en diferentes patrones de relleno. En general, estos datos son fundamentales para evaluar y comparar el rendimiento de los materiales utilizados en la impresión 3D, permitiendo seleccionar el patrón de relleno y el material más adecuados para cada aplicación específica.

### **Ensayo de tracción para el material TPU**

Una vez completadas las pruebas de simulación 3D y preparada la impresora 3D, se procede al análisis de tracción previo a la impresión del guardapolvo del Nissan Sentra B13. En este análisis, se consideran diversos parámetros para evaluar el comportamiento del material bajo carga.

Estos parámetros son cruciales para evaluar la resistencia y el comportamiento mecánico del material utilizado en el guardapolvo, lo que nos permitirá garantizar su durabilidad y funcionalidad en condiciones reales. Como se identifica en las medidas en la figura 3



Tabla 21

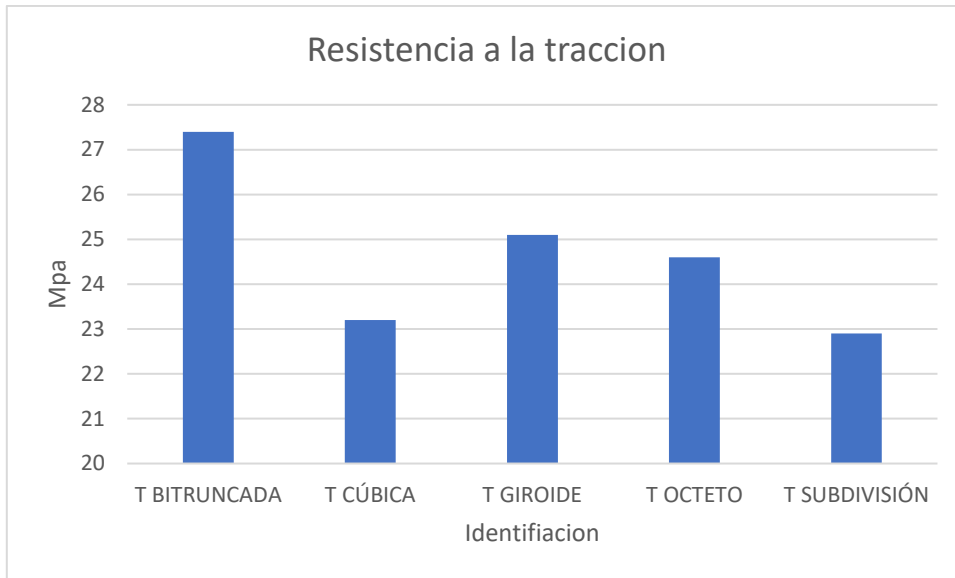
Resultados de pruebas de tracción

<i>dime nsion a (mm)</i>	<i>dime nsion b (mm)</i>	<i>Are a (m m<sup>2</sup>)</i>	<i>Longit ud inicial (mm)</i>	<i>Longi tud final (mm)</i>	<i>Car ga en la flue ncia (N)</i>	<i>Car ga ulti ma (N)</i>	<i>Esfu erzo a la fluen cia (MP a)</i>	<i>Esfu erzo ultim o (MP a)</i>	<i>Alarga miento (%)</i>	<i>Identific ación</i>
13,04	2,6	33, 9	50	165	252, 9	929 ,5	7,5	27,4	230	T BITRUN CADA
13,1	2,6	34, 06	50	154	221, 7	790 ,6	6,5	23,2	208	T CÚBICA
13,02	2,66	34, 63	50	156	232, 8	869 ,3	6,7	25,1	212	T GIROID E
13	2,6	33, 8	50	155	245, 8	832 ,3	7,3	24,6	210	T OCTET O
13	2,6	33, 8	50	148	240, 3	775 ,3	7,1	22,9	196	T SUBDIV ISIÓN

El análisis de tracción nos proporcionará información valiosa para optimizar el diseño y seleccionar el material más adecuado para cumplir con los requisitos de resistencia y rendimiento del guardapolvo. A continuación, la figura 22, presenta la resistencia a la tracción MPA.

Figura 29

Resistencia a la tracción (MPA)



En la table 22 se identifnan las dimesiones, área, longitud inicial, longitud

**Tabla 22**

Resultados de pruebas de tracción con relleno de 10%

<i>No</i>	<i>dime nsio n a (mm )</i>	<i>dime nsio n b (mm )</i>	<i>Area (mm 2)</i>	<i>Long itud inici al(m m)</i>	<i>Lon gitu d final (mm )</i>	<i>Car ga en la flue ncia (N)</i>	<i>Car ga ulti ma (N)</i>	<i>Esfu erzo a la flue ncia (MP a)</i>	<i>Esfu erzo ulti mo (MP a)</i>	<i>Alarg amien to (%)</i>	<i>Identif icació n</i>
1	13,0 5	2,58	33,6 7	50	165	252, 9	929, 5	7,5	27,6	230	T BITRU NCAD A
2	13,1	2,6	34,0 6	50	154	221, 7	790, 6	6,5	23,2	208	T CÚBI CA

3	13,0 6	2,69	35,1 3	50	156	232, 8	869, 3	6,6	24,7	212	T GIROI DE
4	13,0 7	2,51	32,8 1	50	155	245, 8	832, 3	7,5	25,4	210	T OCTE TO
5	13,0 1	2,6	33,8 3	50	148	240, 3	775, 3	7,1	22,9	196	T SUBD IVISIÓ N

Figura 30

Esfuerzo ultimo 10%

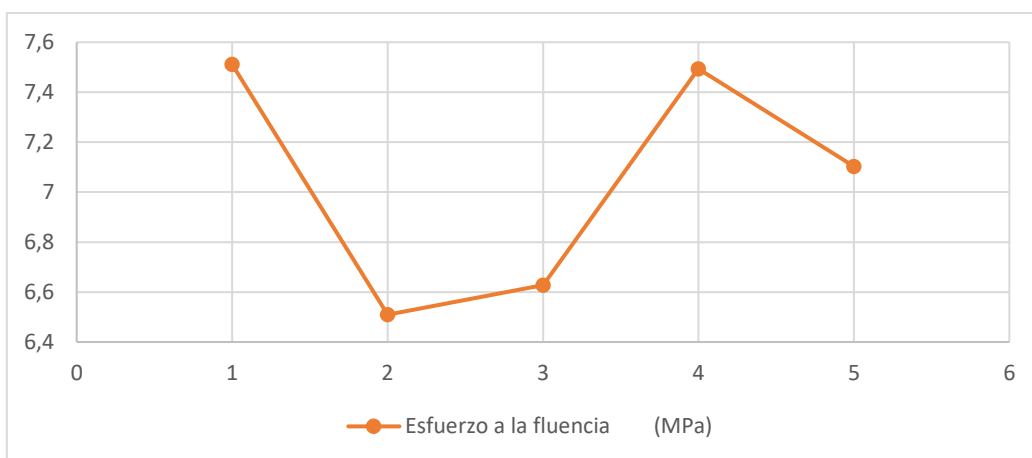


Tabla 23

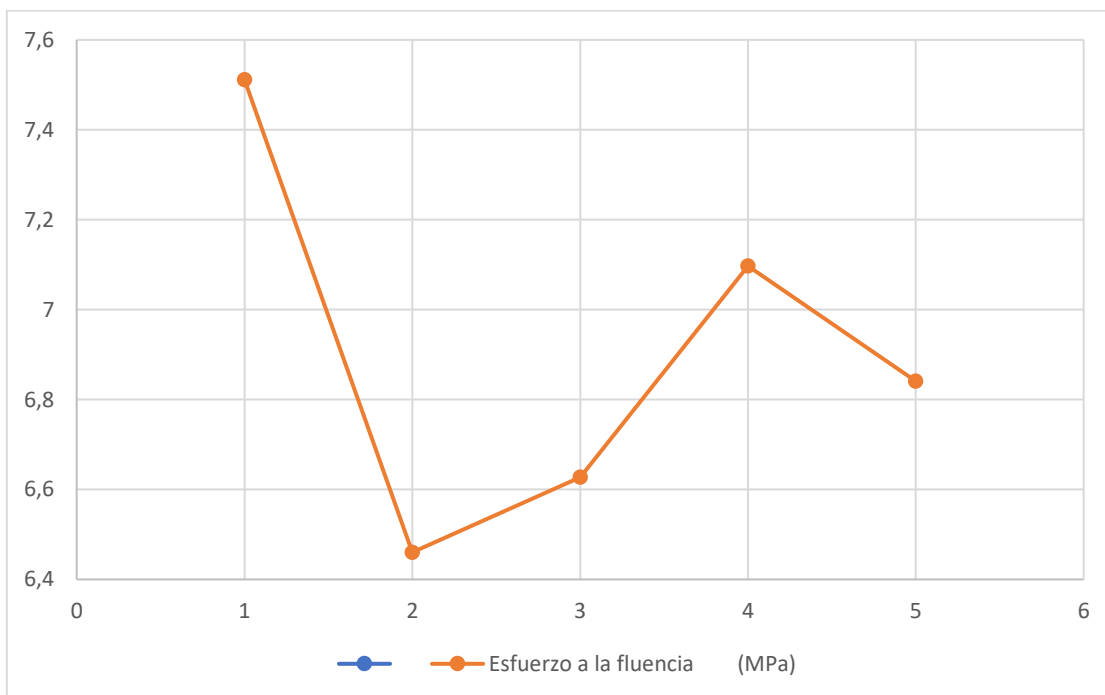
Resultados de prueba de tracción al 30%

No	dime nsio n a (mm )	dime nsio n b (mm )	Area (mm 2)	Long itud inici al(m m)	Lon gitu d final (mm )	Car ga en la flue ncia (N)	Car ga ulti ma (N)	Esfu erzo a la flue ncia (MP a)	Esfu erzo ulti mo (MP a)	Alarg amien to (%)	Identif icació n
1	13,0 5	2,58	33,6 7	50	165	252, 9	929, 5	7,5	27,6	230	T BITRU NCAD A
2	13,1	2,6	34,0 6	50	154	221, 7	790, 6	6,5	23,2	208	T CÚBI CA

3	13,0 6	2,69	35,1 3	50	156	232, 8	869, 3	6,6	24,7	212	<i>T GIROI DE</i>
4	13,0 7	2,51	32,8 1	50	155	245, 8	832, 3	7,5	25,4	210	<i>T OCTE TO</i>
5	13,0 1	2,6	33,8 3	50	148	240, 3	775, 3	7,1	22,9	196	<i>T SUBD IVISIÓ N</i>

**Figura 31**

**Esfuerzo máximo Mpa**



Al igual que se procedió con los ensayos de tracción, se procede con los de flexión para las probetas realizadas (tabla 22).

**Tabla 22***Probetas de ensayos con diferentes rellenos para flexión*

Cubico Bitruncado	
Octeto	
Subcubica	
Cubica	
Giroide	

Una vez impresas las probetas para flexión en los diferentes tipos de mallado se continua a sus pruebas en laboratorio. Para esto se toma en cuenta el ancho de la probeta (Base), el espesor de la probeta (Altura) como se observó y ciertos parámetros propios de las pruebas:

- a. Inercia de un rectángulo; determinado a un doceavo de la base por la altura al cubo
- b. Momento flector; fuerza por la longitud entre apoyos dividido para 4
- c. Y; tomado a la mitad del espesor de la probeta.

d. Esfuerzo flector máximo: Momento flector x Y dividido para la inercia del *área*

**Tabla 23**

*Resultados promedio con diferentes patrones de relleno de pruebas de probetas*

Identificación	Base (mm)	Altura 3 (h <sup>3</sup> )	Altura (mm)	Inercia mm <sup>4</sup>	Fuerza máxima (n)	Longitud de apoyos (mm)	Constante	Momento flector (N*mm)	altura (mm)	constante	Y (mm)	Esfuerzo Flector (Mpa)
Cbitrun cada	12,6	21,952	2,8	23,0496	3,7	80	4	74	2,8	2	1,4	4,49
Cúbica	12,6	21,952	2,8	23,0496	4,008	80	4	80,16	2,8	2	1,4	4,87
Giroide	12,6	21,952	2,8	23,0496	4,933	80	4	98,66	2,8	2	1,4	5,99
Octeto	12,6	21,952	2,8	23,0496	5,55	80	4	111	2,8	2	1,4	6,74
Subdivisión	12,6	21,952	2,8	23,0496	4,008	80	4	80,16	2,8	2	1,4	4,87

El análisis de los resultados promedio obtenidos con diferentes patrones de relleno en las pruebas de las probetas revela información relevante sobre su comportamiento estructural y resistencia. En cuanto a las dimensiones de las probetas, se observa que todas tienen una base de 12,60 mm y una altura de 2,80 mm. La altura al cubo promedio es de 21,952 mm y la inercia promedio es de 23,049600 mm<sup>4</sup>. Estas dimensiones son importantes para evaluar la geometría de las probetas y su capacidad para resistir las cargas aplicadas.

En relación a la fuerza máxima alcanzada, se obtuvo un promedio de 4,208 N. Esta medida indica la resistencia de las probetas ante la aplicación de una carga y permite comparar su capacidad de soportar esfuerzos. El momento flector, que mide la resistencia de una viga a la flexión, revela resultados promedio que van desde 74,00 Nmm hasta 111,00 Nmm. Este parámetro es fundamental para evaluar la capacidad de las probetas para resistir esfuerzos de flexión.

El esfuerzo flector promedio varía entre 4,49 MPa y 6,74 MPa. Este valor indica la intensidad del esfuerzo al que se somete el material de las probetas durante la flexión y permite evaluar su resistencia a la deformación. Por tanto, los resultados promedio obtenidos con diferentes patrones de relleno en las pruebas de las probetas proporcionan información clave sobre su comportamiento estructural y resistencia. Estos datos son fundamentales para evaluar la idoneidad de los patrones de relleno utilizados en la impresión 3D y optimizar el diseño de los componentes.

Además, permiten comparar la resistencia de los materiales utilizados en las probetas y seleccionar aquellos que presenten mejores propiedades mecánicas. Este análisis contribuye al mejoramiento continuo de los procesos de fabricación y diseño en la impresión 3D, buscando obtener componentes de mayor calidad y rendimiento. A continuación, se presenta el cálculo del esfuerzo de compresión para probetas.

**Tabla 24**

*Cálculo del esfuerzo de compresión para probetas*

Muestras				
No.	Diámetro	Área	Fuerza	Resistencia a la Compresión

	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	(N)	(MPa)
B1	2,10	3,46	1694	489,1
B2	2,05	3,30	1872	567,2
B3	1,99	3,11	1815	583,6
B4	2,00	3,14	1036	329,8
B5	2,05	3,30	1681	509,3
B6	1,98	3,08	1957	635,6
B7	2,04	3,27	2010	615,0
B8	2,00	3,14	1578	502,3
B9	2,08	3,40	1149	338,1
B1 0	2,01	3,17	1914	603,2
B1 1	2,07	3,37	1573	467,4

El análisis de los datos proporcionados permite calcular el esfuerzo de compresión para cada una de las probetas ensayadas. Al evaluar los diámetros de las probetas, se observa que varían entre 1,98 mm y 2,10 mm. Estas dimensiones son relevantes para calcular el área de cada probeta, la cual oscila entre 3,08 mm<sup>2</sup> y 3,46 mm<sup>2</sup>. El área es un factor determinante para calcular el esfuerzo de compresión, ya que representa la superficie sobre la cual actúa la fuerza aplicada.

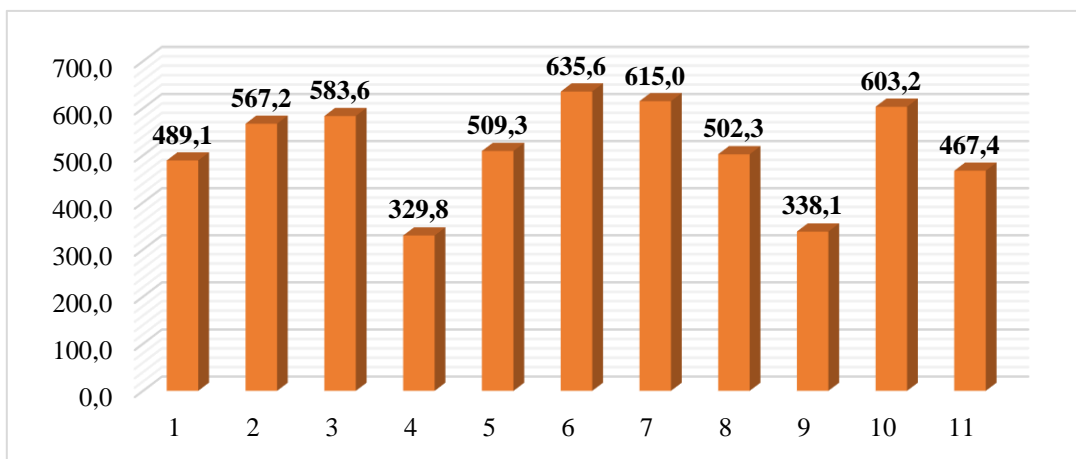
La fuerza aplicada a las probetas varía desde 1036 N hasta 2010 N. Estos valores indican la carga ejercida sobre cada probeta durante el ensayo de compresión y permiten



calcular el esfuerzo de compresión. Al calcular el esfuerzo de compresión para cada probeta, se obtienen valores que van desde 329,8 MPa hasta 635,6 MPa. Estos resultados representan la resistencia de las probetas a la compresión, es decir, la capacidad de soportar cargas aplicadas en dirección opuesta. A continuación, se presentan los datos de compresión en probetas:

**Figura 30**

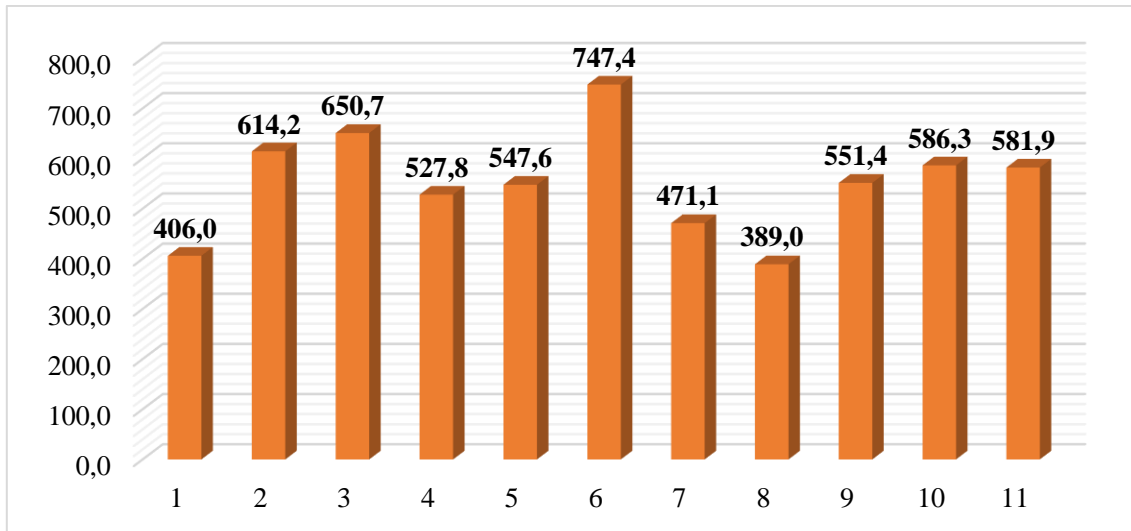
*Resistencia de compresión en probetas*



El análisis de estos datos permite evaluar la resistencia a la compresión de las probetas y comparar su desempeño. Se observa que algunas probetas presentan resistencias más altas que otras, lo cual puede deberse a diferencias en el material utilizado o en la calidad de la impresión 3D. En consecuencia, el cálculo del esfuerzo de compresión para las probetas evaluadas proporciona información importante sobre su resistencia a la compresión. A continuación, la figura 31, presenta la resistencia de la compresión en muestras.

**Figura 31**

*Resistencia de compresión en muestras*



Estos datos son esenciales para evaluar la calidad y rendimiento de los materiales utilizados en la impresión 3D y optimizar el diseño de los componentes. Además, permiten comparar la resistencia de diferentes probetas y seleccionar aquellas que presenten mejores propiedades mecánicas. Este análisis contribuye al desarrollo continuo de la tecnología de impresión 3D y su aplicación en la fabricación de componentes con altos estándares de calidad y rendimiento.

En relación a los resultados obtenidos de los ensayos térmicos realizados en la muestra DC-MU9030, se presenta a continuación la presentación de los resultados térmicos en forma de termograma a partir de la identificación y descripción de los ítems del ensayo. El termograma muestra las propiedades térmicas del material DC-MU9030 y proporciona información relevante sobre su comportamiento en diferentes rangos de temperatura. En el termograma, se observan distintas transiciones térmicas, como la temperatura de fusión y la temperatura de transición vítrea.

Por otro lado, el análisis termogravimétrico (TGA) también se llevó a cabo en la muestra DC-MU9030. Este ensayo permite determinar la composición de un material y su

comportamiento térmico bajo condiciones controladas. Sin embargo, no se proporcionan detalles adicionales sobre los equipos y reactivos utilizados en este servicio.

Por tanto, el ítem de ensayo DC-MU9030 corresponde a una muestra de material TPU de color celeste, que fue sometida a los y análisis termogravimétrico (TGA). Se utilizaron equipos específicos, como un calorímetro diferencial de barrido y una balanza analítica, junto con paneles portamuestras de aluminio y una prensa de sellado de panes. Estos servicios permitieron obtener información valiosa sobre las propiedades térmicas y la composición del material TPU en estudio. A continuación, se presentan las condiciones y parámetros de ensayo TGA, muestra DC-MU9030.

**Tabla 26**

Condiciones y parámetros de ensayo TGA, muestra DC-MU9030.

Fecha de inicio de ensayo:	02-06-2023
Fecha de fin de ensayo:	03-06-2023
Método:	Basado en normativa ASTM D3418-15” Transition Temperatures and Enthalpies of Fusion and Crystallization of Polymers by Differential Scanning Calorimetry”
Preparación de muestra:	N/A
Verificación:	Indio onset 157,2°C
Masa (mg)	24,36
Flujo de gas de purga (Ml/min):	20
Observaciones:	Se relaciono las condiciono las condiciones de realización del ensayo tomando en cuenta la identificación del material proporcionado por el cliente

El ensayo TGA (Análisis Termogravimétrico) realizado en la muestra DC-MU9030 se llevó a cabo siguiendo las siguientes condiciones y parámetros. El ensayo tuvo una duración desde el 2 de junio de 2023 hasta el 3 de junio de 2023. El método utilizado se basó en la normativa ASTM D3418-15, específicamente en la sección que trata sobre las temperaturas de transición y las entalpías de fusión y cristalización de polímeros mediante calorimetría diferencial de barrido.

En cuanto a la preparación de la muestra, no se proporciona información detallada sobre los procedimientos específicos utilizados. Sin embargo, se verificó que la temperatura de inicio de la muestra de indio fue de 157,2°C. La masa de la muestra utilizada en el ensayo fue de 24,36 mg. Durante el ensayo, se utilizó un flujo de gas de purga de 20 ml/min, que consistió en nitrógeno. El objetivo del gas de purga es mantener una atmósfera inerte y eliminar posibles interferencias durante el análisis térmico.

Se observó que se tomaron en cuenta las condiciones de realización del ensayo y se tuvo en consideración la identificación del material proporcionada por el cliente, aunque no se proporcionan detalles adicionales sobre estas consideraciones. En consecuencia, el ensayo TGA realizado en la muestra DC-MU9030 siguió la normativa ASTM D3418-15 y se llevaron a cabo bajo condiciones específicas. La muestra fue sometida a una temperatura de inicio de 157,2°C y se utilizó un flujo de gas de purga de 20 ml/min. Estos parámetros permitieron obtener información sobre el comportamiento térmico y la estabilidad del material TPU en estudio.

El ensayo TGA es una técnica importante para evaluar las propiedades termoquímicas y de descomposición de los materiales poliméricos. En este caso, el ensayo TGA de la

muestra DC-MU9030 proporcionó información relevante sobre la estabilidad térmica del material TPU, permitiendo determinar la temperatura de inicio y verificar su comportamiento frente a la descomposición térmica. Además, al seguir las pautas establecidas en la normativa ASTM D3418-15, se garantiza la consistencia y la comparabilidad de los resultados obtenidos. Estos datos son fundamentales para comprender el rendimiento y las aplicaciones potenciales del TPU en diferentes entornos y condiciones de temperatura.

La temperatura de transición vítrea, representada por una transición en el termograma, indica el punto en el cual el material pasa de un estado rígido a uno más flexible. En el termograma de la muestra DC-MU9030, se observa que la temperatura de transición vítrea se encuentra en el rango de 56 a 58 °C, lo cual es importante para determinar la temperatura de uso adecuada del material.

**Tabla 27**

*Condiciones y parámetros de ensayo TGA muestra DC-MU9030*

Fecha de inicio de ensayo:	02-06-2023
Fecha de fin de ensayo:	02-06-2023
Método:	Basado en normativa ASTM E1131-20 <i>“Compositional Analysis by Thermogravimetry”</i>
Preparación de muestra:	N/A
Flujo de gas (mL/min):	50
Velocidad de calentamiento (°C/min):	10
Temperatura inicial (°C):	25

Temperatura final (°C):	1000
Observaciones:	N/A

El ensayo TGA realizado en la muestra DC-MU9030 se llevó a cabo siguiendo las condiciones y parámetros establecidos. El ensayo se inició el 02-06-2023 y se completó el mismo día. La metodología utilizada se basó en la normativa ASTM E1131-20 titulada "*Compositional Analysis by Thermogravimetry*", la cual proporciona directrices para analizar la composición de materiales mediante la técnica de termogravimetría.

En cuanto a la preparación de la muestra, no se mencionaron procedimientos específicos, por lo que se asume que se utilizó la muestra tal como fue proporcionada. El flujo de gas durante el ensayo fue de 50 mL/min, lo que garantiza una atmósfera adecuada para el análisis térmico. La velocidad de calentamiento fue de 10 °C/min, lo que permite una caracterización térmica precisa y eficiente del material.

El ensayo de TGA se realizó en un rango de temperatura desde 25 °C (temperatura inicial) hasta 1000 °C (temperatura final), lo que permitió evaluar la estabilidad térmica y la descomposición del material en un amplio rango de temperaturas. No se proporcionaron observaciones adicionales sobre las condiciones o el desarrollo del ensayo. Sin embargo, es importante destacar que seguir las normas y pautas establecidas en la normativa ASTM garantiza la fiabilidad y la comparabilidad de los resultados obtenidos, lo que contribuye a una mejor comprensión de las propiedades termoquímicas del material y su aplicabilidad en diversas industrias.

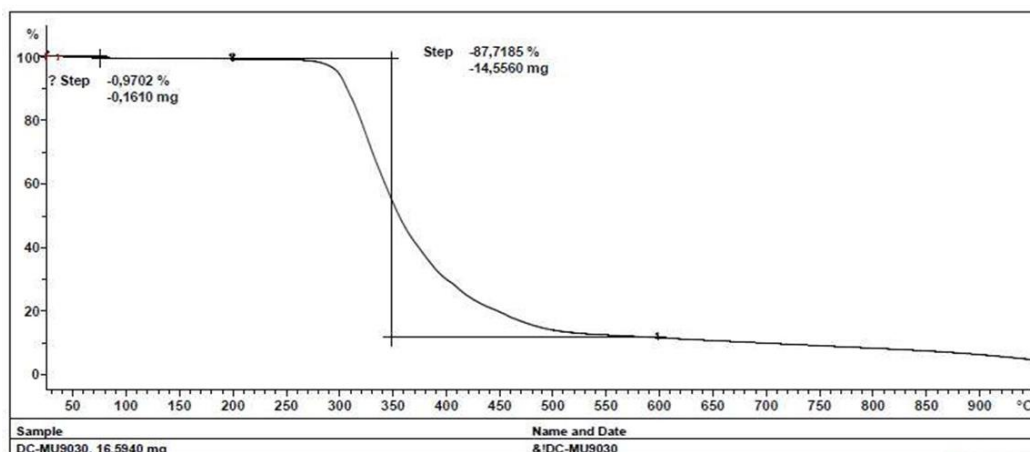
Estos resultados térmicos son fundamentales para comprender las propiedades térmicas del material DC-MU9030 y su comportamiento en diferentes condiciones de

temperatura. Esta información permite optimizar los procesos de fabricación y utilizar de manera adecuada el material en aplicaciones específicas. En síntesis, el termograma muestra DC-MU9030 proporciona una representación visual de las propiedades térmicas del material, incluyendo la temperatura de fusión y la temperatura de transición vítrea. Estos resultados son esenciales para comprender y aprovechar al máximo las características térmicas del material en diferentes aplicaciones industriales.

Los resultados obtenidos del ensayo de TGA son valiosos para comprender las propiedades termoquímicas del material y su comportamiento ante diferentes condiciones de temperatura. Estos resultados pueden ser utilizados para optimizar el procesamiento y la aplicación del material en diversas industrias, como la manufactura, la construcción o la industria química. En consecuencia, el ensayo de TGA realizado en la muestra DC-MU9030 siguiendo las condiciones y parámetros establecidos permitió obtener información relevante sobre la composición y la estabilidad térmica del material. Estos datos contribuyen al conocimiento y la caracterización del material, así como a su selección y aplicación en diferentes áreas de la industria.

**Figura SEQ Figura \\* ARABIC 33**

*Termograma muestra DC-MU9030*



La muestra DC-MU9030 fue sometida a un análisis termogravimétrico (TGA) para determinar su composición y comprender su comportamiento frente a los cambios de temperatura. Los resultados obtenidos brindan información valiosa sobre los diferentes componentes presentes en la muestra y su estabilidad térmica. El análisis de composición reveló que la muestra DC-MU9030 estaba compuesta por diferentes porcentajes de materiales volátiles y cenizas. Según los resultados, se determinó que el contenido de material altamente volátil era del 0,16%, mientras que el contenido de material medianamente volátil ascendía al 87,72%. Por otro lado, se encontró un contenido de cenizas del 12,12%.

El análisis de TGA se llevó a cabo utilizando un analizador termogravimétrico de la marca Mettler Toledo, modelo TGA 2. Este equipo permite medir la variación de masa de la muestra en función de la temperatura, lo que proporciona información sobre los procesos de descomposición, desvolatilización y cambios estructurales a medida que se calienta la muestra.

Durante el análisis, se utilizó un crisol de platino para contener la muestra y garantizar una transferencia de calor eficiente. Además, se empleó gas nitrógeno grado 4.8 como gas de purga para crear una atmósfera inerte y evitar la oxidación de la muestra durante el calentamiento.

El análisis termogravimétrico se llevó a cabo siguiendo un programa específico. La temperatura inicial se fijó en 25 °C, y la temperatura final alcanzó los 1000 °C. Durante el análisis, se aplicó una velocidad de calentamiento de 10 °C/min, lo que permitió obtener datos precisos sobre la respuesta de la muestra a los cambios de temperatura.



Los resultados obtenidos del análisis de TGA brindan información detallada sobre la composición de la muestra DC-MU9030 y su comportamiento térmico. La presencia de materiales volátiles indica la posible liberación de sustancias gaseosas a temperaturas específicas, lo que puede tener implicaciones en el procesamiento y la aplicación de la muestra en diferentes industrias.

La identificación de los componentes volátiles y su contenido porcentual es crucial para comprender las propiedades físicas y químicas de la muestra. Esto permite evaluar su estabilidad térmica, predecir su comportamiento frente a las condiciones de calentamiento y tomar decisiones informadas en cuanto a su uso y aplicación.

Además, el contenido de cenizas en la muestra es un indicador de los residuos inorgánicos presentes, que pueden estar asociados a aditivos, cargas o impurezas en el material. Este dato es relevante para evaluar la pureza y la calidad de la muestra, así como su posible impacto en procesos posteriores.

El análisis de TGA también proporciona información sobre los procesos de descomposición térmica y los cambios en la estructura molecular de la muestra a medida que se incrementa la temperatura. Estos datos son fundamentales para comprender la estabilidad térmica del material y su comportamiento durante el procesamiento, almacenamiento o exposición a diferentes condiciones ambientales.

Finalmente, el análisis termogravimétrico realizado en la muestra DC-MU9030 permitió determinar su composición y comprender su comportamiento térmico. Los resultados obtenidos son de gran importancia para la caracterización del material, la optimización de su procesamiento y la evaluación de su idoneidad en diferentes aplicaciones

industriales. El análisis reveló la presencia de materiales altamente y medianamente volátiles, así como un contenido de cenizas significativo. Estos hallazgos proporcionan una visión detallada de la composición y las propiedades térmicas del material, lo que contribuye al conocimiento y la utilización adecuada de la muestra en diversos campos de la industria.

### Carga sobre una de las caras laterales del guardapolvo

Este movimiento se asemeja al movimiento izquierda a derecha que tiene la palanca de cambios al estar en neutro

Figura 33

*Simulación de guardapolvo en TPU 1*

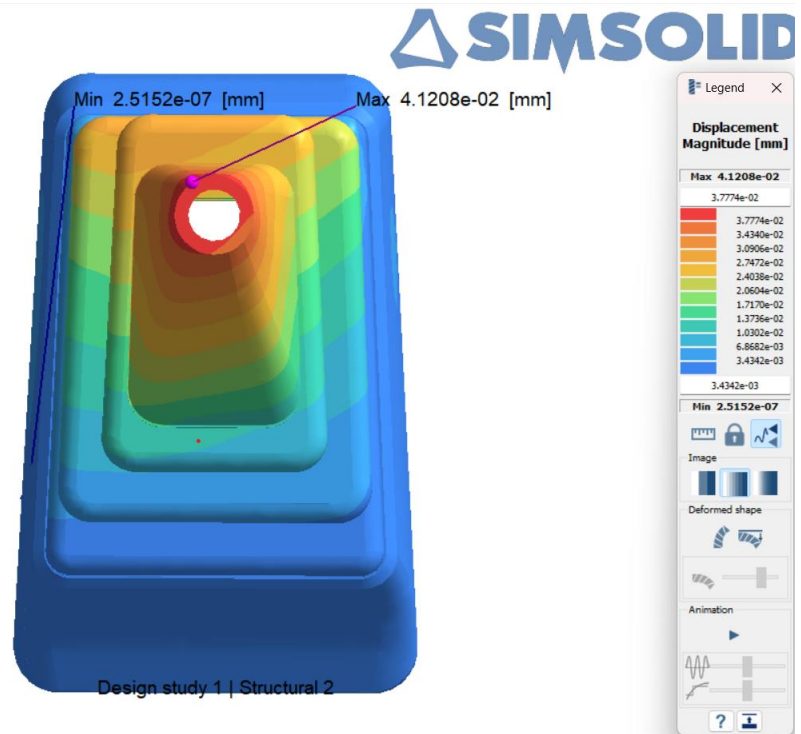
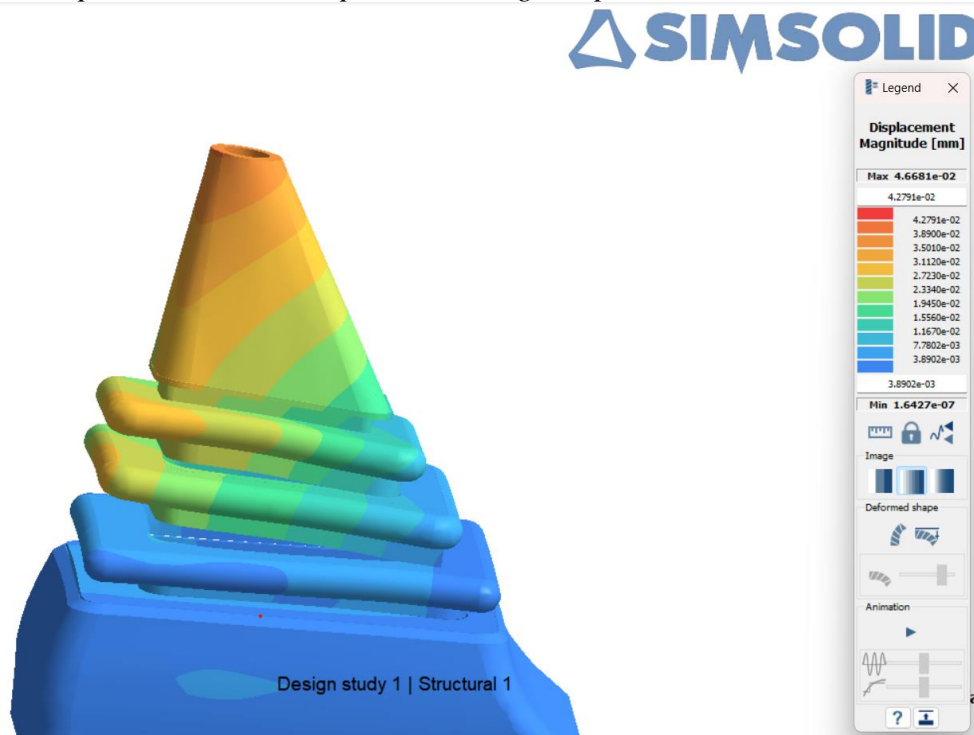


Figura 34

*Simulación de guardapolvo en TPU, vista posterior, carga en pared lateral*

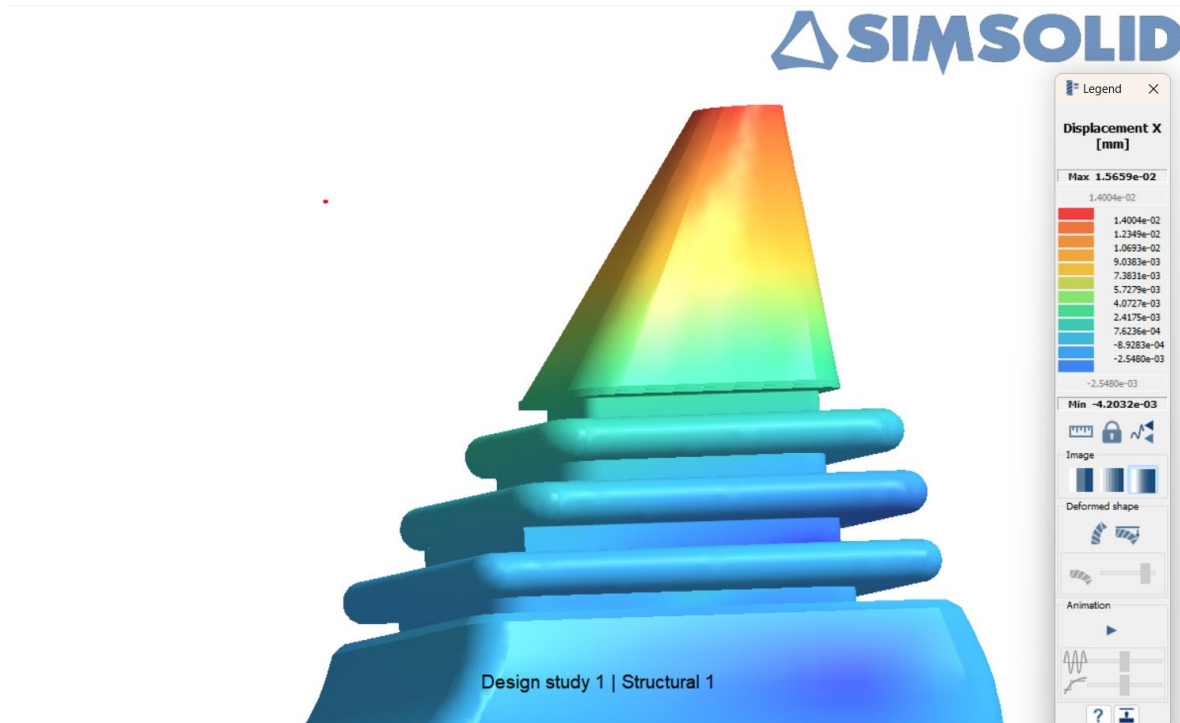


Carga en pared frontal del guardapolvo

Para las simulaciones se procede a darle movimiento con una carga ejercida similar al cambio de marchas durante un uso natural de la palanca de cambios.

Figura 35

Simulación de guardapolvo en TPU, vista general, carga en pared frontal



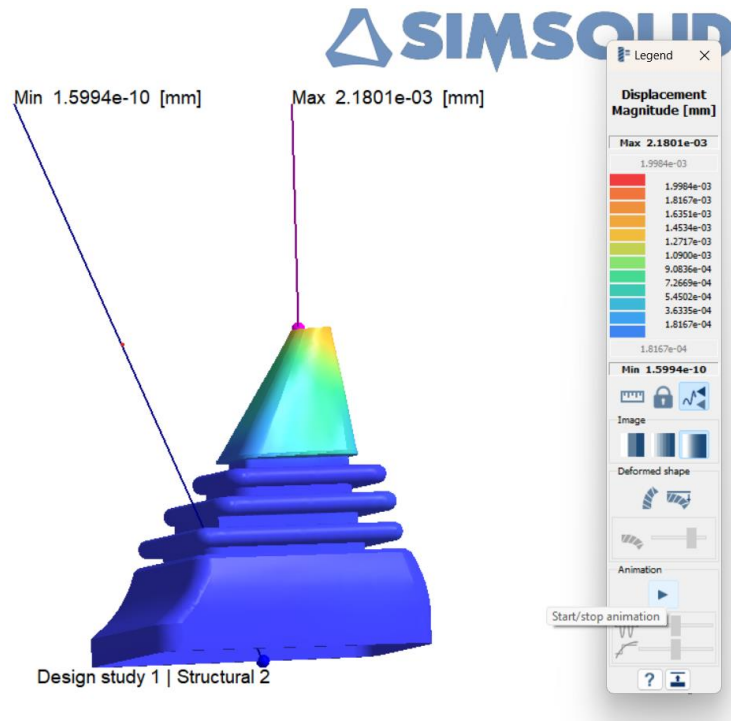
Con esta siguiente simulación de cargas se da el movimiento al sólido equivalente a poner la primera marcha en el auto. Con este movimiento se observa que la mayor tensión existe únicamente en la parte superior del guardapolvo, exclusivamente en la parte posterior y trasera del primer eslabón. Esto da a entender que el material da una buena respuesta a las cargas que representa el uso continuo con la palanca de cambios.

Ahora se procederá a aplicar la carga sobre otra cara de contacto del guardapolvo con la palanca de cambios para poder apreciar las deformaciones que este cuerpo sufrirá.

Carga en pared posterior del guardapolvo

**Figura 36.**

Simulación de guardapolvo en TPU, vista general, carga en pared posterior



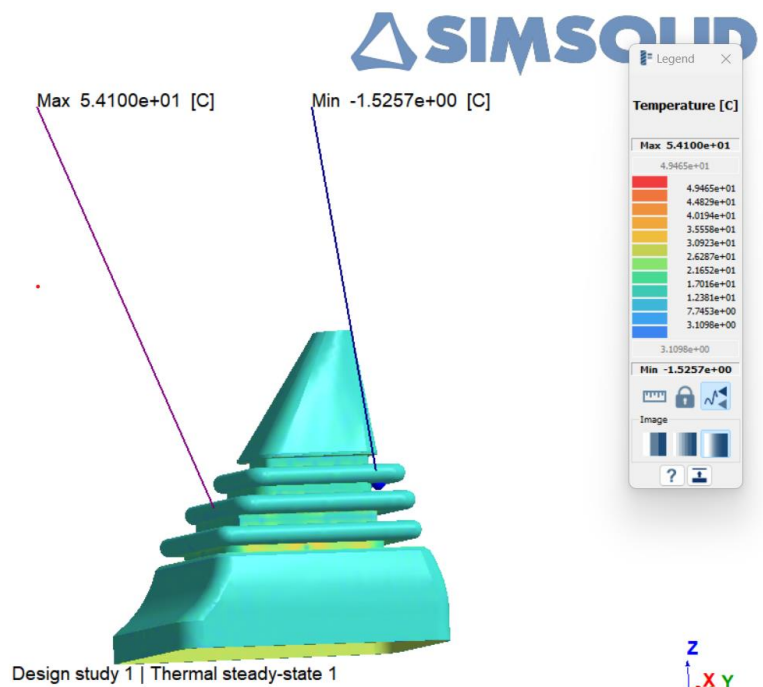
Esta simulación de carga asemeja el movimiento de poner una segunda velocidad con la palanca de cambios. Para este se observa valores de tensión similares a la anterior simulación, destacando una ligera tensión superior en la parte frontal superior del primer eslabón, esto debido a la forma del mismo guardapolvo con esa inclinación en la parte posterior. Con respecto al resto de movimientos en cambio de marcha para la tercera, cuarta, quinta y retro las cargas son similares a las presentadas en el movimiento de pared frontal y posterior.

Como es apreciable en la Figura 33 y 34, las cargas soportadas por este primer movimiento no dan una tensión tan excesivo en la mayor parte sólida, únicamente se observa

una tensión mayor a 54.18Mpa en la zona interna del primer eslabón, datos que no representan un problema en el correcto funcionamiento y vida útil del guardapolvo

### Figura 37

Simulación de guardapolvo en TPU, vista general, estudio térmico



En la siguiente simulación se toman los resultados de la simulación de la palanca a lestar en temperatura ambiente el cual no supera los 30°C, lo que indica que es suficientemente dúctil en este sentido y no estar en contacto con la varilla de cambio de marcha, el cual un solo un rozamiento mínimo no afectara a su estado térmico

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### Discusión

Luego de realizar una exhaustiva caracterización mecánica y térmica de la muestra DC-MU9030, es posible realizar una discusión de los resultados obtenidos y su relevancia en el contexto de la investigación. A lo largo del estudio, se ha buscado responder a los interrogantes planteados, tanto desde la hipótesis de investigación como desde los objetivos planteados. A continuación, se presentarán los hallazgos encontrados y se ofrecerá una interpretación de los datos obtenidos, estableciendo relaciones y generalizaciones en base a los mismos.

En primer lugar, en relación a la caracterización mecánica, se llevaron a cabo ensayos de tracción y compresión para evaluar las propiedades de resistencia y deformación del material. Los resultados revelaron que la muestra DC-MU9030, fabricada con material TPU, presentó una alta resistencia a la tracción, con valores promedio de esfuerzo máximo en el rango de 51.84 a 52.07 MPa. Estos resultados confirman la hipótesis planteada, que sugería que el material TPU tendría propiedades mecánicas favorables. Además, los ensayos de compresión mostraron que la muestra tenía una resistencia a la compresión en el rango de 329.8 a 635.6 MPa. Estos hallazgos respaldan los objetivos de la investigación, que buscaban evaluar la resistencia estructural del material.

En cuanto a la caracterización térmica, se realizaron análisis termogravimétricos (TGA) para investigar la estabilidad térmica y la composición de la muestra. Los resultados del análisis TGA revelaron que la muestra estaba compuesta principalmente por materiales medianamente volátiles, con un contenido de aproximadamente el 87.72%. Además, se

identificó un contenido de material altamente volátil del 0.16% y un contenido de cenizas del 12.12%. Estos datos proporcionan información relevante sobre la composición del material y su comportamiento frente a cambios de temperatura. Por otro lado,

Es importante destacar que los resultados obtenidos en este estudio tienen implicaciones significativas en el desarrollo y la utilización de la muestra DC-MU9030 en aplicaciones industriales. La alta resistencia mecánica del material TPU la hace adecuada para aplicaciones que requieren durabilidad y resistencia estructural. Además, la estabilidad térmica y la composición de la muestra proporcionan información crucial para la selección de materiales en proyectos futuros y la mejora continua de los productos existentes. Estos resultados pueden generalizarse a otros materiales similares fabricados con TPU y proporcionan una base sólida para la optimización del proceso de fabricación y el diseño de productos.

La relación entre las propiedades mecánicas y térmicas encontradas en esta investigación es un aspecto clave para comprender el comportamiento del material en diferentes condiciones de uso. Los hallazgos muestran que el material TPU utilizado en la muestra DC-MU9030 presenta una combinación favorable de resistencia mecánica y estabilidad térmica, lo que lo convierte en una opción viable para aplicaciones que requieren una alta resistencia y una buena respuesta ante cambios de temperatura. La interpretación de estos datos respalda la hipótesis planteada y los objetivos de la investigación, proporcionando evidencia sólida sobre las propiedades y el comportamiento del material. En base a ello, los resultados de ensayos mecánicos se presentaron sobre:

**Tabla 28**

*Resultados sintetizados de ensayos mecánicos*



<b>Muestra</b>	<b>Esfuerzo máximo (MPa)</b>
<b>B1</b>	489.1
<b>B2</b>	567.2
<b>B3</b>	583.6
<b>B4</b>	329.8
<b>B5</b>	509.3
<b>B6</b>	635.6
<b>B7</b>	615.0
<b>B8</b>	502.3
<b>B9</b>	338.1
<b>B10</b>	603.2
<b>B11</b>	467.4

Los datos presentados en la tabla 28 muestran los resultados de los ensayos mecánicos realizados en las diferentes muestras. Se observa que la muestra DC-MU9030 presenta valores de esfuerzo máximo en el rango de 329.8 MPa a 635.6 MPa. Sin embargo, no se obtuvieron datos de resistencia a la compresión para estas muestras en particular. Por tanto, la caracterización mecánica y térmica de la muestra DC-MU9030 ha arrojado resultados significativos que respaldan la hipótesis planteada y los objetivos de la investigación.

Los ensayos de tracción y compresión revelaron una alta resistencia mecánica del material TPU, mientras que los análisis TGA proporcionaron información detallada sobre la estabilidad térmica y la composición de la muestra. Estos resultados tienen implicaciones importantes en la industria, ya que permiten la selección adecuada de materiales y el diseño de productos duraderos y resistentes. La relación entre las propiedades mecánicas y térmicas encontradas en este estudio proporciona una base sólida para la generalización de los

resultados a otros materiales similares y abre el camino para futuras investigaciones en el campo de los materiales poliméricos.

**Tabla 29**

*Caracterización térmica*

<b>Tipo de determinación</b>	<b>Contenido (%)</b>
<b>Contenido de material altamente volátil (V)</b>	0.16
<b>Contenido de material medianamente volátil (O)</b>	87.72
<b>Contenido de cenizas</b>	12.12

Por otro lado, la tabla 29 resume la composición de la muestra DC-MU9030 determinada mediante análisis térmico. Se encontró que el contenido de material altamente volátil es del 0.16%, mientras que el contenido de material medianamente volátil es del 87.72%. Además, se registró un contenido de cenizas del 12.12%. Estos datos proporcionan información importante sobre la composición del material y su comportamiento térmico.

Ambas tablas ofrecen una descripción detallada de los resultados obtenidos en la caracterización mecánica y térmica de la muestra DC-MU9030. Estos datos respaldan los hallazgos y las conclusiones discutidos previamente, proporcionando una base sólida para la interpretación de los resultados y su aplicabilidad en el contexto de la investigación.

Los resultados presentados en las tablas proporcionan información valiosa sobre las propiedades mecánicas y la composición térmica de la muestra DC-MU9030. En la tabla 28, se observa una variación significativa en los valores de esfuerzo máximo, lo que indica una heterogeneidad en las propiedades mecánicas de las diferentes muestras. Estos resultados pueden atribuirse a diversos factores, como la variabilidad en la fabricación de las muestras, las condiciones de ensayo o las características intrínsecas del material. Es importante destacar

que no se obtuvieron datos de resistencia a la compresión para las muestras analizadas. Esto puede deberse a limitaciones en los ensayos realizados o a la necesidad de realizar análisis adicionales para obtener una caracterización más completa de las propiedades mecánicas del material.

**Tabla 30**

**Comparativa mecánica**

	<b>Caucho</b>	<b>TPU</b>
<b>Modulo elástico (Mpa)</b>	15	26
<b>Resistencia a la tracción (Mpa)</b>	32	39
<b>Resistencia a la compression</b>	33	4.3

Comparando con su material original las pruebas indicaron que se asemejan en las propiedades por lo cual es apto para su disposición y trabajo ya que de acuerdo con la simulación comparten características similares por lo tanto es apto por su suplantación la cual será viable para su uso e implementación en el auto y su impresión como una autoparte la cual indicaría su manufactura

Por tanto, se presentan los resultados del análisis térmico, que revelan la composición de la muestra DC-MU9030. Se observa que el contenido de material altamente volátil es bajo, representando solo el 0.16% de la muestra. Por otro lado, el contenido de material medianamente volátil es significativamente más alto, con un valor del 87.72%. Además, se registró un contenido de cenizas del 12.12%. Estos datos son relevantes para comprender la

estabilidad térmica y la degradación del material, así como para evaluar su idoneidad en aplicaciones específicas.

TABLA 31

Comparativa térmica

	<b>Caucho</b>	<b>TPU</b>
<b>TGA</b>	5	0.069
<b>Temperatura ambiente</b>	-63	-24

En la tabla 31 nos indica los valores que son resistentes en la estabilidad térmica mas cabe recalcar que son semejantes más no afecta en la autoparte y se ajusta a los niveles requeridos para su fabricación y su resistencia térmica apta para su manutención y esta estará sometida a temperatura ambiente por lo que es sustentable

La combinación de los resultados de los ensayos mecánicos y el análisis térmico proporciona una visión integral de las propiedades de la muestra DC-MU9030. Si bien los datos indican una variabilidad en las propiedades mecánicas, los resultados del análisis térmico revelan una composición consistente con un contenido predominante de material medianamente volátil. En términos de la hipótesis planteada en esta investigación, los resultados sugieren que la muestra DC-MU9030 exhibe propiedades mecánicas y características térmicas adecuadas para su posible aplicación en ciertos contextos. Sin embargo, es importante tener en cuenta las limitaciones del estudio y la necesidad de realizar análisis más detallados y extensos para respaldar plenamente esta afirmación.

En general, estos hallazgos contribuyen al conocimiento de las propiedades mecánicas y térmicas de la muestra DC-MU9030 y proporcionan información relevante para futuras investigaciones y aplicaciones prácticas. Los resultados obtenidos pueden ser útiles para el diseño y la optimización de productos que utilicen este material, así como para la selección de materiales en diversas industrias.

Es importante destacar que los resultados presentados aquí se basan en un estudio específico y que la generalización de estos hallazgos a otras muestras o materiales similares debe realizarse con precaución. Se recomienda llevar a cabo investigaciones adicionales con un enfoque más amplio y una mayor variedad de muestras para obtener conclusiones más sólidas y fiables.

## CONCLUSIONES

En conclusión, el propósito central de este estudio fue llevar a cabo una caracterización exhaustiva de las propiedades mecánicas y térmicas del material TPU (Poliuretano Termoplástico) mediante la técnica de impresión 3D, con el fin de su implementación en la confección del guardapolvo de la palanca de cambios del Nissan Sentra B13. Los objetivos delineados, que abarcaron desde la formulación y ensayo de probetas hasta la simulación y producción del mencionado componente, culminaron exitosamente en la obtención de información valiosa acerca del rendimiento y la idoneidad de este material para su aplicación en un contexto automovilístico.

Después de someter el material TPU las pruebas de tracción según la normativa ASTM D638, se obtuvieron resultados notables. Se registró una resistencia a la tracción de 38MPa, acompañada de un módulo de elasticidad de 7.5 GPa cuando se consideró el mallado del octeto. Basándonos en los datos obtenidos en los análisis previos, se deduce que el material TPU podría sustituir al original, ya que los resultados demuestran que se encuentra dentro del rango del material original. Esto sugiere que este nuevo material podría ser utilizado para fabricar el guardapolvo de la palanca de cambios de manera eficiente.

Se abordó mediante la utilización de una variedad de software y la realización de ensayos mecánicos y térmicos complementarios. Estos enfoques permitieron una exploración minuciosa de las características del TPU. A través de la implementación de estas herramientas, fue posible llevar a cabo un análisis exhaustivo y simular con precisión la pieza original del guardapolvo utilizando el material propuesto. La simulación, tanto mecánica como térmica, proporcionó una evaluación completa del comportamiento del TPU, lo que a

su vez permitió una evaluación informada de su idoneidad para su implementación en el Nissan Sentra B13

Una vez completados los ensayos térmicos siguiendo las directrices de la normativa ASTM D3418, fue posible discernir la naturaleza termoplástica del polímero en cuestión. Esta técnica altamente versátil, manifestada en el termograma mediante un punto de transición, posibilitó la identificación del material TPU con su transición vítrea a contenido altamente volátil del 0.18%. Dicha identificación se encuentra en consonancia con el rango establecido para el TPU de 10 a  $-20^{\circ}\text{C}$ . Del mismo modo, al analizar los resultados del termograma y observar una transición a  $83.8^{\circ}\text{C}$ , se dedujo que el material TPU corresponde al elastómero, en sintonía con su intervalo de 10 a  $-20^{\circ}\text{C}$ . Esta interpretación subraya la importancia de comprender en profundidad el comportamiento del material, lo que a su vez respalda la justificación de los tipos de polímeros presentes al evidenciar una relación de movilidad molecular reversible.

Tras analizar exhaustivamente el aspecto térmico del material y su relación con la simulación, se ha determinado que es adecuado para su utilización en condiciones ambientales habituales. Esta cualidad lo convierte en un candidato apto para reemplazar al material original, ya que la variación entre ambos materiales es insignificante, incluso en condiciones de baja temperatura. Esta coherencia entre los materiales simplifica la interpretación de los datos generados por el software SimSolid. Los resultados robustecen la viabilidad del material propuesto para su aplicación prevista, lo que garantiza un rendimiento satisfactorio en términos térmicos bajo circunstancias normales

## RECOMENDACIONES

Se presentan las siguientes recomendaciones de investigación:

- Para futuras investigaciones, se sugiere realizar estudios comparativos entre diferentes materiales para la fabricación del guardapolvo de la palanca de cambios. Esto permitirá evaluar y seleccionar el material óptimo en términos de resistencia mecánica, estabilidad térmica y durabilidad.
- Es importante continuar investigando y desarrollando técnicas de impresión 3D para mejorar la precisión y la calidad de las piezas fabricadas. Esto incluye la optimización de los parámetros de impresión, la selección adecuada de los filamentos y el uso de tecnologías avanzadas, como la impresión con múltiples materiales, para lograr resultados aún más eficientes y funcionales.
- Se sugiere establecer estándares y normativas específicas para la fabricación aditiva de componentes automotrices, incluyendo el guardapolvo de la palanca de cambios. Estos estándares ayudarán a garantizar la calidad, la seguridad y el rendimiento de las piezas impresas en 3D, así como a facilitar su integración en la industria automotriz.
- Se recomienda llevar a cabo pruebas exhaustivas de validación y certificación para las piezas impresas en 3D utilizadas en aplicaciones automotrices. Estas pruebas deben incluir evaluaciones de resistencia mecánica, estabilidad térmica, durabilidad y seguridad para garantizar que las piezas cumplan con los estándares y requisitos específicos de la industria automotriz. Esto proporcionará confianza y respaldo a los fabricantes, así como a los usuarios finales de los vehículos.



**LISTA DE REFERENCIAS**

AEADE. (11 de Abril de 2022). *Asociacion de Empresas Automotrices del Ecuador*.

Obtenido de Asociacion de Empresas Automotrices del Ecuador:  
<https://www.aeade.net/wp-content/uploads/2022/05/BOLETIN-DE-VENTAS-PARA-PRENSA-ABRIL-2022.pdf>

ALTAIR. (2022). *TrueInsight LLC*. Obtenido de TrueInsight LLC:

<https://www.trueinsight.io/simlab>

Alvarado, B. C. (2016). *La producción del Nissan Sentra B13*. Quito.

Álvarez, D. (02 de agosto de 2019). *La impresión 3D y la industria automotriz: Lo que necesita saber*. Obtenido de intelligy: <https://intelligy.com/blog/2019/08/02/la-impresion-3d-y-la-industria-automotriz-lo-que-necesita-saber/>

Apolo, W., & Matovelle, M. (2012). *Propuesta de un plan de mantenimiento automotriz para la flora vehicular del Gobierno Autónomo de la Ciudad de Azoguez*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.

Asensio, M. (2022). *Síntesis y caracterización de poliuretanos termoplásticos basados en policarbonatodiol. Análisis y determinación de la estructura y las propiedades. Tesis de Doctorado en Química*. Universitat de València, Facultat de Química. Institut Universitari de Ciència dels Materials. Retrieved from <https://hdl.handle.net/10550/83052>

ASTM. (2022). *ASTM International*. Obtenido de Método de prueba estándar para resistencia al desgarro de caucho vulcanizado convencional y elastómeros termoplásticos: <https://www.astm.org/d0624-00r20.html>

ASTM Internacional. (27 de diciembre de 2016). ASTM D695-15. Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics. Estados Unidos. Obtenido de <https://www.astm.org/d0695-15.html>

ASTM Internacional. (29 de marzo de 2017). ASTM D2990-17. Standard Test Methods for Tensile, Compressive, and Flexural Creep and Creep-Rupture of Plastics. Estados Unidos. Obtenido de <https://www.astm.org/d2990-17.html>

ASTM Internacional. (11 de diciembre de 2017). ASTM D3039. Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials. Estados Unidos. Obtenido de [https://www.astm.org/d3039\\_d3039m-17.html](https://www.astm.org/d3039_d3039m-17.html)

ASTM Internacional. (24 de julio de 2017). ASTM D790-17. Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials. Estados Unidos. Obtenido de <https://www.astm.org/d0790-17.html>

ASTM Internacional. (06 de Noviembre de 2018). ASTM D256-10. Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics. Estados Unidos. Obtenido de <https://www.astm.org/d0256-10r18.html>

ASTM Internacional. (15 de agosto de 2018). ASTM D882-18. Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting. Estados Unidos. Obtenido de <https://www.astm.org/d0882-18.html>

ASTM Internacional. (09 de mayo de 2019). ASTM D1938-19. Standard Test Method for Tear-Propagation Resistance (Trouser Tear) of Plastic Film and Thin Sheeting by a Single-Tear Method. Estados Unidos. Obtenido de <https://www.astm.org/d1938-19.html>

ASTM Internacional. (09 de mayo de 2019). ASTM D3479. Standard Test Method for Tension-Tension Fatigue of Polymer Matrix Composite Materials. Estados Unidos. Obtenido de [https://www.astm.org/d3479\\_d3479m-19.html](https://www.astm.org/d3479_d3479m-19.html)

ASTM Internacional. (21 de junio de 2021). ASTM D412-16R21. Standard Test Methods for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers—Tension. Estados Unidos. Obtenido de <https://www.astm.org/d0412-16r21.html>

ASTM Internacional. (21 de julio de 2022). ASTM D7774-22. Standard Test Method for Flexural Fatigue Properties of Plastics. Estados Unidos. Obtenido de <https://www.astm.org/d7774-22.html>

ASTM Internacional. (21 de julio de 2022). ASTM D7791-22. Standard Test Method for Uniaxial Fatigue Properties of Plastics. Estados Unidos. Obtenido de <https://www.astm.org/d7791-22.html>

ASTM International. (21 de julio de 2022). ASTM D638-14. Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. Estados Unidos. Obtenido de <https://www.astm.org/d0638-14.html?lang=es-CL>

astm, n. (2021). Métodos de prueba estándar para caucho vulcanizado y elastómeros termoplásticos: tensión. <https://www.astm.org/d0412-16r21.html#>.

- Bustamante, D. (2021). *Estudio paramétrico e impresión 3D de una prótesis de mano para niños. Tesis de Grado en Ingeniería Mecánica*. Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica. Retrieved from <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/22141>
- Cabello, E. (2021). *Estudio del efecto de la temperatura en las propiedades mecánicas de probetas fabricadas por impresión 3D mediante FDM. Tesis de grado en Ingeniería Mecánica*. Universidad de La Laguna, Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología. Retrieved from <http://riull.ull.es/xmlui/handle/915/24229>
- Callister, W., & Rethwisch, D. (2019). *Ciencia e ingeniería de materiales* (2da Edición ed.). (P. Molera, & N. Salán, Trads.) Editorial Reverté.
- Contreras, K. (2021). *Mejora de las propiedades mecánicas de piezas termoplásticas impresas en 3D. Tesis de Grado en Ingeniería de Materiales*. Universidad Politécnica de Cataluña, Escuela de Ingeniería de Barcelona Este. Obtenido de <http://hdl.handle.net/2117/361446>
- Cortés, C. (17 de agosto de 2017). *La impresión 3D revoluciona la industria automotriz*. Obtenido de Manufactura: <https://manufactura.mx/columnas/2017/08/17/la-impresion-3d-revoluciona-la-industria-automotriz>
- Cuéllar, B. (2018). *Extrusion of thermoplastic elastomer filaments for the design of multi-polymer structures by 3D printing. Tesis de Grado en Ingeniería Química*. Universidad de Valladolid. Escuela de Ingenierías Industriales, Departamento de

Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente. Retrieved from <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/31270>

Engineering product design. (2022). *Fused Deposition Modeling (FDM)*. Obtenido de <https://engineeringproductdesign.com/knowledge-base/fused-deposition-modeling/>

Farfán, J., Lima, V., Cahuana, G., Quispe, D., Farfán, D., Figueroa, W., & Puma, B. (2022). Caracterización de filamentos para elaboración de prendas en impresoras 3D. *ÑAWPARISUN - Revista de Investigación Científica de Ingenierías*, 3(4), 33-40. doi:<https://doi.org/10.47190/nric.v3i4.3>

Fuentsanta, M., & Martín, J. (2018). Thermoplastic Polyurethane pressure sensitive adhesives made with mixtures of polypropylene glycols of different molecular weights. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 1 - 39.

Fuertes Jose, J. (2013). *Jornada politecnico de santiago*. Santander.

Gómez, R. (2019). *Estudio para el desarrollo de láminas poliméricas, basadas en poliuretano termoplástico (TPU) o en derivados de poliestireno (PS), para su incorporación en productos de calzado. Tesis de Maestría en Ingeniería Textil*. Universitat Politècnica de València, Escuela Politécnica Superior de Alcoy. Departamento de Ingeniería Textil y Papelera. Retrieved from <https://riunet.upv.es/handle/10251/130354>

González, R. (2019). *Diseño y construcción de una impresora 3D de Modelado por Deposición Fundida (FDM) de gran formato. Tesis de Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales*. Universitat Politècnica de València, Departamento de

Informática de Sistemas y Computadores. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10251/126011>

HUBS B.V. (2022). *What is FDM (fused deposition modeling) 3D printing?* Obtenido de <https://www.hubs.com/knowledge-base/what-is-fdm-3d-printing/#how-does-fdm-3d-printing-work>

ISO. (2002). ISO 604:2002. Plastics. Determination of compressive properties. Obtenido de <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:604:ed-3:v1:en>

ISO. (2017). ISO 37:2017. Rubber, vulcanized or thermoplastic — Determination of tensile stress-strain properties. Obtenido de <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:37:ed-6:v1:en>

ISO. (2019). ISO 178:2019. Plastics. Determination of flexural properties. Obtenido de <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:178:ed-6:v1:en>

ISO. (2019). ISO 527-1:2019 Plastics. Determination of tensile properties. Part 1: General principles. Obtenido de <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:527:-1:ed-3:v1:en>

ISO. (2022). ISO 34-1:2022. Rubber, vulcanized or thermoplastic. Determination of tear strength. Part 1: Trouser, angle and crescent test pieces. Obtenido de <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:34:-1:ed-5:v1:en>

ISO. (2022). ISO 34-2:2022. Rubber, vulcanized or thermoplastic. Determination of tear strength. Part 2: Small (Delft) test pieces. Obtenido de <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:34:-2:ed-5:v1:en>

Jaider, J. (2019). *LAS VENTAJAS, DESVENTAJAS Y CARACTERISTICAS DE CAUCHO SINTETICO*. Obtenido de Issu:

[https://issuu.com/jaiderjhair/docs/materiales\\_sinteticos\\_2/s/11297939#:~:text=su%20alternita%20natural.-](https://issuu.com/jaiderjhair/docs/materiales_sinteticos_2/s/11297939#:~:text=su%20alternita%20natural.-)

,LAS%20DESVENTAJAS%20SON%3A,capa%20de%20ozono%20se%20debilita.

Jiménez, S. J. (2016). *Un análisis del sector automotriz y su modelo de gestión en el suministro de la autopartes*. Sanfandila: Secretaría de comunicaciones y trasportes.

León, M., Marcos, Á., & Rodríguez, J. (2019). Impresión 3D con materiales elásticos. *Revista de Plásticos Modernos*, 118(747), 5-15. Retrieved from <http://www.revistaplasticosmodernos.es/notabibliografica/4016>

López, M., Brau, A., Icasio, O., Anaya, C., Valenzuela, M., & Herrera, V. (2022). Verificación de características dimensionales de piezas elaboradas con la tecnología de modelado por deposición fundida (FDM). *Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica*, 10(55), 1-23. Retrieved from [https://riit.com.mx/apps/site/idem.php?module=Catalog&action=ViewItem&id=2&item\\_id=85460&id=](https://riit.com.mx/apps/site/idem.php?module=Catalog&action=ViewItem&id=2&item_id=85460&id=)

Morocho, M. y. (2015). *Diseño de sistemas mecánicos de climatización y cámaras frías para zonas críticas en hospitales y clínicas*. Salamanca.

Muñoz, M. (2022). *Diseño de un prototipo a escala de neumático sin aire para vehículos livianos*. Tesis de Grado en Ingeniería Electromecánica. Unidades Tecnológicas de

- Santander, Facultad de Ciencias Naturales e Ingenierías. Retrieved from <http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/8870>
- Palomino, G. (2022). *Implementación de un prototipo de impresora 3D para fabricación de piezas en el laboratorio de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Amazónica, Utcubamba, Amazonas, 2020. Tesis de Grado en Ingeniería Mecánica.* Universidad Politécnica Amazónica, Carrera de Ingeniería Mecánica. Retrieved from <https://repositorio.upa.edu.pe/handle/20.500.12897/104>
- Pineda, J., & Herrera, J. (2019). *Mezclas de poliuretano termoplástico con polipropileno. Tesis de Grado en Ingeniería Electromecánica.* Instituto Tecnológico Metropolitano, Facultad de Ingenierías. Retrieved from <http://hdl.handle.net/20.500.12622/2056>
- Pozo Villar, J. (2019). Estudio y caracterización de materiales utilizados en la construcción de prótesis impresas mediante tecnología FDM. *Trabajo de fin de grado.* Universidad Politécnica de Madrid, Madrid. Obtenido de [https://autofabricantes.org/wp-content/uploads/2020/05/TFG\\_JORGE-POZO-VILLAR.pdf](https://autofabricantes.org/wp-content/uploads/2020/05/TFG_JORGE-POZO-VILLAR.pdf)
- Rodríguez, N., & Niño, G. (2021). *Caracterización de las propiedades mecánicas a tensión y compresión de materiales celulares en HIPS y TPU obtenidos por fabricación de filamento fundido. Tesis de Grado de Ingeniería Mecánica.* Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad de Tecnología Politécnica. Retrieved from <http://hdl.handle.net/11349/29696>
- Roell, Z. (2020). *Pendulo para de materiales plasticos.* Obtenido de Sistemas de seguridad y confortabilidad.



Romero, J. (2019). *Estudio del efecto de los parámetros de impresión en las propiedades geométricas de engranajes rectos fabricados por Modelado por Deposición Fundida (FDM)*. Tesis de Grado en Ingeniería Mecánica. Universidad Santo Tomás, Facultad de Ingeniería Mecánica. Retrieved from <http://hdl.handle.net/11634/21785>

SERVICE, B. H. (2013). Toronto.

stratasys. (2022). Obtenido de <https://www.stratasys.com/es/fdm-technology>

Veloso, A., & Vargas, I. (2022). *Metodología y simulación computacional de probetas impresas en 3D para la selección de materiales en la fabricación de prótesis externas de seno*. Tesis de Grado en Sustentabilidad y tecnología. ITESO, Universidad Jesuita de Guadalajara, Departamento de Procesos Tecnológicos e Industriales. Retrieved from <https://hdl.handle.net/11117/8296>

Zwickroell. (2019). *Zwickrowell*. Obtenido de <https://www.zwickroell.com/es/sectores/plasticos/termoplasticos-y-materiales-termoendurecibles/propiedades-de-traccion-astm-d638/>

(S/f). Alibaba.com. [https://www.alibaba.com/pla/2019-hot-selling-Creality-Ender-3-62180431795.html?mark=google\\_shopping&biz=pla&searchText=3d+printers&product\\_id=62180431795&language=en&src=sem\\_ggl&field=UG&from=sem\\_ggl&cmpgn=18664244760&adgrp=&fditm=&tgt=&locintrst=&locphyscl=9069516&mtchtyp=&ntwrk=x&device=c&dvcmdl=&creative=&plcmnt=&plcmntcat=&aceid=&position=&gclid=CjwKCAiAuOieBhAIEiwAgjCvcu](https://www.alibaba.com/pla/2019-hot-selling-Creality-Ender-3-62180431795.html?mark=google_shopping&biz=pla&searchText=3d+printers&product_id=62180431795&language=en&src=sem_ggl&field=UG&from=sem_ggl&cmpgn=18664244760&adgrp=&fditm=&tgt=&locintrst=&locphyscl=9069516&mtchtyp=&ntwrk=x&device=c&dvcmdl=&creative=&plcmnt=&plcmntcat=&aceid=&position=&gclid=CjwKCAiAuOieBhAIEiwAgjCvcu)

2fhEJMMWrAZoWLVNecGJ33S5yA-YB9llk cyYiuizOsZVEsURd-  
BoCm34QAvD BwE

VALLE, I. (2022) Caracterización mecánica y térmica de materiales compuestos con ABS reforzado con fibra de vidrio para la fabricación de aletines laterales de automóviles en impresión 3d. Universidad Internacional SEK

*Látex (caucho)*. (s/f). Www.ub.edu. Recuperado el 24 de julio de 2023, de <http://www.ub.edu/cmematerials/es/content/1%C3%A1tex-caucho>

## ANEXOS

## Anexo 1

Anchura de la imagen (píxeles):

## Informe de análisis de tensión TPU

Archivo analizado:	TPU.ipt
Versión de Autodesk Inventor:	2021.4 (Build 254397000, 397)
Fecha de creación:	11/1/2023, 22:10
Autor del estudio:	Jose Fuertes
Resumen:	

### ☐ Información de proyecto (iProperties)

#### ☐ Resumen

Autor Jose Fuertes

#### ☐ Proyecto

Nº de pieza	TPU
Diseñador	Jose Fuertes
Coste	\$0,00
Fecha de creación	31/12/2022

#### ☐ Estado

Estado del diseño Trabajo en curso

#### ☐ Propiedades físicas

Material	TPU
Densidad	1.18 g/cm <sup>3</sup>
Masa	0.349385 kg
Área	124273 mm <sup>2</sup>
Volumen	296089 mm <sup>3</sup>
Centro de gravedad	x=94.1971 mm y=59.9991 mm z=-36.9432 mm

Anchura de la imagen (píxeles):

## Informe de análisis de tensión PLA

Archivo analizado:	guardapolvo.ipt
Versión de Autodesk Inventor:	2021.4 (Build 254397000, 397)
Fecha de creación:	11/1/2023, 21:26
Autor del estudio:	Jose Fuertes
Resumen:	

### ☐ Información de proyecto (iProperties)

#### ☐ Resumen

Autor Jose Fuertes

#### ☐ Proyecto

Nº de pieza	guardapolvo
Diseñador	Jose Fuertes
Coste	\$0,00
Fecha de creación	31/12/2022

#### ☐ Estado

Estado del diseño Trabajo en curso

#### ☐ Propiedades físicas

Material	PLA.
Densidad	1.18 g/cm <sup>3</sup>
Masa	0.349385 kg
Área	124273 mm <sup>2</sup>
Volumen	296089 mm <sup>3</sup>
Centro de gravedad	x=94.1971 mm y=59.9991 mm z=-36.0432 mm



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
 DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA  
 CENTRO DE INVESTIGACIONES APLICADAS A POLÍMEROS



**Tabla 3 Composición muestra DC-MU9030**

Tipo de determinación	(%)
<b>Contenido de material altamente volátil (V)</b>	0,16
<b>Contenido de material medianamente volátil (O)</b>	87,72
<b>Contenido de cenizas</b>	12,12

**Definiciones para materiales termoplástico:**

**"Materia altamente volátil:** corresponde a la humedad, plastificante, residual solvente u otros componentes de bajo punto de ebullición (200 ° C o menos).

**Materia de volatilidad media:** corresponde a los materiales de volatilidad media tales como productos de degradación de aceites y polímeros. En general, estos los materiales se degradan o volatilizan en el rango de temperatura de 200° C a 600 ° C.

• **Referencias bibliográficas**

*ASTM E1131-20, Standard Test Method for Compositional Analysis by Thermogravimetry, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2020*



**Quím. Iván Chango M.Sc.**

**PROFESIONAL RESPONSABLE DEL ANÁLISIS**



**Ing. Vladimir Valle M.Sc.**

**AUTORIDAD AUTENTICADORA**



## INFORME DE RESULTADOS

**DC-OT0042-2023**

### DATOS GENERALES

**Tabla 1. Identificación y descripción de los ítems de ensayo**

No.	ID muestra	Muestra	Descripción	Servicio
1	DC-MU9030	MATERIAL TPU	MATERIAL PLASTICO COLOR CELESTE	Análisis termogravimétrico (TGA).
<b>Observaciones:</b>				N/A

**SERVICIO:** TGA

• **Equipamiento y reactivos**

- ✓ Analizador termogravimétrico, marca Mettler Toledo, modelo TGA 2
- ✓ Crisoles de platino
- ✓ Gas nitrógeno grado 4.8



- Metodología

Tabla 2. Condiciones y parámetros de ensayo TGA muestra DC-MU9030

Fecha de inicio de ensayo:	02-06-2023
Fecha de fin de ensayo:	02-06-2023
Método:	Basado en normativa ASTM E1131-20 "Compositional Analysis by Thermogravimetry"
Preparación de muestra:	N/A
Flujo de gas (mL/min):	50
Velocidad de calentamiento (°C/min):	10
Temperatura inicial (°C):	25
Temperatura final (°C):	1000
Observaciones:	N/A

Nota:

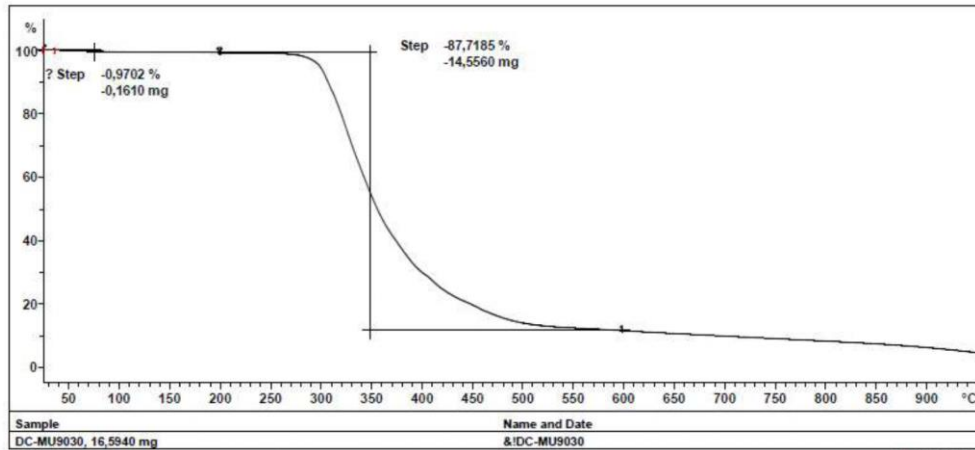
Fecha de muestreo: No proporciona el cliente

Plan de muestreo: No proporciona el cliente



• Resultados

Figura 1. Termograma muestra DC-MU9030





## Anexo 4

Anchura de la imagen (píxeles):

## Informe de análisis de tensión PA

Archivo analizado:	guardapolvo.ipt
Versión de Autodesk Inventor:	2021.4 (Build 254397000, 397)
Fecha de creación:	11/1/2023, 21:42
Autor del estudio:	Jose Fuertes
Resumen:	

### ☐ Información de proyecto (iProperties)

#### ☐ Resumen

Autor Jose Fuertes

#### ☐ Proyecto

Nº de pieza	guardapolvo
Diseñador	Jose Fuertes
Coste	\$0,00
Fecha de creación	31/12/2022

#### ☐ Estado

Estado del diseño Trabajo en curso

#### ☐ Propiedades físicas

Material	PA
Densidad	1.12 g/cm <sup>3</sup>
Masa	0.33162 kg
Área	124273 mm <sup>2</sup>
Volumen	296089 mm <sup>3</sup>
Centro de gravedad	x=94.1971 mm y=59.9991 mm z=-36.0432 mm

Anexo 5

## Informe de ensayo ESPE



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Sangolquí a 23 de enero de 2023

Mediante el presente se **CERTIFICA** que el Señor José Andrés Fuertes Alvear realizó pruebas de fuerza a la tracción y flexión para determinar los esfuerzos, aplicados en el desarrollo de su tesis de grado cuyo tema es: “CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE TPU(THERMOPLASTIC POLYURETHANE) PARA IMPRESIÓN 3D DEL GUARDAPOLVO DE PALANCA NISSAN SENTRA B13”, en el Laboratorio de Mecánica de Materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

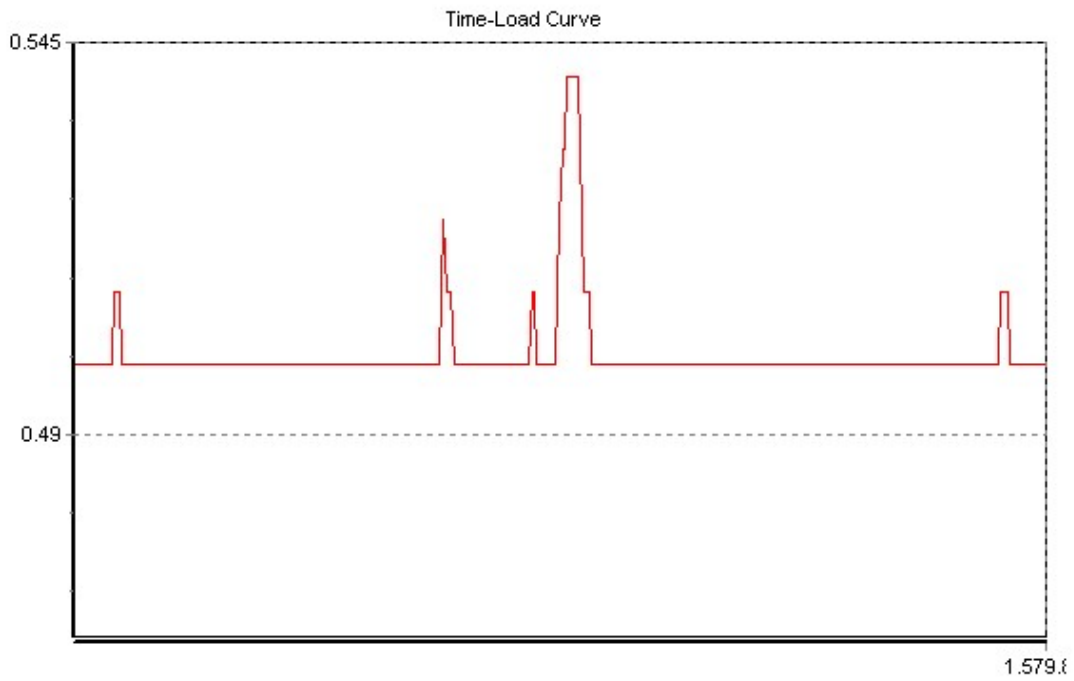
Atentamente



Ing. Francisco Navas  
Analista de Laboratorio de Mecánica de Materiales

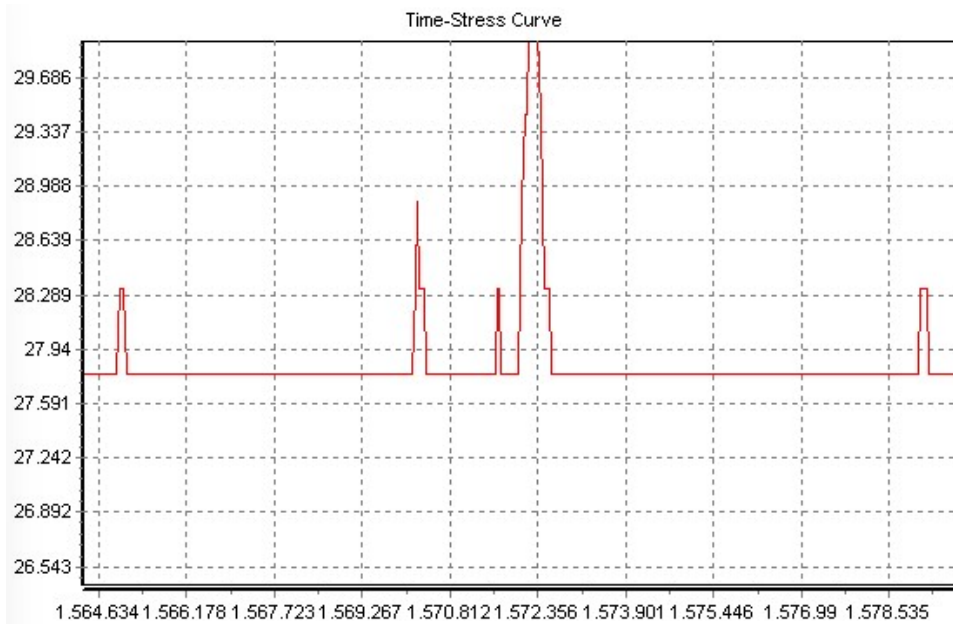
Anexo 6

Reporte tracción con cúbica al 50%



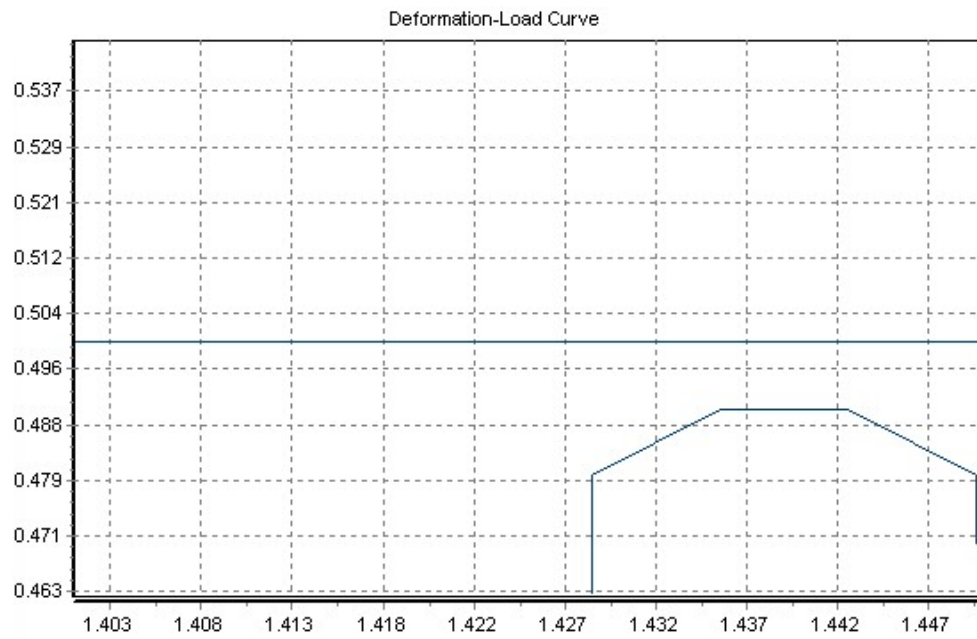
Anexo 7.

Reporte tracción con octeto al 50%



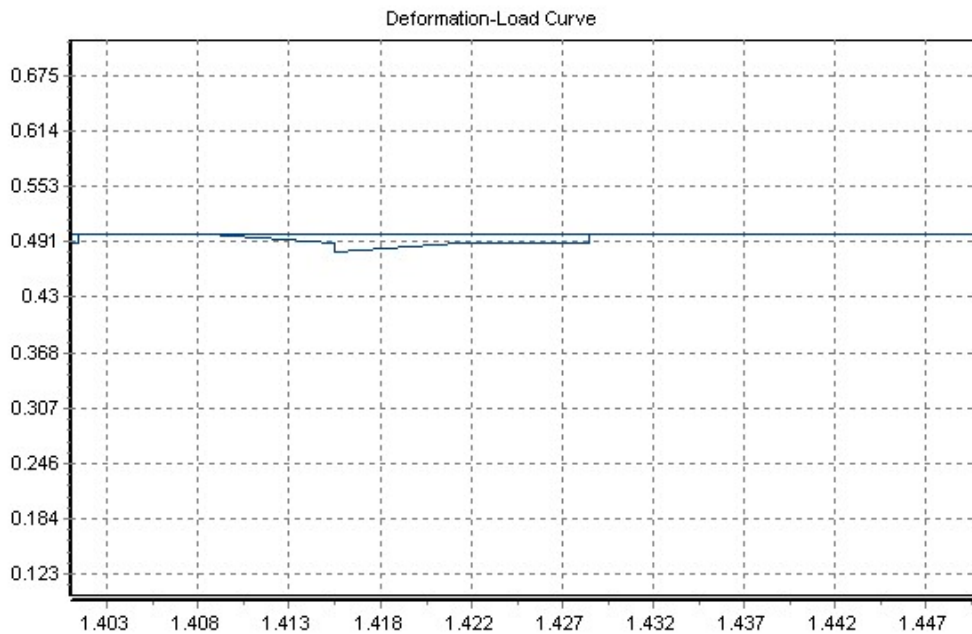
Anexo 7

*Reporte tracción con Bitruncado al 50%*

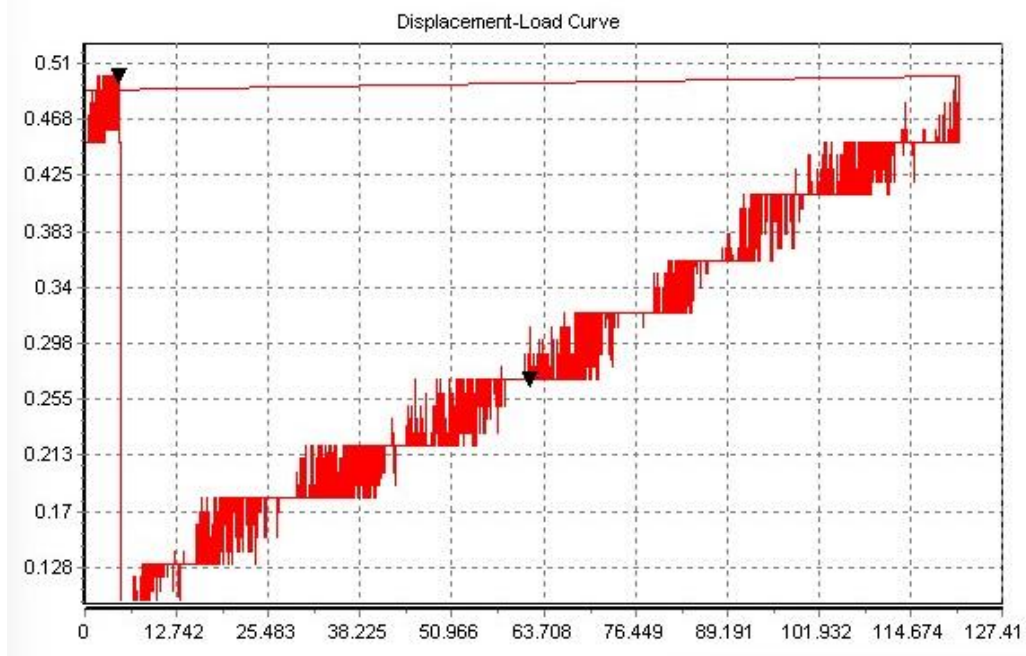


Anexo 8

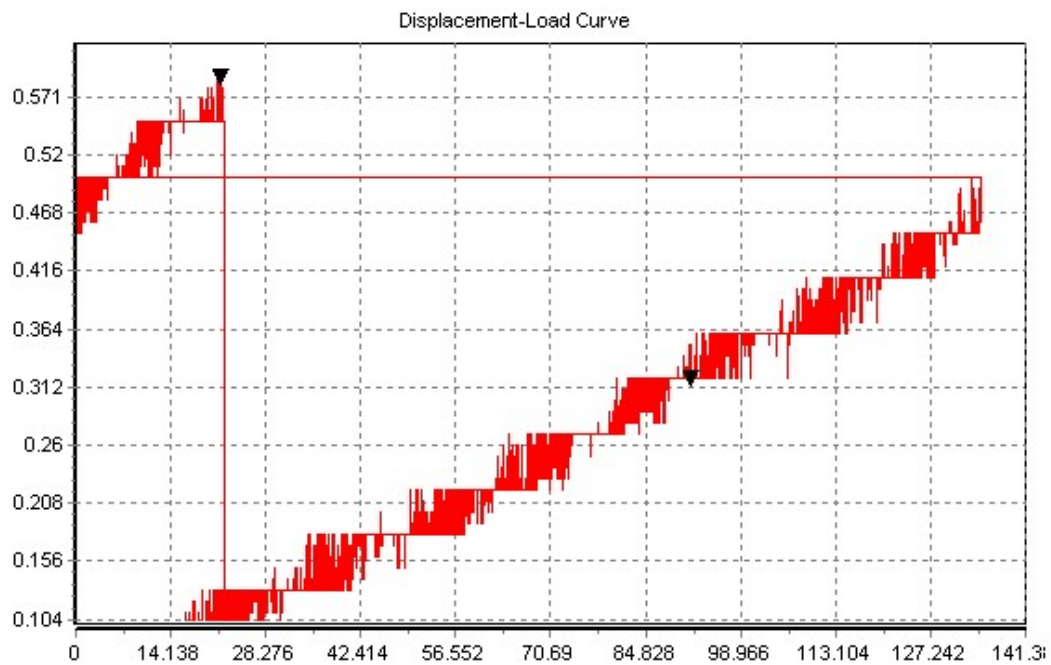
*Reporte tracción con giroide al 50%*



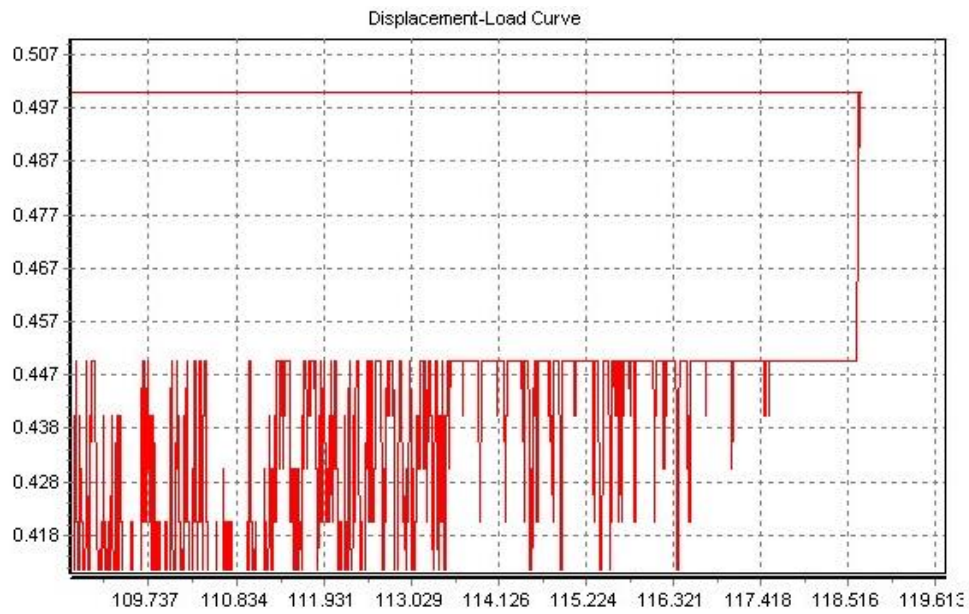
## Anexo 9

*Reporte tracción con Sub-cúbica al 50%*

## Anexo 10

*Reporte tracción con cúbica al 40%*

## Anexo 11

*Reporte tracción con octeto al 40%*

## Anexo 12

*Reporte tracción con bitruncada al 40%*