



DOI: <https://doi.org/10.23857/dc.v9i3.3456>

Ciencias Técnicas y Aplicadas  
Artículo de Investigación

*Análisis de esfuerzos en materiales con fabricación aditiva*

*Stress analysis in materials with additive manufacturing*

*Análise de tensão em materiais com manufatura aditiva*

Guillermo Gorky Reyes Campaña <sup>I</sup>

[gureyesca@uide.edu.ec](mailto:gureyesca@uide.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0002-7133-9509>

Mao Fernando Manosalvas Larrea <sup>II</sup>

[mamosalvasla@uide.edu.ec](mailto:mamosalvasla@uide.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0001-7180-4549>

Luis Homero Ibijés Villacís <sup>III</sup>

[luibujesvi@uide.edu.ec](mailto:luibujesvi@uide.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0002-1262-2013>

Andrés Paúl Salas López <sup>IV</sup>

[ansalaslo@uide.edu.ec](mailto:ansalaslo@uide.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0001-6617-671X>

**Correspondencia:** [gureyesca@uide.edu.ec](mailto:gureyesca@uide.edu.ec)

\***Recibido:** 29 de mayo de 2023 \***Aceptado:** 12 de junio de 2023 \* **Publicado:** 17 de julio de 2023

- I. Ingeniero Mecánico Automotriz, Magíster en Sistemas Automotrices, Doctorado en Educación Superior, Universidad Internacional del Ecuador UIDE; Quito, Ecuador
- II. Estudiante Ingeniería automotriz, Universidad Internacional del Ecuador UIDE; Quito, Ecuador.
- III. Estudiante Ingeniería automotriz, Universidad Internacional del Ecuador UIDE; Quito, Ecuador.
- IV. Estudiante Ingeniería automotriz, Universidad Internacional del Ecuador UIDE. Quito, Ecuador.

## Resumen

Actualmente los plásticos constituyen una parte esencial del vehículo. Sin embargo, existen repuestos que no se consiguen con facilidad en el Ecuador, por lo que la manufactura aditiva es la mejor opción. Existen distintos materiales, por lo que se analizó la resistencia de filamento y resina mediante una prueba tracción, la presente investigación se realizó mediante un método deductivo partiendo de lo general referente a los materiales y el tipo de manufactura, para llegar a lo específico como las características de los materiales a través de una prueba de tracción bajo normativa ASTM D1708-18, además de la utilización de una máquina universal de ensayos para analizar las probetas de filamento y resina, fabricadas bajo la tecnología de modelado por deposición fundida (FDM) y procesamiento digital de luz (DLP) respectivamente. Se estableció las características de impresión en los materiales a una velocidad de 5 mm/min a temperatura ambiente, para determinar el límite a la tracción del filamento (PLA) que fue de 47,65 MPa y 24,29 MPa de la resina. Posteriormente se compararon diferentes materiales utilizados en el campo automotriz. El PLA fue el material con mayor semejanza ya que su punto máximo de tensión es 32,29% mayor al polipropileno y 10,42% superior al ABS, mientras el límite de tracción de la resina es menor en un 25,26% 77,03% al polipropileno y ABS respectivamente.

**Palabras Claves:** manufactura aditiva; resina; plásticos; filamento (PLA); máxima tensión.

## Abstract

Today plastics are an essential part of the vehicle. However, there are spare parts that are not easily available in Ecuador, so additive manufacturing is the best option. There are different materials, so the resistance of filament and resin was analyzed by means of a tensile test, the present investigation was carried out by means of a deductive method starting from the general regarding the materials and the type of manufacture, to reach the specific as the characteristics of the materials through a tensile test under the ASTM D1708-18 standard, in addition to the use of a universal testing machine to analyze the filament and resin specimens, manufactured under the fused deposition modeling (FDM) technology and digital light processing (DLP) respectively. The printing characteristics of the materials were established at a speed of 5 mm/min at room temperature, to determine the tensile strength of the filament (PLA) which was 47.65 MPa and 24.29 MPa of the resin. Subsequently, different materials used in the automotive field were compared. PLA was the material with the greatest similarity since its maximum stress point is 32.29% higher than polypropylene and 10.42%

## Análisis de esfuerzos en materiales con fabricación aditiva

---

higher than ABS, while the tensile limit of the resin is 25.26% lower 77, 03% to polypropylene and ABS respectively.

**Keywords:** additive manufacturing; resin; plastics; filament (PLA); maximum tension.

### Resumo

Hoje, os plásticos são uma parte essencial do veículo. No entanto, existem peças de reposição que não estão facilmente disponíveis no Equador, então a manufatura aditiva é a melhor opção. Existem diferentes materiais, por isso a resistência do filamento e da resina foi analisada por meio de um teste de tração, a presente investigação foi realizada por meio de um método dedutivo partindo do geral sobre os materiais e o tipo de fabricação, para chegar ao específico como as características dos materiais através de um teste de tração sob a norma ASTM D1708-18, além do uso de uma máquina de teste universal para analisar os corpos de prova de filamentos e resinas, fabricados sob a tecnologia de modelagem por deposição fundida (FDM) e processamento digital de luz (DLP) respectivamente. As características de impressão dos materiais foram estabelecidas a uma velocidade de 5 mm/min em temperatura ambiente, para determinar a resistência à tração do filamento (PLA) que foi de 47,65 MPa e 24,29 MPa da resina. Posteriormente, diferentes materiais utilizados na área automotiva foram comparados. O PLA foi o material com maior similaridade já que seu ponto máximo de tensão é 32,29% maior que o polipropileno e 10,42% maior que o ABS, enquanto o limite de tração da resina é 25,26% menor 77,03% para polipropileno e ABS respectivamente.

**Palavras-chave:** manufatura aditiva; resina; plásticos; filamento (PLA); tensão máxima.

### Introducción

Dentro del vehículo existen una gran cantidad de elementos plásticos. Actualmente los vehículos que se venden alrededor del mundo poseen un 66% de elementos construidos a base de polímeros, los cuales se fabrican con métodos convencionales (Ramos, 2018). Sin embargo, al presentar un deterioro o daños por factores externos, existen problemas referentes a la falta de stock disponible para su reemplazo. Debido a que el ensamblaje de automóviles en Ecuador para septiembre de 2018 apenas fue de un 25% (Comercio, 2018).

Por lo que se opta por la importación, pero tanto el tiempo de llegada al país y la dificultad para encontrar los repuestos de vehículos discontinuados elevan el costo de las autopartes, en cambio, con la impresión 3D el costo se calcula únicamente en base al material y tiempo de fabricación, siendo la

## Análisis de esfuerzos en materiales con fabricación aditiva

---

opción más viable. Por lo tanto, se ha intentado reproducir las piezas mediante la fabricación aditiva, no obstante, la diversidad de materiales con los cuales se elabora una amplia variedad de piezas se presenta como un obstáculo, debido a las características de resistencia de las piezas en función del uso. Existen varios tipos de plásticos como Polietileno Tereftalato (PET) siendo el más utilizado, Polietileno de Alta Densidad “High Density” (HDPTE), Cloruro de Polivinilo (PVC), Polietileno de Baja Densidad “Low Density” (LDPE), Polipropileno (PP), Poliestireno (PS), ABS y otras combinaciones (Vaca & Rojas, 2012). Entonces, la elección del tipo de material es una parte fundamental en la construcción de una autoparte, ya que no solamente brinda un rasgo estético, sino que es parte fundamental de su estructura.

Los automotores de los años 50, 60 y 70 estaban fabricados fundamentalmente con componentes metálicos y tenían solo un 3% de materiales plásticos. El porcentaje de presencia de este material ha crecido hasta superar el 15% en un automóvil convencional (Central Recambio Original, 2019). Las nuevas tendencias de diseño y los despliegues tecnológicos de la investigación empujan a las empresas a desarrollar nuevos modelos y remodelaciones a corto plazo, lo que requiere nuevas herramientas o remodelaciones de herramientas (Leal, 2017). Actualmente, las tecnologías de fabricación aditiva (FA) se utilizan cada vez más en las empresas de fabricación, especialmente ante la necesidad de reducir el tiempo necesario para lanzar un nuevo producto al mercado (Patalas-Maliszewska, Topczak, & Klos, 2020). Consiste en un proceso que las capas de la pieza van construyéndose de manera automática, puesto que la impresora va inyectando el material utilizado, para la obtención de la pieza tridimensional. Entonces, existe la necesidad de producir piezas plásticas en cualquier país del mundo, para brindar una mejor experiencia a los propietarios que necesitan piezas discontinuadas. Por lo cual es necesario un arduo trabajo para renovar la tecnología utilizada en el campo automotriz, de esta manera estar a la vanguardia dentro del desarrollo tecnológico, y considerar la utilización de los nuevos procesos de fabricación para una optimización de tiempo y recursos, para brindar una alternativa al momento de la manufactura de piezas y el tiempo que toma su respectiva elaboración tomando en cuenta que mientras mayor es la velocidad en su fabricación los indicadores de productividad se elevaran.

La impresión 3D es un procedimiento digitalizado que radica en elaborar objetos anteriormente modelados, depositando el material por capas (Rainer Christoph, 2016). Existen diferentes métodos de acuerdo con el material para construir objetos tridimensionales uniendo materiales hasta lograr la forma y el tamaño deseados en base a datos de modelos 3D (Daniel Böckin, 2019). Como parte del

## Análisis de esfuerzos en materiales con fabricación aditiva

---

cosmos de la tecnología de fabricación digital, los sistemas de fabricación aditiva (AM) pueden fabricar componentes y productos tridimensionales directamente a partir de materias primas y datos de diseño 3D (Martin Baumers, 2016). Se realizó un proceso de estandarización y por ende se deja atrás las adaptaciones de autopartes, con la finalidad de tener una pieza con dimensiones estándar y con un mínimo margen de error, mediante la utilización de un programa asistido por computador en donde se replica para su posterior impresión 3D de manera inmediata con el material previamente seleccionado, tomando en cuenta el tipo de tecnología de impresión que se utilizó.

La presente investigación analizó la resistencia de los materiales en resina y filamento, los cuales serán utilizados en el proceso de fabricación aditiva mediante un análisis para determinar la viabilidad de la manufactura.

### **Fundamentación teórica**

#### Antecedentes

En 1862 Alexander Parkes un químico británico inventó la parkesina, su base era la nitrocelulosa suavizada con aceites vegetales y alcanfor. Posteriormente, John W. Hyatt estadounidense de nacimiento, utilizó alcanfor para la plastificación y lo denominó celuloide. En 1910 el químico Hendrik Baekeland originario de Bélgica creó la baquelita un plástico totalmente sintético, en función del fenol y el formaldehído. (Martínez & Turégano, 2010).

Desde sus inicios la industria automotriz utilizaba materiales metálicos y sus aleaciones, como el acero siendo la más utilizada. Sin embargo, el desarrollo de los polímeros permitió su utilización dentro del campo automotriz debido a la disminución del peso, que puede oscilar del 17% al 50%, consiguiendo con ello aumentar las prestaciones finales del vehículo (Ramos Rivero, 2018).

#### Fabricación de Piezas Automotrices

La industria automotriz es parte de la globalización, por lo que demanda de repuestos ha incrementado. Dentro del medio ecuatoriano su fabricación es limitada por lo que conseguir autopartes de poca rotación involucra un costo muy elevado, además de la complicación al momento de conseguir. (Quito, 2016).

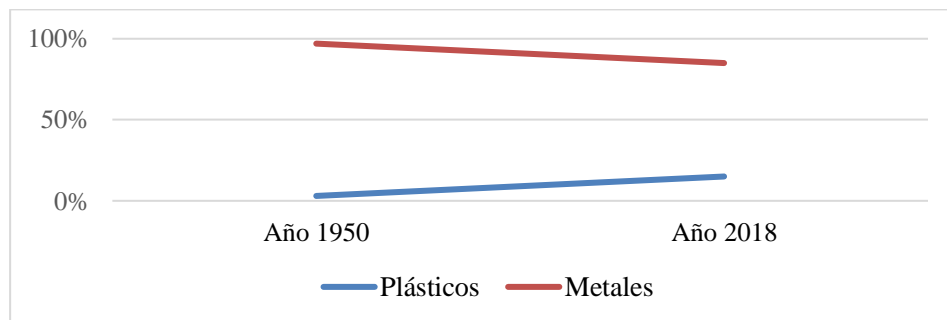
#### Plásticos en el vehículo

Actualmente gran parte de la industria automotriz ha optado por el uso del plástico para la producción de piezas destinadas al motor, cabina y carrocería. Alrededor de 136 kg o el 8% del peso de un

## Análisis de esfuerzos en materiales con fabricación aditiva

automotor está constituido de plásticos, esto según la American Chemistry Council en EUA. (Blancarte, 2012).

Figura 1: *Plásticos y metales en el tiempo*



Fuente: Autores tomado de (Central Recambio Original, 2019)

### Impresión 3D

La fabricación aditiva es la designación a la manufactura de objetos mediante la adición de capas haciendo y abarca todas las tecnologías de impresión. Se comienza desde un modelo 3D digital, que se imprime mediante la sucesión de capas que se van adicionando para la obtención de un objeto físico (Ortega, 2016).

### Materiales para Impresión 3D

Los materiales que se encuentran en el medio son consecuencia de la investigación dentro de las tecnologías de impresión. Existe una gran variedad de ellos en diversos estados como polvo, filamentos, gránulos, resinas, y cada uno para un destino específico (SICNOVA, 2022).

Existen varias tecnologías en la fabricación 3D de piezas automotrices internas por ende existe una clasificación en relación con el material utilizado como especifica la tabla 1.

Tabla 1: Tecnologías de fabricación aditiva

Tipo	Tecnologías	Materiales
Extrusión	Modelado por deposición fundida (FDM)	Termoplásticos (ABS, PLA), aleación de metales, productos comestibles

Análisis de esfuerzos en materiales con fabricación aditiva

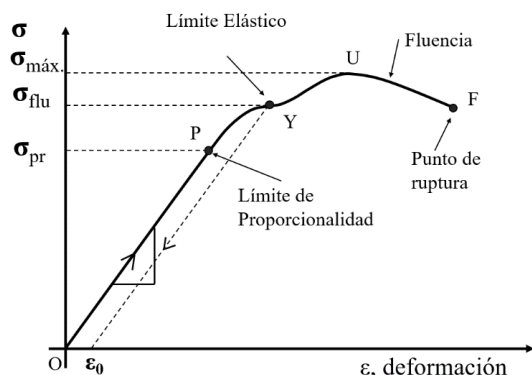
Granulado	Sinterizado láser directo de metal (LMD)	Casi cualquier aleación
	Fusión por haz de electrones (EBM)	Aleaciones de titanio
	Sinterizado selectivo por calor (SHS)	Polvo termoplástico
	Sinterizado selectivo por calor láser (SLS)	Termoplásticos, polvos metálicos, polvos cerámicos
	Proyección aglutinante (DSPC).	Yeso
Laminado	Laminado de capas (LOM)	Papel, hoja metálica, capa de plástico
Foto-Polimerizado	Estereolitografía (SLA)	Fotopolímero
	Procesamiento digital de luz (DLP)	Resina Líquida

Fuente: (Gutiérrez & Vargas, 2017, pág. 6)

Límites elásticos y plásticos

Para determinar las características de un material se parte de un diagrama de esfuerzo y deformación que se muestra en la figura 1. Determinando los límites plásticos y elásticos del material, en donde el esfuerzo es la fuerza que se aplica en un área específica y la deformación se refiere al cambio en cuanto a longitud del material (Daniel Rodriguez, 2018).

Figura 2: Diagrama esfuerzo y deformación ingenieril



Fuente: (Fitzgerald, 1996)

## Análisis de esfuerzos en materiales con fabricación aditiva

---

En el diagrama se observa una pendiente lineal hasta el límite de proporcionalidad produciendo una deformación en el material, sin embargo, puede volver a su forma inicial incluso cuando se encuentra en el límite elástico en donde la pendiente cambia, para dar lugar al endurecimiento por deformación que concluye con la resistencia a la tracción que es el punto máximo de esfuerzo que soporta el material anterior al punto de ruptura.

### Ecuación 1

$$Su = \frac{Tmax}{S_0} [MPa]$$

*Su*: Resistencia a la tracción [MPa]

*Tmáx*: tensión máxima calculada [N]

*S<sub>0</sub>*: Sección Inicial [mm<sup>2</sup>]

## Materiales y métodos

### Método

El método que se utilizó en la investigación fue de tipo deductivo que parte de lo general referente a la identificación de los materiales para la impresión 3D, así como el proceso de manufactura aditiva y el tipo de tecnología utilizado, para llegar a lo específico mediante, un ensayo de tracción bajo normativa ASTM D1708-18 que determinó las propiedades físicas de los materiales y su aplicación en ámbito automotriz. Con la finalidad de obtener una conclusión (Westreiche, 2020).

En primera instancia se implementó el proceso para una prueba de tracción mediante un diagrama de esfuerzo y deformación para determinar el punto elástico y plástico de los materiales que se van a analizar tanto en PLA, resina y el material original de fábrica. Luego, se identificó la calidad del material utilizado, con base en el análisis de resultados obtenidos en la prueba de esfuerzo y deformación. También se identificó el material con las mejores características para la construcción. Para finalizar, se buscará el material adecuado para replicar las distintas piezas automotrices mediante la impresión 3D proporcionando una alternativa de ingeniería.

Se fabricó probetas planas con un espesor de 3 mm debido a la recomendación de la normativa ASTM D1708-18, debido al uso de muestras de micro-tracción (ASTM Internacional, 2019).

A partir del modelado por deposición fundida para el filamento (PLA) y una impresión de procesamiento digital de luz UV para la resina (fotopolímera), fueron necesarias dos impresoras que proporcionaron la tecnología adecuada. Además, se utilizó un software CAD, para el diseño y



## Análisis de esfuerzos en materiales con fabricación aditiva

parametrización de las muestras que fueron sometidas a un proceso de deformación con la ayuda de una maquina universal de ensayos calibrada la probeta utilizada.

### Materiales

#### Filamento (PLA)

También llamado ácido poliláctico es un tipo de termoplástico, que necesita un proceso de extrusión hasta 220 °C lo que brinda un buen acabado conocida como modelado por deposición confundida (FDM), extraído de recursos naturales como maíz o almidones (Quinga Escobar, 2018, pág. 38).

Figura 3: *Filamento (PLA)*



Fuente: Autores 2023

La tabla 2 muestra las características fisicoquímicas del PLA que se utilizó en el para la elaboración de probetas, sometidas a un análisis de tracción mediante una máquina de ensayos universales, que fueron previamente modeladas en tres dimensiones.

Tabla 2: *Características filamento*

Tipo de Filamento	PLA
Peso Molecular	66.000 g/mol
Densidad	1.252 g/cm <sup>3</sup>
Fuerza de tensión	59 N/mm <sup>2</sup>

Fuente: (Cepeda, Rubio, Farías, & Galindo, 2018)

### Resina fotopolímera

## Análisis de esfuerzos en materiales con fabricación aditiva

La resina es un material utilizado en la impresión por polimerización, que se encuentra en estado líquido y su base son polímeros thermosets, que hace referencia a fluidos los cuales se solidifican con efecto de la luz o el calor (Chirivella González, 2022).

Figura 4: Resina



Fuente: Autores 2023

La tabla 3 muestra las características fisicoquímicas de la resina que se utilizó en el para la elaboración de probetas, sometidas a un análisis de tracción mediante una máquina de ensayos universales, que fueron previamente modeladas en tres dimensiones.

Tabla 3: Características resina

Tipo de Resina	Resina Rígida
Viscosidad	150 - 200 MPa*s
Densidad	1.10 – 1.15 g/cm <sup>3</sup>
Fuerza de tensión	35-45 N/mm <sup>2</sup>

Fuente: (Anycubic, 2021)

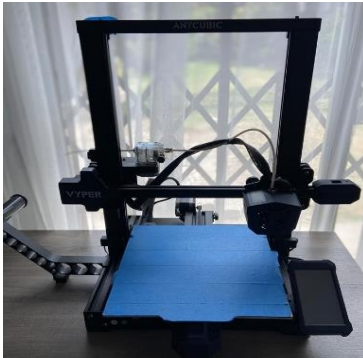
### Manufactura

#### 3.3.1. Anycubic Vyper (impresión de FDM)

Para la impresión de fibra se utilizó la impresora Anycubic Vyper después del modelado en tres dimensiones de la probeta la cual se utiliza para la de fibra (FDM).

Dentro de sus características se encuentra las dimensiones de 9,6 x 9,6 x 10,2 pulgadas (245 mm x 245 mm x 260 mm), por ende, lo cual posee una refrigeración por aire a través de un ventilador debido al tiempo de impresión que es directamente proporcional al tamaño de la pieza. (IT, 2021).

Figura 5: Impresora de FDM Anycubic Vyper



Fuente: Autores 2023

### Elegoo Saturn

Para la impresión de resina foto polimérica se utilizó una impresora de procesamiento digital por luz UV, la calidad de impresión está determinada por su pantalla LCD. Su contorno es de 280 x 240 mm, además posee una pantalla táctil de 3,5 in y una refrigeración por aire con dos ventiladores posteriores y una estructura netamente metálica. (Gehrke, 2019).

Para el procesamiento de la pieza fue necesario convertir el archivo .stl que se diseñó en un software CAD, en un formato compatible con la impresora con un programa chitubox o similar.

Figura 6: Impresora de resina Elegoo Saturn



Fuente: Autores 2023

### Normativa

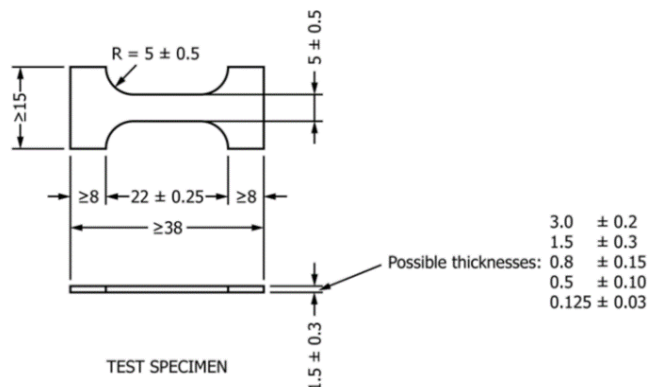
### ASTM D1708-18

El ensayo de tracción se realizó mediante los parámetros de la normativa ASTM D1708-18 la cual se aplica a elastómeros y es el reemplazo del D-638.

## Análisis de esfuerzos en materiales con fabricación aditiva

Especifica al menos cinco probetas de cada material analizado, dichos especímenes pueden ser manufacturados mediante inyección, compresión, troquelado o mecanizado con las medidas que se muestra en la figura 7 (ASTM Internacional, 2019).

Figura 7: *Probeta ensayo de tracción*



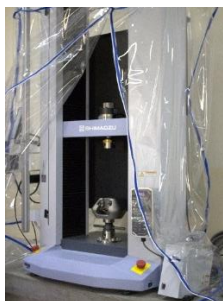
Fuente: (ASTM Internacional, 2019)

### Laboratorio

Para el ensayo de tracción se utilizó una máquina de ensayo universal que se muestra en la figura 7, tiene una fuerza máxima de 50kN, además notifica automáticamente al operador cuando reemplazar piezas y tiene la capacidad de crear una tabla de registros.

Para una mayor precisión es necesario calibrar la probeta hasta que se encuentre totalmente perpendicular y bien sujeta para evitar errores (Shimadzu, 2019).

Figura 8: Máquina de ensayos universal



Fuente: Autores 2023

## Análisis de esfuerzos en materiales con fabricación aditiva

Las probetas que se analizaron tuvieron una ruptura en la parte céntrica de por lo que se tomaron como válidas como se muestra en la figura 9 tanto en resina (verde) y PLA (negro).

Figura 9: Probetas antes y después del ensayo de tracción



Fuente: Autores 2023

### Resultados y discusión

#### Datos de entrada

En la tabla 4 describe las variables con relación a la fabricación aditiva de acuerdo con los tipos de tecnologías de impresión, para la elaboración de las probetas que se analizó en la máquina de universal, así como las variables de impresión en dos tipos de materiales tanto la resina flexible como el filamento.

El ángulo de impresión fue de 45° debido a una mayor resistencia mayor con relación a 0° y 90° en probetas sometidas a pruebas de tracción relacionadas con la fabricación aditiva (Letcher & Waytashek, 2015).

Tabla 4: Datos de entrada

Variable	Resina Flexible	Filamento
Velocidad de impresión	-	55 mm/s
Tiempo de exposición	3.5s	-
Tiempo de impresión	2 horas 40 minutos	4 horas 10 minutos
Temperatura de impresión	16 °C	205 °C
Ángulo de impresión	45°	45°
Secado UV	6 minutos	-

### Análisis de esfuerzos en materiales con fabricación aditiva

Fabricante	Anycubic	Creality
Velocidad de ensayo	5 mm/min	5 mm/min
Tipo de ensayo	Tracción	Tracción

Fuente: Autores 2023

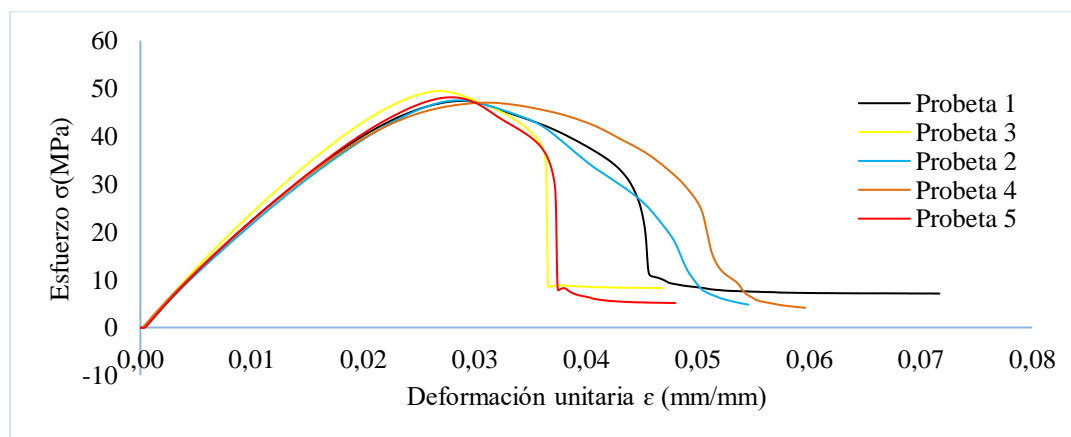
Las variables en cuanto a la resina y filamento están determinadas por la tecnología que hace referencia al procesamiento digital de luz y al modelado deposición fundida (FMD), por lo cual existen parámetros únicos para cada tipo de impresión 3D.

#### Resultados individuales

##### 4.2.1. Diagrama Esfuerzo-Deformación Filamento (PLA)

La figura 10 muestra el comportamiento de las probetas de filamento con relación al esfuerzo producto del desplazamiento y la longitud calibrada de la probeta, además de la deformación unitaria resultante de la fuerza aplicada en el ensayo de tracción y el área de la probeta.

Figura 10: Esfuerzo y deformación unitaria probetas de filamento



Fuente: Autores 2023

Concorde al diagrama existe un cambio en la pendiente a partir de los 47,65 MPa en promedio, lo que significa que es el punto de resistencia a la tracción (máxima tensión) y el final de la zona de endurecimiento del material, así mismo se identificó el desplazamiento en mm y el porcentaje máximo de deformación como lo especifica la tabla 5.

Análisis de esfuerzos en materiales con fabricación aditiva

Tabla 5: Resultados ensayo de tracción filamento PLA

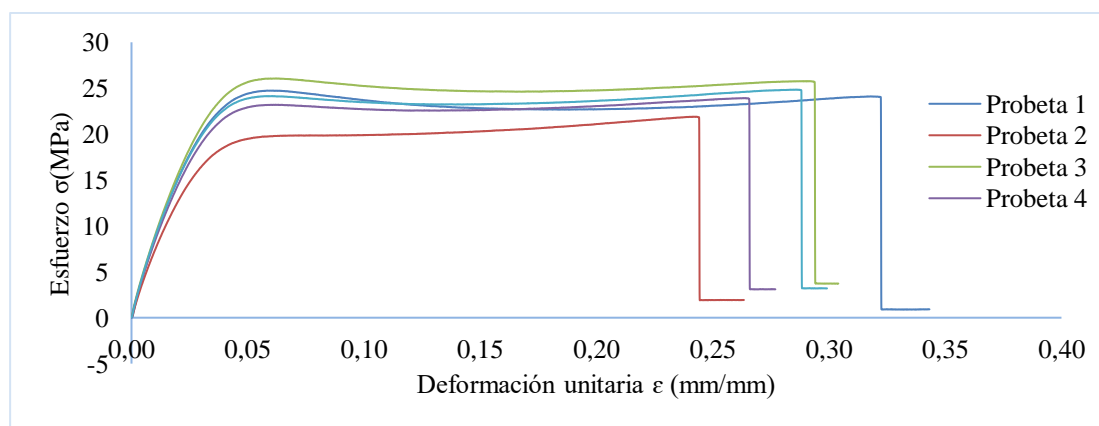
Filamento PLA				
Probeta	Max Fuerza (N)	Max Tensión (MPa)	Max Desplazamiento (mm)	Max Deformación (%)
P1	710.821	47.3881	0.62739	2.98759
P2	712.911	47.5274	0.62489	2.97566
P3	722.345	48.1563	0.61158	2.91229
P4	705.504	47.0336	0.6774	3.22571
P5	722.345	48.1563	0.61158	2.91229
Promedio	714.7852	47.65234	0.630568	3.002708

Fuente: Autores 2023

Diagrama Esfuerzo-Deformación Resina

En la figura 11 muestra el comportamiento de las probetas de resina con relación al esfuerzo producto del desplazamiento y la longitud calibrada de la probeta, además de la deformación unitaria resultante de la fuerza aplicada en el ensayo de tracción y el área de la probeta.

Figura 11: *Esfuerzo y deformación unitaria probetas de resina*



Fuente: Autores 2023

Existe un cambio en la pendiente a partir de los 24,29 MPa en promedio, lo que significa que es el punto de resistencia a la tracción (máxima tensión) y el final de la zona de endurecimiento del material, así mismo se identificó el desplazamiento en mm y el porcentaje máximo de deformación como especifica la tabla 6.

Análisis de esfuerzos en materiales con fabricación aditiva

Tabla 6: *Resultados ensayo de tracción Resina*

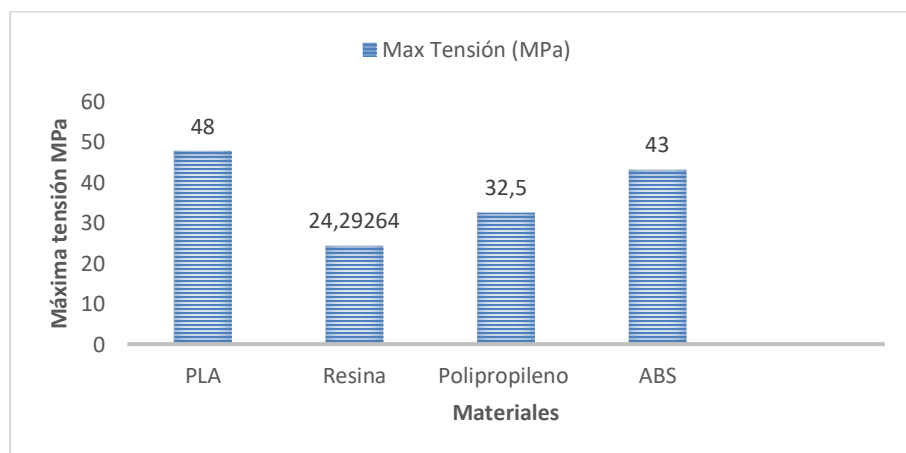
Resina Flexible				
Probeta	Max Fuerza (N)	Max Tensión (MPa)	Max Desplazamiento (mm)	Max Deformación (%)
P1	371,091	24,7394	1,27909	6,09092
P2	328,422	21,8948	5,28493	25,1663
P3	390,879	26,0586	1,38409	6,59092
P4	358,852	23,9235	5,75823	27,4202
P5	372,704	24,8469	6,26242	29,821
Promedio	364,3896	24,29264	3,993752	19,017868

Fuente: Autores 2023

Comparativa de resultados

Se relacionó los resultados del ensayo de tracción de la resina y el filamento PLA en donde se consideró la tensión máxima promedio del material de las probetas analizadas, para la comparación entre plásticos comunes como el ABS y polipropileno. La figura 12 detalla los valores de cada material mediante un diagrama de barras.

Figura 12: *Comparativa Máxima Tensión (MPa)*



Fuente: Autores 2023



## Análisis de esfuerzos en materiales con fabricación aditiva

---

De acuerdo con los resultados la tensión máxima el PLA es superior en un 10,42 % al ABS cumpliendo mejores características de resistencia de piezas automotrices que generan un mayor esfuerzo diario como perillas, botoneras o manijas. Por otra parte, de la resina es inferior al polipropileno en un 25,26 %, lo que significa que se puede utilizar para piezas estéticas o embellecedores del vehículo.

### Conclusiones

El proceso de manufactura aditiva es una opción viable en el medio ecuatoriano debido a la accesibilidad para replicar las autopartes mediante un modelo 3D y tomando en consideración que la resistencia de los materiales utilizados es comparable al de las piezas automotrices originales.

La tecnología empleada para replicar autopartes tiene una relación directa con la resistencia del material, obteniendo una tensión máxima del filamento (PLA) de 47,65 MPa y de la resina de 24,29 MPa. Por ende, el material con mejores propiedades de resistencia para la fabricación de autopartes es el filamento (PLA).

Se comparó los materiales empleados en el ámbito automotriz siendo el filamento (PLA) el material con mayor semejanza ya que su punto máximo de tensión es 10,42 % superior al ABS, mientras que la resina es menor en un 25,26 % al polipropileno. Por lo cual, el material ideal para la manufactura de autopartes es el filamento ya que el punto máximo de tensión es superior a los plásticos comúnmente utilizados, por lo que se puede manufacturar piezas sometidas a esfuerzos mecánicos altos. Mientras que la resina es útil para la manufactura de piezas estéticas debido a su alto acabado.

## Referencias

- Comercio, E. (9 de Noviembre de 2018). El Comercio. Obtenido de El Comercio:  
<https://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/ensamblaje-autos-ecuador-menor-mercado.html>
- Leal, R. B. (2017). Additive manufacturing tooling for the automotive industry. *Advanced Manufacturing Technology*.
- Patalas-Maliszewska, J., Topczak, M., & Klos, S. (2020). The Level of the Additive Manufacturing Technology Use in Polish Metal and Automotive Manufacturing Enterprises. *applied sciences*, 1-20.
- Rainer Christoph, R. M. (2016). *Manufactura Aditiva. Realidad y Reflexión*, 43, 97-109.
- Daniel Böckin, A.-M. T. (2019). Environmental assessment of additive manufacturing in the. *ScienceDirect*, 226, 977-987.
- Martin Baumer, P. D. (2016). The cost of additive manufacturing: machine productivity, economies of scale and technology-push. *Technological Forecasting and Social Change*, 102(0040-1625), 193-201.
- Ramos Rivero, V. L. (4 de Diciembre de 2018). Repositorio Uide. Obtenido de Repositorio Uide:  
<https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/3158>
- Vaca, J., & Rojas, S. (2012). Repositorio ESPOCH. Obtenido de Repositorio ESPOCH:  
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3718/1/85T00211.pdf>
- Gutiérrez, C., & Vargas, L. (2017). Repositorio ESPOCH. Obtenido de Repositorio ESPOCH:  
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/7922/1/85T00470.pdf>
- Ramos, V. (15 de Noviembre de 2018). Repositorio Uide. Obtenido de Repositorio Uide:  
<https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/3158>
- Martínez, F., & Turégano, J. C. (2010). *Ciencias para el Mundo Contemporáneo*. Canarias: Gobierno de Canarias.
- Quito, J. C. (7 de Junio de 2016). ENSAMBLAJE DE UNA IMPRESORA 3D PARA LA FABRICACIÓN DE PIEZAS AUTOMOTRICES CON POLÍMERO ABS. Obtenido de Repositorio Digital Universidad Técnica del Norte:  
<http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/7470>

Análisis de esfuerzos en materiales con fabricación aditiva

---

- Blancarte, J. (1 de Noviembre de 2012). ¿Cómo se fabrican los plásticos para los autos? Obtenido de autocosmos: <http://noticias.autocosmos.com.ve/2012/11/01/como-se-fabrican-los-plasticos-para-los-autos>
- Ortega, A. J. (2016). Fabricación digital: Introducción al modelado e impresión 3D. España: Secretaria general tecnica .
- SICNOVA. (10 de Enero de 2022). Materiales para impresión 3D: guía de propiedades y aplicaciones. Obtenido de SICNOVA: <https://sicnova3d.com/blog/experiencias-3d/materiales-para-impresion-3d-guia-de-propiedades-y-aplicaciones/>
- Quinga Escobar, P. A. (2018). Respostorio Digital ESPOCH. Obtenido de Respostorio Digital ESPOCH: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/9177>
- Chirivella González, A. (23 de Enero de 2022). Profesional review. Obtenido de Profesional review: <https://www.profesionalreview.com/2022/01/23/tipos-de-resina-de-impresion-3d/>
- IT. (Diciembre de 2021). ES Atsit. Obtenido de ES Atsit: <https://br.atsit.in/es/?p=120636>
- Gehrke, F. (18 de Noviembre de 2019). All3P. Obtenido de <https://all3dp.com/es/1/elegoo-saturn-analisis-impresora-3d-caracteristicas/>
- Daniel Rodríguez, J. Á. (2018). VERIFICACIÓN DEL DIAGRAMA ESFUERZO-DEFORMACIÓN DE UN ACERO AISI 1020 TEMPLADO A TEMPERATURAS INTERCRÍTICAS USANDO LA TÉCNICA RVE POR ELEMENTOS FINITOS. Bogotá, Colombia.
- Westreiche, G. (19 de Mayo de 2020). Economipedia.com. Obtenido de Economipedia.com: <https://economipedia.com/definiciones/metodo-deductivo.html>
- Shimadzu. (13 de Mayo de 2019). Shimadzu. Obtenido de Shimadzu: <https://www.shimadzu.com/news/tmki8ete08o73kaq.html>
- Cepeda, I. V., Rubio, D. A., Farías, D. L., & Galindo, D. A. (09 de Septiembre de 2018). Ciencia cierta. Obtenido de Ciencia cierta: <http://www.cienciacierta.uadec.mx/2018/09/09/analisis-de-las-propiedades-fisicoquimicas-de-materiales-polimericos-para-re-uso-en-impresiones-3d/>
- Anycubic. (2021). Anycubic. Obtenido de Anycubic: <https://www.anycubic.com/collections/flexible-tough-resin/products/anycubic-uv-tough-resin-package>

Análisis de esfuerzos en materiales con fabricación aditiva

---

- ASTM Internacional. (2 de Septiembre de 2019). Standard Test Methods for Tensile Properties by Use of Microtensile specimens. United States.
- Fitzgerald, R. (1996). *Mecánica de Materiales*. Mexico: Alfaomega.
- Letcher, T., & Waytashek, M. (13 de Marzo de 2015). ASME. Obtenido de ASME: <https://asmedigitalcollection.asme.org/IMECE/proceedings-abstract/IMECE2014/V02AT02A014/262371>
- Central Recambio Original. (9 de Enero de 2019). La evolución en el uso de plásticos en el automóvil. (Central Recambio Original) Recuperado el 31 de Mayo de 2022, de <https://www.recambiooriginal.com/blog/recambios-originales/mecanica/evolucion-uso-plasticos-automovil/#respond>