

# Caracterización mecánica de materiales con matrices biodegradables impresas en 3D

## Mechanical characterization of materials with 3D printed biodegradable matrices

Gerardo Andrés Alvarenga Salinas<sup>1\*</sup>, Eduardo Giangreco<sup>1</sup>, Williams Bobadilla<sup>1</sup>, Jeisson Sastoque<sup>2</sup>, Carmen Sánchez<sup>1</sup>, Magno Maíz<sup>1</sup> <sup>1</sup>Universidad Nacional de Asunción. Facultad Politécnica. San Lorenzo, Paraguay. <sup>2</sup>Universidad Santo Tomás. Departamento de Ingeniería. Bogotá, Colombia \*Autor de correspondencia: gaas@pol.una.py.

Recibido: 15 julio 2021 Aceptado: 9 diciembre 2021 Recibido en versión modificada: 3 de mayo 2022

Alvarenga Salinas, G. A., Giangreco, E., Bobadilla, W., Sastoque, J., Sánchez, C. & Magno, M. (2022). Caracterización mecánica de materiales con matrices biodegradables impresas en 3D. *Revista investigaciones y estudios – UNA*, 13(1), 3-15.  
<https://doi.org/10.47133/IEUNA22201b>

**Resumen.** En el presente trabajo se investigó la resistencia mecánica de materiales poliméricos biodegradables fabricados con impresoras 3D. Las probetas fueron impresas al 15% de relleno en la estructura interna con filamentos de Ácido Poliláctico (PLA) comercial dispuestos en distintos patrones geométricos de mallado de impresión, tales como hexágonos, triángulos, cuadrados, entre otros. Fue establecido una categorización de las mismas basado en sus patrones estructurales de impresión 3D y sus respectivos desempeños en ensayos de tracción. La probeta de mallado triangular presentó el mejor desempeño con valores de esfuerzo máximo a la tensión promedio de 25,1 MPa, elongación máxima promedio de 3,51 mm y Módulo de Young aproximado de 469,32 Mpa. Esta categorización del material PLA impreso, basado en su patrón estructural de impresión 3D y su resiliencia mecánica

de tracción, puede representar un criterio importante para adecuar la aplicación de los mismos. Este trabajo contribuye a los nuevos avances tecnológicos sin olvidar las obligaciones con el medio ambiente y enfatizando el desarrollo sostenible.

**Palabras clave.** impresión 3D, PLA, tracción, sostenibilidad, biodegradable.

**Abstract.** In this work the resistance of 3D-printed biodegradable polymeric materials is evaluated according to different printing patterns. The specimens were printed at 15% fill in the internal structure with commercial Polylactic Acid (PLA) filaments arranged in different geometric patterns of printing mesh, such as hexagons, triangles, squares, among others. They were categorized based on both, their 3D printing structural patterns, and their performance in tensile tests. The triangular mesh specimen presented the best performance reaching values of maximum stress at average tension of 25.1 MPa, average maximum elongation of 3.51 mm and approximate Young's Modulus of 469.3 MPa. This type of categorization of 3D-printed PLA material,

based on its 3D printing structural pattern and its mechanical tensile strength, represents an important criterion to optimize decisions during applications. Overall, this work contributes to technological advances without forgetting the obligations to the environment and sustainable development.

**Keywords.** 3D printers, PLA, traction, sustainability, biodegradable, technology.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad la impresión 3D está en auge, siendo cada día más accesible. Las aplicaciones son muy variadas, un ejemplo de esto son las prótesis dentales, como se muestra en el artículo publicado por Espada y Nieto Sánchez (2013), en su obra Modelos de estudio 3D, donde la impresión de elementos de inmovilización semisólidos de plástico, que son más livianos, reemplaza al yeso como soporte de extremidades con lesiones.

En este estudio se utilizó filamentos para impresoras 3D de ácido poliláctico PLA, polímero biodegradable derivado del ácido láctico, (Sáez y Ariel, 2013). Es un material altamente versátil, sintetizado de recursos renovables al 100%, como son el maíz, la remolacha, el trigo y otros productos ricos en almidón, (Schebor, 2000). Este ácido tiene muchas características equivalentes e incluso mejores que muchos plásticos derivados del petróleo, lo que hace que sea eficaz, debido a su biodegradabilidad, propiedades de barrera y biocompatibilidad, éste biopolímero ha encontrado numerosas aplicaciones ya que presenta un amplio rango inusual de propiedades, desde el estado amorfo hasta el estado cristalino; propiedades que pueden lograrse manipulando las mezclas entre los isómeros D(-) y L(+), los pesos moleculares y la

copolimerización (Dickneider, 2019).

Además, en la fabricación de materiales es de vital importancia conocer la resistencia mecánica de objetos y piezas que componen una máquina o estructura, que, a su vez, dependiendo de la aplicación que se le va a dar, repercute directamente en factores como durabilidad y costo, los cuales son fundamentales en la industria.

Según Molina O. (2016), el estudio de las propiedades mecánicas consiste en conocer si un polímero es suficientemente resistente como para soportar la solicitud de una carga en particular. Los polímeros como grupo de materiales resultan muy difíciles de clasificar desde el punto de vista de su comportamiento mecánico. Estas propiedades difieren bastante unas de otras y a su vez, se ven afectadas durante el ensayo por condiciones tales como la temperatura, naturaleza química del medio, entre otros (Mott, 2009).

En las impresiones 3D se aprecian los patrones de mallados internos con formas de figuras geométricas básicas como triángulos y cuadrados. Es preciso mencionar algunas de las investigaciones ya realizadas que constituyeron la base para este trabajo, Lanza Sánchez (2015), que habla sobre los diferentes métodos para el análisis de los polímeros y Molina O. (2016), sobre materiales termoplásticos (ABS, PLA) impresos en 3D.

Esta investigación tiene como objetivo principal la caracterización mecánica de materiales con matrices PLA biodegradables. Además, se evaluaron distintos patrones geométricos de mallado estructural obtenidos por el método de manufactura aditiva de impresión 3D. Finalmente, se compararon las resistencias mecánicas correspondientes a cada uno de los patrones de mallado de impresión.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La elaboración y caracterización de las probetas fueron realizadas en el laboratorio de la carrera de Ingeniería en Ciencias de los Materiales de la Facultad Politécnica de la UNA y en el Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares IPEN, Universidad de São Paulo, Brasil.

El filamento utilizado para el proceso de impresión 3D fue el ácido poliláctico (PLA), biopolímero termoplástico cuya molécula precursora es el ácido láctico (Sáez y Ariel, 2013). En la Figura 1 se observa un resumen de la obtención del polímero, que básicamente se divide generalmente en dos etapas consecutivas: la primera la síntesis del ácido láctico y

la segunda la polimerización.

El método de impresión 3D aplicado fue el de manufactura aditiva por medio del cual, se obtuvieron las probetas con distintos patrones de mallados internos, estructurados de acuerdo con la norma ASTM D638-14 (2015) para ensayos mecánicos. Avances recientes también han aportado en crear nuevos materiales de impresión por el método de Modelado por Deposición Fundida (FDM), (Alvarez et al., 2016).

Cabe resaltar, que el método de impresión 3D empleado cuenta con el programa Autodesk Fusión 360, que permitió el diseño de las probetas, con las medidas dadas por la norma mencionada más arriba, detalladas en la figura 2.

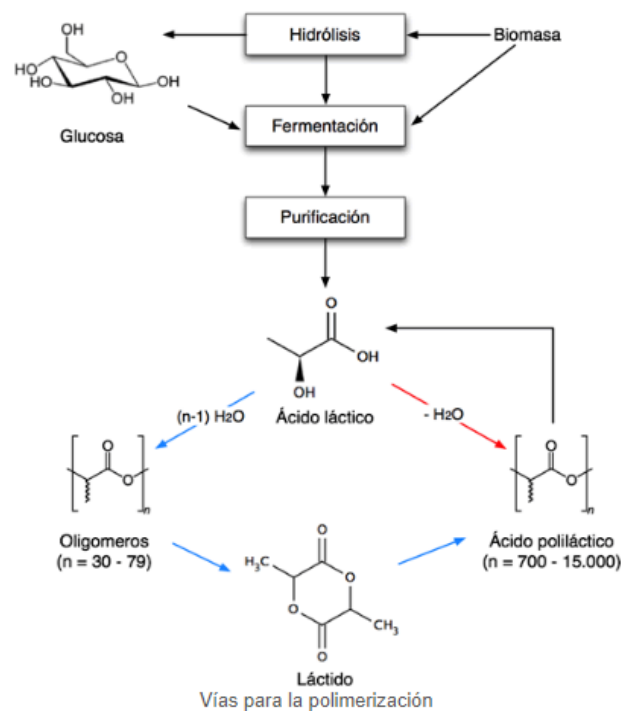


Figura 1. Proceso de polimerización. Fuente: Dickneider (2019).

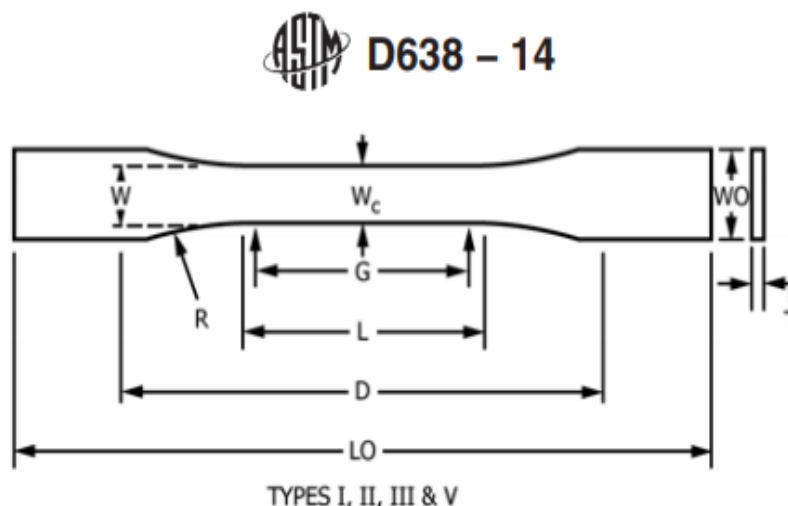


Figura 2. Cotas de la probeta utilizada para pruebas de tracción según Norma ASTM D638-14 (2015).

Una vez terminado el diseño se procedió a exportar el archivo en formato STL (abreviatura del inglés stereolithography), que es un formato de archivo informático de diseño asistido por computadora (CAD) que define la geometría de un objeto diseñado en 3D. Este formato es ampliamente usado en el mundo de la impresión 3D y prácticamente todos los programas de impresión 3D soportan este formato. A diferencia de otros solo contiene la información de la forma del objeto, no hace referencia a color, textura, entre otros.

Luego de tener preparado el archivo de las probetas, se procedió a la impresión de los objetos con la impresora Prusa I3, con relleno de 15 % en todas las probetas y con 5 tipos de patrones de mallados distintos en sus estructuras internas.

El programa encargado de pasar del objeto STL al formato que entiende la impresora, denominado código G (G-code), fue el programa Cura. En este punto, al pasar del STL al código G, uno elige la estructura interna que tendrá la impresión del objeto.

En la Figura 3 se muestra una captura de pantalla realizada a la mesa de trabajo del programa Autodesk

Fusion 360, donde se observa la cantidad de herramientas que tiene este programa bastante útil y versátil, con el que se puede hacer todo lo que uno imagine. Este programa puede integrarse sin problemas con otros programas de diseño y tiene soporte para otros formatos de objetos 3D.

Los patrones a ser estudiados son, el patrón lineal, el patrón rejilla (Grid), el patrón concéntrico, el patrón triángulo, el patrón tri-hexagonal, en total son 5 y estos se configuran desde el programa de impresión Cura.

Los patrones llamados en este programa con un cierto nombre, puede diferir al de otros programas, pueden ser los mismos patrones, pero con nombres distintos, por eso cada uno de los patrones estudiados se detallarán para evitar confusiones o ambigüedades de cualquier tipo. Cada uno de los nombres de los patrones ya da idea de la forma interna que estos tendrán.

El patrón de impresión lineal posee líneas entrelazadas entre sí, muy parecidas al patrón rejillas, pero a diferencia de éste, las del tipo lineal están más juntas entre sí.

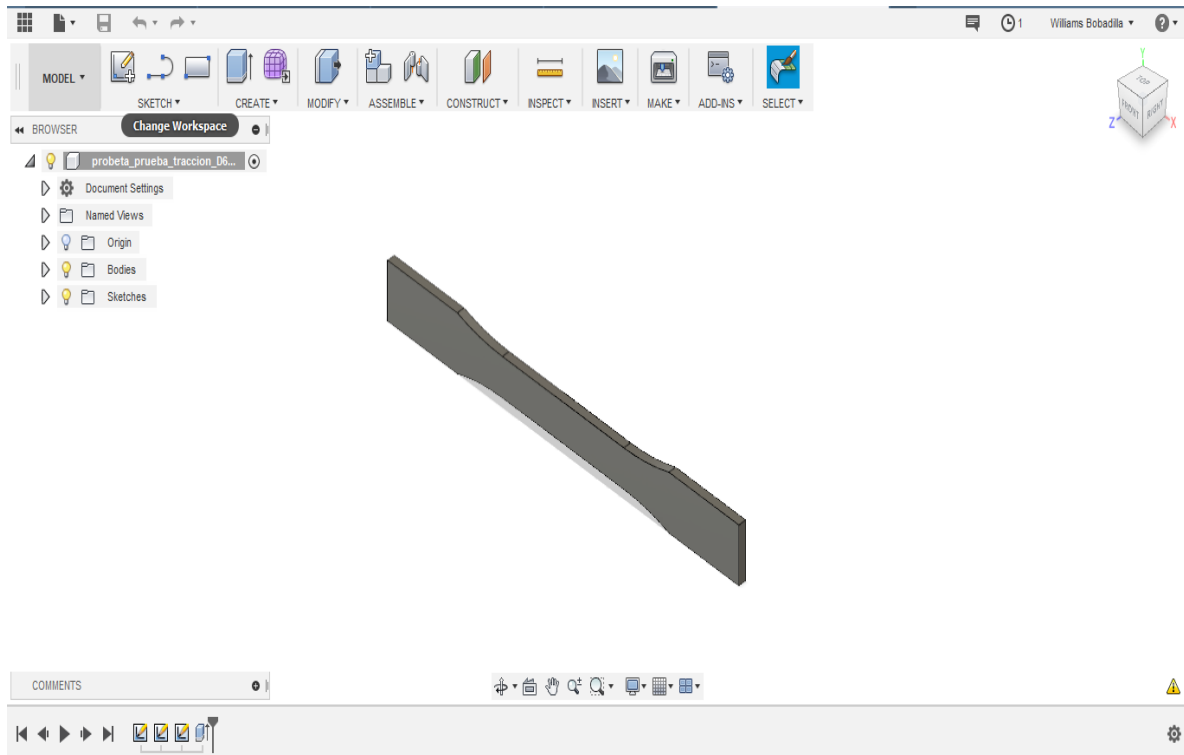


Figura 3. Captura de pantalla del área de trabajo del Programa Autodesk Fusion 360.

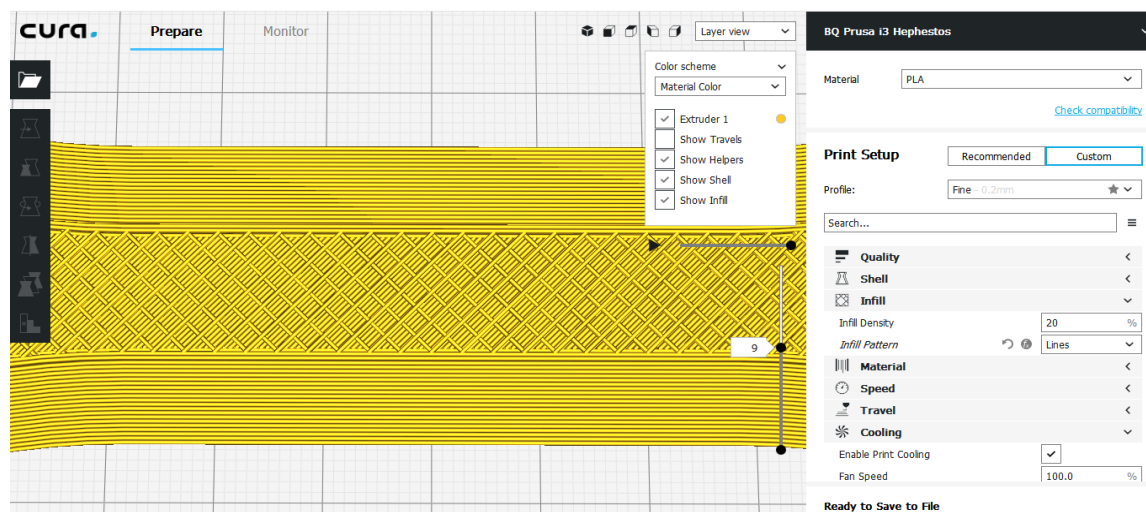


Figura 4. Disposición del patrón lineal.

En la Figura 4 se puede apreciar la forma de este patrón, la imagen es una captura directa del programa utilizado para la impresión de la probeta.

El Patrón de impresión rejilla (Grid) este es otro de los patrones disponibles en la mayoría de los programas de impresión debido a su sencillez con la que debe moverse la impresora para lograr estos patrones en forma de rejilla.

Como mencionamos anteriormente en la descripción del patrón lineal, el patrón rejilla se asemeja al patrón lineal, la diferencia es que tiene una mayor separación entre sus líneas y utiliza menos filamentos a la hora de imprimirse. En la Figura 5 podemos ver este patrón desde una captura directa del programa Cura.

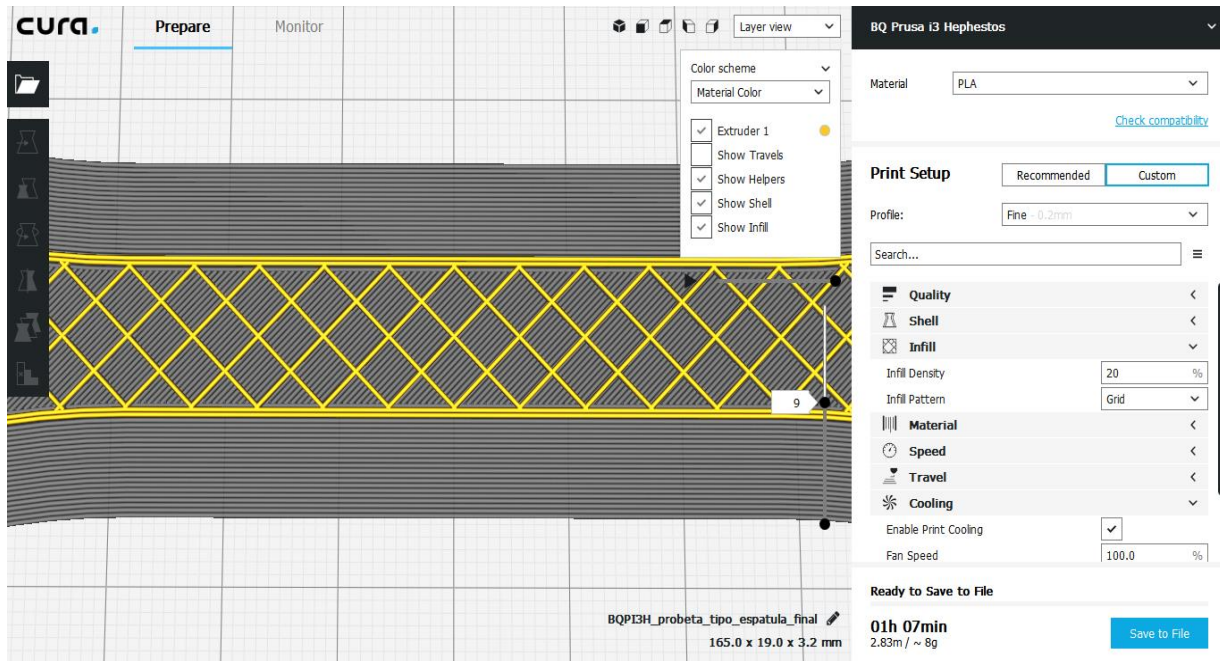


Figura 5. Disposición del patrón rejilla.

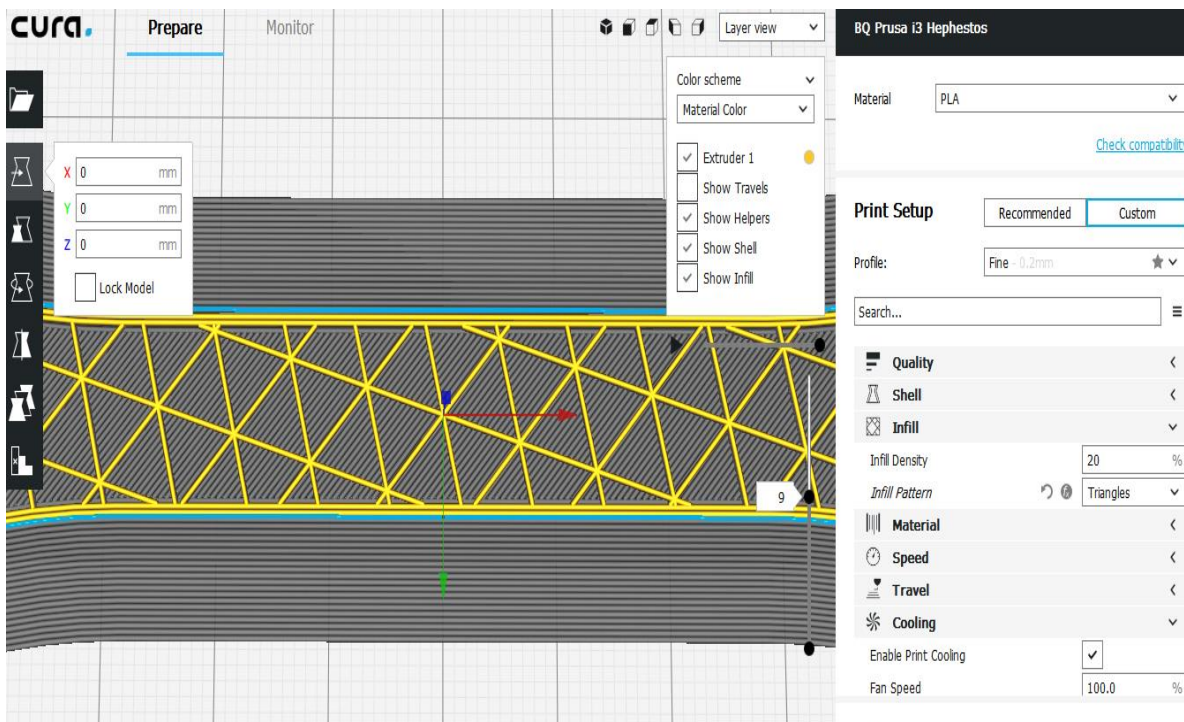


Figura 6. Disposición del patrón triangular.

El Patrón de impresión Triangular utiliza como base el polígono más sencillo de todos, el triángulo. Este tiene tres puntos de apoyos principales, por lo que la carga se distribuye en la estructura más equitativamente, en la Figura 6 se muestra el patrón.

En la figura 7 se observa a Patrón de impresión trihexagonal, en este caso el cuarto patrón a probar, son patrones hexagonales que ofrece entre sus opciones el programa de impresión Cura.

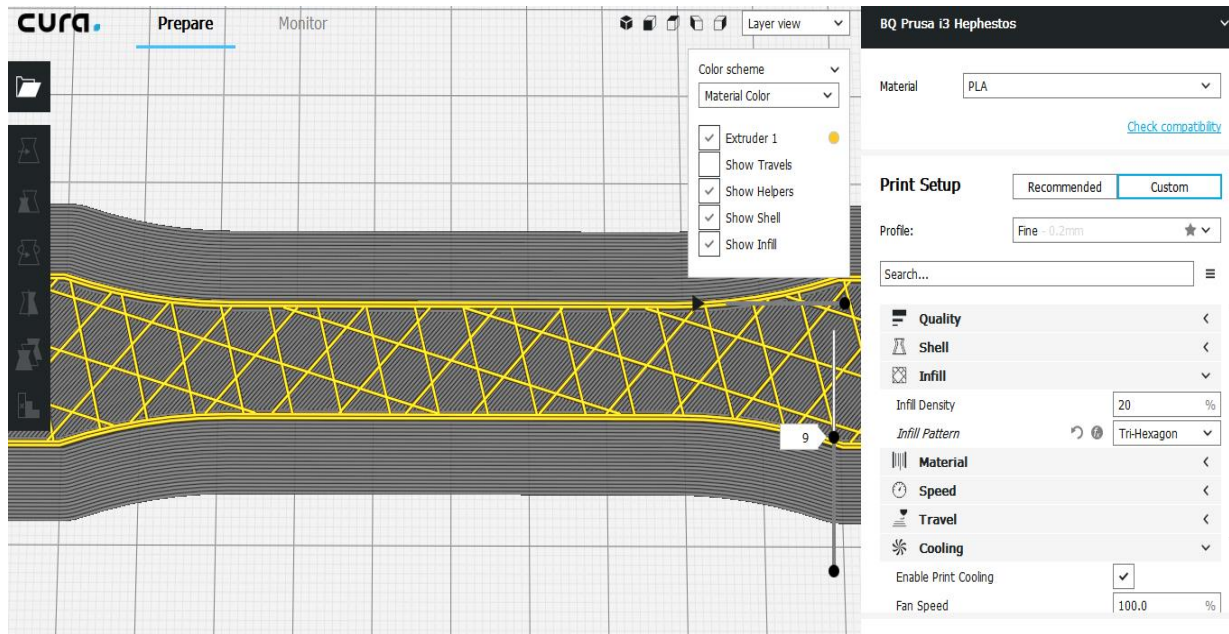


Figura 7. Disposición del patrón Tri-hexagonal.

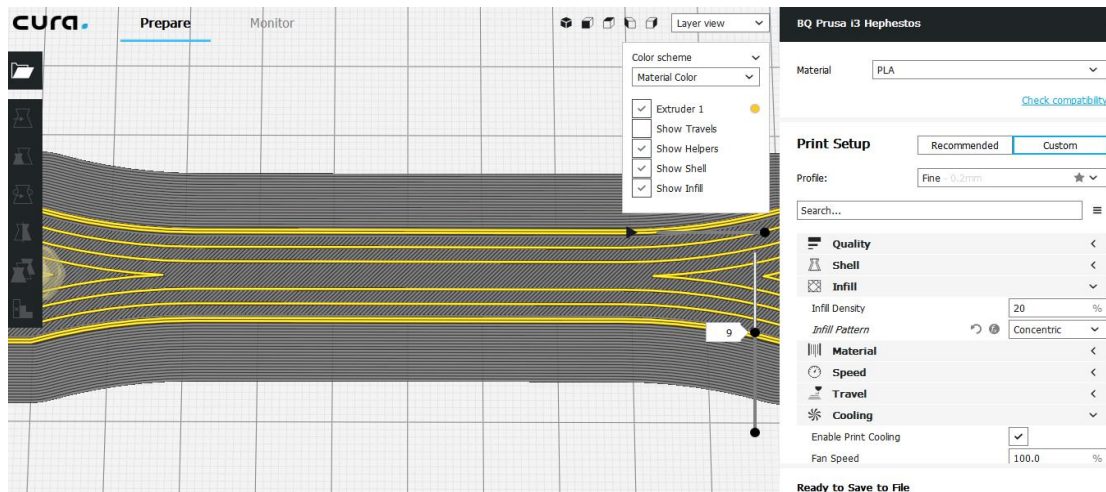


Figura 8. Disposición del patrón concéntrico.

El Patrón concéntrico es el último patrón que probamos, que toma la forma del objeto a imprimir y va afuera y hacia adentro, concéntricamente, como se observa en la Figura 8.

Para la parte experimental se utilizaron distintas herramientas para tal fin, como la impresora 3D para la impresión de las probetas como se observa en la figura 9, el programa de impresión Cura, la máquina universal para las pruebas de tracción, y también las planillas del programa Microsoft Excel utilizadas para el análisis estadístico luego de obtener los

resultados de las pruebas realizadas. Más abajo se estará hablando de cada herramienta y de algunas fotos del proceso de experimentación. Los resultados arrojados por el programa de la máquina universal son determinantes, ya que gracias a ello se puede determinar cuál de las probetas tiene el mejor desempeño mecánico, al comparar las 5 probetas o piezas de pruebas de cada Tipo de Patrón de Mallado Interno de Impresión, los cuales suman en total 25 ensayos de tracción.

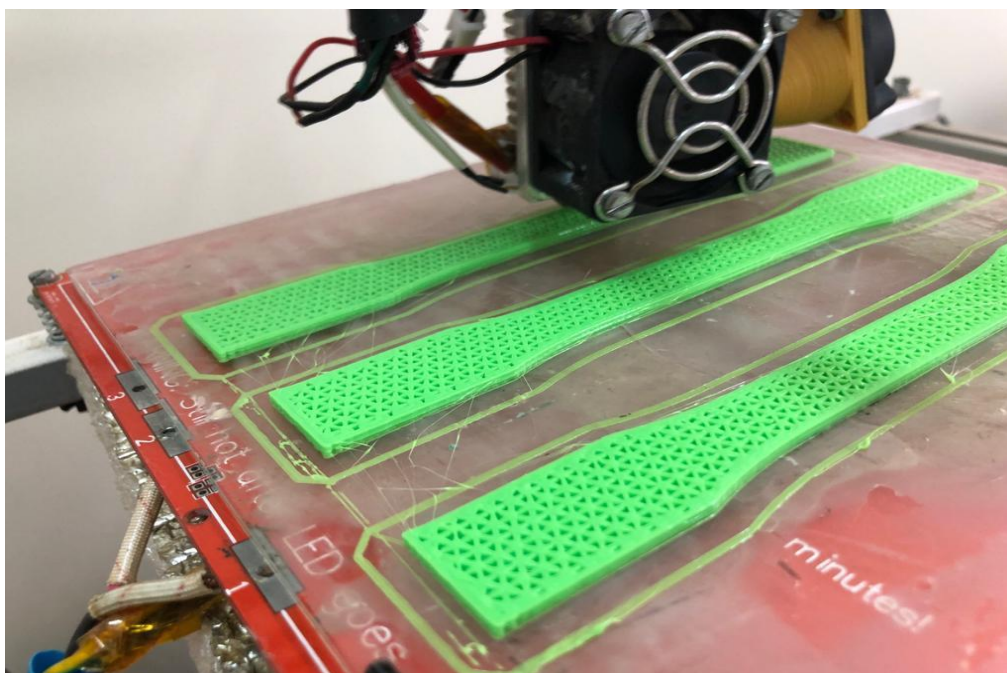


Figura 9. Impresora 3D en acción de impresión de probetas.

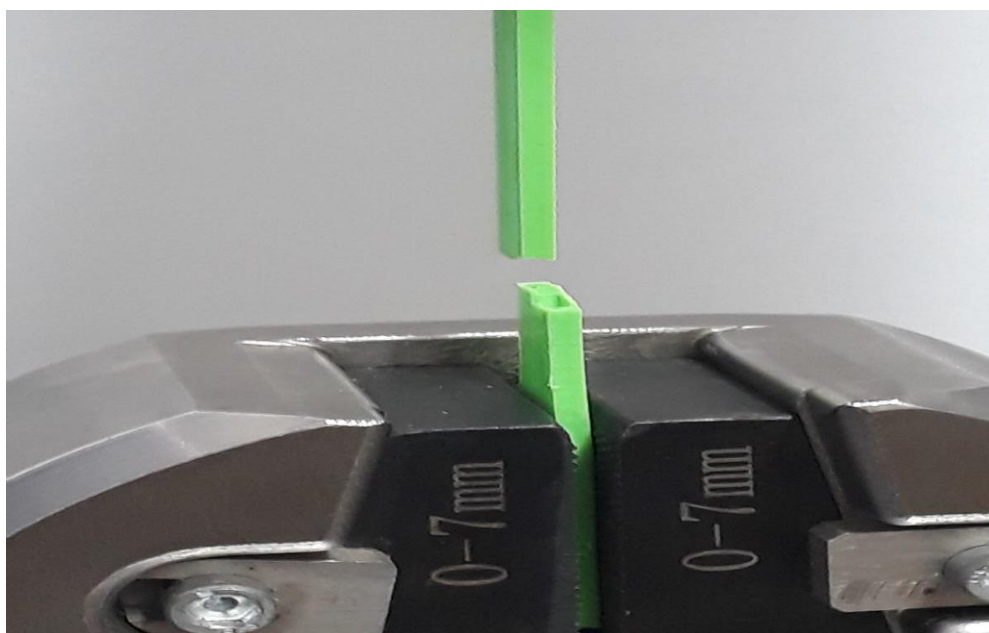


Figura 10. Probeta después del ensayo de tracción.

Para la prueba de tracción se utilizó la máquina universal, con la cual, se puede realizar pruebas de tracción y de tensión como podemos ver en la Figura 10. El programa va registrando los datos del sensor de presión que posee al realizar la prueba y por cada paso que da va guardando los datos en una planilla.

Una vez finalizado el proceso de tracción, es decir,

cuando el material cede y se produce una rotura, el programa de la máquina universal genera otro archivo con la gráfica respectiva al proceso de tracción y también en una tabla ciertos datos relevantes para el posterior análisis de las pruebas realizadas.

Se realizaron 5 ensayos de tracción de las Probetas por cada Tipo de Patrón de Mallado de Impresión,



que son también 5. Para cada patrón se obtienen sus curvas y sus datos de las propiedades mecánicas, que luego nos sirven como datos para encontrar el módulo de Young resultante de cada una de las Probetas y promediar el resultado general para obtener el módulo de Young final para cada Tipo de Patrón de Mallado de Impresión.

Para calcular el módulo de Young se consideran la relación señalada en un apartado más arriba, para ello utilizamos los datos de variación de longitud, longitud inicial, y también, el esfuerzo máximo sometido a la probeta indicados por Fombuena et al., 2016. Más abajo se procede a mostrar los datos obtenidos y también el resultado final del módulo de Young para cada patrón.

## RESULTADOS

A continuación, en la Tabla 1 se exponen los resultados obtenidos durante el ensayo de tracción, de los cinco tipos de probetas fabricadas con un patrón de mallado específico, pudiendo ser de grilla, triángulo, línea, tri-hexagonal o concéntrico.

Durante los ensayos se pudo observar un comportamiento frágil de las probetas, mostrando muy poca deformación elástica y plástica. Por tanto, los elementos de prueba presentaron fracturas de carácter frágil. Además, es importante mencionar que las probetas mostraron varias fracturas en una misma. Y en otras probetas se observaron muchos defectos tipo vacantes, es decir, formación de huecos en las zonas de fracturas.

Algunos de los resultados más resaltantes que nos proporcionó la máquina universal, fueron los obtenidos por las probetas impresas con el Patrón de Mallado de Impresión Triangular, con valores de 3,51

milímetro de máxima elongación, justo en el punto de ruptura, también podemos ver que la máxima fuerza de 1043,3 Newton fue utilizada hasta el punto de dicha ruptura, y el esfuerzo máximo alcanzado de 25,1 megapascales, con un módulo de Young promedio de 469,32 Mpa, convirtiéndose en las probetas con mejor desempeño mecánico de tracción.

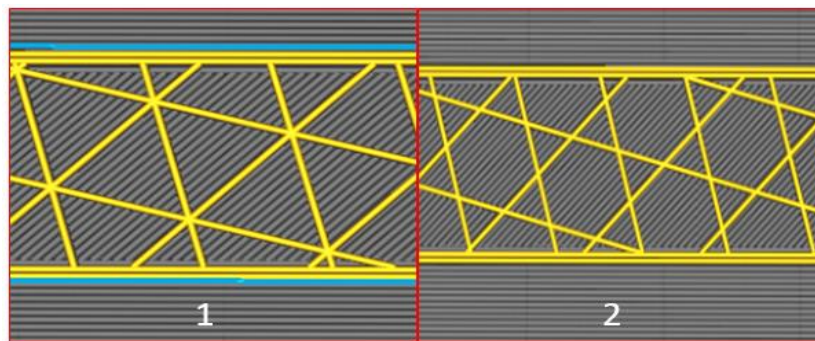
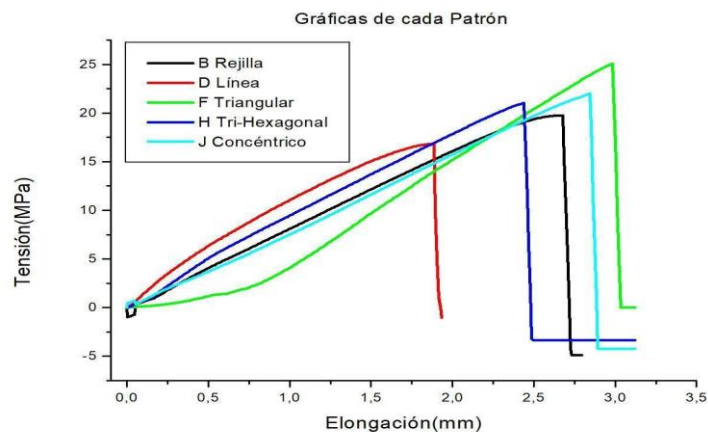
En segundo lugar, encontramos a las probetas con Patrón de Mallado de Impresión Concéntrico, cuyos valores promedios destacados en el ensayo mecánico de tracción fueron como la máxima elongación con 3,14 milímetro, máxima fuerza de 1072,4 N y esfuerzo máximo en la ruptura 25,7 megapascales. También, se podría citar en un tercer lugar a las probetas con Patrones de Mallados de Impresión Tri-Hexagonal, ya que obtuvieron un módulo de young promedio de 419,90 Mpa. Y en los dos últimos lugares, con un desempeño casi similar en sus resistencias a la tracción fueron las probetas con Patrón de Mallado de Impresión Lineal y Grilla.

En la Figura 11 podemos observar el primer plano de estos patrones internos para poder compararlos, en la parte 1, podemos ver el patrón triangular, con los nodos que los compone, y en la parte 2, podemos ver el patrón tri-hexagonal. Aquí se comparan los resultados obtenidos por la probeta del patrón triangular, que opone más resistencia a la tracción.

Haciendo una comparación más tangible, al promediar la fuerza de todas las pruebas realizadas a las probetas con patrón de mallado triangular, resulta en 729 Newtons aproximadamente, lo cual si lo dividimos por la gravedad local que es aproximadamente  $9.8 \text{ m/s}^2$ , nos puede dar la masa que puede soportar la probeta si se lo coloca en forma que estire al material impreso con esta cantidad de masa, que haciendo cálculos sale aproximadamente 74 Kilogramos como máximo.

**Tabla 1. Resultados del ensayo de tracción en la Máquina Universal.**

Tipo de patrón mallado	Pico de Fuerza (N)	Esfuerzo de Tracción (MPa)	Pico de Elongación (mm)	Porcentaje de pico de elongación (%)	Área (mm <sup>2</sup> )	Longitud del Calibre/Carga (mm)	Módulo de Young (Mpa)
Grilla	821,7	19,7	2,65	5,31	41,6	50	372,15
Triángulo	1043,3	25,1	3,51	7,02	41,6	50	469,32
Línea	824,7	19,8	2,91	5,82	41,6	50	340,16
Tri-Hexagonal	978,8	23,5	2,80	5,59	41,6	50	419,90
Concéntrico	1072,4	25,7	3,14	6,29	41,6	50	410,10

**Figura 11. Comparación del patrón triangular y tri-hexagonal.****Figura 12. Comparación de Curvas de tracción.**

En la Figura 12 se compararon los tipos de patrón de mallado de impresión para el ensayo mecánico de tracción realizado a las probetas. Cada color representa el promedio de la relación entre tensión y elongación para cada tipo de probeta. Podemos apreciar que todas las gráficas han sido similares, tienden a una recta hasta que caen repentinamente cuando se llega al punto de quiebre. Se pudo observar que la curva donde existe el pico de elongación mayor fue con el patrón de mallado triangular con 3,51 mm,

seguido por el patrón de mallado concéntrico con 3,14 mm, mientras que, el patrón de mallado en línea mostró la menor elongación 2,91 mm.

Podemos ver en la Figura 13 una toma bajo la lupa en la zona de la rotura, se puede ver los filamentos en pequeños tamaños depositados y agrupados. También, un hueco en el centro de la probeta, dejado por la impresora a la hora de la impresión ya que utilizó un relleno del 15 %.

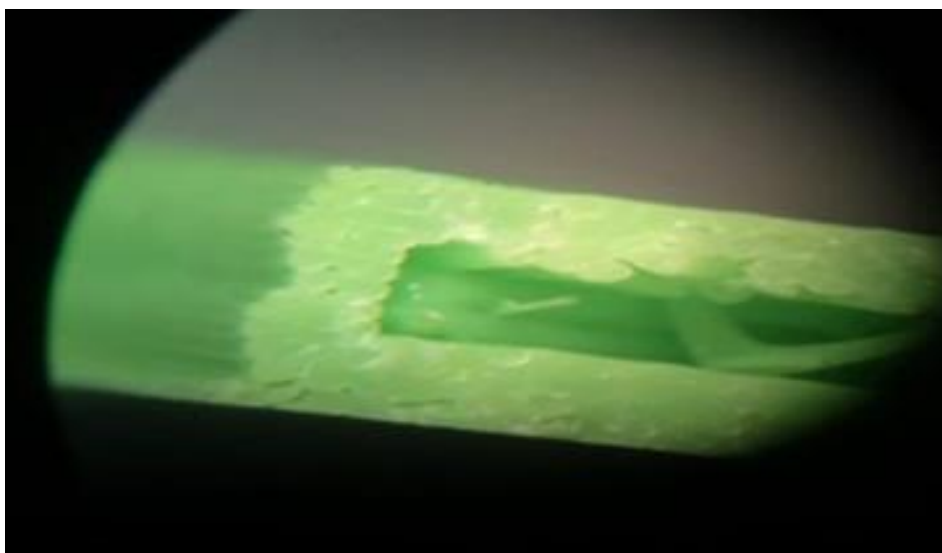


Figura 13. Foto bajo la lupa en la zona de la rotura de la probeta.

Para el Patrón de Mallado de Impresión Tri-Hexagonal, por ejemplo, no posee uniones o nodos, más bien poseen huecos que se generan al ir imprimiendo las probetas en su mallado de estructura interna, permitiendo así, que dicho material internamente se estire, pierda resistencia y esto produce un estiramiento general del material, haciendo que ceda mucho más rápido a la rotura en el ensayo de tracción esto es señalado por González Carbonell et al., 2008.

## DISCUSIÓN

Con esta investigación se pudo lograr determinar ciertas propiedades mecánicas de materiales poliméricos impresos en 3D, de vital importancia según sus aplicaciones en diferentes áreas, constituyendo una variable fundamental el patrón de mallado de impresión.

Se pudo determinar que el Patrón de Mallado de Impresión más resistente a la tracción ha sido el Triangular, con un esfuerzo máximo a la tensión promedio de 25,1 MPa y una elongación máxima promedio de 3,51 mm. Este motivo obedece a que

este patrón posee puntos de uniones o nodos en su estructura de mallado interno en donde se acentúa la resistencia del material, ya que en ese punto prácticamente no hay estiramiento. Estos resultados son muy similares a lo obtenido por Ibarra, Cruel Restrepo y Díaz Castaño (2018) donde caracterizaron propiedades mecánicas de probetas fabricadas bajo la técnica de modelado por deposición fundida tanto con materia prima PLA y ABS.

Así también, el módulo de Young aproximado obtenido por una de las probetas con el Patrón de Impresión Triangular ha sido de 469,32 Mpa muy superior a los valores más altos 128,7 y 123,9 MPa respectivamente, de las probetas O y R impresas con porosidad (p) 50% y ángulo de trama (a) 0-90° con ABS que hemos observado en la investigación de propiedades mecánicas de piezas en ABS en función de parámetros de proceso de manufactura aditiva FDM (Velasco, Suárez y Ardila, 2017).

Por lo que respecta al porcentaje de deformación se han obtenido valores máximos como 7,026; 6,287 y 5,587 % en el momento de las rupturas de las probetas ensayadas con relleno del 15 % de concentración, para los patrones triangular,

concéntrico y tri-hexagonal respectivamente. Se podría decir que estos valores mencionados arriba de esta investigación están por encima de los rangos indicados por Ruiz-Dominguez et al. (2019), quienes habían hecho un trabajo sobre el estudio de esfuerzo y deformación de piezas de Impresión 3D, en cuyo estudio han obtenido un valor mínimo de 4,24% y un valor máximo de 5,81% de deformación en sus respectivas probetas ensayadas.

Cabe destacar que el tipo de patrón de mallado en la impresión 3D mostró diferencias en las propiedades mecánicas del PLA, por tanto, podemos considerar que un polímero impreso en 3D ofrece distintos comportamientos mecánicos. Esto puede resultar muy importante a la hora de la aplicación del material, porque un mismo polímero impreso en 3D con una diferencia en el patrón de mallado dará como resultado diferencias en la resistencia mecánica del material. Por tanto, las impresiones 3D deberán tener en cuenta el tipo de patrón de mallado según la aplicación del polímero utilizado. Una característica del polímero impreso en 3D es que presenta propiedades mecánicas similares a una cerámica, poca o nula deformación plástica y una fractura frágil.

Para trabajos posteriores, se podrían realizar pruebas con diferentes porcentajes de relleno interno, por tanto, caracterizar, comparar y valorar la calidad de estos materiales para diversas aplicaciones. Así también, se podrían incluir otros parámetros tales como velocidad de impresión, temperatura de la boquilla (Hot-End), temperatura de la cama y, hasta el ángulo de impresión de la pieza respecto a un eje determinado. El desafío sería encontrar una combinación exacta para lograr resultados óptimos en la impresión de piezas en 3D. Por último, se podría estudiar la degradación de los filamentos poliméricos utilizados en las impresiones, para analizar la

influencia de la humedad y temperatura a la resistencia mecánica del material.

**Declaración de interés.** Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

## FUENTE DE FINANCIAMIENTO

Sin financiamiento externo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ruiz-Dominguez, G. A., Rivera-Landaverde, R. U., Orrantia-Daniel, G., Tellez-Moroyoqui, M. J. & Valenzuela Martínez, Á. A. (2019). Estudio de Esfuerzo y Deformación de Piezas de Impresión 3D. *Conciencia Tecnológica*, (57).
- Alvarez C., K. L., Lagos Cereceda, R. F. & Aizpun, M. (2016). Influencia del porcentaje de relleno en la resistencia mecánica en impresión 3D, por medio del método de Modelado por Deposición Fundida (FDM). *Ingeniare: Revista Chilena de Ingeniería*, 24(5), 17-24.
- Dickneider, T. A. (2019). *Petretec. La Tecnología De Dupont Para La Regeneración De Poliésteres*. Green Chemistry. Department of Chemistry, University of Scranton.
- Espada, O. F. & Nieto Sánchez, I. (2013). *Modelos de estudio 3D. Ventajas e inconvenientes*. Madrid. Departamento de Odontostomatología del Hospital San Rafael.
- Fombuena Borrás, V., Fenollar Gimeno, O. A. & Muñoz, N. M. (2016). *Caracterización de Materiales Poliméricos*. Valencia. Universidad Politécnica de Valencia.
- González Carbonell, R. A., Álvarez García, E. & Abreu González, K. (2008). Influencia de los Aditivos sobre las Propiedades Mecánicas de los Elastómeros. *Tecnología Química*, 28 (2), 26-34.
- Ibarra H., A. F., Cruel Restrepo, C. A. & Díaz Castaño, D. R. (2018). *Caracterización de las Propiedades Mecánicas de Probetas Fabricadas bajo la Técnica de Modelado por Deposición Fundida*. (Trabajo de Grado Ingeniería Aeronáutica). Bogotá. Facultad de Ingeniería.
- Lanza Sánchez, S. (2015). *Estudio del reciclaje de polímeros para la impresión 3D – Caracterización del PLA*. Universidad de Cantabria, 50 p.
- Molina O., J. V. (2016). *Caracterización de materiales termoplásticos de ABS y PLA semi-rígidos impresos en 3D con cinco mallados internos diferentes*. (Tesis de Maestría en Diseño, Producción y Automatización Industrial). Quito. Escuela Politécnica Nacional, 196 p.
- ASTM D638-14. Editado. *Norma Internacional de Métodos Estándar de Pruebas para las Propiedades de Tracción de los Plásticos*. (2015). Departamento de Defensa. Estados Unidos.

- Mott, R. L. (2009). *Resistencia de materiales*. 5ta ed. México. Pearson Education.
- Sáez, M. & Ariel, E. (2013). *Modificación de las Propiedades del Ácido Poliláctico*. Barcelona. Universidad Politécnica de Catalunya.

- Schebor, C. C. (2000). *Estudios sobre la transición vítrea y la estabilidad de biomateriales de baja humedad*. Buenos Aires. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.
- Velasco, M. A., Suárez, J. R. & Ardila, D. R. (2017). *Caracterización de propiedades mecánicas de piezas en ABS en función de parámetros del proceso de manufactura aditiva FDM*. Bogotá. Universidad Santo Tomás.