

Aplicación de materiales poliméricos compuestos en soportes ortopédicos

C.A. Alanís Hernández, L.A. Navarro Melchor

CMNRA Centro Mexicano de Neurorehabilitación Avanzada. Terapia Efectiva y funcional, Parral- Francisco Villa, 36724 Salamanca, Gto.

Universidad de Guanajuato, División de Ingenierías Campus Irapuato-Salamanca, Carretera Salamanca - Valle de Santiago Km. 3.5 + 1.8; Comunidad de Palo Blanco; Salamanca, Gto. México.

Universidad de Guanajuato, División de Ciencias e Ingenierías Campus León- Loma del Bosque #103, Lomas del Campestre, 37150 León de los Aldama, Gto.

ca.alanishernandez@ugto.mx

la.navarro@ugto.mx

Resumen

En este trabajo se plantea el estudio de las propiedades mecánicas del material PLA (ácido poli láctico) con el propósito futuro de realizar un prototipo de una ortesis HKAFO (*hip knee ankle foot orthosis*), con una impresora 3D. Por tal razón, se diseñó una probeta y se investigó la resistencia mecánica del material a utilizar. Se realizaron pruebas de compresión en una máquina universal a probetas de PLA. Se observó que al variar el porcentaje de relleno de impresión y el espesor, las propiedades mecánicas del PLA cambiaron. Con los datos obtenidos de los ensayos, se propuso la configuración más adecuada y eficiente para la aplicación.

Palabras clave: Resistencia Mecánica, Materiales Poliméricos y Manufactura.

Objetivos:

- ✓ Diseñar probetas de PLA para conocer sus propiedades mecánicas, con el propósito futuro de diseñar un soporte ortopédico HKAFO.
- ✓ Utilizando la norma ASTM D638-14 se realizaron las pruebas mecánicas del PLA.
- ✓ Involucrar a los estudiantes tanto de mecánica como de biomédica en problemas reales de la sociedad y la posibilidad de resolver estos problemas.

Antecedentes

Órtesis y Prótesis

El cuerpo humano en ocasiones necesita de la aplicación de una órtesis o de una prótesis. Para hacer una correcta interpretación de estos términos, a continuación, se describen:

La palabra órtesis deriva del griego Ortho, que significa rector o enderezar.

El término prótesis deriva del griego pros y significa añadir, colocar o sustituir. Por tanto, definimos cómo prótesis externa a aquel dispositivo que reemplaza parcial o totalmente un miembro ausente del cuerpo [1].

Ensayos en PLA

La Sociedad Estadounidense de Pruebas y Materiales (ASTM) [2], ha definido la fabricación aditiva (AM) como un método de unir materiales para producir objetos originados a partir de datos de modelos 3D, capa superpuesta sobre capa.

Es de suma importancia realizar los ensayos mecánicos para obtener las propiedades del material que se va utilizar en la impresora 3D, ya que hay una variedad de materiales que se pueden usar como es el PLA y el ABS (acrilonitrilo butadieno estireno). Las propiedades mecánicas del material impreso dependen de variables del proceso, tanto termo físicos y químicos, que van a dar lugar a piezas con diferentes propiedades dependiendo del método utilizado y de los parámetros

del proceso [3]. En la figura 1 se puede ver el funcionamiento del extrusor de la impresora con los principales parámetro de configuración que participan en la impresión 3D.

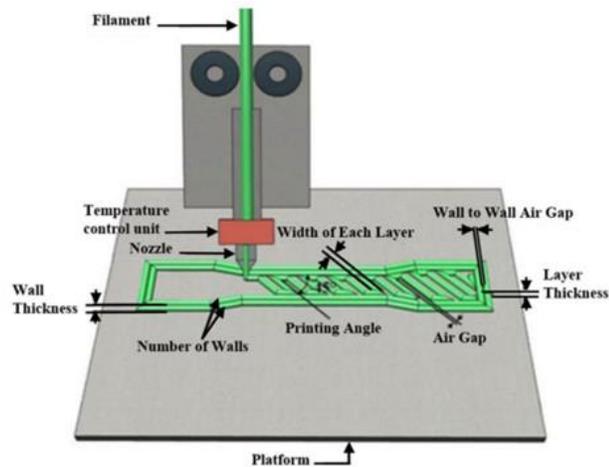


Figura 1. Parámetros en una impresora 3D.

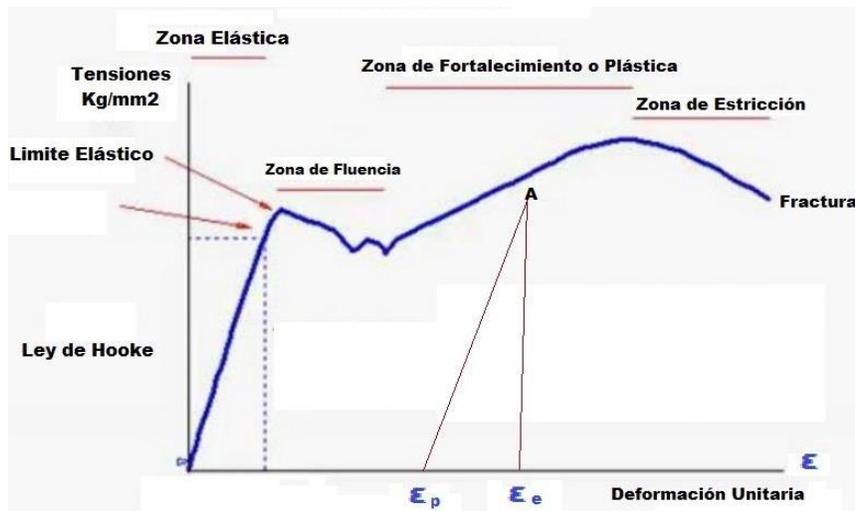


Figura 2. Comportamiento del PLA sometido a ensayos mecánicos..

De hecho, las piezas fabricadas por impresora 3D presentan distintas propiedades mecánicas frente a piezas macizas. Por lo tanto, los procedimientos de ensayo tradicionales no siempre son adecuados para determinar su comportamiento mecánico [4]. En este contexto, se requieren métodos que permitan relacionar las propiedades del material obtenido en una impresión 3D con los parámetros de fabricación y el diseño de la pieza, lo cual supone un gran reto.

La Figura 2 muestra el comportamiento de un material fabricado con PLA sometido a ensayos mecánicos. [4]. Para nuestra aplicación solo consideramos la primera zona hasta el limite elástico.

Introducción

Actualmente, hay una creciente demanda de dispositivos (órtesis y prótesis), para hacer frente a las diferentes necesidades que se presentan en pacientes con distintas lesiones o trastornos, que afectan su motricidad. En este escenario, este trabajo estudia las propiedades mecánicas del PLA, con el objetivo futuro de utilizarlo en una órtesis. Las propiedades mecánicas

se estudiaron utilizando unas probetas diseñadas y adecuadas para la maquina Universal. El proyecto se esta realizando en colaboración con la clínica de ortopedia CMNRA de Salamanca, Guanajuato y el Laboratorio de Ciencia de los Materiales de DICIS de la Universidad de Guanajuato.

PROBETA PARA PRUEBA MECÁNICA

Partiendo de las dimensiones de la norma ASTM D638-14 (Figura 2) y que las configuraciones serian respecto al cambio de espesor no mayor a 7 mm, las dimensiones a considerar son las del tipo I [2].

- ✓ Longitud de medición (L0) 50 mm que esta acotado dentro de L1
- ✓ Longitud de sujeción (L) 135mm
- ✓ Longitud de la parte estrecha paralela/diámetro interno (L1) 57 ± 0.5 mm
- ✓ Distancia entre secciones anchas paralelas (L2) 99.28mm
- ✓ Ancho de probeta en área de longitud de medición (B1) 13 mm
- ✓ Ancho de probeta en área de los extremos (B2) 19 mm

A continuación, se muestra en la figura 3, las siglas de las dimensiones de las probetas, así como sus valores, según la norma ASTM D838-14.

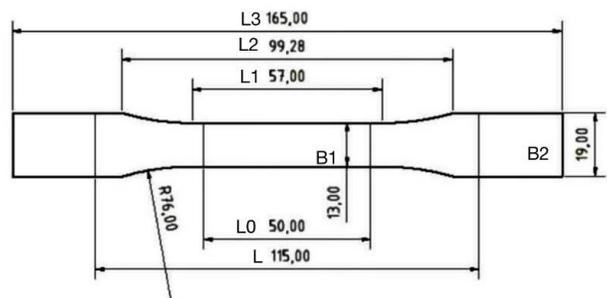


Figura 3. Dimensiones de la probeta que la norma ASTM D838-14 sugiere.

Tomando en cuenta lo recomendado por la norma, se diseñaron las probetas en SolidWorks. La Figura 4 muestra el diseño que utilizamos para imprimir el PLA.

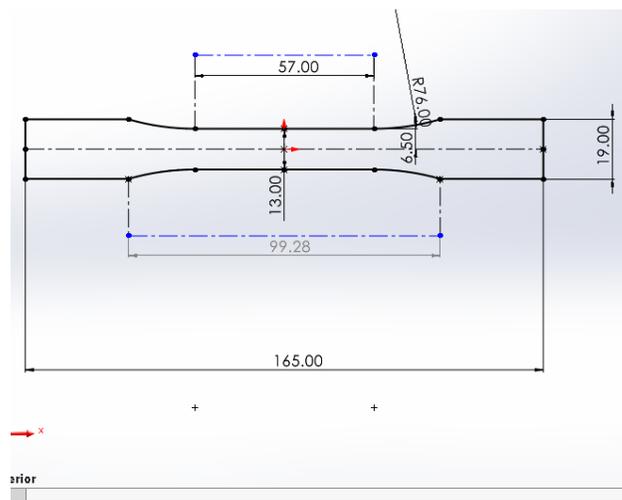


Figura 4. Vista superior de probeta diseñada en SolidWorks

Metodología

Se diseñaron probetas en SolidWorks con las dimensiones señaladas por la norma ASTM D638-14, se usó una impresora 3D MakerBot con la siguiente configuración de impresión: altura de capa de 0.3 mm, temperatura constante de 215°C y velocidad de 150 mm/s en PLA con un 75% de relleno y un 100% [3]. El espesor recomendado por la norma es de 3.2 mm, pero con el objetivo de obtener mas información del comportamiento mecánico de las probetas, se imprimieron

espesores de 2.5 mm y 5mm. Se midieron las probetas ya impresas con un Vernier (Tabla 1). En la Figura 5 se muestra la impresora donde se manufacturaron las probetas de PLA.

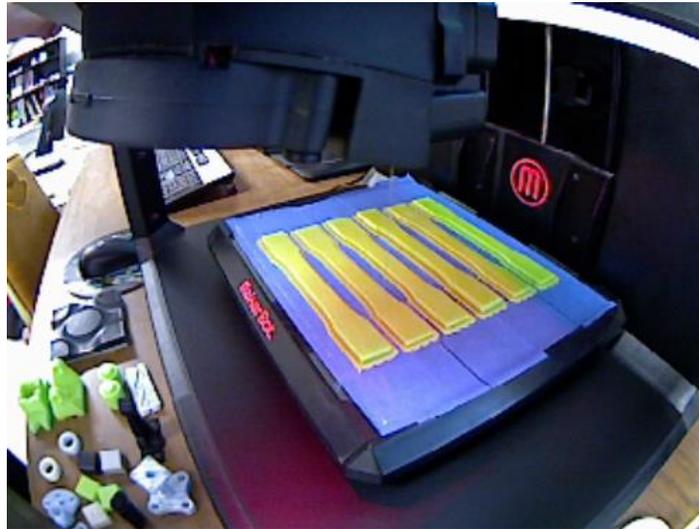


Figura 5. Impresión 3D de probetas de PLA.

Esesor	Medidas esperadas	Medidas obtenidas
2.5 mm	L3= 165 mm	161.2 mm
	B2=19 mm	21.25 mm
	B1=13 mm	13.15 mm
	L1=57 mm	57 mm
	L=115 mm	115 mm
3.2 mm	L3= 165 mm	156.2 mm
	B2=19 mm	20.2 mm
	B1=13 mm	12.2 mm
	L1=57 mm	57 mm
	L=115 mm	115 mm
5 mm	L3= 165 mm	164.2 mm
	B2=19 mm	19.2 mm
	B1=13 mm	14.2 mm
	L1=57 mm	57 mm
	L=115 mm	115 mm

Tabla 1. Comparación de las dimensiones de diseño contra las dimensiones obtenidas después de la impresión..

Para hacer las pruebas de resistencia a la compresión, se estableció una velocidad de 5mm/s y una carga máxima de 2500 N en la maquina universal Chatillon 1200 LF. En la Figura 6, se puede observar la maquina Universal utilizada para realizar los ensayos.



Figura 6. Prueba de compresión a 5mm/s con una carga límite de de 2500 N.

Resultados

A continuación, se mostrarán y describirán los principales resultados obtenidos. La figura 6 muestra el momento de fractura de una de las probetas con menor espesor, donde se muestra cómo por la carga de compresión, la dimensión menor se somete a una deformación ya no reversible. Al realizar los ensayos en las 5 muestras de 2.5 mm de espesor se obtuvieron diferencias en su comportamiento mecánico (Figura 8). A pesar de tener las mismas dimensiones (Tabla 1), la forma en que se distribuye el estrés mecánico y por defectos microscópicos del PLA que se dan al momento de imprimir, cambian las propiedades de mecánicas.



Figura 7. Fractura de probeta de 2.5 mm de espesor al 75% de relleno de impresión.



Figura 8. Plasticidad en probetas con las mismas dimensiones: espesor 2.5mm y relleno 100%.

La figura 9 muestra el comportamiento mecánico de las muestras con un espesor de 2.5 mm y relleno de 100%. Se puede observar en color azul como la probeta número 4 es la que resiste más con una carga de casi 100 N, que supera por 18.75 N a la muestra número 2 de color naranja.

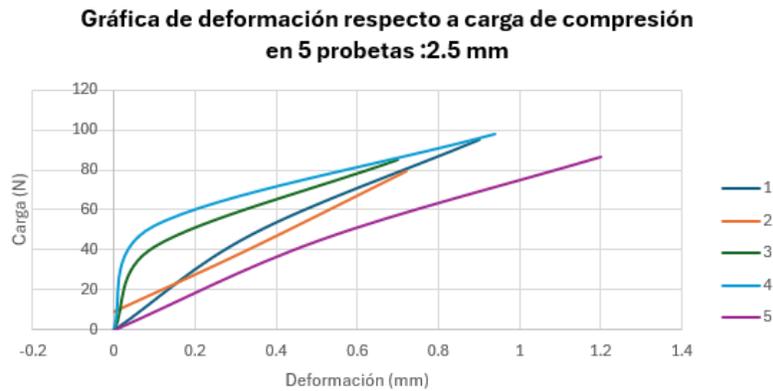


Figura 9. Gráfica de deformación de 5 muestras de 2.5 mm de espesor al 100% de relleno de PLA.

La figura 10 muestra el comportamiento general de las muestras con espesor de 2.5 mm y relleno al 100%. Se obtuvo esta grafica con el objetivo de comparar con los otros espesores que se ensayaron.

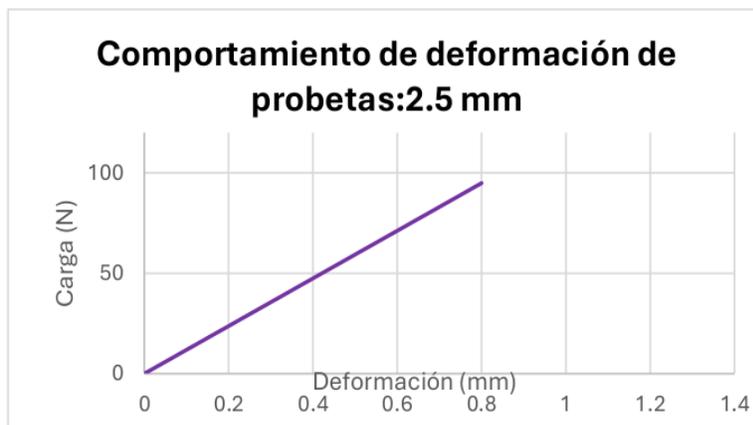


Figura 10. Gráfica del comportamiento promedio de 5 muestras de 2.5 mm de espesor al 100% de relleno de PLA.

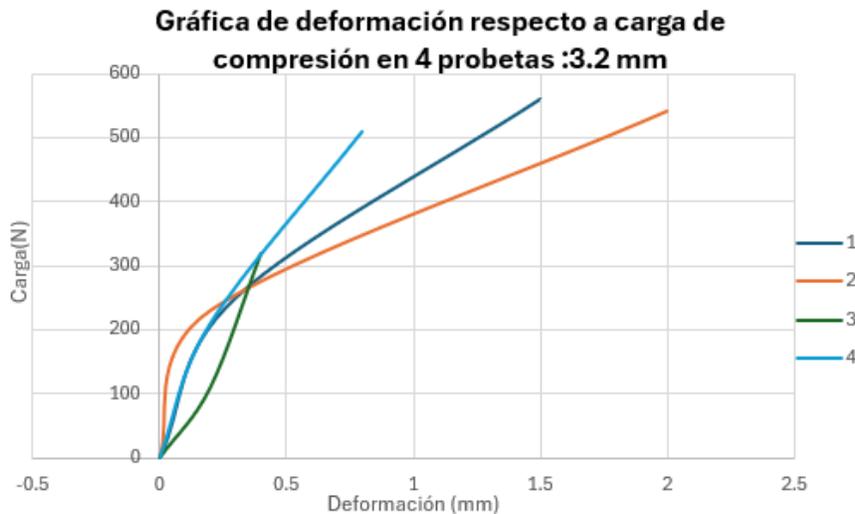


Figura 11. Gráfica de deformación de 4 muestras de 3.2 mm de espesor al 100% de relleno de PLA.

La Figura 11 muestra los resultados graficados de las 4 muestras de espesor 3.2 mm y 100% de relleno. De color naranja tenemos la muestra 2 que es la que tiene un máximo de carga de 560N; Si comparamos las muestra 1 y la 2 tienen un comportamiento parecido, ya que tienen una diferencia de carga menor a 20 N que no alteró aparentemente el comportamiento del material; solo que la muestra 2 si tuvo una deformación de 0.5 mm mayor antes de llegar a su límite elástico. La figura 12 muestra el comportamiento general de las muestras con espesor de 3.2 mm de espesor y 100 % de relleno. La figura 13 es el gráfico de las probetas de 5 mm de espesor al 100% de relleno, la cual nos muestra un mayor límite elástico que en los demás espesores. El comportamiento general de las probetas de 5 mm de espesor y un relleno al 100% (ver Figura 14) muestra un máximo relevante ya comparándolo con los resultados anteriores. La Figura 15 se realizó con probetas con un relleno de 75% de PLA, al someter a carga de compresión. Es evidente la mayor resistencia a la carga de la probeta de 5 mm. Aunque fueron menos muestras con las que hicieron ensayos con este porcentaje de relleno, el comportamiento coincide en que la de 5mm de espesor, tiene más características para resistir el estrés mecánico a carga de compresión.

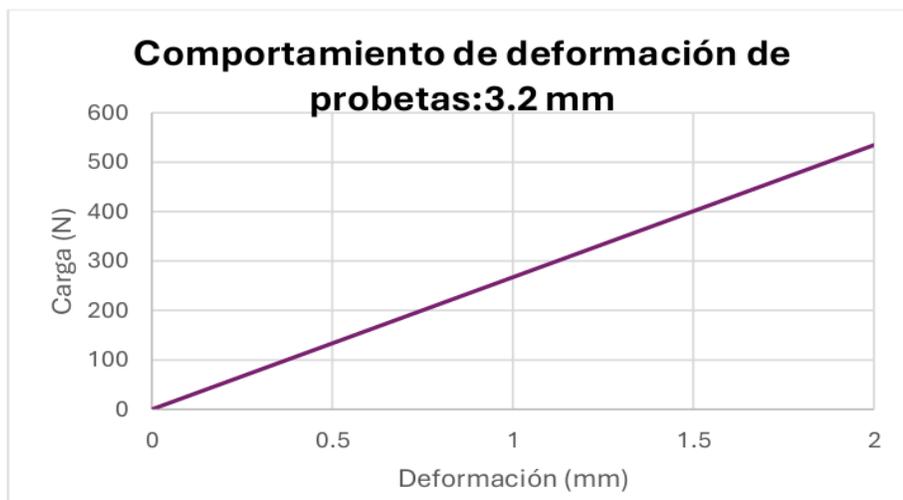


Figura 12. Gráfica del comportamiento promedio de 4 muestras de 3.2 mm de espesor al 100% de relleno de PLA.

Gráfica de deformación respecto a carga de compresión en 4 probetas :5 mm

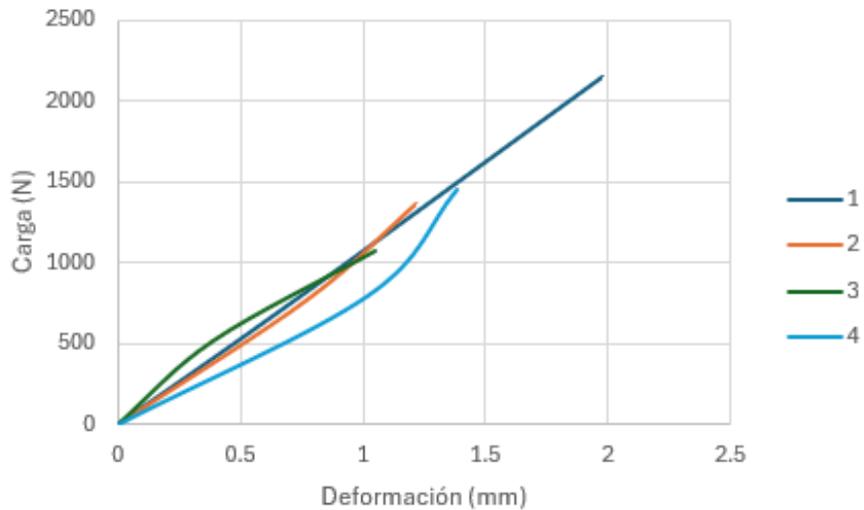


Figura 13: Gráfica de deformación de 4 muestras de 5 mm de espesor al 100% de relleno de PLA.

Comportamiento de deformación de probetas:5 mm

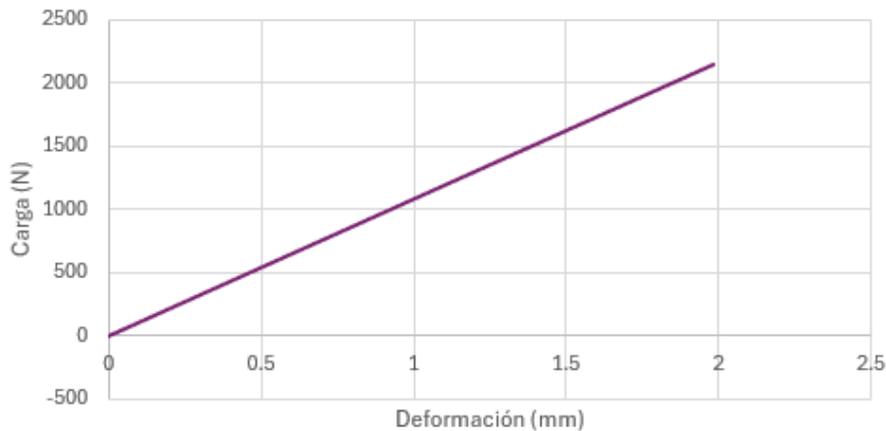


Figura 14: Gráfica del comportamiento promedio de 5 muestras de 5 mm de espesor al 100% de relleno de PLA.

La Tabla 2, muestra la fuerza que resistieron las probetas hasta el límite elástico de las probetas al 100% de relleno. Con el objetivo de comparar se calcularon el promedio, máximo, mínimo y desviación estándar. Se puede observar que las probetas que resistieron más fueron las de 5 mm, sin embargo fueron las que tuvieron mayor desviación estándar. En la Tabla 3 se muestra el máximo de carga de compresión en probetas con diferentes espesores e impresas al 75% de relleno.

Gráfica de deformación respecto a carga de compresión (75% relleno de impresión)

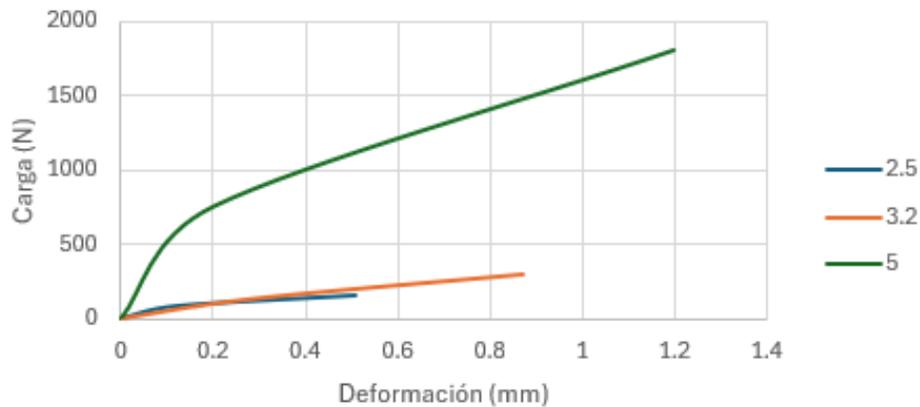


Figura 15: Gráfica de deformación de probeta de 2.5 ,3.2 y 5 mm de espesor, al 75% de relleno de PLA.

Probetas	2.5 mm	3.2mm	5mm
01	95.35N	No datos	2154.6 N
02	79.21 N	560 N	1362.2 N
03	85.05 N	541.84 N	1076.7 N
04	97.96 N	318 N	No datos
05	86.68 N	510 N	1455 N
Máximo	97.96 N	560 N	2154.6 N
Mínimo	79.21 N	318 N	1076.7 N
Promedio	88.84 N	482.46 N	1512.12 N
Desv.Std.	7.7 N	111.6N	457.57 N

Tabla 2. Comparación de los datos de carga, de los tres espesores utilizados en las probetas al 100 % de relleno.

Probetas	2.5 mm	3.2 mm	5 mm
Máximo	166.54 N	295.81 N	1800 N

Tabla 3: Comparación de los datos de carga, de los tres espesores utilizados en las probetas al 75 % de relleno.

Conclusión

En esta investigación se estudió la influencia del espesor en el material polimérico PLA, con la intención de aplicar este conocimiento, en la manufactura de un soporte ortopédico HKAFO mediante impresión 3D.

Los ensayos mecánicos evidencian que la resistencia a la compresión del PLA varía significativamente con el espesor y porcentaje de relleno de impresión, lo que permite optimizar el diseño del prototipo para garantizar su eficacia y tiempo de uso de acuerdo a la necesidad del paciente.

En trabajos futuros, se estudiará la influencia del ancho de la probeta, para tener información y aplicarlo en el diseño de la órtesis.

Debido a la variación estándar de las propiedades mecánicas, en trabajos futuros aumentaremos el número de muestras.

Se implementará el estudio al ABS, ya que también es un candidato como material para el diseño de la órtesis.

Con los datos obtenidos en este trabajo, y tomando en cuenta un peso del paciente de 60 kg, el espesor de 5 mm. sería el adecuado para el diseño de nuestra órtesis.

Bibliografía

- [1] ABLE HUMAN MOTION. (2024) REHABILITACIÓN ROBÓTICA ACCESIBLE PARA TODAS LAS CLÍNICAS. Recuperado de: <https://www.ablehumanmotion.com/>
- [2] UNE-EN ISO 17296-3:2017, "Fabricación aditiva. Principios generales. Parte 3: Características principales y métodos de ensayo correspondientes", Asociación Española de Normalización y Certificación, Madrid
- [3] (Sabbah, A., Romanos, G., & Delgado-Ruiz, R. (2021). Impact of Layer Thickness and Storage Time on the Properties of 3D-Printed Dental Dies. *Materials*, 14(3), 509. doi:10.3390/ma14030509
- [4] Métodos de caracterización mejor adaptados al comportamiento del PLA impreso en FDM. Artículo Jordi Bonada-Bo, Magdalena Pastor-Artigues *Materiales* 2020,; doi:10.3390/ma13010015 Ingeniería (ETSEIB), Universitat Politècnica de Catalunya–Barcelona Tech (UPC), 08028 Barcelona, España.