

# Comportamiento en fricción y desgaste de ácido poliláctico (PLA) con distintos patrones y densidades de relleno.

Friction and wear behavior of polylactic acid (PLA) with different fill patterns and densities.

Presentación: 05/09/2023

## **Pablo A. Rojas**

Lab. de Ensayos de Desgaste y Fricción Sólida (LEDFS) - Universidad Tecnológica Nacional Fac. Regional Haedo, Argentina.  
[projas262@alumnos.frh.utn.edu.ar](mailto:projas262@alumnos.frh.utn.edu.ar)

## **Gonzalo D. Ramos**

Lab. de Ensayos de Desgaste y Fricción Sólida (LEDFS) - Universidad Tecnológica Nacional Fac. Regional Haedo, Argentina.  
[gramos950@alumnos.frh.utn.edu.ar](mailto:gramos950@alumnos.frh.utn.edu.ar)

## **Jeremías E. Angiano**

Lab. de Ensayos de Desgaste y Fricción Sólida (LEDFS) - Universidad Tecnológica Nacional Fac. Regional Haedo, Argentina.  
[jangiano846@alumnos.frh.utn.edu.ar](mailto:jangiano846@alumnos.frh.utn.edu.ar)

## **Alejo N. Angiano**

Lab. de Ensayos de Desgaste y Fricción Sólida (LEDFS) - Universidad Tecnológica Nacional Fac. Regional Haedo, Argentina.  
[Aangiano355@alumnos.frh.utn.edu.ar](mailto:Aangiano355@alumnos.frh.utn.edu.ar)

## **León A. Ferreyra**

Lab. de Ensayos de Desgaste y Fricción Sólida (LEDFS) - Universidad Tecnológica Nacional Fac. Regional Haedo, Argentina.  
[afferreyra966@alumnos.frh.utn.edu.ar](mailto:afferreyra966@alumnos.frh.utn.edu.ar)

## **Vitaly Martynenko**

Lab. de Ensayos de Desgaste y Fricción Sólida (LEDFS) - Universidad Tecnológica Nacional Fac. Regional Haedo, Argentina.  
Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Av. General Paz 5445, San Martín, Buenos Aires, Argentina.  
[vmartynenko@inti.gob.ar](mailto:vmartynenko@inti.gob.ar)

## **Maximiliano Zanin**

Lab. de Ensayos de Desgaste y Fricción Sólida (LEDFS) - Universidad Tecnológica Nacional Fac. Regional Haedo, Argentina.  
Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas para la Defensa, J. B. de la Salle 4397, Villa Martelli, Buenos Aires, Argentina.  
[mzanin@frh.utn.edu.ar](mailto:mzanin@frh.utn.edu.ar)

## **Resumen**

En los últimos años las piezas construidas por técnicas de modelado por deposición fundida (FDM) con ácido poliláctico (PLA) han sido ampliamente utilizadas para diversas aplicaciones. En tecnologías del transporte, este material y técnicas se emplean para la elaboración de componentes estructurales y mecánicos de prototipos vehiculares a escala. Las propiedades tribológicas de las piezas manufacturadas por estas técnicas no solo dependen del material, sino también del tipo de densidad y patrón de relleno. El presente trabajo tiene como objetivo comparar las características en desgaste y fricción de pines de PLA con dos patrones y tres diferentes densidades de rellenos sobre discos abrasivos en ensayos Pin-on-Disk. Los ensayos se realizaron a velocidad de 0,033 m/s con carga de 40 N durante 1800 s. Se ha observado que la densidad de deposición tiene mayor influencia

en parámetros tribológicos que el patrón de relleno. Se observa una clara tendencia de reducción de la tasa de desgaste con el aumento de la densidad de relleno. Los pines con densidad de relleno de 100% presentan una reducción de la tasa de desgaste de un 44% respecto de los pines con un 50% de densidad de relleno en ensayos con papel abrasivo (grit 150). En los ensayos con papeles abrasivos más finos (grit 600) también se observa una reducción del desgaste con el aumento de la densidad de relleno. El comportamiento en fricción permanece prácticamente estable indistintamente de patrón y densidad de relleno para un mismo papel abrasivo en la contraparte, mostrando un coeficiente de fricción promedio en el periodo estable de 0,6.

Palabras clave: ácido poliláctico, densidad de relleno, patrón de relleno, desgaste, Pin on disk.

## Abstract

In recent years, parts built by fused deposition modeling (FDM) techniques with polylactic acid (PLA) have been widely used for various applications. In transportation technologies, these materials and techniques are used to produce structural and mechanical components of scale vehicle prototypes. The tribological properties of parts manufactured by these techniques not only depend on the material but also on the type of density and filling pattern. The objective of this work is to compare the wear and friction characteristics of PLA pins with two patterns and three different filler densities on abrasive discs in Pin-on-Disk tests. The tests were carried out at a speed of 0.033 m/s with a load of 40 N for 1800 s. It has been observed that the deposition density has a greater influence on tribological parameters than the filling pattern. A clear trend of reduced wear rate is observed with increasing filling density. Pins with 100% filling density show a reduction in wear rate of 44% compared to pins with 50% filling density in tests with abrasive paper (grit 150). In tests with finer abrasive papers (grit 600), a reduction in wear is also observed with increasing filler density. The friction behavior remains practically stable regardless of pattern and filling density for the same abrasive paper on the counterpart, showing an average friction coefficient in the stable period of 0.6.

Keywords: polylactic acid, fill density, fill pattern, wear, Pin on disk.

## Introducción

Los componentes mecánicos de los prototipos a escala de vehículos de transporte utilizan piezas elaboradas por manufactura aditiva de distintos materiales poliméricos por su relativa facilidad de fabricación. Estos procesos de bajo costo poseen la capacidad de crear partes de mecanismos y dispositivos, a partir de diseños geométricos tridimensionales con suficiente confiabilidad, calidad y baja cantidad de material residual. Las bajas temperaturas de procesamiento de los materiales poliméricos hacen de la manufactura aditiva una de las tecnologías de prototipado más versátiles.

La literatura abierta del tema ha demostrado que la temperatura, la velocidad de impresión, el patrón de relleno e incluso el color del material influyen las propiedades mecánicas y tribológicas (Renganathan, S., 2022), (Ando, M., et al, 2021), (Aziz, R. et al, 2020), (Akhoundi, B. & Behraves, A. 2019), (Babagowda, et al, 2018).

Chacon et al, (2017) estudiaron el efecto de la velocidad, temperatura y orientación de impresión tridimensional sobre las propiedades mecánicas, demostrando que la orientación de la deposición del filamento fundido de manera longitudinal a la probeta afecta a la resistencia a la tracción, rigidez y ductilidad. En lo que respecta a la velocidad de deposición de la construcción de las probetas, reportaron una disminución de la ductilidad a medida que aumenta el espesor de la capa. Recientes investigaciones revelaron que las arquitecturas más abiertas requieren mayor temperatura para la cohesión de los filamentos depositados teniendo una marcada influencia en el comportamiento tribológico. Durante la construcción de muestras con patrones de relleno con una menor distancia recorrida, experimentan una menor caída de temperatura, logrando una resistente soldadura de contacto. Por lo tanto, cada patrón de relleno mostrará una estabilidad en fricción con dependencia de la velocidad de construcción de la muestra (Renganathan, S., 2022). Aziz et al (2020) revelaron, para condiciones de deslizamiento en seco que los patrones de relleno poseen una menor capacidad de atrapar debris poliméricas y forman un film de transferencia más estable el cual mantiene un bajo coeficiente de fricción (Aziz,

R. et al, 2020). Por otra parte, Tomanik y colaboradores mencionan que el rendimiento tribológico presenta mejoras significativas entre superficies con distintas texturas superficiales en condiciones lubricadas infiriendo que las cavidades funcionan como microdepósitos de lubricantes, reduciendo de este modo el desgaste y la fricción (Tomanik, E. et al, 2013). Otros autores reportaron que no existen diferencias significativas de las propiedades tribológicas en ensayos Pin-on-Disk en seco para muestras de PLA ensayadas con patrones de rellenos horizontales y verticales respecto del plano de deslizamiento (Ando, M., et al, 2021). En base a estos antecedentes, el objetivo de este trabajo es evaluar el comportamiento en fricción y el desgaste de arquitecturas de PLA con dos diferentes patrones de relleno y tres distintas densidades de relleno sobre discos abrasivos comerciales, en ensayos Pin-on-Disk no lubricados.

## Materiales y Métodos

La impresión de los pines se realizó en una impresora Magma Hellboot SE con PLA color azul, diámetro 1,75 mm, con las características de impresión indicadas en la Tabla 1. Se realizaron muestras con dos patrones de relleno como se indica la Figura 1, con densidades de relleno de 50%, 75% y 100%. La velocidad de impresión utilizada fue de 60 mm/s, obteniendo conjuntos de 3 pines de cada patrón de relleno en un tiempo de  $15 \pm 1$  minutos.

Parámetros de impresión	
Altura de capa	0.2 mm
Altura de capa inicial	0.1 mm
Ancho de boquilla	0.4 mm
Espesor de pared	0.8 mm
Capas inferiores	0
Velocidad de impresión	60 mm/s
Temperatura en el extrusor	190° C
Temperatura de la cama de impresión	60° C
Rendimiento de refrigeración	100%

Tabla 1: Parámetros de impresión de las muestras (Pin) de PLA.

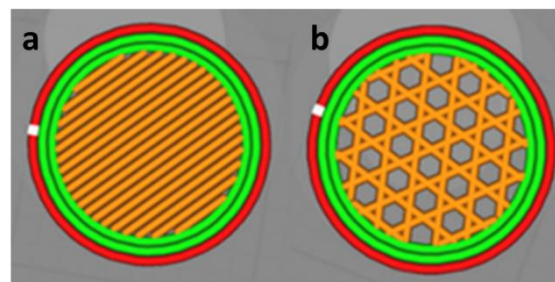


Figura 1: Probetas con distintos patrones de relleno: a) Lineal, b) Trihexagonal.

Los discos abrasivos fueron elaborados pegando papel abrasivo comercial sobre un disco de acero con cinta doble faz de alta adherencia. Se utilizó papel abrasivo de óxido de aluminio, grit 150 y grit 600, marca AA modelos AX-51 y AX-52 respectivamente. Los ensayos de desgaste y evaluación del comportamiento en fricción fueron realizados en un tribómetro Pin-on-Disk basado en norma ASTM G99-17 (2017) con adquisidor de datos, construido en el laboratorio LEDFS – UTN FRH, con 40 N de carga, velocidad de 0,033 m/s y distancia de deslizamiento de 60 m. Los ensayos se realizaron a temperatura  $20 \pm 2^\circ$  C y humedad relativa  $50 \pm 10\%$ . Las muestras fueron pesadas antes y después de cada ensayo, para poder determinar el desgaste en términos de pérdida de peso. Para el pesado de las muestras se utilizó una balanza electrónica marca RADWAG, mod. AS220-R2, 0,1 mg de lectura mínima. En la Figura 2 se muestra un esquema de la configuración utilizada en los ensayos Pin-on-Disk, indicando las partes que conforman el par tribológico (Pin-Disco).

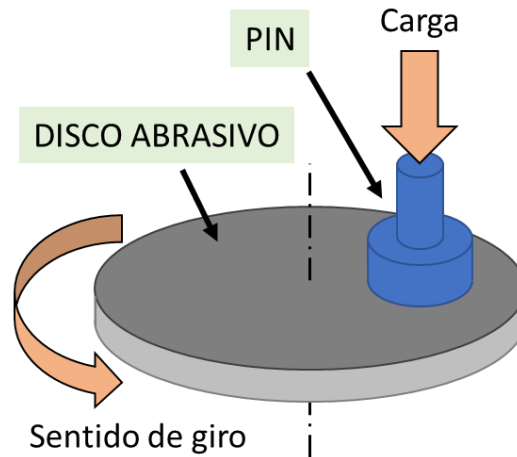


Figura 2: Esquema y detalles de la configuración Pin-on-Disk

## Resultados y discusión

En todos los ensayos realizados con papel abrasivo 150, indistintamente de la densidad de relleno, no se observaron diferencias significativas en el comportamiento en fricción. El running-in evidenció crestas prematuras de COF en aquellas muestras donde la densidad de relleno fue 100%. A medida que se disminuye la densidad de relleno se observa una reducción del valor máximo estabilizándose en su totalidad después de los 300 segundos en un COF estable con valores de  $0,6 \pm 0,02$  (Fig. 3.a y 3.c).

Por otra parte, los ensayos realizados sobre discos con papel abrasivos 600 evidenciaron mayores alteraciones del COF. Las muestras realizadas con patrones de relleno lineal y con densidades de 75 y 100%, mostraron un COF promedio de  $0,62 \pm 0,02$  con picos y valles más pronunciados. Se presume que estas alteraciones se deban a una irregular y poco estable formación de film de transferencia en la primera mitad del ensayo. Esto también fue observado en la muestra con 50% de densidad de relleno, mostrando un descenso errático del COF hasta valores de 0,55. La tendencia a estabilización del COF se observó a los 300 s en todos los patrones de relleno (Fig. 3.b).

Las muestras de patrón de relleno trihexagonal mostraron un comportamiento en fricción estable para las densidades de relleno de 50 y 75%, mientras que las de 100% revelaron mayor amplitud de oscilación del COF con un incremento hasta valores de  $0,64 \pm 0,04$ . La estabilización del COF se produjo a los 200 s para las muestras con 75% de densidad de relleno, y a los 900 s para las muestras con un 50% y 100% (Fig. 3.d). Estas alteraciones concuerdan según lo reportado por Mohamed y colaboradores para ABS, indicando que el COF se ve afectado por el espaciado de los filamentos, grosor de la capa, ángulo y la orientación de la construcción (Mohamed, O. A. et al, 2017).

El desgaste fue medido en términos de pérdida de peso. Se observó que las muestras de patrón de relleno lineal ensayadas contra papel abrasivo 150, muestran una tendencia de reducción del desgaste a medida que se incrementa la densidad de relleno. Las muestras con una 100% de relleno exhiben un 44% menor de desgaste respecto de las elaboradas con un 50% de relleno (Fig. 4). Evidentemente las muestras de densidad de relleno máximo desprenden menor cantidad material por presentar una mayor cohesión en la soldadura entre los filamentos al momento de su elaboración, de acuerdo con lo expresado por Renganathan et al (2022). Esta tendencia de disminución del desgaste con el aumento de densidad de relleno se repite en el mismo patrón de relleno cuando se ensayaron con papel abrasivo 600. El desgaste observado en los ensayos con papel abrasivo 600 manifestó una reducción del desgaste de hasta un 95% comparado con los ensayos realizados con papel abrasivo 150 (Fig. 5).

Para las condiciones ensayadas, no se ha encontrado diferencias significativas en el comportamiento en fricción y pérdida de peso (desgaste) respecto del ángulo entre la dirección tangencial de giro del disco abrasivo y la dirección de impresión de los pines. Esto es prácticamente coincidente con lo reportado por Hanon y

colaboradores (Hanon et al, 2020). Sin embargo, algunas investigaciones en compuestos laminados sugieren diferencias en el comportamiento tribológico según la orientación del laminado (El-Tayeb et al, 1996).

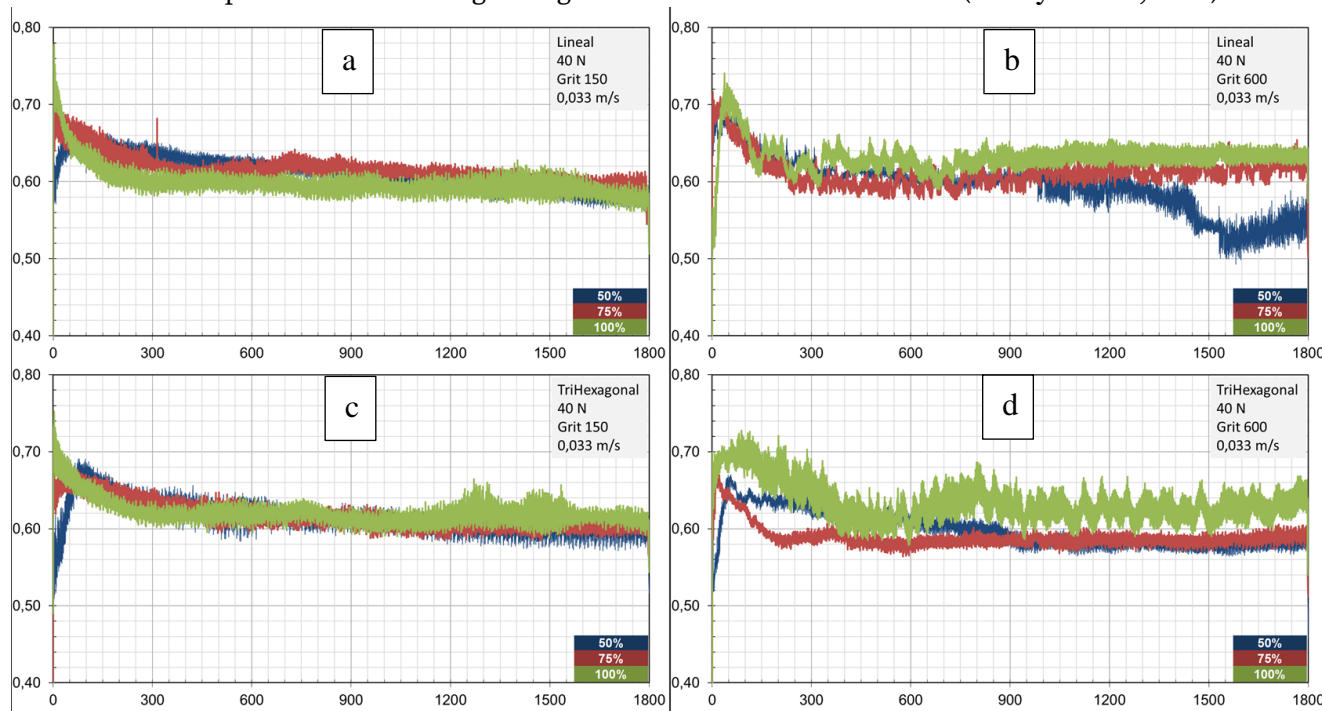


Figura 3: Comportamiento en fricción de PLA con patrón de relleno a) y b) lineal contra papel abrasivo 150 y 600, c) y d) trihexagonal contra papel abrasivo 150 y 600

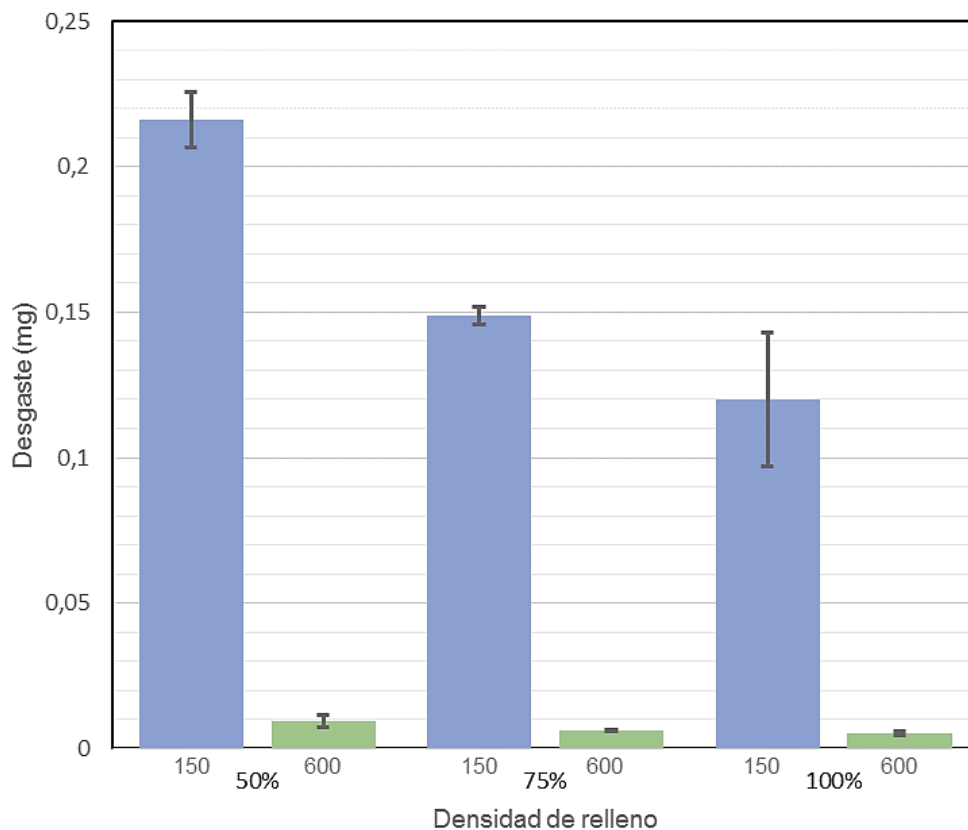


Figura 4: Desgaste (en término de diferencia de peso) para el patrón de relleno lineal contra discos con papel abrasivo 150 (celeste) y 600 (verde).

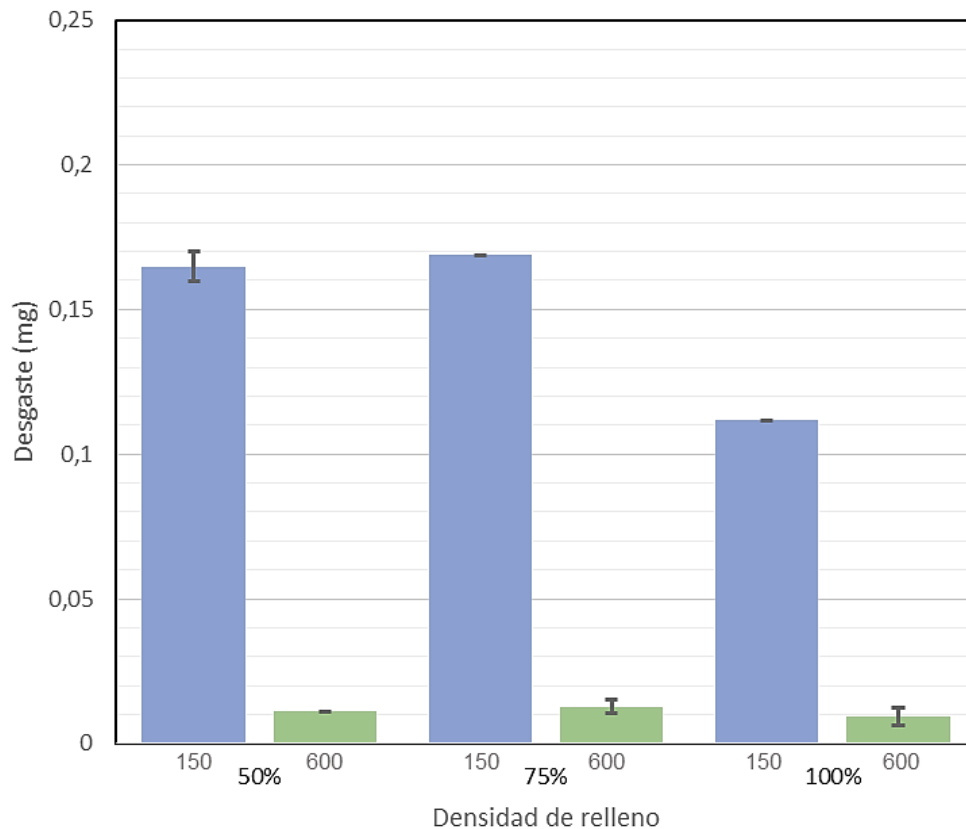


Figura 5: Desgaste (en término de diferencia de peso) para el patrón de relleno trihexagonal contra discos con papel abrasivo 150 (celeste) y 600 (verde).

## Conclusiones

Se realizaron ensayos para la determinación del comportamiento en fricción y desgaste para pines construidos en PLA con dos patrones diferentes (Lineal y Trihexagonal) obtenidos por medio de impresión 3D sobre papel abrasivo 150 y 600 en ensayos Pin-on-Disc. De los resultados obtenidos se puede concluir lo siguiente:

El comportamiento en fricción es más estable en ensayos con papel abrasivo 150 comparados contra los ensayos realizados con papel abrasivo 600. Salvo la muestra de patrón lineal con 50% de densidad de relleno sobre papel abrasivo 600, todas mostraron un COF que oscila desde 0,55 hasta 0,65.

El desgaste es menor con papel abrasivo 600. Se observa una tendencia de disminución del desgaste con el aumento de la densidad de relleno.

En trabajos a futuros se ampliará la cantidad de ensayos para determinar el rol del tamaño de grano del papel abrasivo sobre el comportamiento tribológico y su influencia sobre la densidad de relleno.

## Agradecimientos

Los autores agradecen la desinteresada colaboración de Selene Cancelare por su colaboración y orientación en búsqueda bibliográfica sobre el tema. También agradecen a la colaboración de Camila De Antoni, Luciano Quiroga y Ezequiel costa por su participación en los ensayos y caracterización de las muestras.

## Referencias

Ando, M., Birosz, M., Gehlen, G. D. S., Neis, P. D., Ferreira, N. F., & Sukumaran, J. (2021). Surface plastic flow of three-dimensional printed polylactic acid in the tribological study of surface patterned polymer. *Measurement Science and Technology*, 33(2), 024001.

Akhoundi, B., & Behraves, A. H. (2019). Effect of filling pattern on the tensile and flexural mechanical properties of FDM 3D printed products. *Experimental Mechanics*, 59, 883-897.

ASTM G99-17. Standard Test Method For Wear Testing With A Pin-On-Disk Apparatus. ASTM International, Pennsylvania, U.S. 2017.

Aziz, R., Haq, M. I. U., & Raina, A. (2020). Effect of surface texturing on friction behaviour of 3D printed polylactic acid (PLA). *Polymer Testing*, 85, 106434.

Babagowda, Kadadevara Math, R. S., Goutham, R., & Srinivas Prasad, K. R. (2018, February). Study of Effects on Mechanical Properties of PLA Filament which is blended with Recycled PLA Materials. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 310, p. 012103). IOP Publishing.

Chacón, J. M., Caminero, M. A., García-Plaza, E., & Núñez, P. J. (2017). Additive manufacturing of PLA structures using fused deposition modelling: Effect of process parameters on mechanical properties and their optimal selection. *Materials & Design*, 124, 143-157.

El-Tayeb, N. S. M., & Mostafa, I. M. (1996). The effect of laminate orientations on friction and wear mechanisms of glass reinforced polyester composite. *Wear*, 195(1-2), 186–191. doi:10.1016/0043-1648(95)06849-x

Hanon, M. M., Alshammas, Y., & Zsidai, L. (2020). Effect of print orientation and bronze existence on tribological and mechanical properties of 3D-printed bronze/PLA composite. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. doi:10.1007/s00170-020-05391-x

Mohamed, O. A., Masood, S. H., & Bhowmik, J. L. (2017). A parametric investigation of the friction performance of PC-ABS parts processed by FDM additive manufacturing process. *Polymers for Advanced Technologies*, 28(12), 1911-1918.

Renganathan, S. (2022). Effect of fill pattern and printing speed on friction characteristics of FDM printed polylactic acid polymer. *Advances in Materials and Processing Technologies*, 8(sup3), 1583-1592.

Tomanik, E., Profito, F. J., & Zachariadis, D. C. (2013). Modelling the hydrodynamic support of cylinder bore and piston rings with laser textured surfaces. *Tribology international*, 59, 90-96.