



## CARACTERIZACIÓN TRIBOLÓGICA DE ESTRUCTURAS DE IMPRESIÓN 3D EN ÁCIDO POLILÁCTICO SOBRE DISCOS ABRASIVOS

L. G. Quiroga<sup>(1)</sup>, C. De Antoni<sup>(1)</sup>, E. O. Costa<sup>(1)</sup>, L. A. Ferreira<sup>(1)</sup>, S. Cancellare<sup>(1)</sup>,  
V. Martynenko<sup>(1, 3)</sup>, M. Zanin<sup>(1, 2)</sup>

(1) LEDFS – Lab. de Ensayos de Desgaste y Fricción Sólida, UTN, Facultad Regional Haedo, París 532, Haedo, Buenos Aires, Argentina.

(2) División Radar Láser, Depto. de Inv.s en Láseres y sus aplicaciones, CITEDEF, J. B. de la Salle 4397, Villa Martelli, Buenos Aires, Argentina.

(3) Instituto Nacional de Tecnología Industrial - INTI, Av. General Paz 5445, San Martín, Buenos Aires, Argentina.

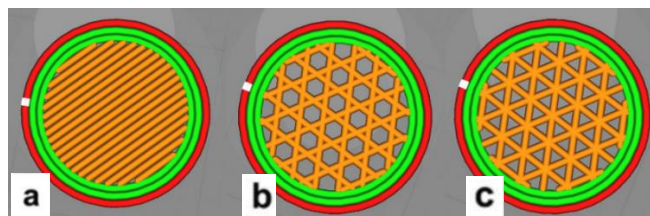
\*Correo Electrónico (autor de contacto): [lquiroga235@alumnos.frh.utn.edu.ar](mailto:lquiroga235@alumnos.frh.utn.edu.ar)

**Tópico:** T2 Polímeros. **Categoría:** C1 Trabajos realizados por uno o más estudiantes de grado.

En los últimos años las piezas construidas por técnicas de modelado por deposición fundida (FDM) en PLA (PoliLactic Acid) son ampliamente utilizadas en variadas aplicaciones. Las propiedades tribológicas de las piezas elaboradas por estas técnicas no solo dependen del material, sino también del patrón de relleno. El presente trabajo tiene como objetivo investigar las características en desgaste y fricción de pines construidos en PLA sobre discos abrasivos en ensayos Pin-on-Disc, basados en norma ASTM G99. Se ha observado que la densidad de deposición tiene mayor influencia en parámetros tribológicos que el patrón de relleno.

En la última década se ha reportado un incremento en la construcción de partes y componentes de dispositivos por tecnologías de manufactura aditiva debido al bajo costo de fabricación, favorecido por la elaboración de piezas de relativa complejidad geométrica y a un bajo porcentaje de descarte. Las tecnologías de deposición fundida más versátiles utilizan materiales poliméricos de baja temperatura de procesamiento. Recientes investigaciones han demostrado que la temperatura, velocidad de impresión, patrón de relleno e incluso el color del material afectan a las propiedades mecánicas y tribológicas [1-3]. Es sabido que el rendimiento tribológico presenta mejoras significativas entre las superficies con distintas texturas superficiales en condiciones lubricadas, permitiendo que las cavidades sean microdepósitos de lubricantes, reduciendo de este modo el desgaste y la fricción [4]. Renganathan reportó que, cada patrón de relleno muestra una estabilidad en fricción con dependencia de la velocidad de deposición de filamento en la construcción de las muestras. Asimismo, sugieren que las arquitecturas más abiertas requieren mayor temperatura para la cohesión de los filamentos depositados, permitiendo un comportamiento tribológico más estable. Los patrones de relleno con una menor distancia recorrida para su construcción experimentan una menor caída de temperatura logrando una soldadura de contacto fuerte [1]. Ando y colaboradores reportaron que no hay diferencia significativa de las propiedades tribológicas en ensayos Pin-on-Disc en seco para muestras de PLA ensayadas con patrones de rellenos horizontales y verticales respecto del plano de deslizamiento [2]. Otras investigaciones reportaron que, para condiciones de deslizamiento en seco para distintos patrones de relleno la arquitectura con menor capacidad de anclar partículas de desgaste, forma un film de transferencia más estable manteniendo un bajo coeficiente de fricción [3].

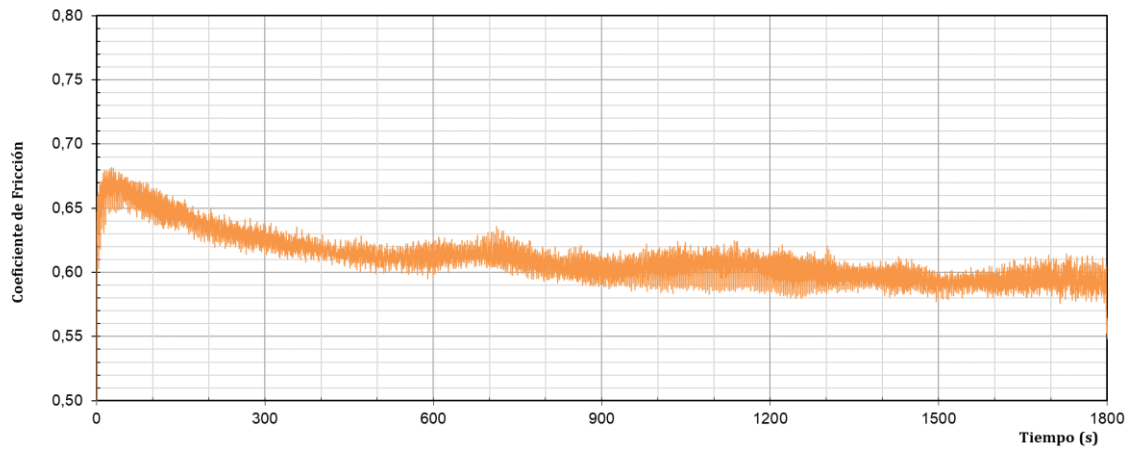
En base a estos antecedentes, se realizaron ensayos de desgaste de probetas construidas con PLA por técnicas FDM con distintos patrones y densidades de rellenos (Figura 1) contra discos abrasivos grit 150, en un tribómetro Pin-on-Disc, basados en normas ASTM G99 [5], con carga de 40 N a 20 rpm, durante 30 minutos.



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

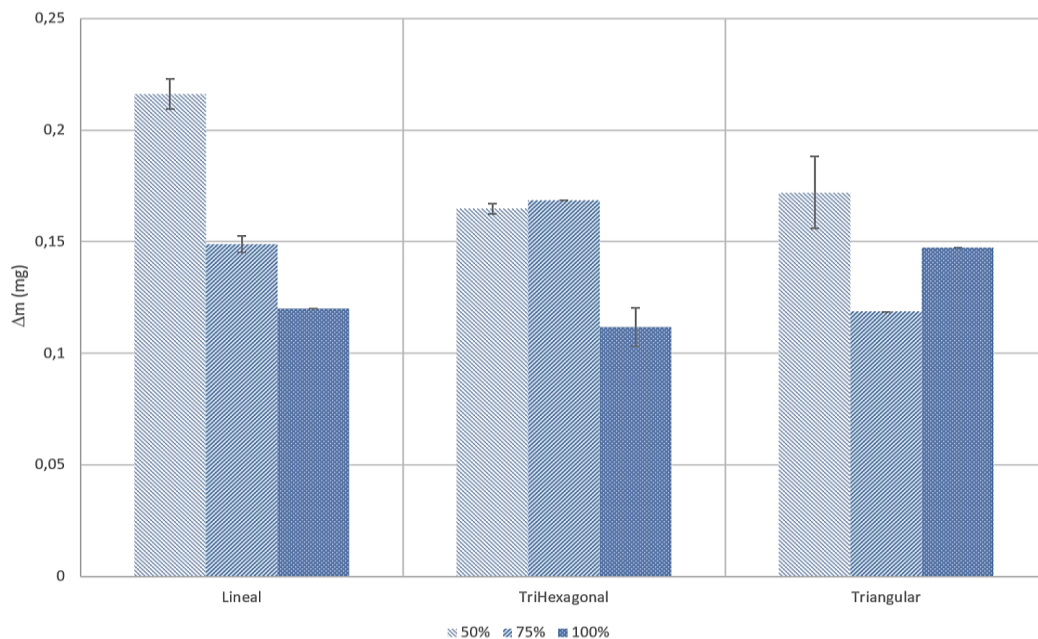
Indistintamente del patrón de relleno, no se observaron diferencias significativas en el comportamiento en fricción, mostrando un período de asentamiento (running-in) de  $300 \pm 100$  s, estabilizándose en un coeficiente de fricción de  $0,6 \pm 0,05$ . En la Figura 2 se muestra un comportamiento típico en fricción para una muestra con patrón de relleno lineal (Fig 1.a) con 100% de relleno.

El desgaste fue medido en términos de pérdida de peso. En las muestras de patrón de relleno lineal se observó una reducción del desgaste con el aumento de la densidad de relleno. Esta tendencia de disminución del desgaste no es definida en los patrones de relleno trihexagonal y triangular. Sin embargo, todas las muestras de 100% de densidad de relleno comparativamente con las muestras de 50% de densidad de relleno mostraron un menor desgaste, indistintamente del patrón de relleno (Figura 3).



**Figura 2:** Comportamiento típico en fricción para una muestra con patrón de relleno lineal y 100% de densidad de relleno.

Las muestras de mayor densidad de relleno desprenden menor cantidad material debido a una mejor soldadura entre los filamentos al momento de su fabricación. Esto fue también reportado por Renganathan, donde hace relación a la cohesión entre los filamentos influenciados por el espaciado en diferentes patrones de relleno [1]. El anclaje de las partículas de desgaste en los pines con patrones de relleno no lineales promueve a un menor desgaste, coincidente con los reportado por [2, 3]. Se ha observado que los patrones y densidades de relleno no ejercen influencia sobre el coeficiente de fricción, pero afectan al comportamiento en desgaste en términos de pérdida de peso. Las mayores densidades de relleno promueven a un menor desgaste, mientras que los patrones de relleno no lineales ofrecen un menor desgaste con densidades de relleno menores.



**Figura 2:** Desgaste en función del patrón (Lineal, Trihexagonal y Triangular) y densidad del relleno (50%, 75% y 100%).

**Agradecimientos:** Los autores agradecen a la UTN - Facultad Regional Haedo por las becas de investigación a alumnos de grado y la desinteresada colaboración de nuestros compañeros Gonzalo Ramos, Pablo Rojas, Jeremías Angiano y Alejo Angiano.

### Referencias

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] ASTM G99 - 05(2010). Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus

# CARACTERIZACIÓN TRIBOLÓGICA DE ESTRUCTURAS DE IMPRESIÓN 3D EN ÁCIDO POLILÁCTICO SOBRE DISCOS ABRASIVOS

L. G. Quiroga[1], C. De Antoni[1], E. O. Costa[1], L. A. Ferreyra[1],  
S. Cancellare[1], V. Martynenko [1, 2], M. Zanin[1, 3]

<sup>1</sup> LEDFS – Lab. de Ensayos de Desgaste y Fricción Sólida, UTN, Facultad Regional Haedo, París 532, Haedo, Buenos Aires, Argentina.

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Tecnología Industrial - INTI, Av. General Paz 5445, San Martín, Buenos Aires, Argentina.

<sup>3</sup> División Radar Láser, Depto. de Inv.s en Láseres y sus aplicaciones, CITEDEF, J. B. de la Salle 4397, Villa Martelli, Buenos Aires, Argentina.

[lquiroga235@alumnos.frh.utn.edu.ar](mailto:lquiroga235@alumnos.frh.utn.edu.ar)

**Tópico: T2C1.**

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años las piezas construidas por técnicas de modelado por deposición fundida (FDM) en PLA (PoliLactic Acid) son ampliamente utilizadas en variadas aplicaciones para prototipos, modelos para fabricación de matrices de fundición y mecanismos. Diversos trabajos han demostrado que las propiedades tribológicas de las piezas elaboradas por estas técnicas no solo dependen del material, color y características de su elaboración, sino también del patrón y la densidad de relleno [1-3]. El presente trabajo tiene como objetivo investigar las características en desgaste y fricción de pines construidos en PLA por técnicas FDM, ensayados en contacto deslizante en seco sobre discos abrasivos en ensayos Pin-on-Disk, basados en norma ASTM G99 [5]. Se ha observado que la densidad de relleno presenta mayor influencia en desgaste que el patrón de relleno. El coeficiente de fricción no mostró cambios significativos en relación al patrón y densidad de relleno.

## METODOLOGÍA

Se construyeron probetas con PLA por técnicas FDM con las mismas características de impresión variando solo los patrones (Lineal, Trihexagonal y Triangular) (Fig. 1) y densidades de relleno (50%, 75% y 100%). Se realizaron al menos tres ensayos de desgaste con cada patrón y densidad de relleno contra discos abrasivos grit 150, en un tribómetro Pin-On-Disk (Fig. 2), con carga de 40N a 20 rpm, durante 30 minutos. Las muestras (pines) fueron pesadas antes y después del ensayo para determinar el desgaste en términos de pérdida de peso.

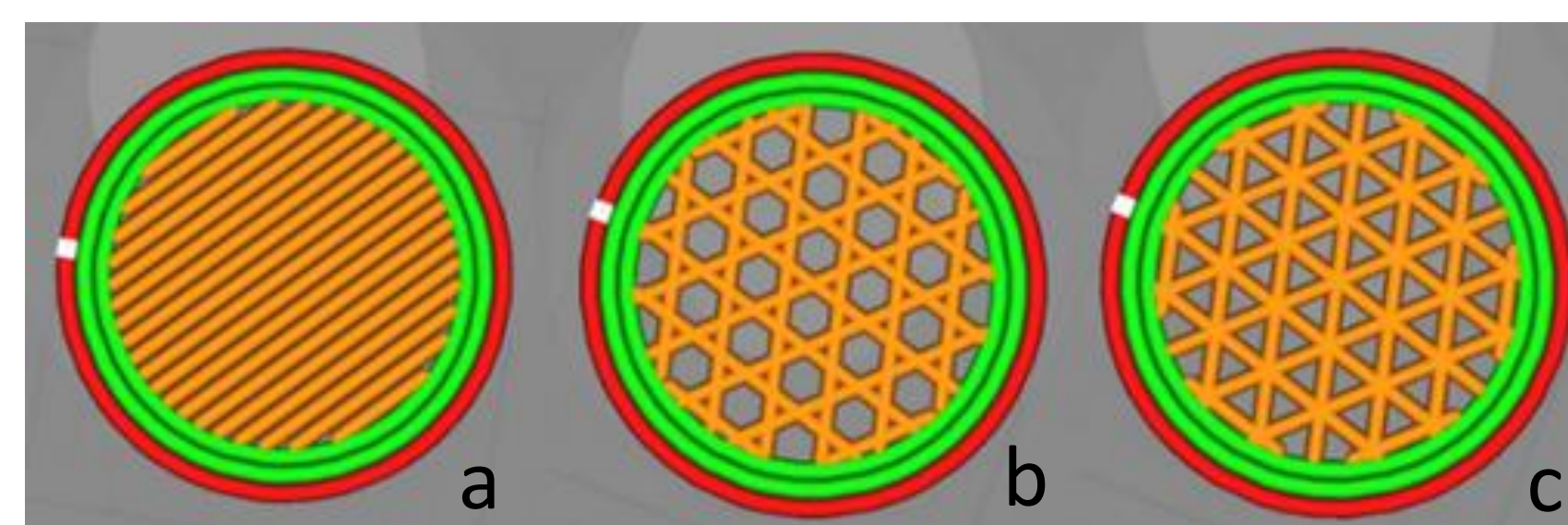


Figura 1.- Patrones de relleno: a) Lineal, b) Trihexagonal, c) Triangular.

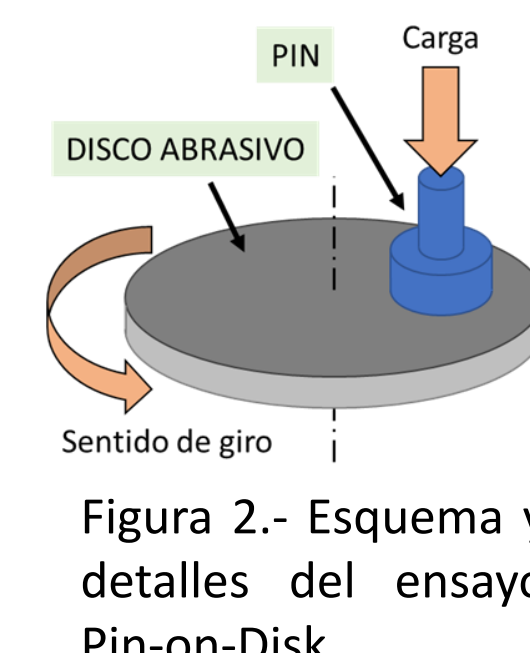


Figura 2.- Esquema y detalles del ensayo Pin-on-Disk

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Indistintamente del patrón de relleno, el comportamiento en fricción no reveló diferencias significativas en el coeficiente de fricción (CoF) mostrando un período de asentamiento (running-in) de  $300 \pm 100$  s, estabilizándose en un CoF de  $0,6 \pm 0,05$ . En la Figura 3 se muestra un comportamiento típico en fricción para una muestra con un patrón de relleno lineal con 100% de relleno. Respecto al comportamiento en desgaste, en las muestras de patrón de relleno lineal se observó una reducción del desgaste con el aumento de la densidad de relleno. Esta tendencia de disminución del desgaste no es definida en los patrones de relleno trihexagonal y triangular. Sin embargo, todas las muestras de 100% de densidad de relleno comparativamente con las muestras de 50% de densidad de relleno mostraron un menor desgaste, indistintamente del patrón de relleno (Fig. 5). Las muestras de mayor densidad de relleno desprenden menor cantidad material debido a una mejor soldadura entre los filamentos (Fig. 4). Además, revelaron una rápida transferencia de material a la contraparte. El anclaje de las partículas de desgaste en los pines con patrones de relleno no lineales promueve a un menor desgaste, coincidente con los reportado por [2, 3].

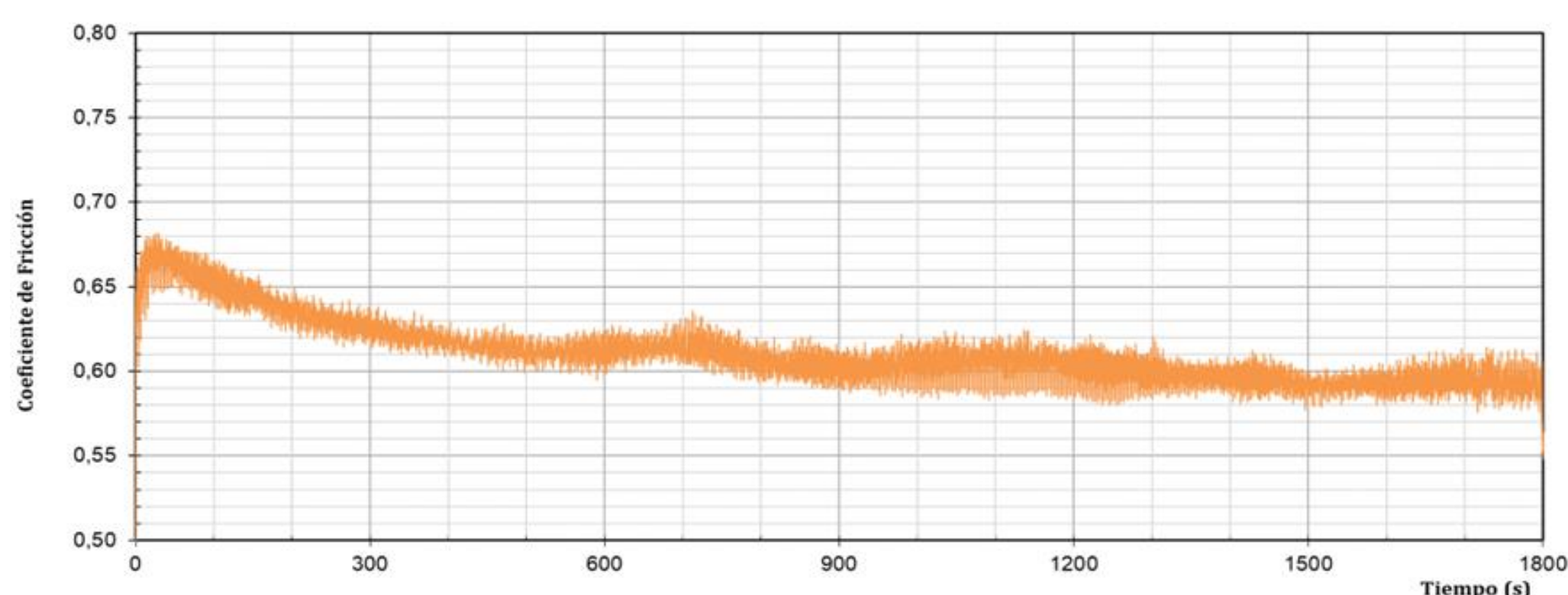


Figura 3.- Comportamiento típico en fricción para una muestra con patrón de relleno lineal y densidad de relleno de 100%. El comportamiento en fricción en todos los ensayos revela una curva típica con un incremento inicial hasta un CoF de  $0,68 \pm 0,03$ , estabilizándose en valores oscilantes de  $0,6 \pm 0,05$ , después de un período de running-in entre 200 a 400 segundos. No se observó una conducta repetitiva respecto del running-in según la densidad o patrón de relleno.

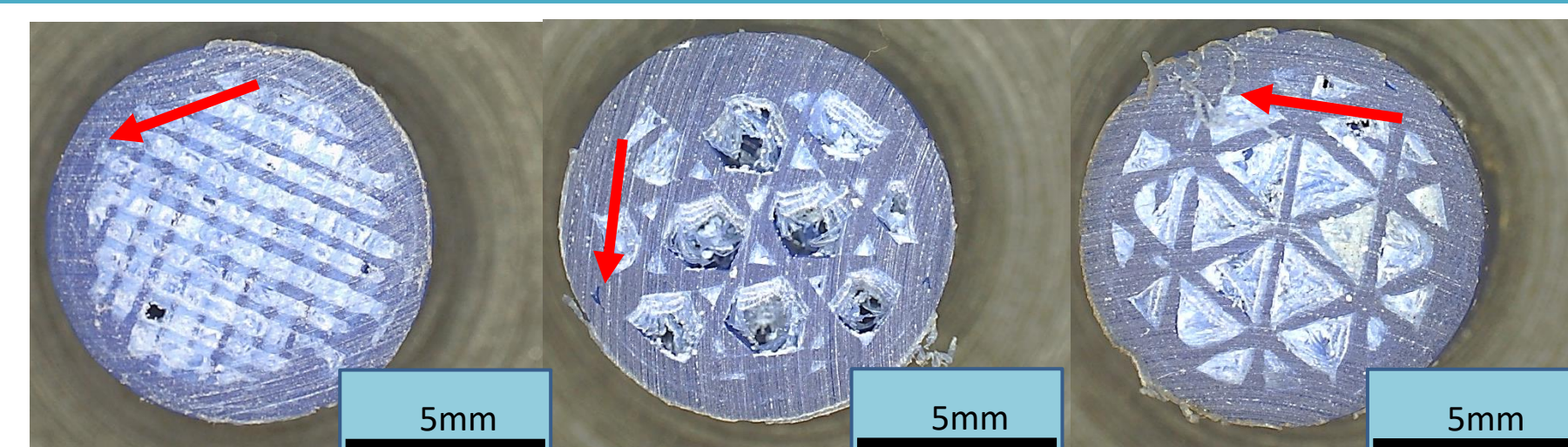


Figura 4.- Superficie de los pines de PLA desgastados con patrones Lineal, Trihexagonal y Triangular (densidad del 50%). Las flechas indican el sentido de deslizamiento. Se observa que las cavidades de los patrones no lineales pueden retener material desgastado sin desprenderse. Esto explica el menor desgaste indicado en la Fig. 5. Por otra parte, a mayores densidades de relleno se observa un menor desgaste, debido a una mayor transferencia de material al disco. El prematuro relleno de las cavidades de la contraparte abrasiva reduce el desgaste de los pines.

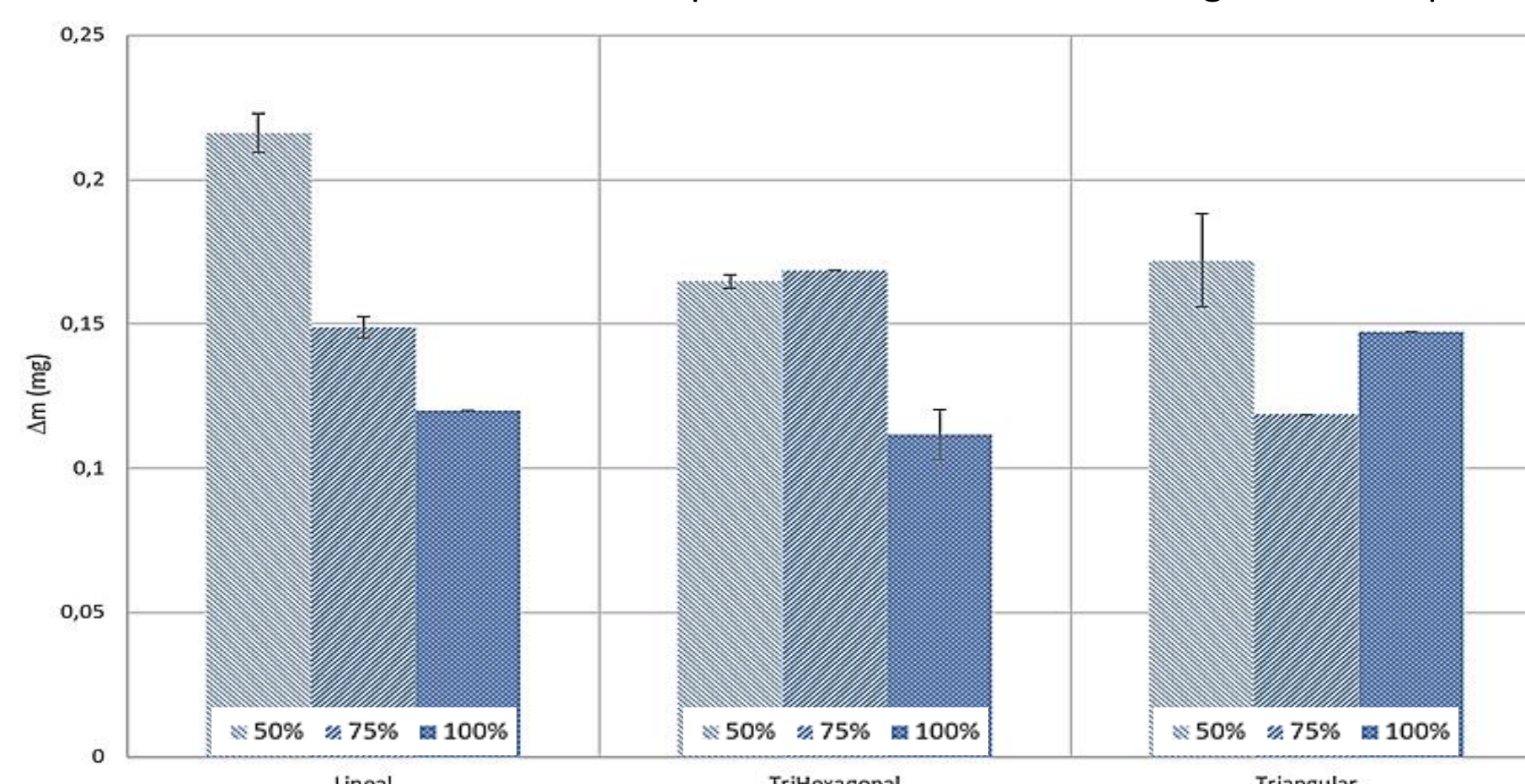


Figura 5.- Desgaste medido en término de pérdida de peso, en función del patrón (Lineal, Trihexagonal y Triangular) y densidad del relleno (50%, 75% y 100%).

## CONCLUSIONES

Para las condiciones de ensayo de este trabajo, los patrones y densidades de relleno no ejercen influencia sobre el coeficiente de fricción. El desgaste en términos de pérdida de peso, revela mayor dependencia con la densidad de relleno que con el patrón de relleno. Las mayores densidades de relleno promueven un menor desgaste, mientras que los patrones de relleno no lineales muestran un menor desgaste con la menor densidad de relleno (50%).

## REFERENCIAS

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] ASTM G99 - 05(2010). Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus