

SINERGIAS EN LA INVESTIGACIÓN EN STEM

Editores:

Ana M. Beltrán Custodio

Manuel Félix Ángel



Editorial Área de Innovación y Desarrollo,S.L.

Quedan todos los derechos reservados. Esta publicación no puede ser reproducida, distribuida, comunicada públicamente o utilizada, total o parcialmente, sin previa autorización.

© del texto: **los autores**

ÁREA DE INNOVACIÓN Y DESARROLLO, S.L.

Avda. Juan Gil Albert, 1 - 03802- ALCOY (ALICANTE) info@3ciencias.com

Primera edición: **febrero 2022**

ISBN: **978-84-123872-6-1**

DOI: <https://doi.org/10.17993/IngyTec.2022.80>

EFECTO DE LA ALTURA DE CAPA Y EL DIÁMETRO DE LA BOQUILLA SOBRE LA PRECISIÓN DIMENSIONAL DE ANDAMIOS POROSOS PARA TEJIDO CELULAR FABRICADOS POR MANUFACTURA ADITIVA

Alejandro González González¹, Marcelino Rivas Santana², Ramón Quiza², Patricia del Carmen Zambrano-Robledo³, Rosinei Batista-Ribeiro⁴, Ivan La Fe Perdomo²

¹*Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Matanzas. Cuba.*

²*Centro de Estudio de Fabricación Avanzada y Sostenible (CEFAS),
Universidad de Matanzas, Cuba.*

³*Centro de Investigación e Innovación de Ingeniería Aeronáutica (CIIIA)
Universidad Autónoma de Nuevo León, México.*

⁴*Centro Universitário Teresa D'Avila (UNIFATEA), Lorena, Brasil.*

E-mail de correspondencia: marcelino.rivas@umcc.cu

RESUMEN

En los últimos años la fabricación de andamios para ingeniería de tejido celular por métodos de manufactura aditiva ha tenido un gran auge. Entre los métodos de fabricación utilizados se destaca el de deposición fundida de material (FDM), debido a su bajo costo, sin embargo, se presentan algunas dificultades en cuanto a la precisión de las piezas obtenidas comparado con otros métodos. El trabajo realiza un estudio de la influencia de la altura de capa y diámetro de la boquilla sobre la porosidad de andamios basados en superficies híbridas del tipo primitiva (P) y Gyroid (G). La evaluación de las discrepancias se realiza mediante la determinación de error relativo entre el andamio diseñado y el fabricado, lo que permite proponer la mejor variante de impresión para los casos estudiados.

1. INTRODUCCIÓN

Diferentes autores han realizado investigaciones encaminadas a determinar la influencia de diferentes parámetros en el error dimensional de andamios para tejido celular (Han, *et all.* 2018; Soro, *et all.* 2018; Zhao, *et all.* 2019). Los trabajos realizados por Liu, *et all.* 2019 se basan en el incremento de la precisión del método de impresión. Zhao, *et all.* 2019 utilizan modelación paramétrica para estructuras regulares y superficies minimales triplemente periódicas (SMTP) impresas por SLM en titanio, donde las discrepancias en la porosidad llegan hasta el 2.73%. Lu, *et all* analiza las discrepancias geométricas durante la impresión 3D. Zhu, *et all* utiliza el aprendizaje automático para el análisis de las discrepancias en fabricación aditiva. Huang, *et all.* 2018 utiliza estructuras regulares (dodecaedro y BCC) y reporta que a medida que la topología de la celda unitaria se hace más compleja y los espesores de

las superficies internas son menores, se incrementan las discrepancias geométricas. Soro, *et all.* 2018 reporta el estudio de probetas de Ti-6Al-4V fabricadas por SLM con celda unitaria tipo primitiva de Schwarz (P) donde las mediciones reflejan buena exactitud dimensional en términos de peso, diámetro de poros y espesor de las superficies internas, pero hay diferencias significativas en la densidad. Huang, *et all* analiza el efecto de la orientación en aleaciones de titanio. Han, *et all.*2018 reporta en el proceso SLM, la fabricación de estructuras Diamond con gradiente de porosidad observándose buena reproducibilidad geométrica de todas las estructuras. El objetivo del trabajo es determinar el efecto de la altura de capa y el diámetro de la boquilla sobre la precisión dimensional.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la fabricación de los andamios se utilizó el método de deposición de filamento fundido (FDM), utilizando una impresora modelo WANHAO Duplicator 6. El material utilizado fue PLA natural con una densidad de 1.24 g/cm³. Los andamios se fabricaron según las dimensiones de las probetas para el ensayo de compresión según ASTM D695-15 (dimensiones de las probetas 12.7 x 12.7 x 25.4 mm). La cantidad de celdas fueron 6 x 6 x12, con un tamaño de celda unitaria de 2.12 mm.

2.1 Selección de las estructuras, parámetros de diseño y fabricación utilizados

Para el estudio realizado fue seleccionada la estructura híbrida del tipo P-G, debido a las buenas propiedades mecánicas que presentan. Las ecuaciones básicas de cada estructura se muestran en la fórmula 1 y 2.

Fórmula 1. Estructura tipo P.

$$F_P = \cos(X) + \cos(Y) + \cos(Z) + CP$$

Fórmula 2. Estructura tipo G.

$$F_G = \cos(X) \sin(Y) + \cos(Y) \sin(Z) + \cos(Z) \sin(X) + CG$$

Planificación de los experimentos

El diseño de experimento utilizado fue del tipo factorial completo a dos niveles con dos variables independientes: altura de capa (AC) y diámetro de la boquilla (DB), por lo que fueron realizados cuatro experimentos con tres replicas para un total de doce experimentos, más tres experimentos adicionales en el régimen máximo. Los parámetros de impresión que se utilizaron fueron: Temperatura de impresión: 195

(°C), Velocidad de impresión: 20 (mm/s), densidad de relleno: 100 (%), plataforma de adhesión tipo raft (ver tabla 1).

Para cuantificar las discrepancias entre el diseño de los andamios y la fabricación se determinó el valor del error relativo de la porosidad, la cual fue determinada por el método de Arquímedes.

Tabla 1. Planificación de los experimentos (2²). Estructura híbrida P-G.

| Exp. | AC (mm) | DB (mm) | Estructura | Porosidad (%) |
|------|---------|---------|--|---------------|
| 1 | 0.05 | 0.2 | Híbrida P-G Con CP=-0.5, CG=-0.2 y K=0.5 | 63.26 |
| 2 | 0.05 | 0.4 | | |
| 3 | 0.10 | 0.2 | | |
| 4 | 0.10 | 0.4 | | |
| 5 | 0.20 | 0.4 | | |

Fuente: elaboración propia.

2.2 Análisis de los resultados

Los resultados obtenidos se muestran en la figura 1, los mismos demuestran que la mejor variante de impresión es el experimento 3, donde se utilizó una altura de capa de 0.1 mm y un diámetro de la boquilla de 0.2 mm.

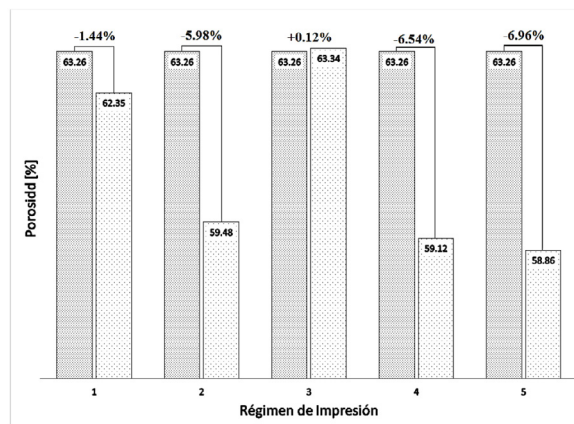


Figura 1. Discrepancias de Porosidad.

Fuente: elaboración propia.

3. CONCLUSIONES

Durante la investigación se pudo constatar que existe una influencia entre el diámetro de la boquilla, la altura de capa y las discrepancias de porosidad. En futuros trabajos deben analizarse otros parámetros de impresión y de diseño de las estructuras para optimizar los errores dimensionales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Han, C., Li, Y., Wang, Q., Wen, S., Wei, Q., Yan, C., Shi, Y.** (2018). Continuous functionally graded porous titanium scaffolds manufactured by selective laser melting for bone implants. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*. doi: 10.1016/j.jmbbm.2018.01.013
- Han, L., & Che, S.** (2018). An Overview of Materials with Triply Periodic Minimal Surfaces and Related Geometry: From Biological Structures to Self-Assembled Systems. *Advanced Materials*, 30(17), 1705708. doi:10.1002/adma.201705708
- Huang, X., Zhang, S., Hu, Q., Lang, L., Gong, S., & Nielsen, K. B.** (2018). Coupling Effect of Unit Cell Topology and Forming Orientation on the Ti6Al4V Porous Structures Fabricated Using Selective Laser Melting. *Advanced Engineering Materials* (1800737), 1-7. doi:10.1002/adem.201800737
- Liu, C., Law, A. C. C., Roberson, D., & Kong, Z. J.** (2019). Image analysis-based closed loop quality control for additive manufacturing with fused filament fabrication. *Journal of Manufacturing Systems*, 51, 75-86. doi: 10.1016/j.jmsy.2019.04.002
- Lu, Y., Cui, Z., Cheng, L., Li, J., Yang, Z., Zhu, H., & Wu, C.** (2020). Quantifying the discrepancies in the geometric and mechanical properties of the theoretically designed and additively manufactured scaffolds. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 112(104080). doi: 10.1016/j.jmbbm.2020.104080
- Soro, N., Attar, H., Wu, X., & Dargusch, M. S.** (2018). Investigation of the structure and mechanical properties of additively manufactured Ti-6Al-4V biomedical scaffolds designed with a Schwartz primitive unit-cell. *Materials Science and Engineering: A*, 745, 195-202. doi: 10.1016/j.msea.2018.12.104
- Wu, H.-C., & Chen, T.-C. T.** (2018). Quality control issues in 3D-printing manufacturing: a review. *Rapid Prototyping Journal*, 24(3), 607-614. doi:10.1108/RPJ-02-2017-0031
- Zhao, L., Pei, X., Jiang, L., Hu, C., Sun, J., Xing, F., Zhang, X.** (2019). Bionic design and 3D printing of porous titanium alloy scaffolds for bone tissue repair. *Composites Part B*, 162, 154-161.
- Zhu, Z., Anwer, N., Huang, Q., & Mathieu, L.** (2018). Machine learning in tolerancing for additive manufacturing. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 67, 157-160.