

Design of a large format printing platform that allows the extrusion of composite materials based on pellets and continuous fibers.

Diseño de una plataforma de impresión de gran formato que permita la extrusión de materiales compuestos basado en pellets y fibras continuas.

Citación: Hoyos, A.; Solarte, J.; Mercado, F.; Rojas A. Diseño de una plataforma de impresión de gran formato que permita la extrusión de materiales compuestos basado en pellets y fibras continuas. I + T + C Investigación, Tecnología y Ciencia. Vol 1. Num. 17. 2023.

Nota del editor: Sello editorial Unicomfacauca se mantiene neutral con respecto a los reclamos derivados de los resultados de este trabajo.



Derechos de autor: © 2023 por los autores. Presentado para posible publicación en acceso abierto bajo los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Attribution (CC BY NC SA) (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es_ES)

Alejandro Hoyos ¹ , Jefferson Solarte ² , Francisco Mercado ³ , Alvaro Rojas ^{4*} 

¹ Universidad Autónoma de Occidente, Facultad de Ingeniería, Grupo de investigación en tecnología para la manufactura (GITEM); alhoyos@uao.edu.co

² Universidad Autónoma de Occidente, Facultad de Ingeniería, Grupo de investigación en tecnología para la manufactura (GITEM); ejsolarte@uao.edu.co

³ Universidad Autónoma de Occidente, Facultad de Ingeniería, Grupo de investigación en tecnología para la manufactura (GITEM); fmercado@uao.edu.co

^{4*} Universidad Autónoma de Occidente, Facultad de Ingeniería, Grupo de investigación en tecnología para la manufactura (GITEM); ajrojas@uao.edu.co

Resumen: Comúnmente la manufactura aditiva (MA) mediante la técnica de extrusión de material fundido se utiliza para la fabricación de prototipos, esto se debe principalmente a que los materiales comúnmente utilizados en estas tecnologías son termoplásticos de bajo rendimiento mecánico. Es por eso que este proyecto busca el desarrollo de un cabezal de extrusión que utilice materiales compuestos de matriz polimérica en forma de pellets y refuerzos de fibras continuas naturales o sintéticas, con el fin de ser usado en un sistema de MA de gran formato, que permita la fabricación de objetos con mejores prestaciones funcionales y mecánicas que las encontradas convencionalmente. Para esto se llevarán a cabo diferentes etapas para el desarrollo del proyecto, comenzando por el diseño y construcción de la plataforma de impresión; seguido por el diseño de un cabezal de extrusión que permita la integración de una matriz polimérica y las fibras continuas. Se obtuvieron como resultados trazos impresos utilizando pellets de PLA y fibra de vidrio, dando trazos de extrusión con el 100% de la fibra sobre el material impreso.

Palabras clave: Manufactura aditiva; fibras continuas; impresión 3D con pellets; materiales compuestos; gran formato.

Abstract: Commonly additive manufacturing (AM) through the technique of extrusion of molten material is used to manufacture prototypes. This is mainly because the materials commonly used in these technologies are thermoplastics of low mechanical performance. That is why this project seeks the development of an extrusion head that uses polymeric matrix composite materials in the form of pellets and reinforcements of natural or synthetic continuous fibers in order to be used in a large format MA system, which allows the manufacture of objects with better functional and mechanical performance than those found conventionally. For this purpose, different stages were carried out for the development of the project, starting with the design and construction of the printing platform; followed by the design of an extrusion head that allows the integration of a polymeric matrix and continuous fibers. As a result, printed traces were obtained using PLA pellets and glass fiber, resulting in a total coating of the fiber on the printed material.

Keywords: Additive manufacturing; continuous fibers; 3D printing with pellets; composite materials; large format

1. Introducción

Manufactura aditiva

La manufactura aditiva (MA) comprende un conjunto de técnicas en las cuales se logra obtener una geometría deseada mediante la adición progresiva de material en capas sucesivas [1]. A lo largo de su historia, estas tecnologías han experimentado avances significativos en la generación de prototipos de bajo costo y de manera rápida [2], así mismo se han consolidado como herramientas ampliamente empleadas en diversos campos, entre los que destacan: la industria automotriz, la aeroespacial, las aplicaciones médicas, los proyectos arquitectónicos, la moda, entre otros [3]. Esta técnica de manufactura ha venido evolucionando durante las últimas 4 décadas, dando como resultado 7 grandes técnicas según la norma ISO/ASTM 52900 las cuales son: Fotopolimerización, inyección de material, inyección de aglutinante, extrusión de material, fusión de cama de polvos, deposición directa de energía y fabricación de objetos laminados [4]. Una de las técnicas más utilizadas en la actualidad es la deposición por filamento fundido (FFF) [5], en la que se utiliza un polímero, el cual se lleva a su punto de fusión y se deposita sobre una superficie adecuada que garantiza la adherencia, de esta manera se va generando capa a capa la pieza deseada [6]. Esta tecnología permite la impresión de distintos materiales tales como: PLA; ABS; PC [7]; PP; PETG [8]; PEEK [9]; entre otros.

Sin embargo, la manufactura aditiva y la técnica de extrusión de material por filamento fundido se encuentra lejos de ser un proceso perfecto y presentan algunos retos como son: Bajo desempeño funcional de la pieza, disminución en la resistencia a la tensión de las piezas, contracción y deformación por choque térmico en las piezas, defectos en la deposición del material, baja adhesión entre capas, problemas de transferencia térmica, entre otros [10-11].

Es por esto que buscando mejorar las propiedades mecánicas, tales como la tracción y la flexión, las cuales son las más estudiadas hoy en día [12], se está introduciendo a la manufactura aditiva la aplicación de materiales compuestos como refuerzos en las piezas impresas [13]; dado así que investigaciones previas han mostrado que con un 6.6% del volumen de fibra con respecto al trazo de matriz polimérica de PLA se tuvo una mejoría en el esfuerzo de tensión de 28 MPa a 185.2 MPa [14-15]. Sin embargo, para lograr obtener estos resultados se deben tener en cuenta distintos factores como, la orientación de las capas de impresión; la preparación de las fibras y el volumen de estas con respecto a la matriz polimérica [16].

En base en lo anterior, se propuso para este trabajo una plataforma de impresión de gran formato, que integre un cabezal de extrusión para manufactura aditiva, de materiales compuestos basado en pellets y fibras continuas; para así lograr determinar los parámetros adecuados para distintos materiales que permitan la integración del 100% de la fibra dentro de la matriz polimérica; seguido la evaluación por trazos mediante el microscopio 3D Keyence VR-3200, del cual se obtienen datos sobre el volumen total de la fibra con respecto al trazo; el porcentaje total de fibra recubierto con la matriz polimérica y la distancia total entre fibras.

2. Materiales y métodos

2.1. Plataforma de impresión

Para el diseño y construcción de la plataforma de impresión, se partió de una estructura existente de una cortadora CNC para Poliéstireno expandido, la cual cuenta con volumen de trabajo de 100cm*120cm*50cm; sin embargo, como se puede observar en la Figura 1 esta cuenta solo con dos ejes (Y, Z), de los cuales cada uno está equipado por dos motores independientes paso a paso Nema 23 de 4 hilos, así mismo para la transmisión de

movimiento se cuenta con un tornillo roscado por cada motor. Sin embargo, se requiere la instalación del eje X, la base de impresión y el sistema de control.



Figura 1. Cortadora CNC para Poliestireno expandido.

2.1.1. Eje x

En el diseño del eje X, se buscó tener una estructura la cual soportara las cargas y evitara deformaciones en la misma, se eligió un perfil estructural 2040 el cual proporciona la rigidez necesaria para soportar las cargas aplicadas durante el desplazamiento del extrusor; para evaluar esto se realizó el análisis de esfuerzos mediante el software SolidWorks, teniendo como consideración un peso máximo en el extrusor de 2 Kg, los resultados de esto se pueden observar en la Figura 2, los cuales revelan que los desplazamientos en el punto de máximo esfuerzo son inferiores a un milímetro, lo cual garantiza un alto nivel de precisión durante el proceso de impresión.

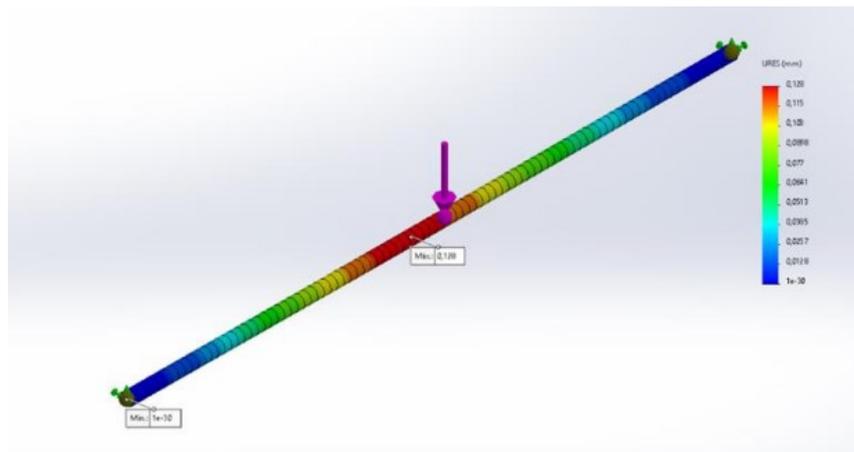


Figura 2. Simulación de esfuerzo vs deformación de la extrusión de aluminio.

Para el sistema de transmisión se ha elegido el modelo de correa GT2, el cual es ampliamente utilizado en impresoras 3D, estas correas presentan excelentes propiedades mecánicas gracias a que están fabricadas con neopreno reforzado con fibra de vidrio o aluminio.

Se optó por utilizar un motor paso a paso el cual proporciona un alto nivel de precisión, lo que permitirá tener mejores resultados de impresión; en cuanto a la ubicación del motor

en el perfil, se busca lograr una distribución equilibrada de las fuerzas a lo largo del eje, por lo que se ubicó el motor a la altura media del perfil proporcionando una distribución simétrica y contribuyendo a minimizar los esfuerzos y desequilibrios que podrían surgir en el sistema. Teniendo en cuenta lo anterior, se realizó el cálculo del torque necesario para superar las resistencias presentes en el sistema como lo son, la fricción y el peso del extrusor, en la Figura 3 se realizó una representación del diagrama de fuerzas.

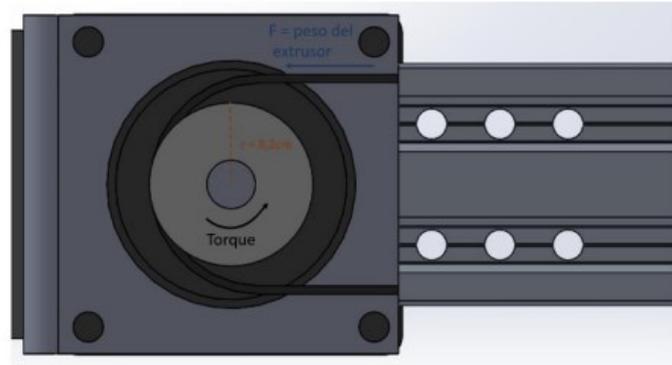


Figura 3. Diagrama de fuerzas motor del eje X.

Siguiendo la ecuación (1) se realizó el cálculo del torque, en el cual el valor del radio (r) corresponde a la distancia desde el centro del eje del motor hasta la correa dentada (8.2 mm); para calcular el valor de la normal (N) se tiene en cuenta la gravedad y la masa del extrusor (2.5 Kg); el valor del coeficiente de fricción (μ) se obtiene de los datos ofrecidos por el fabricante de las ruedas tipo Derlin (0.3) utilizadas comúnmente en las estructuras tipo CNC.

$$T = r * \mu * N \quad (1)$$

En base en los resultados, se obtuvo un torque mínimo de 4.82 N.cm, por lo que se eligió un motor NEMA 23HS8430 [17], el cual tiene un torque de 6.0 N.cm, dejando así un rango de holgura del 20% aproximadamente.

2.1.2. Base de impresión

Buscando la impresión de materiales avanzados, es importante tener un control de temperatura sobre la superficie de adherencia, y así evitar que las piezas sufran de desprendimiento en la primera capa con respecto a la base [18]. Teniendo en cuenta esto, se tiene un área total de impresión de 1m*1.2m por lo que se requiere de una gran cantidad de energía para lograr calentar y controlar adecuadamente la superficie; por consiguiente se optó por utilizar resistencias de silicona de 900 cm² de 750W a 120 VAC, sobre una superficie de Aluminio 1100 de 6 mm; sin embargo, se requiere realizar un arreglo de estas para lograr calentar de manera uniforme el área de impresión, para esto se realizaron dos matrices con 4 y 6 resistencias, los cuales fueron evaluados mediante una simulación en SolidWorks. En la Figura 4 se pueden observar los resultados de la simulación.

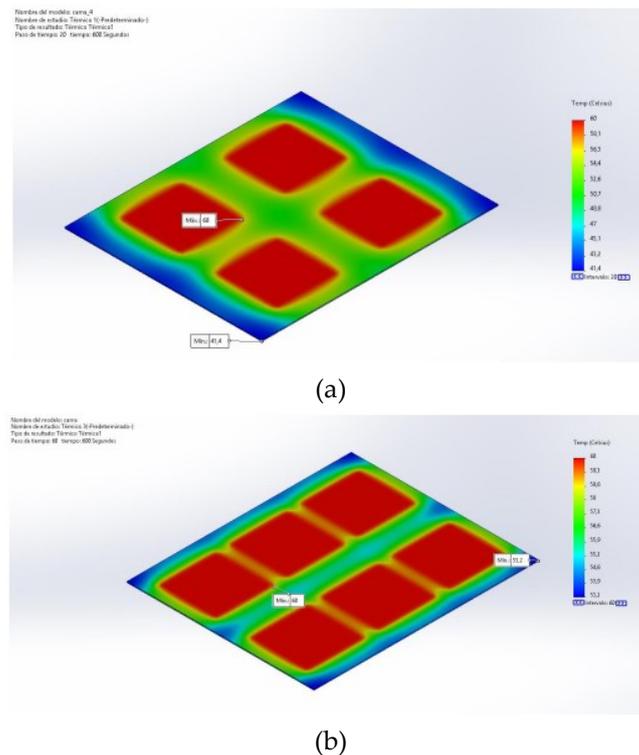


Figura 4. Resultados de la simulación de temperatura: (a) arreglo de 4 resistencias; (b) arreglo de 6 resistencias.

De acuerdo a los resultados de las simulaciones se puede observar que el mayor delta de temperatura entre los 2 arreglos se da en los bordes de la placa, sin embargo, en estos puntos no es necesario que la temperatura sea elevada ya que estos no hacen parte del área efectiva de impresión. En cuanto a los puntos relevantes como lo son el centro de la placa a lo largo y a lo ancho, estos tienen una diferencia del 15.5% y 8.15% respectivamente; Ambas configuraciones logran una estabilidad casi uniforme en la superficie, no obstante, se pudo evidenciar que los tiempos de estabilización difieren dependiendo del número de resistencias.

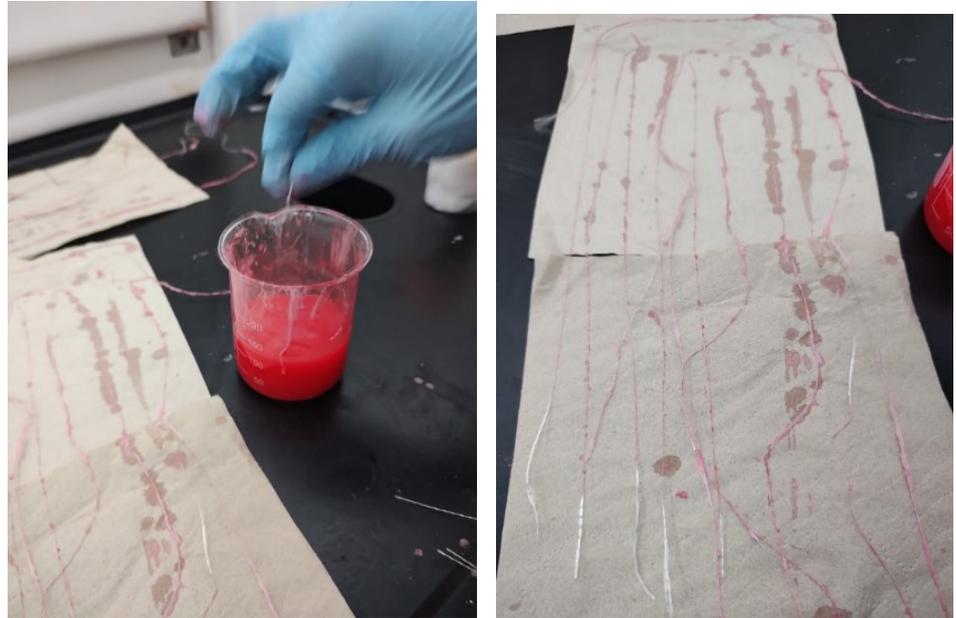
2.1.3. Tablero de control

Se empleó como elementos de control un Arduino mega en conjunto con una placa RAMPS, cuya sinergia permite un control eficiente de los motores, la lectura de los sensores, y la gestión del sistema de extrusión, entre otras funcionalidades. Así mismo permite la implementación de firmware open source tal como lo es Marlin, el cual es utilizado comúnmente en el desarrollo de impresoras 3D y permite configurar distintos parámetros de funcionamiento [19]. En la elección de los drivers, se consideró la corriente pico que pueden consumir los motores paso a paso, la cual es de 3.5 A por lo que se optó por la utilización de Drivers TB6600 [20]. Se utilizaron un total de 6 Drivers, teniendo en cuenta que los ejes Y y Z cuentan cada uno con dos motores. Para el control de las resistencias de la base de impresión, se utilizaron relés de estado sólido, los cuales son alimentados con 120 VACc se controlan mediante una señal PWM proveniente de la RAMPS. Se utilizó un total de 2 relés con los cuales cada uno controla 2 resistencias de silicona.

2.2. Preparación de las fibras

La unión entre la fibra de carbono y el PLA es bastante débil, por lo que se requiere acondicionar previamente el material y así lograr una correcta adhesión durante el

proceso de impresión, tal como se evidencio en trabajos previos [21]; para esto se realizó una solución viscosa disolviendo el PLA con cloruro de metileno durante 30 minutos con la ayuda de un agitador magnético [14], una vez disuelto el PLA se pasa la fibra sobre la solución y se obtiene un pequeño recubrimiento, lo cual les da mayor rigidez y permite una mejor manipulación de la misma, los resultados se pueden observar en la Figura 5.



(a)

(b)

Figura 5. Proceso de pre impregnación: (a) solución de PLA; (b) fibras pre impregnadas.

2.3. Extrusor de pellets con refuerzos de fibra

Se partió de un modelo ya existente para el sistema de extrusión el cual se puede observar en la Figura 6; este cuenta con un motor DC para el transporte de los pellets, por lo que se realizó la modificación y se cambió por un motor paso a paso, el cual supe el torque proporcionado inicialmente y permitirá tener un mayor control del flujo del material.

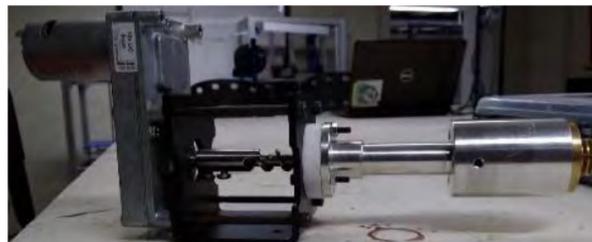


Figura 6. Extrusor felfil [22].

Para lograr la integración del material fundido con las fibras se realizaron distintos diseños de boquillas, como se ven en la Figura 7, y se hicieron pruebas con estas para así evaluar la más adecuada.

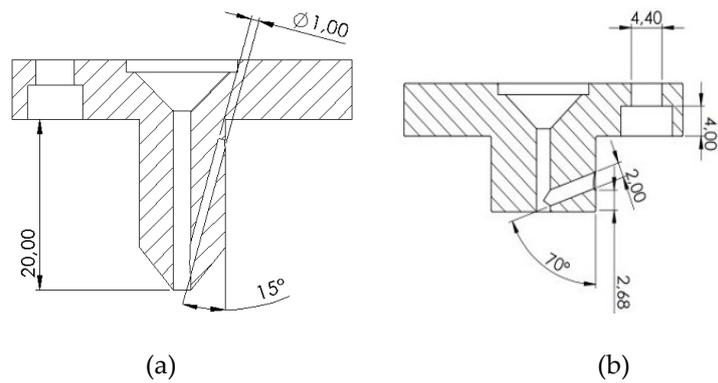


Figura 7. Diseño de boquillas: (a) boquilla de mayor longitud; (b) boquilla de menor longitud.

Para lograr una mayor adherencia, se modificó al archivo de impresión y se añadió un paso previo al proceso de extrusión, el cual previamente al imprimir una pieza, la boquilla descienda hasta el punto de comprimir el material extruido contra la cama caliente.

Para validar el funcionamiento de la plataforma se imprimieron cubos de calibración de 20 mm por cada eje los cuales se pueden ver en la Figura 9, estos tuvieron una altura de capa de 0.8 mm y se imprimieron con pellets de PLA a una temperatura de 180°C. Cabe resaltar que debido al tipo de pellet de tonalidad transparente se resaltó con un marcador cada cara para tener una mejor definición.

Para obtener los datos dimensionales de las piezas impresas, se utilizó el microscopio 3D Keyence VR-3200, el cual es un equipo de alta precisión con una resolución de 0.1 μm , que permite capturar una imagen tridimensional de la superficie de la pieza, obteniendo datos sobre la rugosidad, la forma y geometría de esta.

3. Resultados

3.1. Validación del funcionamiento

Se obtuvo una plataforma de impresión, la cual se puede observar en la Figura 8, con un volumen de trabajo efectivo de (90cm, 100cm, 46cm) respectivamente por cada eje, y una velocidad de impresión de 50 mm/s.



Figura 8. Plataforma de impresión 3D de gran formato.

Para validar el funcionamiento de la plataforma, se midió la precisión y exactitud de la maquina como se mencionó anteriormente mediante la impresión de cubos de calibración. En la Figura 9 se presenta las imágenes obtenidas con el microscopio 3D.

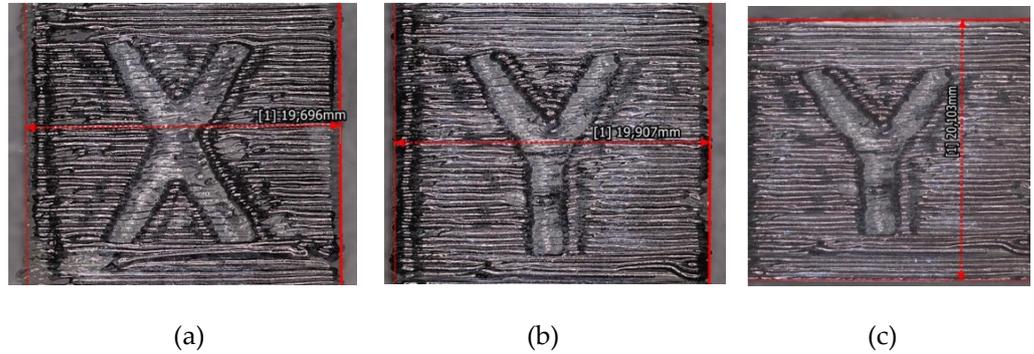


Figura 9. Mediciones en el microscopio 3D del cubo de calibración: (a) eje X; (b) eje Y; (c) eje Z.

Las diferentes medidas fueron condensadas en la Tabla 1, donde se hizo la comparación entre los diferentes cubos de calibración de 20 mm de lado que se imprimieron, a partir de esto se obtuvo la media aritmética de dichas medidas y además se calculó la desviación estándar y error relativo

Tabla 1. Resultados medición de los ejes en el microscopio 3D de los cubos de calibración impresos.

Ejes	Cubo 1 (mm)	Cubo 2 (mm)	Cubo 3 (mm)	Cubo 4 (mm)	Media (mm)	Desviación estándar	Error relativo (%)
Eje X	19,96	19,98	20,05	19,92	19,98	0,054	0,11
Eje Y	19,90	19,95	20,02	19,98	19,96	0,051	0,19
Eje Z	20,10	19,99	20,11	20,06	20,06	0,057	0,29

3.2. Pruebas de Impresión con fibras continuas

Para definir los parámetros adecuados en la integración de la fibra, se realizaron ajustes de flujo y temperatura. Para los resultados se muestran en la Tabla 2 se utilizó la boquilla de la Figura 7b.

Tabla 2. Resultados con distintos parámetros.

Muestra	Flujo (mm ³ /seg)	Temperatura (°C)	Resultado
1	65	176	
2	78	170	

3	110	170	
4	65	170	
5	58	170	
6	40	170	

Según los resultados obtenidos en la Tabla 2, se tuvo que el trazo número 6 presentaba una mejor calidad, por lo que se realizó una impresión de 3 capas y se examinó en el microscopio 3D para evaluar el recubrimiento de la fibra, en la Figura 10 se pueden observar los resultados.

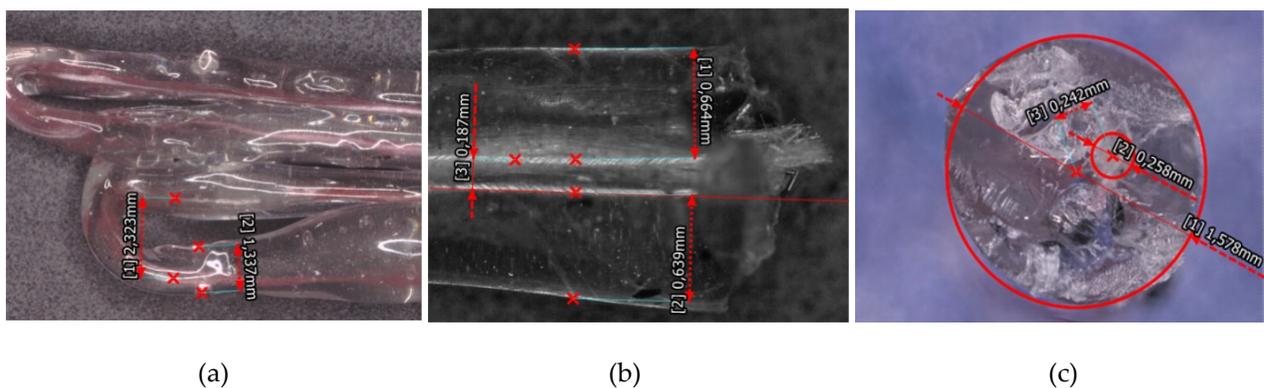


Figura 10. Mediciones en el microscopio 3D de los trazos: (a) vista lateral; (b) vista superior de un trazo; (c) vista transversal de un trazo.

La Figura 10a se muestra que la distancia entre cada fibra es de 2,32 mm, evidenciando el correcto recubrimiento por cada capa y se mantienen dentro del trazo de forma consistente; por otra parte, en la Figura 10c se observa que la fibra no se encuentra totalmente centrada con respecto a la matriz polimérica y que esta representa un 2.4% con respecto al área total del trazo.

4. Discusión

Cabe aclarar que el proyecto se encuentra en proceso de desarrollo, por lo que no se ha evaluado el comportamiento mecánico de las piezas impresas por medio de este proceso, esto es de vital importancia para así cuantificar la mejora en las propiedades mecánicas con respecto a los métodos de impresión tradicionales.

Respecto a la plataforma de impresión, los resultados indican que, a pesar de utilizar trazos de impresión más gruesos, se logra mantener una buena precisión y exactitud en la producción de piezas pequeñas en comparación con el tamaño total de la impresora; así mismo se garantiza una consistencia en la calidad y dimensiones de las piezas impresas.

Esto es especialmente beneficioso ya que permite aprovechar al máximo el área de impresión y realizar impresiones en serie de manera eficiente.

Por otro lado para la elección de la boquilla, se realizaron diferentes pruebas donde el diseño de la figura 7a buscaba un mayor ángulo de inclinación, esperando un mejor rendimiento en el arrastre de la fibra durante el proceso de impresión, sin embargo se tuvieron pérdidas de flujo del material de extrusión; teniendo en cuenta lo anterior, se diseñó la boquilla de la figura 7b, esta logro solventar los problemas del flujo, y mediante las pruebas realizadas permitía el arrastre de la fibra durante el proceso de impresión; así mismo este diseño permitía una mejor manipulación de la fibra para enhebrarla dentro de la boquilla.

De igual manera, durante el proceso de impresión se pudo observar, que en el momento que el polímero alcanzaba su punto de fusión, este pasaba a un estado líquido viscoso. Debido a esto, la fibra tenía la tendencia a no adherirse de inmediato a esta matriz. En consecuencia, como parte del desarrollo del proyecto, se consideró la incorporación de un ventilador de capa para solidificar al instante el trazo extruido.

5. Conclusiones

Se infiere, que la relación de diámetros entre la boquilla, la fibra y el material impreso, es lo más importante si se esperan obtener impresiones con un porcentaje de fibra con respecto a la matriz impresa, de acuerdo a los experimentos documentados. Por otro lado, se encontró que la pre impregnación de las fibras previo al proceso de impresión, no solo permitía un mejor manejo de estas, sino que además facilitaba la adherencia a la matriz polimérica. Así mismo, se concluye que, a temperaturas más altas, el material impreso tenía un mejor flujo de salida, sin embargo, la fibra no se arrastraba durante el trazo de la mejor manera. Por último, respecto a los resultados parciales, se deduce que un menor recorrido de la fibra dentro de la boquilla facilita el arrastre de la misma durante el proceso de impresión.

Contribuciones de autor: Alvaro Rojas: Conceptualización, metodología, validación, supervisión, administración de proyectos.

Francisco Mercado: Metodología, validación, análisis formal, revisión y edición.

Alejandro Hoyos: Investigación, redacción, preparación del borrador original, visualización, curación de datos.

Jefferson Solarte: Investigación, redacción, preparación del borrador original, visualización, curación de datos.

Conflictos de interés: Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Referencias

- [1] W. Yu, Z. Nie, and Y. Lin, "Research on the slicing method with equal thickness and low redundancy based on STL files," <https://doi.org/10.1080/02533839.2021.1919563>, vol. 44, no. 5, pp. 469–477, 2021, doi: 10.1080/02533839.2021.1919563.
- [2] J. Kechagias *et al.*, "Direct 3D Printing of a hand splint using Reverse Engineering," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2021. doi: 10.1088/1757-899X/1037/1/012019.
- [3] I. Gouzman, E. Grossman, R. Verker, N. Atar, A. Bolker, and N. Eliaz, "Advances in Polyimide-Based Materials for Space Applications," *Adv. Mater.*, vol. 31, no. 18, p. 1807738, May 2019, doi: 10.1002/ADMA.201807738.
- [4] ISO/ASTM, "ISO/ASTM 52900:2021(en), Additive manufacturing — General principles — Fundamentals and vocabulary." <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-astm:52900:ed-2:v1:en> (accessed Aug. 11, 2023).

- [5] E. Cuan-Urquizo, E. Barocio, V. Tejada-Ortigoza, R. B. Pipes, C. A. Rodriguez, and A. Roman-Flores, "Characterization of the Mechanical Properties of FFF Structures and Materials: A Review on the Experimental, Computational and Theoretical Approaches," *Mater.* 2019, Vol. 12, Page 895, vol. 12, no. 6, p. 895, Mar. 2019, doi: 10.3390/MA12060895.
- [6] J. Kechagias, D. Chaidas, N. Vidakis, K. Salonitis, and N. M. Vaxevanidis, "Key parameters controlling surface quality and dimensional accuracy: a critical review of FFF process," <https://doi.org/10.1080/10426914.2022.2032144>, vol. 37, no. 9, pp. 963–984, 2022, doi: 10.1080/10426914.2022.2032144.
- [7] N. Hill and M. Haghi, "Deposition direction-dependent failure criteria for fused deposition modeling polycarbonate," *Rapid Prototyp. J.*, vol. 20, no. 3, pp. 221–227, 2014, doi: 10.1108/RPJ-04-2013-0039/FULL/XML.
- [8] N. Vidakis, M. Petousis, E. Velidakis, M. Liebscher, V. Mechtcherine, and L. Tzounis, "On the Strain Rate Sensitivity of Fused Filament Fabrication (FFF) Processed PLA, ABS, PETG, PA6, and PP Thermoplastic Polymers," *Polym.* 2020, Vol. 12, Page 2924, vol. 12, no. 12, p. 2924, Dec. 2020, doi: 10.3390/POLYM12122924.
- [9] M. F. Arif, S. Kumar, K. M. Varadarajan, and W. J. Cantwell, "Performance of biocompatible PEEK processed by fused deposition additive manufacturing," *Mater. Des.*, vol. 146, pp. 249–259, May 2018, doi: 10.1016/J.MATDES.2018.03.015.
- [10] B. Akhouni, A. H. Behraves, and A. Bagheri Saed, "Improving mechanical properties of continuous fiber-reinforced thermoplastic composites produced by FDM 3D printer," *J. Reinf. Plast. Compos.*, vol. 38, no. 3, pp. 99–116, Feb. 2019, doi: 10.1177/0731684418807300/ASSET/IMAGES/LARGE/10.1177_0731684418807300-FIG20.JPEG.
- [11] C. Luan, X. Yao, C. Zhang, B. Wang, and J. Fu, "Large-scale deformation and damage detection of 3D printed continuous carbon fiber reinforced polymer-matrix composite structures," *Compos. Struct.*, vol. 212, pp. 552–560, Mar. 2019, doi: 10.1016/J.COMPSTRUCT.2019.01.064.
- [12] N. Maqsood and M. Rimašauskas, "Characterization of carbon fiber reinforced PLA composites manufactured by fused deposition modeling," *Compos. Part C Open Access*, vol. 4, p. 100112, Mar. 2021, doi: 10.1016/J.JCOMC.2021.100112.
- [13] T. Kuncius, M. Rimašauskas, and R. Rimašauskienė, "Interlayer Adhesion Analysis of 3D-Printed Continuous Carbon Fibre-Reinforced Composites," *Polym.* 2021, Vol. 13, Page 1653, vol. 13, no. 10, p. 1653, May 2021, doi: 10.3390/POLYM13101653.
- [14] N. Li, Y. Li, and S. Liu, "Rapid prototyping of continuous carbon fiber reinforced polylactic acid composites by 3D printing," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 238, pp. 218–225, Dec. 2016, doi: 10.1016/J.JMATPROTEC.2016.07.025.
- [15] R. Matsuzaki *et al.*, "Three-dimensional printing of continuous-fiber composites by in-nozzle impregnation," *Sci. Reports* 2016 61, vol. 6, no. 1, pp. 1–7, Mar. 2016, doi: 10.1038/srep23058.
- [16] M. Rimašauskas, T. Kuncius, and R. Rimašauskienė, "Processing of carbon fiber for 3D printed continuous composite structures," <https://doi.org/10.1080/10426914.2019.1655152>, vol. 34, no. 13, pp. 1528–1536, Oct. 2019, doi: 10.1080/10426914.2019.1655152.
- [17] MotionKing, "23HS8430 datasheet." <https://datasheetspdf.com/pdf-file/978082/MotionKing/23HS8430/1> (accessed Aug. 11, 2023).
- [18] N. Bachhar, A. Gudadhe, A. Kumar, P. Andrade, and G. Kumaraswamy, "3D printing of semicrystalline polypropylene: towards eliminating warpage of printed objects," *Bull. Mater. Sci.*, vol. 43, no. 1, pp. 1–8, Dec.

2020, doi: 10.1007/S12034-020-02097-4/FIGURES/8.

- [19] Marlin, "What is Marlin? | Marlin Firmware." <https://marlinfw.org/docs/basics/introduction.html> (accessed Aug. 11, 2023).
- [20] Motion, "Datasheet-Driver-WD-TB6600." <https://d26lpennugtm8s.cloudfront.net/stores/198/075/rte/Datasheet-Driver-WD-TB6600.pdf> (accessed Aug. 11, 2023).
- [21] T. Yu, J. Ren, S. Li, H. Yuan, and Y. Li, "Effect of fiber surface-treatments on the properties of poly(lactic acid)/ramie composites," *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.*, vol. 41, no. 4, pp. 499–505, Apr. 2010, doi: 10.1016/J.COMPOSITESA.2009.12.006.
- [22] Felfil, "Felfil Extrusion System - Crea tu filamento para impresion 3d." <https://felfil.com/es/felfil-bundle/?v=5ea34fa833a1> (accessed Aug. 11, 2023).