

# **Exploración de morfologías bioinspiradas impresas en arcilla para la mitigación de riesgos térmicos en la cocina**

Juan Diego Monsalve

José Antonio Estrada

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE ARQUITECTURA Y DISEÑO  
FACULTAD DE DISEÑO INDUSTRIAL  
PROGRAMA DE DISEÑO INDUSTRIAL  
MEDELLÍN  
2024**

# Exploración de morfologías bioinspiradas impresas en arcilla para la mitigación de riesgos térmicos en la cocina

Juan Diego Monsalve

José Antonio Estrada

Trabajo de grado para optar al título de Diseñador Industrial

Asesores

ALEJANDRO ALBERTO ZULETA GIL

Ingeniero de materiales, Magister y Doctor en ingeniería

ANA MARIA LOTERO ARIAS

Diseñadora Industrial, Esp.

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE ARQUITECTURA Y DISEÑO  
FACULTAD DE DISEÑO INDUSTRIAL  
PROGRAMA DE DISEÑO INDUSTRIAL  
MEDELLÍN  
2024

# Exploración de morfologías bioinspiradas impresas en arcilla para la mitigación de riesgos térmicos en la cocina

Juan Diego Monsalve & José Antonio Estrada

Facultad de Diseño Industrial, Universidad Pontificia Bolivariana, Sede Medellín, Circular 1 N° 70-01, Medellín, Colombia

## Resumen

En este estudio se analiza el efecto de la morfología de objetos cerámicos impresos en 3D mediante modelado por deposición líquida (LDM) para reducir el riesgo de quemaduras por contacto y salpicaduras en la cocina. Se utilizaron patrones bioinspirados para mejorar las propiedades térmicas de los prototipos, partiendo de un análisis de riesgos en el hogar para personas con discapacidades. Los objetivos incluyeron caracterizar el público objetivo, analizar morfologías bioinspiradas, explorar la impresión 3D avanzada en Grasshopper e identificar factores de riesgo en la cocina. Se desarrollaron y validaron tres prototipos en entornos simulados, destacando las celdas hexagonales como las más efectivas para la evacuación de gases y la reducción de salpicaduras. No obstante, la evaluación completa en material cerámico no se logró por limitaciones de tiempo, lo que sugiere ajustes en la altura de capa y la composición para optimizar la conductividad térmica. Los resultados indican un potencial significativo para productos cerámicos industriales más seguros, aunque se requiere mejorar la precisión y consistencia de la impresión.

## Abstract

This study analyzes the effect of the morphology of 3D-printed ceramic objects using Liquid Deposition Modeling (LDM) to reduce the risk of contact burns and splashes in the kitchen. Bio-inspired patterns were used to enhance the thermal properties of the prototypes, starting with a risk analysis in homes for people with disabilities. The objectives included characterizing the target audience, analyzing bio-inspired morphologies, exploring advanced 3D printing in Grasshopper, and identifying risk factors in the kitchen. Three prototypes were developed and validated in simulated environments, with hexagonal cells proving to be the most effective for gas evacuation and splash reduction. However, a complete evaluation in ceramic material was not achieved due to time constraints, suggesting adjustments in layer height and composition to optimize thermal conductivity. The results indicate significant potential for safer industrial ceramic products, although improvements in printing precision and consistency are still needed.

Palabras Clave: Reducción de quemaduras, limitaciones visuales y motrices, patrones bioinspirados. impresión 3D, cerámica.

## 1. Introducción

Según la Organización Mundial de la Salud, un 80% de los accidentes se producen en el hogar, con la cocina como punto principal de concentración de riesgos, siendo las quemaduras por contacto y salpicaduras, la causa más importante de accidentes tanto leves como graves, representando casi un 50% de los accidentes en cocina y un 25% de los accidentes en el hogar. La mayoría de quemaduras, son causadas por salpicaduras de líquidos o por contacto accidental con superficies

calientes, y están generalmente relacionadas con los utensilios utilizados, y los pocos productos que existen para solucionar este problema, además de no ser realmente comunes como para ser considerados por el mercado, requieren de una gran concentración y cuidado al ser utilizados, volviéndose inútiles para usuarios con limitaciones psicomotrices y no resultando tampoco muy útiles para el público general. Además, se encontró que las enfermedades relacionadas con la baja visión son más comunes en países en vías de desarrollo, como Colombia, y que estas afecciones impactan significativamente la vida diaria de quienes las padecen, dificultando actividades cotidianas como caminar, cocinar, leer y escribir (Cárdenas, 2011).

Los adultos mayores, cuyas capacidades motrices y visuales se ven afectadas debido a su avanzada edad, son más propensos a padecer enfermedades visuales como glaucoma, degeneración macular y cataratas o limitaciones motrices como Artritis, artrosis y osteoporosis, que pueden exponerlos a un riesgo superior que les puede generar una mayor dependencia a otras personas y una reducción en la calidad de vida.

Por el otro lado, en alianza con la empresa Sumicol, encargada de la producción de materias primas para la industria cerámica, se realiza un trabajo que tiene como objetivo encontrar aplicaciones en manufactura aditiva con materiales arcillosos, modelado por deposición líquida (LDM). Para esto, en este trabajo se exploran morfologías bioinspiradas que puedan de algún modo reducir la conductividad térmica, evacuar gases y reducir salpicaduras de manera que pueda favorecer a la protección de los usuarios, en especial a aquellos con discapacidad visual.

Se busca entonces, por medio del análisis morfológico y el reconocimiento de factores de riesgo, diseñar un utensilio o complemento de cocina impreso en material cerámico por medio de LDM, que brinde protección al usuario contra quemaduras por contacto y salpicaduras por medio de formas bioinspiradas, que pueda ser utilizado de manera fácil y segura por personas con deficiencias sensoriales. Para esto, se planteó una metodología basada en la obtención de dichas morfologías a partir del diseño del GCODE personalizado a partir del plugin de Rhino, Grasshopper, de manera que se pudiera controlar el recorrido de impresión y todos sus parámetros.

Se estudian morfologías inspiradas en las estructuras celulares de los árboles y en las estructuras tipo panal que aumentan la superficie, Y micro canales que dirigen y evacuan el calor, reduciendo así la temperatura general de la pieza. Para mitigar el riesgo de accidentes por salpicaduras de líquidos calientes, se exploraron morfologías que facilitarían la evacuación de gases y la retención de fluidos. Para seleccionar aquellas que, además de reducir la conductividad térmica, permitieran aprovechar la tecnología de impresión 3D mediante deposición de material líquido (LDM).

## **2. Materiales y métodos**

Para alcanzar los objetivos del proyecto, se comenzó por realizar una búsqueda exhaustiva en bases de datos, a partir de la cual se identificó a la población con mayor riesgo en el entorno de la cocina y se analizaron las dificultades que este grupo enfrentaba al realizar actividades culinarias. Este proceso permitió definir al usuario objetivo, siendo este principalmente personas de la tercera edad, quienes, debido al desgaste de sus capacidades visuales y motrices asociado con la edad, se encontraban en una situación de mayor vulnerabilidad frente a tareas de alto riesgo, como la cocina. Con este análisis preliminar de la población en riesgo y de los factores que los afectan, se desarrollaron fichas de entrevista para explorar en profundidad las necesidades y limitaciones de este grupo.

Se realizaron estas entrevistas con diez personas: tres con enfermedades visuales, tres con afecciones motrices y cuatro sin problemas de salud ni limitaciones psicomotrices. A todos se les formularon preguntas orientadas a identificar los padecimientos más comunes, los obstáculos que encontraban al cocinar y los utensilios con mayor riesgo de causar quemaduras. Los datos recopilados en las entrevistas permitieron desarrollar modelos de empatía que imitaban los efectos de las condiciones encontradas y facilitaban la simulación de situaciones de riesgo en la cocina, exponiendo de manera más cercana las limitaciones que se deseaban abordar y cómo los riesgos se presentaban ante el usuario. Este enfoque facilitó la identificación de estrategias para mitigar los riesgos y mejorar la seguridad de los usuarios en su entorno diario.

Los modelos de empatía (Figura 1) fueron empleados para simular las limitaciones visuales y motrices comunes en personas mayores, evaluando así factores de riesgo y métodos específicos de prevención. Para esto, se usaron cuatro modelos: tres de ellos simulaban condiciones visuales como cataratas, glaucoma y degeneración macular, diseñados con base en la aplicación móvil Tengo Baja Visión. El cuarto modelo simula la motricidad reducida, usando guantes que restringían el movimiento para imitar la pérdida de destreza manual asociada a condiciones como artritis. Aunque no fue fabricado para este estudio, fue facilitado por la facultad para mejorar la precisión de la simulación. Para identificar los factores de riesgo, se recrearon situaciones de uso en la cocina, donde se observaron los comportamientos de los usuarios frente a posibles peligros, especialmente aquellos relacionados con quemaduras. La metodología, que incluyó formatos de observación, permitió precisar las causas de vulnerabilidad en esta población, aportando información clave para diseñar soluciones más seguras y efectivas.

Para el análisis formal, se tomó como punto de partida la búsqueda de morfologías bioinspiradas basadas en la literatura e investigaciones previas encontradas en bases de datos y revistas científicas. Posteriormente, se compararon dos de estas morfologías, seleccionadas por su potencial para reducir la conductividad térmica y, en consecuencia, mitigar el riesgo de quemaduras por contacto. Se eligieron morfologías inspiradas en la naturaleza, respaldadas por estudios científicos que documentaran su comportamiento térmico, con el objetivo de identificar la morfología más adecuada.

Para construir los prototipos que permitan evaluar y validar el comportamiento de las morfologías seleccionadas frente a situaciones de riesgo, se emplearon los programas de modelado Rhinoceros y Grasshopper 3D. En ellos, se diseñaron tres prototipos digitales parametrizados basados en las morfologías identificadas. Estas morfologías incluían tres parámetros, de los cuales uno era constante y los otros dos, variables. La constante fue el ángulo de inclinación, fijado en un 15%, diseñado para permitir una evacuación suficiente y adecuada de los gases y evitar la condensación. Las variables fueron la forma de las sustracciones hexagonales y rectangulares, así como la cantidad de perforaciones, distribuida en función del número de unidades por radio (Ucount) y por circunferencia (Vcount). Una vez definidas las morfologías de los prototipos, se fabricaron mediante impresión 3D con la impresora Ender V3 SE, que utiliza tecnología de FDM (modelado por deposición fundida) y material PLA de calibre 1.77 mm, seleccionado por su punto de fusión, facilidad de acceso y resistencia. Esta técnica permitió obtener modelos físicos con suficiente precisión para ser validados en situaciones de uso real en el entorno de la cocina.

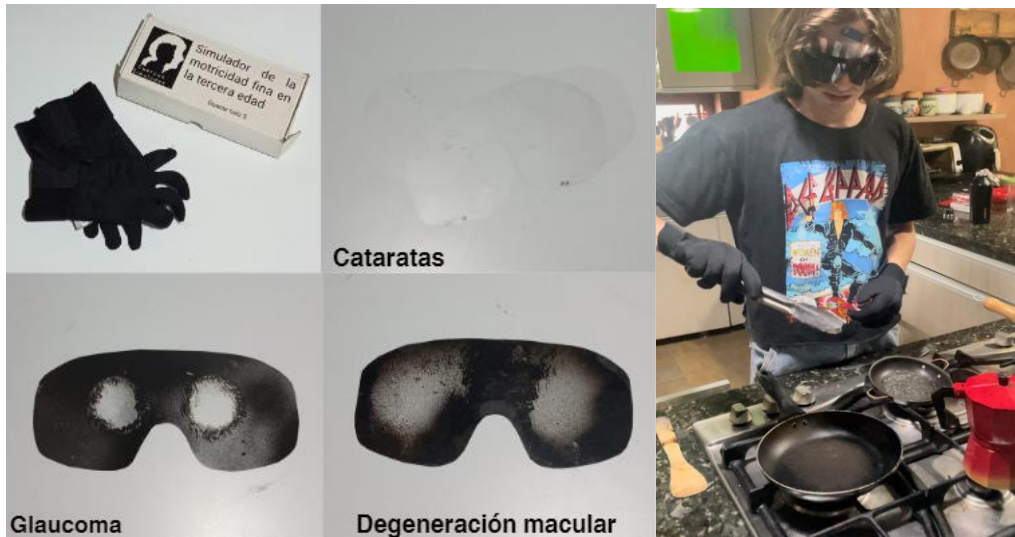


Figura 1. Modelos de empatía de padecimientos motrices y visuales. Autoría propia

A continuación, los tres prototipos impresos en PLA desarrollados durante la etapa anterior fueron sometidos a un proceso de validación y comparación en una situación de cocina riesgosa simulada, en la que se recrearon escenarios de uso en los que las personas podrían estar expuestas a salpicaduras de aceite. En esta prueba, el modelo en PLA se colocó sobre una cacerola de aluminio de 16 cm de diámetro, y encima se ubicó un recorte de cartón con la silueta del prototipo, con el fin de medir la cantidad de salpicaduras que lograba filtrar. A través del orificio central del modelo, se vertió 1 cucharadita (5 ml) de aceite, el cual se dejó calentar durante 20 segundos. Posteriormente, con una jeringa, se añadió 1 ml de agua por el mismo orificio para generar una reacción de salpicaduras, dejándolo actuar durante 15 segundos. Al finalizar, se retiró el recorte de cartón para observar y comparar los resultados. Este procedimiento se repitió tres veces para cada prototipo. Durante esta fase, se utilizó una ficha de observación especialmente diseñada para documentar el comportamiento de cada prototipo en estos contextos y poder compararlos para identificar cuál de las tres morfologías ofreció la mejor combinación de seguridad, ergonomía y funcionalidad en situaciones de riesgo reales. Una vez seleccionado el prototipo con mejor desempeño, se procedió a su fabricación definitiva mediante impresión 3D en cerámica, un material que, por sus propiedades térmicas y mecánicas, resultó más adecuado para el uso prolongado en entornos de cocina y proporcionó una solución más duradera y segura para los usuarios.

Una vez validado el comportamiento y seleccionados los parámetros de celda a utilizar en el prototipo final, se procede a utilizar Grasshopper y Rhino 3D para generar manualmente el Gcode de impresión a partir de una curva que indica el recorrido, controlando este para no dañar la pieza y además ahorrar material y tiempo de impresión. Para las pruebas de impresión se utilizará una impresora Potter Bot 10 micro de la marca 3d Potter y pasta cerámica suministrada por la empresa Sumicol, que deberá ser preparada con un 20% de agua para poderse extruir. Se evaluarán distintas velocidades de impresión (F), cantidades de extrusión (E) y alturas de capa (Z); haciendo uso de una boquilla de 2 mm. En este proceso se utilizó como referencia el libro *Advanced 3D Printing with Grasshopper*, que proporcionó valiosos conocimientos sobre técnicas avanzadas de impresión (*Advanced 3D Printing With Grasshopper, Clay And FDM | WorldCat.org, 2020*).

### 3. Resultados y discusión

Tras el análisis de las entrevistas realizadas a los usuarios se encontró que las personas con enfermedades visuales enfrentan mayores dificultades para identificar riesgos relacionados con el calor y el manejo de utensilios, lo que incrementa la posibilidad de accidentes. Por otro lado, quienes padecen afecciones motrices presentan problemas de movilidad que afectan su habilidad para maniobrar con facilidad y precisión en el entorno de la cocina especialmente cuando manipulan objetos como ollas y sartenes. La falta de estabilidad o la debilidad en las articulaciones pueden hacer que un movimiento inseguro provoque un accidente grave.

Se observó a partir de las entrevistas y las simulaciones realizadas con los modelos de empatía, que las personas con glaucoma pueden tocar de manera accidental objetos calientes al no percibir algunas zonas del campo de visión, las cataratas no permiten distinguir algunas figuras complejas o elementos muy pequeños, si los elementos no tienen un color que contraste con su entorno son difíciles de distinguir. Por el otro lado, quienes padecen afecciones motrices presentan problemas de movilidad que elevan el riesgo de derrames y quemaduras al manipular objetos pesados o calientes, además tienen dificultad para agarrar asas u objetos pequeños, y pueden tener contacto con las ollas al estar cocinando varias cosas a la vez, aumentando el riesgo de quemaduras y derrames.

Se identificaron tres morfologías que pueden contribuir a reducir la conductividad térmica. Las primeras dos son celdas cerradas de formas rectangulares y hexagonales, inspiradas en las estructuras celulares de los árboles y en la estructura de panal. Estas configuraciones aumentan la superficie, lo que disminuye tanto la conductividad térmica como la temperatura en la superficie opuesta a la fuente de calor. La tercera morfología está compuesta por micro canales que dirigen y evacuan el calor, reduciendo así la temperatura general de la pieza. Para mitigar el riesgo de accidentes por salpicaduras de líquidos calientes, se exploraron nuevas morfologías que facilitarían la evacuación de gases y la retención de fluidos. Se seleccionaron aquellas que, además de reducir la conductividad térmica, permitieran aprovechar la tecnología de impresión 3D mediante deposición de material líquido (LDM), con el fin de compararlas y someterlas a ensayos.

A partir de las morfologías estudiadas con celdas hexagonales, rectangulares y micro canales: se decide trabajar con las primeras dos, puesto que generar micro canales dentro de la arcilla sin técnicas externas puede resultar bastante complejo dada la fluidez y tiempo de secado del material, por el otro lado, las celdas pueden ser fácilmente generadas por medio de Grasshopper, brindando además la posibilidad de parametrizar el modelo y variar la forma, la repetición o el tamaño de las celdas para posteriormente generar un *Gcode* en *Grasshopper* a partir del recorrido e imprimir en el material cerámico.

Para reducir las salpicaduras por medio de la morfología, se encontraron principalmente dos requerimientos: Que cualquier vapor generado pueda evacuar para que no se condense y caiga nuevamente al aceite, y que los orificios sean lo suficientemente pequeños para que grandes gotas de aceite puedan salir sin obstruirlos. Con esto en cuenta, se profundiza nuevamente en las celdas hexagonales y rectangulares, imprimiendo varias tapas y variando los parámetros de tamaño y repetición de celdas. Finalmente: se imprimieron para comparar dos tapas con celdas hexagonales y dos con celdas rectangulares, compartiendo los demás parámetros (figura 2).

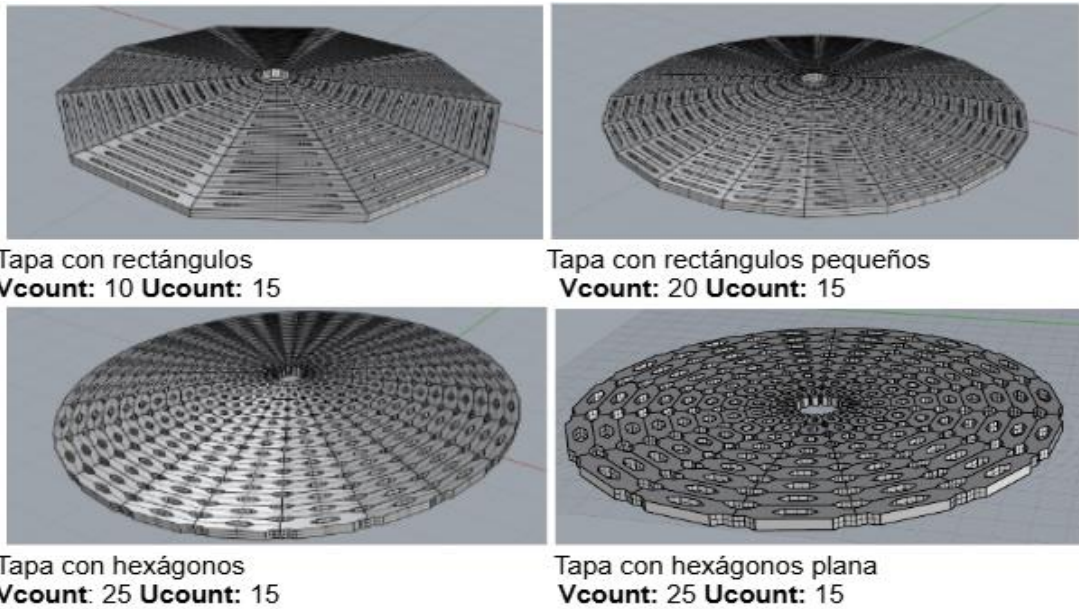


Figura 2. Modelos digitales de las morfologías encontradas. Autoría propia

Los resultados obtenidos de los ensayos de salpicaduras fueron registrados en la ficha de observación, además se realizó un análisis de los datos obtenidos que permitió identificar patrones clave sobre la efectividad de cada modelo frente a las salpicaduras, ofreciendo información valiosa para mejorar su diseño y funcionalidad. El análisis reveló que la tapa con rectángulos más grandes, aunque facilita una evacuación eficiente de gases debido al tamaño de sus aberturas, permite que el aceite salpique hacia afuera en grandes cantidades. Este comportamiento sugiere que, a menor número de unidades repetidas en la circunferencia (V count) mayor es el tamaño de las aberturas, lo cual incrementa el riesgo de salpicaduras de aceite. Al probar la tapa con rectángulos más pequeños, se observó que, aunque la cantidad de unidades en el V count era mayor, las aberturas aún permitían el paso de una cantidad significativa de aceite caliente. Finalmente, se encontró que la tapa con mayor cantidad de agujeros más pequeños presentaba el mejor rendimiento en términos de evacuación de gases y control de salpicaduras. Aunque la diferencia de forma entre agujeros rectangulares y hexagonales no era completamente determinante, se optó por los hexágonos debido a su capacidad para un recorrido de extrusión continuo y la distribución uniforme de los agujeros en toda la tapa, lo que garantiza una mejor cobertura y seguridad en el uso.

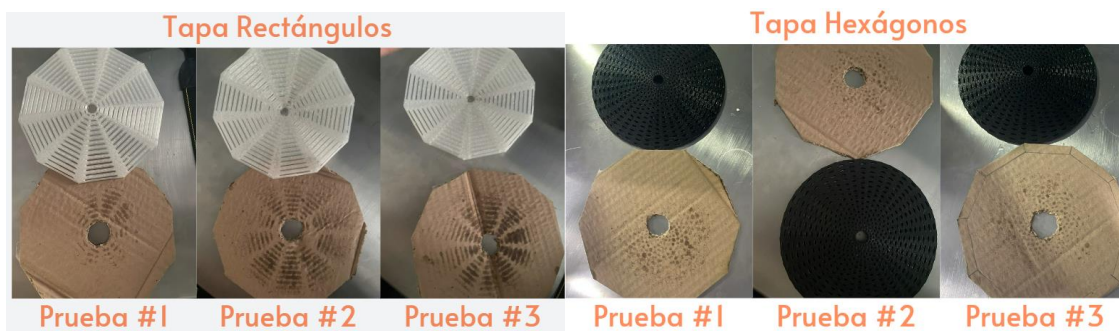




Figura 3. Resultados de la prueba de salpicadura. Autoría propia

Gracias a la personalización detallada del Gcode por medio de curvas de recorrido (figura 4), se pudo controlar con mayor criterio el recorrido de la impresora 3D Potter, asegurando la correcta unión estructural del prototipo y una buena definición, lo que no solo garantiza la integridad del diseño, sino que también optimiza el uso del material, reduciendo el desperdicio y promoviendo una fabricación más eficiente y sostenible. Este enfoque manual permite ajustar cada detalle del proceso de impresión para responder a las especificaciones técnicas y funcionales previamente establecidas y responder específicamente a las limitaciones que presenta la impresión en arcilla comparada con la impresión tradicional con polímero. Al gestionar el recorrido de la impresión, se aseguraron resultados de alta calidad, tanto en términos de resistencia estructural como en la definición final del prototipo.

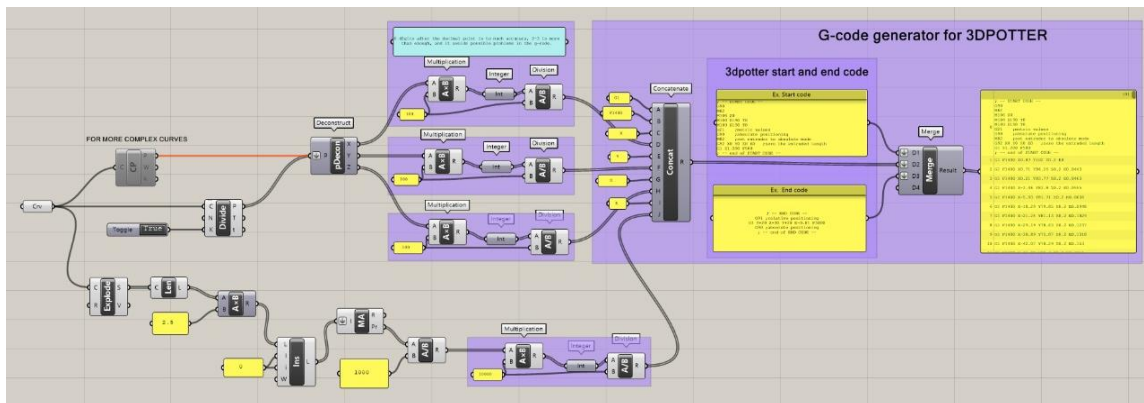
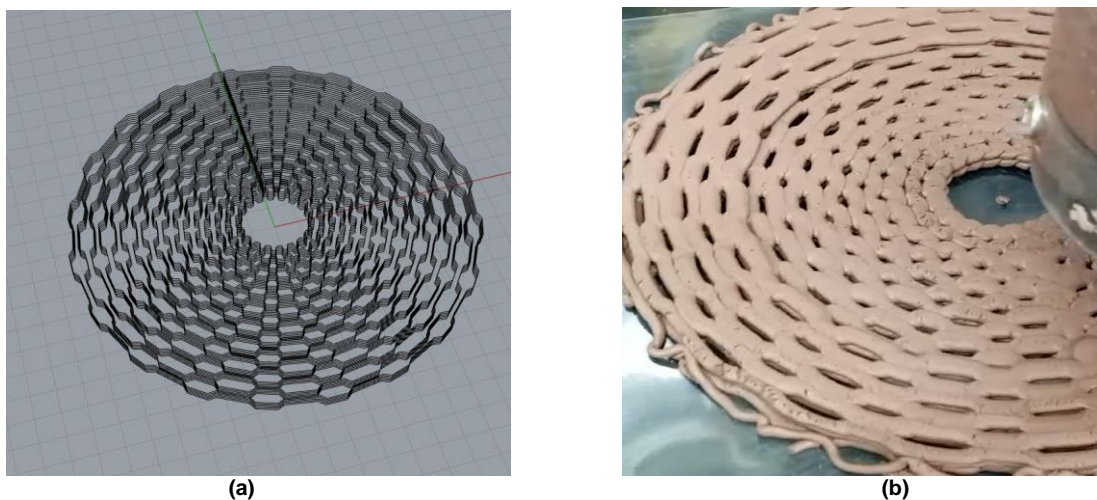


Figura 4. Gcode de recorrido. Autoría propia

De igual manera, imprimir a partir de curvas sin hacer uso de slicers convencionales, puede presentar distintas dificultades que se resolvieron a partir de diferentes iteraciones con el código de Grasshopper. Desde líneas de código específicas a cada máquina, hasta diferencias en el multiplicador de extrusión por las diferencias entre los distintos émbolos de las máquinas y finalmente la proporción correcta de velocidad y material extruido. Para el modelo final utilizado, que aún podría ser ajustado para lograr una mejor definición se utilizó una boquilla de 1.5 mm con una altura de capa de 1.8 mm, un multiplicador de extrusión (E) de 1.5 y una velocidad (F) de 1400 mm/min. Además, se modificaron los parametros de velocidad de movimiento y extrusión durante la impresión para evitar inconsistencias en la extrusión, puesto que hacia el centro del modelo los recorridos de

impresión son muy cortos y si se extruye de manera constante se pierde definición, por lo que es necesario reducir la cantidad de arcilla extruida o aumentar la velocidad de movimiento cuando la extrusora se vaya acercando al centro. Con esto, se aseguró un modelo con una buena definición que se imprime completamente en menos de 15 minutos y al que posteriormente se le da la forma de cono con un molde y se deja secar lentamente para que conserve su forma y no se quiebre por una pérdida rápida de humedad, consecuencia de la arcilla con un 20% de agua. Sin embargo, se sigue deseando obtener un modelo sin tantas inconsistencias, lo que implica comenzar a hacer ajustes específicos en la impresora para asegurar una altura de capa y una extrusión consistente, puesto que por cómo funciona y está construida la impresora, sumado al estado actual de la máquina, puede ser una gran limitante al momento de imprimir modelos de baja tolerancia.



**Figura 5.**(a) Curva de recorrido y (b) muestra impresa a partir del gcode generado. Autoría propia

#### 4. Conclusiones

Para el futuro de la investigación, puesto que no se logró evaluar el comportamiento con prototipos acabados en el material cerámico por cuestiones de tiempo, sería ideal profundizar en la reducción de conductividad térmica cambiando parámetros como la altura de las capas de impresión y la composición del material. Sin embargo, a partir de los resultados obtenidos en cuanto a reducción de quemaduras se pueden desarrollar productos cerámicos a nivel industrial que hagan esto de manera más efectiva que los productos actuales del mercado,

Además, resulta la duda de cómo se hubiera desarrollado el modelo haciendo uso de los micro canales para evacuar calor y gases, que podría ser posible utilizando medios y técnicas externas a la impresión 3d o técnicas más avanzadas de esta.

Por otro lado, los hallazgos en impresión 3D pueden servir para generar modelos con diferentes morfologías, patrones y distintos fines, que utilizan menos material en su manufactura y generando menos desperdicios en formas mucho más complejas que serían casi imposibles de producir con

métodos tradicionales gracias a la manufactura aditiva y la generación de códigos a partir de recorridos de curvas.

Finalmente, es importante resaltar que la misma impresora puede limitar la calidad de las piezas que se pueden sacar, puesto que no todas las extrusoras ni plataformas son iguales y en ocasiones pueden ser un poco inconsistentes. Específicamente, se encontró que muchos de los modelos impresos en la impresora de 3D Potter variaba la altura de capa y la extrusión: debido a una plataforma desnivelada e inestable y una extrusora inconsistente, debido al sistema que utiliza para empujar la arcilla que la puede heterogeneizar.

## Referencias

Advanced 3D printing with Grasshopper, clay and FDM | WorldCat.org. (2020). *WorldCat*. <https://search.worldcat.org/es/title/advanced-3d-printing-with-grasshopper-clay-and-fdm/oclc/1178610139>

Cárdenas, Y. Z. C. (2011). *La baja visión en Colombia y en el mundo*. Dialnet. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5599284>

Cornelissen, F. W., Bootsma, A., & Kooijman, A. C. (1995). Object perception by visually impaired people at different light levels. *Vision Research*, 35(1), 161-168. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(94\)00183-m](https://doi.org/10.1016/0042-6989(94)00183-m)

Forero Ortega, C. A., Méndez León, S. G., & Vasquez Torres, L. C. (2021). *Prototipo de artefacto IoT para la detección de riesgos y prevención de accidentes en la cocina del hogar* [Proyecto de grado, Universidad Piloto de Colombia]. <https://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/10063/PROTOTIPO%20DE%20ARTEFACTO%20IOT%20PARA%20LA%20DETECCIÓN%20DE%20RIESGOS%20Y%20PREVENCIÓN%20DE%20ACCIDENTES%20EN%20LA%20COCINA%20DEL%20HOGAR..pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Generating 3D printing files (G-code) with Grasshopper — Rhino Grasshopper Open Access Education. (n.d.). *TU Delft Interactive Textbooks*. [https://interactivetextbooks.tudelft.nl/rhino-grasshopper/Grasshopper\\_Rhino\\_course/2\\_Knowledge\\_base/Digital\\_fabrication/3D\\_Printing/%21index.html](https://interactivetextbooks.tudelft.nl/rhino-grasshopper/Grasshopper_Rhino_course/2_Knowledge_base/Digital_fabrication/3D_Printing/%21index.html)

Grabowska, B., & Kasperski, J. (2020). The thermal conductivity of 3D printed plastic insulation materials—The effect of optimizing the regular structure of closures. *Materials*, 13(19), 4400. <https://doi.org/10.3390/ma13194400>

J, M. R. E., & Marbelia, F. S. (s.f.). Lesión por quemadura en el adulto mayor. *Scielo Cuba*. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1025-02552011000500007&script=sci\\_arttext](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1025-02552011000500007&script=sci_arttext)

Li, Z., Wang, K., Li, J., Wang, B., & Zhang, C. (2020). Effects of microstructures of foam core on the thermal shock strength of ceramic foam sandwich structures. *Materialia*, 10, 100660. <https://doi.org/10.1016/j.mtla.2020.100660>