

**Diseño De Utensilios De Cocina A Partir
De Estructuras Con Tpms Para
Favorecer Su Usabilidad En Usuarios
Que Presentan Artritis Reumatoide**

MARIA CAMILA NARANJO DUARTE

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

**Diseño De Utensilios De Cocina A Partir
De Estructuras Con Tpms Para
Favorecer Su Usabilidad En Usuarios
Que Presentan Artritis Reumatoide**

MARIA CAMILA NARANJO DUARTE

Trabajo de grado para optar al título de Diseñador Industrial

Asesor

ALEJANDRO ALBERTO ZULETA GIL

Ingeniero de materiales, magister y doctor en ingeniería

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

Diseño De Utensilios De Cocina A Partir De Estructuras Con Tpms Para Favorecer Su Usabilidad En Usuarios Que Presentan Artritis Reumatoide

Maria Camila Naranjo Duarte

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

Resumen

El proyecto busca explorar el uso de estructuras de Superficies Mínimas Triplemente Periódicas (TPMS) en el diseño de productos cerámicos, especialmente para crear utensilios de cocina adaptados a personas con artritis reumatoide. Las TPMS, conocidas por su ligereza, resistencia y geometrías complejas, ofrecen una solución para mejorar el agarre y reducir el esfuerzo necesario al manipular los utensilios. A pesar de su potencial, las TPMS se utilizan principalmente en el interior de los objetos debido a la dificultad de mantener una superficie sólida en el exterior. El desafío principal fue ajustar los parámetros de impresión 3D para garantizar una extrusión precisa, ya que las TPMS requieren boquillas delgadas para mantener la integridad de la estructura. Se realizaron pruebas de simulación y se ajustaron configuraciones de impresión para obtener resultados satisfactorios en términos de resistencia, ligereza y estética. El objetivo final es crear un diseño funcional que beneficie a personas con movilidad reducida en las manos.

Palabras clave: Impresión 3D en cerámica; Superficies Mínimas Triplemente Periódicas (TPMS); Propiedades mecánicas; Análisis por elementos finitos (FEA).

Abstract

The project seeks to explore the use of Triply Periodic Minimal Surfaces (TPMS) structures in the design of ceramic products, particularly for creating kitchen utensils adapted for people with rheumatoid arthritis. TPMS, known for their lightness, strength, and complex geometries, offer a solution to improve grip and reduce the effort required when handling utensils. Despite their potential, TPMS are mainly used in the interior of objects due to the difficulty of maintaining a solid surface on the exterior. The main challenge was adjusting 3D printing parameters to ensure precise extrusion, as TPMS require thin nozzles to maintain the structural integrity. Simulation tests were carried out, and printing configurations were adjusted to achieve satisfactory results in terms of strength, lightness, and aesthetics. The ultimate goal is to create a functional design that benefits people with limited hand mobility.

Keywords: 3D printing in ceramics; Triply Periodic Minimal Surfaces (TPMS); Mechanical properties; Finite Element Analysis (FEA).

1. Introducción

La impresión 3D en arcilla es una tecnología emergente que ha sido poco estudiada en términos de sus posibles aplicaciones, incluyendo los acabados, tiempos de producción, sostenibilidad, diseño

de geometrías complejas y resistencia. Esta investigación se centra en el análisis de las condiciones necesarias para producir piezas impresas en arcilla utilizando estructuras de Superficies Mínimas Triplemente Periódicas (TPMS). A través del diseño, se busca desarrollar productos cuya morfología permita mejorar el agarre y fomentar la autonomía de personas con Artritis Rematoide. El objetivo es implementar las estructuras TPMS en diseños cerámicos convencionales de manera funcional, evaluando cuál de estas estructuras mantiene o mejora la relación resistencia/peso.

Hoy en día los estudios reportan que a nivel global del 0.5% al 1% de las personas sufren de artritis reumatoide, en Colombia se reportó una prevalencia de artritis del 1.49%. Esta enfermedad crónica provoca inflamación en el cuerpo y dolor en las articulaciones, lo que limita a las personas en sus actividades cotidianas como lo es el uso de utensilios de cocina, dificultándoles su uso debido a que estos les pueden resultar muy pesados, sus agarres no son lo suficientemente estables para ellos y se calientan rápido por lo que disminuye las superficies de agarre, por lo que es muy común que se fracturen o dañen estos objetos. Por esto, se busca el planteamiento de alternativas que permitan el diseño de dispositivos más livianos a la vez que conservan la resistencia mecánica necesaria para que el producto siga cumpliendo con la función esperada para este.

Una alternativa para abordar esto son las estructuras basadas en Superficies Mínimas Triplemente Periódicas (TPMS), son definidas matemáticamente como estructuras que se repiten en 3 dimensiones con curvaturas medias de 0 y con superficies más largas. Este tipo de estructuras, presentan una mejor manufacturabilidad que otros tipos como las que se basan en vigas y, además, no presenta concentradores de esfuerzos en los nodos de unión, debido a que el proceso de manufactura se compone por líneas continuas. Sin embargo, se ha explorado poco acerca del uso de este tipo de estructuras en la configuración interna de los materiales arcilloso, en general para su aplicación en el diseño de productos cerámicos funcionales, más bien se ha hecho desde lo estético y lo médico que ha sido poco explorado y casi que nulo en lo que se refiere a asuntos asociados con el bienestar de los usuarios con algún tipo de limitación o discapacidad física. Por otra parte, en cuanto a la impresión 3D en arcilla, se han hecho pocos estudios sobre sus posibles aplicaciones y las posibilidades de este método de fabricación, además, se han llegado a resultados limitados y se han dejado en lo básico o estético.

Este proyecto busca identificar los patrones que se pueden obtener a partir de las estructuras desarrolladas con TPMS específicamente la Gyroid y la Schwartz para identificar cuáles presentan una buena relación entre resistencia a la compresión e impacto y su peso, además de permitir la conservación de calor. Con esto se pretende, posteriormente, realizar el planteamiento de al menos un utensilio de cocina que presente estas características y que posibilite el desarrollo de nuevos productos que sean más seguros a la vez que se favorece su usabilidad por parte de usuarios que presentan patología de artritis reumatoide.

Actualmente ya se han explorado ambos tipos de morfologías TPMS dando como resultado la SCHWARTZ como la que aprueba los requerimientos

El uso de estructuras de Superficies Mínimas Triplemente Periódicas (TPMS) está transformando el diseño de productos en diversas industrias gracias a su capacidad para generar geometrías complejas con control preciso sobre la porosidad, la resistencia y el peso. Este enfoque innovador se ha aplicado en múltiples áreas de experimentación, ofreciendo soluciones únicas a problemas específicos en medicina, automoción e ingeniería térmica.

En el ámbito médico, el estudio del software nTop ha demostrado que las estructuras TPMS pueden mejorar la integración de implantes con el hueso. Este avance resulta fundamental en la industria

ortopédica, donde las estructuras porosas adecuadas facilitan el crecimiento óseo, asegurando una estabilidad y resistencia óptima en los implantes a largo plazo (Laughlin, 2023). Por otra parte, los artículos que exploran prótesis personalizadas de cadera, elaboradas mediante impresión 3D y ajustadas a la anatomía individual del paciente con datos de tomografía computarizada, subrayan el potencial de estas estructuras para mejorar la comodidad y reducir riesgos de complicaciones. Este tipo de diseño personalizado, que responde a las necesidades específicas de cada paciente, promueve una notable mejora en su calidad de vida.

En el área de la ingeniería térmica, se ha utilizado un intercambiador de calor con estructuras TPMS fabricado en cobre puro para sistemas de recuperación de calor en centrales térmicas de leña. Este dispositivo, creado mediante impresión 3D, permite enfriar los gases de escape y transferir el calor a agua, maximizando la eficiencia energética sin requerir tratamientos térmicos adicionales. Gracias a la alta conductividad del cobre y al diseño de las estructuras TPMS, se logra un rendimiento superior incluso en condiciones exigentes (gerg).

Por otra parte, investigaciones en la industria automotriz han aprovechado las estructuras TPMS para mejorar la rigidez y estabilidad de neumáticos sin aire. Una estructura auxética basada en TPMS proporciona mayor resistencia al comprimirse y absorbe impactos de manera más eficiente, manteniendo la estabilidad incluso en terrenos complejos. Este diseño, adaptable mediante impresión 3D en materiales flexibles como la goma, representa un avance importante en la creación de neumáticos de alto rendimiento.

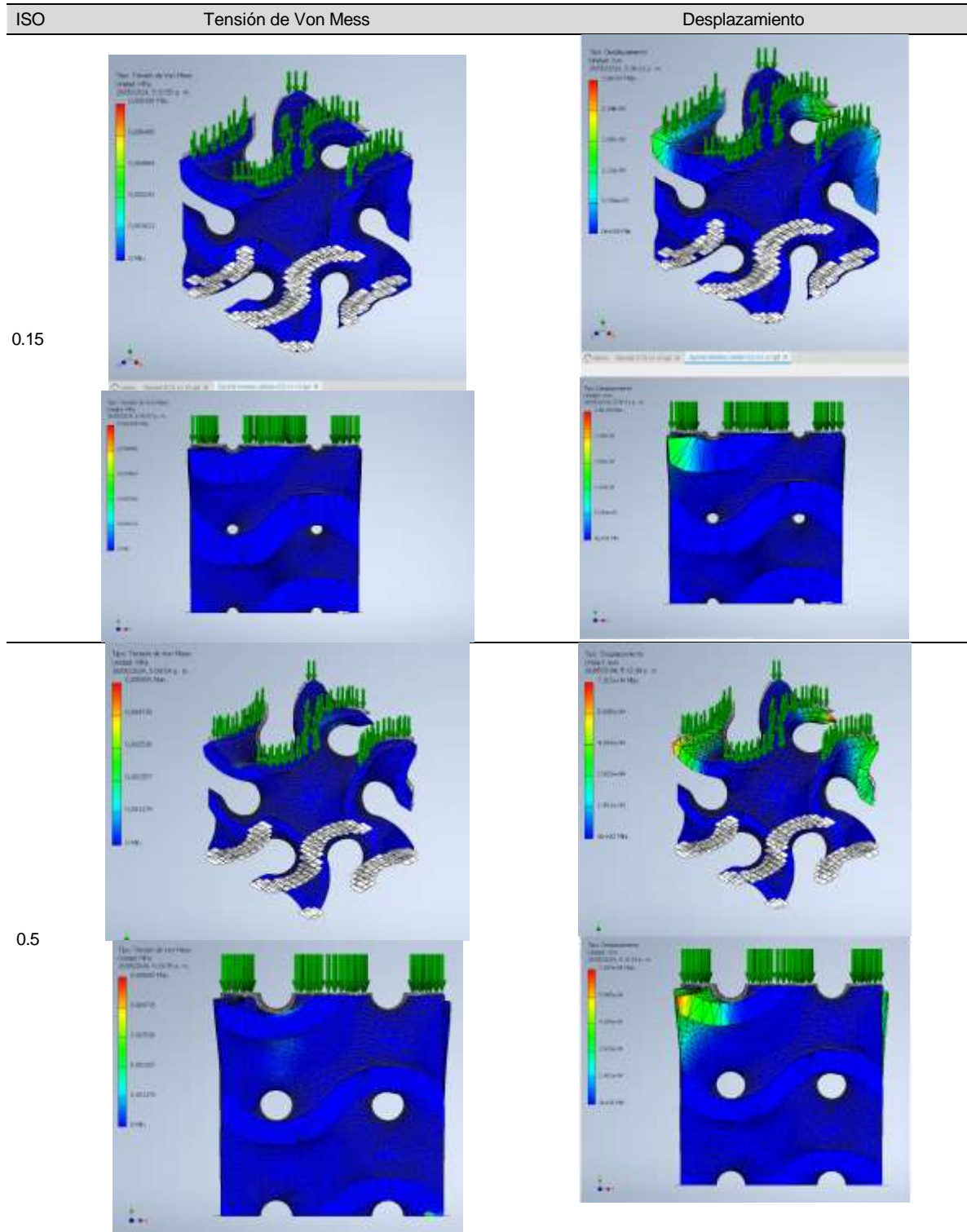
Finalmente, los estudios de ingeniería mecánica han explorado las aplicaciones de las estructuras porosas adaptativas en piezas mecánicas 2.5D. Mediante un enfoque adaptativo que permite ajustar la forma y tamaño de los poros, estas estructuras optimizan la relación peso-resistencia y mejoran propiedades mecánicas como la consistencia y conectividad. Este enfoque ofrece ventajas significativas en sectores como la aeroespacial y la fabricación de herramientas de precisión, donde es crucial reducir el peso sin comprometer la resistencia. (Alvares,2017)

El objetivo de este proyecto es diseñar un utensilio de cocina adaptado para personas con artritis, utilizando estructuras de Superficies Mínimas Triplemente Periódicas (TPMS) que permitan un mejor agarre y reduzcan el esfuerzo necesario al manipularlo. A través de esta tecnología, se busca crear un producto ergonómico y funcional, que proporcione comodidad y autonomía a las personas con movilidad reducida en las manos, mejorando su experiencia en la cocina y facilitando sus actividades cotidianas.

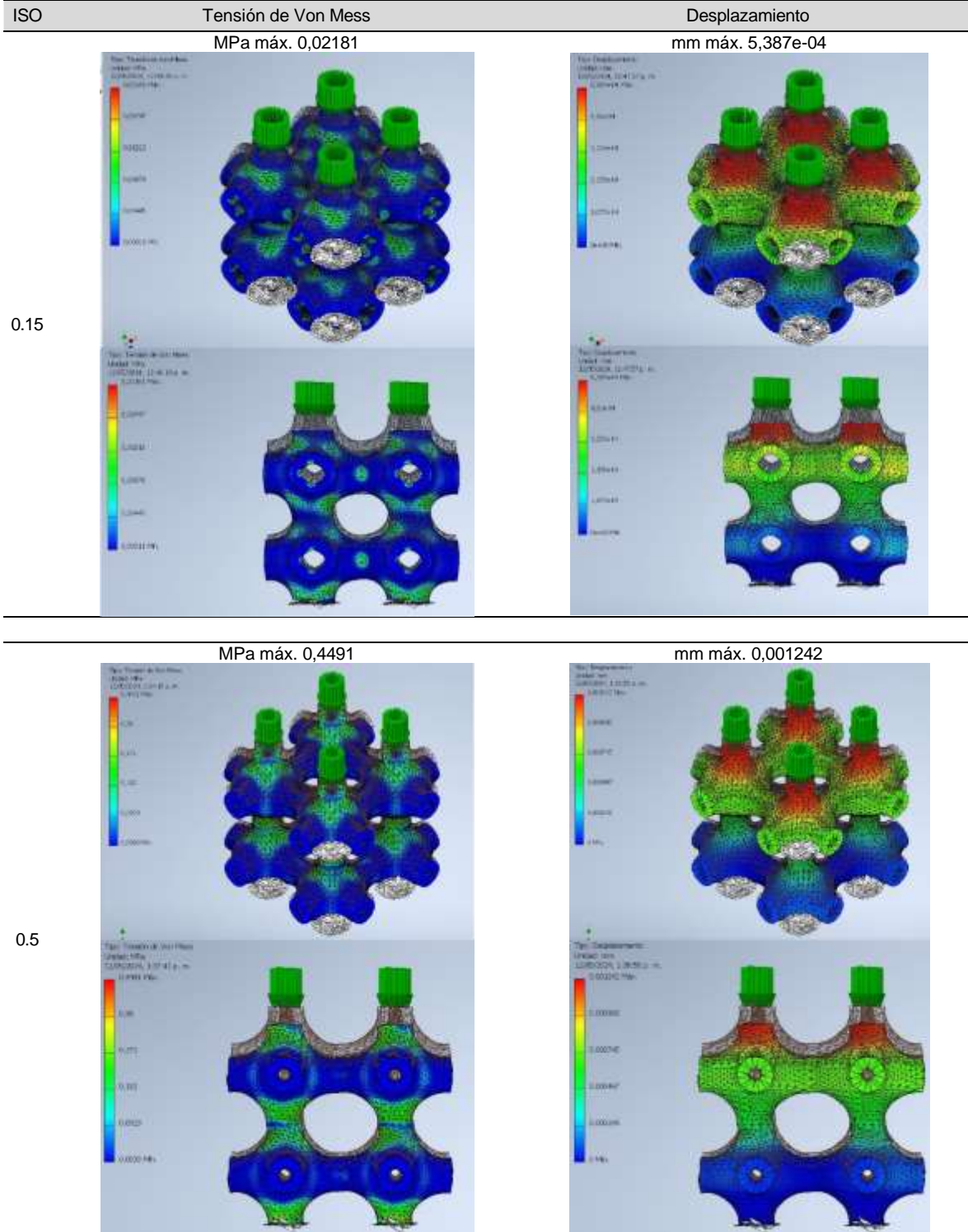
2. Metodología

Desde principios de año, se ha llevado a cabo una investigación sobre las formas de Superficies Mínimas Triplemente Periódicas (TPMS), enfocándose en las estructuras Gyroid y Schwarz. Estas estructuras fueron sometidas a pruebas de compresión mediante análisis FEA en SolidWorks, con el propósito de evaluar su resistencia. Los resultados indicaron que la estructura Schwarz presentaba una mayor resistencia, por lo que se decidió concentrar los esfuerzos de este semestre en el estudio y aplicación de dicha estructura. Se puede evidenciar en la tabla 2.2 que en el Analisis FEA fue la que mejor resultados tuvo.

2.1. Tablas Simulación FEA para la estructura Gyroid



2.2. Tablas Simulación FEA para la estructura Schwarz



El primer objetivo de este proyecto es establecer las condiciones de procesamiento adecuadas para obtener estructuras TPMS impresas en arcilla. Para ello, es necesario ajustar parámetros clave, como la velocidad de impresión, el tamaño de la boquilla y el grosor de la capa, a fin de lograr una impresión precisa y de alta calidad. Este ajuste de parámetros ha sido posible gracias al uso de herramientas avanzadas de diseño digital, como Grasshopper y Rhino, que permiten una configuración detallada y controlada del proceso de impresión en arcilla.

Inicialmente, el modelo fue creado en Rhino, lo que facilitó la obtención de un diseño preciso y detallado. Sin embargo, al intentar enviarlo a la impresora a través de Simplify 3D, surgieron problemas de compatibilidad; la impresora no podía leer correctamente el archivo, lo cual resultó en impresiones defectuosas y modelos dañados en varios intentos. Como alternativa, se generó un recorrido del modelo en Rhino y se procesó con Grasshopper. Las herramientas paramétricas avanzadas de Grasshopper permitieron ajustar la geometría del modelo con mayor control y precisión, lo que resultó en una impresión exitosa y en la calidad deseada.

El objetivo general es identificar cuál estructura TPMS ofrece el mejor desempeño en términos de resistencia mecánica y aligeramiento de peso. Para ello, se realizarán pruebas específicas que evalúen la capacidad de cada estructura para soportar cargas y resistir fuerzas sin sufrir deformaciones o roturas, asegurando así su estabilidad estructural bajo diferentes condiciones de carga. Además, se analizará la relación entre peso y resistencia de cada estructura, con el fin de seleccionar aquella que proporcione una reducción óptima de peso sin comprometer la durabilidad y la integridad estructural.

Se emplearán simulaciones computacionales para modelar el comportamiento de cada TPMS bajo diversas condiciones, lo cual permitirá identificar zonas de alta tensión. Una vez completadas las simulaciones, se imprimirán prototipos de cada estructura. Este análisis exhaustivo facilitará la selección de la estructura que mejor cumpla con los requisitos de ligereza y resistencia para aplicaciones específicas.

Finalmente, se desarrollará un objeto aplicando la estructura TPMS seleccionada, aprovechando sus propiedades para optimizar características como resistencia, ligereza y estética, de acuerdo con los requisitos de su aplicación específica. Posteriormente, se procederá a la impresión del objeto y a las pruebas físicas necesarias para asegurar que cumpla con los requisitos funcionales y estéticos establecidos.

3. Resultados y discusión

Comenzamos obteniendo la morfología simplificada de la estructura Gyroid a partir de la forma primitiva, lo que nos permitió experimentar con diversas formas y tamaños que se ajustaran adecuadamente al agarre de la mano. A través de este proceso de prueba y ajuste, llegamos a la forma final que se muestra en la figura 1 y figura 2.



Figura 1. Modela de mango



Figura 2. Modela de mango

Los primeros intentos de impresión utilizando Simplify 3D no arrojaron buenos resultados debido a varios problemas en el recorrido del modelo. La impresora extruía material en áreas innecesarias, lo que afectó tanto la apariencia como la precisión del modelo. Además, en algunas secciones, la impresora realizaba un doble recorrido sobre la misma línea, lo que provocaba un exceso de material que se derramaba y acumulaba, generando irregularidades en la impresión. La complejidad del diseño también afectó la organización de la impresión, ya que no se estableció un orden adecuado, lo que resultó en una estructura final desorganizada y de baja calidad. Estos problemas evidenciaron la necesidad de ajustar los parámetros de impresión para garantizar que cada sección del modelo se extruyera correctamente y en el momento preciso, respetando la complejidad del diseño sin comprometer la calidad.

Además, debido a la complejidad del diseño, fue necesario imprimir el modelo a un tamaño considerable para preservar los detalles, lo que incrementó significativamente el tiempo de impresión. Por ejemplo, solo el 37% del modelo requirió aproximadamente 1 hora y 22 minutos de impresión, sin contar el tiempo adicional para preparar la máquina y la masa de impresión como se puede evidenciar en la figura 3.



Figura 3. Resultado y tiempo de la primera impresión

Aparte de los problemas de extrusión y doble recorrido, la falta de un orden adecuado en la impresión contribuyó a que el modelo resultara desorganizado y de calidad inferior, esto se evidencia en la figura 4, figura 5 y figura 6



Figura 4. Primer ensayo Capa 0.45 a 0.55 y velocidad de 1100



Figura 5. Segundo ensayo Capa 0.6 a 0.7 a velocidad de 600



Figura 6. Tercer ensayo capa 0.4 a velocidad de 550

Estos inconvenientes subrayaron la necesidad de optimizar tanto los parámetros de impresión como el flujo de trabajo para reducir los tiempos de impresión y mejorar la calidad del modelo final.

Una vez nos dimos cuenta de que no podíamos seguir trabajando con Simplify, comenzamos a elaborar el recorrido necesario para poder utilizarlo en Grasshopper. Sin embargo, al intentar realizar el recorrido, nos dimos cuenta de que la figura que habíamos creado era tan compleja que no podíamos completarlo. Ante esta dificultad, decidimos simplificar aún más el diseño, optando por una forma tubular con pequeños orificios en su interior, lo que permitió aligerar el peso del mango sin comprometer su funcionalidad una vez terminada la forma deseada comenzamos a elaborar un recorrido para imprimir el mango como se puede ver en la figura 5.

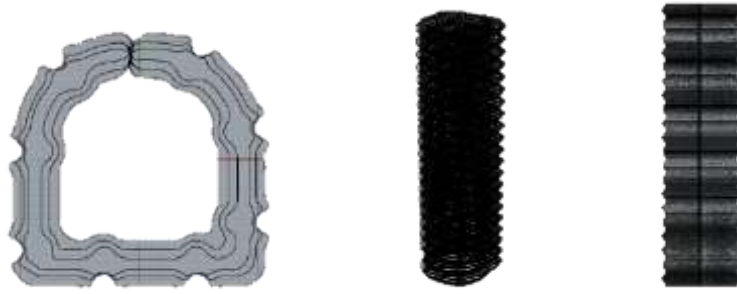


Figura 5. Recorrido en RHINO, diferentes vistas.

Una vez hecho el recorrido, nos dirigimos a Grasshopper y comenzamos a elaborar el código con parámetros específicos. En los primeros intentos, encontramos problemas al realizar las pruebas con la impresora 3D Potter 10 micro como se puede evidenciar en la figura 6.



Figura 6. Impresión mango en la 3D Potter 10 micro

La máquina no se adaptaba a las condiciones del diseño ni a las boquillas, lo que dificultaba la impresión adecuada. Debido a esto, se optó por ir a la oficina del profesor Alejandro Zuleta para utilizar la impresora 3D disponible allí, que contaba con las condiciones necesarias para completar la impresión con éxito.

Nos dimos cuenta de que, al hacer el recorrido, había partes donde la máquina debía dejar de imprimir, lo que generaba que el tubo de extracción se inflara. Este problema resultaba perjudicial para la máquina y el funcionamiento del equipo como se puede evidenciar en la figura 7.



Figura 7. Impresora 3D

Por este motivo, era necesario estar pendiente durante todo el proceso de impresión para controlar la extrusión y evitar que la máquina se dañara. Este monitoreo constante era esencial para garantizar que la extrusión se realizara correctamente en las áreas designadas y para detenerla en los lugares inapropiados, lo que ayudaba a prevenir posibles fallos o daños en la impresora.

Sacamos varios modelos con diferentes ángulos y distancias, Como se puede observar en las figuras 8 y figura 9



Figura 8. Resultado final de mango (vistas)



Figura 9. Resultado final de mango (vistas)

Cada uno de los modelos muestra distintas configuraciones, lo que nos permitió encontrar la opción más adecuada para el diseño.

Tras la impresión 3D en cerámica, se sometió la pieza a un análisis FEA en SolidWorks, obteniendo resultados que indican que no se produjeron deformaciones bajo una carga de empuñadura de 64 kg. Este resultado demuestra que el modelo es altamente resistente, confirmando la efectividad de las estructuras TPMS en proporcionar una gran robustez sin comprometer la ligereza, ideal para utensilios de cocina duraderos y de alto rendimiento como podemos evidenciar en la figura 10, figura 11 y figura 12.

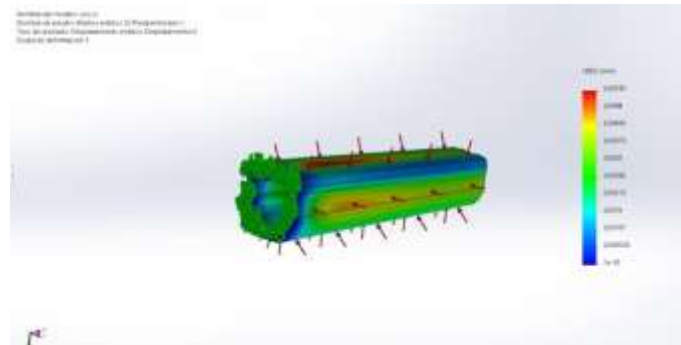


Figura 10. Desplazamientos

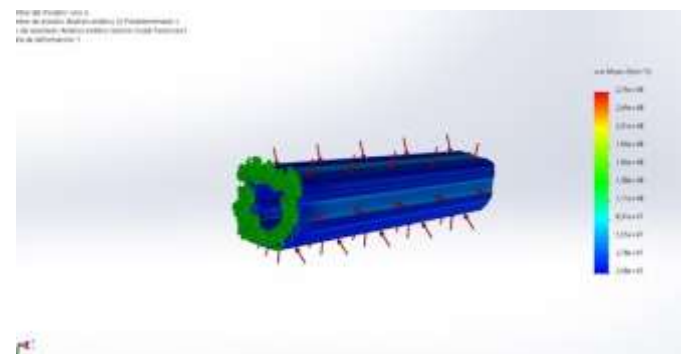


Figura 11. Tensiones

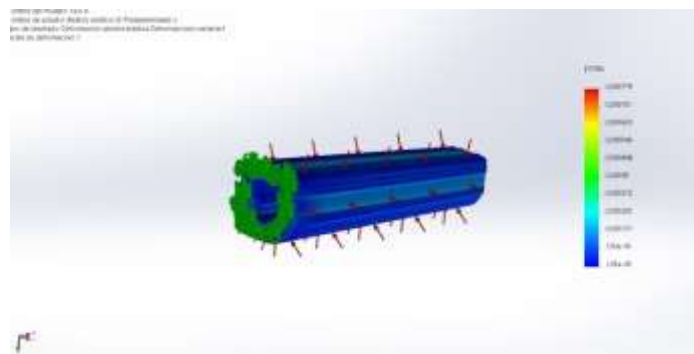


Figura 12. Deformación

4. Conclusiones

Como pudimos observar, las estructuras TPMS se utilizan en otros objetos de diseño, pero generalmente en su interior y no en su exterior. Esto se debe a que las características complejas de las TPMS, como las pequeñas sustracciones y la dificultad para mantener una superficie sólida, las hacen menos adecuadas para ser aplicadas en superficies exteriores donde se requieren formas más robustas y estéticamente definidas. En cambio, su aplicación en el interior permite aprovechar sus propiedades estructurales, como la ligereza y resistencia, sin comprometer la integridad o la apariencia externa del objeto. Además, para este tipo de formas, se necesita una máquina más precisa con boquillas delgadas, ya que las TPMS tienen detalles muy finos y pequeñas sustracciones que requieren una extrusión muy controlada. Las boquillas delgadas permiten una mayor precisión en la aplicación del material, lo que es crucial para evitar deformaciones o problemas de extrusión. Sin una máquina adecuada y la configuración correcta de las boquillas, sería difícil obtener una impresión de calidad y mantener la integridad de las complejas estructuras internas de las TPMS.

Agradecimientos

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a todos los colaboradores, profesores, y mis compañeras que, aunque ya están en prácticas, fueron parte del inicio de este proyecto. A Sebastián, por permitirnos investigar en este mundo de la cerámica a través de estas maravillosas máquinas, y al profesor Alejandro Zuleta, por su gran apoyo en la investigación y su paciencia. A nuestros amigos de carrera, por su compañía y ayuda en esta trayectoria académica. Y finalmente, a la universidad y todas las personas que contribuyeron al crecimiento y formación de grandes profesionales.

Referencias

- Bourgault, S., Wiley, P., Farber, A., & Jacobs, J. (2023). CoilCAM: Enabling Parametric Design for Clay 3D Printing Through an Action-Oriented Toolpath Programming System. *Proceedings of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1–16. <https://doi.org/10.1145/3544548.3580745>
- Chen, Z., Li, Z., Li, J., Liu, C., Lao, C., Fu, Y., Liu, C., Li, Y., Wang, P., & He, Y. (2019). 3D printing of ceramics: A review. *Journal of the European Ceramic Society*, 39(4), 661–687. <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2018.11.013>
- Dong, Z., & Zhao, X. (2021). Application of TPMS structure in bone regeneration. *Engineered Regeneration*, 2, 154–162. <https://doi.org/10.1016/j.engreg.2021.09.004>
- Sangiorgio, V., Parisi, F., Fieni, F., & Parisi, N. (2022). The New Boundaries of 3D-Printed Clay Bricks Design: Printability of Complex Internal Geometries. *Sustainability*, 14(2), 598. <https://doi.org/10.3390/su14020598>
- Yan, C., Hao, L., Yang, L., Hussein, A. Y., Young, P. G., Li, Z., & Li, Y. (2021). Design of TPMS structures. En *Triply Periodic Minimal Surface Lattices Additively Manufactured by Selective Laser Melting* (pp. 27–38). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824438-8.00002-9>
- Yu, S., Sun, J., & Bai, J. (2019). Investigation of functionally graded TPMS structures fabricated by additive manufacturing. *Materials & Design*, 182, 108021. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2019.108021>

Alvares, D. (no date) Aplicaciones de las propiedades auxéticas en la ... Available at:
https://oa.upm.es/48454/1/MARIA_DOLORES_ALVAREZ_ELIPE.pdf (Accessed: 07
November 2024).