



Universidad de
Oviedo



ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE GIJÓN.

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

ÁREA DE INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE FABRICACIÓN

TRABAJO FIN DE GRADO N° 18020501 D

**DISEÑO Y CARACTERIZACIÓN DE ESTRUCTURAS
RETICULARES FABRICADAS MEDIANTE FFF**

D. VIGIL GONZÁLEZ, Jorge
TUTOR: D. BLANCO FERNANDEZ, David

FECHA: Julio 2018



Índice

1. Introducción	1
2. Análisis del estado actual de la técnica.	3
2.1. Introducción a la Fabricación aditiva.	3
2.2. Estructuras reticuladas.	5
2.3. Análisis de paquetes de software para el diseño de retículas.....	11
3. Metodología.	19
3.1. Diseño y generación de variantes para estructuras reticuladas.	19
3.2. Plan experimental.	22
3.3. Descripción de materiales y equipos.	22
4. Fabricación de probetas y caracterización mecánica de su comportamiento.....	27
4.1. Caracterización del comportamiento mecánico del material de partida.....	27
4.2. Caracterización del comportamiento mecánico en función del diámetro de barra y la distancia entre nodos.	30
4.3. Caracterización del comportamiento mecánico en función de la altura de capa y del ángulo de impresión.....	40
5. Diseño y fabricación de piezas funcionales con estructuras reticuladas.....	56
6. Elaboración de conclusiones y desarrollos futuros.	59
7. Bibliografía.....	60

1. Introducción

La fabricación aditiva se ha convertido, en los últimos años, en el campo de investigación y desarrollo con mayor potencial en el ámbito de los procesos de fabricación. La posibilidad de construir piezas “capa a capa” mediante la aplicación de una cierta variedad de principios físicos posibilita la superación de ciertas limitaciones a la hora de diseñar las piezas. El desarrollo de una variedad cada vez mayor de procesos y materiales ha potenciado el cuestionamiento de la forma tradicional en la que se venían diseñando las piezas (muy condicionada por las limitaciones y capacidades de los procesos de fabricación empleados), de manera que se ve, con mucha claridad, la necesidad de ir incorporando nuevos métodos de diseño para el modelado 3D de las piezas en el CAD y nuevos paradigmas de decisión a la hora de establecer los requisitos que debe cumplir cada pieza desde el punto de vista funcional.

Entre estas nuevas posibilidades, destaca el uso de estructuras reticuladas en lugar de los volúmenes sólidos tradicionales. Este tipo de estructuras son comunes en otros ámbitos de la técnica, como la construcción de cubiertas para edificios o la fabricación de cerramientos. En los casos mencionados, el gran tamaño de los conjuntos a generar hace factible el empleo de uniones atornilladas y soldadura para unir elementos individuales fabricados por procesos convencionales. Sin embargo, cuando el tamaño de la pieza se reduce, ni el tipo de unión ni la complejidad de manipulación de los elementos individuales contribuyen a facilitar el empleo de las retículas como elemento básico de diseño.

Por el contrario, en la fabricación aditiva de estructuras reticuladas no se dan este tipo de limitaciones, sino que los condicionantes vienen más bien de la necesidad de construir en el aire o sobre soporte los elementos no auto-soportados de la estructura. A pesar de ello, las posibles ventajas del uso de este tipo de modelos, como son la ligereza o la accesibilidad al interior de la pieza, animan a desarrollar la tecnología que permitirá, en un futuro, su empleo como elementos comunes en los diseños de ingeniería.

En el presente proyecto se analizan aspectos de la fabricación y de las propiedades mecánicas de una estructura tipo reticular fabricada mediante fabricación por deposición de filamento fundido (FDM o FFF). Esta topología se emplea en la creación de piezas más ligeras que su equivalente macizo, pero que pueden proporcionar un adecuado nivel de resistencia mecánica. Para ello, en base a una estructura sencilla basada en una celda unidad de tipo

cubo, realizaremos un estudio de la influencia que tiene en la resistencia diferentes factores (diámetro de barra, distancia entre nodos, altura de capa y ángulo de impresión). Estos resultados servirán como base para la creación de una pieza real, que se fabricará en ambas versiones: sólida, con una estructura interna aligerada típica de las piezas fabricadas por FDM) y reticulada.

1.1. Objetivos

El objetivo principal de este proyecto es el análisis de las características mecánicas y de las particularidades de fabricación de estructuras reticuladas fabricadas por FDM en PLA. Este objetivo principal se puede dividir en la consecución de los siguientes objetivos o tareas:

- Analizar las alternativas de software disponibles para la realización de diseños reticulados.
- En base a uno de estos programas, realizar el diseño de estructuras reticuladas simples, modificando sus parámetros constructivos.
- Realizar una comparativa de piezas reticuladas con diferentes valores para sus parámetros constructivos, desde el punto de vista de su resistencia mecánica.
- Realizar una comparativa de piezas reticuladas considerando diferentes posibilidades relacionadas con los parámetros de fabricación.
- Diseñar y fabricar una pieza en la que se apliquen los resultados de los análisis realizados y compararla con una pieza equivalente diseñada y fabricada bajo los estándares de FDM.

6. Conclusiones y desarrollos futuros.

Los resultados del análisis llevado a cabo revelan que el uso de estructuras reticuladas para aligerar piezas en fabricación aditiva es una alternativa de diseño viable a día de hoy, y con un futuro de grandes posibilidades. Las principales conclusiones del estudio son:

- Los valores de diseño analizados (la distancia entre nodos y el diámetro de barra) influyen en gran medida en el comportamiento de la estructura. A medida que se disminuye la distancia entre nodos y se aumenta el diámetro de barra se consigue una resistencia mayor (la pieza se vuelve cada vez más “sólida”) pero, en consecuencia, se aumenta la cantidad de material utilizado, y con ello el peso y tiempo de fabricación.
- Por otro lado, los parámetros de fabricación estudiados (altura de capa y ángulo de impresión) no afectan de igual manera, siendo un cambio apenas perceptible en el caso de la altura de capa y suponiendo un aumento de la carga máxima soportada con los ángulos de impresión de 15 y 30 grados. Los valores observados son similares para estas dos orientaciones, aunque resultan algo más elevados en el caso de la inclinación de 30°.
- La fabricación de las diversas probetas y la pieza mostrada apunta a la necesidad de disponer de un software de postprocesado que permita optimizar el slicing y la generación de trayectorias para la fabricación de este tipo de estructuras. Esto reduciría considerablemente los tiempos de fabricación, lo que permitiría una aplicación mejor de estas.

En resumen, este trabajo sienta las bases para futuros proyectos orientados a analizar la aplicación de estas estructuras en piezas reales de forma más precisa y profunda, así como al estudio de la gran variedad de tipologías estructurales de este tipo que se pueden desarrollar con los diferentes tipos de celdas unidad que actualmente existentes en las bibliotecas de los distintos softwares. Del mismo modo, se deberán analizar más en profundidad los diferentes factores de diseño y fabricación que pueden afectar a las propiedades de estas estructuras, más allá de los estudiados en este proyecto.

7. Bibliografía

- Abdul Hadi, Frédéric Vignat, & François Villeneuve. (Marzo de 2015). Design Configurations and Creation of Lattice. La Plagne, Francia.
- Ahmed Hussein, Liang Hao, Chunze Yan, Richard Everson, & Philippe Young. (24 de Enero de 2013). Advanced lattice support structures for metal additive manufacturing. Devon, U.K.
- Autodesk. (s.f.). Obtenido de <https://www.autodesk.es/products>
- Hao Li, Zhen Luo, Liang Gao, & Qinghua Qin. (30 de Noviembre de 2017). Topology optimization for concurrent design of structures with multi-patch microstructures by level sets.
- Jason Nguyen, Sang-In Park, David W. Rosen, Luis Folgar, & James Williams. (s.f.). Conformal Lattice Structure Design and Fabrication.
- K. Ushijima, W.J. Cantwell, & D.H. Chen. (18 de Diciembre de 2012). Prediction of the mechanical properties of micro-lattice structures subjected.
- K. Wei, Q. Yang, B. Ling, Z. Qu, Y. Pei, & D. Fang. (19 de Enero de 2018). Design and analysis of.
- M. Smith, Z.Guan, & W.J.Cantwell. (10 de Diciembre de 2012). Finite element modelling of the compressive response of lattice structures.
- M.R. KaramoozRavari, M.Kadkhodaei, M.Badrossamay, & R.Rezaei. (8 de Agosto de 2014). Numerical investigation on mechanical properties of cellular lattice. Isfahan, Irán.
- Materialise. (s.f.). Obtenido de <http://www.materialise.com/en/software/magics>
- Rhinoceros. (s.f.). Obtenido de <https://www.rhino3d.com/es/sales/europe/Spain>
- S. Lim, R.A. Buswell, T.T. Le, S.A. Austin, A.G.F. Gibb, & T. Thorpe. (12 de Junio de 2011). Developments in construction-scale additive manufacturing processes. Loughborough, U.K.
- S. Naghieh, M.R. Karamooz Ravari, M. Badrossamay, & E. Foroozmehr. (27 de Enero de 2016). Numerical investigation of the mechanical properties of the additive

manufactured bone scaffolds fabricated byFDM:The effect of layer penetration and post-heating.

Son Nguyen, D., & Vignat, F. (2016). A Method to Generate Lattice Structure for Additive Manufacturing.

Tang, Y., Dong, G., Zhou, Q., & Zhao, Y. (23 de Enero de 2017). Lattice Structure Design and Optimization With Additive Manufacturing Constraints.

Tao, W., & Leu, M. (3 de Agosto de 2016). DESIGN OF LATTICE STRUCTURE FOR ADDITIVE MANUFACTURING. Cleveland, Ohio, U.S.A.

Wang, Y., Chen, F., & Wang, M. (5 de Diciembre de 2016). *Concurrent design with connectable graded microstructures*.

Wang, Y., Zhang, L., Daynes, S., Zhang, H., Feih, S., & Wang, M. (7 de Enero de 2018). Design of graded lattice structure with optimized mesostructures for additive manufacturing.

Yiqiang Wang, Lei Zhang, Stephen Daynes, Hongying Zhang, Stefanie Feih, & Michael YuWang. (7 de Enero de 2018). Design of graded lattice structure with optimized mesostructures for.

Zefeng Xiao, Yongqiang Yang, Ran Xiao, Yuchao Bai, Changhui Song, & Di Wang. (11 de Enero de 2018). Evaluation of topology-optimized lattice structures manufactured via. Guangzhou, China.