



SEMILLERO
MANUFACTURA ADITIVA

Universidad EIA

Envigado

2021-02

Contenido

1	INTRODUCCIÓN	1
2	FABRICACIÓN SUJECCIÓN PISTOLA DE SOLDADURA.....	1
3	ESTRUCTURAS CELULARES.....	3
4	FUSIÓN SELECTIVA POR LASER PARA ESTRUCTURAS DE CELOSÍA (SLM).....	4
4.1	APLICACIÓN DE ESTRUCTURAS DE CELOSÍA FABRICADAS CON FUSIÓN SELECTIVA POR LASER	6
4.2	PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS ESTRUCTURAS CELOSÍAS FABRICADAS POR SLM	6
4.3	PRINCIPIOS DFAM.....	9
5	TRABAJOS FUTUROS.....	11

Lista de figuras

Figura 1. Material a disposición.	1
Figura 2. a) Torno de la universidad EIA en operación, b) Pieza en proceso de fabricación.	1
Figura 3. Buje de polietileno ensamblado.	2
Figura 4. a) Componente para la sujeción de la pistola, b) Componente que regula la posición de la pistola, c) Manilla	2
Figura 5. Ensamble del sistema de sujeción.	3
Figura 6. Estructuras de celosía en implantes médicos	6
Figura 7. Controlador térmico de cambio de fase en base a estructuras celulares	6
Figura 8. Diagrama esfuerzo vs deformación estructuras de celosía	7
Figura 9. Diagrama esfuerzo vs deformación para diferentes topografías de estructuras de celosía	8
Figura 10. Efecto escalera	9
Figura 11. Estructura 2D de honeycomb en una pieza	10
Figura 12. Estructura 3D, con haces parabólicos de diferentes tamaños	10
Figura 13. Estructura en forma de giroscopio	11

1 INTRODUCCIÓN

Durante el semillero de Manufactura Aditiva en el semestre 2021-02 se realizaron dos actividades para las cuales se conformaron dos grupos de trabajo. La primera consistió en la fabricación del sistema de sujeción de la pistola para el prototipo de la máquina ubicada en la universidad EIA. La segunda actividad se relacionó con la búsqueda de información sobre las estructuras celulares y la determinación de las capacidades con las que se cuenta para fabricar este tipo de estructuras.

2 FABRICACIÓN SUJECCIÓN PISTOLA DE SOLDADURA

Para la fabricación, se pensó cuál era la mejor forma de no desperdiciar material a la hora de maquinar las piezas, por lo tanto, fue se buscaron materiales con tamaños nominales aproximadamente parecidos a los requeridos. Se empleó una barra de acero con diámetro nominal de 12 mm. Los materiales utilizados para la fabricación se presentan en la Figura 1.



Figura 1. Material a disposición.

Se empleó el torno para la mayoría de las operaciones de remoción de material de las piezas (Figura 2a), para las roscas se usaron tarrajas y machuelos. Las uniones del ensamble se realizaron por soldadura GMAW y posteriormente el esmeril para brindarle un acabado aceptable a las superficies. La Figura 2b muestra una de las piezas a la que fue necesario hacer un refrentado luego de ser cilindrada debido a una falla al cortarla.



(a)



(b)

Figura 2. a) Torno de la universidad EIA en operación, b) Pieza en proceso de fabricación.

Para permitir un deslizamiento más suave al ajustar la posición de la pistola de soldadura, se utilizó un buje de polietileno, el cual se puede ver observar en la Figura 3. Este buje también se fabricó para el diseño inicial del ensamble.



Figura 3. Buje de polietileno ensamblado.

Se realizaron los dos orificios roscados con sus respectivos prisioneros para la pieza que sujeta la pistola, siendo posible así el desplazamiento y rotación en diferentes grados. Por otra parte, también se realizó la rosca de la manilla para facilitar el desarme del ensamble (Figura 4). El ensamble estará acoplado a la máquina por medio de una placa sujeta por tornillos y soldada a la base del ensamble. En la Figura 5 se observa el ensamble final del sistema de sujeción.

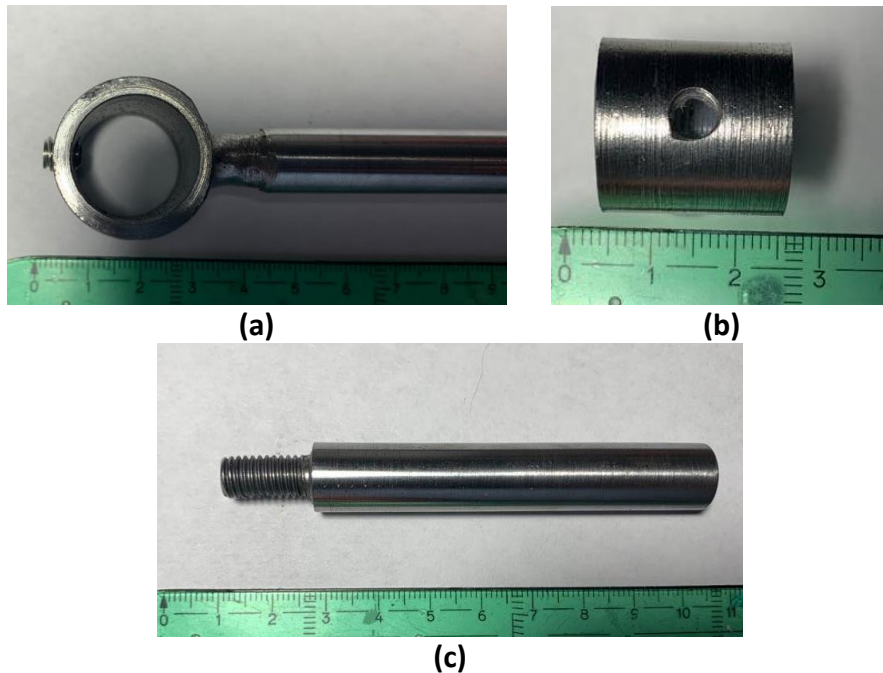


Figura 4. a) Componente para la sujeción de la pistola, b) Componente que regula la posición de la pistola, c) Manilla



Figura 5. Ensamble del sistema de sujeción.

3 ESTRUCTURAS CELULARES

Las estructuras celulares están definidas en la literatura como objetos que son de naturaleza periódica, que continuamente se replican como celdas unitarias interconectadas en tres dimensiones. Por lo general, son creadas a partir de superficies minimalistas o estructuras de celosía en 3D.

El uso de estas estructuras se ha incrementado debido a los constantes avances de la manufactura aditiva. Se utilizan principalmente para:

- Reducir la cantidad de material utilizado en el proceso de manufactura.
- Reducir la cantidad de tiempo requerida para crear un objeto.
- Reducir la cantidad de energía del proceso de manufactura.
- Optimizar la fuerza del objeto que se produce mientras se reduce su peso.

Se ha observado que este tipo de estructuras son bastante útiles cuando se consideran los ciclos de vida del producto. Además, minimizan la cantidad de desperdicios, consumo de energía y los desechos, si hay, son bastante fáciles de reciclar, sobre todo cuando se trata de un solo material.

Dentro de la industria se busca optimizar las variables como la energía, el tiempo o la cantidad de material y las estructuras celulares se utilizan cada vez más en estos aspectos. Los usos de las estructuras celulares no solo se limitan a problemas con la cantidad de material, el tiempo o la energía. También, son útiles para la absorción de energía, amortiguación acústica y reducción de vibraciones, capacidad para “manejar” el calor y la relación de resistencia peso. El uso de estructuras celulares para reducir vibraciones o generar amortiguación acústica también ha tenido bastante éxito. Las estructuras pueden “llenarse” con caucho y algunos polímeros, se ha demostrado que estos reducen la cantidad de deformación que sufre el elemento cuando es sometido a una carga y a su vez se incrementa el módulo de Young.

Las estructuras celulares también son bastante conocidas por mantener niveles de fuerza relativamente altos, a pesar de que son ligeras cuando se comparan con objetos completamente sólidos. Se han descubierto diferentes maneras en las que se puede aumentar la fuerza relativa de las estructuras celulares. Una de las formas que se han implementado para obtener una mayor fuerza relativa es manufacturarlas con diámetros en la escala de micrones. Este tipo de estructuras son utilizadas en la industria en un rango bastante amplio de tamaños, desde estructuras de tamaño nano o micro hasta estructuras macro del tamaño de puentes.

La fabricación de estructuras celulares ya sea en escalas micro o macro con el uso de manufactura aditiva aún se ve limitado por la velocidad de los procesos, el espacio que se tiene para su fabricación. Hoy en día no existe un método que sea lo suficientemente económico donde se puedan fabricar en masa estas estructuras.

El uso de procesos de manufactura tradicionales también ha permitido la creación de estructuras celulares. Sin embargo, estos se ven bastante limitados cuando se busca crear estructuras de menor tamaño. La manufactura aditiva ha permitido, como se ha mencionado anteriormente crear estructuras en escala nano o micro. El proceso de manufactura seleccionado para crear este tipo de estructuras depende completamente de su tamaño y de las especificaciones requeridas.

Las estructuras celulares pueden clasificarse como periódicas o estocásticas, esto depende de cómo estén organizadas en su interior. Las estructuras celulares estocásticas son creadas a partir de una distribución de probabilidad aleatoria. Estas estructuras pueden ser analizadas y replicadas con bastante precisión. Sin embargo, no pueden ser creadas exactamente iguales debido a que son creadas aleatoriamente. Este tipo de estructuras se pueden observar en estructuras óseas, cartílagos, madera, entre otros. Las estructuras celulares periódicas si cuentan con un patrón completamente replicable. Estas, en su vasta mayoría han sido creadas por el hombre. Su fabricación abarca parámetros como las fronteras del elemento, sus ángulos, los ejes en los que va a trabajar y sus dimensiones.

Las aplicaciones de estas estructuras son variadas, dentro del campo de la medicina, por ejemplo, las estructuras celulares son bastante utilizadas debido al incremento de área superficial. Estas permiten que la integración de una prótesis sea mucho más sencilla. Requieren menos material, son menos invasivas y el tiempo de recuperación del paciente es menor. En aplicación como en el sector automovilístico, aeronáutico, aeroespacial, entre otros, las estructuras celulares son usadas para reducir el ruido, incrementar la cantidad de partes recicladas, reducir significativamente el peso, recubrimientos de fuselajes, absorción de energía, entre otros.

4 FUSIÓN SELECTIVA POR LASER PARA ESTRUCTURAS DE CELOSÍA (SLM)

La fusión selectiva por láser consiste en añadir una capa de metal en polvo por toda la superficie de una platina de construcción, después un rayo láser funde las partículas de material de acuerdo con la geometría deseada. Este proceso se repite hasta crear el sólido requerido.

La fusión selectiva por láser tiene la habilidad de fabricar componentes complejos de alta densidad con muy buena resolución y propiedades mecánicas, comparados con los fabricados por métodos tradicionales como fundición. Este proceso tiene algunas desventajas como defectos microestructurales y metalúrgicos que pueden ser difíciles de identificar, tamaño mínimo de los componentes por el punto del rayo láser y la dilatación térmica que puede sufrir el material debido a las tensiones residuales ocasionadas por el enfriamiento rápido durante su fabricación.

Existen un sinnúmero de estructuras celulares que pueden variar ya sea por su forma de deformación, estética o por los materiales utilizados. Existen muchos casos de aplicaciones de estructuras celulares en la naturaleza y que ingenieros de hoy en día buscan incorporar en los diseños para mejorar la eficiencia de los diseños, lo que lleva a pensar en nuevas formas de diseñar y se recurren a métodos como el de manufactura aditiva.

Beneficios mecánicos

Se pueden crear productos con muy buen rendimiento con formas que en su mayoría son aire, aumentando así la eficiencia. Entre las mejoras esta la excelente absorción de impactos, protección ante impactos y mejoras en la relación de volumen área superficial.

Buena relación resistencia-peso

Como se mencionó anteriormente por manufactura aditiva se puede “retirar” material del diseño de un producto, quitando el material en las áreas críticas del producto, donde este material realmente no aporta nada a la funcionalidad del producto, dejando así lo más importante.

Gran superficie aprovechable

Las estructuras celulares desbloquean una gran cantidad de área superficial, hacen mucho más compacto el diseño, y esto trae beneficios en la transferencia de calor de la pieza y en reacciones químicas asociadas.

Excelente absorción de impactos y protección contra estos

Por su diseño celular se tiene mejor absorción de energía en aplicaciones donde haya colisiones. Las aplicaciones pueden ser tan simples como el sillín de una bicicleta, en donde el ciclista constantemente está chocando y teniendo pequeños impactos con su sillín creando una fatiga para el ciclista, y con estos diseños se pueden reducir un poco estos impactos creando mayor bienestar en el ciclista.

Amortiguación deseable de vibraciones y ruidos

Existe la posibilidad de que un diseñador considere utilizar estructuras celulares en máquinas para reducir ruidos y daños a largo plazo por la baja rigidez de las estructuras celulares y la capacidad que tienen para recuperar grandes esfuerzos.

4.1 APLICACIÓN DE ESTRUCTURAS DE CELOSÍA FABRICADAS CON FUSIÓN SELECTIVA POR LASER

Estructuras de celosía han sido usadas en su mayoría para implantes médicos, la habilidad de este proceso de crear formas complejas y ligeras ha hecho que este proceso sea el perfecto para lo necesario en la industria. Las estructuras celulares debido a su porosidad permiten una osteointegración exitosa, además de mantener excelente crecimiento de hueso y fijación. En la Figura 6 se presentan algunos ejemplos de las estructuras de celosía para implantes médicos.

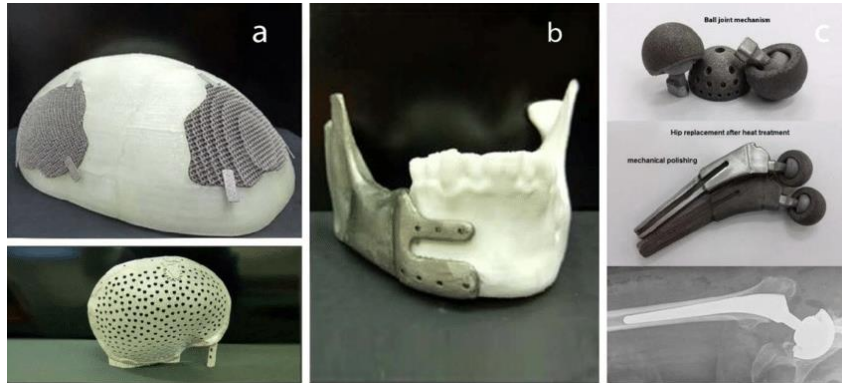


Figura 6. Estructuras de celosía en implantes médicos

Las estructuras de celosía han reemplazado volúmenes de sólidos en muchos componentes aeroespaciales ya que su dureza es igual y su peso muchísimo menor. En la Figura 7 se muestra un controlador térmico de cambio de fase ligero con 50% más de capacidad para conducir calor que los tradicionales desarrollado por manufactura aditiva.

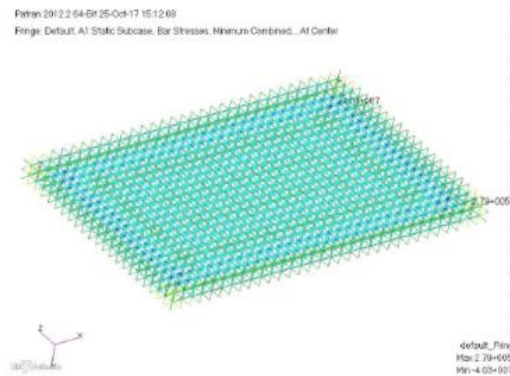


Figura 7. Controlador térmico de cambio de fase en base a estructuras celulares

4.2 PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS ESTRUCTURAS CELOSÍAS FABRICADAS POR SLM

Cuando se analizan las propiedades de las estructuras de celosía, se expresan como una fracción de sus materiales completos y dependen de la densidad relativa estructural,

los valores de las propiedades decrecen cuando se reduce la densidad relativa. La orientación de los arreglos celulares influye en la respuesta mecánica de estas estructuras ya que se consideran anisotrópicas.

La deformación general de las estructuras de celosía se divide en tres partes: deformación elástica, deformación plástica y densificación. Estas estructuras están sometidas a tres mecanismos de falla: elongación, pandeo y fractura, en la Figura 8 se puede observar un diagrama de esfuerzo deformación típico de una estructura de celosía. Durante la deformación elástica la respuesta del material es lineal y proporcional al módulo de elasticidad, en la deformación plástica los arreglos celulares se empiezan a estirar o pandear deformándose con esfuerzo constante (Plateau Stress) en las estructuras dominantes a la flexión y en las estructuras dominantes a la tensión se necesita aumentar el esfuerzo; cuando se deforman lo suficiente y chocan con otros componentes se llega a la densificación.

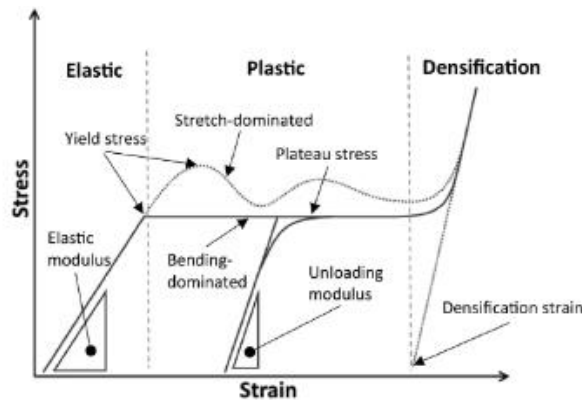


Figura 8. Diagrama esfuerzo vs deformación estructuras de celosía

La resistencia a la compresión disminuye cuando se aumenta el tamaño de los arreglos celulares manteniendo la porosidad constante. La resistencia a la compresión y la rigidez dependen del tipo de estructura celular, las dominantes a la flexión tienen menor resistencia y las dominantes a la tensión mayor. Las topologías BCC y FCC son estructuras dominantes a la flexión, por lo tanto, se comportan con una deformación elástica proporcional y una deformación plástica con esfuerzo de plateau. Las topologías BCCZ y FCCZ son dominantes a la tensión por lo que se comportan con una deformación elástica proporcional al módulo de elasticidad y una deformación plástica con su esfuerzo en aumento. La Figura 9 muestra el diagrama esfuerzo deformación diferentes estructuras de celosía.

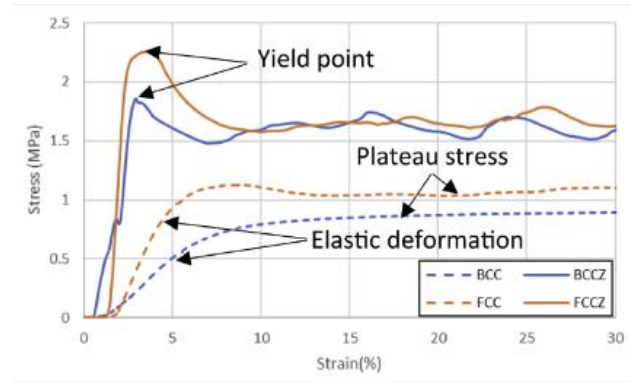


Figura 9. Diagrama esfuerzo vs deformación para diferentes topografías de estructuras de celosía

La respuesta a la fatiga en las estructuras de celosía fabricadas por SLM son un factor muy importante para considerar, por ejemplo, en las industrias biomédica y aeroespacial los componentes están sujetos a estrictos límites asociados con las cargas cíclicas. En las estructuras de celosía el comportamiento de la fatiga se puede dividir principalmente en tres secciones: la deformación crece rápidamente, la deformación se mantiene constante entre 10^4 y 10^6 ciclos y en la última crece exponencialmente. Los principales factores que afectan el comportamiento de la fatiga en las estructuras de celosía son: propiedades mecánicas del material, densidad relativa de la estructura, topología de la estructura y la distribución de material en la estructura. La resistencia a la fatiga aumenta considerablemente cuando la densidad relativa de la estructura aumenta, pero la topología de la estructura la afecta significativamente.

Las geometrías que son fabricadas por SLM están sujetas a restricciones por proceso de fabricación, un ejemplo es el ángulo de inclinación para las superficies de las capas en voladizo, solo es posible hacerlos de 45° debido a las distorsiones geométricas. El tamaño mínimo para fabricar por SLM son $300\ \mu\text{m}$. También, hay limitaciones del proceso que pueden llevar a diferencias entre las estructuras diseñadas y el producto final, principalmente por la contracción después de la fusión, la unión de partículas sin fundir u ondulaciones y asperezas de los puntales. Resultados de microtomografías muestran discrepancias entre las medidas y la geometría de la estructura en su modelo CAD con el producto final.

El efecto escalera es un fenómeno común en los procesos de manufactura aditiva, que afecta la precisión dimensional de los componentes fabricados (Figura 10). Debido al proceso de fabricación por capas, las superficies en ángulo se fabrican con crestas en el tamaño del espesor de capa, reduciendo la conformabilidad entre geometrías previstas y fabricadas.

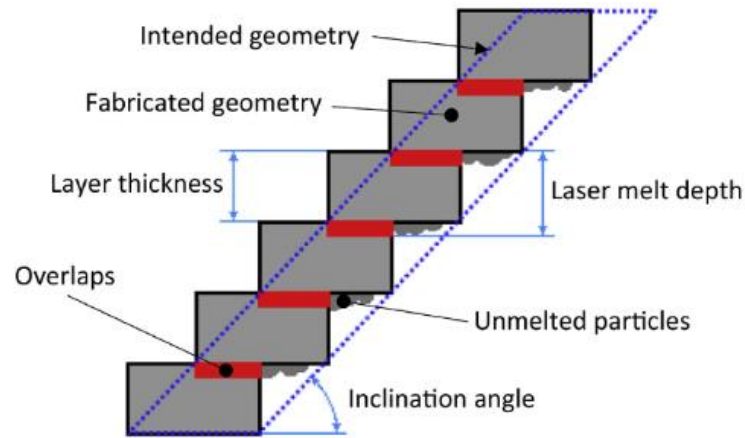


Figura 10. Efecto escalera

Las estructuras de celosía pueden ser analizadas por el método de elementos finitos para predecir su comportamiento, sin embargo, es sabido que estas estructuras no se pueden analizar desde geometrías teóricas ya que el producto final va a tener muchos defectos por su método de fabricación. El progreso en el campo de la simulación para estas estructuras requiere un balance entre el modelado preciso y el gasto computacional, incorporando la respuesta mecánica de las estructuras con sus propiedades teóricas y características de la literatura. El modelo Gibson-Ashby es el más aceptado para la predicción de propiedades en estructuras celulares. Algunas propiedades mecánicas de las estructuras pueden ser predichas basado en la densidad relativa de la estructura.

4.3 PRINCIPIOS DFAM

DFAM son una serie de reglas para el diseño por manufactura aditiva que se deben tener en cuenta. Entre las reglas está la de la estructura celular, en la cual se debe tener en cuenta los diferentes diseños de estructuras celulares y sus implicaciones en las propiedades. Además, el material seleccionado también limita la estructura que se vaya a utilizar porque el material tiene unas propiedades de dureza, elasticidad que lo hacen apto o no para diferentes estructuras celulares.

Se debe tener muy presente por último la orientación de las estructuras celulares ya que es posible que algunos partes de las estructuras no estén soportados correctamente. Esto requiere un poco de experiencia y se deben diseñar correctamente la orientación para que se obtenga una pieza bien realizada,

Tipos de estructuras celulares

Pueden existir infinidad de formas de estructuras celulares. Por ejemplo, las ramas y estructuras 2.5D son las más comunes que incluyen las extrusiones 2D/2D como las de Honeycomb o 3D compuesta de perfiles cuadrados, triangulares y hexagonales como se muestra en las Figura 11y Figura 12



Figura 11. Estructura 2D/3D de honeycomb en una pieza

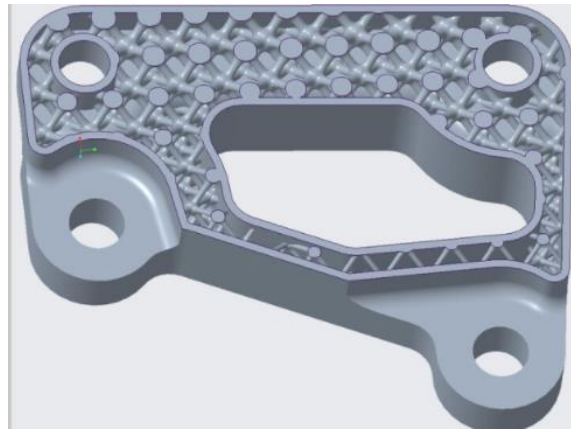


Figura 12. Estructura 3D, con haces parabólicos de diferentes tamaños

Existen también las estructuras estocásticas que usa células al azar para crear espuma que pueda crear una superficie. También, las células creadas por fórmulas que son de las más interesantes porque elimina soportes que no son necesarios para obtener un ahorro de material pueden tener forma de diamantes, giroscopios y primitivos (Figura 13). Por último, están las células personalizadas, estas sirven para todo aquel que quiera experimentar con la relación entre forma de la pieza y las propiedades.

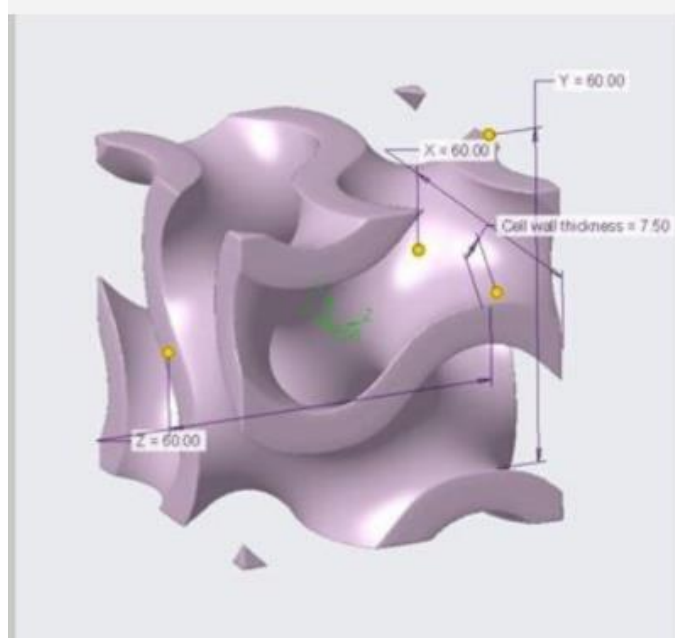


Figura 13. Estructura en forma de giroscopio

5 TRABAJOS FUTUROS

Para el semestre 2022-01 se espera continuar con estos dos frentes de trabajo, en el área de WAAM se buscará poner a punto los parámetros para la deposición de material metálico y con relación a las estructuras 3D, se harán diferentes simulaciones de las estructuras en el software NX para luego fabricarlas en las impresoras de polímeros de la universidad.