

OPTIMIZACIÓN ESTRUCTURAL, MANUFACTURA ADITIVA Y SU CONVERGENCIA EN EL DISEÑO EN INGENIERÍA: EJEMPLOS DE APLICACIÓN (PARTE 2)

M. en I. Jesús Mares Carreño
jmaresc@ipn.mx
Dra. Griselda Stephany Abarca Jiménez
gabarcaj@ipn.mx
Alan Eduardo Escobar Miranda
Liliana Alejandra Roa Cabrera
Isaac Barcelata Leal
José Carlos Oropeza Oropeza

Instituto Politécnico Nacional
Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería
Campus Hidalgo (IPN-UPIIH)

Boletín No. 88
1o. de enero de 2022

Resumen

En el siguiente trabajo, se presentan algunas aplicaciones en las que convergen los métodos de optimización estructural y manufactura aditiva, a fin de producir elementos mecánicos óptimos para las condiciones de operación específicas de cada producto. En esta segunda parte se muestran aplicaciones de los métodos de optimización estructural y manufactura aditiva en distintas áreas como la ingeniería civil, la robótica y medicina.

1) Introducción

En la primera parte ya se destacaron las posibilidades de diseño y fabricación de elementos mecánicos que permite el proceso de optimización topológica en conjunto con la manufactura aditiva, presentando aplicaciones en el área automotriz, aeroespacial y naval. En esta segunda parte se presentan otras aplicaciones en las que se aprovechan las capacidades de la manufactura aditiva para la fabricación de piezas rediseñadas por medio un proceso de optimización.

2) Aplicaciones en ingeniería

En este apartado se presentan algunos componentes optimizados estructuralmente y diseñados para ser fabricados por manufactura aditiva, los ejemplos se clasifican por área de aplicación, siendo las áreas cubiertas, en esta ocasión:

- Aplicación en Ingeniería civil
- Aplicación en Robótica

- Aplicación Médica

2.1) Aplicación en ingeniería civil

Es lógico que el estudio de optimización estructural tenga también gran influencia en el área de ingeniería civil para el diseño de estructuras más resistentes, y aunque las dimensiones de estas estructuras son más grandes, los métodos de optimización se aplican de la misma manera. En el siguiente ejemplo, se muestra un diseño innovador de una estructura optimizada que resultaría muy difícil fabricar por métodos tradicionales de maquinado, pero nuevamente, gracias a la manufactura aditiva, se logra fabricar.

En [1], se demuestra la versatilidad de los procesos de optimización y de manufactura al llevar estas técnicas a la ingeniería civil. Se realiza una optimización topológica para cambiar la densidad de una cúpula de micro rejilla que no comprometa la rigidez ni la absorción de energía en la estructura, enfocado a un diseño manufacturable por adición de material.

Primero se estudia cual es la topología con el que se va a construir la cúpula. Se considera que, a diferencia de la topología celular de panal, espumas y celosías, la disposición de repetición cruzada de conchas de cuarto hemisférico constituye la topología básica de la estructura de la cúpula, mostrada en la siguiente figura. La estructura de cúpula bidireccional está compuesta por una serie periódica de cúpulas que se introducen en una hoja plana inicial mediante estampado (ver figura 1).

<>

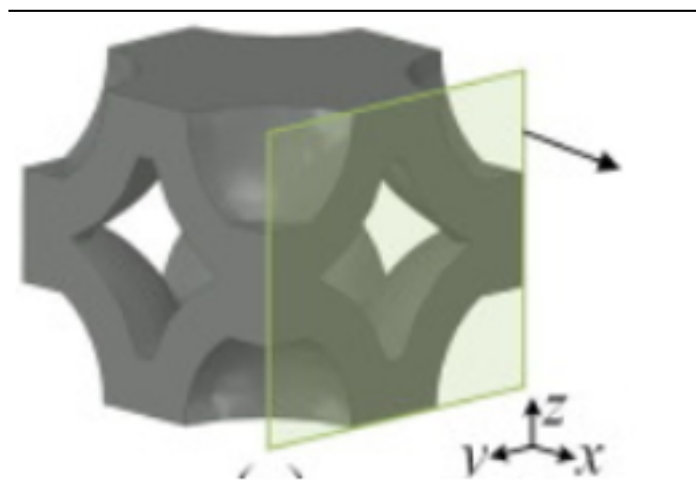


Figura 1. Topología básica de un domo bidireccional. [1]

Sobre la base del concepto de diseño, se propone que la celosía tetraédrica dominada por estiramiento-flexión puede reemplazar la parte sólida de la cúpula bidireccional para mejorar su rendimiento mecánico, se utiliza la combinación de la celosía tetraédrica y la cúpula bidireccional, la cual se muestra en la figura 2.



Figura 2. Domo obtenido con micro rejilla. [1]

La figura 3 muestra de forma condensada los pasos de diseño para el domo con micro rejilla.

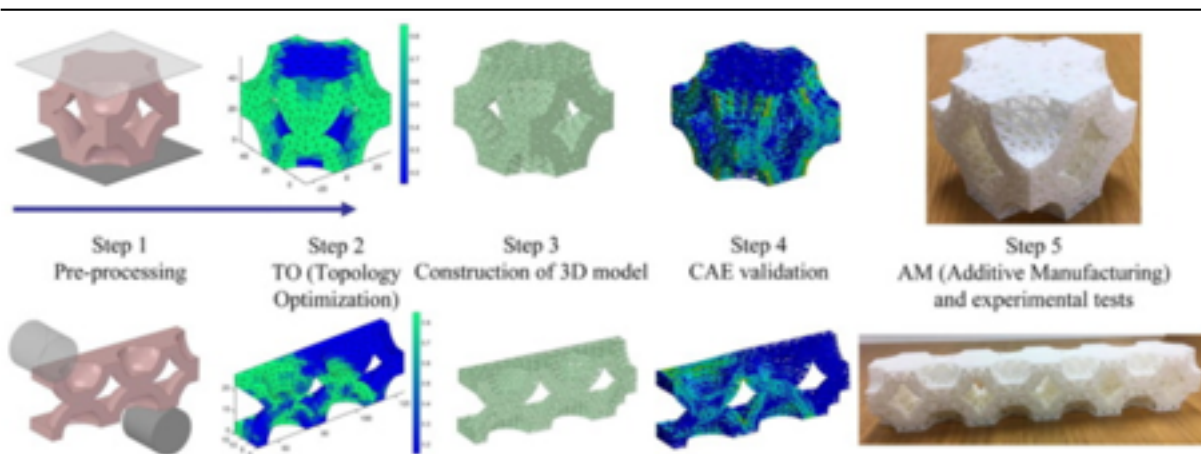


Figura 3. Diagrama de los pasos de diseño. [5]

2.2) Aplicación robótica

El área de la robótica utiliza la combinación de estos dos métodos de optimización y manufactura aditiva para la elaboración de componentes ligeros y en ocasiones, con cierto grado de maleabilidad para sus aplicaciones, como es el caso del siguiente ejemplo, que utiliza ambas técnicas para la creación de una "pelvis" de un humanoide.

En [2] se aplican técnicas de optimización y manufactura aditiva en el campo de la robótica. Se busca reducir el peso de un humanoide para mejorar su movimiento, sin reducir sus prestaciones mecánicas.

La parte de la que se habla en este artículo es la "pelvis" del humanoide, esta sostiene actuadores como motores que permiten la rotación del humanoide, soportes y articulaciones (ver figura 4).

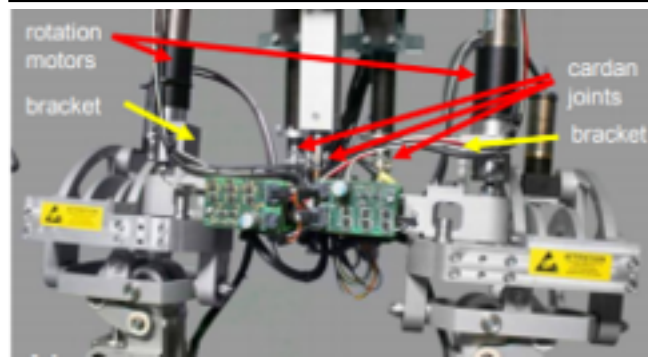


Figura 4. Componentes de la "pelvis". [2]

Primero, como en todos los estudios, se propone un diseño inicial que satisfaga las necesidades que se requieren del componente en términos de geometría. También se deben considerar los valores de las cargas a las que se somete para que el diseño sea útil (ver Figura 5).

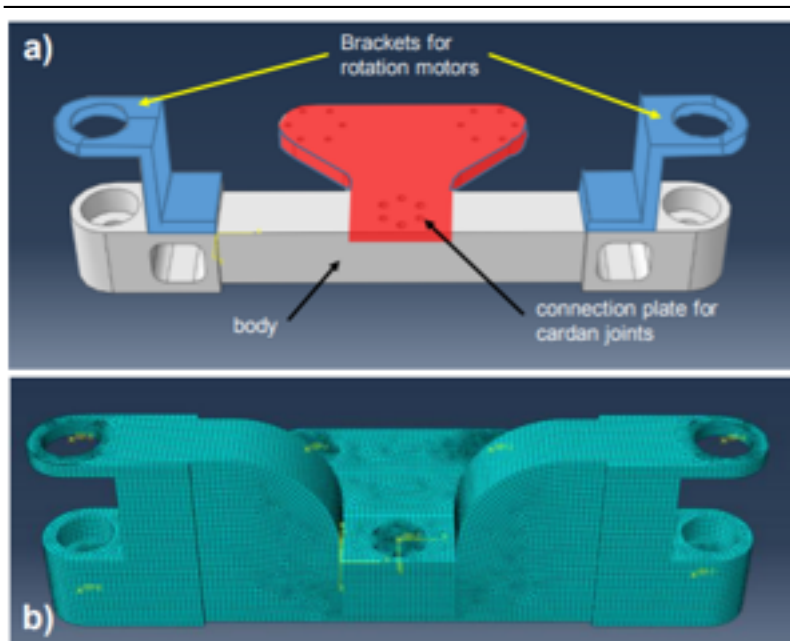


Figura 5. Se muestra en a) el diseño inicial y en b) el obtenido por elemento finito [2]

En este caso se utiliza la optimización topológica considerando su manufactura en 3 materiales distintos, una aleación de titanio, una aleación de aluminio y acero. Los resultados del proceso de optimización para cada material se comparan respecto a la construcción inicial hecha con la aleación AlZnMgCu1.5, respecto a esta la optimización considerando la aleación de aluminio es la que presenta menor masa reduciendo en un 46% los 99.2 gr del componente original, mientras que la mayor reducción en volumen se presenta al usar la aleación de titanio con una reducción del 14.7% respecto a los 217 cm³ del componente original. Se destaca el hecho de que el costo estimado de fabricación de la pieza es 2.5 mayor con la aleación de aluminio, 4 veces con la aleación de titanio y 3 veces con el acero, esta comparación de costo se estima a considerando un maquinado convencional para el componente

original y proceso aditivos para las tres propuestas de optimización. Si bien el aumento de costo en primera instancia luce como una desventaja, debe considerarse que los tres componentes optimizados ofrecen la ventaja de una mayor resistencia mecánica (bajo las condiciones de operación plateadas), además de permitir la omisión de uniones por medio de tornillos. En la figura 21 se muestran los resultados de cada uno de los componentes optimizados.

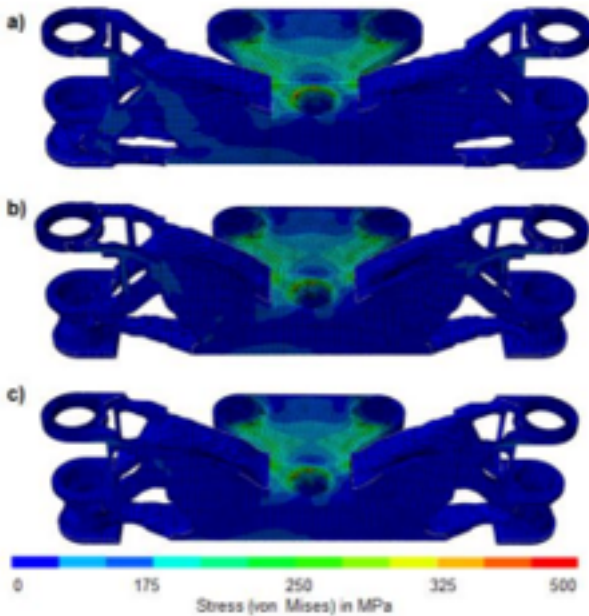


Figura 6. Resultados de la optimización a) aleación de titanio, b) aleación de aluminio y c) acero [2]

2.3) Aplicación médica

En el campo de la medicina, la aplicación de la optimización topológica y la manufactura aditiva hace posible que se diseñen piezas que puedan ser implantadas en un cuerpo humano, con diseños más ligeros y resistentes. En el siguiente ejemplo, presentado en [3], se muestra la aplicación de ambas técnicas para la elaboración de un implante intramedular de tibia.

El estudio se divide en cinco etapas principales que son: preparación de datos, diseño personalizado, optimización estructural, fabricación de prototipos, evaluación y mejoras futuras.

Para el caso de este estudio se analiza un caso de osteosarcoma en un paciente pediátrico. El peso del paciente es de 40 kg y el método de fijación que se utilizará para el implante intramedular de tibia diseñado es de ajuste a presión. En la figura 7 se muestran las tomografías, la diferencia entre la rodilla sana y la lastimada, así como la placa de fijación original.

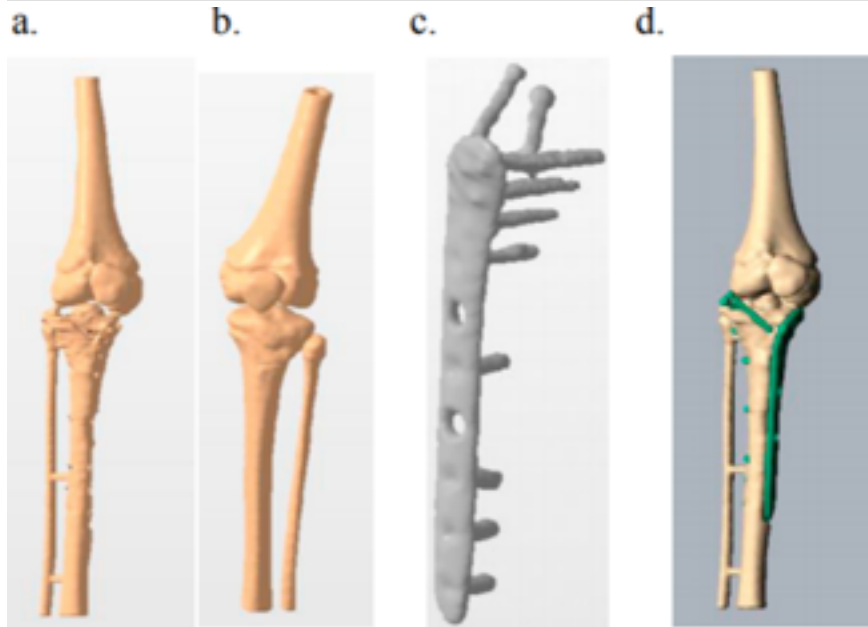


Figura 7. a) Rodilla derecha lastimada; b) rodilla izquierda sana; c) placa de fijación; d) ensamble de la placa de fijación

Se analiza la rodilla sana para poder obtener un diseño viable que pueda ubicarse en la rodilla lastimada. Los requisitos de diseño se identifican en función de tres categorías: geometría del implante, fijación de implante y cargas mecánicas.

Teniendo en cuenta los requisitos para los materiales utilizados en los implantes quirúrgicos [4], como la biocompatibilidad, las propiedades de volumen y las propiedades de la superficie, se plantea usar acero inoxidable (SS) 316L para la simulación y fabricación de la pieza mediante tecnología de fusión selectiva por láser (SLM).

El diseño inicial propuesto se muestra en la figura 8. Las dimensiones del implante intramedular de tibia diseñado a medida son: 152 mm de alto, 62 mm de ancho y 43 mm de largo y masa de 321,58 gr.

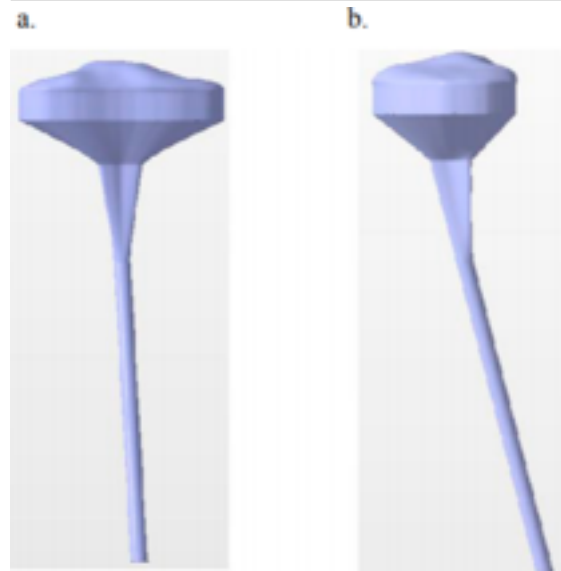


Figura 8.. a) Vista frontal; b) Vista lateral [3]

Para este diseño previo a la optimización topológica, se tienen los campos de desplazamientos y esfuerzos de la figura 9.

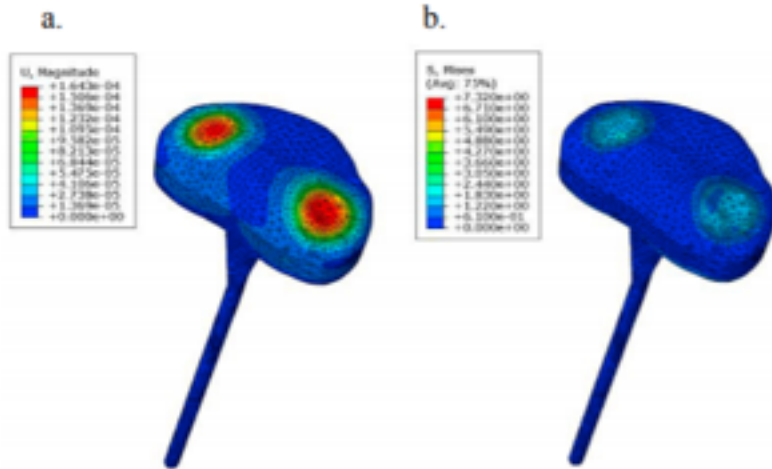


Figura 9. Resultados del análisis de elementos finitos antes de la optimización. (a) Gráfica de desplazamientos [mm]

Se considera primero que parte se va a optimizar del diseño para después aplicarlo, en la figura 10 se muestra la zona a optimizar y en la figura 11 la pieza después del proceso de optimización topológica.

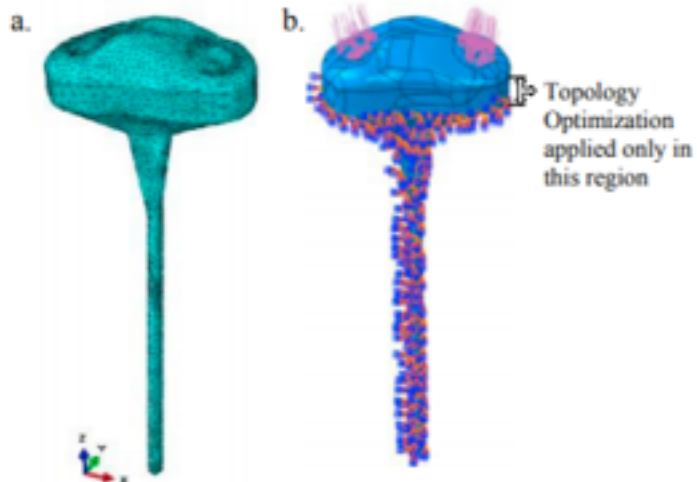


Figura 10. . (a) Modelo en malla del implante intramedular de tibia personalizado inicial (b) Cargas y condiciones de



Figura 11. Implante optimizado topologicamente [3]

La masa del implante se reduce en casi un 30%, midiendo un valor de 225,38 gr frente al inicial de 321,58 gr. En la figura 27 se muestran los campos de desplazamiento y esfuerzos para el modelo optimizado, demostrando que a pesar de la reducción de masa no se compromete la resistencia mecánica.

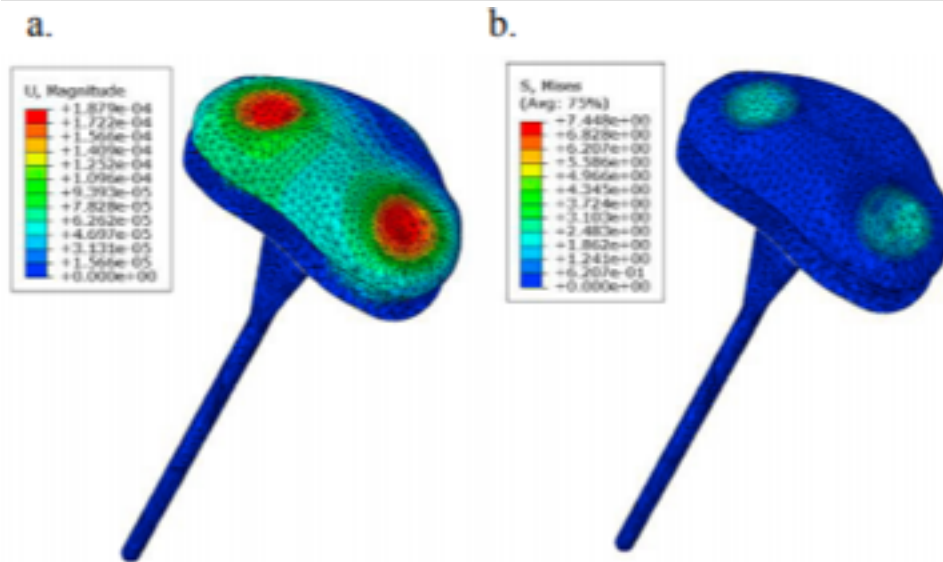


Figura 12. Resultados del análisis de elementos finitos después de la optimización. a) Gráfica de desplazamiento [m]

Los parámetros referentes al método de manufactura por SLM, se muestran en la tabla 3. Finalmente, en la figura 13 se muestra el implante optimizado y fabricada por SLM.

Tabla. 1.
 Parámetros del proceso por fusión de láser [7]

Parámetro del láser	Valor
Potencia del láser (W)	170
Modulación de la frecuencia del láser (MHz)	1
Modulación del ancho del láser (µs)	10,000
Retardo de apagado del láser (µs)	5
Retardo de encendido del láser (µs)	20
Punto de haz (mm)	0.08
Velocidad de escaneo del láser (mm/s)	500

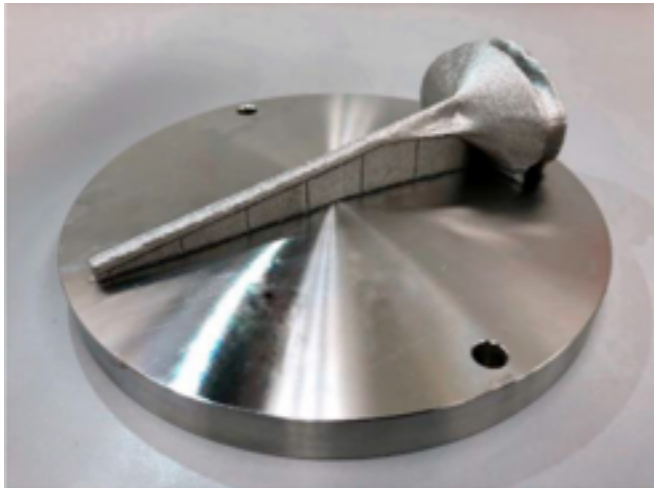


Figura 13. Implante intramedular de tibia optimizado de acero inoxidable 316L fabricado mediante un proceso de f

3) Conclusión

Gracias a la manufactura aditiva, las formas orgánicas y complejas típicas de la optimización topológica comenzaron a ser realizables y ahora son vistas como símbolos de innovación. Asimismo, los ajustes que se han realizado en diferentes máquinas para suplir las necesidades de los usuarios con la simplificación de las herramientas han logrado que se dé un paso adelante en la generalización de su uso desde las primeras etapas del proceso de diseño, con las cuales se han logrado identificar diseños conceptuales, eficientes y ligeros en un menor tiempo. Esto ha llevado a que el proceso de diseño se acelere logrando reducir costes y tiempo, llegando a convertirse en un valioso activo.

Referencias

Jingwei Zhang, Jun Yanagimoto. (2021). *Topology optimization of microlattice dome with enhanced stiffness and energy absorption for additive manufacturing. Composite Structures* Volume 255, 112889.

Stefan Junk, Benjamin Klerch, Lutz Nasdala, Ulrich Hochberg. (2018). *Topology optimization for additive manufacturing using a component of a humanoid robot. Procedia CIRP* Volume 70, Pages 102-107.

Marinela Peto, Erick Ramírez-Cedillo, Adriana Hernández, Hector R. Siller. (2019). *Structural design optimization of knee replacement implants for Additive Manufacturing. Procedia Manufacturing* Volume 34, Pages 574-583,

G.D. Goh, William Toh, Y.L. Yap, T.Y. Ng, W.Y. Yeong. (2021). *Additively manufactured continuous carbon fiber-reinforced thermoplastic for topology optimized unmanned aerial vehicle structures. Composites Part B: Engineering* Volume 216, 108840.