

# **Universidad Autónoma de Nuevo León**

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

## **Código de optimización topológica**

### **Asignatura:**

Laboratorio de biomédica

### **Docente:**

Sobrevilla González Marco Antonio

### **Estudiante:**

Fernández Hernández Reyna Patricia 8002157

Tristan de Luna Alain Emmanuel 1841924

Rodriguez Villarreal Erick Ivan 1853172

**Fecha de entrega:** 06 de septiembre de 2022

**Periodo:** Otoño 2022

## 1. Optimización topológica

Según [1], Schmidt a través de la ingeniería busca diseñar objetos y sistemas de mínimo costo que puedan tener el suficiente tiempo de vida y resistencia para el uso máximo que se le pueda pedir a ese objeto; definiendo así la optimización topológica, ya que reduce los costos del producto gracias a la reducción del uso de material y de tiempo de producción sin que éste pierda calidad.

Es decir, la optimización topológica es una herramienta rápidamente desarrollada para el diseño e ingeniería de nuevos productos. Tiene una gran aplicación en industria aeroespacial y automovilística [3].

Entonces, desde hace poco más de 40 años, la optimización de formas y dimensiones en ingeniería se ha basado en formulaciones de mínimo peso y restricciones no lineales para limitar los valores admisibles de los campos de desplazamientos y tensiones. Pero no sólo que busca minimizar el material, sino distribuir una cantidad determinada de manera que maximice la rigidez (y minimice la energía de deformación) de la pieza a una carga en especial; para ello BendSoe y Kikuchi desarrollaron, en 1988, conceptos básicos para plantear los problemas de optimización topológica en formulaciones de máxima rigidez.

Además, la optimización topológica está altamente conectada con las impresoras especiales de 3D, que puede dar lugar a fibras continuas dentro de una estructura construida, incluyendo incluso la implementación de impresoras 3D de metal, esperando mejorar aún más la técnica. Haciendo de ello, un modelo ideal.

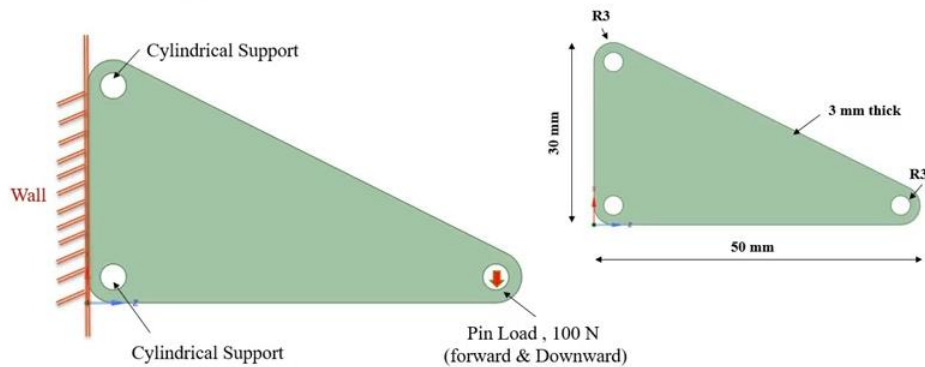
En el año 2017 [2], se liberó gratuitamente la herramienta Topologic Optimization para todos los clientes que tuvieran licencia Ansys Mechanical y utilizar la versión 2018. Ésta herramienta “produce ideas de diseño en tiempo real, impulsando la inspiración y aligerando las posibilidades de diseño en menor tiempo”, según Ansys [4]. La interfaz de Ansys Workbench integra el modelo original del análisis con la herramienta de optimización topológica, conectando en la secuencia el software SpaceClaim para una geometría optimizada definida.

Una industria que utiliza este método es GE Aviation [2], la cual cuenta con piezas geométricamente complejas, por ejemplo, la Puntera de Inyección de Combustible en Turbinas (LEAP Fuel Nozzle Tip) que presenta originalmente un proceso de mecanizado de 20 diferentes componentes que después se unen para montar la pieza. Gracias a la impresión 3D, por impresión secuencial, es cinco veces más rápido que la pieza mecanizada y con 25% menos de peso. Aunque es evidente el beneficio, aún existen ciertas limitaciones, sobre todo con el remate superficial, la velocidad de impresión, distorsiones térmicas y la capacidad de mantenimiento de las propiedades mecánicas del material del proceso.



**Fig. 1.** LEAP Fuel Nozzle Tip de GE Aviation impreso en 3D.

La pieza que utilizamos para ejemplificar la optimización topológica a través de Ansys mechanical, fue una ménsula triangular sometida a carga portante, que pueden visualizar en [5]. El problema consiste de las siguientes figuras:

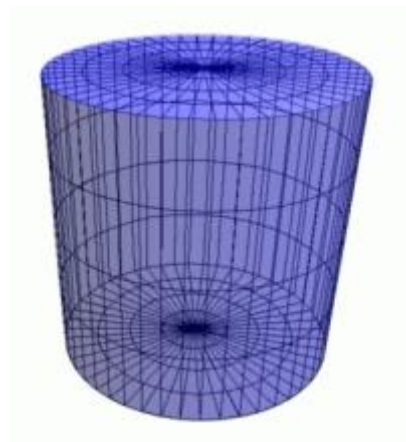


**Fig. 2.** Ménsula triangular con carga portante.

## 2. Estado del arte

El modelado matemático es un tema importante tanto en el análisis de imágenes como en los gráficos por computadora. Un modelo es una descripción de un fenómeno en términos matemáticos y nos permite utilizar la estadística y la computación para responder preguntas relacionadas con el fenómeno original.

Gran parte de la metodología está dirigida a proporcionar herramientas para procesar y analizar imágenes o geometría con el fin de construir los mejores reflejos digitales posibles del mundo real a escalas que van desde nanómetros hasta muchos kilómetros. Sin embargo, los modelos no siempre se basan en datos adquiridos. Los métodos generativos y la optimización se utilizan a menudo para sintetizar modelos plausibles pero ficticios. [6]



**Fig. 3.** Cilindro renderizado por software

Las investigaciones actuales muestran que los modelos biomecánicos de métodos de tratamiento como los reemplazos de la articulación de la cadera, el diseño y posicionamiento de dispositivos cardiovasculares y el diseño de entornos para el crecimiento celular, se están utilizando tanto en la industria como en los hospitales.[7]



**Fig. 4.** Prótesis de dedos.

Con este método, ya no se trabajan con restricciones altamente no lineales y el gran número de variables de diseño que contribuyen a los problemas de optimización topológica. Sin embargo, también a un inicio, este método conduce a problemas intrínsecamente mal planteados con soluciones que oscilan indefinidamente al refinar la discretización. [6]

Actualmente, SIMP (Solid Isotropic Material with Penalty) es el método de mayor rigidez, donde hay una variable de diseño por elemento (densidad relativa o porosidad) cuyo valor debe de estar entre 0 y 1. El método consiste en hallar los valores de las variables (la cantidad de material en cada elemento) para minimizar una función objetivo fuertemente no lineal (la energía de deformación) con una sola sencilla restricción (el límite de la cantidad total de material, cuyo porcentaje está predefinido).

El proceso, a grandes rasgos, consiste de los siguientes pasos:

- 1.- Conocer las condiciones de esfuerzos y restricciones en que se somete el componente.
- 2.- Definir la geometría inicial. como referencia a la evaluación estructural.
- 3.- El algoritmo de optimización topológica evalúa y excluye los elementos de malla que no presenta función estructural de acuerdo a las reacciones del sistema con la carga.
- 4.- La estructura final es evaluada en un análisis estructural, validando el proceso.
- 5.- Se crea el prototipo 3D en polímero, o en moldes de fundición.

Sin embargo el proceso que proponen [8] consiste de:

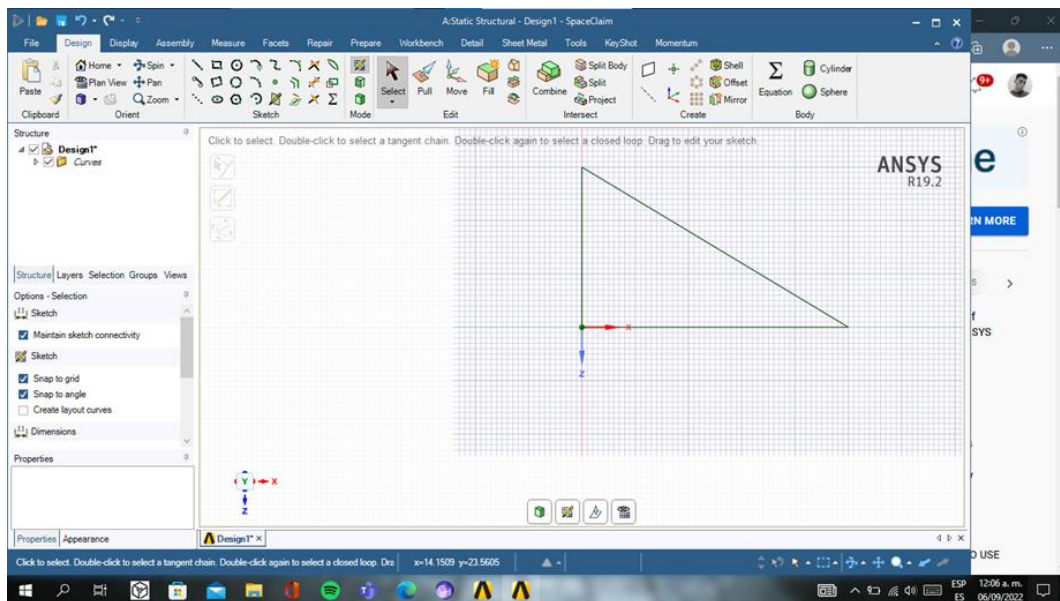
- 1.- Escoger un dominio de referencia que permita definir las superficies de tracción, límites fijos, etcétera.
- 2.- Elegir un compuesto, construido por repetición de períodos de una celda unitaria que consiste en el material dado con uno o más agujeros.
- 3.- Calcular las propiedades materiales efectivas del material compuesto, utilizando la teoría de homogeneización; dando una relación entre la densidad del material en el material compuesto y sus propiedades efectivas.
- 4.- Calcular la distribución óptima del material compuesto en el dominio de referencia, considerando la densidad como variable.
- 5.- Interpretar la distribución óptima del material.

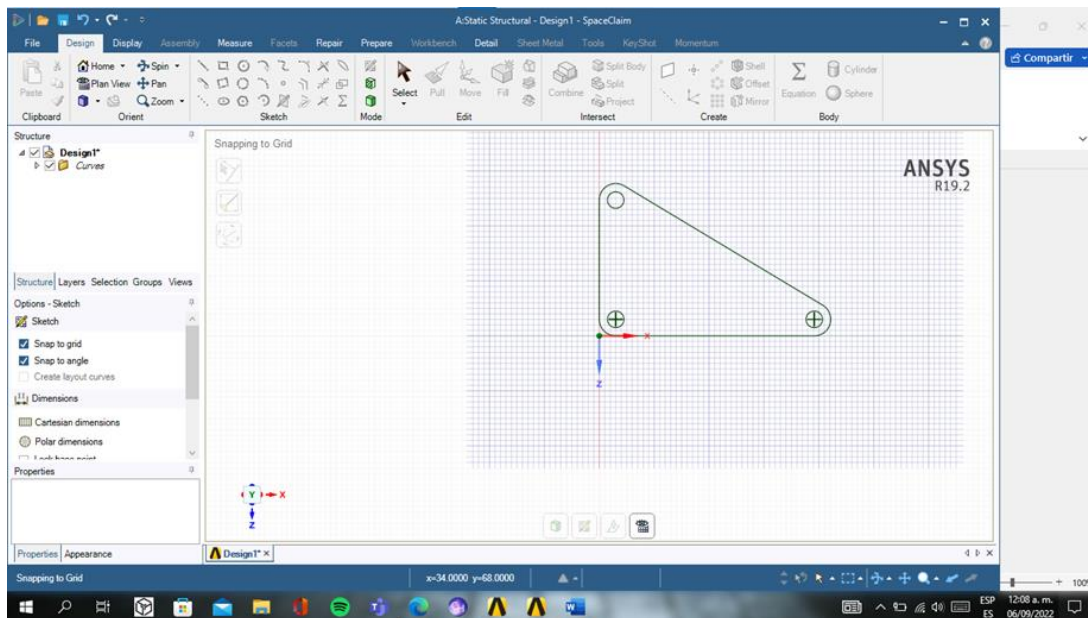
Para 1988, su utilizaba el método de variación de límites, el cual se implementa de varias maneras, como: movimiento de malla para definir la estructura dada, el cual requiere de métodos que mantengan la “regularidad” de los elementos finitos cerca del límite para producir una forma óptima físicamente sólida. Se buscaba que la optimización de forma fuera posible bajo el supuesto que la topología inicial se fija durante la optimización del diseño iterativo.

### 3. Procedimiento de la programación e Implementación de la programación

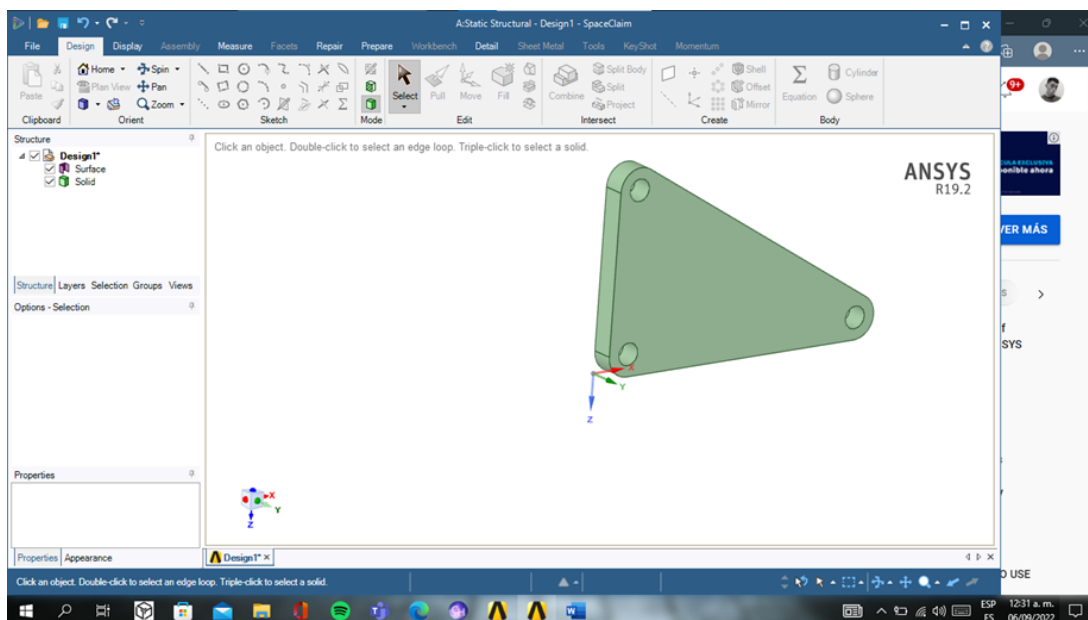
El procedimiento que nosotros realizamos fue el siguiente:

**Se crea el plano 2D de la figura**





Se le da un volumen de 3 mm





Se escoge el material deseado, en este caso será aluminio

Unsaved Project - Workbench

File Edit View Tools Units Extensions Jobs Help

Project A2:Engineering Data

Filter Engineering Data Engineering Data Sources

Toolbox

- Physical Properties
- Linear Elastic
- Isotropic Elasticity
- Orthotropic Elasticity
- Anisotropic Elasticity
- Hyperelastic Experimental Data
- Hyperelastic
- Chaboche Test Data
- Plasticity
- Creep
- Life
- Strength
- Gasket
- Viscoelastic Test Data
- Viscoelastic
- Shape Memory Alloy
- Geomechanical
- Damage
- Cohesive Zone
- Fracture Criteria
- Crack Growth Laws
- Thermal
- Thermopower
- Linear "Soft" Magnetic Material
- Linear "Hard" Magnetic Material
- Nonlinear "Soft" Magnetic Material
- Nonlinear "Hard" Magnetic Material

Outline of Schematic A2: Engineering Data

	A	B	C	D	E
1	Contents of Engineering Data			Source	Description
2	Material				
3	Aluminum Alloy			General_Materials.xml	General aluminum alloy. Fatigue properties come from MIL-HDBK-5H, page 3-277.
4	Structural Steel			General_Materials.xml	Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1
*	Click here to add a new material				

Properties of Outline Row 3: Aluminum Alloy

	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Density	2770	kg m^-3		
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion				
6	Isotropic Elasticity				
7	Derive from	Young's Modu...			
8	Young's Modulus	7.1E+10	Pa		
9	Poisson's Ratio	0.33			
10	Bulk Modulus	6.9608E+10	Pa		

Table of Properties Row 2: Aluminum Alloy Field Variables

	A	B	C	D	E
1	Variable Name	Unit	Default Data	Lower Limit	Upper
2	Temperature	C	22	Program Controlled	Program C
3	R-Ratio		-1	Program Controlled	Program C

Chart: No data

Messages

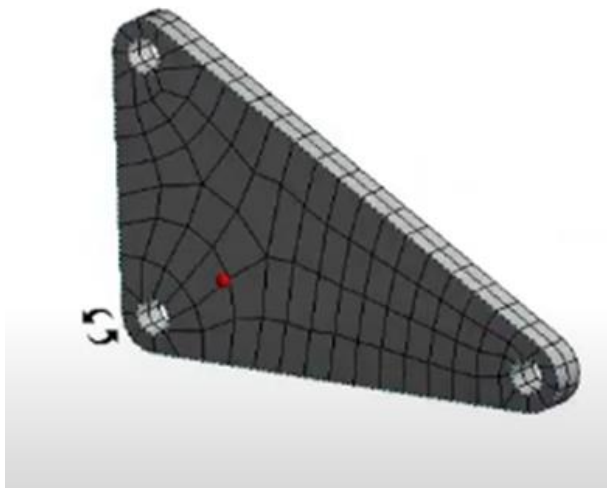
	A	B	C	D
1	Type	Text	Association	Date/Time
2	Informational	(DP 0) The Model component in Static Structural requires user input before it can be updated. For instructions on how to address the cell in its current state, click the blue triangle in the lower right corner of the cell in the Project Schematic.		06/09/2022 12:36:28 a. m.

Ready

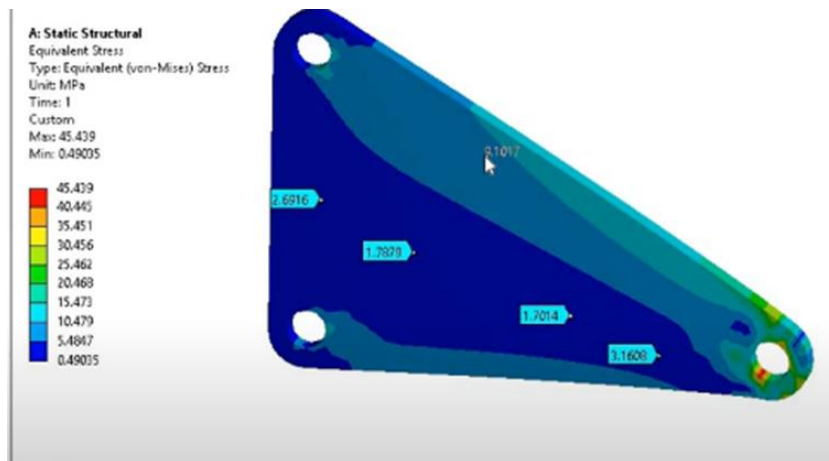
Job Monitor... Show Progress Hide 3 Messages

ESP 12:37 a. m. 06/09/2022

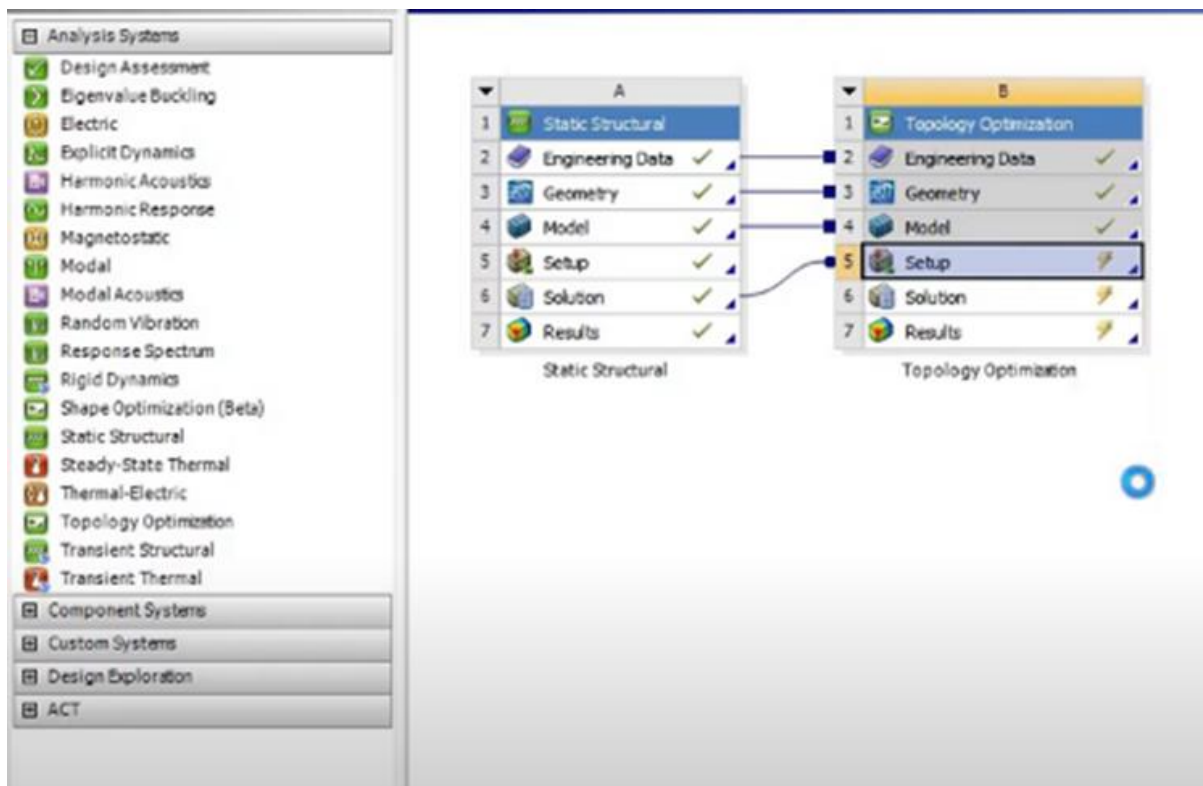
Se escoge el mallado de la pieza, el cual nos servirá más adelante para poder hacer la optimización



Se visualiza la parte en donde hay más esfuerzo



Y se agrega la optimización topológica desde la barra de la derecha

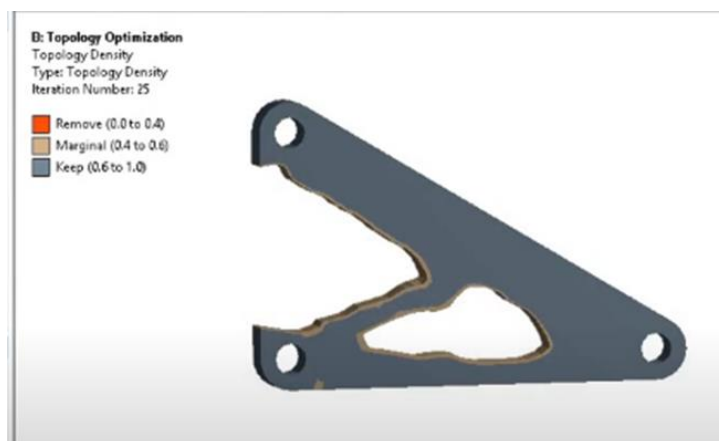




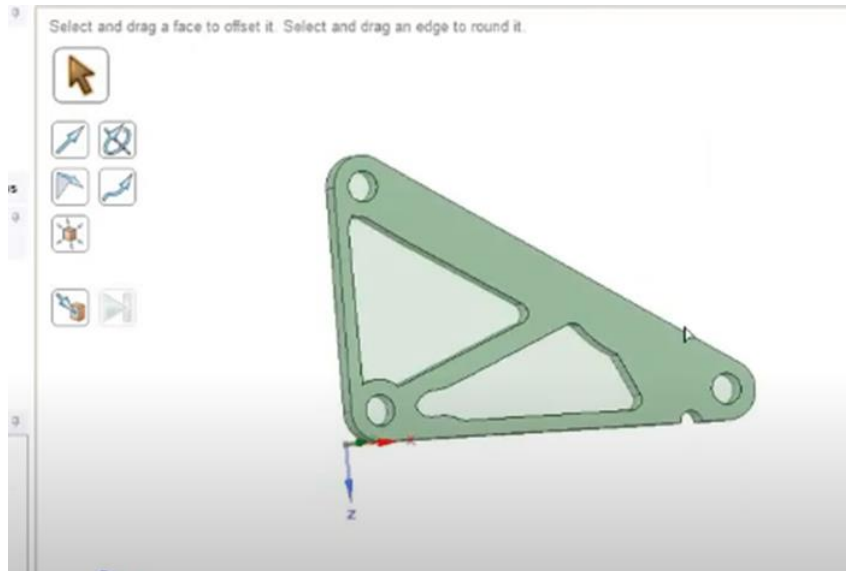
Se seleccionan los puntos a los cuales no se les quiere aplicar la optimización



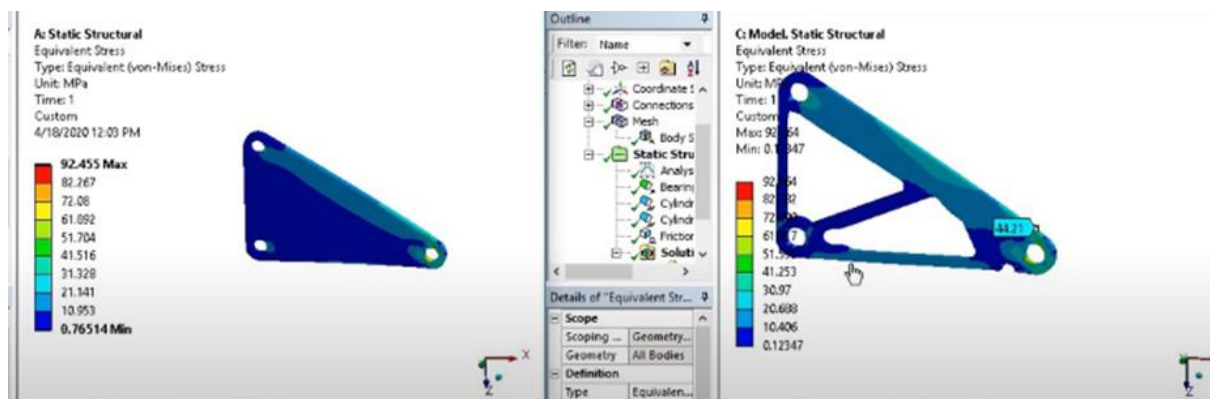
Quedando la pieza así despues de ser aplicada



Se da un acabado mejor a la pieza y más uniforme para que se vea mejor



Y al final tenemos esta comparación de cómo actúan las fuerzas en la pieza sin la optimización y ya con esta al ser aplicada



#### 4. Conclusiones

La optimización topológica fue necesaria desde hace más de 40 años, evolucionando junto con la tecnología hasta la manera que la conocemos hoy. Esta herramienta es igual, o aún más necesaria en estos tiempos, ya que no sólo nos ayuda a reducir más tiempo y costos, si no también el material que se utiliza en la industria.

Con la nueva tendencia de calidad que se espera en la industria, con un enfoque más ecológico, este método es ideal para reducir nuestro consumo en el material utilizado apoyándonos de la ciencia, la tecnología, las impresoras 3D y los softwares CAD sin dejar a un lado la resistencia que los elementos y dispositivos tienen que tener en todo el tiempo de uso que se espera de los usuarios.

Con la apertura de la herramienta “Optimización topológica” de Ansys se pueden realizar fácilmente los diseños y los cálculos necesarios para cualquier tipo de pieza, en las diferentes áreas como la aeronáutica, y sobretodo de la medicina, el cual es nuestro tema de interés.

#### 5. Referencias

- [1] Meza, C. (2012). *OPTIMIZACIÓN TOPOLÓGICA EN EL DISEÑO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES MECÁNICOS*. UAO. Recuperado 4 de septiembre de 2022, de <https://red.uao.edu.co>
- [2] Vetturazzi, R. (2017, 1 junio). *Optimización topológica: Cómo reducir sus costes con materia prima y superar más rápidamente la crisis*. ESSS. Recuperado 4 de septiembre de 2022, de <https://www.esss.co/es/blog/optimizacion-topologica-como-reducir-sus-costes-con-materia-prima-y-superar-mas-rapidamente-la-crisis/>
- [3] Fedulov, B., & Fedorenko, A. (2021). Topology optimization with space orientation of reinforcement. *Procedia Structural Integrity*, 33, 843–849. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2021.10.094>
- [4] *Topology Optimization*. (2022, 5 enero). ANSYS. Recuperado 4 de septiembre de 2022, de <https://www.ansys.com/applications/topology-optimization>
- [5] *Topology Optimization of Triangular Bracket in ANSYS*. (2020, 18 abril). [Vídeo]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=zbtYQbHE1k>
- [6] *Biomedical Engineering*. (s. f.). DTU. Recuperado 4 de septiembre de 2022, de <https://www.dtu.dk/english/education/graduate/msc-programmes/biomedical-engineering>

[7] *Image analysis and computer graphics*. (s. f.). DTU. Recuperado 4 de septiembre de 2022, de <https://www.dtu.dk/english/education/graduate/msc-programmes/mathematical-modelling-and-computation/focus-areas/image-analysis-and-computer-graphics>