

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA**

**LABORATORIO DE BIOMECÁNICA**  
**PRÁCTICA 1: Optimización topológica y análisis**

**ING. YADIRA MORENO VERA**

**ING. ISAAC ESTRADA**

<b>Luis Alejandro Salais Meza</b>	<b>José Juan García Martínez</b>	<b>Daniel García Rodarte</b>	<b>Raymundo López Mata</b>	<b>Gerardo Antonio Contreras Sandate</b>
<b>1877483</b>	<b>1911641</b>	<b>1912044</b>	<b>1923217</b>	<b>1860063</b>
<b>IMTC</b>	<b>IMTC</b>	<b>IMTC</b>	<b>IMTC</b>	<b>IMTC</b>

**BRIGADA: 509**

**AGOSTO – DICIEMBRE 2022**

**SALÓN 12BMC**

**VIERNES N5**

Ciudad Universitaria, San Nicolás de los Garza, Nuevo León a 8 de septiembre de  
2022

## **OBJETIVO**

El estudiante conocerá cada una de las secciones que integran el código de optimización topológica, como se debe de crear el archivo (.m) en MATLAB y como se ejecuta el análisis.

## **INTRODUCCIÓN**

Existen diversas herramientas del campo ingenieril que permiten realizar acciones específicas dentro del campo, desde el análisis de circuitos electrónicos, como la programación de códigos para impresión 3D o maquinado por CNC. Una de las herramientas más importantes dentro de este campo, es aquella que incluye todo lo relacionado con la generación de modelos digitales en 3D así como la generación de análisis mecánicos sobre dichos modelos. Las simulaciones permiten tener predicciones precisas del comportamiento de una pieza o ensamble, y abaratan costos de producción al prevenir que un modelo inestable o no fiable se fabrique.

A continuación, se presenta un método de generación de este tipo de análisis, buscando mostrar todos los parámetros necesarios para obtener resultados adecuados y explicando lo que dichos resultados significan.

Se hace uso del software de diseño 3D SolidWorks, como una alternativa a la programación por Matlab, esto pues SolidWorks posee una interfaz intuitiva que permite importar modelos ya generados y realizar análisis de una manera muy sencilla.

## **MARCO TEÓRICO**

### **Optimización topológica**

Es una técnica que pertenece al análisis estructural, y consiste, básicamente, en analizar un componente o estructura y, en función de cómo se cargue, eliminar material ahí donde no es necesario. En el proceso se deben de tener en cuenta varios aspectos; el espacio de diseño, el o los casos de carga que va a sufrir la pieza en cuestión, el material y la tecnología con que se va a realizar su fabricación, la

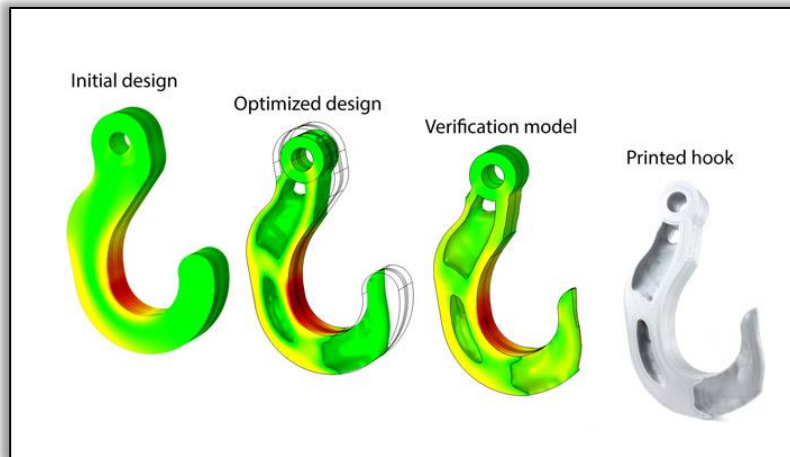
reducción de costes mediante la minimización de soportes y aprovechamiento de la cuba de impresión, en caso de utilizar tecnologías aditivas, y muchos más<sup>1</sup>.

### **Pasos Optimización Topológica**

- Dibujar o Importar geometría
- Simplificar la pieza y definir el espacio de diseño
- Establecer uniones, juntas y contactos
- Asignar materiales
- Definir los casos de carga
- Generar la optimización
- Refinar la geometría
- Exportar a CAD o generar STL
- Verificar el rendimiento
- Fabricar

La optimización topológica no es nueva. Ha existido durante al menos 20 años y ha estado disponible en muchas de las herramientas habituales de software CAD. Para iniciar el proceso, se requiere un ingeniero humano para crear un modelo CAD, en el que se apliquen cargas y restricciones teniendo en cuenta los parámetros del proyecto. Luego, el software elimina el material redundante y genera un concepto de modelo de malla optimizado que está listo para que el ingeniero lo evalúe. En otras palabras, la optimización topológica requiere un modelo diseñado por humanos desde el principio para que funcione, lo que limita el proceso, sus resultados y la escala.

De cierta forma, la optimización topológica sirve como base para el diseño generativo. El diseño generativo lleva el proceso un paso más allá y elimina la necesidad de que el modelo inicial sea diseñado por humanos, asumiendo el papel del diseñador en función del conjunto predefinido de restricciones.



**Figura 1.** Optimización topológica de una garra impresa en 3D

La técnica más común y práctica para realizar la optimización topológica es el método de elementos finitos (MEF). En primer lugar, el MEF tiene en cuenta el diseño geométrico para el espacio mínimo permitido (junto con otros factores) y divide el diseño en varias partes. A continuación, pone a prueba cada elemento finito para determinar su rigidez, su conformidad y el material redundante que contiene. Por último, el MEF vuelve a unir las piezas para finalizar el diseño completo<sup>2</sup>.

Validar el diseño implica determinar un umbral para el campo de densidad de los elementos entre un valor de 0 y 1. Un valor de 0 convierte en vacío el material de una región designada de la estructura, mientras que un valor de 1 identifica la región designada como material sólido. Después, el diseñador puede eliminar todo el material innecesario del modelo y finalizar la parte de optimización topológica del diseño<sup>2</sup>.

Antes de la fabricación aditiva, los diseñadores descartaban muchas de las formas complejas que creaba la optimización topológica, ya que fabricarlas no era factible, y su potencial quedaba sin realizarse.

## **Ventajas de la optimización topológica**

- **Ahorro de dinero:** muchas geometrías complejas que provienen de la optimización topológica harían que los costes de producción fueran exorbitantes, de usar técnicas de fabricación tradicionales. Al combinarla con

la impresión 3D, esta complejidad no genera costes adicionales. Una mayor eficiencia del combustible, ya que se necesita menos energía para mover las piezas gracias a su menor fricción (aviones, automóviles).

- **Resolución de desafíos de diseño:** La optimización topológica puede resolver desafíos comunes del proceso de diseño, como cuando se produce una resonancia cuando la fuerza permitida por una forma en un sistema sobrepasa al sistema. Esto puede provocar deformaciones mecánicas, una reducción de la estructura mecánica y emisiones contaminantes.
- **Ahorro de tiempo:** las herramientas de optimización topológica pueden producir diseños de alto rendimiento que un ingeniero no podría crear manualmente. Esto significa que se gasta menos tiempo y energía en el diseño en CAD y que se obtienen resultados finales fiables con menos iteraciones del diseño. En lo que respecta a la fabricación de las piezas, los procesos de fabricación aditiva también pueden producir piezas finales rápidamente, ya que no requieren utillaje, que puede tardar meses o semanas en llegar para los métodos de fabricación tradicionales.
- **Reducción del impacto ecológico:** crear productos pequeños y ligeros reduce la huella de carbono general de un fabricante al no necesitar tanto material para crearlos. En comparación con las herramientas de fabricación sustractiva, las piezas producidas mediante procesos aditivos también suelen requerir menos materia prima y producen menos desperdicios.
- **Eliminación de errores:** al llevar a cabo ensayos de esfuerzo, el proceso tiene en cuenta una amplia gama de variables y evita realizar suposiciones arriesgadas que puedan generar productos defectuosos.

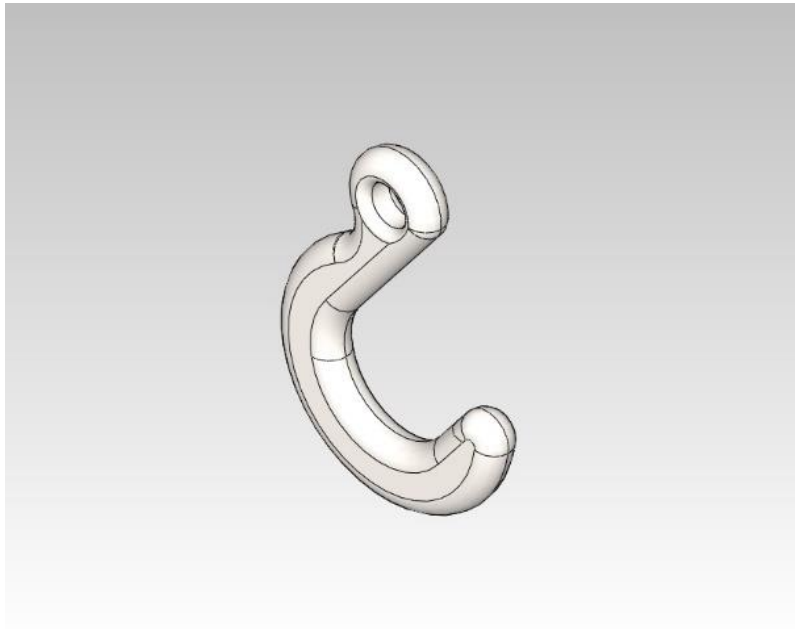
Para el análisis efectivo por el Método de Elementos Finitos (MEF) es importante determinar las características geométricas de los modelos que se analizan.

## DESARROLLO

- **Gancho de Elevación de Grúa**

En este apartado se observa la simulación de un gancho de elevación de grúa el cuál se obtuvo la pieza de la página GRABCAD que con ella simulamos en función del sistema de su funcionamiento que tendrá en el uso diario, llevando a cabo la simulación de prueba para observar si está bien diseñado para realizar su función de diseño destinada.

- **Pieza**




**Figura 2:** Gancho de grúa diseñado en SolidWorks.



**Figura 3:** Vista Frontal de la pieza.

- **Información del Modelo**

Nombre del Documento y Referencia	Trarado Como	Propiedades Volumétricas	Link del Documento
Split Line1 	Solid Body	Masa:21.568 lb Volumen:75.5697 in^3 Densidad:0.285406 lb/in^3 Peso:21.5534 lbf	C:\Users\DELTA-WIN7 32BIT\Desktop\hook\hook.SLDPRT

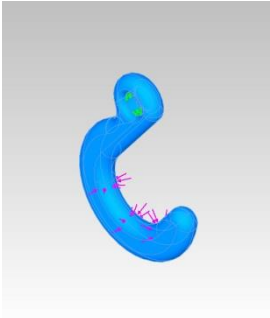
- **Propiedades del Estudio**

Study name	Study 1
Tipo de Análisis	Stático
Tipo de Malla	Solid Mesh
Efecto Térmico	On
Opción Térmica	Include temperature loads
Temperatura de tensión cero	298 Kelvin
Incluye efectos de presión de fluidos de SolidWorks Flow Simulation	Off
Tipo de Solucionador	FFEPlus
Efecto en el Plano	Off
Inertial Relief:	Off
Incompatible bonding options	Automatic
Desplazamiento largo	Off
Calcular fuerzas de cuerpo libre	On
Fricción	Off
Uso de Método Adaptivo	Off

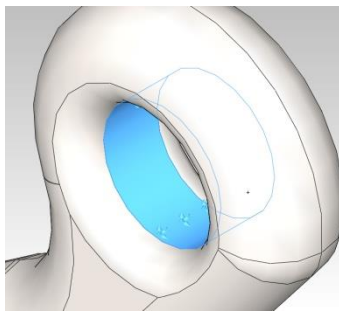
- **Unidades**

Sistema de Unidades	SI (MKS)
Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad Angular	Rad/sec
Prsión/Esfuerzo	N/mm^2 (MPa)

- **Propiedades del Material**

Referencia del Modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: <b>AISI 1020</b> Tipo del Modelo: <b>Linear Elastic Isotropic</b> Criterio de fallo por defecto: <b>Max von Mises Stress</b> Límite elástico: <b>3.51571e+008 N/m<sup>2</sup></b> Resistencia a la tracción: <b>4.20507e+008 N/m<sup>2</sup></b> Módulo Elástico: <b>2e+011 N/m<sup>2</sup></b> Coeficiente Poisson: <b>0.29</b> Densidad de la masa: <b>7900 kg/m<sup>3</sup></b> Módulo de corte: <b>7.7e+010 N/m<sup>2</sup></b> Coeficiente de expansión térmica: <b>1.5e-005 /Kelvin</b>	<b>SolidBody 1(Split Line1)(hook)</b>

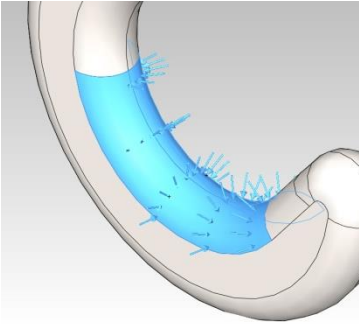
- **Asesorios**

Nombre de los asesorios	Imagen	Detalles
Fixed-1		<b>Entities:</b> 1 face(s) <b>Tipo:</b> Fixed Geometry

Fuerzas Resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultant
Fuerza de Reacción(N)	213.09	948.919	-0.00449327	972.551
Momento(N-m)	0	0	0	0



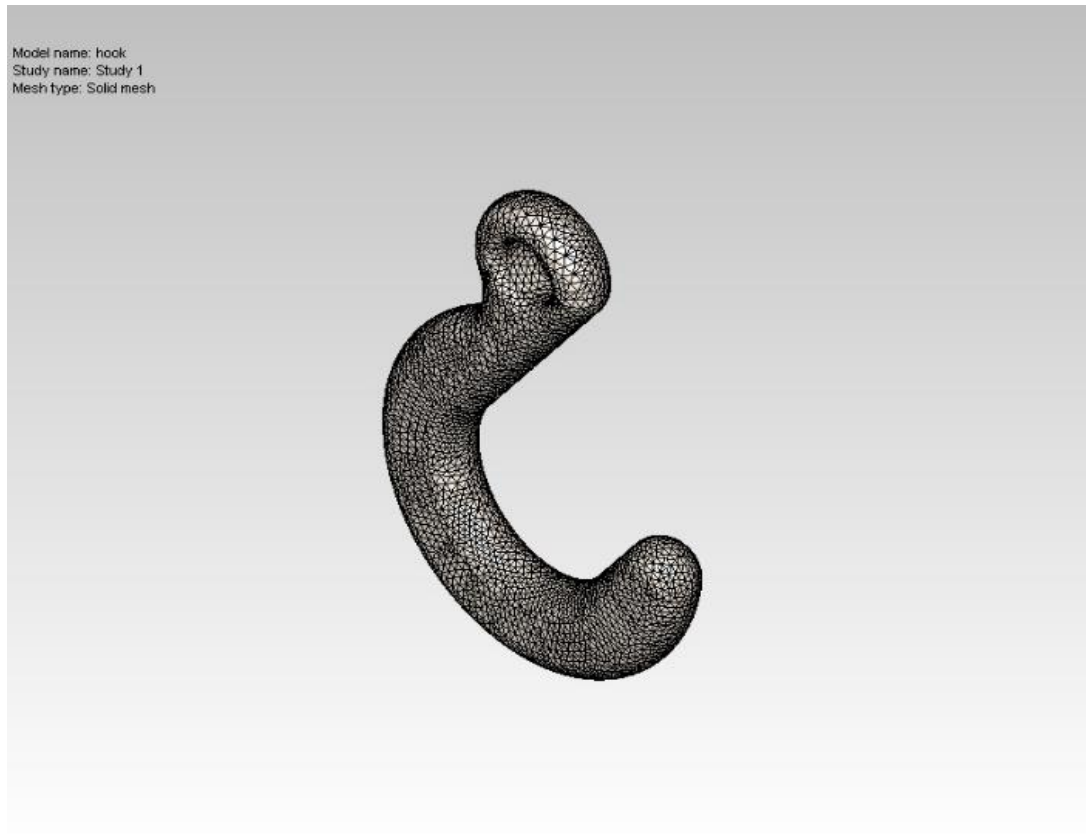
- **Carga**

Nombre	Imagen	Detalles
Force-1		<b>Zona:</b> 2 face(s) <b>Tipo:</b> Fuerza normal aplicada <b>Value:</b> 1000 N

- **Detalles de la Malla**

<b>Tipo de Malla</b>	Solid Mesh
<b>Mallador Utilizado</b>	Curvature based mesh
<b>Puntos Jacobianos</b>	4 Points
<b>Tamaño Máximo de elemento</b>	0.211438 in
<b>Tamaño Máximo de elemento</b>	0.0704786 in
<b>Mesh Quality</b>	High
<b>Total de Nodos</b>	98444
<b>Total de Elementos</b>	66867

<b>Maximum Aspect Ratio</b>	96.674
<b>% of elements with Aspect Ratio &lt; 3</b>	99.4
<b>% of elements with Aspect Ratio &gt; 10</b>	0.0374
<b>% of distorted elements(Jacobian)</b>	0



**Figura 4:** Malla de la pieza.

RESULTADOS

Fuerzas de Reacción

Selección	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Entire Model	N	213.09	948.919	-0.00449327	972.551

Momentos de Reacción

Selección	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Entire Model	N-m	0	0	0	0

Esfuerzo de Von Mises

Nombre	Tipo	Min	Max
Stress1	VON: von Mises Stress	0.000190983 N/mm^2 (MPa) Nodo: 13983	6.75233 N/mm^2 (MPa) Nodo: 573

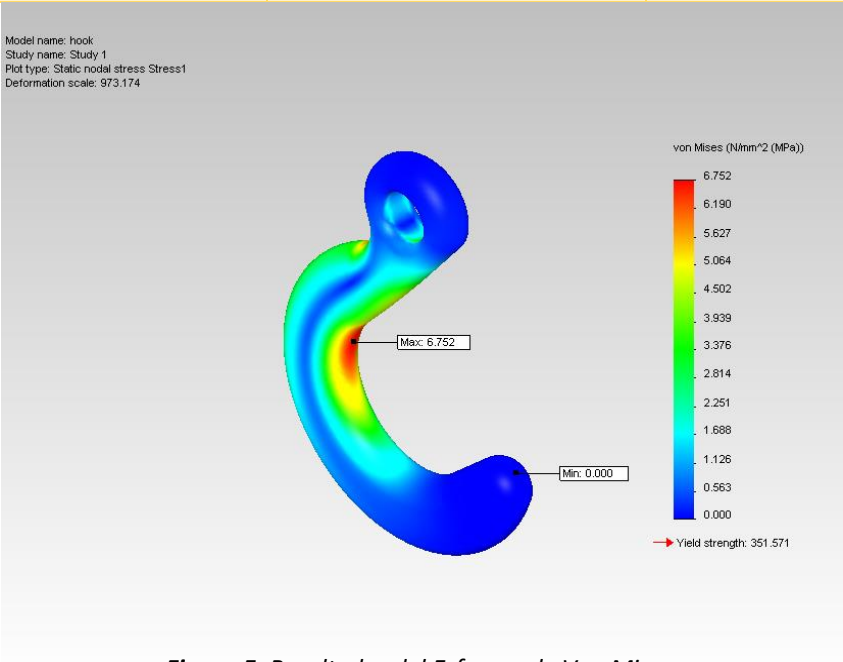
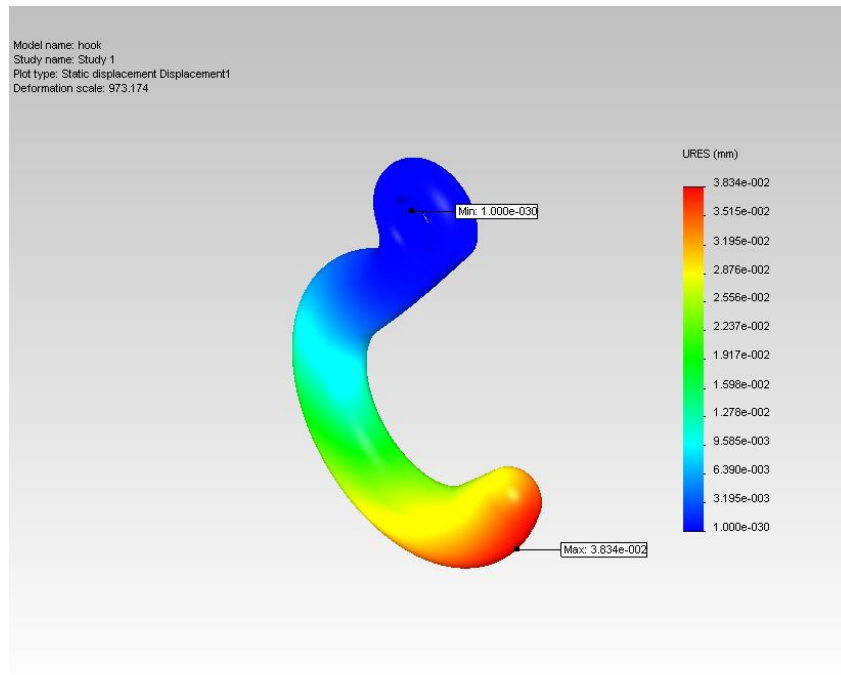


Figura 5: Resultados del Esfuerzo de Von Mises.

Dezplazamiento

Nombre	Tipo	Min	Max
Displacement1	URES: Resultant Displacement	0 mm Node: 150	0.0383413 mm Node: 476

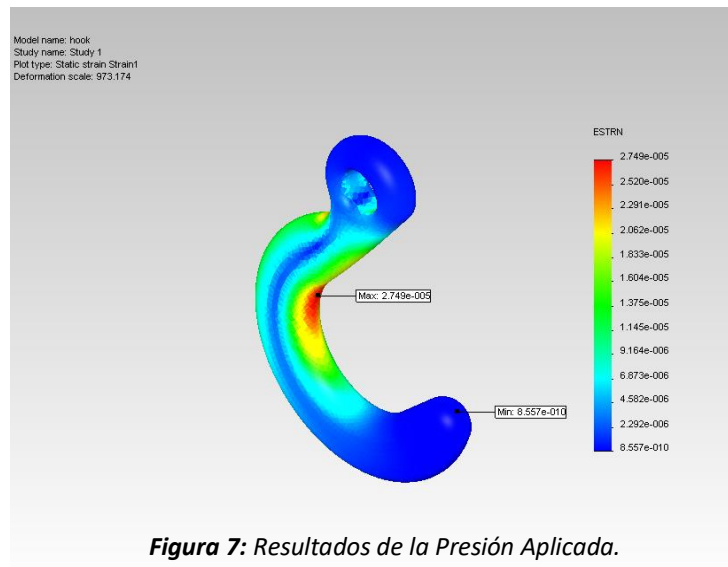


**Figura 6: Resultados del Desplazamiento.**

*Presión*

*Equivalente*

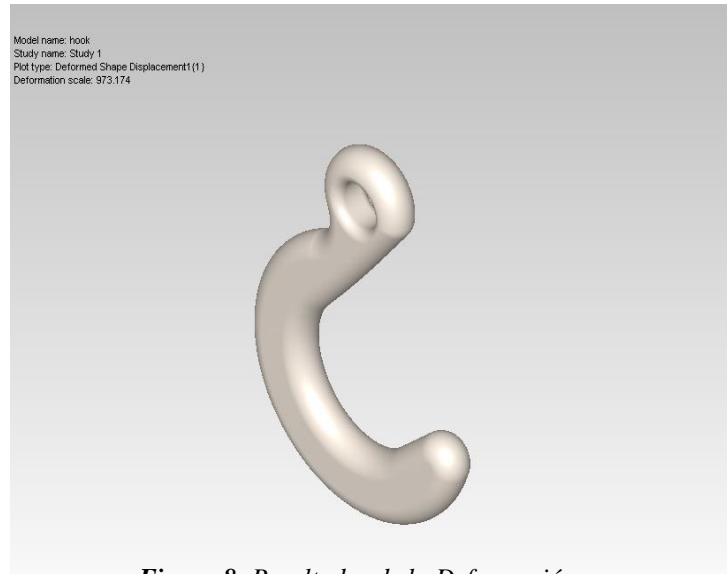
Nombre	Tipo	Min	Max
Strain1	ESTRN: Equivalent Strain	8.55706e-010 Element: 43983	2.74896e-005 Element: 39523



**Figura 7: Resultados de la Presión Aplicada.**

## Deformación

Nombre	Tipo
Displacement1 {1}	Deformed Shape



**Figura 8:** Resultados de la Deformación.

## CONCLUSIÓN

José Juan García Martínez 1911641 IMTC

En esta práctica se realizó la simulación de un gancho de grúa de elevación con el cual se quiere encontrar diferentes estudios, los cuáles fueron la fuerza de reacción, momentos de reacción, esfuerzos de Von Mises, desplazamiento, presión aplicada y deformación, con estos datos son necesarios para determinar si la pieza es funcional. La fuerza aplicada para esta simulación fue de 1500 N; con esta carga los esfuerzos máximos se encuentran en la curvatura de la pieza, también tiene un desplazamiento muy pequeño casi nulo, con una presión máxima en la curvatura muy baja y sin deformación; con esto podemos decir que la pieza está diseñada de la mejor manera y puede ser producida con una buena funcionalidad.

Luis Alejandro Salais Meza 1877483 IMTC

Con esta práctica se pudo hacer uso de herramientas de simulación para el análisis de una pieza expuesta a una carga, mostrando cómo actualmente existen softwares que permiten generar este tipo de estudios de una manera sencilla. En este caso, la pieza implementada fue un gancho, al cual se le aplica una carga y se busca determinar tanto esfuerzo como deformación de la pieza. Se presentaron los parámetros utilizados en la simulación, desde el mallado, hasta el material utilizado y las medidas aproximadas. El estudio mostró como resultados los esfuerzos von Mises, así como los desplazamientos de la pieza en distintos puntos de la misma al estar expuesta a la carga aplicada.

Raymundo López Mata 1923217 IMTC

Con la realización de la primer práctica se comprendió el uso de la optimización topológica para optimizar la organización del material dentro de un espacio definido por el usuario para un conjunto dado de cargas, condiciones y limitaciones. Además, al utilizar este método se maximiza el rendimiento y la eficiencia del diseño eliminando el material sobrante de las zonas que no necesitan soportar cargas considerables para reducir el peso o resolver desafíos de diseño como reducir la resonancia o el esfuerzo térmico. Para esto se utilizó el programa de SolidWorks

para la simulación y análisis de una pieza para conocer su comportamiento al aplicarle cargas, exponiendo al final los resultados de los esfuerzos generados.

Gerardo Antonio Contreras Sandate 1860063 IMTC

En esta primera practica de laboratorio de biomecánica, se logró realizar el diseño y simulación de un gancho de grúa de elevación, el cual con las propiedades del modelo y de su material, realizamos las simulaciones correctamente de fuerza, momentos, esfuerzos entre otros. Con estos parámetros y datos obtenidos, podremos ver como se comportaría la pieza cuando se fabrique. Además de que podríamos ver si la pieza falla o tiene algún error de eficiencia, y con esto podríamos ahorrar gastos antes de fabricar la pieza final. El software utilizado fue SolidWorks para el diseño y partes de las simulaciones de la pieza y Matlab para otras simulaciones. Gracias a estos tipos de programas, la eficiencia de creación de piezas ha avanzado demasiado ya que se necesitan de menos pruebas físicas.

Daniel Garcia Rodarte 1912044

En conclusión, durante el desarrollo de esta práctica utilizamos un software de diseño y simulación, se decidió utilizar SolidWorks, con el propósito de realizar una pieza geométrica y simular los efectos que tendrían en la pieza si se le implementara una carga, en este caso se propuso diseñar un gancho y mediante Solid Works se fue diseñando el modelo y sus distintas partes para después simular si la pieza estuviera expuesta a una carga identificando los distintos esfuerzos que se van observando en el simulador, gracias a esto podemos mejorar el diseño de la pieza mucho antes comenzar el proceso de fabricación y tener un mejor desempeño en la funcionalidad de la pieza creada, por esto los distintos Software de diseño son de gran utilidad para el desarrollo de las piezas para un mecanismo de ingeniería.

## REFERENCIAS

1. Optimización Topológica. (2019, 9 enero). Estudio de Ingeniería y Tecnología Avanzada S.L. Recuperado 8 de septiembre de 2022, de <https://eitaingenieros.com/optimizacion/>
2. Nociones básicas de optimización topológica: Cómo usar modelos algorítmicos para crear un diseño ligero. (s. f.). Formlabs. Recuperado 8 de septiembre de 2022, de <https://formlabs.com/latam/blog/optimizacion-topologica/>