



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ

**REDISEÑO DE LAS MANGUETAS DE UN FORMULA SAE DE COMBUSTIÓN
MEDIANTE EL MÉTODO DE OPTIMIZACIÓN TOPOLOGICA**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingeniero Mecánico Automotriz

AUTORES: LUIS HERNÁN CORDERO TORRES

XAVIER ISRAEL TORRES PIEDRA

TUTOR: ING. WILSON PATRICIO CALLE GUAMANTARIO, MSc.

Cuenca - Ecuador

2022

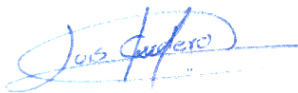
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Luis Hernán Cordero Torres con documento de identificación N° 0107177081 y Xavier Israel Torres Piedra con documento de identificación N° 0104977848; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 27 de mayo del 2022

Atentamente,



Luis Hernán Cordero Torres
0107177081



Xavier Israel Torres Piedra
0104977848

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Luis Hernán Cordero Torres con documento de identificación N° 0107177081 y Xavier Israel Torres Piedra con documento de identificación N° 0104977848, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: “Rediseño de las manguetas de un Formula SAE de combustión mediante el método de optimización topológica”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Mecánico Automotriz, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en el formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 27 de mayo del 2022

Atentamente,



Luis Hernán Cordero Torres
0107177081



Xavier Israel Torres Piedra
0104977848

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Wilson Patricio Calle Guamantario con documento de identificación N° 0103551057, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: REDISEÑO DE LAS MANGUETAS DE UN FORMULA SAE DE COMBUSTIÓN MEDIANTE EL MÉTODO DE OPTIMIZACIÓN TOPOLÓGICA, realizado por Luis Hernán Cordero Torres con documento de identificación N° 0107177081 y por Xavier Israel Torres Piedra con documento de identificación N° 0104977848, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 27 de mayo del 2022

Atentamente,



Ing. Wilson Patricio Calle Guamantario, MSc.
0103551057

DEDICATORIA

Dedico mi proyecto de titulación a Dios, a mis padres, mi esposa, mi hija, mis hermanas y amigos, quienes me han acompañado incondicionalmente a lo largo de este camino y de una u otra forma me han ayudado a superar todos los obstáculos que se me han presentado, siendo una motivación para seguir adelante hasta encontrarme en este momento de importancia en mi vida.

Luis Hernán Cordero Torres

DEDICATORIA

A mis padres y hermano por su apoyo incondicional durante todas las etapas de mi vida, por siempre estar alentándome y ser un pilar fundamental en este largo trayecto, todo esfuerzo, dedicación y sacrificio puesto en este trabajo de titulación y en mi vida estudiantil, ha sido por y para ellos.

A Luis Salazar (Ñño Mono) mi gran amigo y mentor, por ser un apoyo fundamental en momentos críticos, guiándome el camino correcto y siempre teniendo fe en mí.

Xavier Israel Torres Piedra

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios por brindarme salud y vida a lo largo de mis estudios y permitirme culminar los mismos.

A mis padres Luis y Rebeca, quienes han creído en mí siempre, dándome ejemplo de superación, humildad y sacrificio; enseñándome a valorar todo lo que tengo, y que a pesar de todo siempre me brindaron el apoyo y sustento a lo largo de mis estudios.

A mi director de tesis Ing. Wilson Calle y Ing. Wilmer Contreras, el más sincero agradecimiento por guiarnos y compartiros su conocimiento, profesionalismo y valioso tiempo, a fin de culminar este proyecto de titulación en esta hermosa carrera universitaria, la Ingeniería Mecánica Automotriz.

A mi compañero de tesis Xavier, por su amistad, compañerismo y confianza a lo largo de estos 5 años de carrera universitaria, con quien hemos superado varios obstáculos y desafíos, que se han presentado a lo largo del desarrollo de este proyecto, por el aporte de conocimientos y trabajo con un fin común, el de obtener el título de Ingenieros Mecánicos Automotrices.

Luis Hernán Cordero Torres

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios por guiar e iluminar siempre mi camino, permitiéndome superar todas las adversidades y ser una mejor persona.

Un agradecimiento especial con mis padres Mario y Sonia y mi hermano Mario Rodrigo por ser un ejemplo a seguir y enseñarme que todo sacrificio al final siempre otorgará una recompensa. Por haberme apoyado incondicionalmente a pesar de los errores cometidos por mi persona.

A los ingenieros Wilson Calle y Wilmer Contreras por ayudarnos en todas nuestras dudas y compartirnos su conocimiento.

Finalmente, a mi compañero y amigo Luis por su amistad durante estos 5 años por el esfuerzo y dedicación impuesta a este proyecto de titulación con una meta en común, la de ser Ingenieros Mecánicos Automotrices. A mis amigos y compañeros Mateo, Boris, Bernardo, Kevin y Luis Mario por su amistad y apoyo en estos años universitarios.

Xavier Israel Torres Piedra

RESUMEN

Rediseño de las manguetas de un formula SAE de combustión mediante el método de Optimización Topológica.

En el presente trabajo de titulación, se busca realizar un rediseño de las manguetas delantera y posterior del vehículo de competencia fórmula SAE de combustión de la Universidad Politécnica Salesiana. Cuyo objetivo principal es reducir el peso y masa y de las manguetas sin que estas sufran alteración alguna en sus propiedades, o a su vez su alteración sea mínima.

El siguiente proyecto se desarrolla de la siguiente manera.

Se inicia realizando una recolección de datos del estado del arte de las manguetas actuales, con el fin de recopilar información útil y precisa para realizar un modelado inicial.

Se analizan los diseños actuales llegando a la conclusión de que estas ya han llegado a su optimización máxima.

Se plantea un nuevo diseño de las manguetas base con el fin de reducir su peso y masa, aplicando el método de Optimización Topológica y obtener nuevos diseños optimizados.

Se procede a la optimización obteniendo resultados favorables de modelado, los cuales cumplen con el objetivo de reducir su peso y masa.

Se realiza el detallado final de las manguetas y se procede a la elaboración de planos con la finalidad de facilitar su manufactura.

PALABRAS CLAVE: Optimización, Mangueta, Formula SAE, Diseño.

ABSTRACT

Redesign of the uprights of a SAE combustion formula using the Topological Optimization method.

In the present degree work, it is sought to carry out a redesign of the front and rear uprights of the SAE combustion formula competition vehicle of the Salesian Polytechnic University.

Whose main objective is to reduce the weight and mass and the uprights without them suffering any alteration in their properties, or in turn their alteration is minimal.

The following project is developed as follows.

It begins by collecting state-of-the-art data from the current uprights, in order to collect useful and accurate information to perform an initial modeling.

Current designs are analyzed, concluding that they have already reached their maximum optimization.

A new design of the base uprights is proposed in order to reduce their weight and mass, applying the Topological Optimization method and obtaining new optimized designs.

We proceed to the optimization obtaining favorable modeling results, which meet the objective of reducing their weight and mass.

The final detail of the uprights is made and plans are drawn up in order to facilitate their manufacture.

KEY WORDS: Optimization, Uprights, Formula SAE, Design.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	II
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	II
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	III
DEDICATORIA	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO	VI
AGRADECIMIENTO	VII
RESUMEN	VIII
ABSTRACT	IX
INTRODUCCIÓN	XIV
PROBLEMA	XIV
Antecedentes	XIV
Importancia y alcance	XIV
Delimitación geográfica	XV
Objetivos	XV
Objetivo General:	XV
Objetivos específicos:	XV
CAPÍTULO I: ESTADO DEL ARTE SOBRE EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN ACTUAL DE LAS MANGUETAS DEL FORMULA SAE	1
1.1. Introducción	1
1.2. ¿Qué es un Formula SAE?	1
1.3. Generalidades Formula SAE	2
1.4. Estado del Arte de las Manguetas	3
1.4.1. ¿Qué son las manguetas?	3
1.4.2. Función de las Manguetas	3
1.4.3. Manguetas de un Formula SAE	4
1.5. Optimización Topológica	6
1.5.1. Métodos y Técnicas para la optimización Topológica	6
1.5.2. Software de diseño	8
1.5.3. Tipos de software tentativos a utilizar	8

CAPÍTULO II: GENERALIDADES DE LAS MANGUETAS DE UN FORMULA SAE Y MODELADO DE LAS MANGUETAS ACTUALES _____	11
2.1. Introducción _____	11
2.2. Reglamento Formula SAE _____	11
2.3. Tipos de software a utilizar _____	12
2.4. Modelado de la mangueta actual _____	14
2.4.1. Extracción de las manguetas _____	14
2.4.2. Modelado de las manguetas en software _____	17
2.5. Datos considerados para el diseño actual de las manguetas _____	20
2.6. Cálculo de volumen y masa (para comparar con el diseño posterior) _____	21
2.7. Proceso de optimización _____	21
2.8. Selección de criterios de análisis _____	22
CAPITULO III: REDISEÑO DE LA MANGUETA DEL FORMULA SAE DE COMBUSTIÓN _____	24
3.1. Introducción _____	24
3.2. Características Físicas que influyen en la mangueta _____	24
3.3. Materiales opcionales para la construcción _____	27
3.4. Análisis de esfuerzos y deformaciones mediante el método de elementos finitos ____	29
3.5. Datos requeridos para el Preproceso _____	29
3.6. Fuerzas que interactúan en la mangueta delantera durante la conducción _____	30
3.7. Fuerzas que interactúan en la mangueta trasera durante la conducción _____	32
CAPÍTULO IV: PROPUESTA FINAL DE OPTIMIZACION Y ANALISIS DE RESULTADOS _____	36
4.1. Cálculo del factor de seguridad _____	36
4.1.1. Mangueta delantera _____	36
4.1.2. Mangueta posterior _____	36
4.2. Cálculo del esfuerzo permisible del elemento _____	36
4.2.1. Esfuerzo permisible mangueta delantera _____	37
4.2.2. Esfuerzo permisible mangueta posterior _____	37
4.3. Resultados de la Optimización Topológica _____	37
4.3.1. Mangueta delantera _____	37
4.3.2. Mangueta Posterior _____	39
4.4 Resultados del rediseño _____	42

CONCLUSIONES _____	43
RECOMENDACIONES _____	44
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS _____	45
ANEXOS _____	47
Anexo 1: Detallado de la mangueta delantera (optimizado vs. final). _____	47
Anexo 2: Detallado de la mangueta posterior (optimizado vs. final). _____	48
Anexo 3: Nueva mangueta delantera 3D. _____	49
Anexo 4: Nueva mangueta posterior 3D. _____	50
Anexo 5: Planos de la nueva mangueta delantera _____	51
Anexo 6: Planos de la nueva mangueta posterior _____	52

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Fórmula SAE de combustión _____	2
Ilustración 2: Mangueta vehículo comercial _____	4
Ilustración 3: Conjunto Mangueta delantera Formula SAE _____	5
Ilustración 4: Mangueta delantera de un Formula SAE _____	5
Ilustración 5: Problema elástico _____	7
Ilustración 6: Desmontaje de los neumáticos _____	15
Ilustración 7: Extracción de los calipers _____	15
Ilustración 8: Manguetas: Trasera y delantera _____	16
Ilustración 9: Componentes desmontados para la extracción de las Manguetas _____	16
Ilustración 10: Diseño 2D Manguetas actuales: Trasera y delantera _____	17
Ilustración 11: Diseño 3D Manguetas actuales: Trasera y delantera _____	18
Ilustración 12: Diseño 2D Manguetas base: Trasera y Delantera _____	19
Ilustración 13: Diseño 3D Manguetas base: Trasera y Delantera _____	19
Ilustración 14: Etapas de la optimización topológica _____	22
Ilustración 15: Criterios de optimización de A _____	23
Ilustración 16: Fuerzas que interactúan, aplicadas la mangueta base delantera _____	30
Ilustración 17: Deformación total de la mangueta base delantera referente a las cargas aplicadas _____	31
Ilustración 18: Esfuerzos equivalentes en la mangueta base delantera referente a las cargas aplicadas _____	32

Ilustración 19: Fuerzas que interactúan, aplicadas a la mangueta base posterior _____	33
Ilustración 20: Deformación total de la mangueta base posterior referente a las cargas aplicadas _____	34
Ilustración 21: Esfuerzos equivalentes en la mangueta base posterior referente a las cargas aplicadas _____	35
Ilustración 22: Deformación total de la mangueta nueva delantera referente a las cargas aplicadas _____	38
Ilustración 23: Esfuerzos equivalentes en la mangueta nueva delantera referente a las cargas aplicadas _____	39
Ilustración 24: Deformación total de la mangueta nueva posterior referente a las cargas aplicadas _____	41
Ilustración 25: Esfuerzos equivalentes en la mangueta nueva posterior referente a las cargas aplicadas _____	42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Datos para el diseño actual de las manguetas _____	20
Tabla 2: Masa y volumen de manguetas delanteras y posteriores actuales vs base _____	21
Tabla 3: Valores para la malla de la mangueta delantera _____	29
Tabla 4: Fuerzas consideradas en la mangueta delantera _____	30
Tabla 5: Fuerzas consideradas en la mangueta trasera _____	32
Tabla 6: Masa original mangueta base vs. masa final mangueta delantera optimizada _____	38
Tabla 7: Masa original mangueta base vs. masa final mangueta posterior optimizada _____	40
Tabla 8: Contraste de resultados de optimización mangueta base vs. nuevo diseño _____	42

INTRODUCCIÓN

Formula SAE surge como un proyecto creado por la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE) en EEUU, con el fin de brindar la oportunidad a estudiantes de diseñar, fabricar y preparar vehículos de competencia tipo Formula.

Uno de los principales componentes del vehículo F-SAE son las manguetas, cuyo peso es considerable en un vehículo de competencia, es por esto que su diseño y manufactura son de gran relevancia para superar con éxito las pruebas estáticas y dinámicas dentro de la competencia (Mejía González, 2015).

PROBLEMA

Antecedentes

En el ámbito de las competencias de automóviles de alto nivel, el peso es uno de los factores más importantes por no decir el más importante, por lo tanto, la reducción de unos gramos o kilos en los principales componentes del vehículo pueden representar ganancias significativas en el momento de una competencia.

En la Universidad Politécnica Salesiana el desarrollo del campo investigativo referenciado a la mecánica de materiales no ha tenido un enfoque al diseño de autopartes mediante software empleando el método de optimización topológica, con la finalidad de reducir peso innecesario en las manguetas del formula SAE de Combustión.

Importancia y alcance

Las manguetas actuales del formula SAE de combustión son uno de los elementos más sólidos por ende uno de los elementos más pesados del vehículo, por lo tanto, una reducción de un porcentaje de su peso podría llegar a representar una diferencia significativa en su rendimiento durante una competencia. En la actualidad los materiales

y técnicas para la construcción de autopartes automotrices está avanzando a pasos agigantados, por lo que se puede decir que un prototipo desarrollado años anteriores puede recibir una actualización de diseño que le permita mejorar sus prestaciones de manera muy significativa.

Delimitación geográfica

Los resultados de este proyecto beneficiarán al Grupo de Investigación de Ingeniería del Transporte y va aportar al desarrollo de la línea de investigación en diseño automotriz, dejando un precedente de estudio gracias a la optimización topológica, la cual permitirá mejorar el diseño y construcción de los futuros proyectos que se plantee la carrera.

Objetivos

Objetivo General:

- Rediseñar las manguetas del formula SAE para la reducción de su peso mediante optimización topológica.

Objetivos específicos:

- Conocer el estado del arte mediante información bibliográfica sobre el diseño y construcción actual de las manguetas del formula SAE, considerando las normativas y requerimientos de las manguetas para un formula SAE.
- Evaluar el estado actual de las prestaciones de las manguetas.
- Rediseñar las manguetas de un vehículo tipo fórmula SAE mediante optimización topológica para la obtención de un elemento con menor peso.
- Analizar las propuestas obtenidas para obtener el modelo mecánicamente más eficiente.

CAPITULO I

ESTADO DEL ARTE SOBRE EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN ACTUAL DE LAS MANGUETAS DEL FORMULA SAE

1.1. Introducción

Anualmente se desarrolla una competencia de diseño y construcción de vehículos de competencia tipo formula organizada por la SAE (Sociedad de Ingenieros de Automoción), esta competencia está enfocada a que los estudiantes de varias universidades alrededor del mundo diseñen, construyan y presenten sus prototipos, con la finalidad de adquirir experiencia en el mundo de la ingeniería real, la cual combina la experiencia práctica en ingeniería con el conocimiento y habilidades adquiridas a lo largo de su carrea universitaria.

Una de los principales componentes de la suspensión de un vehículo tipo formula son sus manguetas, tanto delanteras como posteriores, las mismas que deben brindar seguridad y soporte al momento de ser accionadas para direccionar el vehículo y superar con éxito las pruebas dinámicas y estáticas que se le realicen durante la competencia.

En el presente capítulo se indagará sobre el estado de arte actual de las manguetas del formula SAE de combustión de la Universidad Politécnica Salesiana.

Dicho diseño y manufactura del vehículo debe acatarse a las normativas de diseño que proporciona la competencia.

1.2. ¿Qué es un Formula SAE?

Un Formula SAE es un vehículo de competencia diseñado y desarrollado por estudiantes de ciclos superiores de las universidades a nivel mundial, los cuales poseen características distintivas al ser autos de ruedas abiertas, distancia entre ejes mínima de

60 pulgadas, cilindrada máxima del motor de 610cc. El peso del vehículo tiene como restricción un peso mínimo de 450 lb (990 kg) y un máximo de 500 lb (1100 kg).

Con relación a la construcción y fabricación del automóvil puede presentar una estructura de marcos espaciales de tubos de acero o monocascos de fibra de carbono con suspensión independiente. En torno a la velocidad los Formula SAE últimamente han logrado alcanzar una velocidad promedio dentro de la competencia en sus diferentes pruebas de 30 millas (48 km) a 50 millas (80 km) (Sean et al., 2021).

Ilustración 1.

Formula SAE de combustión



Fuente: (Cabrera Coronel & Tigre Guncay, 2016)

1.3. Generalidades Formula SAE

La finalidad de la competencia formula SAE es otorgar a los estudiantes una oportunidad de simular que forman parte de un equipo de trabajo profesional para el diseño y elaboración de un vehículo de competencia tipo formula.

Si bien el concepto de Formula SAE consiste en desafiar a los estudiantes a diseñar, fabricar y competir con pequeños autos de carreras tipo fórmula. Los equipos de trabajo tienen de 8 a 12 meses para realizar el diseño, construcción y preparación de sus vehículos

para una competencia. Dentro de esta competencia los vehículos tipo fórmula serán evaluados en una serie de eventos estáticos y dinámicos, dentro de los cuales incluyen una inspección técnica, costo de producción, presentación, diseño de ingeniería, pruebas de rendimiento en solitario y resistencia de alto rendimiento (SAE International, 2020a).

1.4. Estado del Arte de las Manguetas

1.4.1. ¿Qué son las manguetas?

Es una parte mecánica que contiene el eje sobre el que gira la rueda y está conectada tanto a la suspensión como al sistema de dirección para otorgar el curso del vehículo.

Las manguetas se las puede definir como elementos mecánicos dentro de los vehículos, forman parte esencial en la composición de los sistemas de suspensión y dirección ya que permiten soportar las ruedas y además otorgar los cambios de dirección de las mismas.

1.4.2. Función de las Manguetas

La mangueta es un elemento que tiene muchas funciones diferentes, entre las que destacan las siguientes funciones:

- Contiene un cojinete de rueda, a través del cual se aplica fuerza al vehículo.
- El arrastre y el frenado crean una fuerza de rotación alrededor del eje, que la mangueta tiene que ser capaz de soportar.
- El diseño de la suspensión ejerce una fuerza sobre la superficie de contacto de cada neumático que la mangueta debe resistir.
- Al tomar una curva, el vehículo experimenta un momento de flexión que debe soportar la mangueta.
- También debe ser capaz de resistir las fuerzas ejercidas por los resortes helicoidales y los amortiguadores.

- Debe ser capaz de soportar diversas fuerzas de torsión, que se generan en el eje de rotación de cada neumático debido a la acción de los frenos.
- Debe ser capaz de transmitir la fuerza de dirección a cada rueda con la precisión adecuada, proporcionando rigidez frente a la torsión vertical.
- Debe tener una durabilidad óptima para poder soportar las diversas condiciones imperfectas que se encuentran en la carretera (Hello Insurance Group SA, 2021).

Ilustración 2.

Mangueta vehículo comercial.



Fuente: (Refacciones.mx, 2021)

1.4.3. Manguetas de un Formula SAE

Las manguetas de un formula SAE son elementos sólidos mecánicos de alta resistencia, utilizados para unir el sistema de suspensión, el sistema de dirección y albergar los caliper del sistema de frenos en el caso del tren delantero y en el caso del tren posterior, las manguetas sirven de soporte para albergar el centro de rueda por el cual se transmite el movimiento del tren de fuerza motriz hacia las ruedas posteriores del vehículo tipo fórmula SAE.

Ilustración 3.

Conjunto Mangueta delantera Formula SAE.



Fuente: Autores

Ilustración 4

Mangueta delantera de un Formula SAE.



Fuente: Autores

1.5. Optimización Topológica

El método de la optimización topológica parte del diseño original del componente u autoparte en un software y se integra con un análisis de elementos finitos con el objetivo de mejorar su proceso de diseño, obteniendo resultados óptimos de peso ligero sin comprometer su funcionalidad y resistencia.

Dentro de esta metodología, se puede trabajar por varios frentes, entre los cuales tenemos:

Los materiales empleados para la manufacturación de la pieza u autoparte, considerando la disponibilidad de adquisición y costos del mismo.

Las cargas a las que la pieza u autoparte se somete son un factor muy importante para determinar el espesor de la pieza, por ende, su peso variará considerablemente.

La optimización topológica por software se basa en modelos matemáticos aplicados mediante mallados a la pieza en diseño o rediseño, este método ayuda considerablemente a reducir tiempos de producción, costos y cantidades de material empleados durante la manufactura de una pieza (Ballín Juna & Herrera Santamaría, 2020).

1.5.1. Métodos y Técnicas para la optimización Topológica

- **Optimización Topológica de estructuras Discretas:** Esta técnica la podemos subdividir en dos categorías que son:
 - **OT de estructura de malla continua:** La cual se basa en un dominio continuo de la estructura delimitada por una cantidad de barras rígidas que tiende al infinito, las cuales están distanciadas por un espacio infinitesimal. La solución más adecuada para la estructura es determinada analíticamente por la teoría de la elasticidad.

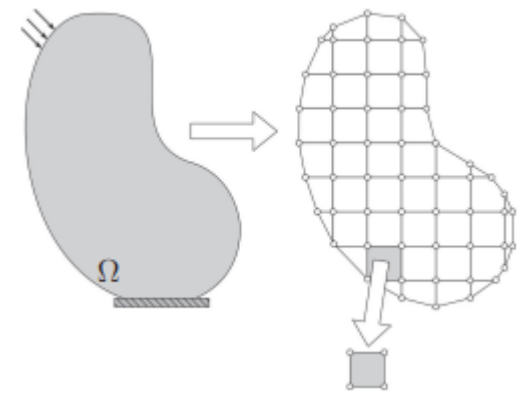
- **OT de estructuras discretas:** Una técnica que establece un dominio donde existen una diversidad de puntos establecidos aleatoriamente, cuya solución es obtenida de una forma numérica.

- **Método de elementos finitos**

Este método consiste en ir formando una malla a partir de nodos interconectados, partiendo de la discretización de un dominio continuo en subdominios finitos, de esta forma se puede simplificar un sistema de ecuaciones diferenciales parciales a una solución simultanea de elementos finitos, que fácilmente se pueden solucionar con un computador.

Ilustración 5.

Problema elástico.



Fuente: (Valencia, 2012)

De un problema elástico se obtiene el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\mathbf{K}\mathbf{u} = \mathbf{f},$$

En donde \mathbf{u} y \mathbf{f} son desplazamientos y fuerzas externas nodales respectivamente y \mathbf{K} es la matriz de rigidez global, dado por una suma coherente.

$$\mathbf{K} = \sum_i \mathbf{K}_i^e \text{ para } i = 1, 2, 3, \dots, N$$

En donde N es el número de elementos finitos usados para discretizar el dominio.

$$\mathbf{K}^e = \int_{\Omega} \mathbf{B}^T \mathbf{D} \mathbf{B} d\Omega$$

En donde \mathbf{D} es la matriz de material y \mathbf{B} es la matriz de las derivadas, y Ω representa el dominio del diseño (Valencia, 2012).

1.5.2. Software de diseño

No todos los programas CAD ofrecen esta función de optimización de la estructura. Aunque no es necesario utilizarlo durante el modelado y la fabricación, es mejor elegir un software que lo incluya para garantizar un diseño óptimo de la pieza. Es por eso que algunas empresas decidieron desarrollar programas especiales para este proceso. Sin duda, Altair fue uno de los pioneros, cuya solución OptiStruct llevó más tarde a otra, Altair Inspire. También hay otras opciones como Ansys, Dassault Systemes, Autodesk o incluso nTopology. Además, existen muchos programas CAD que integran optimización parcial, como Solidworks, Creo o Fusion 360.

La selección de un programa de optimización del chasis es, por lo tanto, un paso importante, ya que la herramienta determinará las limitaciones de las piezas de acuerdo con los materiales fabricados, las propiedades de ingeniería y las cargas mecánicas. Analizará diferentes situaciones de carga, incluso en casos extremos. También se tendrá en cuenta el espacio disponible para el diseño, así como las áreas no modificadas. Por tanto, el software será el mejor aliado en esta fase de diseño.

1.5.3. Tipos de software tentativos a utilizar

- **SOLIDWORKS:** SOLIDWORKS es un programa de diseño CAD 3D (Diseño asistido por computadora) para crear modelos 3D de piezas y ensamblajes y dibujos

2D. El programa ofrece una amplia gama de soluciones para cubrir todos los aspectos relacionados con el proceso de desarrollo de productos. Sus productos brindan la capacidad de crear, diseñar, simular, producir, publicar y administrar datos de procesos de diseño.

Las soluciones de SOLIDWORKS incluyen cinco líneas de productos diferentes:

- Herramientas de diseño para modelado y montaje.
 - Diseñar herramientas para la fabricación mecánica, automatizar la documentación de pruebas y crear documentación sin necesidad de dibujos 2D.
 - Herramientas de simulación para evaluar el diseño y asegurarse de que esté en su mejor momento.
 - Herramientas para evaluar el impacto ambiental de un diseño en su ciclo de vida.
 - Herramientas de reutilización de datos CAD en 3D para simplificar la forma en que las empresas crean, mantienen y utilizan el contenido para la comunicación técnica.
 - Finalmente, todas estas herramientas están respaldadas por SolidWorks PDM para administrar y controlar de forma segura los datos de una única fuente de datos del mundo real de sus diseños y SOLIDWORKS Manage, una herramienta para administrar los procesos y proyectos involucrados en todo el desarrollo de productos y asociados con el proceso de diseño.
 - Todas estas soluciones trabajan juntas para permitir a las empresas mejorar la producción de sus productos, haciéndolos más rápidos y económicos (Tablado, 2020).
- **ANSYS:** Ansys lidera el camino en la producción de software de ingeniería avanzada para simular el funcionamiento de productos manufacturados y procesos industriales.

Las soluciones de Ansys incluyen simulaciones dinámicas de dinámica de fluidos, electromagnetismo, resistencia de materiales y más (Seys S.A., 2020).

Ansys es un ecosistema de software CAE para el diseño, análisis y simulación de partes de elementos finitos de la FEA. Incluye las etapas de preparación, implementación y procesamiento de una red. El programa es el proceso de realización de asignaturas Análisis parcial de los fenómenos físicos utilizados en la ingeniería mecánica y el diseño, que permite la solución de problemas físicos sujetos a restricciones térmicas, de fluidos y vibraciones. y mecánica. Una herramienta específica, describiendo brevemente sus principales unidades por disciplina (Portal3D As., 2022).

- **FUSION 360:** Es un programa CAD, CAM, que permite el modelado y diseño 3D, con la finalidad de conseguir una fabricación de productos desde cero.

Posee una gran variedad de herramientas las cuales nos permitirán diseñar y proyectar bocetos garantizando un ajuste, forma y función, a su vez se puede modificar las características existentes como material o accesorios de modelado de forma directa.

Como beneficios que nos otorga podemos mencionar los siguientes:

- Otorga total libertad de diseño sin límites para el modelado 3D
- Al momento de realizar cambios de diseño, estos nos sufren un gran impacto. Evitando así que por un error se tenga que rehacer el proyecto desde cero o en su gran mayoría
- Permite una importación del diseño de una forma más rápida, debido a la traslación de datos CAD más amplio.

CAPÍTULO II

GENERALIDADES DE LAS MANGUETAS DE UN FORMULA SAE Y

MODELADO DE LAS MANGUETAS ACTUALES

2.1. Introducción

En el presente capítulo, se indagará sobre los reglamentos que tiene el Formula SAE respecto a las manguetas del vehículo de competencia.

Se detalla el proceso de extracción de las manguetas para la toma de medidas y peso, así como también se establece los programas a utilizar para realizar el proceso de modelado.

Se realiza el modelado de las manguetas actuales y el modelado de otras manguetas base para la propuesta de un nuevo diseño optimizado.

2.2. Reglamento Formula SAE

De acuerdo con el reglamento del Formula SAE Rules versión 1.0 del 31 de julio, 2021 obtenemos la siguiente información referente al sistema de dirección y suspensión.

V.3 Suspensión y Dirección (Suspension and Steering)

V.3.1 Suspensión (Suspension)

V.3.1.3 Todos los puntos de montaje de la suspensión deben ser visibles en la Inspección Técnica por vista directa o por quitando cualquier cubierta.

V.3.1.5 Todas las rótulas esféricas y los cojinetes esféricos de la suspensión y la dirección deben ser uno de los siguientes:

- Montado en doble corte
- O sujetos por la cabeza de tornillo/perno o una arandela con un diámetro exterior que sea mayor que el diámetro interior de la carcasa del alojamiento del rodamiento esférico.

V.3.2 Dirección (Steering)

V.3.2.3 Los sistemas de dirección deben usar un enlace mecánico rígido capaz de soportar tensión y compresión ante las cargas de operación.

V.3.2.4 El sistema de dirección debe tener, topes de dirección positiva que eviten el bloqueo de las articulaciones de dirección. Los topes pueden ser colocados en las manguetas o en el rack, y deben impedir que los neumáticos contacten con la suspensión o el cuerpo de los miembros del bastidor durante las pruebas de pista.

V.3.2.9 Las rótulas esféricas y los cojinetes esféricos del sistema de dirección, deben cumplir con lo antes mencionado en la regla V.3.1.5. (SAE International, 2020b)

2.3. Tipos de software a utilizar

- **SOLIDWORKS:** SOLIDWORKS es un programa de diseño CAD 3D (Diseño asistido por computadora) para crear modelos 3D de piezas y ensamblajes y dibujos 2D. El programa ofrece una amplia gama de soluciones para cubrir todos los aspectos relacionados con el proceso de desarrollo de productos. Sus productos brindan la capacidad de crear, diseñar, simular, producir, publicar y administrar datos de procesos de diseño.

Las soluciones de SOLIDWORKS incluyen cinco líneas de productos diferentes:

- Herramientas de diseño para modelado y montaje.
- Diseñar herramientas para la fabricación mecánica, automatizar la documentación de pruebas y crear documentación sin necesidad de dibujos 2D.
- Herramientas de simulación para evaluar el diseño y asegurarse de que esté en su mejor momento.
- Herramientas para evaluar el impacto ambiental de un diseño en su ciclo de vida.

- Herramientas de reutilización de datos CAD en 3D para simplificar la forma en que las empresas crean, mantienen y utilizan el contenido para la comunicación técnica.
- Finalmente, todas estas herramientas están respaldadas por SolidWorks PDM para administrar y controlar de forma segura los datos de una única fuente de datos del mundo real de sus diseños y SOLIDWORKS Manage, una herramienta para administrar los procesos y proyectos involucrados en todo el desarrollo de productos y asociados con el proceso de diseño.
- Todas estas soluciones trabajan juntas para permitir a las empresas mejorar la producción de sus productos, haciéndolos más rápidos y económicos (Tablado, 2020).
- **ANSYS:** Ansys lidera el camino en la producción de software de ingeniería avanzada para simular el funcionamiento de productos manufacturados y procesos industriales. Las soluciones de Ansys incluyen simulaciones dinámicas de dinámica de fluidos, electromagnetismo, resistencia de materiales y más (Seys S.A., 2020)

Ansys es un ecosistema de software CAE para el diseño, análisis y simulación de partes de elementos finitos de la FEA. Incluye las etapas de preparación, implementación y procesamiento de una red. El programa es el proceso de realización de asignaturas Análisis parcial de los fenómenos físicos utilizados en la ingeniería mecánica y el diseño, que permite la solución de problemas físicos sujetos a restricciones térmicas, de fluidos y vibraciones. y mecánica. Una herramienta específica, describiendo brevemente sus principales unidades por disciplina (Portal3D As., 2022).

- **FUSION 360:** Es un programa CAD, CAM, que permite el modelado y diseño 3D, con la finalidad de conseguir una fabricación de productos desde cero.

Posee una gran variedad de herramientas las cuales nos permitirán diseñar y proyectar bocetos garantizando un ajuste, forma y función, a su vez se puede modificar las características existentes como material o accesorios de modelado de forma directa.

Como beneficios que nos otorga podemos mencionar los siguientes:

- Otorga total libertad de diseño sin límites para el modelado 3D
- Al momento de realizar cambios de diseño, estos nos sufren un gran impacto. Evitando así que por un error se tenga que rehacer el proyecto desde cero o en su gran mayoría
- Permite una importación del diseño de una forma más rápida, debido a la traslación de datos CAD más amplio (AUTODESK, 2021).

2.4. Modelado de la mangueta actual

Para poder realizar el modelado de las manguetas, se tuvo que realizar la extracción de las mismas del vehículo.

2.4.1. Extracción de las manguetas

Para la extracción de las manguetas, primero se realizó el desmontaje de los neumáticos posterior y delantero (primera imagen), continuamos con el desmontaje de los calipers de freno (segunda imagen), se prosiguió retirando el perno que une a las manguetas con los discos de freno y finalmente desmontamos las manguetas desconectando las mismas de la tirantería de dirección y varillaje de suspensión.

Ilustración 6.

Desmontaje de los neumáticos.



Fuente: Autores

Ilustración 7.

Extracción de los calipers.



Fuente: Autores

Ilustración 8.

Manguetas: Posterior y delantera, respectivamente.



Fuente: Autores

Ilustración 9.

Componentes desmontados para la extracción de las Manguetas



Fuente: Autores

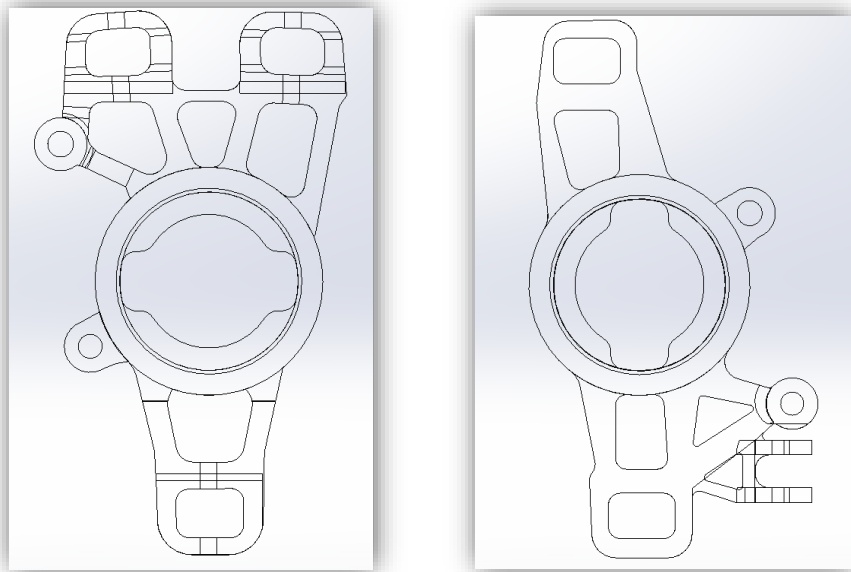
2.4.2. Modelado de las manguetas en software

Opción 1

Para poder realizar el modelado de las manguetas se utilizó las manguetas en físico y planos recopilados de la tesis mencionada en el literal siguiente, las medidas que no constaban en los planos fueron dimensionadas directamente de las manguetas del vehículo.

Ilustración 10.

Diseño 2D Manguetas actuales: Posterior y delantera, respectivamente.

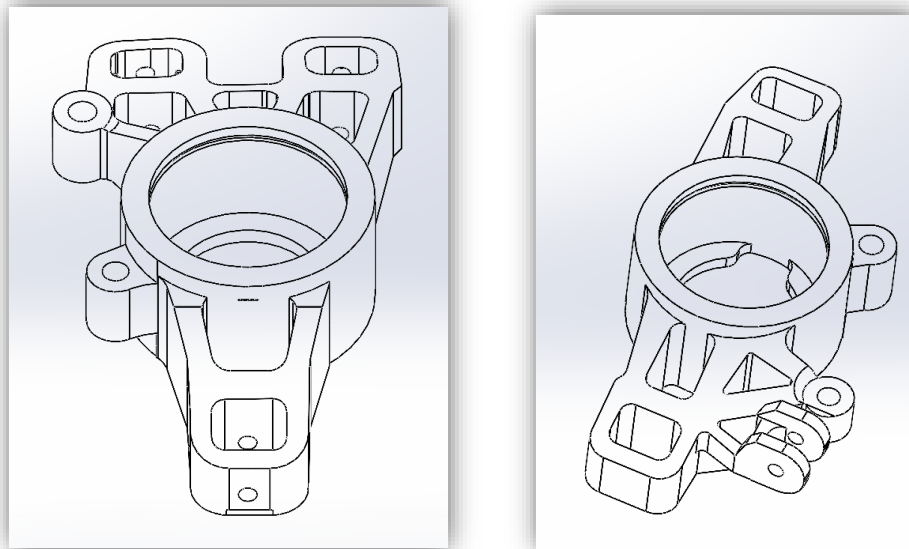


Fuente: Autores

Una vez obtenido los planos 2D se empezó a dar forma mediante las opciones de extrude y corte, logrando finalmente Un resultado 3D convincente que asemeje de la menor manera al diseño original como se presenta en las imágenes a continuación.

Ilustración 11.

Diseño 3D Manguetas actuales: Posterior y delantera, respectivamente.



Fuente: Autores

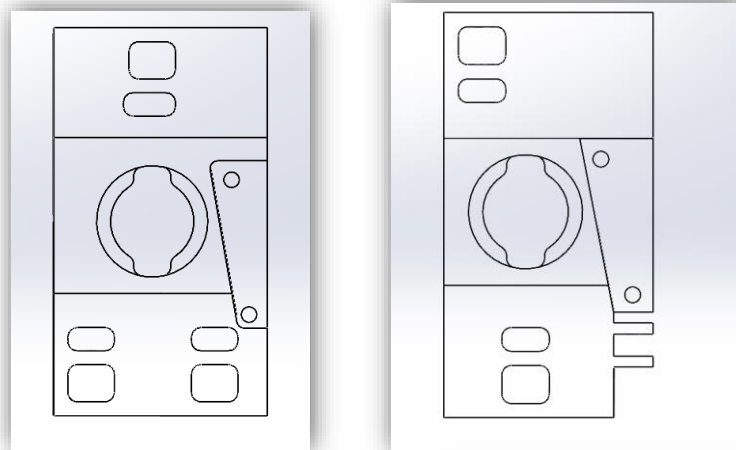
Opción 2

Como segunda tentativa, se plantea el diseño de una pieza desde cero, considerando como referencia que los puntos de anclaje coincidan perfectamente en la misma posición y dimensiones en relación a las manguetas que posee el vehículo actualmente.

Para poder realizar el modelado de las manguetas se utilizó los planos originales recopilados de la tesis mencionada en el literal siguiente, la idea final es crear un elemento nuevo, para poder presentar un nuevo diseño optimizado.

Ilustración 12.

Diseño 2D Manguetas base: Posterior y delantera, respectivamente.

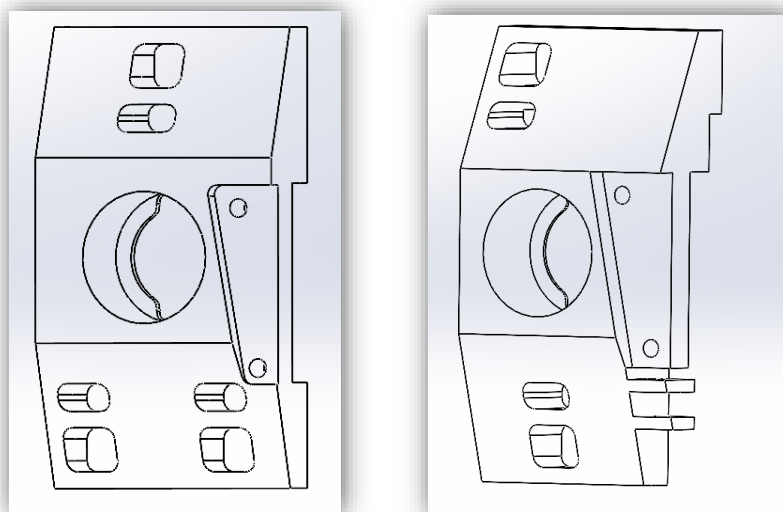


Fuente: Autores

Una vez obtenido los planos 2D se empezó a dar forma mediante las opciones de extrude y corte, logrando finalmente Un resultado 3D que se pueda considerar como correcto para poder realizar un nuevo diseño de manguetas.

Ilustración 13.

Diseño 3D Manguetas base: Posterior y delantera, respectivamente.



Fuente: Autores

2.5. Datos considerados para el diseño actual de las manguetas

En la tabla a continuación, se presentan datos obtenidos y recopilados de la tesis “Diseño de las manguetas delanteras y posteriores para un vehículo Formula SAE mediante técnicas de optimización estructural y manufactura con CNC ” Autor: Ing. David Adolfo Reyes Jiménez.

Tabla 1.

Datos para el diseño actual de las manguetas.

Parámetro	Valor
Peso del vehículo (sin piloto)	289.97 Kg
Peso de las manguetas	995 g delanteras/ 972 g posteriores
Factor de Seguridad	1.3 delanteras/ 1.7 posteriores
Material	Aleación de Aluminio 7075 T6 E= 72000 MPa v=0.33 p=2.80x10 ⁻⁹
Carga Total vertical	4358.24 Newtons
Fracción de Volumen	0.4 (40%)
Centro de Gravedad	0.323 m
Fuerza de Frenado o desaceleración	-9.72 m/s ²
Transferencia de cargas longitudinales sobre una rueda	363.29 Newtons
Fuerza horizontal (en curva)	3438.26 Newtons
Fuerza de Giro	256 Newtons
Esfuerzo cortante en el perno de sujeción de la dirección	34.20 MPa
Esfuerzo cortante en la base de sujeción de la dirección	35.37 MPa

Presión en la superficie de contacto (Rodamiento-Cuerpo de mangueta)	Max=11.62 MPa Min=1.19 Mpa
---	-------------------------------

Fuente: (Reyes Jiménez, 2016)

2.6. Cálculo de volumen y masa (para comparar con el diseño posterior)

Al momento de realizar el diseño de la mangueta actual en el software, se procede a seleccionar el tipo de material a utilizar, para que, una vez culminada la pieza, el programa nos brinde información acerca del diseño, entre los cuales consta la masa y el volumen de la pieza. El material utilizado para la simulación y diseño según la información recopilada de trabajos previos es (Aleación de aluminio 7075 T6) (Reyes Jiménez, 2016).

Obteniendo de esta manera los siguientes datos (Tabla 2):

Tabla 2.

Masa y volumen de mangueta delantera y posterior actuales vs. base.

Mangueta Delantera V1	Masa	895,66 gramos
	Volumen	318739,01 mm ³
Mangueta Posterior V1	Masa	869,81 gramos
	Volumen	309542,5 mm ³
Mangueta Delantera V2	Masa	1009,58 gramos
	Volumen	1009582,50 mm ³
Mangueta Posterior V2	Masa	1144,20 gramos
	Volumen	1144196,74 mm ³

Nota: V1 (Manguetas actuales), V2 (Manguetas base).

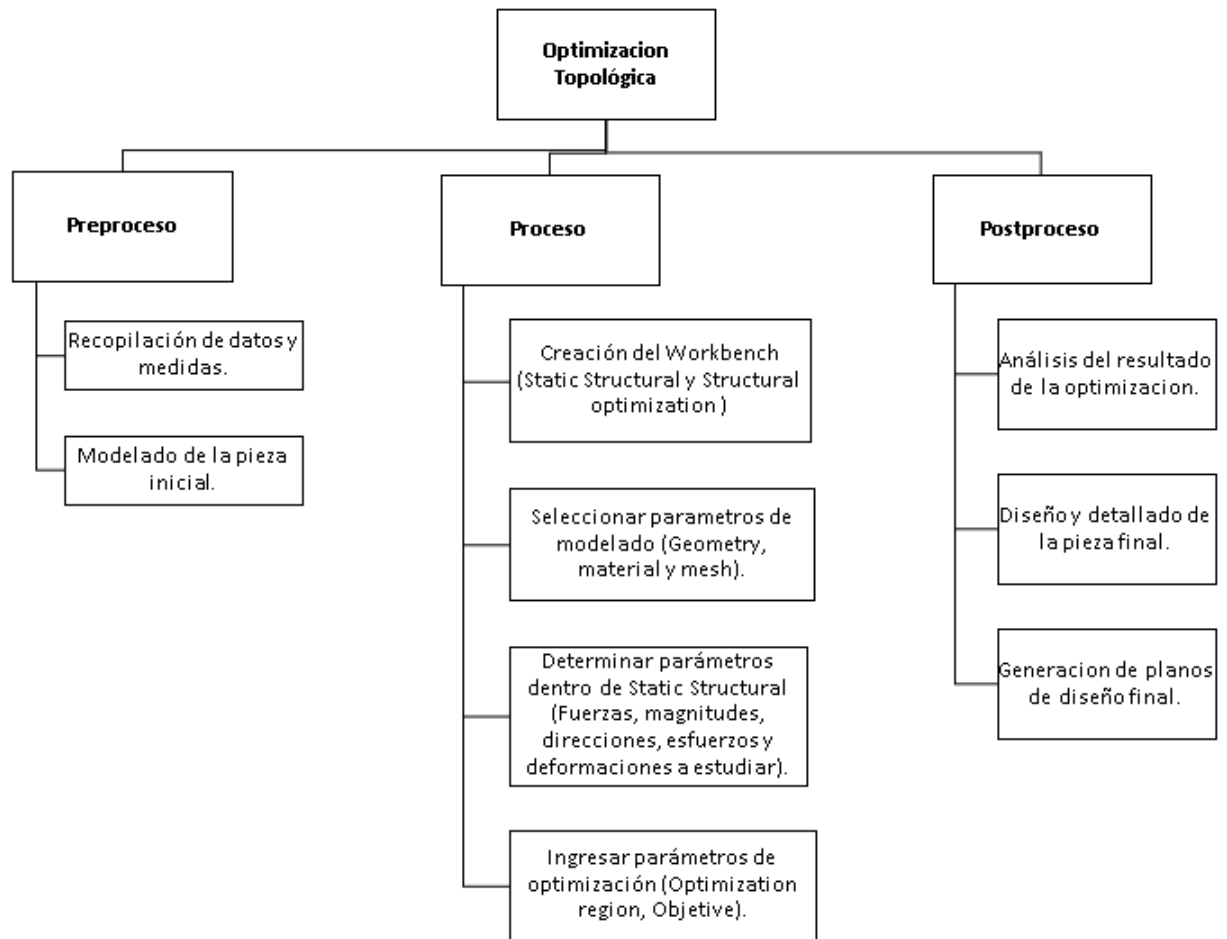
Fuente: Autores

2.7. Proceso de optimización

El proceso de optimización consta de tres etapas, las cuales son: Preproceso, proceso y postproceso (Ilustración 14.)

Ilustración 14.

Etapas de la optimización topológica.



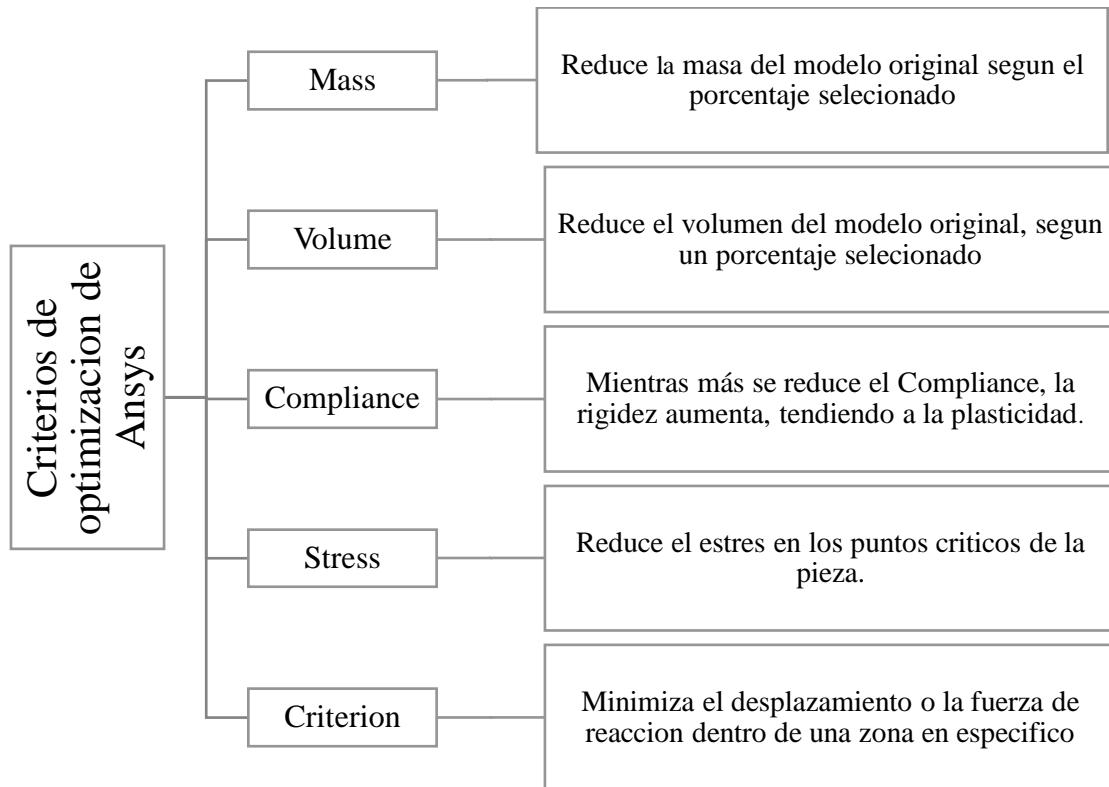
Fuente: Autores

2.8. Selección de criterios de análisis

Dentro del proceso de optimizado existen varios criterios en los cuales podemos trabajar la optimización (Ilustración 15.)

Ilustración 15.

Criterios de optimización de A. Ajuste el tamaño de letra



Fuente: Autores

CAPITULO III

REDISEÑO DE LA MANGUETA DEL FORMULA SAE DE COMBUSTIÓN

3.1. Introducción

Una de las técnicas actuales más utilizadas para el estudio estructural y estudios de resistencia de una pieza o mecanismo es la simulación mediante software de diseño, con lo cual se puede obtener información y resultados de pruebas realizadas de manera digital sobre cómo se comportaría la pieza o mecanismo ante esfuerzos y cargas que se someta simulando estar en funcionamientos reales antes de fabricar la pieza y de este modo, ahorrar tiempo y costos de producción al momento de la manufactura.

3.2. Características Físicas que influyen en la mangueta

Las propiedades de resistencia, flexibilidad y ductilidad de los metales se determinan mediante una prueba de esfuerzo, que consiste en estirar lentamente una varilla redonda o plana hasta que se rompe. Los resultados de la prueba indicarán la magnitud de la fuerza aplicada y la deformación.

La fuerza es proporcional a la fuerza aplicada y se obtiene dividiendo la fuerza aplicada y la sección transversal de la varilla.

- **Resistencia a la tensión (S_u).**

Es el punto extremo de la curva tensión-deformación, es la resistencia a la tracción extrema. En esta prueba, la presión aparente máxima en la tira reactiva se mide como se muestra en la figura. La tensión aparente se calcula dividiendo la carga por el área de la sección transversal original de la pieza de prueba.

Cuando se alcanza la carga máxima, el diámetro de la varilla disminuirá y luego aparecerá la tensión de fractura.

La prueba de compresión se realiza de manera similar a la prueba de tracción, excepto que, en lugar de estirar la pieza de prueba, se comprime.

La Fuerza de compresión se considera negativa y crea un esfuerzo negativo. En el gráfico de tensión-deformación del acero, observamos el límite relativo y la elasticidad; límite elástico y resistencia a la tracción.

- **Resistencia de Fluencia (S_y)**

Cuando hay un gran aumento de tensión con poco o ningún aumento de tensión en el diagrama anterior, esto se denomina límite elástico. Esto sucede cuando la barra se deforma de forma permanente. Si el punto de fluencia es notable, la propiedad se denomina punto de fluencia, caso contrario se llama resistencia de fluencia.

- **Límite Elástico**

Cuando la barra vuelve a su forma original después de aplicarse la fuerza, se dice que está en el área elástica y si aún está deformada, ha llegado a la zona plástica. El límite elástico se puede identificar cerca de la resistencia de fluencia.

- **Módulo de elasticidad**

El módulo de elasticidad se puede considerar como la constante de proporcionalidad definida entre el esfuerzo y la deformación unitaria, indicando así la rigidez o resistencia a la deformación del material.

- **Ductilidad y porcentaje de elongación**

Para expresar la ductilidad en porcentaje de elongación tenemos la siguiente fórmula:

$$\%Elongación = \frac{(Longitud\ Final) - (Longitud\ Original)}{Longitud\ Original} * 100$$

Cuando el porcentaje resultante es mayor al 5% se considera un material dúctil, caso contrario se denomina un material frágil. Para componentes que soportan cargas repetitivas es recomendable utilizar materiales con porcentajes de elongación mayores al 12% por su alta resistencia a la fractura.

En un componente construido con material dúctil es más fácil detectar una falla eminente por su previa deformación antes de que esta sufra una ruptura final.

- **Dureza**

La dureza del material se define como la resistencia a la penetración. En la actualidad los dispositivos más usados para medir la dureza, son Brinell y Rockwell. Para el primer ensayo se toma como objeto penetrante una esfera de acero endurecido de 10 mm de diámetro, la cual es aplicada sobre el metal a una fuerza de 3000 kg o 500 kg, esto varía según el metal a prueba.

En cambio, para el durómetro de Rockwell utiliza una esfera de acero endurecida de 1/16 de pulgada de diámetro, se somete la esfera como objeto de penetración aplicando una carga de 100 kg para aceros blandos. Aceros con tratamiento térmico, es utilizada la Rockwell C como escala, la misma que utiliza como objeto penetrador una esfera cónica de diamante con una carga aplicable de 150 kg.

- **Tenacidad**

Es la capacidad de absorber la energía aplicada que posee un material sin que este llegue a sufrir una fractura. Los componentes que poseen un mayor nivel de tenacidad son aquellos que se someten a repentinas cargas.

- **Densidad**

Es definida como la masa por unidad de volumen, se le considera como una propiedad física del material.

- **Resistencia a la Fatiga**

Cuando los materiales son sujetos a reiteradas aplicaciones de cargas o estrés por esfuerzo que llegan a variar con el tiempo en diversa cantidad de ciclos, generalmente llegan a fallar por el fenómeno llamado fatiga.

Para calcular el límite de tensión, es necesario consultar la norma de la Federación Europea de Manejo de Materiales (FEM), donde se estipula que los materiales, su naturaleza de carga y ciclos de variación son factores que dictaminan el camino para llegar al límite de fatiga de un material.

- **Maquinabilidad**

Es la facilidad con la que se forma el material, utilizando buenas herramientas y acabado superficial. Solo por comparación se puede determinar si un material puede llegar a ser fácil de trabajar.

3.3. Materiales opcionales para la construcción

Cuando se analiza y determina un material, es de suma importancia que el mismo sea capaz de soportar los esfuerzos y cargas a las cuales va a ser sometida la mangueta cuando se encuentre en funcionamiento el vehículo.

Para lo cual es indispensable monitorear la tensión del material mediante el uso de software, cabe recalcar que el módulo elástico debe ser superior al que se nos indique en el software (Padilla-Padilla et al., 2020).

- **Acero:** Es un material duro y tenaz, el cual es obtenido al realizar una aleación de hierro combinada con una cantidad de carbono que puede oscilar entre un 0,03% y 1,075%, dependiendo del grado.
Posee características metálicas del hierro, pero al adicionarle el carbono mejora en gran porcentaje sus propiedades Físico-Químicas, en especial su resistencia(Levinson, 2017).
- **Aluminio:** Se le considera como un material blando con poca resistencia mecánica, es por eso que en la actualidad se realizan aleaciones con diferentes materiales para así conseguir aumentar su resistencia y llegar a conseguir propiedades útiles en la industria.
Posee como ventaja que es muy resistente a la corrosión, también es un excelente material cuando se trabaja con altas temperaturas (LENNTECH, 2020).
- **Aleación de Aluminio 7075 T6:** Es una aleación utilizada en la industria aeroespacial y fabricación de piezas automotrices, considerada como la mejor en cuanto a características mecánicas se refiere, entre sus fortalezas consta de una excelente resistencia a la fatiga y a su vez es material muy ligero.
Su mayor inconveniente es no presentar una buena defensa contra la corrosión, por lo cual es recomendable realiza el proceso de anodizado una vez culminada la pieza (Padilla-Padilla et al., 2020).

Al plantear estos 3 elementos podemos llegar a la conclusión de que la mejor opción para realizar la optimización es la que ya tiene por defecto en la actualidad, y es la aleación de Aluminio 7075 T6, debido a que es una opción con excelentes resultados ante los esfuerzos sometidos a las manguetas y además de que permite una ligereza en su estructura. Descartamos el Acero y el Aluminio, el primero, aunque presenta buenas

propiedades de resistencia debido a su peso, y el segundo por ser la peor opción ya que es un material demasiado blando para nuestro objetivo.

3.4. Análisis de esfuerzos y deformaciones mediante el método de elementos finitos

El método mencionado es de gran utilidad cuando se requiere resolver complejos problemas mecánicos de diseño, es una serie de procesos numéricos con ecuaciones diferenciales, cuya finalidad es asemejar el resultado a una situación real sin que estemos obligados a desarrollar pruebas o modelos Físicos.

En este caso utilizaremos el software de análisis ANSYS 22R, el cual debido a su gran cantidad de herramientas se nos facilita verificar una gran cantidad de diseños y finalmente proponer una alternativa definitiva.

Una vez culminados los modelos de las manguetas tanto delantera como posterior, se analiza los esfuerzos y deformaciones en las mismas, planteándonos como objetivo

3.5. Datos requeridos para el Preproceso

Tabla 3.

Valores para la malla de la mangueta delantera.

PROPIEDADES	
Material:	Aleación aluminio 7075 T6
Volumen:	3,3459e+005 mm ³
Masa:	0,96281 kg
Nodos:	139678
Elementos:	85902

Fuente: Autores

3.6. Fuerzas que interactúan en la mangueta delantera durante la conducción

Tabla 4.

Fuerzas consideradas en la mangueta delantera

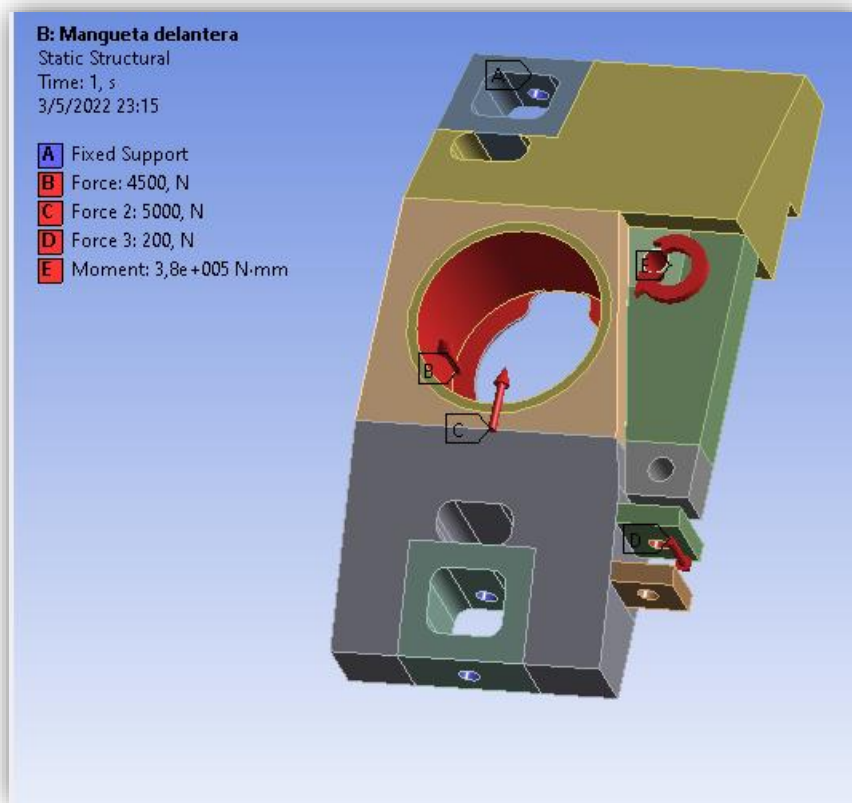
Fuerza	Magnitud	Unidad
Carga longitudinal	5000	N
Brazo de dirección	200	N
Carga Lateral	4500	N
Momento de Frenado	3,8e+005	N.mm

Fuente: Autores

Las cargas citadas anteriormente se colocan sobre la pieza, considerando su respectiva dirección y magnitud (**Ilustración 16**).

Ilustración 16.

Fuerzas que interactúan, aplicadas a la mangueta base delantera.

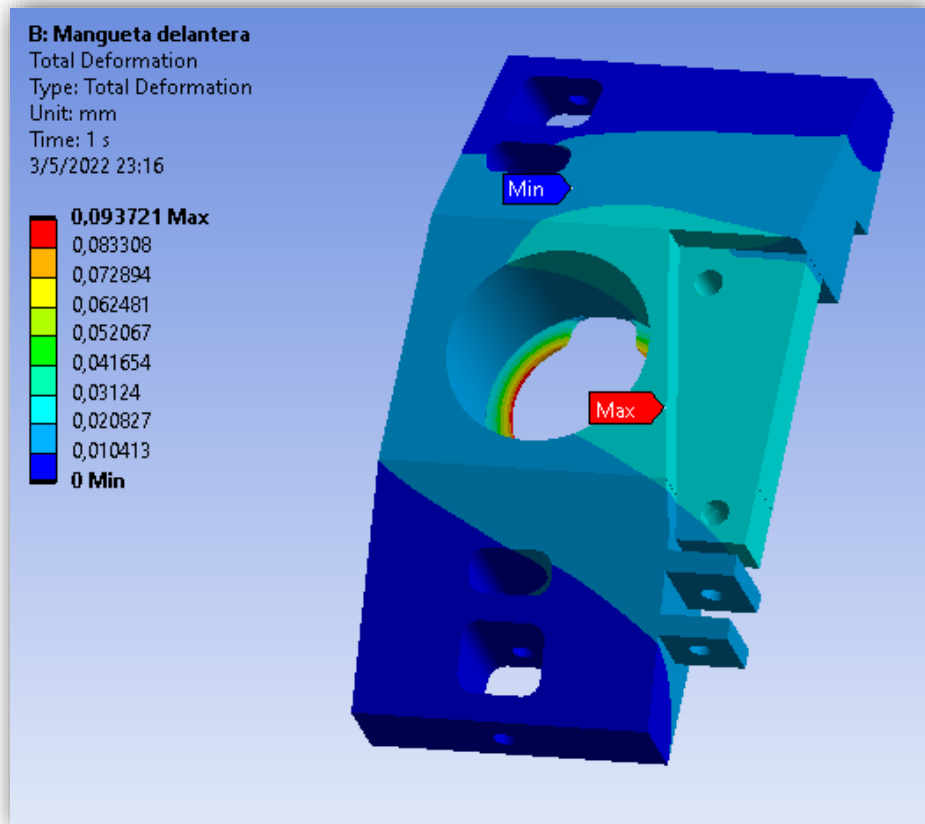


Fuente: Autores

En la **Ilustración 17** podemos observar la deformación total referente a las cargas aplicadas, con una deformación máxima de 0,093721 mm.

Ilustración 17.

Deformación total de la mangueta base delantera referente a las cargas aplicadas.

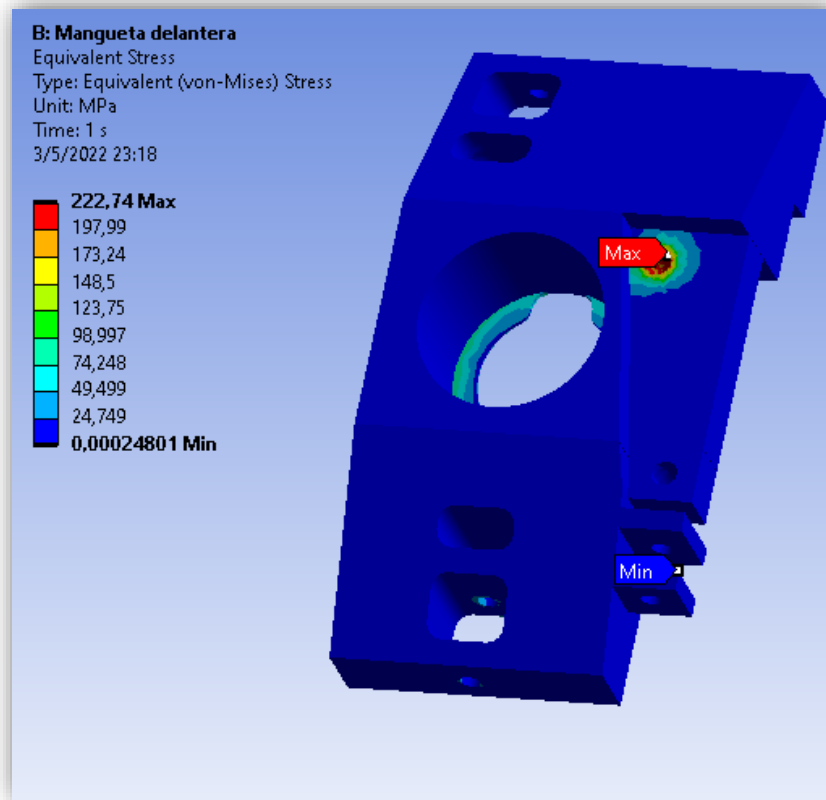


Fuente: Autores

Finalmente se muestra el esfuerzo equivalente de Von-Mises referente a las cargas aplicadas (**Ilustración 18**), donde su mayor esfuerzo es de 222,74 MPa y se ubica en el orificio donde va sujetado el caliper debido al momento de frenado.

Ilustración 18.

Esfuerzos equivalentes en la mangueta base delantera referente a las cargas aplicadas.



Fuente: Autores

3.7. Fuerzas que interactúan en la mangueta trasera durante la conducción

Tabla 5.

Fuerzas consideradas en la mangueta trasera.

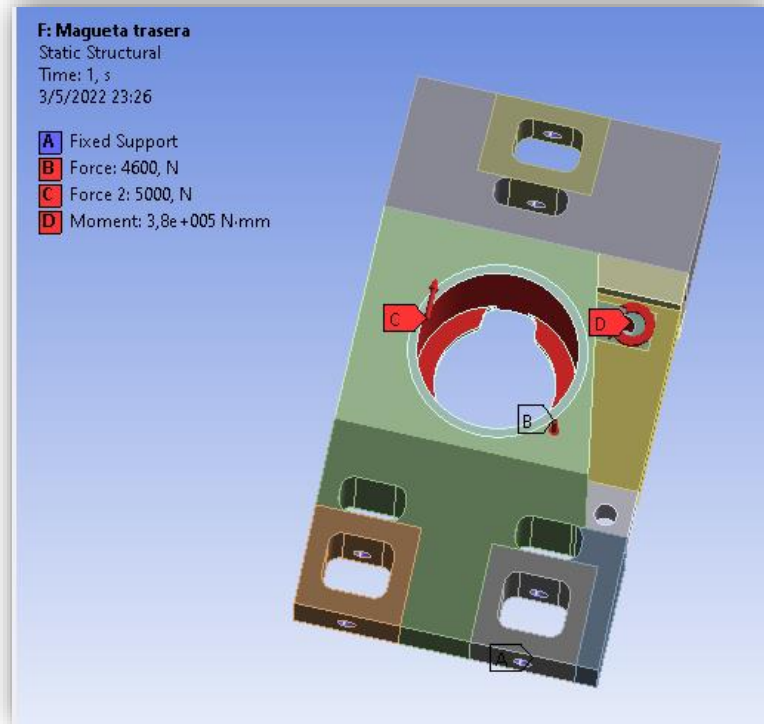
Fuerza	Magnitud	Unidad
Carga longitudinal	5000	N
Carga Lateral	4500	N
Momento de Frenado	3,8e+005	N.mm

Fuente: Autores

Las cargas citadas anteriormente se colocan sobre la pieza, considerando su respectiva dirección y magnitud (**Ilustración 19**).

Ilustración 19.

Fuerzas que interactúan, aplicadas a la mangueta base posterior.

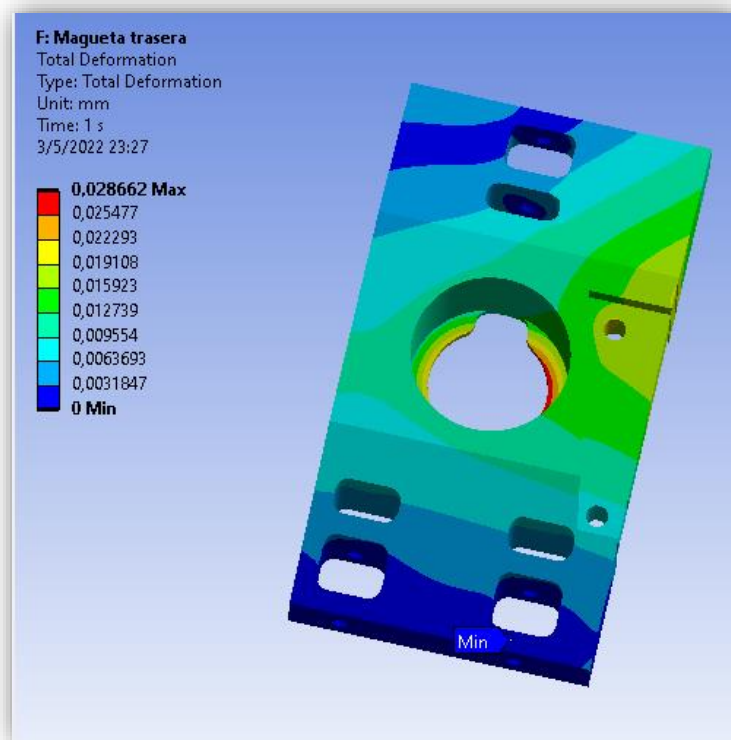


Fuente: Autores

En la **Ilustración 20** podemos observar la deformación total referente a las cargas aplicadas, con una deformación máxima de 0,028662 mm

Ilustración 20.

Deformación total de la mangueta base posterior referente a las cargas aplicadas.

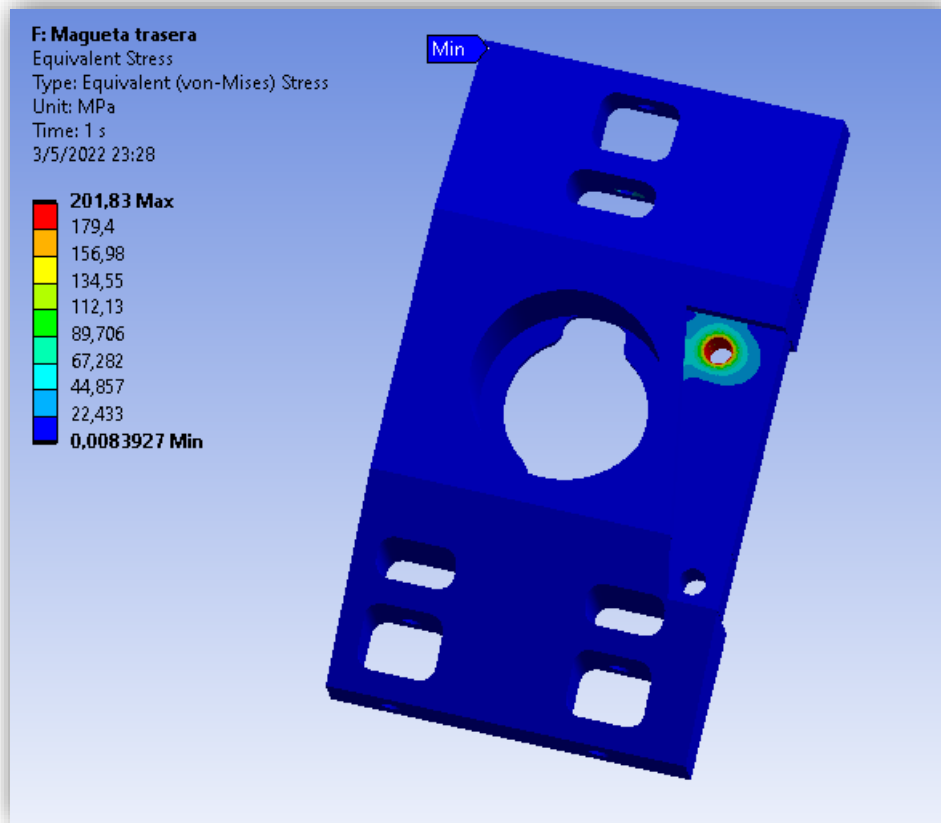


Fuente: Autores

Finalmente se muestra el esfuerzo equivalente de Von-Mises referente a las cargas aplicadas (**Ilustración 21**), donde su mayor esfuerzo es de 201,83 MPa y se ubica en el orificio donde va sujetado el caliper debido al momento de frenado.

Ilustración 21.

Esfuerzos equivalentes en la mangueta base posterior referente a las cargas aplicadas.



Fuente: Autores

CAPITULO IV

PROPUESTA FINAL DE OPTIMIZACION Y ANALISIS DE RESULTADOS

4.1. Cálculo del factor de seguridad

Como fórmula para calcular el factor de seguridad tenemos lo siguiente.

$$F_s = \frac{\text{Esfuerzo último}}{\text{Esfuerzo permisible}}$$

4.1.1. Mangueta delantera

Aplicando la formula anteriormente vista para el cálculo del factor de seguridad para la mangueta delantera, con un esfuerzo ultimo de 412Mpa y un esfuerzo permisible de 234.39 Mpa, obtenemos un factor de seguridad de:

$$F_s = 1.76$$

4.1.2. Mangueta posterior

De igual manera para el cálculo del factor de seguridad para la mangueta posterior, con un esfuerzo ultimo de 412Mpa y un esfuerzo permisible de 204.03 Mpa, obtenemos un factor de seguridad de:

$$F_s = 2.01$$

4.2. Cálculo del esfuerzo permisible del elemento

Es un parámetro el cual se utiliza como indicativo para determinar si la optimización realizada es viable o no considerando las cargas a las cuales está sometida la pieza en estudio, y se obtiene aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{Esfuerzo permisible} = \frac{\text{Esfuerzo último}}{\text{Factor de seguridad (Fs)}}$$

4.2.1. Esfuerzo permisible mangueta delantera

$$Esfuerzo\ permisible = \frac{412Mpa}{1.76}$$

Resolviendo la formula expresada anteriormente para la mangueta delantera, tenemos un esfuerzo permisible de: 234.09 Mpa.

4.2.2. Esfuerzo permisible mangueta posterior

$$Esfuerzo\ permisible = \frac{412\ Mpa}{2.01}$$

Resolviendo la formula expresada anteriormente para la mangueta posterior, tenemos un esfuerzo permisible de: 204.03 Mpa.

4.3. Resultados de la Optimización Topológica

4.3.1. Mangueta delantera

Sacando conclusiones de los resultados de las simulaciones que fueron realizadas posteriormente, se procede a realizar la optimización de la mangueta delantera.

Tomamos el peso del diseño original el cual es de 2,7965 kg (6,16 lb), el principal objetivo es lograr una reducción de masa de mínimo 50%, por ende, su peso debería reducirse de manera proporcional a la masa, por lo cual las modificaciones posteriores a la optimización serán en el cuerpo de la mangueta según nos indique el software.

Con los resultados otorgados una vez realizada la optimización se procede a realizar la eliminación del material excedente. Esta modificación se realiza de una manera manual, con esto se consiguió una cifra de reducción de masa de 53,934%, obteniendo finalmente 1,2883 kg (2,84 lb)

Tabla 6.

Masa original mangueta base vs. masa final mangueta delantera optimizada.

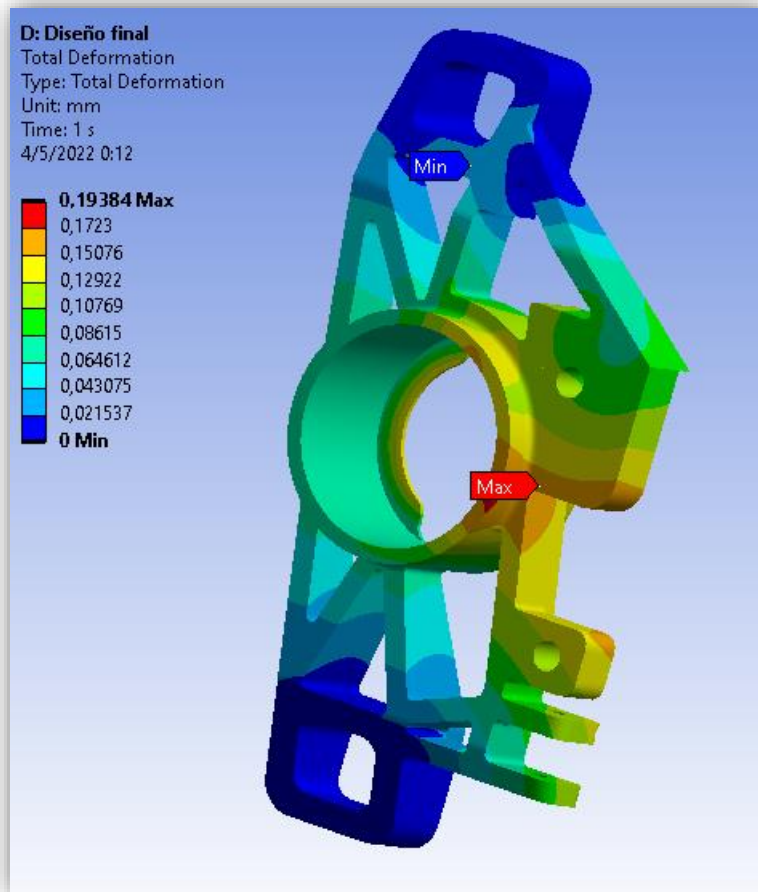
P	Original Mass	2,7967 kg
P	Final Mass	1,2883 kg
P	Percent Mass of Original	46,066

Fuente: Autores

En la **Ilustración 22** podemos observar el resultado de la deformación total con un valor máximo de 0.19384 mm, referente a las cargas colocadas exactamente en la misma posición que el análisis anterior.

Ilustración 22.

Deformación total de la mangueta nueva delantera referente a las cargas aplicadas.

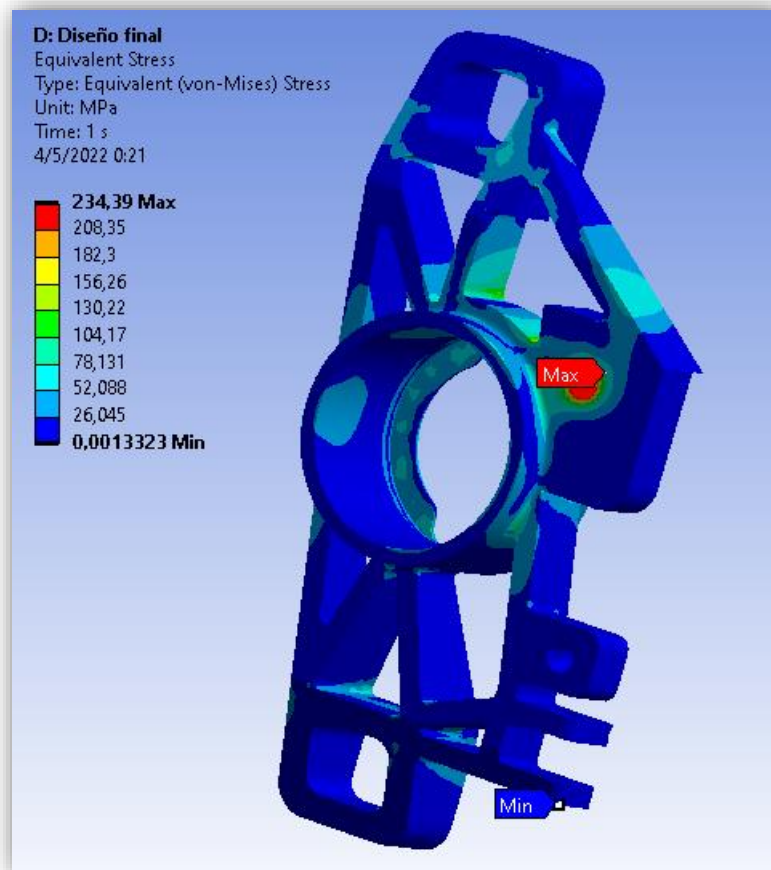


Fuente: Autores

Se muestra los resultados del esfuerzo de Von-Mises nuevamente con las cargas con sus respectivas magnitudes y posición sobre la pieza (**Ilustración 23**), en el cual obtenemos un esfuerzo máximo de 234 MPa, el mismo que se encuentra ubicado en el orificio de sujeción del caliper de freno.

Ilustración 23.

Esfuerzos equivalentes en la mangueta nueva delantera referente a las cargas aplicadas.



Fuente: Autores

4.3.2 Mangueta Posterior

De igual forma se procede a realizar la optimización para la mangueta posterior.

Tomando el peso del diseño original el cual es de 3.1662 kg (6.96 lb), el principal objetivo es lograr una reducción de masa de mínimo 50%, por ende, su peso debería reducirse de manera proporcional a la masa, por lo cual las modificaciones posteriores a la optimización serán en el cuerpo de la mangueta según nos indique el software.

Con los resultados otorgados una vez realizada la optimización se precede a realizar la eliminación del material excedente. Esta modificación se realiza de una manera manual, con esto se consiguió una cifra de reducción de masa de 56.359%, obteniendo finalmente 1.3817 kg (3.039 lb).

Tabla 7.

Masa original mangueta base vs. Masa final mangueta posterior optimizada.

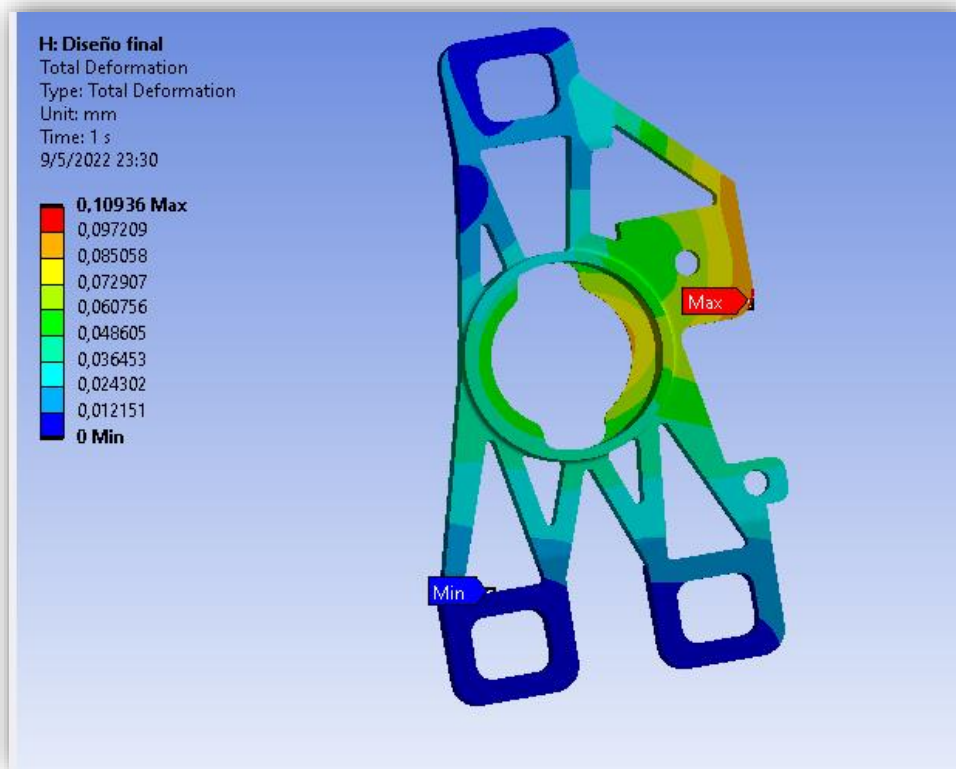
P Original Mass	3,1662 kg
P Final Mass	1,3817 kg
P Percent Mass of Original	43,641

Fuente: Autores

En la **Ilustración 24**, podemos observar el resultado de la deformación total con un valor máximo de 0.10936 mm, referente a las cargas colocadas exactamente en la misma posición que el análisis anterior.

Ilustración 24.

Deformación total de la mangueta nueva posterior referente a las cargas aplicadas.

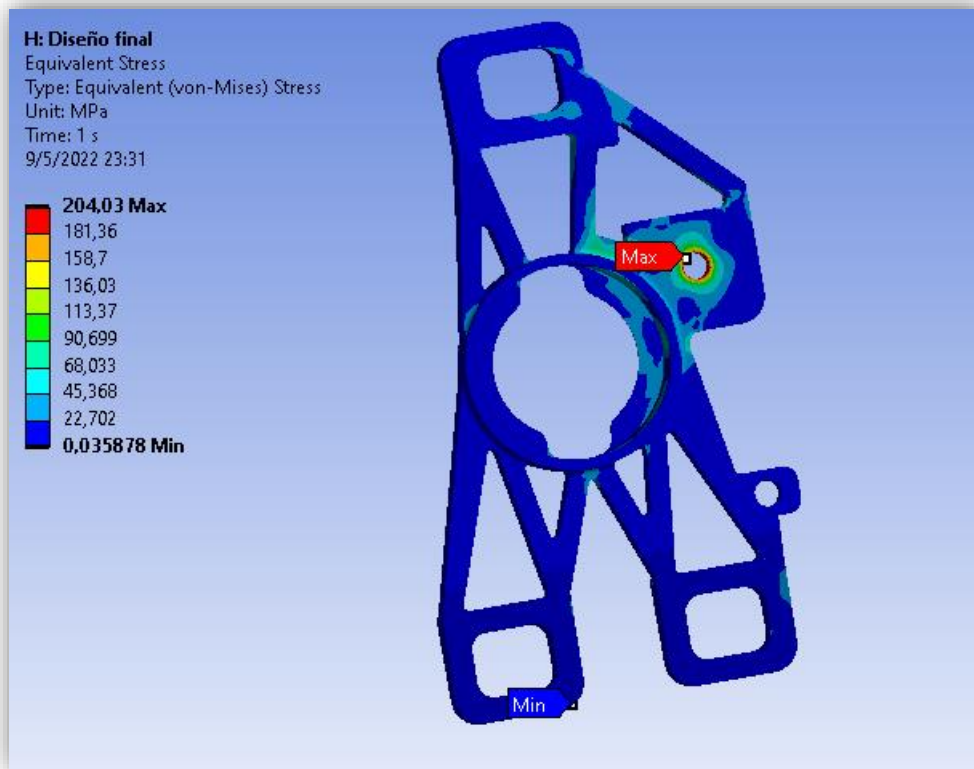


Fuente: Autores

Se muestran los resultados del esfuerzo de Von-Mises nuevamente con las cargas con sus respectivas magnitudes y posición sobre la pieza (**Ilustración 25**), en el cual obtenemos un esfuerzo máximo de 204.03 MPa, el mismo que se encuentra ubicado en el orificio de sujeción del caliper de freno.

Ilustración 25.

Esfuerzos equivalentes en la mangueta nueva posterior referente a las cargas aplicadas.

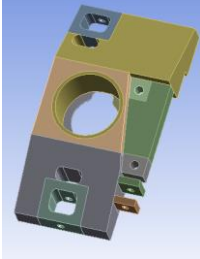
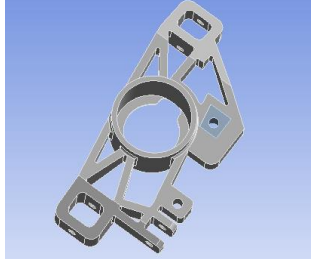
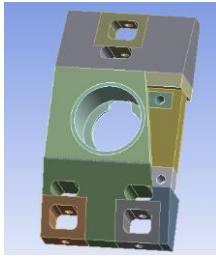



Fuente: Autores

4.4 Resultados del rediseño

Tabla 8.

Contraste de resultados de optimización mangueta base, vs nuevo diseño.

Mangueta Delantera				Mangueta Posterior			
Diseño base		Rediseño		Diseño base		Rediseño	
Masa (kg)	2.7965	Masa (kg)	0.92681	Masa (kg)	3.1662	Masa (kg)	1.1
Deformación (mm)	0.093721	Deformación (mm)	0.19384	Deformación (mm)	0.028662	Deformación (mm)	0.10936
E. max (Mpa)	222.74	E. max (Mpa)	234.39	E. max (Mpa)	201.83	E. max (Mpa)	204.03
							

Fuente: Autores

CONCLUSIONES

- Se optó por hacer un diseño completamente nuevo debido a que las manguetas que actualmente posee el vehículo ya han sido optimizadas topológicamente, llegando a niveles máximos, por ende, era insignificante el cambio que se le podía llegar a dar al someterlas a un nuevo proceso de optimización.
- Refiriéndonos a los resultados obtenidos en el esfuerzo permisible, frente a los resultados de esfuerzos máximos obtenidos de la simulación, están cercanos al límite de aceptación calculado, por ende, no se compromete la resistencia y funcionalidad de la pieza final.
- Las manguetas actuales poseen una masa de (2.7965 kg) y (3.1662 kg) mangueta delantera y mangueta posterior respectivamente, mientras que las manguetas nuevas poseen una masa de (0.92681 kg) y (1.1 kg) delantera y posterior respectivamente, obteniendo un porcentaje de reducción de masa para la mangueta delantera de 66.8583% y para la mangueta posterior un porcentaje de reducción de masa de 65.2581%.
- Cabe recalcar que todos los esfuerzos y deformaciones se podrían reducir aumentando la cantidad de material en los puntos críticos, lo cual no es muy óptimo debido a la geometría de la suspensión actual.

RECOMENDACIONES

- Es necesario considerar una punta de eje que contenga una zona roscada más larga, para así conseguir un mejor apriete de la tuerca que sujeta a la mangueta con el eje motriz, así como el uso de tuercas tipo corona de rey las cuales nos permiten realizar un trabado con pasador, evitando que estas se aflojen debido al movimiento y vibraciones del vehículo.
- En un caso que se requiera reducir los esfuerzos máximos de las manguetas, se recomienda adicionar material en sus puntos críticos, los cuales según lo analizado se encuentran ubicados en los orificios de anclaje de los calipers de freno, esto producido por el gran momento de frenado.
- Se sugiere que después de realizar un proceso de extracción o manipulación de las manguetas, se realice un correcto proceso de alineación de las ruedas directrices, empleando el método tradicional de cuerdas debido a que las dimensiones físicas del vehículo impiden realizar una alineación computarizada.

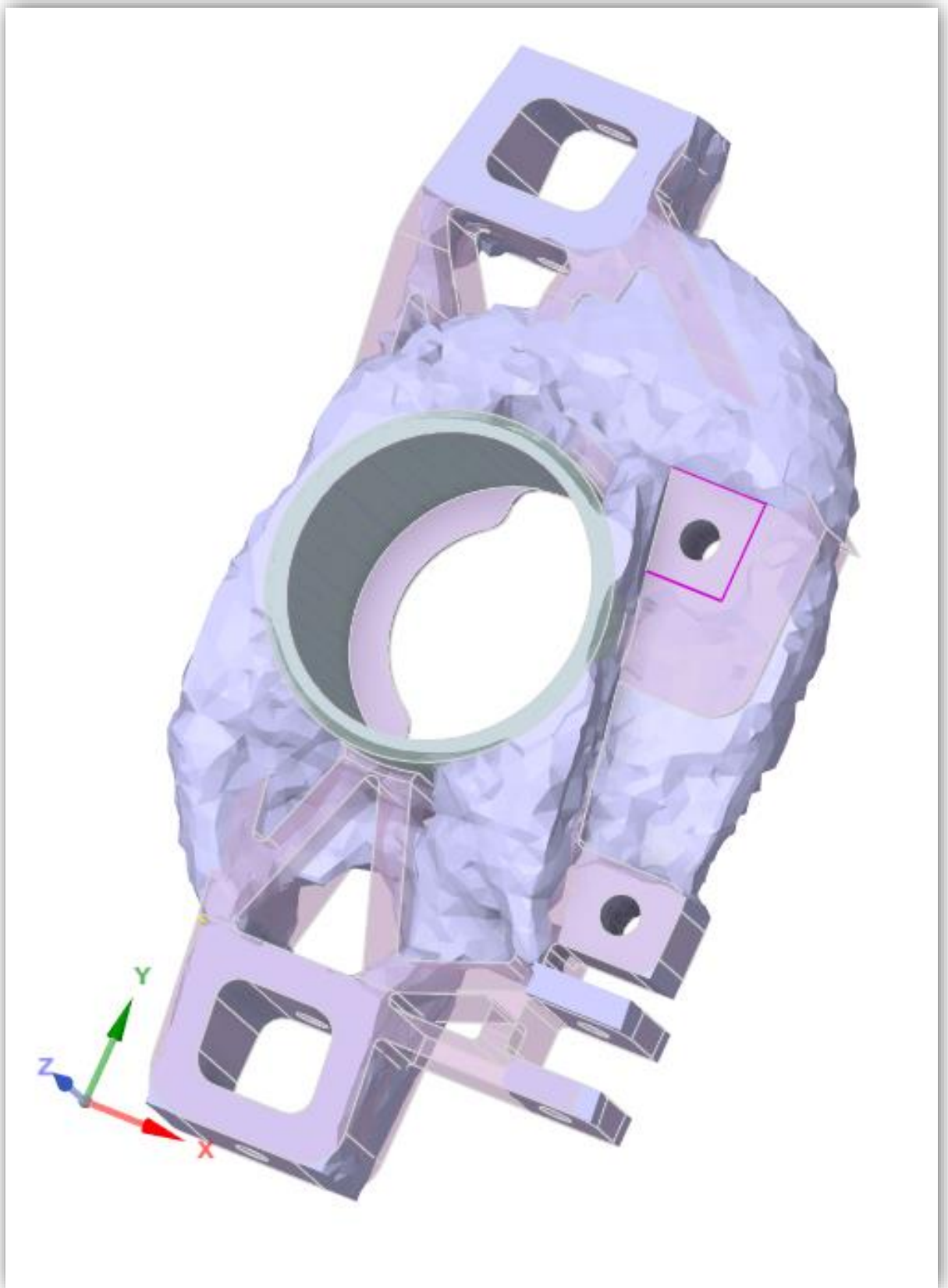
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AUTODESK. (2021, mayo 10). *Software CAD/CAM 3D basado en la nube para diseño de productos / Autodesk*. <https://www.autodesk.mx/products/fusion-360/overview>
- Ballín Juna, F. R., & Herrera Santamaría, D. P. (2020). *Rediseño mecánico con optimización topológica de las manguetas para el prototipo fórmula SAE de la carrera de Ingeniería Automotriz*. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/15297>
- Cabrera Coronel, F. A., & Tigre Guncay, E. M. (2016). *Diseño y construcción de los sistemas de refrigeración de un vehículo formula SAE eléctrico*. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/13257>
- Hello Insurance Group SA. (2021, diciembre 19). *Auto—Mangueta*. Hello Auto. <https://helloauto.com/>
- LENNTECH. (2020, enero 1). *Aluminio (Al) Propiedades químicas y efectos sobre la salud y el medio ambiente*. <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/al.htm>
- Levinson. (2017, diciembre 12). *Acero. Aceros Levinson | Aceros | Plásticos | Metales*. <https://www.aceroslevinson.com/2017/12/que-es-el-acero/>
- Mejía González, D. S. (2015). *Diseño de manguetas delanteras y posteriores de un vehículo monoplaza para la competición en la formula SAE*. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/7547>
- Padilla-Padilla, C. A., Pozo-Safla, E. R., Ballin-Juna, F. R., & Herrera-Santamaría, D. P. (2020). Optimización topológica de las manguetas delanteras y posteriores para un vehículo prototipo fórmula SAE. *Dominio de las Ciencias*, 6(3), 984-1005. <https://doi.org/10.23857/dc.v6i3.1329>

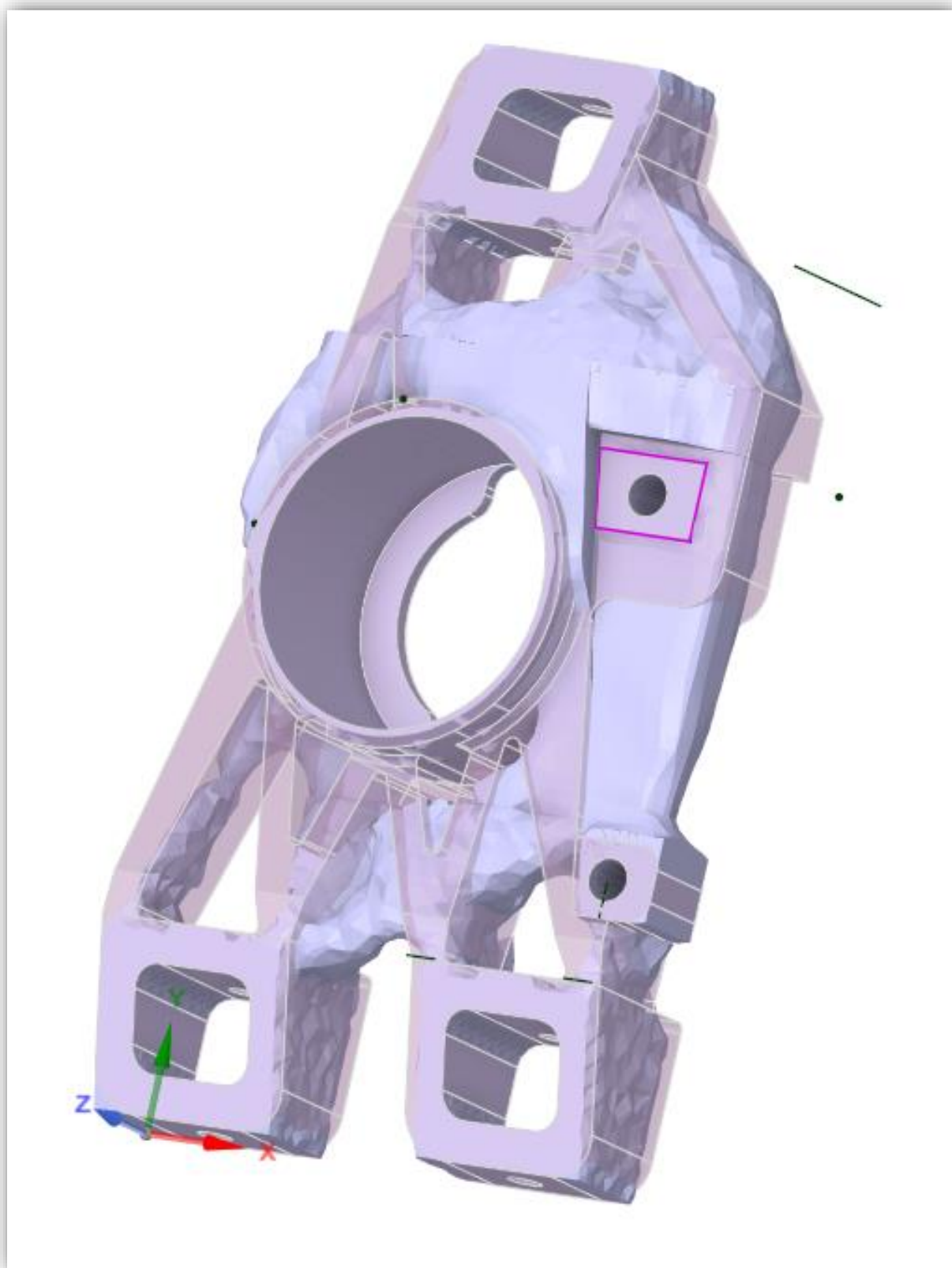
- Portal3D As. (2022, abril 10). *ANSYS plataforma de solución CAE*. 3dcadportal.Com.
<https://www.3dcadportal.com/ansys.html>
- Refacciones.mx. (2021, abril 13). *Función y fallas de la mangueta*.
<https://noticias.masrefacciones.mx/2021/04/13/funcion-y-fallas-de-la-mangueta/>
- Reyes Jiménez, D. A. (2016). *Diseño de las manguetas delanteras y posteriores para un vehículo Formula SAE mediante técnicas de optimización estructural y manufactura con CNC*. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/6486>
- SAE International. (2020a, enero 14). *Formula SAE*. <https://fsaeonline.com/>
- SAE International. (2020b). *Formula SAE - Rules 2021*.
<https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjDoZuJw472AhW1JEQIHfZuAwoQFnoECBMQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.fsaeonline.com%2Fcdsweb%2Fgen%2FDownloadDocument.aspx%3FDocumentID%3D6d9f4b51-a642-425c-bfdf-5f95b4e5e10b&usg=AOvVaw28w6217GjT8nNuHARmPxS7>
- Sean, M., Sri, C., & Jenya, J. (2021, julio 20). *Brown Formula Racing*. Brown Formula Racing. <https://sites.google.com/brown.edu/fsae/home>
- Seys S.A. (2020, enero 13). Ejemplos de simulación para soluciones de ingeniería con Ansys. *SEYS*. <https://seystic.com/ansys-ejemplos-de-simulacion-para-ingenieria-avanzada/>
- Tablado, J. L. (2020, diciembre 16). *La optimización topológica en la impresión 3D*. 3Dnatives. <https://www.3dnatives.com/es/optimizacion-topologica-10012017/>
- Valencia, C. A. M. (2012). *OPTIMIZACIÓN TOPOLÓGICA EN EL DISEÑO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES*. 68.

ANEXOS

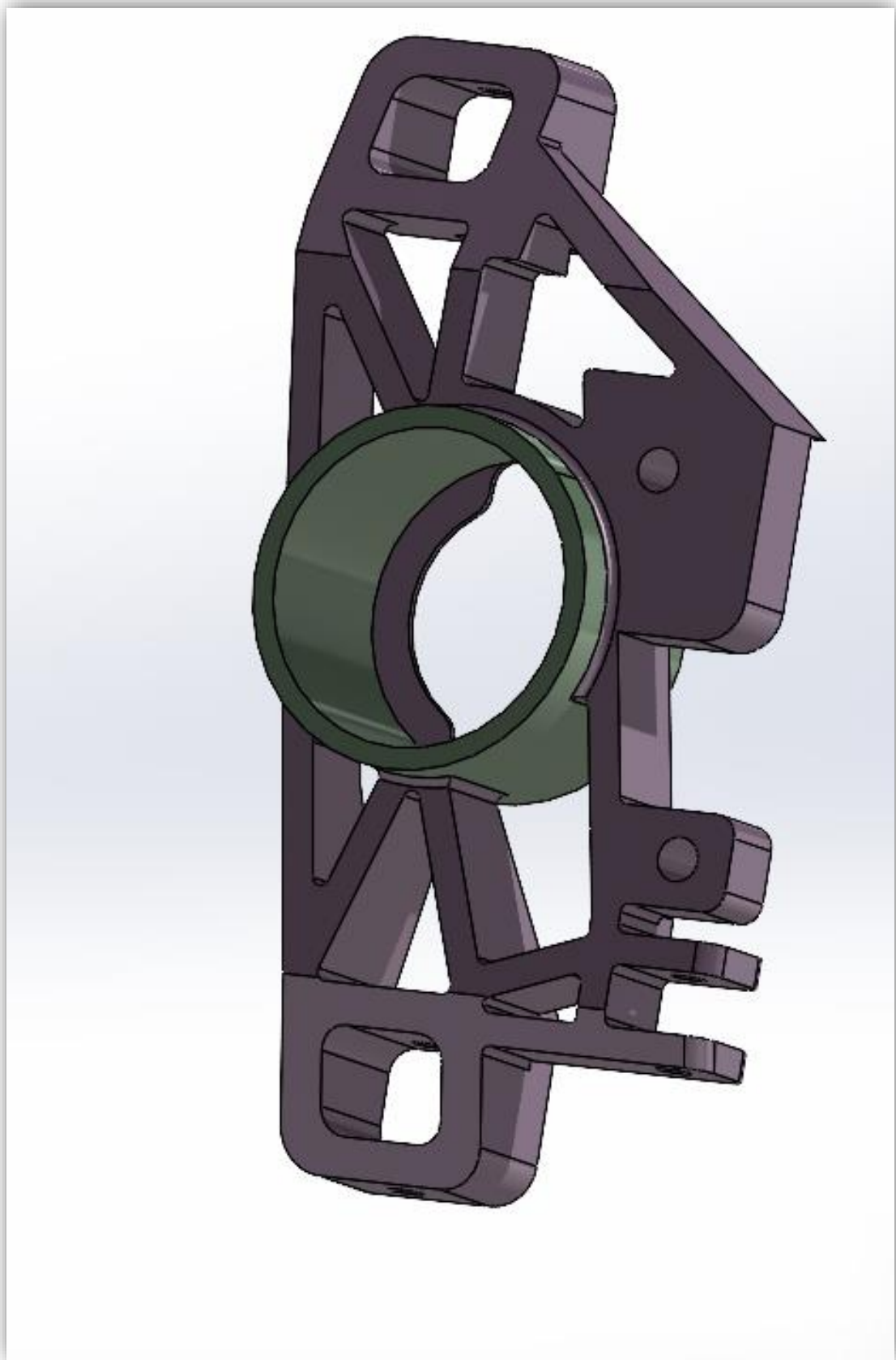
Anexo 1: Detallado de la mangueta delantera (optimizado vs. final).



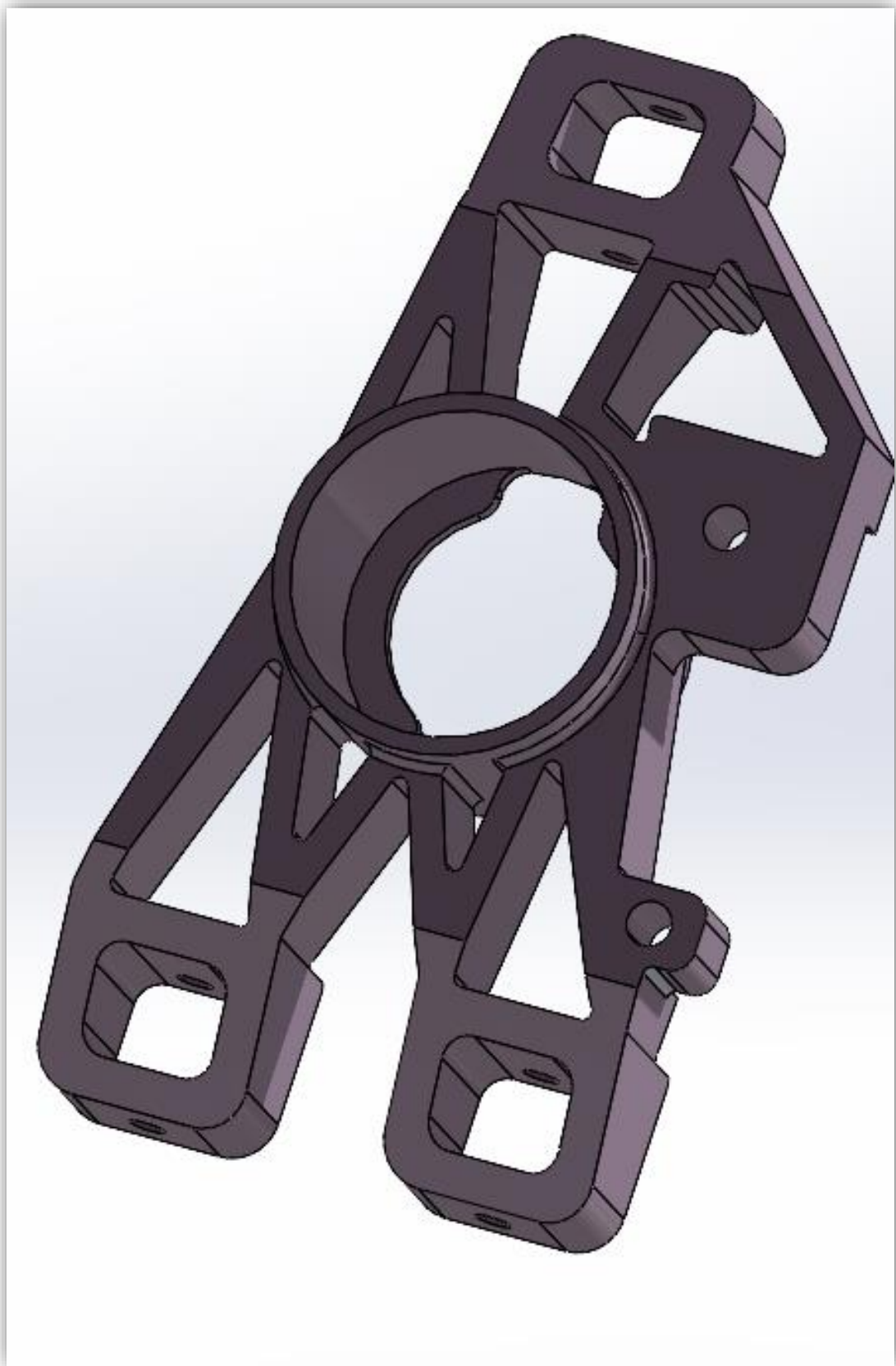
Anexo 2: Detallado de la mangueta posterior (optimizado vs. final).



Anexo 3: Nueva mangueta delantera 3D.



Anexo 4: Nueva mangueta posterior 3D.



Anexo 6: Planos de la nueva mangueta posterior

