UIDE

Powered by
Arizona State University®

INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

Proyecto Previo a la Obtención del Título de Ingeniero en Mecánica Automotriz

Autor: Galo Washington Ortiz Solís
Tutor: Ing. Edgar Gustavo Vera Puebla, Msc.

Optimización Topológica y Análisis Estático de Barra Estabilizadora en Modelo Biplaza Mediante Simulaciones de Elementos Finitos

Guayaquil-Ecuador |2024

Certificación de Autoría

Yo, Galo Washington Ortiz Solís, con CI: 18030412412, declaro bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedo mis derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad intelectual, reglamento y leyes.

_____

Galo Washington Ortiz Solís

C.I.: 18030412412

Aprobación del Tutor

Yo, Edgar Vera Puebla certifico que conozco al autor del presente trabajo siendo responsable exclusivo tanto de su seguridad y autenticidad, como de su contenido

_____

Ing. Edgar Vera Puebla, Msc

C.I.: 1715264105

Director del Proyecto

Dedicatoria

Dedico principalmente a Dios por haberme dado la vida y la salud para permitirme haber llegado a subir un peldaño en mi formación profesional. A mi querida familia que conforman mi esposa Alexandra y a mis hijos Bryan, Alan, Joan y Dylan, al cerrar este capítulo académico, quiero expresar mi sincera dedicación a ustedes por su constante aliento, paciencia y amor han sido mi motor. Este logro es un testimonio de nuestra unidad y el lazo indestructible que compartimos como familia.

Quiero hacer una mención especial a mi querida Esposa Alexandra Freire Salinas, agradecerle por ser mi fortaleza, mi inspiración y mi mayor apoyo a lo largo de esta emocionante travesía universitaria. Gracias por ser una mujer, madre maravillosa que siempre me has apoyado incondicionalmente, siendo mi soporte y mi dirección durante toda mi vida, recorriendo nuestro camino juntos en las buenas y en las malas. Este logro es tan tuyo como mío. Los llevo en mi corazón en cada página de este capítulo cumplido. Lo Logramos Familia.

Galo Washington Ortiz Solís

Agradecimientos

Hoy, con un corazón lleno de gratitud, quiero agradecer a Dios, mis padres, mi esposa e hijos por ser mi fuente constante de inspiración y apoyo durante mi carrera universitaria. Sus palabras de aliento, sacrificios y amor incondicional han sido la luz que me ha guiado en los momentos más desafiantes y su apoyo constante me ha dado la fuerza y la determinación necesarias para llegar a este día especial

Galo Washington Ortiz Solís

Índice General

Dedicatoria v

Agradecimientos vi

Índice General vii

Índice de Figuras x

Índice de Tablas xii

Resumen xiii

Abstract xiv

Capítulo I 1

Problema de la Investigación 1

1.1. Tema de Investigación 1

1.2. Planteamiento, Formulación y Sistematización del Problema 1

1.2.1. Planteamiento del Problema 1

1.2.2. Formulación del Problema 2

1.3. Sistematización del Problema 3

1.4. Objetivos de la Investigación 3

1.4.1. Objetivo General 3

1.4.2. Objetivos Específicos 3

1.5. Justificación e Importancia de la Investigación 4

1.5.1. Justificación Teórica 4

1.5.2. Justificación Metodológica 5

1.5.3. Justificación Práctica 6

1.5.4. Delimitación Temporal 7

1.5.5. Delimitación Geográfica 8

1.5.6. Delimitación del Contenido 8

1.6. Alcance 10

Capítulo II 11

2. Revisión Literaria 11

2.1. Barra Estabilizadora 11

2.1.1. Función de Barra Estabilizadora de Torsión 12

2.1.2. Técnicas de Optimización en Ingeniería de Diseño 13

2.1.3. Simulación por Elementos Finitos en Análisis Estático 14

2.1.4. Estudios Previos Relacionados 16

2.2. Método de Investigación en Diseño de Barra Estabilizadora 17

2.3. Modelo de Barra Estabilizadora de Torsión 17

2.4. Optimización Topológica 19

2.4.1. Consideraciones de Restricción de Diseño 21

2.5. Análisis Estático 23

2.5.1. Cargas Estáticas y Escenarios de Análisis 24

2.5.2. Ecuaciones de Equilibrio 26

2.5.3. Interpretación de Resultados 27

2.5.4. Factores de Seguridad 27

2.6. AutoDesk Inventor 29

Capítulo III 30

3. Metodología Aplicada a la Optimización Topológica de Barra de Torsión de Vehículo Biplaza 30

3.1. Modelado Geométrico 30
3.2. Especificaciones de Barras de Torsión 32
3.3. Medición de Barras de Torsión de Dos Piezas 33
3.4. Condiciones Dimensionales de la Barra Estabilizadora 35
3.5. Boceteado y Renderizado de Barra de Torsión en Inventor 36
3.6. Análisis de Elementos Finitos (FEA) 40
3.6.1. Proceso de Mallado de Barra de Torsión 44
3.6.2. Generación de Simulación de Fuerzas y Obtención de Resultados 45
3.6.3. Tensión de Von Mises 45
3.6.4. Resultado de Desplazamiento de la Barra de Torsión 46
3.6.5. Resultados del Coeficiente de Seguridad 47
3.6.6. Simulación de Momentos y Obtención de Resultados 48
3.7. Optimización Topológica Sobre Barra de Torsión 50
Capítulo IV 58
4. Análisis de Resultados 58
4.1. Análisis de los Datos Obtenidos 58
4.1.1. Análisis de los Valores Obtenidos de la Simulación Estructural 59
Conclusiones 63
Recomendaciones 65
Bibliografía 66

Índice de Figuras

Figura 1 *Barra Estabilizadora de Torsión* 11

Figura 2 *Modelo de Barra Estabilizadora de Torsión* 18

Figura 3 *Modelo del Proceso de Optimización Topológica y Diseño Generativo* 20

Figura 4 *Ejemplo Visual de Análisis Estático de una Estructura* 24

Figura 5 *Dimensiones del Vehículo Biplaza en Estudio* 30

Figura 6 *Elementos Adicionales de Barras de Torsión* 33

Figura 7 *Medición en Montaje Externo* 34

Figura 8 *Medición en Montaje con Espárrago Cónico* 34

Figura 9 *Medición en Montaje Interno* 35

Figura 10 *Medición en Montaje Interno* 36

Figura 11 *Inicio de Proceso de Boceteado en 2D de la Barra Estabilizadora* 37

Figura 12 *Configuración de Barrido* 38

Figura 13 *Designación de Material a Barra de Torsión* 39

Figura 14 *Determinación de Puntos de Restricción y Carga* 43

Figura 15 *Designación de Valores de Carga* 43

Figura 16 *Mallado de la Barra de Torsión* 45

Figura 17 *Resultado de Tensión de Von Mises* 46

Figura 18 *Resultado de Deformación Combinada* 47

Figura 19 *Resultado de Coeficiente de Seguridad* 48

Figura 20 *Simulación de Momento* 49

Figura 21 *Resultado de la Simulación de Momento* 50

Figura 22 *Herramienta de Generación de Forma en Inventor* 52

Figura 23 *Configuración del Generador de Forma* 53

Figura 24 *Edición de Fuerzas* 53

Figura 25 *Conservación de Secciones* 54

Figura 26 *Configuración de Parámetros para el Mallado* 55

Figura 27 *Resultado de la Optimización Topológica en Barra de Torsión* 56

Figura 28 *Forma Final de Barra de Torsión* 57

Índice de Tablas

Tabla 1 Propiedades Físicas después de la Simulación y Característica de la Malla 60

Tabla 2 Resumen de los Resultados de la Simulación..... 60

Resumen

El proyecto de optimización topológica y análisis estático de una barra estabilizadora en un modelo de vehículo prototipo biplaza mediante simulaciones de elementos finitos ha culminado con resultados notables, sobre todo en la disminución de la masa del componente y manteniendo sus características estructurales. La aplicación del Método de los Elementos Finitos (FEA) permitió una exhaustiva evaluación del comportamiento estructural, evidenciando una reducción impresionante del 34% en la masa del componente. Este logro representa un hito significativo en términos de eficiencia, destacando la capacidad de redistribuir el material de manera óptima para mejorar el rendimiento sin comprometer la integridad estructural. El análisis de resultados no solo se centra en la reducción cuantitativa de la masa, sino también en la validación experimental para garantizar la coherencia entre las simulaciones y la realidad. Además, se recomienda un análisis de sensibilidad para evaluar la robustez del diseño optimizado frente a variaciones en los parámetros de diseño. Finalmente, se sugiere un análisis de fatiga y durabilidad para comprender la respuesta del componente a cargas cíclicas a lo largo del tiempo, asegurando un rendimiento sostenible a largo plazo. Estas recomendaciones fortalecen la conclusión del proyecto, asegurando que los beneficios obtenidos sean validados experimentalmente, robustos frente a variaciones y aplicables en una variedad de contextos industriales.

***Palabras Clave*:** Suspensión, barra estabilizadora, análisis estático, optimización topológica.

Abstract

The project of topological optimization and static analysis of a stabilizer bar in a two-seater prototype vehicle model through finite element simulations has culminated with notable results, especially in the reduction of the mass of the component and the maintenance of its structural characteristics. The application of the Finite Element Method (FEA) allowed an exhaustive evaluation of the structural behavior, evidencing an impressive 34% reduction in the mass of the component. This achievement represents a major milestone in terms of efficiency, highlighting the ability to optimally redistribute material to improve performance without compromising structural integrity. The analysis of results not only focuses on quantitative mass reduction, but also on experimental validation to ensure consistency between simulations and reality. Furthermore, a sensitivity analysis is recommended to evaluate the robustness of the optimized design against variations in the design parameters. Finally, a fatigue and durability analysis is suggested to understand the component's response to cyclic loading over time, ensuring long-term sustainable performance. These recommendations strengthen the conclusion of the project, ensuring that the benefits obtained are experimentally validated, robust to variation, and applicable in a variety of industrial contexts.

Keywords: Suspension, stabilizer bar, static analysis, topological optimization.

Capítulo I

Problema de la Investigación

1.1. Tema de Investigación

Optimización topológica y análisis estático de barra estabilizadora en modelo biplaza mediante simulaciones de elementos finitos.

1.2. Planteamiento, Formulación y Sistematización del Problema

1.2.1. Planteamiento del Problema

En la industria automotriz es fundamental la búsqueda incesante de mejoras en diseños estructurales de cada elemento, mecanismo o sistema que son parte de un vehículo por lo que en la actualidad se aplican metodologías que permiten el ahorro de recursos como lo son los medios de ingeniería asistida por un ordenador eso quiere decir que utilizan programas computacionales que realizan un sinnúmero de procesos para obtener óptimos resultados y es este el motivo el de realizar un estudio sobre el funcionamiento de las barras estabilizadoras de manera técnica, por lo que constantemente se presenta un problema el poder determinar el comportamiento de un elemento tan importante del sistema de suspensión del vehículo como lo son las barras estabilizadoras de torsión sobre todo si es de aplicar en diseños de prototipos y en el caso de carrocerías homologadas poder determinar o analizar su comportamiento, así mismo a través de este tipo de metodología el poder determinar un ahorro de recursos como es el caso de materiales a través de formar orgánicas que permiten la disminución de material y masa pero conservando sus propiedades estructurales.

Dentro del planteamiento del problema del presente estudio investigativo está la deficiencia en la utilización de este tipo de metodología tanto para el análisis estructural como para la optimización topológica por medio de programas computacionales de nueva generación que pertenecen al proceso actual de diseño en la industria de la mecánica automotriz a nivel global.

Por lo que el presente estudio investigativo pretende la realización de un estudio técnico que se relaciona con la optimización topológica de una barra estabilizadora de torsión con la aplicación de un análisis de elementos finitos, con lo que se pretende evaluar el comportamiento estático y que al saber desarrollar correctamente la metodología de optimización topológica se puede encontrar la distribución dl material de forma óptima de la barra estabilizadora en su construcción con el objetivo de que se pueda adquirir estos conocimientos para mejorar el rendimiento de una estructura que está sometida a cargas de torsión.

1.2.2. Formulación del Problema

¿Cuáles son los procesos metodológicos adecuados que influyen en el análisis estructural estático y optimización topológica dirigido al diseño de una barra estabilizadora de torsión aplicada a un prototipo biplaza de competencias que permitan el ahorro correcto de recursos bajo un correcto criterio de ingeniería asistida por ordenador?

Con la formulación de la presente interrogante se pretende la posibilidad de plantearse los objetivos a los que se expone el presente estudio bajo sus restricciones y de los parámetros de diseño en ingeniería asistida por ordenador por la que se guía el proceso metodológico del análisis estructural y de proceso que guiará en la creación de un proceso de optimización.

Estructuralmente el presente problema se formula a través de un desarrollo consecutivo como lo es:

La descripción del sistema por medio de la identificación de la forma geométrica de la barra estabilizadora para de esta manera lograr que la optimización topológica y el análisis estructural sea el correcto.

Tomando en cuenta las restricciones que se presentan están la que se establece por rigidez mínima las mismas que dentro de la barra estabilizadora soporta dicho elemento soporte las cargas generadas sin que experimente deformaciones excesivas y en el caso de la

restricción por volumen, se establece a la densidad promedio con que cuenta el material que constituye la barra estabilizadora el cual no puede exceder cierto valor para asó evitar diseños completamente vacíos.

1.3. Sistematización del Problema

- ¿Cómo se describen las cargas y condiciones de contorno que afectan la barra estabilizadora de torsión del vehículo prototipo biplaza?
- ¿Cuál es la metodología para diseñar y discretizar el modelo tridimensional de elementos finitos de la barra estabilizadora?
- ¿Qué metodología de optimización topológica se empleará en función de los objetivos y las restricciones generadas?
- ¿Cuáles son los parámetros clave que se considerarán para ajustar la distribución de material en la barra durante el proceso de optimización?
- ¿Cuáles serán los criterios para evaluar la efectividad de la optimización, considerando aspectos como la reducción de peso y la rigidez alcanzada en la barra?

1.4. Objetivos de la Investigación

1.4.1. Objetivo General

- Diseñar una barra estabilizadora eficiente mediante optimización topológica y análisis estático para la mejora de estabilidad en un vehículo biplaza.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Definir la geometría y propiedades materiales iniciales de una barra estabilizadora para prototipo biplaza.
- Realizar un análisis detallado de las cargas y condiciones de contorno que afectan a la barra estabilizadora del prototipo biplaza.

- Generar un modelo tridimensional de elementos finitos y optimización topológica de la barra estabilizadora de un vehículo biplaza con la utilización del programa computacional Autodesk Inventor.

1.5. Justificación e Importancia de la Investigación

Una vez dado y definidos los objetivos del presente estudio investigativo se procede a demarcar ya sea por espacio geográfico donde se lleva a cabo este estudio, así como las respectivas justificaciones de la investigación respondiendo a las interrogantes presentadas para el proceso, las mismas que se detallan a continuación:

1.5.1. Justificación Teórica

La presente investigación ingenieril es justificada debido a la necesidad de tener un sistema de suspensión adecuado para un vehículo prototipo biplaza y dentro de sus elementos esta lo correspondiente a la barra estabilizadora de torsión para lo cual se plantea que esta debe ser eficiente y con una optimización estructural, para de esta manera brindarle a la estructura del vehículo seguridad, estabilidad y mejor rendimiento, por medio de un proceso de optimización topológica y el análisis estático del elemento en estudio.

Bajo la presente justificación del estudio a realizar lo que se pretende alcanzar es el lograr una correcta distribución eficiente del material por medio de la minimización del peso con que cuenta la barra estabilizadora, reducción del eso y maximización en la resistencia, para así obtener un diseño optimizado que permitirá contribuir con la estabilidad del vehículo para su desplazamiento durante condiciones variadas y maniobras provocadas durante su trayectoria.

Por lo tanto, la presente investigación ofrece un avance a lo correspondiente como fase de la ingeniería de diseño mecánico la cual es de suma aplicación en la industria automotriz y finalmente se mejoran de forma significativa las características del vehículo biplaza en lo concerniente a seguridad u eficiencia del sistema propio y anexados.

1.5.2. Justificación Metodológica

Al generar una justificación metodológica para el presente estudio esta contempla en el requerimiento de abordar de manera efectiva y de forma precisa cada uno de los desafíos relacionado en la fase de diseño y rendimiento de la barra estabilizadora de torsión sobre un vehículo biplaza, combinando la optimización topológica y el proceso de análisis estático el cual ofrece un enfoque integral y riguroso para de esta manera obtener de forma óptima sus resultados.

Al tratarse de optimización topológica pues esta permite explotar una gama amplia de configuraciones geométricas y distribuciones del material que conforma a la estructura base, identificando patrones estructurales que maximizan su eficiencia y en el caso de su peso lo minimiza, pero lo importante es que no se llega a comprometer la resistencia que se requiere al memento que la estructura esté en operación.

Para el caso del análisis estático, lo que se realiza es el validar la capacidad que posee la estructura de forma optimizada para poder soportar cargas y fuerzas que se llegan a presentar en situaciones reales. Por lo tanto, al generar el proceso de simular y de evaluar las respuestas obtenidas bajo distas condiciones de carga, así como de forma se asegura que el diseño final se encuentra cumpliendo con cada uno de los requisitos de seguridad y estabilidad.

Po lo expuesto en los párrafos anteriores la metodología que se presenta es la de integrar técnicas avanzadas de generación una simulación a través de elementos finitos, así como de algoritmos de optimización, con que se permite un enfoque que se basa en datos y respuestas numéricas de forma precisa.

Al momento de tomar en cuenta su geometría óptima, así como la capacidad de carga efectiva, lo que se asegura es el resultado del diseño al no ser solo eficiente sino también práctico y funcional en caso de utilización en la realidad.

En definitiva, esta metodología busca brindara una base científica sólida para la toma de decisiones de diseño, al mismo tiempo que contribuye al avance de procesos de enseñanza de la Escuela de Ingeniería Automotriz al ofrecer soluciones innovadoras y aplicables a la mejora de la estabilidad y el rendimiento de vehículos biplaza.

1.5.3. Justificación Práctica

Para exponer la justificación del presente proyecto en la parte práctica esta radica en el objetivo de mejorar de manera tangible y beneficiosa el rendimiento y la calidad de un vehículo biplaza por medio de la barra estabilizadora de torsión optimizada. Dentro de los beneficios que se pretenden conseguir con la optimización topológica y el análisis estático se presentan a continuación los principales beneficios que se logra con este tipo de estudio investigativo:

- Mejora del rendimiento del vehículo biplaza por medio de un diseño optimizado de la barra estabilizadora de torsión la cual puede contribuir directamente en la estabilidad y maniobrabilidad durante la conducción del vehículo. Teniendo en cuenta que optimización asegura que la barra estabilizadora transmita cargas de torsión de forma eficiente, mejora permanente de la experiencia de conducción y la seguridad en la toma de curvas por parte del vehículo.
- En cuanto a la eficiencia de uso de materiales la optimización topológica permite que se disminuya el peso total de la barra estabilizadora por el motivo que por medio de este proceso se extrae material que no es necesario en el elemento, pero con la consideración que por medio de este proceso no solo consta en la eliminación del peso del vehículo, sino que también mejoran significativamente la conducción, mejora del consumo de combustible y por ende reducción de emanación de elementos contaminantes al medio ambiente.

- La reducción de costos de producción también es un factor importante ya que este pude reducirse por el motivo que, al diseñarse una estructura con menor peso, pero con mejor eficiencia, se llegan a reducir los costos de producción y fabricación. La relación está en que al colocar menos material y con procesos más sencillos esto puede reflejarse como ahorro significativo en la producción en serie del elemento.
- Seguridad vehicular mejorada por el motivo que se crea una distribución de esfuerzos adecuada y eficiencia de forma directa en diversas condiciones de carga, logrando de esta forma una mejora general en cuanto a la seguridad general y reducción de riesgos de fallas estructurales.
- En lo concerniente a innovación y competitividad la aplicación de este tipo de técnicas avanzadas como lo es la optimización topológica y el análisis estático a través de elementos finitos aportan directamente a la fase de innovación de diseño automotriz, por lo que las empresas automotrices que permitan alinearse y adopten este tipo de técnica podrán destacarse en el mercado al ofrecer vehículos tecnológicamente avanzados y con mayor eficiencia.

Bajo lo expuesto como justificación práctica se puede resumir que la presente investigación radica en ser una potencial investigación debido a que se podrá traducir el conocimiento teórico y técnicas avanzadas en mejoras tangibles y concretas, las mismas que aportan a la innovación de la industria automotriz, al conocer y optimizar el proceso de diseño de barras estabilizadoras de torsión den modelos de vehículos biplaza, promoviendo la seguridad, eficiencia y competitividad en la fabricación de vehículos, provocando un impacto positivo en la experiencia de los conductores y directamente en la industria automotriz.

1.5.4. Delimitación Temporal

De acuerdo con la planificación establecida para el presente trabajo investigativo tiene una proyección de tiempo que inicia el 28 de agosto de 2023 y finalizaría el 25 de marzo de

2024, tiempo en el cual se lleva a cabo cada una de las fases en las que de manera cronológica se cumplirán con los objetivos planteados hasta llegar a su culminación.

1.5.5. Delimitación Geográfica

El presente estudio se lleva a cabo en las instalaciones de la Escuela de Ingeniería Automotriz de la Universidad Internacional del Ecuador extensión Guayaquil, tanto en la parte teórica, así como práctica con la utilización de los laboratorios con que cuenta la institución.

1.5.6. Delimitación del Contenido

El presente estudio se encuentra establecido con un marco conceptual y esta contara de concepto básicos para la discusión del análisis estático así como de la optimización topológica de la barra estabilizadora de torsión por medio de un proceso de investigación basada en fuentes bibliográficas teóricas y técnicas, así como también, ciertos artículos científicos, proyectos de titulación, entrevistas a investigadores, páginas web, estructurando de la mejor manera, para así poder alcanzar los diferentes objetivos planteados.

La estructura como tal de la parte teórica se presenta en cuatro capítulos como cuadro de textos y respectivas conclusiones y recomendaciones.

En cambio, de la investigación estará delimitada según la inclusión y la delimitación de la siguiente manera:

En lo concerniente a la limitación de establecer que:

- Posee un enfoque en la optimización topológica y del análisis estático de la barra estabilizadora de torsión en el vehículo prototipo biplaza.
- Aplicación de una simulación por medio de elementos finitos para de esta manera poder modelas su comportamiento bajo distintas cargas y determinadas condiciones.

- Consideración en la determinación de restricciones y objetivos específicos, como lo es la maximización de la eficiencia que va a tener la estructura en estudio y la minimización de su peso.
- Evaluación de los resultados obtenidos los mismos que incluyen tensiones máximas, deformaciones según sus ejes y desplazamientos, lo que garantiza la integridad estructural.
- Por último, el enfoque en la mejora de la estabilidad, el rendimiento y seguridad del prototipo por medio de un diseño óptimo de la barra estabilizadora de torsión.

En cuanto a la delimitación se presenta lo siguiente:

- Exclusión total de otras técnicas de optimización no relacionadas con la topología de estructuras.
- No se procederá a abordar ningún otro componente del prototipo que no se la barra estabilizadora de torsión.
- No se incluirá otro tipo de análisis como lo es el dinámico o consideraciones de vibración en el presente estudio.
- El presente estudio investigativo no abordará aspectos de fabricación o costos de producción de la barra estabilizadora.
- No se considerará otro tipo de vehículos que no sea prototipos biplaza.

En definitiva, esta delimitación asegura que el presente estudio investigativo se centre de manera específica en la optimización topológica y el análisis estático de la barra estabilizadora de torsión en el vehículo prototipo biplaza, proporcionado de esta manera una comprensión detallada y profunda de cómo tipo de técnicas pueden mejorar el rendimiento y la seguridad de este tipo de componentes en este contexto específico.

1.6. Alcance

El alcance de este estudio se centra en la optimización topológica y el análisis estático de una barra estabilizadora de torsión en un modelo biplaza. Se abordará la aplicación de simulaciones por elementos finitos para modelar el comportamiento estructural de la barra bajo diferentes cargas y condiciones de operación. El estudio incluirá la implementación de algoritmos de optimización para buscar la distribución eficiente de material que maximice la resistencia y minimice el peso, considerando restricciones de diseño y de carga específicas. Se evaluarán las tensiones, deformaciones y desplazamientos resultantes para asegurar la integridad y seguridad de la estructura optimizada. Sin embargo, no se considerarán aspectos relacionados con la fabricación, costos de producción ni análisis dinámico. El estudio se enfoca exclusivamente en el diseño y comportamiento estático de la barra estabilizadora con el fin de mejorar la estabilidad y el rendimiento de un vehículo biplaza en diversas condiciones de conducción.

Capítulo II

Revisión Literaria

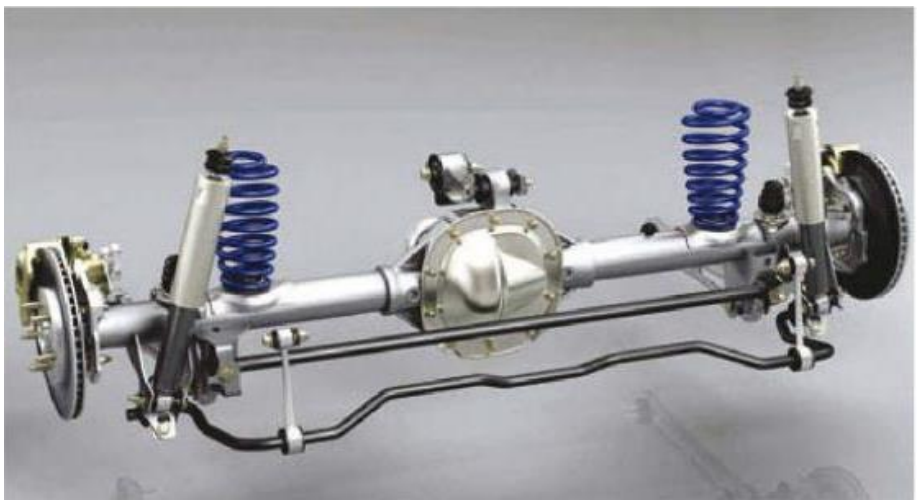
2.1. Barra Estabilizadora

Según (Domínguez & Ferrer, 2013) la define como: “La función principal de una barra estabilizadora es la de forzar al vehículo a mantener la estabilidad, evitando la inclinación excesiva que tiene lugar cuando se toma una curva”.

Así mismo a una barra estabilizadora es uno de los elementos que conforman el sistema de suspensión de un vehículo con la finalidad de controlar el balanceo o la inclinación lateral experimentada durante las curvas al conducir por una carretera. La función principal es mejoramiento de la estabilidad y de la maniobrabilidad del vehículo por medio de la reducción del efecto de transferencia del peso de un lado a otro en el momento de tomar las curvas, esto se puede observar claramente en la figura 1.

Figura 1

Barra Estabilizadora de Torsión



Fuente: (Domínguez & Ferrer, 2013)

Generalmente una barra estabilizadora consta de una barra metálica que se conecta a ambos lados de la suspensión ya sea esta delantera o posterior. En lo concerniente a su diseño esta está hecha para resistir la torsión, al transferir parte del movimiento de una rueda

del vehículo a la otra en el momento de tomar una curva con el fin de contrarrestar el fenómeno del balanceo.

Puede estar diseñada de distintas formas, tamaños y configuraciones, siendo ajustables de acuerdo con el tipo de conducción o desempeño del sistema por medio del uso de enlaces ajustables o ciertas conexiones de diferentes longitudes. Se debe tener en cuenta que algunos vehículos pueden poseer barras estabilizadoras tanto en el eje delantero como en el posterior y a su vez en los dos ejes del vehículo, logrando de esta manera una mejor estabilidad.

En definitiva, una barra estabilizadora son elementos de suma importancia en un sistema de suspensión de un vehículo, desempañando una función de suma importancia como lo es la seguridad, la nivelación del vehículo con referencia a la trayectoria de desplazamiento y con el control de maniobras de curvas y giros de forma controlada.

2.1.1. Función de Barra Estabilizadora de Torsión

Básicamente una barra estabilizadora cumple la función de disminuir el balanceo o inclinación lateral de un vehículo al maniobrar en carretera o en la toma de curvas, logrando este comportamiento con la transferencia de cierta sección de fuerza de una rueda a la otra por medio de la barra estabilizadora.

A continuación, se detallan los puntos clave a los que interfiere:

La reducción de balanceo se establece cuando un vehículo de desplaza en una curva, su carga centrífuga causa que el peso se desplace hacia el exterior de la curva, comprimiendo la suspensión del lado interno y liberando la suspensión del lado externo. Esto puede traducirse en un balanceo o inclinación lateral de la estructura de la carrocería. La función de la barra estabilizadora de torsión contrarresta este efecto al transferir parte de la fuerza de compresión del lado externo al lado interno, manteniendo así el vehículo más nivelado.

En lo concerniente a la torsión de la barra, está se encuentra conectada a ambos lados de la suspensión, generalmente a través de brazos. Cuando el vehículo se inclina al tomar una

curva, la barra estabilizadora se somete a una carga de torsión, es decir, una parte de la barra se gira mientras la otra se mantiene relativamente fija. Esta torsión genera resistencia a la inclinación y transfiere parte del movimiento de una rueda a la otra.

Por lo tanto, en lo que respecta a la distribución de fuerzas, la barra estabilizadora genera una fuerza contraria al movimiento del vehículo al tomar la curva. Esta fuerza ayuda a mantener las ruedas en contacto con la carretera de manera más uniforme, mejorando la tracción y estabilidad. Al disminuir el balanceo, se disminuye la posibilidad de que las ruedas pierdan adherencia con la superficie y se mejora el control del vehículo.

Otro factor es la mejora de la maniobrabilidad, que se da al disminuir el balanceo excesivo, la barra estabilizadora contribuye a una mayor precisión en la dirección y a una sensación más segura al tomar curvas y giros. Esto es especialmente importante en situaciones de emergencia o maniobras evasivas, donde la estabilidad y el control son cruciales.

En resumen, una barra estabilizadora de torsión es un componente clave en la suspensión de un vehículo que ayuda a mantener la estabilidad y la tracción al reducir el balanceo lateral durante las curvas y maniobras.

2.1.2. Técnicas de Optimización en Ingeniería de Diseño

Según (Zugarramurdi & Parín, 1998) dice que: “Las técnicas de optimización requieren de un profundo conocimiento técnico y analítico del sistema a ser optimizado. En muchos casos esto implica la posibilidad de desarrollar un modelo matemático incorporando las variables más relevantes”, por lo que se puede analizar este criterio de la siguiente manera:

En el área del diseño automotriz la optimización se enfoca a la aplicación de métodos y técnicas que permitan la mejor solución posible dentro de un grupo de alternativas, pero teniendo en cuenta algunos criterios como restricciones. Estas técnicas son muy importantes

para mejorar la eficiencia, el rendimiento y la calidad del producto o de los sistemas diseñados. Entro las técnicas de mayor importancia utilizadas en el área de diseño están las siguientes:

- Optimización basada en logaritmos
- Optimización basada en gradientes
- Optimización multiobjetivo
- Optimización basada en procesos de simulación
- Optimización heurística
- Optimización global
- Optimización en tiempo real
- Diseño robusto y de tolerancia
- Optimización topológica

La selección de cada una de estas técnicas de optimización depende de la naturaleza del problema planteado, los objetivos planteados en la fase de diseño y las restricciones involucradas en el diseño del elemento.

2.1.3. Simulación por Elementos Finitos en Análisis Estático

Según (Abasolo, Aguirrebeitia, Coria, & Heras, 2017) dice que "El Método de Elementos Finitos (MEF) es sin duda una de las herramientas más utilizadas actualmente en el ámbito del análisis y diseño mecánico".

Pero al tratarse de la realización de simulación por parte de Elementos Finitos con sus siglas anglosajonas FEA, esta es una técnica numérica la cual es utilizada para la resolución de problemas de análisis estructural y mecánico en el área de ingeniería.

Basándose en la descomposición de un sistema u objeto en elementos muy pequeños y manejables a los cuales se los conoce como elementos finitos para posteriormente analizar su comportamiento de forma global.

En el caso de la realización de un análisis estático en la FEA, esta se refiere a la evaluación de las respuestas que genera una estructura o elemento ante cargas estáticas, esto quiere decir fuerzas que no varían con el tiempo. Estas cargas pueden involucrar fuerzas, presiones, momentos, temperaturas, entre otras. El objetivo que se pretende alcanzar a través de este método es el de determinar las deformaciones, tensiones y desplazamientos resultantes sobre la estructura bajos estas condiciones de desempeño.

En lo concerniente a la descripción básica del funcionamiento y comportamiento de la Simulación por Elementos Finitos en el contexto del Análisis Estático se pueden definir las de mayor importancia como lo son:

- Discretización
- Formulación de ecuaciones de equilibrio
- Ensamblaje del sistema de ecuaciones
- Aplicación de condiciones de frontera
- Resolución del sistema de ecuaciones
- Cálculo de tensiones
- Interpretación de resultados

En definitiva, la Simulación por Elementos Finitos es una herramienta muy importante para el diseño, análisis de estructuras y elementos de una gama amplia dentro de la industria tales como: mecánica, civil, automotriz, aeroespacial, entre otras. Pero se debe tener mucha importancia en la precisión de cada uno de los resultados obtenidos dependerán en gran medida e la calidad de la discretización, suposiciones realizadas en el modelo y de las propiedades de cada uno de los materiales que lo conforman.

2.1.4. Estudios Previos Relacionados

Dentro de la investigación científica realizada de manera previa para la realización del presente estudio investigativo se encontraron algunos estudios relacionados en los cuales cumplen con alguno de los objetivos y datos alineados con lo referente a la Optimización topológica y análisis estático de barra estabilizadora en modelo biplaza mediante simulaciones de elementos finitos, los mismos que se detallan a continuación:

En el estudio del (Enriquez & Chávez, 2022) investigan el "análisis virtual, comportamiento de esfuerzos de un elemento sólido al momento de utilizar diferentes tipos de aceros y de esta manera, se pueda determinar qué tipo de material presenta la mayor resistencia física en una barra de torsión", aplicado sobre un vehículo Suzuki Gran Vitara, por medio de una metodología cuantitativa, en la que se obtienen tres tipos de diseños de barras estabilizadora de torsión llegando a plantear el tipo de material con el que se puede elaborar así como las dimensiones físicas y los esfuerzos máximos a la que puede estas siendo sometida.

Para el estudio de (Cabrera, 2017) se enfoca en "la determinación de un material alternativo que se pueda encontrar en el mercado nacional, para la construcción de la barra estabilizadora del Chevrolet Aveo Family 1.5 l. a partir de las propiedades del material original". Este estudio lo realiza con la aplicación de pruebas físicas y químicas como lo es de dureza, espectrometría y microscopía óptica, finalizando con el análisis comparativo entre los factores de seguridad del modelo original con otros alternativos existentes en el mercado nacional.

Otro estudio lo realiza (Chipantasi, 2017) en cual "realiza una adaptación del sistema de suspensión a un Suzuki Forsa aplicando una barra estabilizadora bajo la normativa de la FEDAK" esto lo aplica con la finalidad de obtener mayor resistencia y adaptabilidad de este elemento en un vehículo destinado a las competencias automovilística pero bajo un criterio

técnico y obtiene buenos resultado al mejorar la eficiencia por medio de un estudio virtual y con verificación de resultados en la práctica real teniendo en cuanta los factores de seguridad.

2.2. Método de Investigación en Diseño de Barra Estabilizadora

Esta sección dentro de la investigación es de suma importancia por el motivo que es el enfoque sistemático y de cada uno de los pasos que se deben seguir con el fin de llevar a cabo el presente estudio de optimización tipológica y análisis estático de la barra estabilizadora de torsión sobre un vehículo prototipo biplaza, con el modelado y simulación de la estructura por medio de elementos finitos considerando cada una de las cargas que actúan sobre el elemento y aplicación de las condiciones reales a la que será sometido.

Así mismo se implementan algoritmos de optimización por medio de programas computacionales de ingeniería asistida por ordenador, para de esa manera encontrar la distribución óptima del material, maximizando su eficiencia y minimizando el peso.

La solución o resultados obtenidos se proceden a evaluar bajo los criterios de diseño, así como el rendimiento, seguridad del prototipo y aseguramiento de la estructura óptima para alcanzar el mejoramiento de la estabilidad.

Cada uno de estos parámetros mitológicos se presentan de la siguiente manera:

- Descripción de la Metodología de Optimización Topológica
- Modelado y Simulación por Elementos Finitos
- Definición de Cargas y Restricciones Estáticas
- Evaluación de Resultados y Criterio de Diseño

2.3. Modelo de Barra Estabilizadora de Torsión

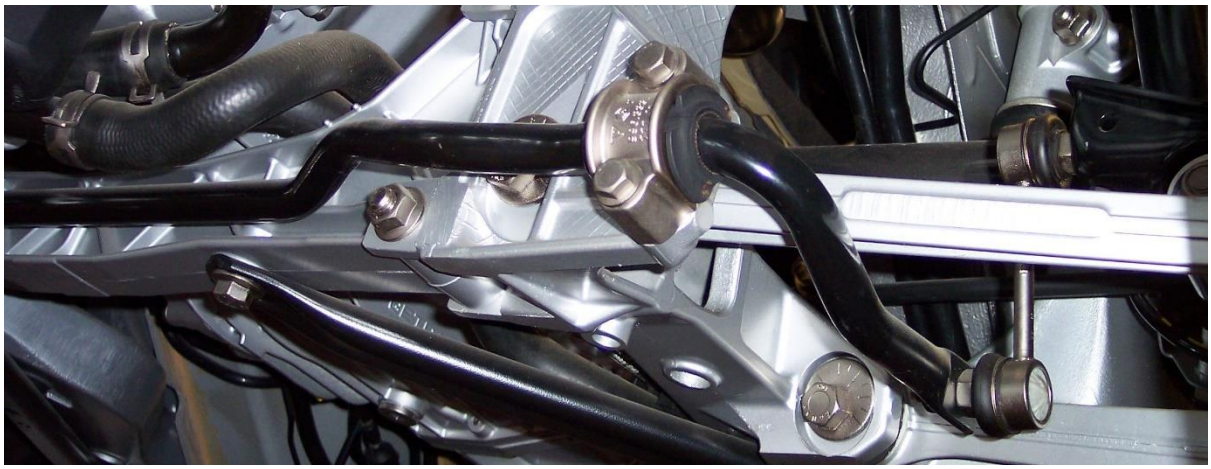
Para poder relacionar el principio y fundamento de una barra estabilizadora se debe tener en cuenta su conceptualización y la información de la forma geométrica de este elemento que es de suma importancia para el sistema de suspensión de un vehículo.

Según (Pérez, 2018) dique que: “En ciertos modelos, la barra estabilizadora actúa como tirante de reacción longitudinal, permitiendo emplear un brazo de dos puntos, sin tirante específico complementario”, pudiéndose apreciar una de las formas de barra estabilizadora en la figura 2, juntamente con sus uniones basculantes, así como los tirantes de reenvío.

En definitiva, un modelo de barra estabilizadora de torsión representa una estructura mecánica que se usa en vehículos para reducir la inclinación durante giros. Se compone de una barra flexible conectada a las ruedas traseras. La torsión en la barra contrarresta el balanceo, mejorando la estabilidad y el manejo del vehículo en curvas.

Figura 2

Modelo de Barra Estabilizadora de Torsión



Fuente: (Pérez, 2018)

El modelo de barra estabilizadora de torsión se basa definitivamente en el área del diseño automotriz en una representación geométrica detallada de su estructura, tomando en cuenta sus formas, dimensiones y materiales de fabricación. Una barra estabilizadora es creada a través de una malla tridimensional la cual permite describir tanto la forma como sus características físicas. Esta malla se divide en secciones de elementos finitos, logrando de esta manera obtener una simulación numérica de forma precisa.

También se procede asignar propiedades al material con el que está constituida y condiciones de contorno, al igual que puntos de apoyo y fijación. Al momento de realizar el análisis, se procede a la evaluación de cada una de las respuestas estructurales, en las que incluyen tensiones, las deformaciones y los desplazamientos, bajo distintas cargas y condiciones de operación.

A través de este procedimiento lo que proporciona es una comprensión de manera profunda del comportamiento y la resistencia que posee la barra estabilizadora de torsión en condiciones o situaciones reales de funcionamiento al momento que el vehículo se encuentre desplazándose sobre carretera y más aún al momento de tomar las curvas.

2.4. Optimización Topológica

Antes de tener el conocimiento del método de optimización topológica se debe tener muy en cuenta la conceptualización y fundamento de lo que es el diseño generativo.

Según (Ibermática, 2023) establece que "El diseño generativo se trata de una herramienta que nos brinda una nueva manera de construir y crear a nuestro alrededor", el mismo que cada día a tomado mayor fuerza en el ámbito del diseño de ingeniería con un enfoque de imitación evolutiva de la naturaleza y de esta forma poder aplicarla en el diseño de productos al mejorar detalles y configuraciones de los mismos elementos.

Bajo este criterio de conceptualización de lo que es el diseño generativo se procede a la conceptualización de lo que es una optimización topológica en la que según (Giménez, 2020) dice que "Se basa en buscar la distribución óptima de material en una estructura. Partiendo de una preforma inicial y mediante la definición de distintas condiciones de contorno, se genera la mejor distribución de material que cumpla con las condiciones de contorno".

Al establecer sobre el proceso de optimización topológica (Garzón, Roa, & Cortés, 2004) dice que "El proceso de optimización topológica consiste en cuatro partes: Definición

de las funciones de optimización, definición de las variables objetivo y las restricciones, inicialización de la optimización y ejecución del análisis".

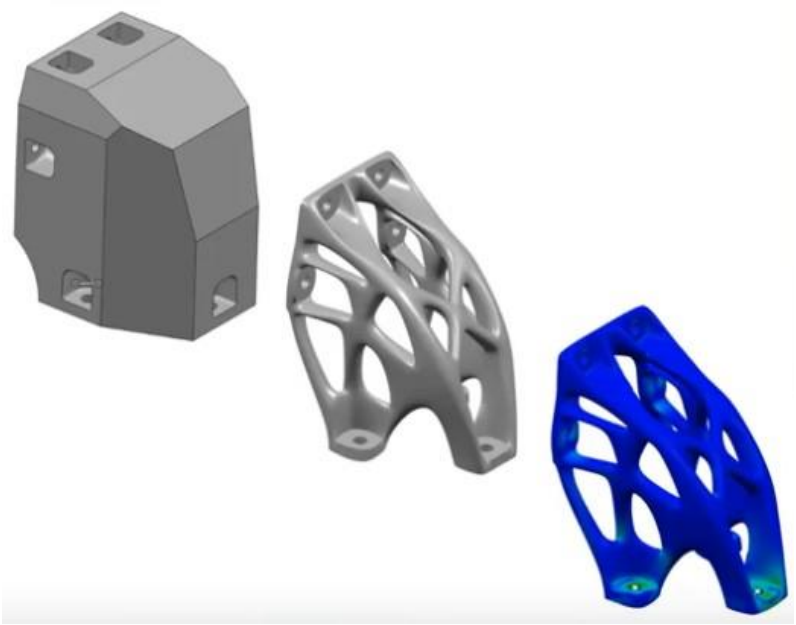
En definitiva, la optimización topológica no es más que una técnica avanzada en la rama de la ingeniería de diseño, la cual busca encontrar la distribución de mayor eficiencia de material en la conformación de una estructura, con el objetivo principal de maximizar su rendimiento y minimizar su peso.

Por medio de algoritmos y simulaciones computacionales, se presentan diversas configuraciones geométricas con el fin de determinar la forma y disposiciones óptimas de los materiales en la estructura del elemento.

En la figura 3 claramente se puede apreciar el cambio de un elemento básico y uno ya aplicada optimización topológica a través de un proceso de diseño generativo.

Figura 3

Modelo del Proceso de Optimización Topológica y Diseño Generativo



Fuente: (Ibermática, 2023)

Durante el proceso de optimización topológica, empieza con una distribución de material inicial y se aplican interacciones con las cuales se eliminan secciones menos críticas y se aplican refuerzos en cada una de las áreas que más lo requieran. Así mismo se procede a

establecer restricciones de diseño, como lo son los refuerzos máximos permitidos, logrando de esta forma garantizar la integridad estructural del elemento. La optimización topológica busca generar una geometría la cual minimice las tensiones y deformaciones, al mismo tiempo que asegura que cada una de las características funcionales y de carga sean satisfecha según los parámetros de diseño.

Actualmente la metodología de optimización topológica ha revolucionado la concepción de la manera en que se abordan los desafíos del diseño, al permitir la búsqueda de soluciones que a menudo son complejas de concebir de manera tradicional o manual. Esta técnica posee aplicaciones en diversas áreas, desde la ingeniería estructural y aeroespacial hasta en la fabricación aditiva, en el momento de enfocarse en la eficiencia del material y la geometría, la optimización topológica brinda muchas ventajas sobre todo en la contribución de creación de diseños mucho más ligeros, resistentes y eficientes, logrando mejorar su funcionalidad y la sostenibilidad de cada uno de los productos y sistemas.

2.4.1. Consideraciones de Restricción de Diseño

Al momento de establecer las consideraciones de restricción en lo concerniente a diseño estructural, estos son elementos fundamentales en la optimización topológica y los cuales deben desempeñar un papel crucial en la obtención de soluciones variables y realistas. Dichas restricciones establecen los límites y condiciones dentro de los cuales debe comportarse la estructura optimizada, para de esta forma garantizar su seguridad, cumplimiento de requisitos específicos y su funcionalidad.

Al momento de tratar sobre las restricciones de diseño, estas pueden abarcar algunos aspectos como se indica a continuación:

- Esfuerzos máximos permitidos
- Frecuencias naturales
- Deformaciones admisibles

- Modos de vibración
- Restricciones geométricas
- Criterios de estabilidad
- Factores de seguridad

La selección correcta de estas restricciones dependerá de su aplicación de forma específica y de los objetivos de diseño.

Como, por ejemplo, para el caso de la optimización topológica de la barra estabilizadora de torsión aplicada al vehículo prototipo biplaza, las restricciones se podrían incluir límites en las tensiones con el fin de evitar algún tipo de agrietamiento o deformaciones excesivas las cuales puedan afectar su geometría funcional del elemento. También se puede establecer cada uno de los requisitos de rigidez mínima para de esta forma garantizar que la barra estabilizadora cumpla con su función específica de estabilización al momento de aplicar algún tipo de maniobra.

Las restricciones en un proceso de diseño a menudo se derivan de estándares de la industria automotriz, necesidades específicas del proyecto y sobre todo de las regulaciones gubernamentales. Pero un aspecto esencial a tomar en cuenta es el de encontrar un equilibrio entre el cumplimiento de las restricciones y la optimización de la estructura del elemento, por el motivo que una estructura óptima desde el punto de vista de la eficiencia podría llegar a no ser factible en el caso de que no se cumplan las restricciones de rendimiento y seguridad.

Es de suma importancia tener en cuenta que, en algunos casos, las restricciones pueden ser contradictorias o que requieren de un compromiso entre diferentes objetivos de diseño. Por lo tanto, el proceso de optimización topológica implica de la realización de un análisis cuidadoso y de un enfoque iterativo para de esta manera ajustar cada uno de los parámetros y así obtener un diseño el cual cumpla con todas las restricciones relevantes.

En definitiva, las consideraciones de restricción en el proceso de diseño con aplicación de optimización topológica son esenciales, para así poder garantizar que las soluciones resultantes sean seguras y prácticas. Estas restricciones permiten establecer cada uno de los límites dentro de los cuales se busca la mejora de la estructura del elemento, permitiendo un diseño óptimo que combine su funcionabilidad, eficiencia y cumplimiento normativo

2.5. Análisis Estático

Según (Vásquez, 2011) lo define "El análisis estático permite el estudio de esfuerzos, deformaciones, desplazamientos, fuerzas axiales y de corte, como resultado de la aplicación de cargas estáticas".

Bajo este criterio se sintetiza el concepto en que el análisis estático no es más que una técnica de simulación utilizada en ingeniería de diseño para así estudiar el comportamiento de una estructura o componente sobre el cual se encuentra sometido a cargas estáticas, esto quiere decir, fuerzas que no varían con el tiempo. Su objetivo fundamental es el de evaluar las tensiones, deformaciones y desplazamientos que experimenta una estructura debido a este tipo de cargas y determinar si se cumple o no con los criterios de diseño, así como con los de seguridad ya establecidos.

Durante el momento que se realiza un análisis estático se procede a seguir cada uno de los siguientes pasos:

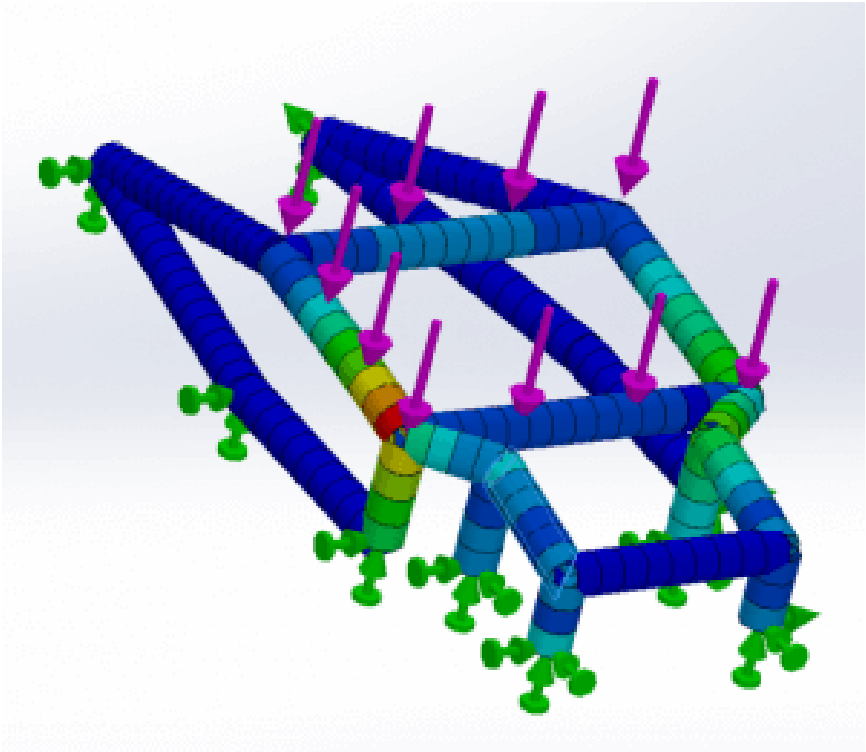
- Definición de cargas y restricciones
- Modelado matemático
- Ecuaciones de equilibrio
- Análisis numérico
- Evaluación de resultados
- Optimización y validación

El análisis estático es esencialmente necesario en el diseño de estructuras y componentes automotrices, logrando así garantizar que cumpla con cada uno de los requisitos de seguridad y rendimiento.

Este análisis es aplicado en una amplia gama de campos como lo es el diseño, ingeniería civil, automotriz, industrial, aeroespacial y manufactura, en donde la compresión del comportamiento de las estructuras bajo cargas estáticas es esencial para el correcto desempeño y la seguridad de los productos y sistemas, un ejemplo claro está en la figura 4, en la que se visualiza un ejemplo del resultado de un análisis estructural por medio de un programa computacional de ingeniería asistida por ordenador.

Figura 4

Ejemplo Visual de Análisis Estático de una Estructura



Fuente: (Carman, 2014)

2.5.1. Cargas Estáticas y Escenarios de Análisis

Las cargas estáticas dentro del análisis estructural de un elemento o estructura se refieren a fuerzas o mementos que actúan sobre una estructura que se encuentra en estado de

equilibrio, es decir, no varían con el tiempo. Estas cargas pueden ser consideradas como permanentes, como el peso propio de la estructura, o el caso de considerar como cargas externas aplicadas, como cargas de viento, fuerzas de apoyo o peso de equipos. En lo concerniente a los escenarios de análisis estático se diseñan para comprender cómo la estructura responde a estas cargas y determinar si cumple con la mayoría de los requisitos de seguridad y diseño.

Dentro de los escenarios de carga al realizar un análisis estático estos pueden variar según su naturaleza de estructura con que cuentan y del entorno en el que se desempeña. Entre los escenarios que se pueden presentar están los siguientes:

- Carga uniforme
- Carga concentrada
- Cargas distribuidas
- Cargas de viento o nieve
- Cargas térmicas
- Fuerzas de apoyo
- Cargas de servicio y sobrecarga
- Cargas sísmicas

Estos escenarios de carga son seleccionados de acuerdo con su función de aplicación y los requisitos específicos del proyecto establecido. Durante el análisis estático, cada uno de estos escenarios se procede a modelar matemáticamente y se resuelven cada uno de sus modelos matemáticos de equilibrio para así poder determinar las respuestas estructurales, como deformaciones, desplazamientos y tensiones.

Estos resultados o soluciones son esenciales para poder comprender cómo la estructura o elemento en estudio se comporta bajo distintas condiciones de carga y asegurar tanto su integridad como su seguridad.

2.5.2. Ecuaciones de Equilibrio

Al momento de referirse de las ecuaciones de equilibrio de seguridad, estas son expresiones matemáticas aplicadas en ingeniería para poder evaluar la capacidad de una estructura o elemento para resistir cargas y fuerzas aplicadas sobre estas sin que sufran fallas o a su vez deformaciones excesivas que perjudiquen a su desempeño.

La función de estas ecuaciones es la de comparar las tensiones y esfuerzos incluidos en la estructura con los límites admisibles o de las propiedades de material para así poder determinar si la estructura es segura y además cumple con todos los requisitos de diseño planteados.

En lo concerniente al análisis estructural, las ecuaciones de seguridad son de suma importancia para asegurar que la estructura no se encuentre operando en condiciones que puedan provocar fallos complejos o catastróficos. Estas ecuaciones toman en cuenta factores como las condiciones de carga, la resistencia del material y sus propiedades geométricas para calcular las márgenes de seguridad.

En el caso de que estos valores calculados de esfuerzos y tensiones se encuentran por debajo de los valores límites permitidos, se considera que la estructura es segura y además cumple con los criterios de diseño.

Las ecuaciones de seguridad pueden presentar variaciones dependiendo del tipo de carga y el tipo de análisis el cual puede ser estático o dinámico. Además, su aplicación puede necesitar de consideraciones adicionales, como los efectos de fatiga, condiciones de fluencia y del comportamiento de material no lineales. Estas ecuaciones son una parte fundamental del proceso de diseño y del análisis estructural, por el motivo de que garantizan que las estructuras estén en la capacidad de soportar las cargas y fuerzas a las que se encontrarán expuestas durante toda su vida útil, proporcionando una base sólida para la seguridad y confiabilidad de las construcciones, así como de todos sus componentes.

2.5.3. Interpretación de Resultados

En lo referente a la interpretación de resultados obtenidos en el análisis estático, esto implica en comprender y evaluar las respuestas estructurales obtenidas luego del proceso de simulación por parte del programa computacional de ingeniería asistida por ordenador. Se procede analizar las deformaciones, desplazamientos y tensiones calculadas para poder determinar si la estructura en estudio cumple con los criterios de diseño y de seguridad. En el caso de que las tensiones se encuentren dentro de los límites permitidos por los materiales y las deformaciones son aceptables, la estructura se la procede a considerar como segura.

En el caso de que las tensiones sean demasiadas altas o las deformaciones excesivas, podría indicar la necesidad de inspeccionar la geometría, los materiales o el diseño del elemento. La interpretación también consiste en comparar los resultados con modelos y predicciones teóricas, así como validarlos con datos experimentales en el caso de que se encuentren disponibles. Por última instancia, la interpretación de los resultados obtenidos proporciona información esencial para tomar decisiones informadas sobre la viabilidad y el rendimiento de la estructura en función de las condiciones de carga y de su forma de operación.

2.5.4. Factores de Seguridad

Según (Riddell & Hidalgo, 2015) indica que “En términos generales, se entiende por seguridad el evitar que la estructura o elemento alcance o sobrepase un estado límite hasta el cual se considera que el comportamiento de la estructura es aceptable”.

Así mismo, el factor de seguridad no es más que un parámetro esencial en diseño e ingeniería por el cual evalúa la capacidad de una estructura o componente para resistir cargas u fuerzas sin que estas lleguen al punto de falla. Del mismo modo representa la relación entre carga máxima que una estructura puede soportar antes de que esta colapse y la carga real que

se espera que actúe sobre ella. En definitiva, el factor de seguridad indica cuánto margen de resistencia posee una estructura en relación con las condiciones reales de funcionamiento.

El factor de seguridad se procede a calcular a través de la división de la carga de fallo o carga de colapso esperada por la carga real que actúa sobre la estructura en estudio. En el caso de que el factor de seguridad es mayor a 1, esto significa que la estructura es capaz de soportar la carga sin que está presente falla y por ende existe un margen de seguridad. En el caso de que el factor de seguridad de un valor igual a 1 se interpreta de la forma de que la estructura está trabajando al límite de resistencia y por la presencia de cualquier factor que incremente la carga, esto podría llevar a la generación de una falla. En cambio, de que un factor de seguridad sea menor a 1, esto indica que la estructura es totalmente insegura y no es capaz de soportar la carga aplicada.

Este valor adecuado como de factor de seguridad depende de varios factores entre los cuales se presentan a continuación:

- Naturaleza de la estructura
- Importancia de aplicación
- Incertidumbre en las cargas
- Propiedades de materiales

En aplicaciones críticas, necesariamente se busca un factor de seguridad considerablemente mayor a 1, lo cual garantizará un alto nivel de seguridad y confiabilidad del elemento o estructura.

Es importante tomar muy en cuenta que el factor de seguridad no es una constante; el mismo puede variar según las condiciones de carga, los cambios en el ambiente operativo y de las incertidumbres en las propiedades de los materiales.

El cálculo del factor de seguridad es de suma importancia para asegurar que las estructuras sean lo suficientemente resistentes y seguras para su aplicación, contribuyendo así a la integridad y confiabilidad de las construcciones y componentes de ingeniería.

2.6. AutoDesk Inventor

Autodesk Inventor es un software de diseño y modelado paramétrico en 3D ampliamente utilizado en la industria de la ingeniería automotriz y el diseño de productos. Desarrollado por la empresa Autodesk, ofrece una plataforma completa para crear, visualizar y simular modelos tridimensionales de productos y piezas mecánicas.

Inventor permite a los diseñadores e ingenieros crear modelos paramétricos, lo que significa que los cambios en un aspecto del diseño se propagan automáticamente a todas las partes relacionadas, agilizando el proceso de diseño y reduciendo errores. El software ofrece una amplia variedad de herramientas para la creación de piezas, ensamblajes y dibujos técnicos, lo que facilita la comunicación de diseños a través de documentación detallada.

Una de las características destacadas de Inventor es su capacidad de simulación, que permite evaluar el comportamiento de los diseños bajo diferentes condiciones de carga y operación. También integra herramientas de renderización para crear imágenes realistas de los modelos.

Autodesk Inventor se utiliza en diversas industrias, como la automotriz, la aeroespacial, la manufactura y la arquitectura. Su interfaz intuitiva y su integración con otros productos de Autodesk, como AutoCAD, lo hacen una elección popular para la creación y el desarrollo de productos innovadores y funcionales.

Capítulo III

Metodología Aplicada a la Optimización Topológica de Barra de Torsión de Vehículo Biplaza

3.1. Modelado Geométrico

El modelado geométrico en el contexto de la optimización topológica y análisis estático de una barra estabilizadora en un modelo biplaza es un componente crucial que establece las bases para las simulaciones de elementos finitos y la optimización subsiguiente. Este proceso implica la creación de un modelo tridimensional detallado y preciso del chasis del vehículo tubular biplaza, incluyendo la barra estabilizadora, utilizando herramientas de software especializadas en diseño asistido por computadora (CAD).

En primer lugar, el proceso de modelado se lo inicia con la adquisición de datos y especificaciones del vehículo biplaza, que pueden incluir dimensiones del chasis, disposición de componentes, requisitos de espacio y ubicación de la barra estabilizadora, como se puede apreciar en la figura 5.

Figura 5

Dimensiones del Vehículo Biplaza en Estudio

Fuente: (Cuenca, 2023)

Estos datos son esenciales para garantizar la fidelidad del modelo a la realidad y para que las simulaciones resultantes sean representativas del comportamiento del sistema de una forma correcta.

El software de CAD, como Inventor de AutoDesk, es una herramienta comúnmente utilizada en el modelado geométrico para proyectos de ingeniería asistida por ordenador (CAE). Permite a muchos ingenieros de diseño automotriz crear geometrías complejas de manera eficiente mediante la aplicación de técnicas paramétricas, donde se definen parámetros específicos y se ajustan para modificar la forma del modelo de manera coherente. En el caso de la barra estabilizadora, se debe prestar especial atención a la geometría de esta, incluyendo su forma, dimensiones, ubicación en el chasis y puntos de conexión dentro de la estructura del vehículo biplaza.

La creación del modelo tridimensional implica la generación de sólidos y superficies que representan con precisión cada componente del chasis y la barra estabilizadora. Se deben modelar detalles importantes, como montajes, conexiones y soportes, para garantizar la integridad del sistema. Esto implica una comprensión profunda de la estructura y la función de la barra estabilizadora en el contexto del sistema de suspensión del vehículo biplaza en estudio.

Una vez que se completa el modelado básico, se procede a la asignación de propiedades de material a cada componente. La elección del material es un factor crítico, ya que afecta directamente al comportamiento mecánico del sistema. Propiedades como la densidad, el módulo de elasticidad y la resistencia a la tracción son esenciales para las simulaciones de elementos finitos subsiguientes.

El siguiente paso implica la generación de la malla, donde la geometría tridimensional se divide en elementos más pequeños para facilitar el análisis numérico. Este proceso es fundamental para las simulaciones de elementos finitos, ya que la precisión de los resultados

depende en gran medida de la calidad de la malla generada, teniendo en cuenta también el software con que se va a trabajar la parte de procesamiento de datos del estudio a realizar y su complejidad.

El modelado geométrico no es un proceso estático; puede requerir iteraciones y ajustes a medida que se obtienen más detalles sobre el diseño y se realizan análisis preliminares. Además, la colaboración entre ingenieros estructurales y diseñadores es crucial para garantizar que el modelo cumpla con los requisitos de rendimiento y seguridad.

En definitiva, el modelado geométrico en este contexto implica la creación detallada de un modelo tridimensional del chasis del vehículo biplaza y la barra estabilizadora, utilizando software de CAD especializado el cual para este caso se realiza en AutoDesk Inventor. Este proceso sienta las bases para las simulaciones de elementos finitos y la optimización topológica, siendo un paso esencial en el diseño y análisis de sistemas mecánicos complejos.

3.2. Especificaciones de Barras de Torsión

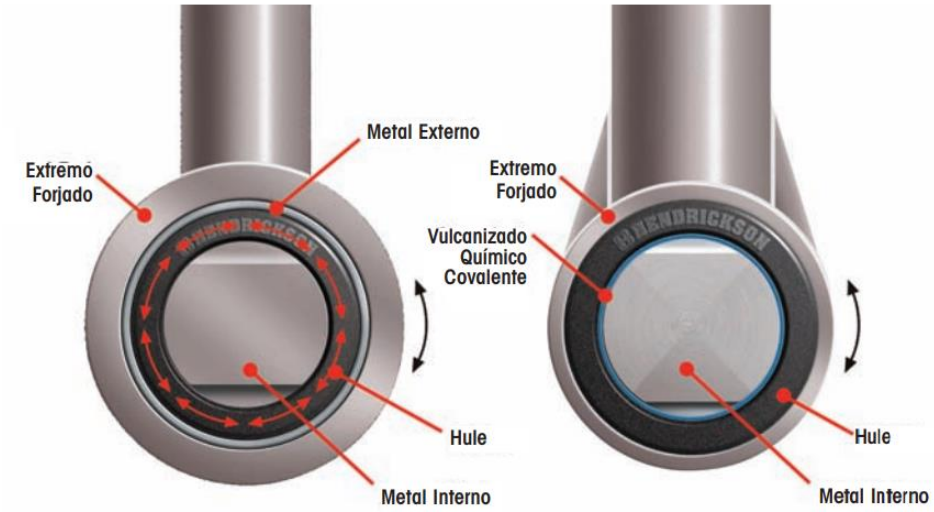
Dentro del estudio para el presente proyecto en lo concerniente a la metodología es fundamental el poder determinar las características con las que cuenta la barra de torsión tanto en forma, materiales, así como elementos adjuntos como lo son los bujes vulcanizados, esto se puede apreciar como ejemplo en la figura 6.

Estos bujes lo que permiten es alargar la vida útil de una barra de torsión sobre todo se estos son vulcanizados por lo que suelen ser fabricados con ciertas reacciones químicas especiales al momento de que se realiza su proceso de curación en el modelo para poder alcanzar físicamente el metal interno al hule. Acoplar el hule al metal interno permite extender la vida útil de servicio del buje ya que elimina los efectos adversos provocados por el deslizamiento entre el hule y el metal exhibido en los bujes de forma convencional, lo que

se debe tener en cuenta es el diámetro interno del hueco externo con el interno y el centrado que debe existir.

Figura 6

Elementos Adicionales de Barras de Torsión



Fuente: (Hendrickson, 2008)

Se debe tener en cuenta que los ciclos torsionales a falla es el número total de ciclos de fatiga torsionales los cuales son aplicados a un buje específico hasta un punto significativo de degradación de su desempeño. Los ciclos torsionales a falla es una medida relativa de fatiga de desempeño la misma que puede ser utilizada para comparar el desarrollo de bujes similares.

3.3. Medición de Barras de Torsión de Dos Piezas

Con el fin de asegurar una correcta medición para la adaptación, remplazo o diseño de barras de torsión se debe verificar lo siguiente:

- Si la barra de torsión que se va a colocar es una del tipo Ultra Rod, se debe medir la distancia de centro a centro de los tubos extremos de la barra de torsión o los centros de las torres de anclaje.
- Se debe verificar como va montada la barra de torsión y realizar las mediciones como se determina de la siguiente manera:

- Montaje externo: Se debe medir la distancia de centro a centro de los tubos extremos de la barra de torsión como se muestra en la figura 7.

Figura 7

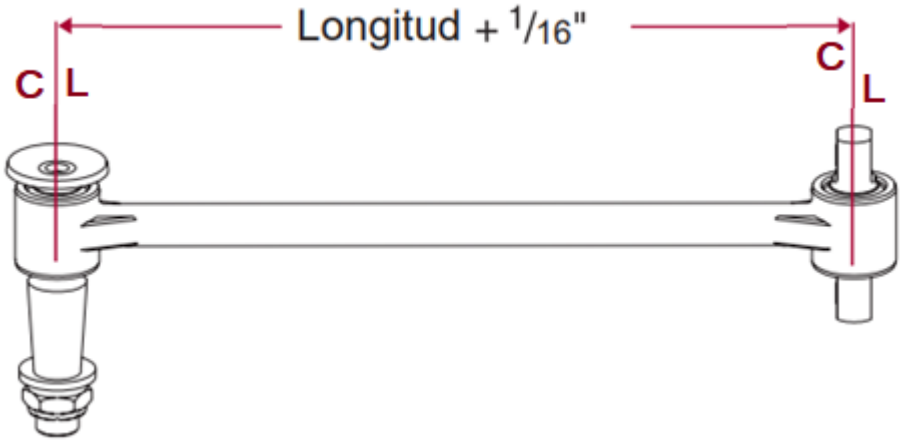
Medición en Montaje Externo

Fuente: (Hendrickson, 2008)

- Montaje espárrago cónico: Se debe de medir la distancia de centro a centro de los tubos extremo de la barra de torsión y añadir un 1/16 de pulgada para su montaje como se puede observar en la figura 8.

Figura 8

Medición en Montaje con Espárrago Cónico

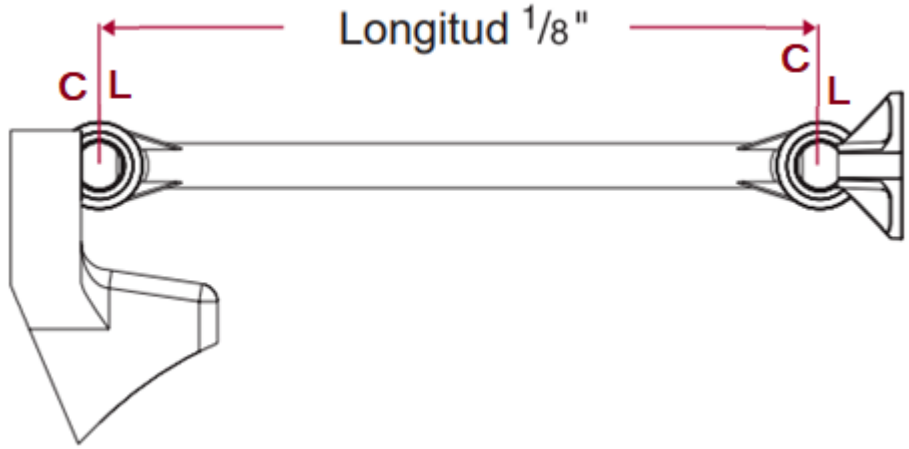


Fuente: (Hendrickson, 2008)

- Montaje Interno: Se debe medir de centro a centro de los tubos extremos de la barra de torsión y añadir 1/8 de pulgada para el ensamble, como se aprecia en la figura 9.

Figura 9

Medición en Montaje Interno



Fuente: (Hendrickson, 2008)

3.4. Condiciones Dimensionales de la Barra Estabilizadora

Las condiciones que se brinda para el presente estudio investigativo para la barra de torsión son las siguientes:

- La barra de torsión debe dominar la estabilidad de biplaza en condiciones de giros o curvas.
- Poseer una barra puntual delantera para mejorar las condiciones en curvas y reducir la flexión de la estructura tubular en sus esquinas.
- Control de los esfuerzos laterales por medio de deformaciones elástica y de esta manera prevenir la flexión de la torre de choque.
- En lo correspondiente a las medidas requeridas como lo son longitud, diámetros de anclaje de los extremos y puntos de anclaje para sujeción, estos se pueden ver en la figura 10.

Figura 10

Medición en Montaje Interno

Fuente: (Hendrickson, 2008)

3.5. Boceteado y Renderizado de Barra de Torsión en Inventor

Una vez recolectada la información de la barra de torsión a ser aplicada al vehículo biplaza se procede a la selección del programa computacional que brinda las mejores herramientas para la realización del desarrollo del presente estudio.

Para iniciar con este proceso del boceteado se procede a crear un nuevo proyecto en donde se permite almacenar cada uno de los elementos o archivos que se vayan generando al momento de ir creado cada pieza, siendo lo más práctico y a su vez permite tener ordenada toda la información.

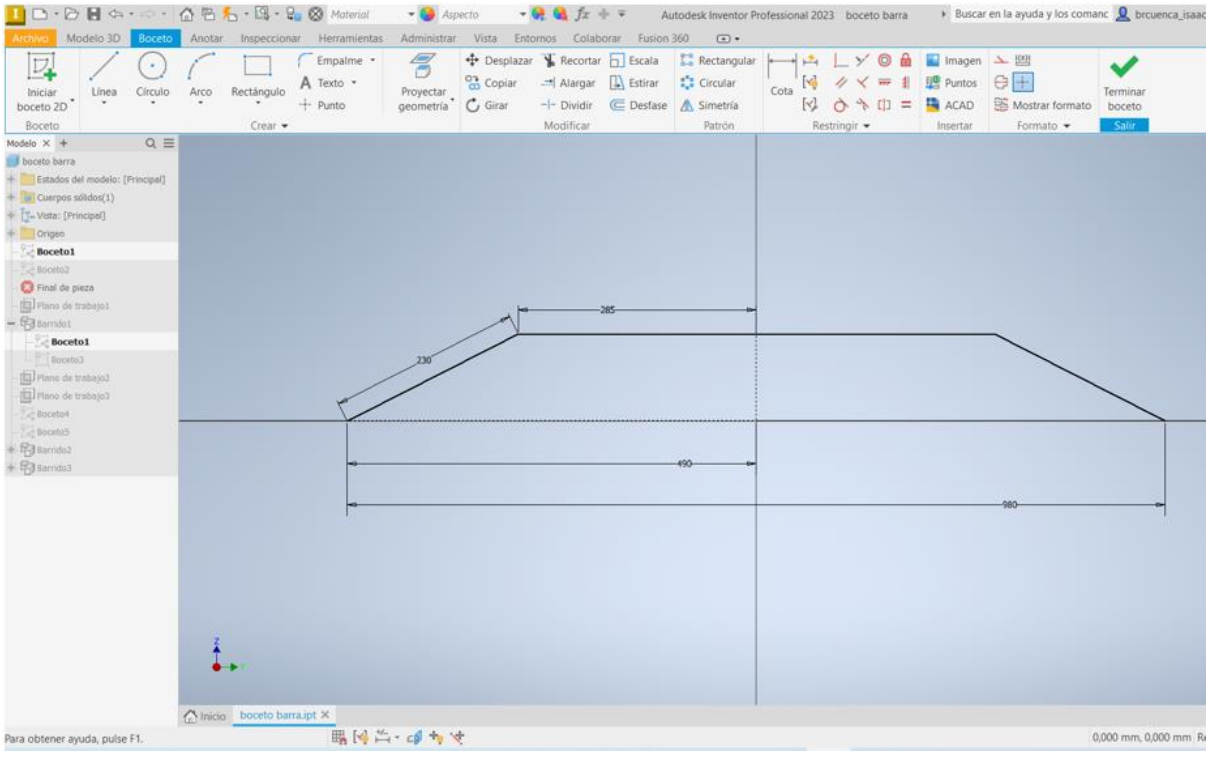
En este caso una vez generado el proyecto se procede a crear una pieza nueva con la selección de un proceso de dibujo en 2D y luego se selecciones sobre qué plano de procederá a iniciar un nuevo dibujo.

En la figura 11, se puede apreciar cómo se procede a dar inicio al proceso de boceteado en 2D teniendo en cuanta y respetando cada una de las dimensiones de la barra de torsión, con la precaución de que cada una de las uniones se encuentren unidas y que sus puntos de referencias estén correctamente determinados.

En cuanto a las dimensiones referenciales se tiene que la longitud entre los puntos extremos es de 980 mm.

Figura 11

Inicio de Proceso de Boceteado en 2D de la Barra Estabilizadora



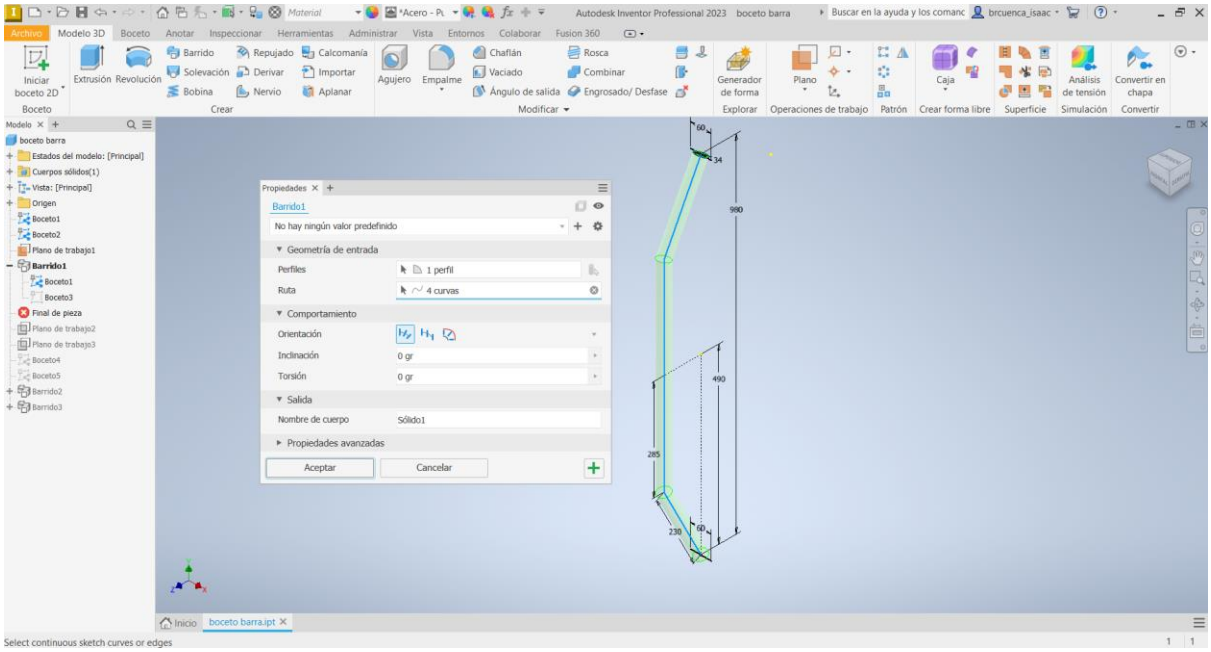
Una vez generado el boceto en 2D y finalizado esta parte del proceso se procede a generar un barrido considerando esta trayectoria para lo cual se consideran las siguientes condiciones:

- Para lo concerniente al tipo de geometría de entrada se selecciona el de seguimiento por ruta.
- En cuanto a comportamiento del barrido se selecciona el de orientación según trayectoria.

Esta configuración de puede observar en la figura 12.

Figura 12

Configuración de Barrido



Una vez generado el perfil tubular de la barra de torsión el siguiente paso del proceso es del designar un material al elemento para lo cual se debe seleccionar la opción de navegador de materiales en donde se procede a seleccionar el Acero ASTM A6, el mismo que cuenta con las siguientes características:

Descripción: Acero al carbono estructural conocido normalmente como hierro negro, de calidad estructural para su aplicación en puentes y edificaciones remachadas, soldadas o atornilladas.

- Normativas involucradas: ASTM A 36/A 36M – 04
- Propiedades mecánicas: Esfuerzo a la fluencia mínimo de 250 MPa o 36300 PSI, esfuerzo a la tensión de 400 a 550 MPa o de 58000 a 79800 PSI, elongación

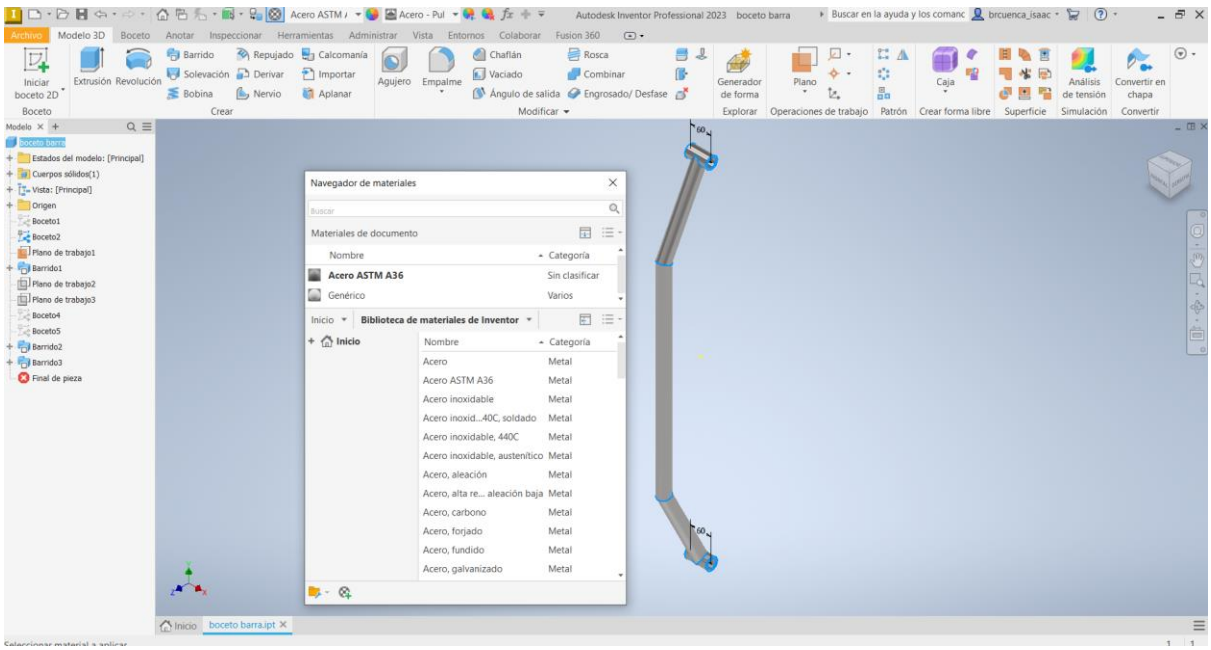
mínima de 50 mm o 2 pulgadas en un 23 %, módulo de elasticidad 200 GPa o 29000 KSI.

- Propiedades físicas: Densidad de 7.85 g/cm3 o 0.284 lb/in3.
- Propiedades químicas: 0.25 – 0.29 % C, 0.60 – 1.20 % Mn, 0.15 – 0.40 % Si, 0.04 % P máx, 0.05 % S máx.
- Usos: Para componentes estructurales en general.
- Tratamientos térmicos: Usualmente se le suele dar tratamiento térmico a este material debido a que son parte estructural. Puede ser cementado para aumentar la dureza superficial mientras mantiene su núcleo tenaz.

Esto se puede apreciar en la figura 13.

Figura 13

Designación de Material a Barra de Torsión



De esta manera se finaliza el proceso de boceteado y renderizado de la barra de torsión para de esta manera proceder con la siguiente fase que corresponde a la simulación de la barra de torsión por medio del estudio de elementos finitos por medio del software inventor.

3.6. Análisis de Elementos Finitos (FEA)

El Análisis de Elementos Finitos (FEA) es una técnica avanzada de simulación numérica utilizada en ingeniería para evaluar el comportamiento de estructuras y componentes bajo diversas condiciones. Su aplicabilidad se extiende a una amplia gama de disciplinas, incluyendo mecánica estructural, termal, dinámica y fluidodinámica. El FEA se ha convertido en una herramienta esencial en el diseño y análisis de productos, permitiendo a los ingenieros prever y optimizar el rendimiento de los sistemas antes de la fabricación física.

En el centro del FEA está el concepto de discretización. Las estructuras complejas se dividen en elementos más pequeños, o "finitos", que se conectan entre sí en nodos. Estos elementos representan la geometría del objeto y sus propiedades físicas. El modelo resultante se somete a condiciones de carga y restricciones, y mediante el uso de ecuaciones matemáticas y métodos numéricos, se determinan las respuestas del sistema en cada nodo.

La precisión del FEA depende en gran medida de la calidad de la discretización y la elección adecuada de los tipos de elementos. Elementos más pequeños permiten una representación más precisa de la geometría, pero también aumentan el costo computacional. Los ingenieros deben equilibrar la precisión deseada con los recursos disponibles.

En el contexto de un análisis estático, el FEA evalúa cómo responde una estructura a las cargas aplicadas sin considerar factores dinámicos. Esto es esencial para comprender la distribución de esfuerzos y deformaciones en condiciones de equilibrio. Las simulaciones estáticas son cruciales en el diseño de componentes sometidos a cargas constantes, como vigas, puentes y elementos estructurales de vehículos.

Para realizar un análisis estático mediante FEA, se siguen varios pasos. Primero, se crea el modelo geométrico tridimensional del objeto utilizando software especializado. Este modelo incluye información sobre material, propiedades mecánicas y condiciones de

contorno. Luego, se discretiza la geometría en elementos finitos y se aplica la carga externa y las restricciones.

El software de FEA resuelve las ecuaciones matemáticas resultantes, calculando las tensiones y deformaciones en cada elemento y nodo. Los resultados se presentan a través de visualizaciones gráficas que muestran la distribución de esfuerzos y deformaciones en toda la estructura. Este análisis permite identificar áreas críticas, donde las tensiones son más altas, y realizar ajustes de diseño para mejorar el rendimiento y la seguridad.

El FEA también es valioso en la optimización de diseños. Al modificar virtualmente la geometría o los materiales, los ingenieros pueden evaluar rápidamente cómo estas variaciones afectan el rendimiento estructural. Esto facilita la búsqueda de soluciones eficientes y la mejora continua de productos.

En resumen, el Análisis de Elementos Finitos es una herramienta esencial en la ingeniería moderna que permite a personas encargadas de los departamentos de diseño en el área automotriz a evaluar y mejorar virtualmente la resistencia y el rendimiento de estructuras y componentes. La capacidad de realizar análisis estáticos proporciona información valiosa para el diseño y la optimización de productos en una amplia variedad de aplicaciones industriales.

El proceso de Análisis de Elementos Finitos (FEA) para una barra de torsión implica una serie de pasos meticulosos para comprender su comportamiento bajo carga. En primer lugar, se inicia con la creación de un modelo geométrico tridimensional de la barra utilizando el software Inventor como se lo hizo en la sección anterior. Este modelo incluye detalles sobre la geometría de la barra, propiedades del material y condiciones de contorno. La discretización de la geometría en elementos finitos es crucial, dividiendo la barra en segmentos más pequeños para representar con precisión su forma y permitir el análisis detallado de tensiones y deformaciones.

Una vez que se ha establecido el modelo 3D, se aplican las condiciones de carga y restricciones pertinentes a la barra de torsión. Estas condiciones pueden incluir momentos torsionales y fijaciones en los extremos. El software Inventor de FEA resuelve entonces las ecuaciones matemáticas derivadas de las leyes de la mecánica de torsión, calculando las distribuciones de esfuerzos y deformaciones en toda la barra. Las visualizaciones resultantes proporcionan información crucial sobre áreas críticas donde las tensiones son más altas, lo que permite a los ingenieros realizar ajustes de diseño para mejorar la resistencia y el rendimiento de la barra de torsión como resultado de su proceso de cálculo generado por el programa computacional.

En definitiva, el proceso de FEA para una barra de torsión implica la creación de un modelo tridimensional, la discretización en elementos finitos, la aplicación de condiciones de carga y restricciones, y finalmente, la resolución numérica para evaluar las tensiones y deformaciones. Este enfoque analítico permite en el presente estudio comprender y optimizar la capacidad de torsión de la barra de manera virtual antes de la fabricación física.

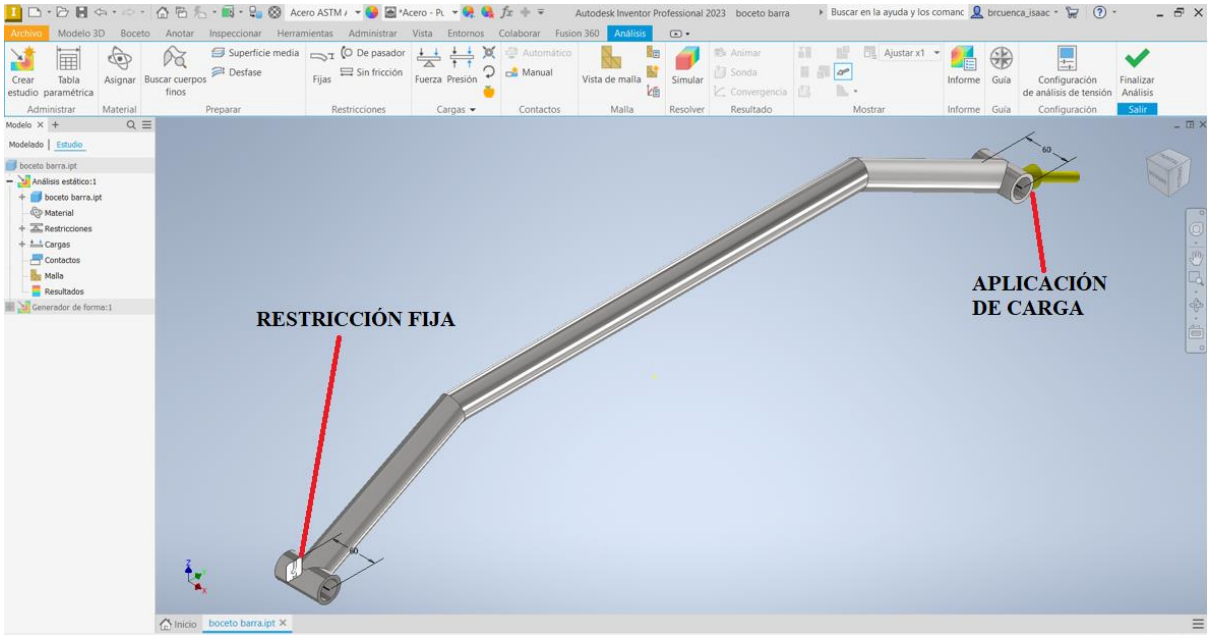
Esta segunda fase se presenta de la siguiente manera:

La preparación de las pruebas de esfuerzos a las que será sometida la barra de torsión para el vehículo biplaza en la que se generan una condición de restricción en un extremo de la barra como se muestra en la figura 14 y las condiciones de cargas se las aplica en el otro extremo de la barra lo que simula los esfuerzos a los que será sometido como lo son los siguientes:

Restricción del tipo fija se encuentra ubicada a un extremo lateral de la barra de torsión la cual está a una distancia de 60 mm del lateral del buje transversal y con la conexión del punto centro de la barra de torsión, y por el otro extremo se encuentra colocada la carga o esfuerzo, teniendo en cuenta la dirección a la que va a actuar las cargas al momento de simular la acción.

Figura 14

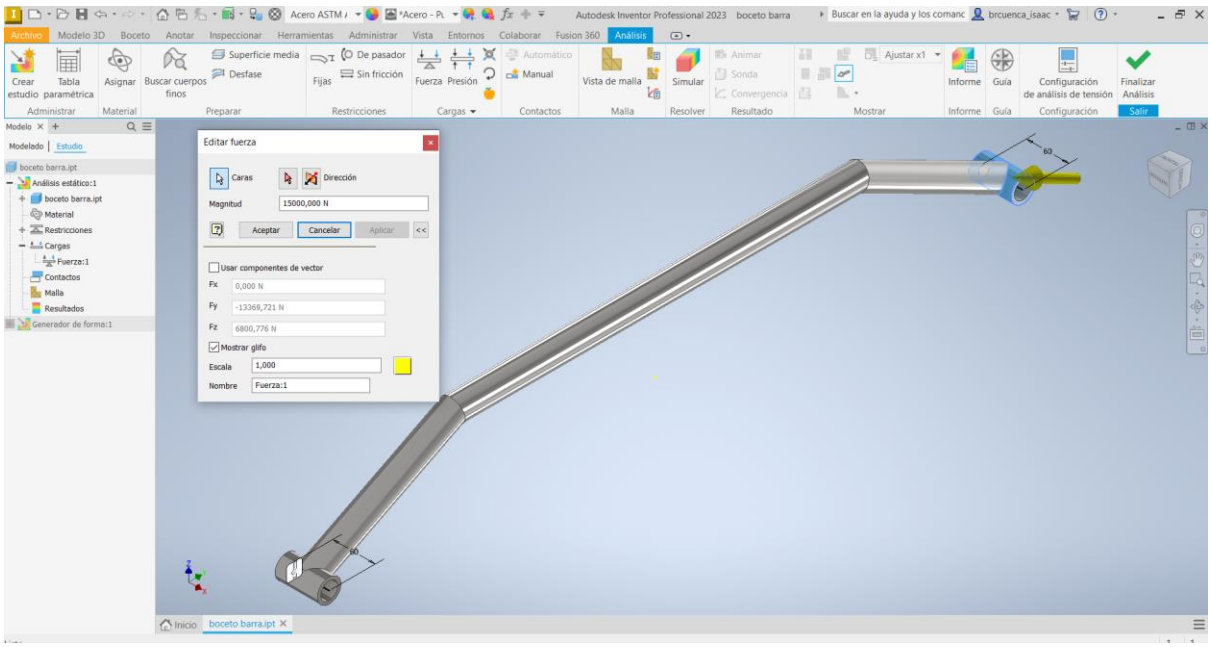
Determinación de Puntos de Restricción y Carga



Una vez determinado los puntos de restricción y carga se procede a la colocación de los valores de carga para lo cual este proceso se puede apreciar en la figura 15.

Figura 15

Designación de Valores de Carga



Por lo que al momento de se determina los valores de carga y el tipo de carga se desplaza una interfaz en la que se selecciona la dirección y sobre la cara a la que va a actuar

el esfuerzo, así como la magnitud la misma que para el presente estudio es de 15000 N con una escala de 1:1 para lo cual se le nombró fuerza:1.

3.6.1. Proceso de Mallado de Barra de Torsión

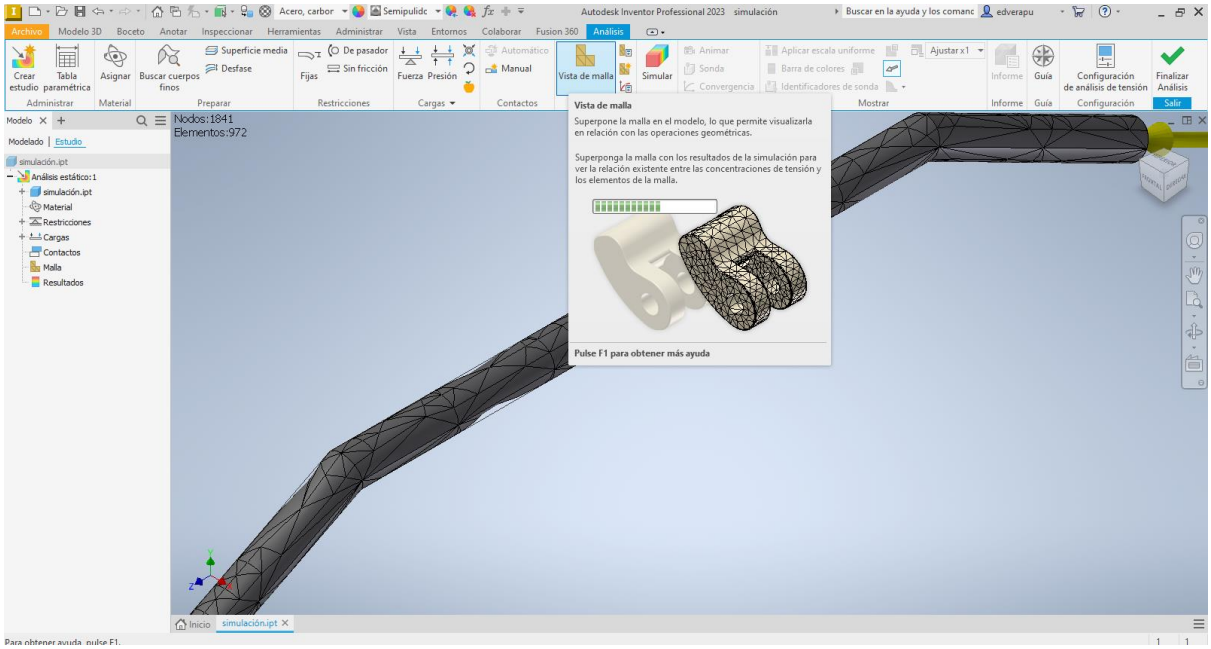
El proceso de mallado en el diseño de la barra de torsión es una fase crítica en el análisis de elementos finitos (FEA) que involucra la subdivisión de la geometría en elementos más pequeños para facilitar los cálculos numéricos. En primer lugar, se importa el modelo tridimensional de la barra de torsión al software Inventor previo al inicio de la fase de simulación. Este modelo geométrico detallado se divide en una malla de elementos finitos, donde cada elemento representa una porción específica de la geometría. En la presente fase del estudio se selecciona el tipo adecuado de elementos para garantizar una representación precisa del comportamiento de la barra de torsión en condiciones de carga y de sus puntos de restricción.

Durante el proceso de mallado, se deben considerar varios factores, como la densidad de la malla y la calidad de los elementos. Una malla más fina proporciona resultados más precisos, pero aumenta el costo computacional o uso de recursos y su tiempo de procesamiento aumenta y también debe ayudar las características del computador caso contrario puede llegar a colapsar el proceso. La elección del tamaño y tipo de elemento depende de la complejidad del diseño y de las características específicas del análisis a realizar. Un buen mallado es fundamental para obtener resultados confiables en el análisis de la barra de torsión, permitiendo una representación adecuada de las tensiones y deformaciones en toda la estructura. Este proceso sienta las bases para un análisis de elementos finitos efectivo, proporcionando información crucial para el diseño y la optimización de la barra de torsión en función de sus aplicaciones específicas, bajo estos criterios se considera las recomendaciones del software para nuestro estudio por el motivo

que el elemento es estudio posee una geometría de menor complejidad, esto se puede apreciar claramente en la figura 16.

Figura 16

Mallado de la Barra de Torsión



3.6.2. Generación de Simulación de Fuerzas y Obtención de Resultados

Una vez generada la fase del mallado se procede a realizar la fase de simulación en la que el programa Inventos bajo todos los datos ingresados los procesa y presente los resultados del proceso FEA entre los que se tienen:

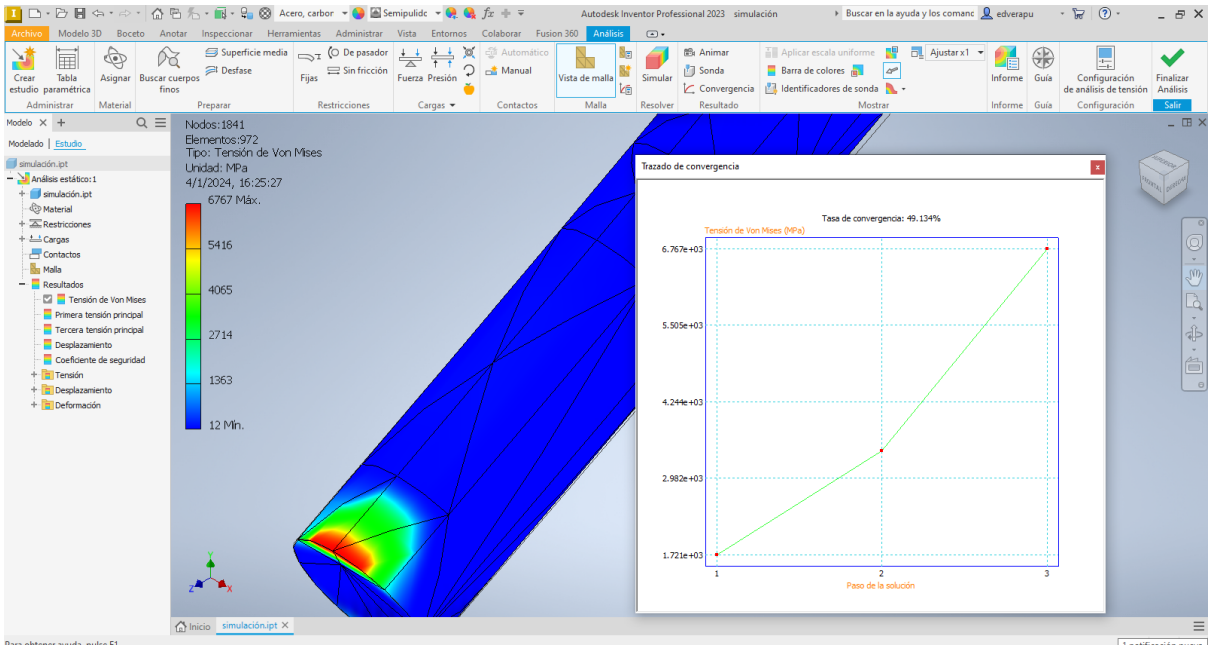
3.6.3. Tensión de Von Mises

La tensión de Von Mises en una barra de torsión representa la combinación de tensiones cortantes y normales, proporcionando una medida efectiva del esfuerzo equivalente que actúa en el material. Para este tipo de barra la cual está sometida a torsión, donde las tensiones varían a lo largo de su sección transversal, la tensión de Von Mises ofrece una evaluación simplificada del esfuerzo resultante. Este parámetro es fundamental para determinar la capacidad de carga y diseñar estructuras torsionales eficientes, ya que considera la combinación de tensiones que podrían inducir fallos por deformación plástica en el material, brindando una visión integral de la resistencia estructural, para el presente estudio el

resultado obtenido es de un valor máximo de 6767 MPa el mismo que se encuentra ubicado en la sección superior del punto de la restricción fija de la barra la misma que es visible de color rojo como se muestra en la figura 17.

Figura 17

Resultado de Tensión de Von Mises



3.6.4. Resultado de Desplazamiento de la Barra de Torsión

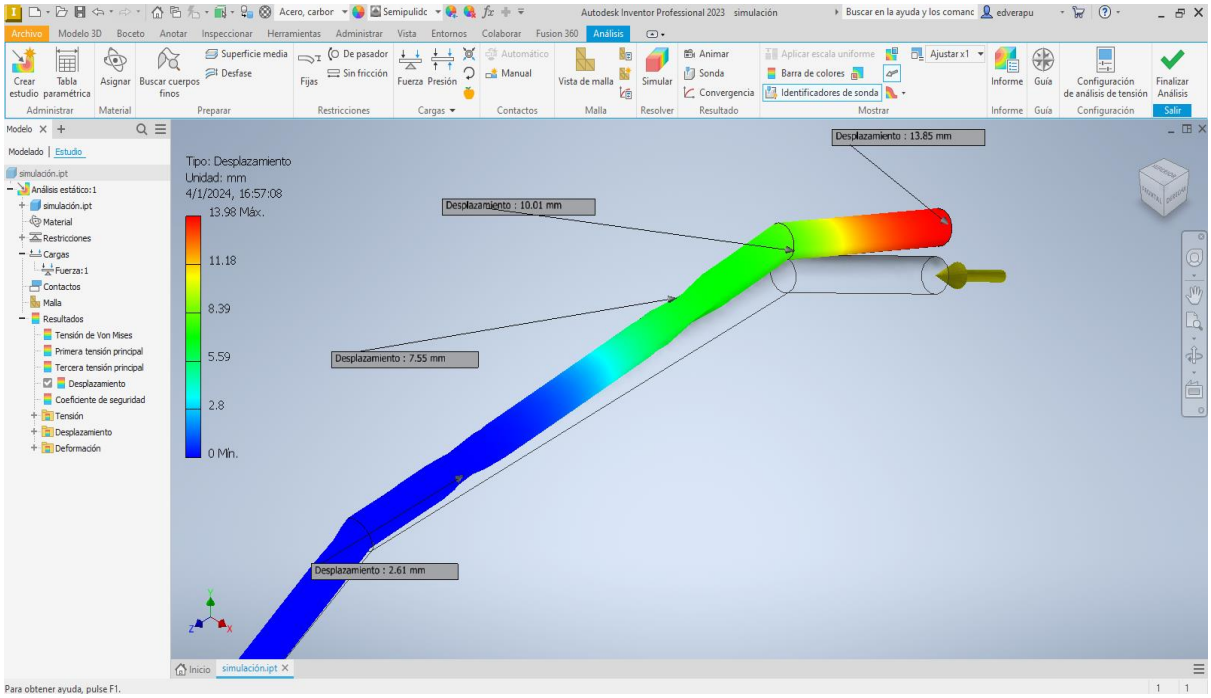
Los resultados del análisis de elementos finitos revelaron los desplazamientos de la barra de torsión bajo cargas específicas. Se observaron deformaciones y rotaciones en la estructura, proporcionando una comprensión detallada de su comportamiento bajo diferentes condiciones de carga estática. Estos desplazamientos son críticos para evaluar la integridad estructural y pueden influir en el rendimiento global del sistema. La información obtenida guiará ajustes en el diseño para optimizar la resistencia y eficiencia de la barra de torsión, contribuyendo así a la mejora continua y al cumplimiento de los requisitos de ingeniería específicos.

Se puede apreciar en la figura 18 como de manera progresiva se va generando los desplazamientos de la simulación de la barra en la que como desplazamiento máximo

combinado se tiene un resultado de 13.98 mm en el extremo opuesto a la restricción de fijación.

Figura 18

Resultado de Deformación Combinada



3.6.5. Resultados del Coeficiente de Seguridad

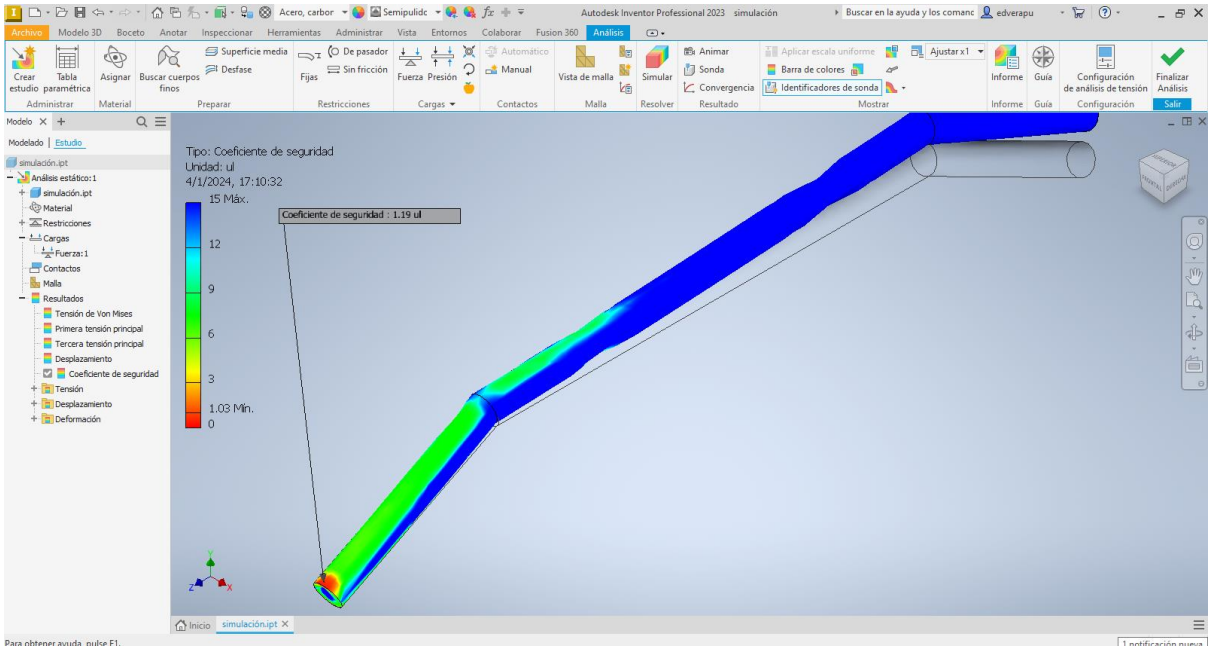
Los resultados del análisis de elementos finitos sobre la barra de torsión del vehículo prototipo biplaza tubular revelan un coeficiente de seguridad mínimo de 1.03 para la barra de torsión.

Este valor, aunque ligeramente superior al umbral crítico de 1.0, sugiere una proximidad a las condiciones límite de seguridad. La interpretación de este resultado indica que la barra de torsión podría experimentar tensiones cercanas al límite de la capacidad de carga, destacando la necesidad de una evaluación cuidadosa y posibles ajustes en el diseño para garantizar un margen de seguridad adecuado y prevenir posibles fallas bajo condiciones operativas variadas.

Este resultado de manera clara se puede apreciar en la figura 19.

Figura 19

Resultado de Coeficiente de Seguridad



3.6.6. Simulación de Momentos y Obtención de Resultados

La simulación de momentos torsionales en una barra de torsión es fundamental para comprender y optimizar el comportamiento mecánico de esta componente en diversas aplicaciones, desde suspensiones de vehículos hasta sistemas de transmisión de energía. Este tipo de simulación se lleva a cabo mediante el Análisis de Elementos Finitos (FEA), una técnica numérica avanzada que permite modelar virtualmente estructuras complejas y prever su respuesta ante cargas y condiciones específicas.

En el contexto de una barra de torsión, esta componente se somete a momentos torsionales cuando es torsionada alrededor de su eje longitudinal. El objetivo de la simulación es evaluar cómo responde la barra a estos momentos, identificando áreas de alta tensión, deformación y posibles puntos críticos. Este proceso es crucial para garantizar la integridad estructural y el rendimiento óptimo de la barra en situaciones de carga real.

Durante la simulación, se modela la geometría tridimensional de la barra de torsión y se aplican las condiciones de carga correspondientes a los momentos torsionales esperados. Estas condiciones pueden surgir de fuerzas externas o del entorno operativo, como el

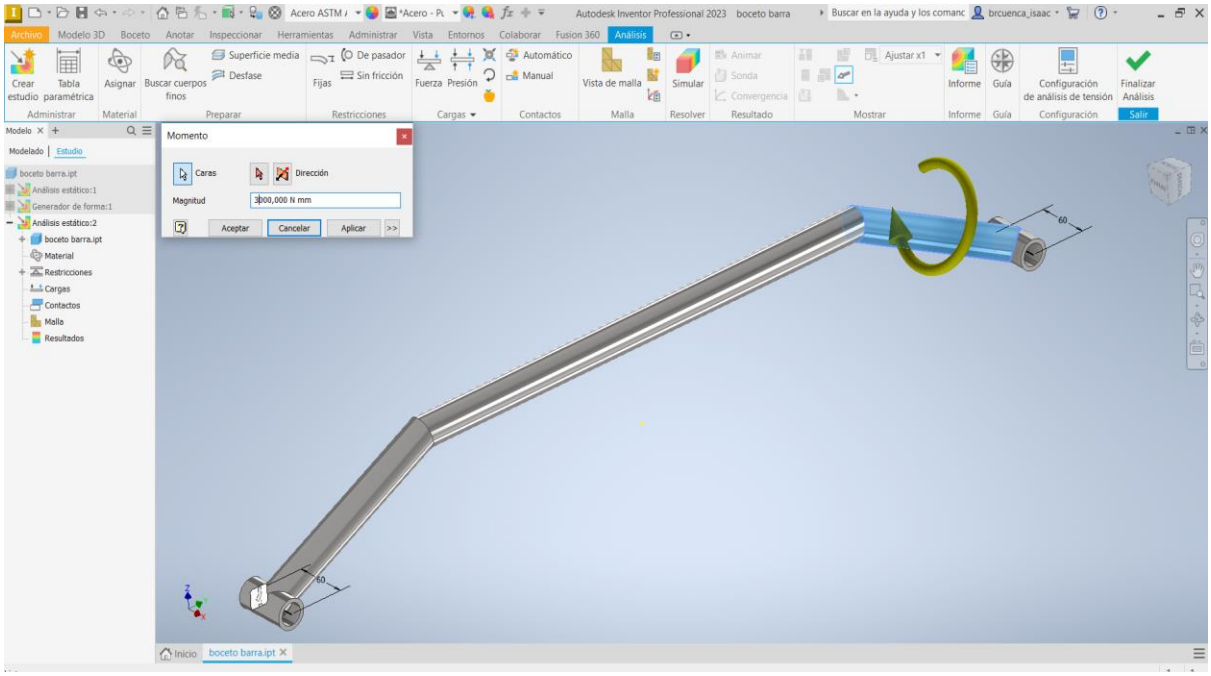
movimiento de un vehículo o la transmisión de energía a través de la barra. Además, se incorporan propiedades materiales, como la elasticidad y resistencia del material de la barra, para obtener resultados más precisos.

Inventor con su software de FEA resuelve las ecuaciones matemáticas que describen el comportamiento de la barra de torsión bajo carga, proporcionando información detallada sobre las tensiones, deformaciones y desplazamientos en toda la estructura. Las visualizaciones resultantes permiten identificar áreas críticas, donde los momentos torsionales generan mayores esfuerzos, y tomar decisiones informadas sobre el diseño y los materiales.

La simulación de momentos torsionales es especialmente valiosa en el diseño de sistemas de suspensión de vehículos, donde las barras de torsión desempeñan un papel crucial en la estabilidad y el manejo. Al simular diferentes escenarios de carga, de la misma forma se los puede ajustar la geometría y los materiales de la barra para optimizar la resistencia y minimizar el peso, contribuyendo así a un rendimiento vehicular eficiente y seguro, esto se puede ver de forma correcta en la figura 20.

Figura 20

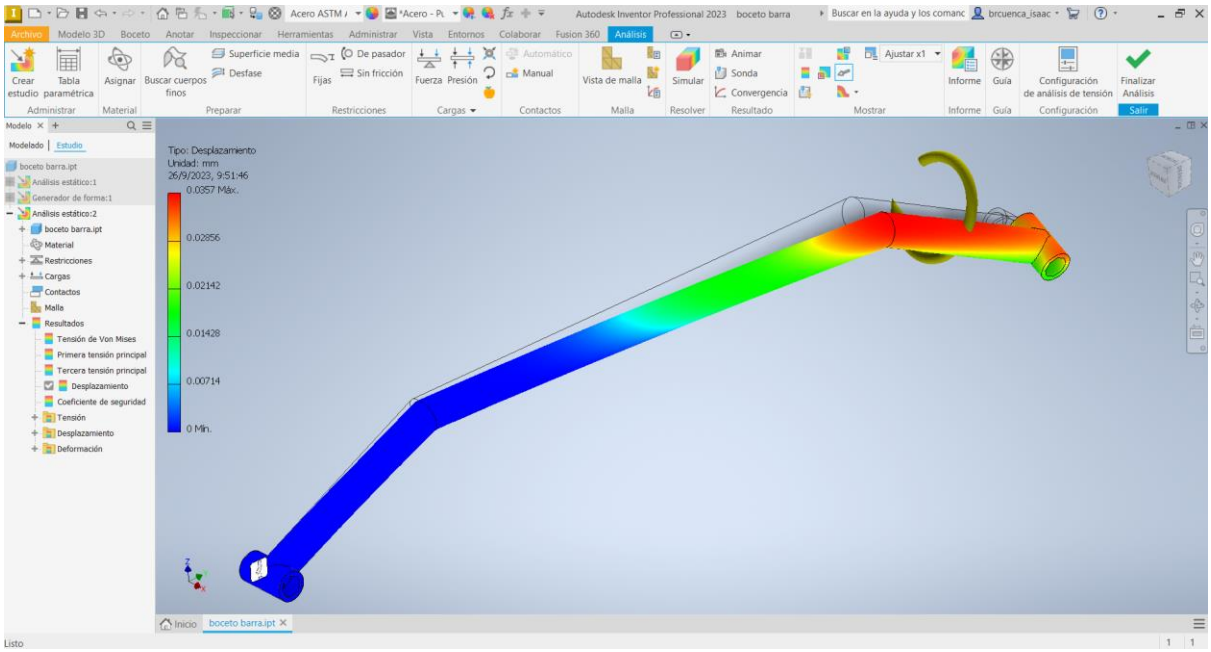
Simulación de Momento



En este proceso se aplica el esfuerzo de momento de torsión en la sección final de la barra de torsión con un valor de 3000 N-mm, conservando las condiciones iniciales del proceso y luego del mismo se envía a generar la simulación, como se puede observar en la figura 21.

Figura 21

Resultado de la Simulación de Momento



Obteniendo como resultado máximo de desplazamiento torsional de la barra provocado por el momento que es de 0.036 mm.

De esta manera se finaliza la fase de simulación de los esfuerzos de cargas normales pero el presente estudio no finaliza en este proceso, sino que continua con la generación de disminución de masa del elemento a través de la optimización topológica.

3.7. Optimización Topológica Sobre Barra de Torsión

La generación de optimización topológica en una barra de torsión de un vehículo prototipo tubular es un proceso fundamental en el diseño de estructuras mecánicas eficientes y livianas. Este enfoque combina la ingeniería avanzada con la simulación numérica para lograr una distribución óptima de material, mejorando así el rendimiento de la barra de torsión en términos de peso y resistencia.

La barra de torsión es un componente clave en la suspensión de este tipo de vehículo, diseñada para resistir las fuerzas de torsión generadas durante la conducción. La optimización topológica busca redistribuir material en la estructura de la barra de torsión de manera que cumpla con los requisitos de resistencia y rigidez, al tiempo que minimiza el peso total.

El proceso comienza con la creación de un modelo tridimensional de la barra de torsión en un entorno de software de diseño asistido por computadora (CAD), para lo cual hasta esta sección de capítulo ya se lo tiene desarrollado. Este modelo incluye detalles geométricos y propiedades materiales. La topología inicial de la barra de torsión se establece con una distribución uniforme de material.

La simulación de elementos finitos (FEA) es una herramienta esencial en la optimización topológica. Se aplican cargas y restricciones representativas de las condiciones de funcionamiento del vehículo, como fuerzas de torsión y compresión. La simulación FEA evalúa la respuesta estructural de la barra de torsión y calcula las tensiones y deformaciones en toda la estructura.

La optimización topológica busca identificar áreas de material redundante o subutilizado en la barra de torsión. Utilizando algoritmos y técnicas especializadas, el software de optimización ajusta automáticamente la distribución de material para minimizar las tensiones y reducir el peso total. Este proceso iterativo se repite hasta alcanzar una configuración que cumpla con los criterios de rendimiento establecidos.

La principal ventaja de la optimización topológica es su capacidad para generar diseños innovadores y eficientes que podrían no ser intuitivos para un diseñador humano. Al permitir que el software explore una amplia variedad de configuraciones, se pueden descubrir soluciones óptimas que conducen a un uso más eficiente de los materiales y, por lo tanto, a una reducción significativa del peso sin comprometer la integridad estructural.

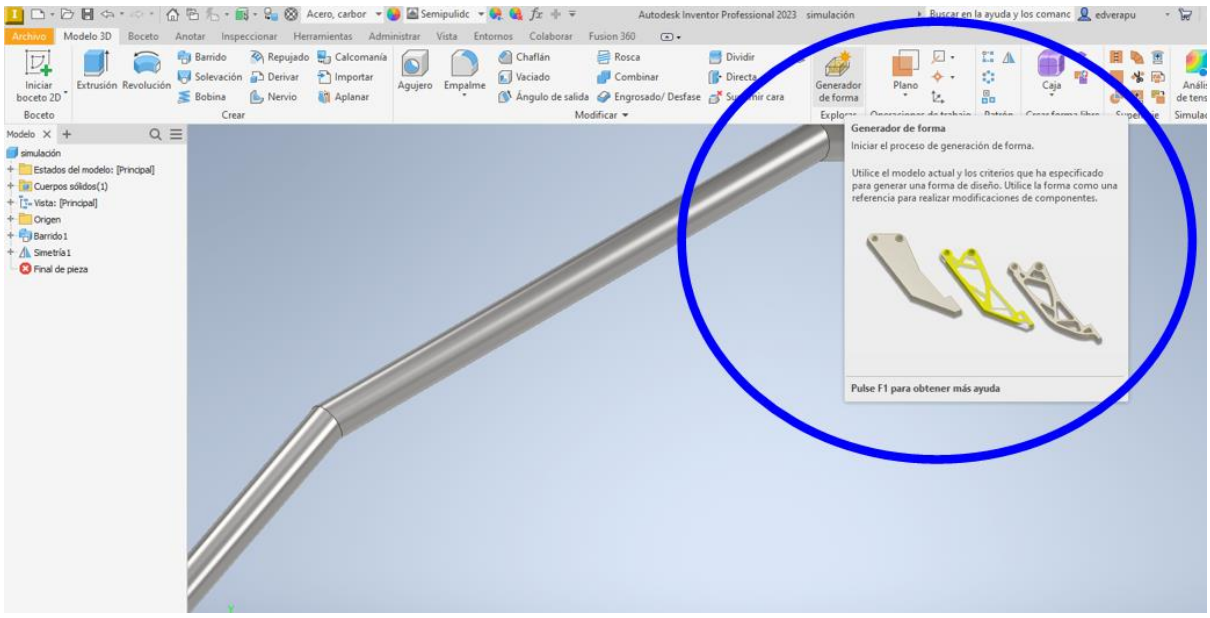
La optimización topológica también contribuye a la sostenibilidad al reducir el consumo de materiales y mejorar la eficiencia del vehículo, lo que, a su vez, puede conducir a un menor consumo de combustible y emisiones de gases de efecto invernadero.

En definitiva, este tipo de metodología de generación de optimización topológica en una barra de torsión de un vehículo prototipo tubular es un proceso integral que utiliza herramientas avanzadas de simulación y diseño asistido por computadora. Este enfoque innovador permite crear estructuras más ligeras y eficientes, contribuyendo a la mejora del rendimiento y la sostenibilidad en la industria automotriz y en otros campos donde la optimización estructural es crucial.

Para iniciar con esta nueva fase del proceso metodológico del presente estudio el programa Inventos brinda la herramienta de generación de forma que es la que se muestra en la figura 22.

Figura 22

Herramienta de Generación de Forma en Inventor



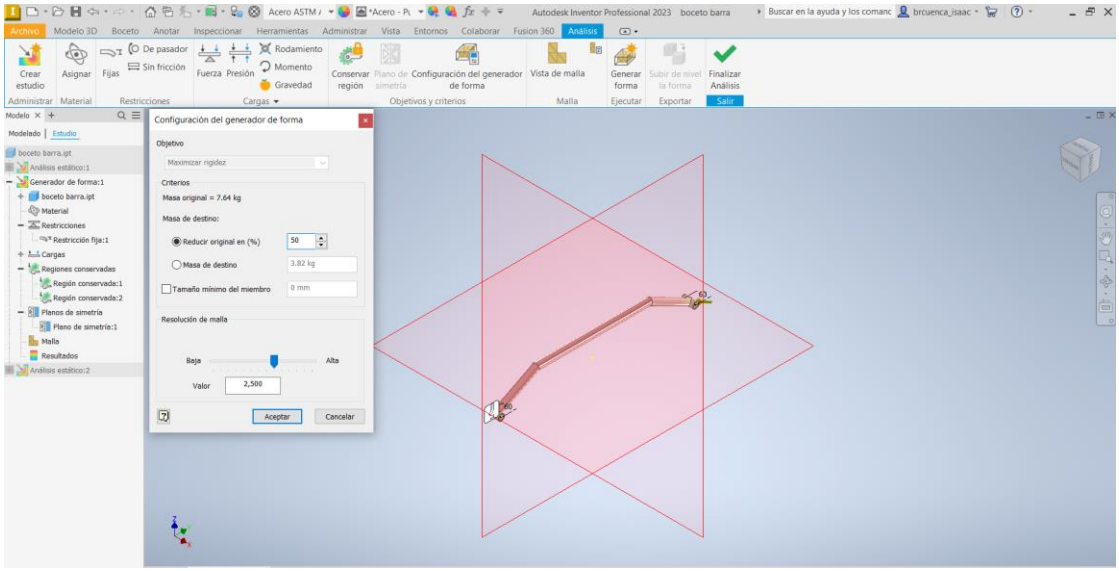
Posteriormente se procede a la configuración de los parámetros para la generación de forma o también conocido como optimización topológica, que para este caso es la barra de torsión.

Dentro de los valores a ingresar en la configuración inicial de este proceso están los siguientes y se pueden ver en la figura 23, teniendo en cuenta que son para una prueba inicial:

- Como objetivo se considera a la maximación de la rigidez del elemento
- Factor de reducción de masa en comparación con la del elemento original
- Resolución de la malla para el proceso

Figura 23

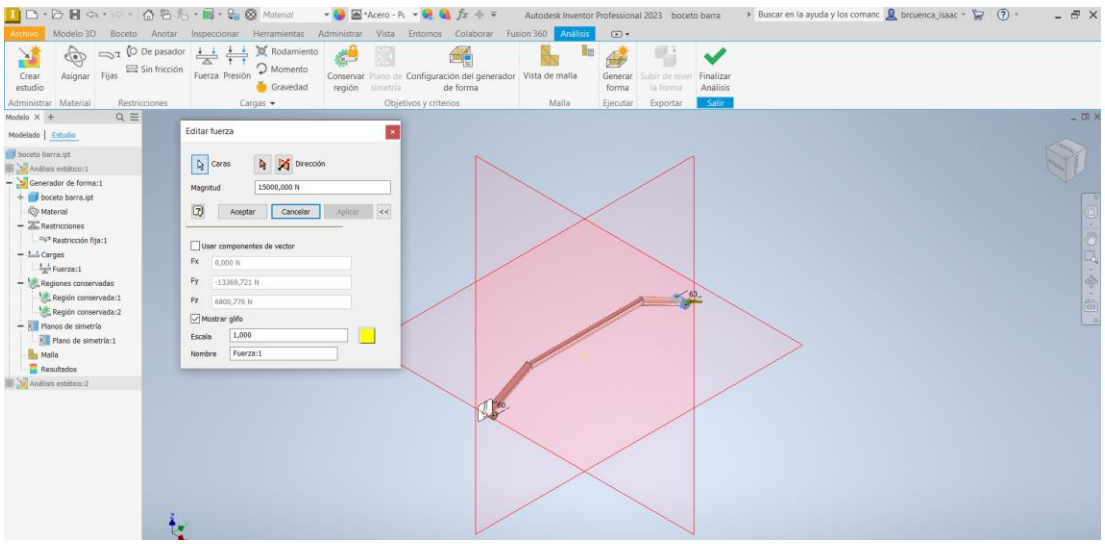
Configuración del Generador de Forma



Posteriormente se editan las magnitudes de fuerzas o se mantienen los mismos parámetros de la simulación inicial como se muestra en la figura 24.

Figura 24

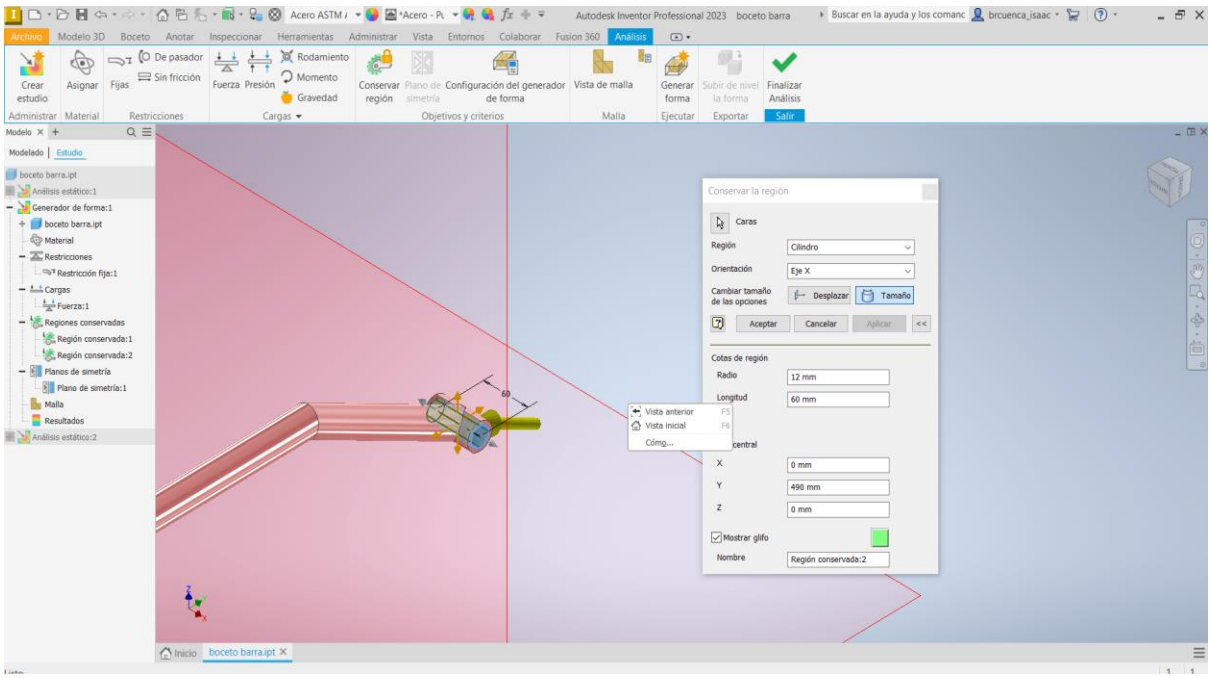
Edición de Fuerzas



Posteriormente se procede a la selección o conservación de las regiones sobre las cuales no se requiere que se genere la optimización topológica siendo esta generación de una nueva forma con secciones de conservación la cual implica la creación de un diseño innovador que preserve elementos esenciales. Este enfoque busca integrar cambios estructurales o estilísticos sin comprometer aspectos críticos de la nueva barra de torsión. Al incorporar secciones de conservación, se asegura la retención de características fundamentales, garantizando la continuidad y la coherencia. Este proceso creativo y funcional es esencial para el desarrollo de productos, arquitectura o cualquier disciplina que requiera la evolución de formas sin perder la esencia original, para el presente estudio se conservará las bases de anclaje que se encuentra en sus extremos como se puede apreciar de manera clara en la figura 25.

Figura 25

Conservación de Secciones

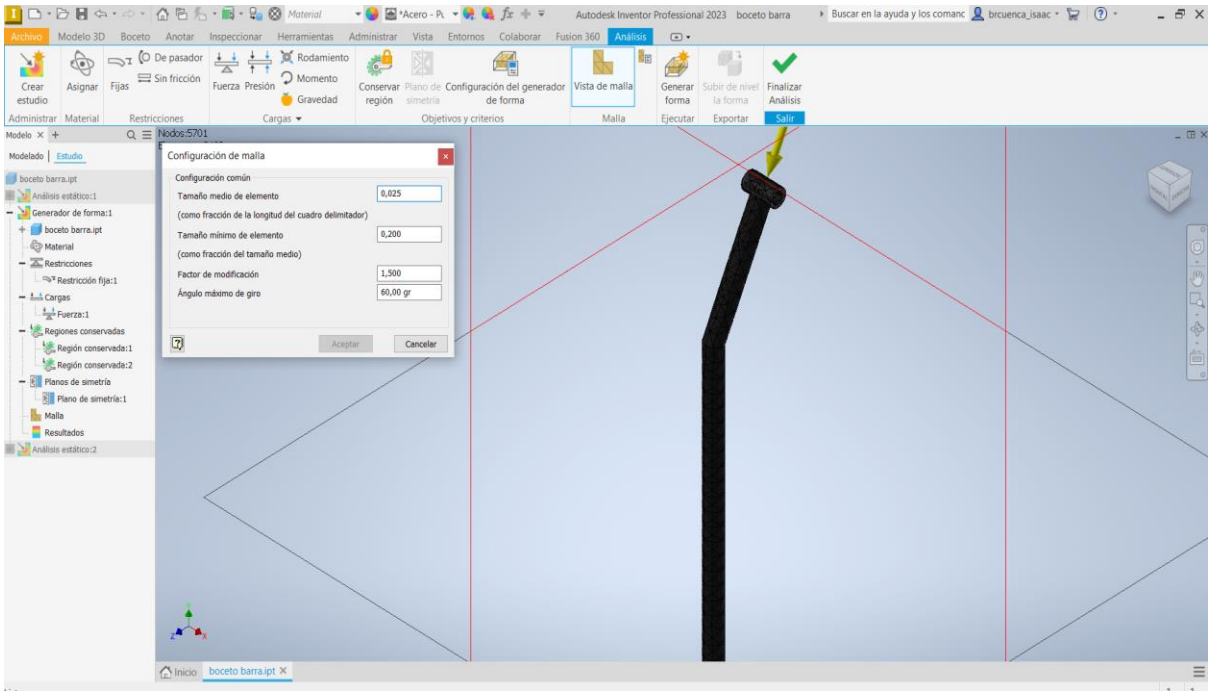


Luego para continuar con el proceso se vuelve a configurar el tipo de mallado como se muestra en la figura 26, para lo cual en este ejercicio planteado se lo realizó con los siguientes parámetros:

- Tamaño medio del elemento: 0.025
- Tamaño mínimo del elemento: 0.200
- Factor de modificación: 1.500
- Ángulo máximo de giro: 60 °

Figura 26

Configuración de Parámetros para el Mallado



Una vez generado el mallado se procede a generar la simulación de la optimización topológica obteniendo de esta manera el resultado de las áreas recomendadas para ser modificadas o eliminadas como se puede ver en la figura 27.

Teniendo en cuenta que los resultados que por medio del programa Inventor el cual aplica el proceso de análisis de elementos finitos con la optimización topológica fueron los siguientes:

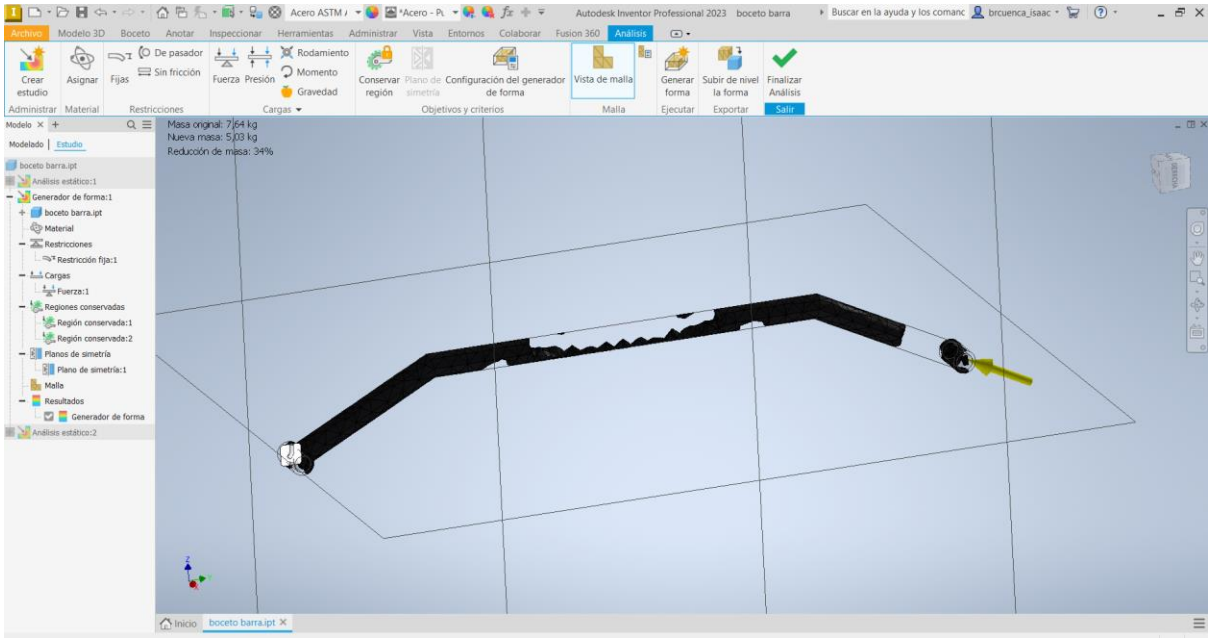
Masa original: 7.64 kg

Nueva masa: 5.03 kg

Reducción de masa: 34 %

Figura 27

Resultado de la Optimización Topológica en Barra de Torsión



Esta fase es de mucha importancia por el motivo que nos permite generar un reproceso del diseño con lo que se procede a modificar la barra de torsión original con disminución de secciones en donde nos indica el software Inventor, para lo cual podemos generar formas geométricas u orgánicas. Para de esta manera mejorar la eficiencia estructural al redistribuir material de manera óptima.

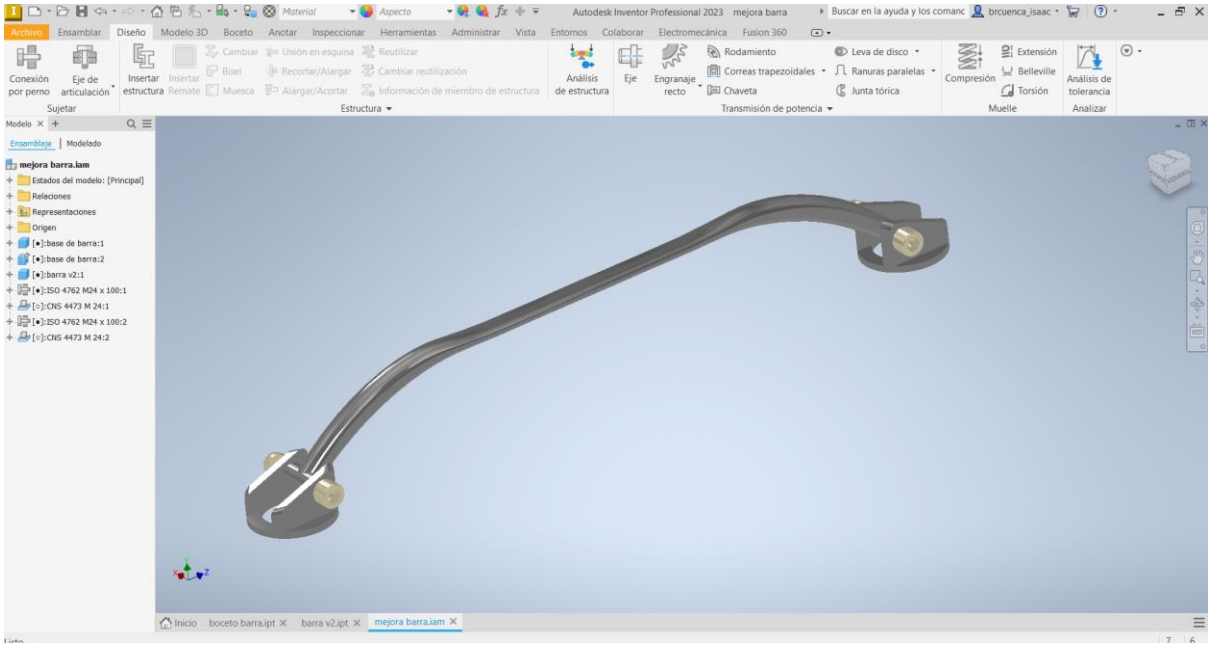
Así mismo la topología se ajusta iterativamente, generando geometrías eficientes y optimizadas. Este enfoque avanzado impulsa la innovación en diseño de los distintos tipos de barras de torsión de demás componentes automotrices y reduce el consumo de recursos, destacando su aplicación en campos como la ingeniería automotriz para crear estructuras más ligeras y resistentes.

Una vez realizadas las respectivas modificaciones de forma se llegó a obtener una barra de torsión ya no completamente cilíndrica si no que con cierta planitud en la parte central con lo que se logra una disminución considerable de la masa y a su vez conservando todas sus características estructurales.

En la figura 28 se muestra el resultado final de la barra de torsión la cual será aplicada al vehículo prototipo tubular.

Figura 28

Forma Final de Barra de Torsión



Capítulo IV

Análisis de Resultados

4.1. Análisis de los Datos Obtenidos

El análisis de resultados tras la implementación de la optimización topológica revela avances significativos, destacando una notable reducción del 34 % en la masa del componente analizado que para este caso es la barra de torsión para un vehículo prototipo tubular biplaza. Este logro no solo representa un éxito en términos de eficiencia estructural, sino que también tiene implicaciones prácticas sustanciales en diversas industrias sobre todo de la automotriz.

La optimización topológica, basada en métodos avanzados como el Método de los Elementos Finitos (FEA), ha permitido una reconfiguración estratégica de la distribución de material en la estructura. Este proceso se fundamenta en la capacidad de identificar áreas críticas y redundantes, ajustando la topología para maximizar la eficiencia sin comprometer la integridad estructural. La integración de algoritmos evolutivos y procesos iterativos contribuye a refinar la geometría de manera continua, llevando a soluciones que optimizan el rendimiento del componente.

La reducción significativa del 34% en la masa es un indicador clave del éxito de la optimización topológica. Este logro tiene implicaciones directas en la industria automotriz, ya que la disminución del peso de los componentes puede traducirse en mejoras sustanciales en el rendimiento general de sistemas complejos. En sectores como en el área automotriz, donde la reducción de peso se traduce directamente en eficiencia del combustible y capacidad de carga mejorada, este resultado podría tener un impacto significativo en la competitividad y sostenibilidad del futuro de los automóviles.

Además del aspecto cuantitativo, el análisis de resultados debe considerar la calidad y distribución de las tensiones en la estructura optimizada. La optimización topológica no solo

se trata de reducir la masa, sino también de garantizar que el componente resultante cumpla con los requisitos de resistencia y durabilidad. Los mapas de tensiones generados mediante el FEA proporcionan una visión detallada de cómo se distribuyen las cargas a través del componente optimizado, permitiendo evaluar la integridad estructural en diferentes condiciones de carga.

Otro aspecto crucial para considerar en el análisis de resultados es la viabilidad práctica de la nueva geometría optimizada. Es esencial evaluar si la forma resultante es fabricable y cumple con los requisitos de producción. La optimización topológica a veces puede generar geometrías complejas que pueden plantear desafíos en términos de procesos de fabricación y costos. Es importante equilibrar la optimización con la viabilidad práctica para garantizar una implementación exitosa en entornos industriales.

En definitiva, el análisis de resultados de la optimización topológica que condujo a una reducción del 34% en la masa revela un éxito notable en términos de eficiencia estructural de la barra de torsión. Este logro no solo tiene implicaciones cuantitativas, como la mejora del rendimiento y la eficiencia, sino que también destaca la capacidad de la optimización topológica para generar soluciones innovadoras y sostenibles en diversas aplicaciones automotrices. El proceso continuo de refinamiento y validación garantiza que los beneficios obtenidos sean duraderos y aplicables en contextos prácticos, así como en la aplicación de proyectos investigativos.

4.1.1. Análisis de los Valores Obtenidos de la Simulación Estructural

Luego de haber obtenido los resultados por parte de la simulación a través del software Inventor es en esta sección se procede a realizar el análisis de la misma.

En la Tabla 1 se puede observar de una manera consolidada cada una de las propiedades físicas de la barra de torsión.

Tabla 1

Propiedades Físicas después de la Simulación y Característica de la Malla

Descripción	Resultado
Material	Acero, carbono
Densidad	7.85 g/cm^3
Masa	7.3409 kg
Área	111834 mm^2
Volumen	935158 mm^3
Tamaño de malla	0.1 mm
Tamaño mínimo de elemento de malla	0.2 mm
Factor de modificación	1.5
Ángulo máximo de giro	60°

En la tabla 2 se muestran los resultados de todo lo que corresponde al análisis de la simulación estructural de la barra de torsión la cual es aplicada al prototipo de vehículo tubular biplaza.

Tabla 2

Resumen de los Resultados de la Simulación

Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	935158 mm^3	
Masa	7.34099 kg	
Masa con Optimización Topológica	5.03 kg	
Reducción de la masa	34 %	
Tensión de Von Mises	1.17 MPa	676.637 MPa
Desplazamiento	0 mm	13.98 mm
Coeficiente de seguridad	1.03	15

Bajo estos resultados se puede indicar lo siguiente:

En lo concerniente a el valor de la masa inicial se considera que la barra de torsión de acuerdo a los parámetros que establecen los fabricantes se encuentra dentro de los parámetros normales que para el presente caso es de 7.34 kg, pero con una barra en la que su forma es completamente cilíndrica con ciertas inclinaciones en los extremos más las bases de anclaje, pero a través del presente estudio y con la metodología de optimización topológica se alcanzó una modificación de la forma geométrica reduciendo la masa a un valor de 5.03 kg, consiguiendo de esta manera una reducción del 34 % lo que represente un valor muy importante de no solo para este elemento sino para todo el conjunto del vehículo mejorando así su eficiencia sin disminuir su desempeño.

Otro factor importante es la forma geométrica que se logra con este tipo de metodología, para lo cual la barra queda con cierta planitud en la parte superior e inferior, pero sin debilitar o disminuir sus características estructurales en su desempeño dentro del mecanismo de suspensión del vehículo prototipo.

Continuando con el análisis de los otros resultados se tiene el de Tensión de Von Mises para el cual es de un valor máximo de 676.637 MPa el cual se encuentra ubicado en extremo de la restricción de fijación para lo cual se convierte en un punto crítico, pero está dentro de los parámetros normales para su desempeño sin que la estructura sufra desperfectos dentro de su desempeño propio del mecanismo.

En lo concerniente al desplazamiento al momento de aplicar la simulación se obtuvo como máximo un valor de 13.98 mm y es muy correcto además que esta distancia es la mínima a considerar al momento de diseñar la carrocería del vehículo o de la ubicación del resto de elementos que se encuentran alrededor de este componente.

Finalmente, en lo que concierne al factor de seguridad este se encuentra al límite por lo que si valor es de 1.03 esto quiere decir que es ligeramente mayor 1, por lo que se considera permisible en el diseño, pero se puede mejorar para evitar algún tipo de fractura.

Conclusiones

Por medio del presente estudio investigativo se diseñó una barra estabilizadora eficiente direccionada a ser aplicada sobre la estructura de un vehículo prototipo tipo biplaza tubular mediante la metodología de optimización topológica lo que se traduce en el mejoramiento del sistema de suspensión y estabilidad del vehículo.

Así mismo se definió la comparativa y nueva forma geometría de esta barra estabilizadora logrando que sea aplanada en su parte superior e inferior, pero con la metodología aplicada se conserva cada una de las propiedades materiales iniciales de una barra estabilizadora para prototipo biplaza, así como de su estructura dentro de su desempeño.

Se realizó un análisis detallado de cada una de las cargas y condiciones de contorno que afectan a la barra estabilizadora del vehículo prototipo biplaza, para lo cual todos los resultados fueron favorables como lo es los siguientes: Con la metodología de optimización topológica se generó una modificación de la geometría de la barra y redujo su masa en un 34 % ya que pasó de 7.3 kg inicialmente a 5.03 kg, en lo concerniente a la Tensión de Von Mises esta concentración de esfuerzo se dio en el extremo de la barra donde se consideró como punto de anclaje o fijación siendo su valor máximo de 676.6 MPa.

En la parte de desplazamientos acumulados este fue de 13.98 mm que de igual manera se encuentra dentro de lo permitido, pero con la precaución que al momento de diseñar la carrocería o elementos que se encuentren a su alrededor este valor debe ser tomado en cuenta este factor.

En cuanto al valor más crítico analizado con el presente trabajo investigativo es el coeficiente de seguridad ya que dio de 1,03 y se lo considera al límite por lo que este debe ser mayor a 1, pero se encuentra muy cercano y se convierte en un valor a ser considerado como importante.

Finalmente se generó un modelo tridimensional de la barra de torsión destinada a funcionar en un vehículo prototipo biplaza por medio del software de ingeniería asistida por ordenador como lo es Inventor y con la ayuda del proceso de análisis de elementos finitos y la metodología de optimización topológica se puedo desarrollar el presente trabajo investigativo.

Recomendaciones

Se recomienda realizar una validación experimental rigurosa de los resultados obtenidos mediante simulaciones de elementos finitos y optimización topológica. La comparación de los datos simulados con pruebas físicas en un entorno controlado proporcionará una validación adicional de la precisión del modelo y garantizará que los hallazgos sean aplicables en situaciones del mundo real.

Se considera realizar procesos adicionales de optimización topológica para explorar posibles mejoras continuas sobre todo en formas geométricas u orgánicas. Las herramientas de optimización suelen permitir ajustar los objetivos y restricciones del diseño de la barra de torsión.

Por último, se recomienda emplear software especializado en optimización topológica, como Inventor, Solidworks o ANSYS Topology Optimization. Estas herramientas ofrecen algoritmos avanzados y capacidades de análisis de elementos finitos para optimizar la forma de la barra de torsión, maximizando su eficiencia estructural y minimizando el peso.

Bibliografía

Abasolo, M., Aguirrebeitia, J., Coria, I., & Heras, I. (2017). *Guía práctica de Elementos Finitos en Estática.* Madrid: Paraninfo.

Cabrera, J. (2017). *Propuesta de un material alternativo para la construcción de la barra estabilizadora delantera de la suspensión: Caso de estudio Chevrolet Aveo Family 1.5L.* Quito: UISEK.

Cañada, M., & Royo, R. (2016). *Termografía Infrarroja. Nivel II.* Madrid: Fundación Confemetal.

Carman. (13 de Febrero de 2014). *Carman Official Site*. Obtenido de https://grupocarman.com/blog/2014/02/13/solidworks-analisis-estatico/

Chipantasi, F. (2017). *Estudio y adaptación del sistema de suspensión para vehículo de rally.* Quito: UTE.

Coluccio, E. (16 de Julio de 2023). *Concepto*. Obtenido de https://concepto.de/transferencia-de-calor/

Cuenca, B. (2023). *Construcción de un prototipo monoplaza sobre base de chasis tubular del tipo auto de ruta.* Guayaquil: UIDE.

Domínguez, E., & Ferrer, J. (2013). *Elementos amovibles.* Madrid: Editex.

Enriquez, J., & Chávez, R. (2022). *Análisis mecánico y optimización topológica de una barra estabilizadora de un Grand Vitara 2.0L emplenado herramientas ffCAD/CAE para mejorar resistencia física.* Quito: UIDE.

Fernández, M., Guzmán, I., Vázquez, T., Michel, A., & Rojas, G. (2006). *Module 1: Meteorology and Climatology - Project: Training educators for the development of educational activities on climate change.* Cochabamba: Energética.

Fryśkowski, B. (2017). Electric field distribution in spark plugs insulators – modeling and computer simulation. *Diagnostyka*, 87-93.

Garzón, D., Roa, M., & Cortés, C. (2004). *Análisis por elementos finitos del proceso de regeneración ósea.* Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

Giménez, H. (2020). *Optimización topológica como medio de generación de ideas para el diseño de producto.* Valencia: UPV.

Hendrickson. (2008). *Barras de torsión de una y dos piezas y bujes de reemplazo.* México: Hendrickson.

Ibermática. (Agosto de 2023). *Ibermática an Ayasa company*. Obtenido de https://ibermaticaindustria.com/blog/diseno-generativo-y-la-optimizacion-topologica-en-la-plataforma-3dexperience/

Incropera, F., & DeWitt, D. (1999). *Fundamentos de transferencia de calor.* México: Prearson Prentice Hall.

Motorpasión. (2019). *Motorpasión*. Obtenido de Motorpasión: https://www.motorpasion.com/revision/funcionamiento-motor-combustion-paso-a-paso-video

Paucar, Á., & Sigüenza, A. (2016). *Termografía aplicada al diagnóstico de un motor Hyundai diésel 2.0 CRDI de combustión interna alternativo como técnica de mantenimeinto predictivo de fallos, provocados por el sistema de alimentación de combustible.* Quito: Escuela Politécnica Nacional.

Pérez, M. (2018). *Circuitos de fluidos. Suspensión y dirección.* Madrid: Paraninfo.

Perfectprime. (2023). *Perfectprime*. Obtenido de Perfectprime: https://perfectprime.com/

Riddell, R., & Hidalgo, P. (2015). *Fundamentos de ingeniería estructural para estudiantes de arquitectura.* Santiago de Chile: Ediciones UC.

Rodríguez, J., & Virgós, J. (1999). *Fundamentos de óptica ondulatoria.* Oviedo: Servicio de publicaciones, Universidad de Oviedo.

SKF. (2020). *SKF*. Obtenido de SKF: https://skf-la.com/conoce-los-fundamentos-de-la-termografia-infrarroja-y-mas-con-el-curso-de-skf/

Sobrino, J. (2001). *Teledetección.* Valencia: Servicio de Publicaciones, Universidad de Valencia.

Talleres, B. (2022). *Buscando Talleres*. Obtenido de Buscando Talleres: https://buscadordetalleres.com/blog/diferentes-tipos-de-sistemas-de-refrigeracion/

Vásquez, J. (2011). *Análisis y diseño de piezas con Catia V5* . Barcelona: Marcombo.

Vera, E. (2017). *Propuesta de diseño ergonómicoen butacas de vehículos monoplaza, para equipos ecuatorianos participantes de la Formula Student.* Quito: UISEK.

Zugarramurdi, A., & Parín, M. (1998). *Ingeniería económica aplicada a la industria pesquera.* Mar del Plata: DANIDA.