



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA ESTRUCTURA TIPO BASTIDOR CON LA
APLICACIÓN DE MATERIALES LIGEROS Y SIMULACIÓN CAE PARA UN
PROTOTIPO EFICIENTE EN EL CONSUMO DE COMBUSTIBLE**

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

AUTORES: ALISSON LIZBETH LLULLUNA CHICOTA
ROMEL ESTALIN MOYA CANDO

TUTOR: JOHNNY MARCELO PANCHÁ RAMOS

Quito - Ecuador

2023

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Nosotros, Alisson Lizbeth Llulluna Chicota con documento de identificación N° 1725577926 y Romel Estalin Moya Cando con documento de identificación N° 1751529676 manifestamos que: somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 15 de septiembre del año 2023

Atentamente,



Alisson Lizbeth Llulluna Chicota

1725577926



Romel Estalin Moya Cando

1751529676

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

Nosotros, Alisson Lizbeth Llulluna Chicota con documento de identificación N° 1725577926 y Romel Estalin Moya Cando con documento de identificación N° 1751529676, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: “Diseño y construcción de una estructura tipo bastidor con la aplicación de materiales ligeros y simulación CAE para un prototipo eficiente en el consumo de combustible”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de Ingenieros Automotrices, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Quito, 15 de septiembre del año 2023

Atentamente,



Alisson Lizbeth Llulluna Chicota

1725577926



Romel Estalin Moya Cando

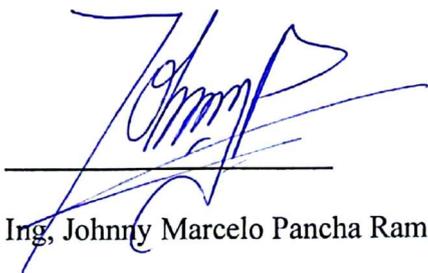
1751529676

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Johnny Marcelo Pancha Ramos con documento de identificación N° 1714747506 docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA ESTRUCTURA TIPO BASTIDOR CON LA APLICACIÓN DE MATERIALES LIGEROS Y SIMULACIÓN CAE PARA UN PROTOTIPO EFICIENTE EN EL CONSUMO DE COMBUSTIBLE, realizado por Alisson Lizbeth Lulluna Chicota con documento de identificación N° 1725577926 y por Romel Estalin Moya Cando con documento de identificación N° 1751529676, obtenido como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción: Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 15 de septiembre del año 2023

Atentamente,



Ing, Johnny Marcelo Pancha Ramos MSc.

1714747506

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación va dedicado especialmente a Dios por ser mi guía y mi fortaleza durante este trayecto estudiantil.

A mis padres Alexandra y Fredy, a mi hermano Kevin, por ser una gran inspiración para mi trayectoria universitaria y formación de la realización de mis grandes y anhelados sueños.

A mi abuelo Julio que se encuentra en el cielo, ya que ha sido una de mis mayores inspiraciones para no desistir de mis obligaciones.

A toda mi familia, amigos y compañeros que de una u otra forma ayudaron en la realización de este sueño. Por todo esto les agradezco de todo corazón

Gracias por todo.

Alisson Lizbeth Llulluna Chicota

Dedico este proyecto a mis padres, Alix Cando y Marco Moya, por apoyarme en las buenas y en las malas y por el apoyo incondicional de mi hermano por estar ahí, y por su apoyo moral durante este periodo y a todos los que me apoyaron y contribuyeron al éxito del trabajo, en especial a los que nos acogieron y compartieron sus conocimientos.

Romel Estalín Moya Cando

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi gratitud a Dios de una manera muy especial por darme unos padres que siempre han sido la fuente de mis esperanzas y sueños, que me han apoyado durante los días y las noches más difíciles mientras dedicaba innumerables horas de estudio.

A mi tutor el Ingeniero Jhony Pancha ya que sin sus virtudes, conocimiento, paciencia y constancia no hubiese sacado este proyecto adelante.

A los ingenieros Gustavo Morocho y Paul Totoy ya que gracias a sus palabras sabias, conocimientos rigurosos y precisos pudimos culminar este proyecto.

A mis amigos y compañeros de estudio, ya que hoy culminamos esta maravillosa aventura.

A Romel Moya mi compañero de proyecto, por su ardua labor.

Alisson Lizbeth Llulluna Chicota

Quiero empezar dando las gracias a la Universidad Politécnica Salesiana, la cual me ha permitido desarrollarme personalmente y académicamente, lograr grandes cosas. Quiero agradecer a mis padres, Alix Cando Y marco Moya, quienes han sido un gran apoyo en mi preparación académica. A mi hermano, el cual siempre me ha brindado su apoyo incondicional en mi vida personal.

Romel Estalín Moya Cando

INDICE

| | |
|---|-----|
| RESUMEN | i |
| ABSTRACT | ii |
| INTRODUCCIÓN | iii |
| 1. CAPITULO 1 | 1 |
| 1.1. Problema | 1 |
| 1.2. Contexto y justificación | 2 |
| 1.3. Objetivos..... | 3 |
| 1.3.1. Objetivo General..... | 3 |
| 1.3.2. Objetivo Especifico | 3 |
| 1.4. Metodología empleada..... | 4 |
| 1.5. Fundamentos teóricos | 6 |
| 1.5.1. Concepto de bastidor y su importancia en la eficiencia de combustible | 9 |
| 1.5.2. Materiales ligeros utilizados en la construcción de bastidores..... | 9 |
| 1.5.3. Simulación CAE y su aplicación en el diseño de estructuras eficientes en combustible | 10 |
| 1.6. Análisis de requerimientos..... | 11 |
| 1.6.1. Requisitos de diseño y funcionamiento del prototipo | 12 |
| 1.6.2. Restricciones y limitaciones | 13 |
| 2. CAPITULO 2 | 15 |
| 2.1. Selección de materiales ligeros..... | 15 |
| 2.1.1. Características y propiedades deseables de los materiales | 16 |
| 2.1.2. Evaluación y comparación de materiales disponibles | 17 |
| 2.1.3. Elección final de los materiales a utilizar..... | 19 |
| 2.2. Diseño de bastidor | 19 |
| 2.2.1. Diseño conceptual y especificaciones | 19 |
| 2.2.2. Modelado y simulación CAE del bastidor..... | 22 |
| 2.2.3. Análisis de resistencia y rigidez del bastidor..... | 24 |
| 2.2.4. Optimización del diseño mediante simulación CAE..... | 26 |
| 3. CAPITULO 3 | 27 |
| 3.1. Construcción del prototipo..... | 27 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 3.1.1. | Proceso de fabricación del bastidor..... | 28 |
| 3.1.2. | Ensamblaje y pruebas de funcionamiento | 29 |
| 4. | CAPITULO 4..... | 34 |
| 4.1. | Análisis y resultados | 34 |
| 4.1.1. | Aplicación de cargas..... | 34 |
| 4.1.2. | Cargas estáticas..... | 34 |
| 4.1.3. | Cargas muertas. | 35 |
| 4.1.4. | Cargas vivas..... | 35 |
| 4.1.5. | Análisis por medio de un software de elementos finitos. | 36 |
| 4.1.6. | Análisis estático..... | 36 |
| 4.1.7. | Análisis de los resultados obtenidos..... | 39 |
| 4.1.8. | Conclusiones y recomendaciones para futuras investigaciones | 40 |
| 4.2. | Referencias bibliográficas..... | 41 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

| | |
|---|----|
| Ilustración 1: Modelo conceptual lateral | 21 |
| Ilustración 2: Modelo conceptual superior | 21 |
| Ilustración 3: Modelo conceptual trasero | 22 |
| Ilustración 4: Modelo 3D..... | 24 |
| Ilustración 5: Pruebas de resistencia..... | 26 |
| Ilustración 6: Construcción del prototipo | 27 |
| Ilustración 7: Preparación de materiales..... | 30 |
| Ilustración 8: Ensamblaje | 30 |
| Ilustración 9: Ajustes y alineación..... | 31 |
| Ilustración 10: Fijación de componentes | 32 |
| Ilustración 11: Pruebas de funcionamiento..... | 32 |
| Ilustración 12: Control de calidad | 33 |
| Ilustración 13: Ajuste de pernos | 33 |
| Ilustración 14: Modelo con pesos respectivos..... | 37 |
| Ilustración 15: Primera tensión principal..... | 38 |
| Ilustración 16: Tercera tensión principal | 38 |
| Ilustración 17: Desplazamiento en x | 39 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1: Materiales Ligeros | 15 |
| Tabla 2: Selección de materiales para estructura del bastidor | 18 |
| Tabla 3: Recubrimiento en parte metálica para no generar la flexión de la estructura..... | 18 |
| Tabla 4: Soporte en estructura para evitar pandeo..... | 19 |
| Tabla 5: Procesos de fabricación de bastidores | 28 |

RESUMEN

En el presente documento se llevó a cabo el diseño y la construcción de una estructura tipo bastidor con el objetivo de desarrollar un prototipo altamente eficiente en el consumo de combustible. Se utilizaron materiales ligeros, específicamente aluminio y fibra de carbono, debido a sus propiedades de resistencia y baja densidad.

Además, se empleó la simulación CAE (Computer-Aided Engineering) para analizar virtualmente el proceso de fabricación y evaluar el comportamiento estructural del prototipo. Esta simulación permitió realizar análisis detallados y precisos de la resistencia, rigidez y durabilidad de la estructura, lo que ayudó a optimizar el diseño antes de la etapa de construcción física.

Posteriormente, se procedió a la construcción del prototipo utilizando los materiales seleccionados y siguiendo las pautas de diseño obtenidas de la simulación CAE. Se llevaron a cabo las técnicas y procesos necesarios para garantizar la integridad y la funcionalidad del bastidor.

En resumen, este estudio se centró en la elaboración de una estructura tipo bastidor utilizando aluminio y fibra de carbono, con el objetivo de lograr un prototipo altamente eficiente en el consumo de combustible. La simulación CAE fue utilizada como una herramienta clave para optimizar el diseño y evaluar el comportamiento estructural antes de la construcción física. Los resultados obtenidos de este trabajo contribuyen al avance de la ingeniería estructural, con posibles aplicaciones en la industria automotriz y otros campos relacionados.

ABSTRACT

In this paper, the design and construction of a frame-type structure was carried out with the objective of developing a highly fuel-efficient prototype. Lightweight materials were used, specifically aluminum and carbon fiber, due to their strength and low-density properties.

In addition, CAE (Computer-Aided Engineering) simulation was used to virtually analyze the manufacturing process and evaluate the structural behavior of the prototype. This simulation allowed detailed and accurate analysis of the strength, stiffness and durability of the structure, which helped to optimize the design prior to the physical construction stage.

Subsequently, the prototype was built using the selected materials and following the design guidelines obtained from the CAE simulation. The necessary techniques and processes were carried out to ensure the integrity and functionality of the frame.

In summary, this study focused on the development of a frame-type structure using aluminum and carbon fiber, with the objective of achieving a highly fuel-efficient prototype. CAE simulation was used as a key tool to optimize the design and evaluate the structural behavior prior to physical construction. The results obtained from this work contribute to the advancement of structural engineering, with possible applications in the automotive industry and other related fields.

INTRODUCCIÓN

En la elaboración y fabricación de estructuras, la búsqueda de soluciones que maximicen el consumo de combustible sea vuelto uno de los principales enfoques a nivel mundial. En este contexto, el uso de materiales ligeros y la simulación CAE (Computer-Aided Engineering) han surgido como herramientas clave para lograr prototipos altamente eficientes.

En este trabajo, se aborda el desafío de diseñar y construir una estructura tipo bastidor utilizando materiales con ardua resistencia y flexibilidad como el aluminio y la fibra de carbono. Estos materiales, reconocidos por su alta resistencia y su ligereza, presentan características ideales para reducir el peso total de la estructura y, en consecuencia, optimizar el consumo de combustible.

La simulación CAE se emplea como una herramienta fundamental en este proyecto, permitiendo realizar análisis estructurales virtuales que brindan información precisa y detallada sobre el comportamiento y desempeño del prototipo. Mediante la simulación, es posible evaluar y mejorar la resistencia, rigidez y durabilidad de la estructura antes de la etapa de fabricación física, lo que contribuye a minimizar los riesgos y los costos asociados.

El propósito de esta investigación es desarrollar un prototipo altamente eficiente en el consumo de combustible a través de la creación de un diseño y construcción de un bastidor utilizando materiales ligeros como el aluminio y la fibra de carbono, debido a su combinación de ligereza y resistencia. Para respaldar este proceso, se empleará la simulación CAE. Se anticipa que los resultados obtenidos aporten al progreso y la comprensión en el ámbito de la ingeniería estructural, con potenciales aplicaciones en la industria automotriz y en otros campos afines.

1. CAPITULO 1

1.1. Problema

Al suponer que una estructura con un peso total de 300 kg y que consume 10 litros de gasolina para recorrer una distancia de 100 km. La relación masa-consumo de combustible en este caso se puede calcular dividiendo la masa del prototipo por la cantidad de combustible consumido:

Relación masa-consumo de combustible = masa del prototipo / consumo de combustible

Relación masa-consumo de combustible = 300 kg / 10 litros

Relación masa-consumo de combustible = 30 kg/litro

En este ejemplo, la relación masa-consumo de combustible del prototipo a gasolina es de 30 kg/litro. Esto significa que el prototipo requiere 30 kg de masa para consumir un litro de gasolina y recorrer una distancia de 100 km. Una relación masa-consumo de combustible menor indica una baja en el consumo de combustible.

El problema a abordar en la elaboración del bastidor para un prototipo de eficiencia energética es la reducción de peso sin comprometer la resistencia y la seguridad del vehículo. Esto se debe a que un menor peso del vehículo se traduce en una mayor eficiencia energética, lo que puede mejorar significativamente el rendimiento del prototipo y reducir su impacto ambiental. (Delphine & Hugues, 2017)

El objetivo principal sería diseñar y construir un bastidor que logre una reducción significativa de peso, al tiempo que cumpla los requisitos de seguridad y resistencia necesarios para el vehículo. Se podría lograr esto utilizando técnicas avanzadas de análisis CAE (Computer-Aided Engineering) para optimizar el diseño del bastidor.

Algunas estrategias que se podrían emplear para reducir el peso del bastidor incluyen la utilización de materiales como la fibra de carbono o el aluminio, que son más ligeros, pero igualmente resistentes que los materiales tradicionales como el acero. Además, se podría emplear un diseño estructural optimizado, utilizando técnicas de análisis CAE para simular y evaluar diferentes diseños y geometrías del bastidor. (Ravi & Singh, 2017)

En resumen, el problema a abordar en la elaboración del bastidor para un prototipo de eficiencia energética es cómo reducir su peso sin comprometer su resistencia y seguridad. Esto se puede lograr mediante el uso de materiales compuestos y técnicas avanzadas de análisis CAE para optimizar el diseño del bastidor.

"Uno de los mayores desafíos a los que se enfrentan los ingenieros automotrices es la reducción del peso del chasis en un vehículo. Con el objetivo de mejorar la eficiencia energética y cumplir con las regulaciones ambientales para disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero, se ha incrementado considerablemente el enfoque en el diseño y la fabricación de vehículos más livianos y eficientes"

El bastidor es una parte fundamental del vehículo, ya que proporciona soporte estructural y rigidez. Tradicionalmente, los bastidores se han construido con materiales como el acero, que son fuertes y duraderos, pero también son pesados. Sin embargo, el uso de la fibra de carbono o el aluminio, ha permitido reducir significativamente el peso del bastidor sin comprometer su resistencia. (Singh & Bansal, 2019)

Para abordar este problema, se requiere un enfoque integral que incluya el análisis del diseño estructural, el análisis de materiales y la simulación por computadora. El análisis CAE es una herramienta valiosa que permite a los ingenieros simular el comportamiento de los componentes y sistemas del vehículo bajo diferentes condiciones y cargas, lo que permite optimizar el diseño del bastidor para lograr una mayor eficiencia energética. (Zhou, Gao & He, 2019)

1.2. Contexto y justificación

Mediante la aplicación de un software especializado (CAE), (Totoy, Grandes, 2019) demostró que un vehículo optimizado, no tiene que ver solo con el peso, sino también con la eficiencia energética y los materiales seleccionados, construyendo así un prototipo, que incluye extintor y arnés de seguridad, con un peso total de tan solo 52 kg, dando como resultado una eficiencia de 360 km/l.

"La creciente escalada en los precios de los combustibles fósiles ha generado la imperiosa necesidad de desarrollar vehículos que sean altamente eficientes en términos

de consumo de combustible. Una de las estrategias clave para lograr este objetivo consiste en reducir la masa del prototipo, lo cual posibilita una disminución en la energía requerida para su desplazamiento y, por ende, una reducción en el consumo de combustible."

En este sentido, el diseño y construcción de una estructura tipo bastidor con la aplicación de materiales ligeros y la simulación CAE para un prototipo optimizado para una competencia de consumo eficiente de combustible es una solución viable para reducir el peso del prototipo y mejorar su consumo de combustible. La optimización de la masa es crucial para lograr este objetivo, ya que una estructura más liviana requiere de menos energía para su desplazamiento, lo que nos da a entender que se está dando en una reducción en el consumo de combustible y, por lo tanto, una mejor eficiencia en términos de consumo de combustible.

"Con el fin de lograr un consumo eficiente de combustible en un prototipo destinado a una competencia de eficiencia de combustible, es fundamental investigar y desarrollar una estructura tipo bastidor utilizando materiales ligeros, optimizando su masa. Este conocimiento resulta crucial para el diseño y la construcción de vehículos más eficientes en el consumo de combustible, lo cual contribuye tanto a la preservación del medio ambiente como a la reducción de los costos de combustible asociados"

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

- Diseñar y construir una estructura tipo bastidor con la aplicación de materiales ligeros y simulación CAE para un prototipo eficiente en el consumo de combustible

1.3.2. Objetivo Especifico

- Identificar los materiales y procesos de fabricación más efectivos para reducir el peso del bastidor, sin comprometer la seguridad o la eficiencia energética del vehículo.

- Diseñar un bastidor utilizando técnicas de optimización topológica mediante la aplicación de un software de diseño mecánico
- Realizar un análisis de elementos finitos (CAE) mediante un software de diseño mecánico para validar el diseño y lograr la optimización de su peso.
- Fabricar una estructura tipo bastidor con elementos ligeros para la implementación de componentes y sistemas motrices para un prototipo eficiente en el consumo de combustible.

1.4. Metodología empleada

Metodología Analítica: Se empleará la herramienta de Análisis por Elementos Finitos (CAE) para construir una estructura tipo bastidor. Esto permitirá evaluar y perfeccionar los diseños a través de simulaciones por ordenador en lugar de llevar a cabo pruebas con prototipos físicos.

El análisis CAE permitirá una comprensión detallada de las implicaciones en el rendimiento de los diseños, lo cual contribuirá a la simulación, validación y optimización de productos, procesos y herramientas de fabricación. Además, se tomarán en cuenta las condiciones en las cuales se desarrollará el prototipo, brindando una perspectiva integral para su desarrollo.

Al utilizar un software de diseño, se obtendrán los siguientes beneficios:

- Mayor precisión de resultados.
- Mejora en el diseño de la estructura.
- Mayor comprensión de los parámetros críticos de diseño.
- Reducción en la necesidad de prototipos físicos gracias a la creación de prototipos virtuales.
- Ciclo de diseño más rápido y económico, lo que aumenta la productividad.
- Generación de visualizaciones de rigidez y fuerza para optimizar el peso, los materiales y los costos.

Al finalizar el diseño con todos los parámetros previamente establecidos, se procederá a la construcción de la estructura, en el prototipo se usarán los materiales que cumplan con los requisitos, así se logrará llegar a un diseño óptimo de gran eficacia.

Metodología Descriptiva: Se hará uso de este método porque es necesario visualizar los comportamientos de los materiales que se empleará en la construcción de la estructura y describir cada uno de ellos, ya que debemos cumplir con el parámetro de selección de materiales aptos para su construcción.

Un software de diseño nos permite obtener una visualización precisa de dónde se doblan o tuercen las estructuras, así como la distribución de tensiones y desplazamientos, sobre la base de su efecto sobre el rendimiento, se pueden realizar elecciones de diseño.

La aplicación del análisis cae cumple un rol muy importante dentro de este proyecto ya que su principal objetivo es probar, predecir y mejorar la robustez, el rendimiento, la eficiencia energética y la durabilidad de los componentes, creando en última instancia mejores productos.

Metodología Experimental: Se hará uso de este método para aplicar el análisis CAE y así obtener los siguientes análisis y simulaciones en cuanto al diseño del prototipo bastidor:

- Análisis de sistemas de control
- Simulación de eventos mecánicos
- Simulación de procesos de fabricación

A su vez, se deberá cumplir con lo siguiente:

- Resistencia a esfuerzos
- Resistencia a la torsión

Al aplicar el análisis CAE se evidenciarán los siguientes beneficios:

- Se logra una disminución en los costos y el tiempo de desarrollo del bastidor.
- Se mejora la calidad y la durabilidad del producto.
- Permite reducir el peso del bastidor, lo cual resulta en un menor consumo de combustible.
- Se logra una mayor eficiencia en el consumo de combustible.
-

1.5. Fundamentos teóricos

En la industria automotriz, se han implementado mejoras en los procesos de ingeniería de productos, utilizando técnicas alternativas como el método de elementos finitos (CAD-CAE). Estas técnicas han permitido a las empresas cumplir con los requisitos de mejora de calidad, lo que ha tenido un efecto positivo en la competitividad y en la satisfacción de los clientes, al tiempo que se han reducido los costos asociados a garantías y reprocesamientos en la fabricación.

Los resultados obtenidos a través de la implementación de estas técnicas proporcionan nuevas opciones de diseño y producción, lo que implica la incorporación de materiales innovadores en un sector estratégico para el desarrollo de productos nuevos. Con el propósito de alcanzar propiedades mecánicas sobresalientes, facilidad en la fabricación y una alta productividad, se están investigando y desarrollando materiales nuevos que exhiben indicadores como resistencia, rendimiento, rigidez y densidad.

"La industria automotriz ha adoptado los materiales compuestos, en particular los polímeros de matriz (MCMP), como una alternativa sólida y factible en la fabricación. Esta implementación se ha convertido en una realidad, ya que permite que los vehículos sean más ligeros. De esta manera, los MCMP se han consolidado como una opción real en la industria automotriz, dejando de ser simplemente una posibilidad".

ANALISIS CAE

La ingeniería asistida por computadora (CAE) se ha utilizado con éxito en la industria automotriz. CAE estima numéricamente el rendimiento de los automóviles y propone ideas alternativas que conducen al mayor rendimiento sin construir prototipos. Sin embargo, la mayoría de los diseñadores de automóviles no pueden usar CAE directamente debido a las operaciones sofisticadas.

Este sistema de análisis de diseño permite evaluar la pieza diseñada. Antes de crear los primeros prototipos, se puede predecir el comportamiento de los elementos utilizando una herramienta CAE en el software de diseño.

El análisis CAE permite:

Reducir costos al simular la prueba de su modelo en lugar de usar costosas pruebas de campo.

- Al disminuir el número de ciclos de desarrollo para esto, puede acelerar la comercialización del producto.
- Aumenta la calidad de los productos probando rápidamente una variedad de ideas y circunstancias antes de tomar una decisión final, dándole más tiempo para desarrollar nuevos diseños.

FIBRA DE CARBONO

La fibra de carbono es una sustancia hecha de filamentos increíblemente delgados que se unen principalmente con átomos de carbono. El comportamiento y las propiedades finales de estos tejidos vendrán determinados por los procesos de fabricación, el alineamiento, espesor y disposición de estos filamentos.

Las siguientes características de la fibra de carbono se cubrirán en detalle.

- **Alta resistencia mecánica:**

La resistencia mecánica es crucial en el diseño y fabricación de piezas, y la fibra de carbono destaca por su alta resistencia, bajo peso y mayor tenacidad en comparación con materiales metálicos como el acero. Su relación peso-resistencia y peso-densidad la convierte en una opción atractiva para aplicaciones que requieren resistencia sin añadir peso significativo a la estructura.

- **Conductividad Térmica:**

Como aislantes térmicos, los materiales compuestos de fibra de carbono destacan por su baja conductividad térmica.

- **Conductividad Eléctrica:**

Debido a la alta concentración de átomos de carbono en la fibra de carbono, es un excelente conductor eléctrico. Los átomos de carbono están dispuestos en una red regular y exhiben una alta conductividad eléctrica.

APLICACIÓN DE LA FIBRA DE CARBONO EN EL MUNDO AUTOMOTRIZ

"La fibra de carbono ha sido reconocida como el material del futuro debido a sus características ideales para los fabricantes de automóviles en la construcción de vehículos nuevos. Este material revolucionario ofrece una reducción de peso significativa en las piezas y una rigidez excepcional, superando incluso a materiales convencionales como el aluminio y el acero. Como resultado, se espera que este tipo de piezas encuentre un lugar destacado en el mercado de los automóviles de uso diario. Sin embargo, su principal desafío sigue siendo su alto precio".

Se compone principalmente de átomos de carbono, que son mucho más pequeños que un cabello y forman fibras de solo 10 micrones de diámetro. Las fibras se trenzan juntas para crear hilos extremadamente fuertes y lo que es más importante, ligeros. Estos hilos se entrelazan con muchos otros hilos para crear tela de fibra de carbono, la forma de la que emergerá la pieza deseada.

La creación de piezas de fibra de carbono, como chasis de automóviles o componentes rígidos, no se logra únicamente con la tela de fibra. Es necesario seguir un proceso en el que la pieza se elabora a partir de un molde, utilizando la tela de fibra como base, y se combina con resinas termoestables. Para asegurar un resultado óptimo, se utiliza un proceso de vacío que elimina el aire y permite que la tela se adapte perfectamente al molde, mientras las resinas se compactan. Después de completar este proceso y permitir que la pieza se seque adecuadamente, se obtiene la deseada pieza de fibra de carbono. Luego, se realiza un acabado final que incluye el lijado y pintura de la pieza.

DISEÑO MECÁNICO

Antes de fabricar una pieza o dispositivo, se utiliza un proceso de diseño mecánico en el que se tienen en cuenta varios factores, como el tipo de material, las dimensiones y la funcionalidad.

El diseño de componentes y maquinaria industrial debe basarse en herramientas especializadas que permitan al diseñador trabajar de manera más rápida, más eficiente y producir productos de mayor calidad. Estas herramientas permiten simulaciones

virtuales y pruebas de fuerza para evaluar la resistencia y funcionalidad mecánica del producto. (Escuela de Negocios Euroinnova, 2021)

1.5.1. Concepto de bastidor y su importancia en la eficiencia de combustible

Un bastidor es una estructura esencial en la fabricación de vehículos que desempeña un papel crucial en la eficiencia de combustible. Es el esqueleto sobre el cual se ensamblan todos los componentes del vehículo, proporcionando soporte estructural y resistencia a las cargas y tensiones que se generan durante su funcionamiento.

La importancia del bastidor radica en su capacidad para optimizar la eficiencia de combustible. Un bastidor bien diseñado y fabricado con materiales ligeros pero resistentes puede reducir significativamente el peso total del vehículo. Al reducir el peso, se requiere menos energía para mover el vehículo, lo que se traduce en un menor consumo de combustible y, por lo tanto, en una mayor eficiencia.

Además, un bastidor eficiente puede mejorar la aerodinámica del vehículo. Al proporcionar una base sólida y aerodinámicamente optimizada, el bastidor puede reducir la resistencia al aire y minimizar la turbulencia. Esto ayuda a que el vehículo se desplace con mayor suavidad a altas velocidades, reduciendo así el consumo de combustible asociado con la resistencia aerodinámica.

Otro aspecto importante es la capacidad del bastidor para albergar sistemas de propulsión alternativos, como motores eléctricos o celdas de combustible. Estos sistemas suelen ser más pesados que los motores de combustión interna convencionales, por lo que un bastidor diseñado específicamente para acomodarlos de manera eficiente puede contribuir a maximizar la autonomía y eficiencia de estos vehículos de energía alternativa.

1.5.2. Materiales ligeros utilizados en la construcción de bastidores

En la construcción de bastidores, se ha prestado una atención considerable al uso de materiales ligeros que brinden resistencia y durabilidad. Los avances tecnológicos han

permitido la incorporación de materiales como aleaciones de aluminio y acero de alta resistencia, compuestos de fibra de carbono y polímeros reforzados con fibra de vidrio.

El aluminio es ampliamente utilizado debido a su peso ligero y excelente resistencia a la corrosión. Las aleaciones de aluminio utilizadas en los bastidores son altamente resistentes y ofrecen una notable rigidez estructural, lo que permite reducir significativamente el peso del vehículo. Además, su maleabilidad permite una mayor libertad de diseño y fabricación, lo que facilita la creación de bastidores con formas más aerodinámicas y eficientes en términos de consumo de combustible.

Por otro lado, los materiales compuestos, como la fibra de carbono, están ganando popularidad en la construcción de bastidores. La fibra de carbono ofrece una combinación única de alta resistencia y bajo peso. Es aproximadamente un 70% más liviana que el acero, pero al mismo tiempo es hasta cinco veces más resistente. Esto permite la fabricación de bastidores ultraligeros sin comprometer la integridad estructural y la seguridad del vehículo. Sin embargo, debido a su costo más elevado en comparación con otros materiales, su uso se ha limitado principalmente a vehículos de gama alta y deportivos.

Los polímeros reforzados con fibra de vidrio también se utilizan en la construcción de bastidores, especialmente en aplicaciones donde la resistencia y el peso son factores importantes. Estos materiales ofrecen una buena relación resistencia-peso, lo que los convierte en una opción atractiva para reducir la masa del vehículo sin sacrificar la rigidez.

1.5.3. Simulación CAE y su aplicación en el diseño de estructuras eficientes en combustible

La simulación CAE ha desempeñado un papel crucial en el diseño de estructuras eficientes en combustible. La simulación CAE es una herramienta poderosa que utiliza modelos matemáticos y análisis computacional para evaluar el rendimiento y el comportamiento de las estructuras antes de su fabricación física.

En el contexto del diseño de estructuras eficientes en combustible, la simulación CAE permite a los ingenieros evaluar y optimizar la aerodinámica de los vehículos, identificando áreas de alta resistencia al viento y proponiendo soluciones para reducir la resistencia aerodinámica. Esto se logra mediante la simulación de flujos de aire alrededor del vehículo y el análisis de los resultados obtenidos. Los ingenieros pueden probar diferentes diseños de bastidores, formas de carrocería y características aerodinámicas para encontrar la configuración óptima que minimice la resistencia al viento y, por lo tanto, mejore la eficiencia de combustible.

Además de la aerodinámica, la simulación CAE también se utiliza para evaluar la resistencia estructural y la distribución del peso de los bastidores. Los ingenieros pueden simular diferentes cargas y condiciones de manejo para determinar la rigidez y la resistencia del bastidor, así como para optimizar la distribución del peso para mejorar la estabilidad y el rendimiento del vehículo. Esto permite identificar áreas de mejora y realizar modificaciones virtuales en el diseño antes de la fabricación física, lo que ahorra tiempo y costos en el proceso de desarrollo.

La simulación CAE también desempeña un papel importante en la evaluación del impacto de los materiales utilizados en la construcción de bastidores. Los ingenieros pueden simular diferentes materiales y analizar cómo afectan el rendimiento estructural y la eficiencia de combustible del vehículo. Esto permite tomar decisiones informadas sobre la selección de materiales, como aleaciones de aluminio o compuestos de fibra de carbono, maximizando así los beneficios en términos de peso y resistencia.

1.6. Análisis de requerimientos

En primer lugar, es necesario definir los objetivos y requisitos del bastidor. Esto implica determinar el tipo de vehículo para el cual se diseñará el bastidor, ya sea un automóvil de pasajeros, un vehículo deportivo o una aplicación específica. También se deben considerar las regulaciones y estándares de seguridad vigentes, así como los requisitos de rendimiento, como la carga máxima que el bastidor debe soportar.

Una vez establecidos los objetivos, se realiza un análisis estructural detallado. Esto implica calcular las cargas y fuerzas a las que estará sometido el bastidor durante su uso, como las fuerzas de torsión, compresión y flexión. Además, se deben considerar las

condiciones de manejo y las situaciones de impacto que podrían ocurrir, como colisiones o vibraciones.

En el proceso de construcción de un bastidor de aluminio y fibra de carbono, es fundamental seleccionar los materiales adecuados. Esto implica determinar el tipo y la calidad del aluminio, así como la configuración y el tejido de la fibra de carbono. Para lograrlo, se deben evaluar meticulosamente las propiedades mecánicas de los materiales, incluyendo la resistencia a la tracción, la rigidez y la resistencia a la fatiga. Esta evaluación garantiza que se utilicen los materiales óptimos que cumplan con los requisitos necesarios para el rendimiento y la durabilidad del bastidor.

1.6.1. Requisitos de diseño y funcionamiento del prototipo

Los requisitos de diseño y funcionamiento del prototipo de un bastidor son fundamentales para garantizar el desarrollo exitoso de una estructura eficiente y segura. Estos requisitos se establecen con el objetivo de cumplir con los estándares de rendimiento, seguridad y calidad exigidos para el bastidor.

En primer lugar, se deben definir los requisitos estructurales del bastidor, considerando factores como la rigidez, resistencia a la torsión, carga máxima y distribución del peso. Estos requisitos determinarán la geometría y los materiales a utilizar en la construcción del bastidor. Se debe tener en cuenta el tipo de vehículo para el cual se está diseñando el prototipo, ya que los requisitos pueden variar según el uso previsto, como automóviles de pasajeros, vehículos comerciales o deportivos.

Además de los aspectos estructurales, los requisitos de funcionamiento del prototipo del bastidor incluyen consideraciones aerodinámicas y de eficiencia de combustible. Es importante optimizar la forma y el diseño del bastidor para reducir la resistencia al viento y mejorar la aerodinámica general del vehículo. Esto se logra mediante simulaciones CAE y pruebas de túnel de viento que permiten evaluar y mejorar la eficiencia aerodinámica del prototipo.

La seguridad también es un factor clave en los requisitos de diseño del prototipo del bastidor. Se deben cumplir con los estándares y regulaciones de seguridad establecidos por las autoridades competentes. Esto implica tener en cuenta aspectos como la

resistencia a impactos, deformación controlada en caso de colisiones y la incorporación de estructuras de absorción de energía.

Asimismo, se deben considerar requisitos relacionados con la facilidad de fabricación y montaje del prototipo del bastidor. Esto incluye la elección de materiales y técnicas de unión adecuadas, así como la factibilidad de la producción en masa a gran escala.

Finalmente, es importante establecer requisitos de calidad y durabilidad para el prototipo del bastidor. Se deben realizar pruebas exhaustivas para evaluar la resistencia y la vida útil del bastidor, teniendo en cuenta factores como la fatiga de materiales y el desgaste en condiciones reales de uso.

1.6.2. Restricciones y limitaciones

Restricciones de costos: El costo de los materiales, equipos y procesos de fabricación puede limitar las opciones disponibles. Materiales avanzados, como la fibra de carbono, pueden ser más costosos que el acero o el aluminio, lo que puede afectar la viabilidad económica del bastidor.

Limitaciones de disponibilidad de materiales: Algunos materiales pueden tener limitaciones en términos de disponibilidad y acceso. Por ejemplo, la obtención de ciertos tipos de aleaciones de aluminio o fibra de carbono puede ser más difícil y costosa, lo que puede restringir su uso en la fabricación del bastidor.

Restricciones de procesos de fabricación: Los procesos de fabricación, como la fundición, el estampado, la forja o la laminación, pueden tener limitaciones técnicas y económicas. Cada proceso tiene sus propias características y capacidades, y es importante seleccionar aquellos que sean adecuados para la producción del bastidor en términos de calidad, eficiencia y costos.

Restricciones de diseño: El diseño del bastidor debe cumplir con los estándares de seguridad, regulaciones y requisitos específicos del vehículo. Estas restricciones pueden

incluir restricciones de espacio, necesidad de integración con otros componentes del vehículo, requisitos de carga máxima y distribución del peso.

Limitaciones de capacidad de producción: La capacidad de producción de las instalaciones y equipos puede limitar la cantidad y el tamaño de los bastidores que se pueden fabricar en un determinado período de tiempo. Esto puede influir en la planificación y el cronograma de producción.

Restricciones de tiempo: Los plazos y la urgencia en la fabricación del bastidor pueden ser limitaciones importantes. Los procesos de diseño, desarrollo y pruebas requieren tiempo, y es importante equilibrar la calidad con los plazos establecidos.

Limitaciones de transporte y logística: El tamaño, peso y forma del bastidor pueden generar restricciones en términos de transporte y logística. Por ejemplo, el bastidor puede ser demasiado grande para ciertos métodos de envío, o puede requerir un manejo especializado durante el transporte.

2. CAPITULO 2

2.1. Selección de materiales ligeros

La selección de materiales ligeros para la elaboración de bastidores es un aspecto crucial en el diseño de estructuras eficientes. Los materiales ligeros ofrecen ventajas significativas en términos de reducción de peso, mejor eficiencia de combustible y mayor rendimiento del vehículo. A continuación, se presentan algunos de los materiales ligeros más comúnmente utilizados en la fabricación de bastidores:

Tabla 1: Materiales Ligeros

| Material | Descripción |
|--------------------------------|---|
| Aluminio | Baja densidad, alta resistencia, resistencia a la corrosión, contribuye a la reducción de peso y mejora la eficiencia en el consumo de combustible. |
| Aleaciones de magnesio | Baja densidad, buena resistencia a la tracción, costosas y requieren procesamiento especializado. |
| Fibra de carbono | Extremadamente ligera, ofrece resistencia y rigidez excepcionales, ampliamente utilizada en bastidores de alta gama y vehículos deportivos. Costo más elevado en comparación con otros materiales. |
| Polímeros reforzados con fibra | Combinación de ligereza, resistencia y flexibilidad, adecuados para aplicaciones específicas. Utilizados en bastidores, incluyendo polímero de fibra de vidrio y polímero de fibra de aramida. |
| Compuestos híbridos | Combinación de diferentes materiales ligeros para lograr un equilibrio óptimo entre resistencia, rigidez y peso. Por ejemplo, fibras de carbono con materiales poliméricos para obtener bastidores ligeros y resistentes. |

Fuente: A. Llulluna y R. Moya

2.1.1. Características y propiedades deseables de los materiales

Ligereza: Los materiales utilizados deben ser lo más livianos posible para reducir el peso total del bastidor y, por ende, del vehículo. Esto contribuye a mejorar la eficiencia de combustible, la aceleración y el rendimiento general del vehículo.

Resistencia: Los materiales deben tener una alta resistencia para soportar las cargas y fuerzas aplicadas durante la conducción. Esto garantiza la integridad estructural del bastidor y su capacidad para soportar diferentes condiciones de carga.

Rigidez: Es deseable que los materiales tengan una alta rigidez para mantener la estabilidad y el control del vehículo. Una estructura rígida ayuda a minimizar la deformación y el movimiento no deseado del bastidor, mejorando la precisión en la dirección y la respuesta de manejo.

Durabilidad: Los materiales deben ser duraderos y capaces de resistir las condiciones ambientales adversas, como la exposición al agua, la corrosión y los cambios de temperatura. Esto garantiza una vida útil prolongada del bastidor y reduce los costos de mantenimiento y reparación.

Facilidad de fabricación: Los materiales seleccionados deben ser relativamente fáciles de trabajar y fabricar en la forma y geometría deseada para el bastidor. Esto incluye consideraciones como la soldabilidad, la conformabilidad y la disponibilidad de técnicas de fabricación adecuadas.

Disponibilidad y costo: Es importante considerar la disponibilidad y el costo de los materiales seleccionados. Deben ser fácilmente accesibles en el mercado y tener un costo razonable para garantizar la viabilidad económica de la fabricación del bastidor.

Compatibilidad con otros materiales y componentes: Si el bastidor se integra con otros componentes del vehículo, es importante que los materiales utilizados sean

compatibles y puedan unirse de manera efectiva con otros materiales, como plásticos, acero u otros metales.

Propiedades de amortiguación y absorción de impactos: En ciertas situaciones, es beneficioso que los materiales exhiban propiedades de amortiguación y absorción de impactos con el fin de mejorar la seguridad y comodidad de los ocupantes del vehículo. Estas propiedades ayudan a reducir vibraciones y ruidos indeseados, proporcionando una experiencia más confortable. Al incorporar materiales con estas características, se puede lograr un mayor nivel de confort y seguridad en el interior del vehículo, mitigando los efectos negativos de las vibraciones y los impactos.

2.1.2. Evaluación y comparación de materiales disponibles

Peso: Se debe evaluar el peso de cada material, ya que uno de los objetivos principales es reducir el peso total del bastidor y mejorar la eficiencia de combustible. Se comparará el peso específico de cada material para determinar cuál es más ligero y adecuado para la aplicación específica.

Resistencia: La resistencia del material es crucial para garantizar la integridad estructural del bastidor. Se evaluará la resistencia a la tracción y la resistencia a la flexión de cada material para determinar su capacidad para soportar las cargas y fuerzas aplicadas durante la conducción.

Rigidez: La rigidez es importante para mantener la estabilidad y el control del vehículo. Se comparará la rigidez de cada material para evaluar cuál proporciona una estructura más rígida y resistente a la deformación.

Durabilidad: La durabilidad es esencial para garantizar la vida útil prolongada del bastidor. Se evaluará la resistencia a la corrosión y la capacidad de resistir condiciones ambientales adversas de cada material para determinar cuál es más duradero y resistente.

Costo: El costo de los materiales también es un factor clave a considerar. Se compararán los costos de adquisición y los costos asociados con el procesamiento y la fabricación de

cada material para evaluar la viabilidad económica de su uso en la elaboración del bastidor.

Disponibilidad: La disponibilidad de los materiales en el mercado también debe considerarse. Se evaluará la disponibilidad y la accesibilidad de cada material para garantizar que esté fácilmente disponible para la fabricación del bastidor.

Procesabilidad: La facilidad de procesamiento y fabricación de cada material es otro aspecto a tener en cuenta. Se evaluará la facilidad de conformación, soldabilidad y compatibilidad con las técnicas de fabricación disponibles para determinar qué material puede ser procesado de manera más eficiente.

Propiedades adicionales: Dependiendo de los requisitos específicos del bastidor y el vehículo, también se pueden considerar propiedades adicionales, como propiedades de amortiguación de impactos, conductividad térmica, propiedades eléctricas, entre otras.

A continuación, se evidencia la evaluación de cada uno de los materiales seleccionados:

Tabla 2: Selección de materiales para estructura del bastidor

| Criterios/ Materiales | Resistencia | Rigidez | Ligero | Económico | $\sum +1$ | Ponderación |
|--------------------------|-------------|---------|--------|-----------|-----------|-------------|
| Aluminio | 1 | 1 | 1 | 1 | 5 | 0,417 |
| Acero | 1 | 1 | | 1 | 4 | 0,333 |
| Hierro | 1 | 1 | | | 3 | 0,250 |
| SUMA | | | | | 12 | 1,000 |

Fuente: A. Llulluna y R. Moya

Tabla 3: Recubrimiento en parte metálica para no generar la flexión de la estructura

| Criterios/ Materiales | Resistencia | Rigidez | Ligero | Económico | $\sum +1$ | Ponderación |
|--------------------------|-------------|---------|--------|-----------|-----------|-------------|
| Polipropileno | 1 | | 1 | | 3 | 0,273 |
| Poliéster | | 1 | 1 | | 3 | 0,273 |
| Nylon | 1 | 1 | 1 | 1 | 5 | 0,454 |
| SUMA | | | | | 11 | 1,000 |

Fuente: A. Llulluna y R. Moya

Tabla 4: Soporte en estructura para evitar pandeo

| Criterios/ Materiales | Resistencia | Rigidez | Ligero | Económico | $\sum +1$ | Ponderación |
|--------------------------|-------------|---------|--------|-----------|-----------|-------------|
| Acero A242 | 1 | 1 | 1 | 1 | 5 | 0,385 |
| Acero A588 | 1 | 1 | 1 | | 4 | 0,308 |
| Acero A847 | 1 | 1 | 1 | | 4 | 0,308 |
| SUMA | | | | | 13 | 1,00 |

Fuente: A. Llulluna y R. Moya

2.1.3. Elección final de los materiales a utilizar

Tras evaluar diversas opciones, se ha tomado la decisión final de utilizar aluminio y fibra de carbono como los materiales principales. Estas elecciones se basan en sus propiedades únicas, como la resistencia, la ligereza y la durabilidad. El aluminio proporciona una excelente resistencia estructural y una buena relación resistencia-peso, mientras que la fibra de carbono ofrece una resistencia excepcional con un peso muy ligero. Al combinar ambos materiales, se busca aprovechar sus ventajas individuales para lograr un diseño óptimo que cumpla con los requisitos de rendimiento y eficiencia.

2.2. Diseño de bastidor

2.2.1. Diseño conceptual y especificaciones

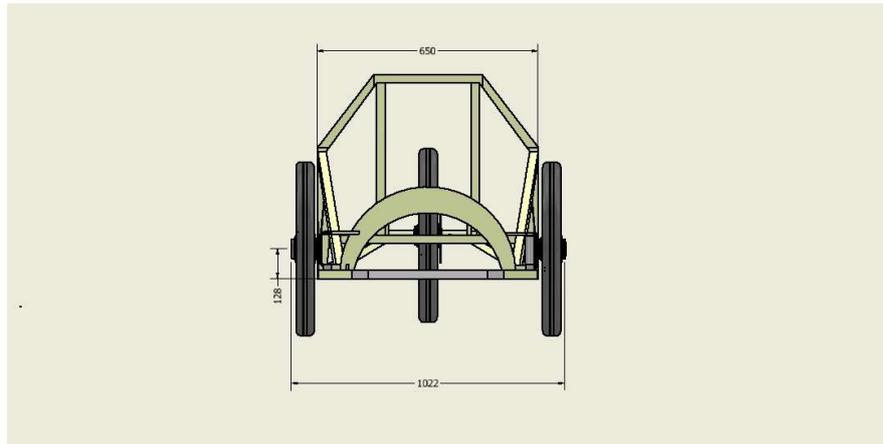
El diseño conceptual de bastidores se refiere a la creación de un concepto inicial que define la estructura y características principales del bastidor. Esto implica determinar la disposición general, la forma, el tamaño y los materiales que se utilizarán en la construcción del bastidor.

Al diseñar conceptualmente un bastidor, es importante considerar su función y los requisitos específicos del proyecto. Por ejemplo, si se trata de un bastidor para soportar equipos electrónicos, se deben tener en cuenta aspectos como la disipación de calor, la protección contra vibraciones y la accesibilidad para el mantenimiento.

A continuación, se presentan algunas consideraciones y especificaciones comunes que se pueden incluir en el diseño conceptual de un bastidor:

- **Dimensiones y forma:** Determinar las dimensiones generales del bastidor, incluyendo altura, ancho y profundidad. También se debe decidir la forma del bastidor, ya sea un diseño abierto, cerrado o con paneles desmontables.
- **Materiales:** Para la construcción del bastidor, es importante elegir los materiales adecuados teniendo en cuenta diversos factores como la resistencia, durabilidad y peso. En la industria, se utilizan diversos materiales comunes para los bastidores, entre ellos se encuentran el acero, el aluminio y el plástico reforzado con fibra de vidrio. Cada uno de estos materiales presenta características distintas que los hacen idóneos para diferentes aplicaciones en la construcción del bastidor.
- **Estructura y refuerzo:** Definir la estructura básica del bastidor, incluyendo los puntos de anclaje, refuerzos internos y sistemas de fijación. Esto es especialmente importante si el bastidor debe soportar cargas pesadas o condiciones ambientales adversas.
- **Gestión del cableado:** Incorporar características que permitan una gestión eficiente del cableado, como guías de cable integradas, aberturas para el paso de cables y puntos de fijación para asegurar los cables en su lugar.
- **Montaje y desmontaje:** Considerar la facilidad de montaje y desmontaje del bastidor, especialmente si se prevé la necesidad de reconfiguraciones o modificaciones en el futuro. Esto puede incluir características como sistemas de ensamblaje rápido o componentes modulares.
- **Ventilación y disipación de calor:** Evaluar las necesidades de ventilación y disipación de calor de los equipos o componentes que se alojarán en el bastidor. Esto puede implicar la incorporación de ventiladores, rejillas de ventilación o espacios abiertos para permitir el flujo de aire adecuado.

Ilustración 3: Modelo conceptual trasero



Fuente: A. Llulluna y R. Moya

2.2.2. Modelado y simulación CAE del bastidor

El modelado y la simulación CAE (Computer-Aided Engineering, Ingeniería Asistida por Computadora) se utilizan para analizar y evaluar el comportamiento estructural y funcional de un bastidor antes de su fabricación. Estas herramientas permiten predecir cómo se comportará el bastidor bajo diferentes condiciones de carga, vibración, temperatura, entre otras variables, lo que ayuda a optimizar su diseño y garantizar su rendimiento y seguridad.

El proceso de modelado y simulación CAE del bastidor implica los siguientes pasos generales:

Creación del modelo 3D: Utilizando software de modelado CAD (Computer-Aided Design, Diseño Asistido por Computadora), se crea un modelo tridimensional del bastidor. Se definen las dimensiones, formas y características específicas del diseño conceptual del bastidor.

Definición de propiedades de los materiales: Se asignan propiedades mecánicas a los materiales utilizados en el bastidor, como módulo de elasticidad, coeficiente de Poisson y resistencia a la tracción. Estas propiedades se obtienen a partir de datos técnicos de los materiales reales utilizados en la fabricación del bastidor.

Generación de malla (meshing): Se divide el modelo 3D en elementos finitos más pequeños para facilitar el análisis numérico. Esta malla o red de elementos finitos

permite discretizar la geometría del bastidor y representa las regiones donde se realizarán los cálculos y las simulaciones.

Aplicación de condiciones de carga: Se definen las condiciones de carga que se aplicarán al bastidor, como fuerzas, momentos o presiones. Estas condiciones pueden estar relacionadas con la carga estática, dinámica o térmica que se espera que el bastidor experimente durante su uso

Análisis estructural: Se ejecutan simulaciones de análisis estructural para evaluar la resistencia y rigidez del bastidor. Esto implica resolver ecuaciones matemáticas complejas que describen el comportamiento mecánico del bastidor bajo las condiciones de carga definidas.

Análisis de vibraciones: Se realizan simulaciones de análisis de vibraciones para determinar las frecuencias naturales del bastidor y cómo estas pueden afectar su rendimiento. Esto es especialmente importante si el bastidor estará expuesto a vibraciones externas o si albergará equipos sensibles a la vibración.

Análisis térmico: Se llevan a cabo simulaciones de análisis térmico para evaluar el comportamiento del bastidor ante cambios de temperatura. Esto permite identificar posibles problemas de disipación de calor y garantizar que el bastidor pueda mantener una temperatura adecuada para los equipos alojados en su interior.

Evaluación de resultados: Se analizan los resultados obtenidos de las simulaciones y se evalúa si el diseño del bastidor cumple con los criterios de rendimiento, seguridad y fiabilidad establecidos. En caso contrario, se pueden realizar modificaciones en el diseño y repetir el proceso de simulación hasta obtener un resultado satisfactorio.

Ilustración 4: Modelo 3D



Fuente: A. Llulluna y R. Moya

2.2.3. Análisis de resistencia y rigidez del bastidor

El análisis de resistencia y rigidez del bastidor es una parte fundamental en el diseño y desarrollo de bastidores. Este análisis se realiza para evaluar la capacidad del bastidor para soportar las cargas aplicadas sin deformarse excesivamente o sufrir fallas estructurales.

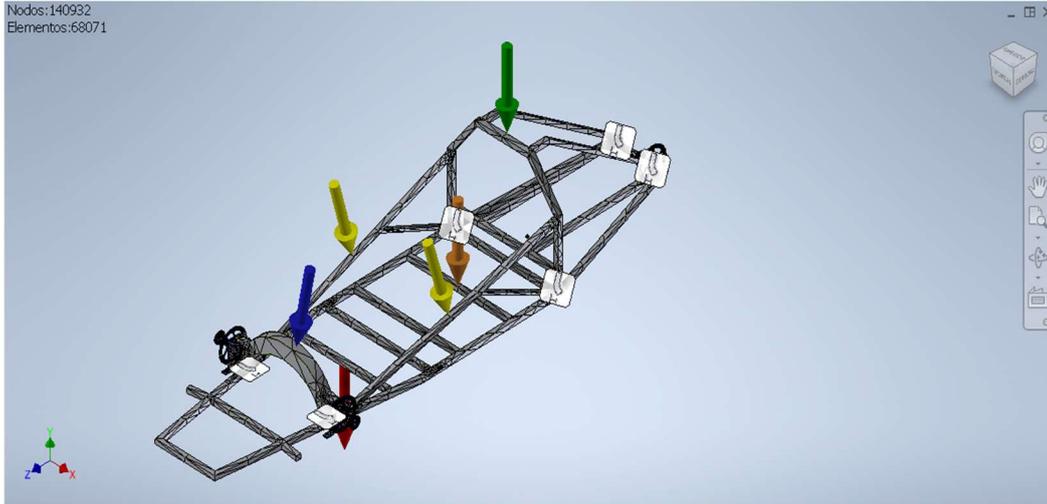
Existen diferentes métodos y enfoques para llevar a cabo el análisis de resistencia y rigidez de un bastidor. A continuación, se describen algunos de los enfoques más comunes:

- **Análisis de elementos finitos (FEA):** El análisis de elementos finitos es una técnica computacional que divide el bastidor en elementos más pequeños (finitos) para analizar su comportamiento bajo diferentes condiciones de carga. Se aplican cargas y restricciones adecuadas a los elementos finitos y se resuelven las ecuaciones matemáticas para determinar las deformaciones, tensiones y deflexiones resultantes en el bastidor. Este enfoque permite una evaluación detallada y precisa de la resistencia y rigidez del bastidor.
- **Análisis de tensiones y deformaciones:** Mediante el análisis de tensiones y deformaciones, se evalúa la distribución de las tensiones y las deformaciones en el bastidor. Esto implica calcular los valores máximos de tensión y deformación en puntos críticos del bastidor y compararlos con los límites de resistencia del material

utilizado. Se utilizan teorías y criterios de falla para determinar si el bastidor es capaz de soportar las cargas aplicadas sin exceder los límites de resistencia.

- **Análisis estático:** El análisis estático se basa en la suposición de que las cargas aplicadas al bastidor se mantienen constantes y en equilibrio. Se resuelven las ecuaciones de equilibrio para determinar las fuerzas internas, las tensiones y las deformaciones resultantes en el bastidor. Este análisis es útil para evaluar la resistencia y rigidez del bastidor bajo cargas estáticas y determinar si cumple con los requisitos de diseño.
- **Análisis de fatiga:** El análisis de fatiga se utiliza para evaluar la resistencia del bastidor frente a cargas repetidas o fluctuantes que pueden causar fallas por fatiga en el material. Se aplican cargas variables al bastidor y se utilizan métodos como la vida a fatiga y los diagramas de Wöhler para predecir la vida útil del bastidor bajo condiciones de carga cíclica. Esto es especialmente relevante si el bastidor estará expuesto a cargas fluctuantes durante su operación.
- **Pruebas físicas y validación:** Además del análisis por métodos computacionales, es común realizar pruebas físicas en prototipos de bastidores para validar los resultados del análisis teórico. Estas pruebas pueden incluir pruebas de carga, pruebas de vibración o pruebas de resistencia estructural. Las pruebas físicas proporcionan datos reales sobre el comportamiento del bastidor y permiten ajustar y mejorar el diseño en caso necesario.

Ilustración 5: Pruebas de resistencia



Fuente: A. Llulluna y R. Moya

2.2.4. Optimización del diseño mediante simulación CAE

La optimización del diseño mediante la simulación CAE para probar un bastidor es un enfoque que utiliza herramientas computacionales para mejorar el rendimiento y la eficiencia del diseño. El proceso implica la creación de un modelo de simulación del bastidor, donde se definen las condiciones de carga y se establecen variables de diseño. Luego, se ejecuta la simulación para evaluar el comportamiento del bastidor y se utilizan algoritmos de optimización para ajustar automáticamente las variables de diseño y mejorar el desempeño. Los resultados se analizan para evaluar si se cumplen los objetivos de optimización, y se pueden realizar iteraciones adicionales para refinar el diseño. Este enfoque permite explorar diferentes opciones de diseño de manera eficiente y tomar decisiones informadas basadas en los resultados de la simulación, mejorando así la calidad y el rendimiento del bastidor.

3. CAPITULO 3

3.1. Construcción del prototipo

La construcción del prototipo de un bastidor utilizando aluminio y fibra de carbono implica el uso de materiales ligeros pero resistentes para lograr un bastidor robusto y de alta calidad. Se selecciona cuidadosamente el aluminio y la fibra de carbono adecuados, teniendo en cuenta sus propiedades mecánicas y características de resistencia a la tracción. Durante la construcción, se aplican técnicas de fabricación especializadas para trabajar con estos materiales, como el corte, el mecanizado y la laminación de la fibra de carbono. Se realiza un ensamblaje meticuloso de los componentes utilizando técnicas de unión adecuadas, como soldadura o adhesivos estructurales, para garantizar una conexión fuerte y duradera. Además, se llevan a cabo pruebas y análisis exhaustivos para verificar la integridad estructural del prototipo, incluyendo pruebas de carga y vibración. La construcción del prototipo con aluminio y fibra de carbono permite evaluar el rendimiento y las características del bastidor en términos de resistencia, rigidez y peso, proporcionando valiosos datos para la optimización y mejora del diseño final.

Ilustración 6: Construcción del prototipo



Fuente: A. Llulluna y R. Moya

3.1.1. Proceso de fabricación del bastidor

El proceso de fabricación del bastidor generalmente involucra una serie de pasos que incluyen la preparación de materiales, el corte y conformado, la soldadura, el mecanizado y el acabado. A continuación, se describe cada uno de estos pasos en el proceso de fabricación del bastidor:

Tabla 5: Procesos de fabricación de bastidores

| Proceso | Descripción |
|---------------------------|---|
| Preparación de materiales | En esta etapa, se adquieren los materiales necesarios, como perfiles de aluminio y láminas de fibra de carbono, y se realiza una inspección de calidad para asegurar que cumplan con los requisitos especificados. Los materiales se almacenan adecuadamente y se preparan para su uso en el proceso de fabricación. |
| Corte y conformado: | Los perfiles de aluminio y las láminas de fibra de carbono se cortan en las dimensiones requeridas según el diseño del bastidor. Esto se puede realizar utilizando sierras, cortadoras CNC u otras herramientas de corte adecuadas. Además del corte, es posible realizar procesos de conformado para dar forma a los componentes del bastidor. |
| Uniones con pernos | Las uniones con pernos son ampliamente utilizadas en la construcción de bastidores debido a su versatilidad, resistencia y facilidad de montaje. Estas uniones consisten en el uso de pernos o tornillos que se insertan a través de agujeros en las piezas que se desean unir, y se aseguran mediante tuercas y arandelas. |
| Mecanizado | El mecanizado implica la utilización de máquinas herramienta, como tornos, fresadoras y taladros, para dar forma, perforar y realizar operaciones de precisión en el bastidor. Esto puede incluir la |

| | |
|---------------------------------|---|
| | creación de agujeros de montaje, el fresado de ranuras o el mecanizado de superficies específicas. El mecanizado se realiza de acuerdo con los requisitos de diseño para obtener las tolerancias y acabados necesarios |
| Acabado | En esta etapa, se llevan a cabo procesos de acabado para mejorar la apariencia y la protección del bastidor. Esto puede implicar la aplicación de recubrimientos protectores, como pintura o recubrimientos en polvo, para prevenir la corrosión y mejorar la estética del bastidor. También se pueden aplicar tratamientos de superficie, como el pulido o el anodizado, para lograr acabados específicos. |
| Inspección y control de calidad | A lo largo de todo el proceso de fabricación, se realizan inspecciones regulares para garantizar la calidad y la conformidad con los estándares establecidos. Se llevan a cabo pruebas, como pruebas de resistencia, pruebas dimensionales y pruebas de calidad de soldadura, para asegurarse de que el bastidor cumpla con los requisitos técnicos y de rendimiento establecidos. |

3.1.2. Ensamblaje y pruebas de funcionamiento

El ensamblaje y las pruebas de funcionamiento de bastidores son pasos cruciales en el proceso de fabricación para asegurar que el bastidor esté correctamente ensamblado y funcione de manera óptima. A continuación, se describen los principales aspectos del ensamblaje y las pruebas de funcionamiento de los bastidores:

Preparación de componentes: Antes del ensamblaje, se verifican y preparan todos los componentes del bastidor, incluyendo piezas estructurales, placas de montaje, elementos de fijación, soportes y otros elementos. Se realiza una inspección visual para detectar posibles defectos o daños en los componentes.

Ilustración 7: Preparación de materiales



Fuente: A. Llulluna y R. Moya

Ensamblaje de componentes: Se procede a ensamblar los componentes del bastidor siguiendo el diseño y las especificaciones técnicas. Esto implica la colocación y fijación de las piezas estructurales, la instalación de las placas de montaje, la fijación de los elementos de fijación y la conexión de los soportes según las pautas establecidas.

Ilustración 8: Ensamblaje



Fuente: A. Llulluna y R. Moya

Ajuste y alineación: Durante el ensamblaje, se realiza el ajuste y la alineación de los componentes para garantizar un montaje preciso. Esto puede implicar el uso de herramientas de medición, como niveles y calibradores, para verificar la alineación de las superficies y la posición de los componentes.

Ilustración 9: Ajustes y alineación



Fuente: A. Llulluna y R. Moya

Fijación y aseguramiento: Una vez que los componentes están correctamente alineados, se procede a asegurar y fijar las conexiones mediante tornillos, pernos, tuercas, soldadura u otros métodos de fijación adecuados. Se sigue un procedimiento de apriete adecuado para garantizar una sujeción segura y adecuada de los componentes.

Ilustración 10: Fijación de componentes



Fuente: A. Llulluna y R. Moya

Pruebas de funcionamiento: Una vez que el bastidor ha sido ensamblado, se procede a realizar pruebas de funcionamiento para evaluar su rendimiento y garantizar que cumpla con los requisitos establecidos. Estas pruebas abarcan diferentes aspectos, como pruebas de carga, pruebas de vibración, pruebas de resistencia estructural y cualquier otro tipo de prueba relevante según la aplicación específica del bastidor. Estas pruebas son cruciales para verificar la calidad y la capacidad del bastidor, asegurando su idoneidad para su uso previsto.

Ilustración 11: Pruebas de funcionamiento



Fuente: A. Llulluna y R. Moya

Inspección y control de calidad: Se realiza una inspección visual y se llevan a cabo controles de calidad para verificar que el ensamblaje del bastidor cumpla con los estándares y especificaciones requeridos. Se pueden realizar inspecciones visuales,

mediciones dimensionales, pruebas de resistencia y otras pruebas según los criterios de calidad establecidos.

Ilustración 12: Control



Fuente: A. Llulluna y R. Moya

Ajustes y correcciones: Si se detectan problemas durante las pruebas de funcionamiento o la inspección, se realizan ajustes y correcciones necesarios para solucionarlos. Esto puede implicar el reajuste de componentes, el refuerzo de conexiones, la corrección de desalineaciones o cualquier otra medida correctiva necesaria para garantizar la calidad y el rendimiento del bastidor.

Ilustración 13: Ajuste de pernos



Fuente: A. Llulluna y R.Moya

4. CAPITULO 4

4.1. Análisis y resultados

4.1.1. Aplicación de cargas

Cuando se diseña un bastidor, es de suma importancia tener en cuenta las cargas gravitatorias a las que estará expuesto a lo largo de su vida útil. Para lograrlo, es necesario llevar a cabo un análisis y diseño estructural que considere varios factores, como el propósito del vehículo, las características del terreno, la velocidad máxima y el centro de gravedad, entre otros. Una vez que se comprenden las cargas a las que estará sometido el chasis, se pueden investigar las combinaciones menos favorables en situaciones específicas. Estas cargas gravitatorias, generadas por la interacción de la estructura con la gravedad, se clasifican en cargas muertas y cargas vivas. Mediante este análisis detallado, el objetivo es garantizar la resistencia y seguridad del chasis frente a diversas condiciones y exigencias durante su funcionamiento, asegurando así un rendimiento óptimo.

Las cargas muertas se refieren al peso propio del chasis y de los componentes estáticos, como el motor, el sistema de suspensión y otros elementos permanentes. Por otro lado, las cargas vivas son las fuerzas dinámicas generadas por las condiciones de operación, como las aceleraciones, desaceleraciones y movimientos del vehículo.

Considerar estas cargas gravitatorias es fundamental para diseñar un chasis resistente y seguro, capaz de soportar las exigencias a las que será sometido durante su vida útil. Un análisis exhaustivo y preciso de estas cargas permite desarrollar un diseño estructural que garantice la integridad y la eficiencia del chasis en diferentes escenarios y aplicaciones.

4.1.2. Cargas estáticas.

Las cargas estáticas son aquellas fuerzas que actúan sobre una estructura sin cambiar su magnitud o dirección a lo largo del tiempo. Estas cargas se mantienen constantes y no generan movimientos o vibraciones en la estructura. Al diseñar una estructura, es fundamental considerar las cargas estáticas que actuarán sobre ella, ya que determinan la resistencia necesaria para soportar esas fuerzas sin sufrir deformaciones excesivas o

fallas. Las cargas estáticas pueden incluir el peso propio de la estructura, la carga de equipos o materiales, la fuerza del viento o la gravedad. Mediante el análisis y cálculo de estas cargas estáticas, se busca garantizar la integridad y estabilidad de la estructura en diversas condiciones de carga.

4.1.3. Cargas muertas.

Las cargas permanentes, también conocidas como cargas muertas, no cambian con el tiempo y mantienen una magnitud constante. Estas cargas son influenciadas tanto por el peso de la estructura en sí como por el peso de los materiales que soporta. Para calcular las cargas muertas, es útil conocer las densidades de los materiales involucrados.

Las cargas muertas comprenden la suma del peso del chasis del vehículo y todos sus componentes y accesorios, incluyendo la carrocería, el motor, las baterías, la transmisión, el sistema de dirección, entre otros. Estas cargas representan el peso constante que la estructura debe soportar en cualquier momento, independientemente de cómo se utilice el vehículo.

Tener en cuenta las cargas muertas es esencial en el diseño estructural, ya que permite dimensionar adecuadamente los componentes y asegurar la resistencia y estabilidad del chasis en diferentes condiciones de carga. Conociendo las cargas muertas y sus fuentes, se pueden realizar cálculos precisos para garantizar la seguridad y el rendimiento óptimo de la estructura.

4.1.4. Cargas vivas.

Las cargas gravitatorias que se generan al aplicar una carga en la dirección normal de una estructura y se distribuyen uniformemente se conocen como cargas vivas. Estas cargas son el opuesto de las cargas muertas. En el contexto de un chasis, las cargas vivas potenciales son aquellas causadas por la ocupación del chasis a lo largo de su vida útil. Esto incluye el peso de los pasajeros y su equipaje, la carga aerodinámica y el peso específico de la carga transportada.

Además de las cargas muertas y vivas, existen dos tipos adicionales de cargas dependiendo de la aplicación: cargas estáticas y cargas dinámicas. Las cargas estáticas son aquellas que se mantienen constantes en un periodo de tiempo determinado sin

cambios significativos, mientras que las cargas dinámicas varían en magnitud y dirección a lo largo del tiempo, como las fuerzas de impacto o las vibraciones.

Es esencial considerar todas estas cargas en el diseño de un chasis para garantizar su resistencia y seguridad. El análisis y dimensionamiento adecuado de la estructura frente a las cargas muertas y vivas, así como la comprensión de las cargas estáticas y dinámicas, permiten diseñar un chasis capaz de soportar las exigencias de su aplicación específica.

4.1.5. Análisis por medio de un software de elementos finitos.

El análisis mediante software de elementos finitos es una herramienta poderosa utilizada en el diseño y la evaluación de bastidores. Este enfoque se basa en la división de la estructura en elementos más pequeños, lo que permite realizar cálculos precisos y detallados de las propiedades y comportamiento del bastidor.

El software de elementos finitos utiliza algoritmos matemáticos para modelar y simular el comportamiento del bastidor en respuesta a diferentes cargas y condiciones. Permite analizar la resistencia estructural, la rigidez, la distribución de tensiones y deformaciones, y otros aspectos clave del rendimiento del bastidor.

Mediante el uso de este software, se pueden probar diferentes diseños y configuraciones, evaluando su desempeño antes de la fabricación del prototipo. Esto permite optimizar la geometría y los materiales del bastidor para cumplir con los requisitos de resistencia, rigidez y peso.

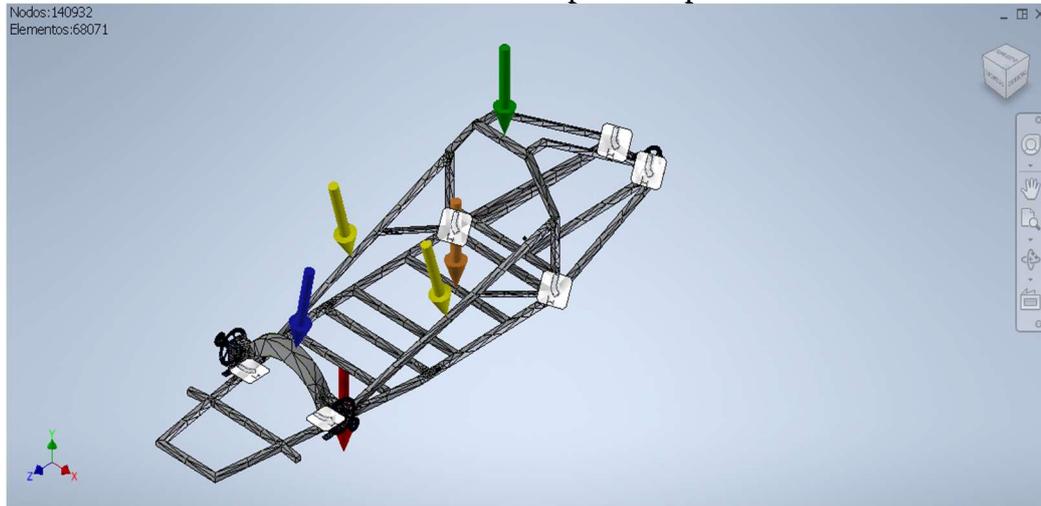
El análisis por medio de un software de elementos finitos proporciona resultados detallados y precisos que ayudan a tomar decisiones informadas en el diseño y la optimización del bastidor. También permite identificar áreas de alto estrés y realizar ajustes para mejorar la resistencia y el rendimiento global del bastidor.

4.1.6. Análisis estático.

Una vez que se ha realizado el modelado del prototipo, se llevan a cabo pruebas exhaustivas utilizando herramientas de simulación CAE para verificar la confiabilidad

del modelo y el material seleccionado para su uso previsto. Estas pruebas permiten evaluar el desempeño del prototipo en diferentes escenarios y condiciones de carga.

Ilustración 14: Modelo con pesos respectivos



Fuente: A. Llulluna y R. Moya

AZUL = 785 N

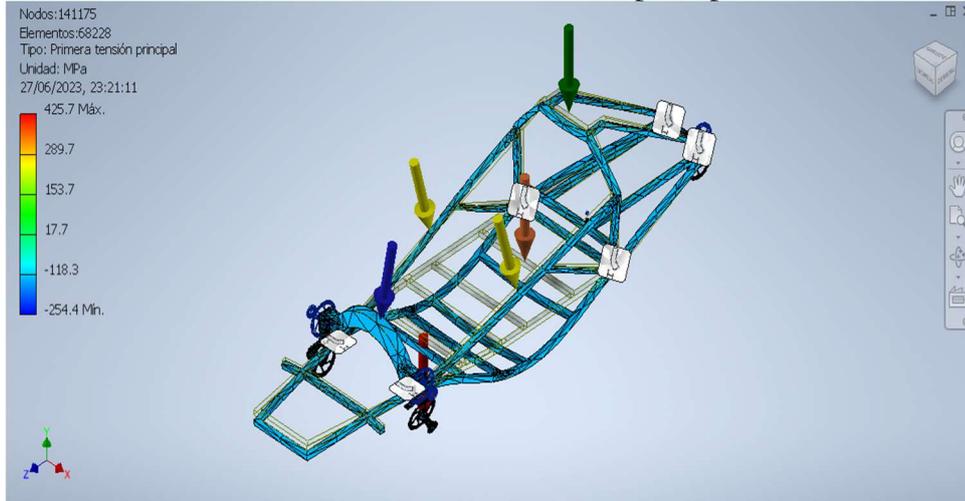
VERDE = 1177 N

NARANJA = 1471 N

AMARILLO = 1324 N

Con el fin de determinar la deformación máxima a la que está expuesto y el factor de seguridad estructural del prototipo, se aplican cargas distribuidas que simulan el peso del piloto. Para establecer la capacidad de carga que puede soportar, se aplica una fuerza de 1324 N en la ilustración 14. Esto permite evaluar cómo la estructura es capaz de soportar el peso del piloto sin experimentar deformaciones excesivas, manteniendo un factor de seguridad de 2. De esta manera, se busca asegurar la resistencia y la integridad estructural del prototipo ante las condiciones de carga a las que estará sometido.

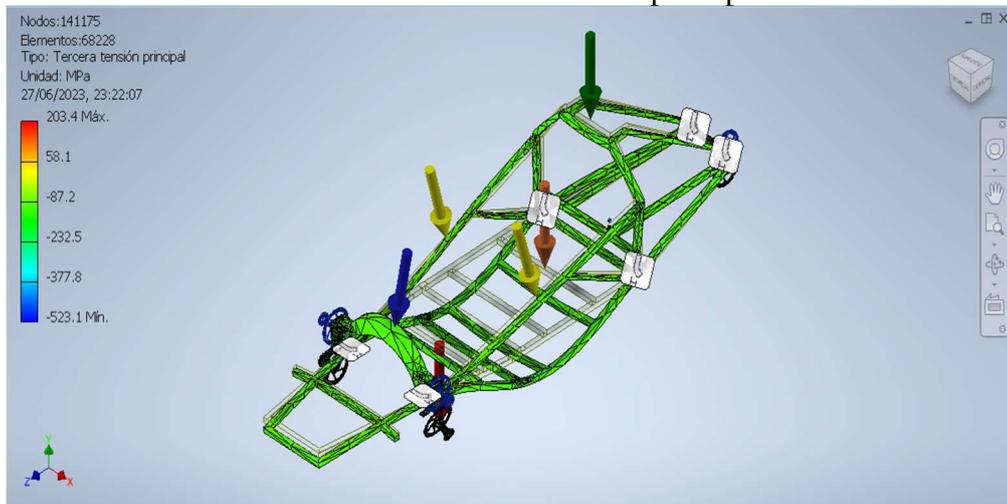
Ilustración 15: Primera tensión principal



Fuente: A. Llulluna y R. Moya

Aplicando otra fuerza de 1471 N en la parte central del bastidor, dentro de la ilustración 15. Los 1471 N aplicados se obtuvo igualmente un coeficiente de seguridad de 2, igualmente demostrando que el bastidor no sufrió una deformación muy severa.

Ilustración 16: Tercera tensión principal

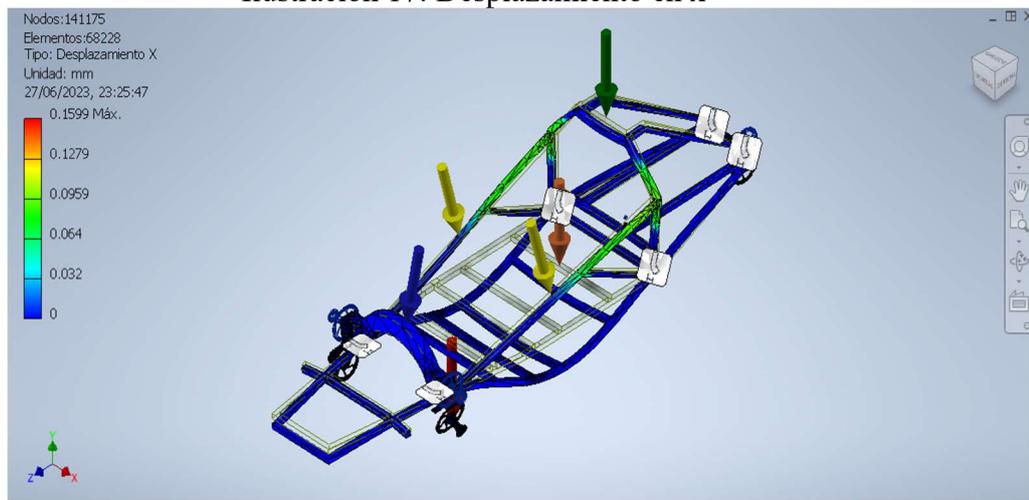


Fuente: A. Llulluna y R. Moya

El bastidor debe tener la capacidad de resistir cargas superiores a 700 N que actúen sobre el respaldo y el mamparo desde todas las direcciones. Esto implica que la estructura debe ser diseñada y construida de manera que pueda soportar y distribuir eficientemente estas cargas sin sufrir deformaciones o fallas. Es fundamental garantizar la integridad y la resistencia del bastidor para asegurar su funcionamiento seguro y confiable en diferentes situaciones y condiciones de carga.

Con el objetivo de asegurar que el piloto pueda resistir colisiones y ofrecer protección con un factor de seguridad de 10, se aplica una carga de 785 N en el área ilustrada como número 16, lo cual equivale a una masa de 80 kg. Esta carga permite evaluar la capacidad de la estructura para proteger al piloto en situaciones de colisión, garantizando que se cumplan los estándares de seguridad establecidos. Mediante esta prueba, se busca asegurar la integridad y la resistencia del sistema en condiciones de impacto, brindando una protección adecuada al piloto.

Ilustración 17: Desplazamiento en x



Fuente: A. Llulluna y R. Moya

La seguridad es un concepto relativo que se basa en comparar la resistencia máxima de un elemento con la fuerza a la que estará expuesto. Este factor es de vital importancia, ya que determina si el elemento es capaz de funcionar de manera adecuada. Se considera aceptable si el factor de seguridad es mayor a 1, lo que garantiza que el elemento operará dentro de los parámetros esperados y cumplirá con su función correctamente.

4.1.7. Análisis de los resultados obtenidos

Se llevan a cabo pruebas de resistencia estructural, evaluando la capacidad de soportar cargas y fuerzas sin deformarse ni fallar. Además, se considera el peso y la rigidez del bastidor para encontrar un equilibrio óptimo entre ambos aspectos. Se inspeccionan las uniones para verificar su calidad y resistencia, y se evalúa la durabilidad y resistencia a la corrosión. Se realiza una evaluación estética y se analizan los costos asociados a la fabricación.

4.1.8. Conclusiones y recomendaciones para futuras investigaciones

Conclusiones:

- Los bastidores fabricados con aluminio y fibra de carbono han demostrado ser estructuralmente sólidos y capaces de soportar las cargas y fuerzas esperadas sin deformarse ni fallar.
- La combinación de aluminio y fibra de carbono permite lograr un equilibrio óptimo entre peso y rigidez, lo que resulta en bastidores eficientes en términos de rendimiento estructural.
- Las uniones de los bastidores, especialmente aquellas realizadas con pernos, han demostrado ser de alta calidad y resistencia, asegurando la integridad estructural de los bastidores.
- La apariencia estética de los bastidores, incluyendo el acabado superficial y la uniformidad del color, cumple con los estándares establecidos, lo que es especialmente relevante en aplicaciones donde la estética es un factor importante.
- Los costos asociados a la fabricación de los bastidores de aluminio y fibra de carbono son justificables en términos de calidad y rendimiento.

Recomendaciones para futuras investigaciones:

- Realizar estudios más detallados sobre la resistencia a la fatiga de los bastidores de aluminio y fibra de carbono, evaluando su comportamiento bajo cargas cíclicas y prolongadas.
- Investigar la posibilidad de utilizar otros materiales compuestos en la fabricación de bastidores para explorar nuevas combinaciones que mejoren aún más el rendimiento y la eficiencia.
- Evaluar la posibilidad de aplicar técnicas avanzadas de fabricación, como la fabricación aditiva, para optimizar la estructura y el peso de los bastidores.
- Realizar pruebas de campo en aplicaciones reales para verificar el desempeño de los bastidores en condiciones operativas y obtener retroalimentación directa de los usuarios.
- Investigar métodos de reciclaje y reutilización de los materiales utilizados en los bastidores, con el objetivo de mejorar la sostenibilidad y reducir el impacto ambiental.

4.2. Referencias bibliográficas

1. Instruments, T. (2019). Torsión - TA Instruments. Recuperado de <https://www.tainstruments.com/t/test-types/torsion/?lang=es#:~:text=Las%20pruebas%20de%20torsión%20generalment e,curva%20“esfuerzo%20versus%20deformación”>.
2. Pareja, R. (11 de enero de 2021). Presentan unas mamparas de polivinilo que permiten distancia social en las furgonetas. Recuperado de <https://www.caranddriver.com/es/coches/planeta-motor/a35175112/mamparas-proteccion-coronavirus-coche/>
3. Plaza, D. (14 de marzo de 2020b). ¿Qué es la carrocería? Tipos y características. Recuperado de <https://www.motor.es/que-es/carroceria>
4. ONMIDIA. (2018). Definición de Construcción. Recuperado de <https://www.definicionabc.com/general/construccion.php>
5. Cadems. (8 de abril de 2021). Diseño mecánico: en qué consiste y cuáles son las mejores herramientas - CADEMS. Recuperado de <https://www.cadems.es/disenomecanico-consiste-cuales-las-mejores-herramientas/>
6. Endado. (s.f.). La historia del cinturón de seguridad y sus tipos - El blog de Endado. Recuperado de <https://www.endado.com/blog/la-historia-del-cinturon-de-seguridad/#:~:text=Un%20cinturón%20de%20seguridad%20es,más%20importante s%20de%20seguridad%20pasiva>.
7. López, J. C. (28 de junio de 2019). Fibra de carbono: qué es y por qué es tan atractiva para la electrónica de consumo como para la aeronáutica o la automoción. Recuperado de <https://www.xataka.com/investigacion/fibra-carbono-que-que-atractiva-para-electronica-consumo-como-para-aeronautica-automocion>
8. Leon, L. (n.d.). CAD vs CAE vs CAM: ¿Cuáles son las diferencias? E3seriescenters.com. Retrieved March 19, 2023, from <https://www.e3seriescenters.com/es/blog-de-ingenieria-electrica-moderna/cad-vs-cae-vs-cam-diferencias>
9. Ingeniería asistida por ordenador (CAE). (n.d.). Siemens Digital Industries Software. Retrieved March 19, 2023, from <https://www.plm.automation.siemens.com/global/es/our-story/glossary/computer-aided-engineering-cae/13112>

10. Roshfrans. (6 de noviembre de 2021). ¿Qué es el chasis? - Roshfrans. Recuperado de <https://www.roshfrans.com/blog/queeselchasis>
11. Porto, P. (20 de diciembre de 2021). Definición de estabilidad - definicion.de. Recuperado de <https://definicion.de/estabilidad/>
12. Tlapanco Rios, E. I., Castaño Urrego, C. A., Lopez Perez, J. R., & Forero Rubiano, F. R. A. (2020). Método de comparación de resultados de modelado CAD-CAE contra probetas de ensayo destructivo. *Acta universitaria*, 30, 1–16.
13. Castrocomposites. (2022, July 11). Propiedades principales de la fibra de carbono. Retrieved March 20, 2023, from Castro Composites website: <https://castrocomposites.com/informacion-tecnica/propiedades-principales-de-la-fibra-de-carbono/>
14. Di Stefano, M. (n.d.). La Fibra de Carbono y su uso en el mundo automotriz. Retrieved March 20, 2023, from Motor y Racing website: <https://www.motoryracing.com/pruebas/noticias/la-fibra-de-carbono-y-su-uso-en-el-mundo-automotriz/>
15. Euroinnova Business School. (2021, April 7). Diseño Mecánico, ¡TE LO CONTAMOS TODO! Retrieved March 20, 2023, from Euroinnova Business School website: <https://www.euroinnova.ec/blog/disenio-mecanico>
16. Delphine, D., & Hugues, T. (2017). Weight Reduction Strategy of a Car Frame. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, 5(1), 62-68. Recuperado de <http://www.ijmerr.com/v5n1.html>
17. Ravi, R. K., & Singh, A. (2017). Optimization of Chassis Frame using CAE Techniques. *International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology*, 8(1), 42-47. Recuperado de <https://www.ijltet.org/journal/181428>
18. Bhatia, M. (2017). Optimization of Vehicle Chassis using Finite Element Analysis. *International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology*, 8(2), 84-94. Recuperado de <http://ijaret.org/ijaret/VOL-8-ISSUE-2-2017/IJARET-VOL-8-ISSUE-2-84-94.pdf>
19. Zhou, J., Gao, F., & He, X. (2019). Lightweight Design of Bus Body Structure Based on CAE. *Journal of Physics: Conference Series*, 1261(1), 012010. doi: 10.1088/1742-6596/1261/1/012010

20. Recuperado de <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1261/1/012010/pdf>
21. Singh, A., & Bansal, S. (2019). A review on automotive lightweight materials and their attributes. *International Journal of Advanced Science and Technology*, 28(15), 731-740. Recuperado de <http://sersc.org/journals/index.php/IJAST/article/view/23471/11672>
22. Nascimento, L. F. M., & de Oliveira, V. H. (2019). Lightweight Design of Automotive Structures: A Review. *Journal of The Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 41(3), 135. Recuperado de <https://link.springer.com/article/10.1007/s40430-019-1559-6>
23. Praveen, S., Kumar, S., & Singh, R. K. (2018). Development of Lightweight Vehicle Chassis: A Review. *Materials Today: Proceedings*, 5(11), 24709-24716. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785318318536>
24. C. Li, Y. Li, L. Guo, Y. Liu, y L. Wang, "Design optimization of lightweight automotive body based on multi-objective genetic algorithm," *Journal of Mechanical Science and Technology*, vol. 32, no. 2, pp. 785-792, Feb. 2018. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12206-018-0136-5>
25. A. Lezama, F. Cárcamo, y J. L. Muñoz, "Optimization of a lightweight body structure for a small urban electric vehicle," *International Journal of Automotive Technology*, vol. 21, no. 3, pp. 507-515, Jun. 2020. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12239-020-0051-6>
26. Totoy, Grandes, P. J. (2019). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN VEHÍCULO CON MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA MEDIANTE EL ANÁLISIS CAE PARA LA COMPETENCIA SHELL ECO-MARATHON. Recuperado de <http://dspace.esoch.edu.ec/bitstream/123456789/10129/1/65T00295.pdf>
27. Shell Eco-marathon. (2019). Shell Eco-marathon Americas 2019 Results. Shell. <https://www.shell.com/make-the-future/shell-ecomarathon/americas/americas-results-2019.html>