

	Anexo 4. Formato para la Elaboración de Tesis	Responsable: División de Estudios Profesionales	
		N/A	Página: 1 de 68
		Revisión: 2	
			Emisión: Junio 2022

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO **Instituto Tecnológico de Culiacán**



Opción:

TITULACIÓN INTEGRAL

“Diseño Optimizado de un Vehículo Eléctrico Biplaza de tres ruedas “

ALUMNO(A):

Dania Sarahi García Huitrón

CARRERA:

Ingeniería Mecatrónica

No. DE CONTROL:

19170390

Culiacán, Sinaloa



Instituto Tecnológico de Culiacán

DIVISION DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ASUNTO: **Autorización de Impresión**

Culiacán, Sinaloa, 26/09/2025 15:16

C. DANIA SARAHI GARCIA HUITRON
PASANTE(S) DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
P R E S E N T E.

De acuerdo con fallo emitido por la Comisión Revisora Integrada por:

Cédula Profesional

Presidente:	Doctor en Ciencias de la Ingeniería Omar Jhovany Payan Serrano	11461565
Secretario:	Maestría en Ciencias con especialidad en Ingeniería Mecánica Constantino Anaya Hill	4796950
Vocal:	Doctor en Ingeniería de Materiales Ismael Díaz Peña	9798300

Y considerando que reúne los requisitos establecidos en la Opción: **TITULACIÓN INTEGRAL: TESIS PROFESIONAL "DISEÑO OPTIMIZADO DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO BIPLAZA DE TRES RUEDAS"**, damos a usted nuestra autorización para que proceda a imprimir su trabajo profesional.

Sin otro particular, quedo de usted.

ATENTAMENTE
Excelencia en Educación Tecnológica®

LIC. CONCEPCIÓN MENDOZA ROSALES
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES



2025
Año de
La Mujer
Indígena

Juan de Dios Bátiz 310 Pte. Col. Guadalupe C.P. 80220
Culiacán, Sinaloa. Tel. 667-454-0100
tecnm.mx www.culiacan.tecnm.mx



AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco profundamente al Instituto Tecnológico de Culiacán por proporcionar las instalaciones, recursos y el ambiente académico propicio para el desarrollo de esta investigación.

Una mención muy especial merece el Dr. Omar Jhovanny Payán Serrano, asesor de esta tesis, cuya guía experta, disponibilidad y valiosas observaciones enriquecieron sustancialmente el desarrollo de este proyecto. Su experiencia en el campo de la ingeniería automotriz y su dedicación en la dirección de este trabajo fueron fundamentales para alcanzar los objetivos planteados.

Extiendo mi gratitud a los profesores del Departamento de metal-mecánica por la sólida formación académica recibida a lo largo de la carrera, la cual constituyó la base fundamental para la ejecución de este proyecto.

De manera muy especial, deseo expresar mi eterno agradecimiento a mis padres por su apoyo incondicional, sacrificios y constante motivación durante toda mi formación académica. Su amor y confianza han sido el pilar fundamental para alcanzar esta meta.

Igualmente, a mis compañeros de carrera por la colaboración, el intercambio de ideas y el apoyo mutuo durante el desarrollo de esta investigación. Su compañerismo y espíritu de equipo hicieron más llevadero el camino hacia la culminación de este trabajo.

Reconozco también el apoyo de mis amigos, quienes con su comprensión y aliento contribuyeron a mantener el equilibrio entre la vida académica y personal durante este proceso.

A todos ellos, gracias por ser parte fundamental de este logro académico.

DISEÑO OPTIMIZADO DE UN VEHICULO BIPLAZA DE TRES RUEDAS

RESUMEN

La presente tesis aborda el proceso de modelado, análisis y validación estructural de un prototipo biplaza de tres ruedas mediante herramientas de diseño asistido por computadora y simulación numérica. La herramienta empleada para la simulación fue SolidWorks Simulation, seleccionada por su integración con el entorno CAD y sus capacidades para ejecutar análisis de esfuerzos y deformaciones. En este contexto, se detallan aspectos críticos como la calidad del mallado, la selección de materiales y las consideraciones necesarias para evitar errores comunes en la implementación del MEF (Método de elementos finitos).

Los resultados obtenidos a partir del análisis estático del chasis fueron satisfactorios. Las simulaciones demostraron que la estructura es capaz de soportar el peso propuesto para el vehículo, manteniendo niveles de deformación considerablemente inferiores al límite elástico del material utilizado. Este hallazgo confirma la viabilidad del diseño optimizado y valida la metodología empleada como una alternativa eficaz para el desarrollo de vehículos eléctricos ligero resaltando como la integración del MEF con SolidWorks constituye una herramienta poderosa para optimizar diseños innovadores y sostenibles en la ingeniería automotriz.

Palabras clave: (Modelado 3D, MEF, Análisis estructural, Vehículo biplaza).

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Antecedentes	2
1.2	Descripción del problema.....	7
1.3	Hipótesis o preguntas de investigación	7
1.4	Objetivo general	7
1.5	Objetivos específicos	8
1.6	Justificación.....	8
1.7	Alcance.....	9
2	FUNDAMENTO TEÓRICO	10
2.1	Diseño general	10
2.1.1	Desarrollo histórico de vehículos biplaza de tres ruedas	10
2.1.2	Buggies y chasis tubular	12
2.2	Simuladores para análisis estructurales.	13
2.3	Introducción al método de elementos finitos.....	14
2.4	Fundamentos del MEF	15
2.4.1	Historia y evolución.....	15
2.4.2	Principios matemáticos y físicos.....	15
2.5	Aplicaciones del MEF en ingeniería.....	16
2.5.1	Análisis estructural.....	17
2.5.2	Análisis térmico y de fluidos	18
2.6	Solidworks simulation como herramienta para el MEF	20
2.6.1	Características y capacidades	20

2.7	Consideraciones en el uso del MEF	24
2.7.1	Calidad del mallado	24
2.7.2	Errores comunes.....	25
	Un error fundamental radica en la incomprensión de las bases matemáticas del método.	25
	Muchos usuarios aplican el MEF como una caja negra sin comprender que se trata esencialmente de un método de aproximación basado en principios variacionales o residuales. (Reddy, 2019) . Esta falta de comprensión conduce a la aplicación incorrecta del método a problemas fuera de su dominio de validez. Fish & Belytschko (2020) identifican que "la sobre confianza en los resultados numéricos sin una validación adecuada representa un riesgo significativo en análisis ingenieriles, particularmente cuando los usuarios carecen de formación en la teoría subyacente".....	25
3	PROCEDIMIENTO	26
3.1	Chasis	26
3.2	Suspensión.....	26
3.2.1	Delantera.	27
3.2.2	Trasera.....	33
3.3	Sistema de dirección.....	35
4	RESULTADOS	41
4.1	Diseño conceptual 3D del vehículo.....	41
4.1.1	Modelado de chasis	43
4.1.2	Modelado de suspensión delantera	43
4.1.3	Modelado de suspensión trasera.....	45
4.1.4	Modelado de neumáticos.....	47
4.2	Simulación en Solidworks	48
4.2.1	Condición de peso máximo (400 kg).	48

4.2.2	Condición de peso mínimo (350 kg).....	49
5	CONCLUSIONES.....	52
6	COMPETENCIAS DESARROLLADAS.....	54
7	FUENTES DE INFORMACIÓN.....	56

ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

Figura 1-1	Análisis de elementos finitos, carga vertical, realizado en SolidWorks, imagen extraída de Pauta Morocho y Villacís Avilés, 2012.....	3
Figura 1-2	Esfuerzos durante el giro con máxima aceleración lateral	4
Figura 1-3	Análisis de cargas verticales	6
Figura 2-1	Morgan three wheeler	11
Figura 2-2	Polaris Slingshot. (Potts, 2020)	11
Figura 2-3	Tres ruedas en línea. (Galería: 10 coches con tres ruedas que tal vez no conozcas, 2018)	12
Figura 2-4	Ejemplo de chasis tubular.....	13
Figura 2-5.	Análisis estático.	18
Figura 2-6	Procedimiento previo del análisis de elementos finitos	23
Figura 2-7	Procedimiento de discretización y solución del Análisis del elemento Finito.	23
Figura 2-8	Ejemplo de error en MEF.....	25
Figura 3-1	S. McPherson. (Blancarte & Buchsbaum, 2013)	28
Figura 3-2	S. Pull Road. (Push road vs Pull road, 2011)	28
Figura 3-3	S. Push Road. (Push road vs Pull road, 2011).....	29
Figura 3-4	S. Paralelogramo deformable. (Blancarte & Buchsbaum, 2013).....	29
Figura 3-5	S. Multilink. (Hernandez Del Arco, 2024)	29
Figura 3-6	S. Monoshock. (Team, 2015)	33

Figura 3-7 Doble brazo. (Shah, 2025).....	33
Figura 3-8 Bieletas. (Dirtbike, 2020)	33
Figura 3-9 Volante. (¿Qué es y cómo Funciona la Dirección de un Coche?, 2024)	36
Figura 3-10 Manubrio. (Kaikos, 2022).....	36
Figura 4-1 Diseño conceptual final.....	41
Figura 4-2 Vista lateral.	41
Figura 4-3 Vista frontal.	42
Figura 4-4 Plano general.....	42
Figura 4-5 Chasis obtenido.	43
Figura 4-6 Suspensión 3D completa.....	43
Figura 4-7 Mangueta.	44
Figura 4-8 Brazo superior.....	44
Figura 4-9 Brazo inferior.....	44
Figura 4-10 Amortiguador delantero.	45
Figura 4-11 Suspensión trasera 3D	45
Figura 4-12 Mono brazo basculante.	46
Figura 4-13 Amortiguador trasero.	46
Figura 4-14 Neumático delantero. (145/65 R15)	47
Figura 4-15 Neumático trasero. (205/45 R16).	47
Figura 4-16 Configuración de peso máximo	48
Figura 4-17 Análisis estático del chasis tubular bajo carga vertical máxima.....	49
Figura 4-18 Configuración carga vertical mínima.	50
Figura 4-19 Análisis estático del chasis tubular bajo carga vertical mínima.....	50
 Tabla 3-2 Tipos de suspensión	 28
Tabla 3-3 Suspensiones delanteras.....	29
Tabla 3-4 Ponderaciones en porcentaje (SD).....	30
Tabla 3-5 Comparación de suspensiones delanteras.....	31
Tabla 3-6 Ponderación en puntos (SD).....	32

Tabla 3-7 Cálculos suspensión delantera.	32
Tabla 3-8 Suspensiones traseras	33
Tabla 3-9 Comparación de suspensiones traseras. (Aparicio & Gómez, 2022)	35
Tabla 3-10 Cálculos para suspensión trasera.	35
Tabla 3-11 Sistemas de conducción	36
Tabla 3-12 Análisis de conducción.	37
Tabla 3-13 Tipos de dirección.	40

1 INTRODUCCIÓN

El transporte urbano enfrenta en la actualidad numerosos desafíos, entre los que destacan la contaminación ambiental, la congestión vehicular y la creciente demanda de soluciones de movilidad más eficientes y sostenibles. En este contexto, los vehículos eléctricos han emergido como una alternativa prometedora, al ofrecer ventajas significativas en términos de reducción de emisiones y eficiencia energética. Sin embargo, el desarrollo de prototipos accesibles y optimizados para entornos urbanos sigue siendo un área de oportunidad para la ingeniería moderna.

Esta tesis se centra en el diseño optimizado de un vehículo eléctrico biplaza de tres ruedas, una configuración que busca combinar ligereza, bajo costo y un desempeño adecuado para su uso en ciudad. El proyecto aborda de manera integral el proceso de diseño, modelado y validación estructural del chasis y los sistemas de suspensión, haciendo uso de herramientas de diseño asistido por computadora y simulación numérica.

Uno de los retos principales consiste en garantizar que la estructura tubular del chasis sea capaz de soportar las cargas de operación sin comprometer la seguridad de los ocupantes. Para ello, se emplea el método de elementos finitos (MEF) mediante el software SolidWorks Simulation, con el fin de analizar el comportamiento estructural bajo condiciones de carga estática y verificar que los esfuerzos se mantengan dentro del rango elástico del material.

El trabajo se estructura en varias etapas: desde la conceptualización y modelado 3D del vehículo, hasta la selección de sistemas de suspensión mediante análisis multicriterio y la validación numérica del conjunto. Todo ello con el propósito de sentar las bases metodológicas para el desarrollo de vehículos ligeros, sostenibles y tecnológicamente accesibles.

A través de este proyecto, no solo se espera demostrar la viabilidad del diseño propuesto, sino también destacar el valor de las herramientas de simulación como medio para reducir costos y tiempos de desarrollo, facilitando así la transición hacia formas de movilidad más innovadoras y responsables con el medio ambiente.

1.1 Antecedentes

A lo largo del tiempo se han desarrollado diversas metodologías destinadas al diseño de los Buggy. Estas se enfocan principalmente en análisis estáticos, de fatiga y, en algunos casos, de impacto. Entre ellas, la metodología más utilizada y con menor nivel de complejidad es la de tipo estático. Dichos métodos de diseño suelen aplicarse mediante software de análisis por elementos finitos, con el propósito de realizar múltiples verificaciones, como la estimación de masas, la evaluación de esfuerzos y desplazamientos, así como otros aspectos relevantes que se examinan de manera rigurosa en el proceso de diseño de vehículos.

Un referente importante en el diseño de vehículos tipo buggy es el trabajo de Pauta Morocho y Villacís Avilés (2012), titulado “Diseño y construcción de un vehículo biplaza de estructura tubular con motor monocilíndrico Yamaha YFM 200”. En este estudio, los autores desarrollaron un prototipo biplaza de estructura tubular, con el objetivo de lograr un equilibrio entre resistencia, peso y seguridad. El proceso incluyó el diseño del chasis y sus componentes en software CAD, complementado con análisis por elementos finitos (FEA) para evaluar los esfuerzos, deformaciones y factores de seguridad de la estructura.

Durante la construcción, se aplicó un proceso ordenado que incluyó el trazado, corte, curvado y soldadura de tubos de acero ASTM A500 grado B, seguido del ensamblaje de los sistemas de suspensión independiente, frenos de disco y dirección directa. Finalmente, se realizaron pruebas de funcionamiento que evaluaron la estabilidad, frenado, velocidad y confort del vehículo. Los resultados mostraron que el diseño cumplía con los requerimientos mecánicos y de seguridad planteados, validando la importancia del uso del análisis por elementos finitos en el desarrollo de vehículos ligeros, al permitir optimizar la estructura antes de su fabricación y reducir posibles fallas.

En representación a lo anterior, se anexa la siguiente figura donde se muestra el resultado de una simulación aplicando las cargas verticales.

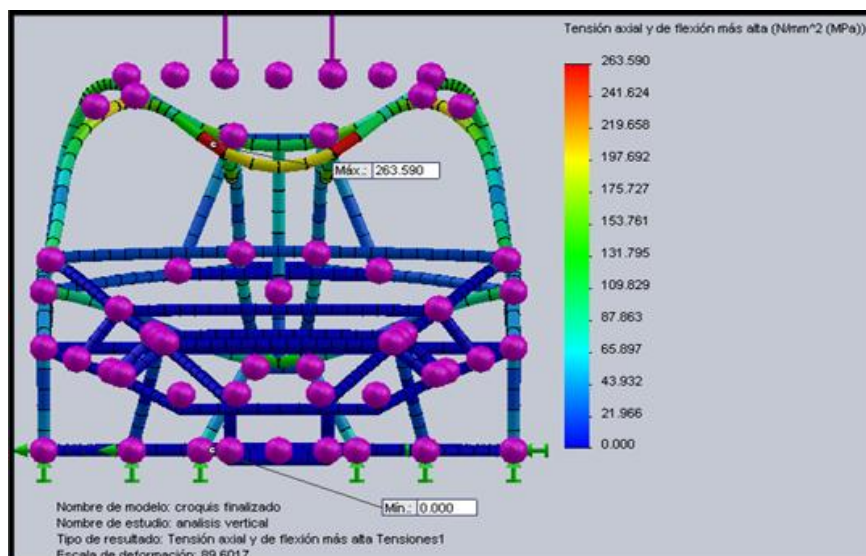


Figura 1-1 Análisis de elementos finitos, carga vertical, realizado en SolidWorks, imagen extraída de Pauta Morocho y Villacís Avilés, 2012

Por otro lado, Zehsaz, Sadeghi, Ettefagh y Hassannejad (2014) realizaron un estudio sobre la resistencia a la fatiga del chasis de un camión semipesado sometido a cargas dinámicas producidas por la irregularidad del camino. Con el objetivo de predecir la vida útil del chasis sin recurrir a costosas pruebas en carretera, desarrollaron un método numérico basado en el análisis por elementos finitos (FEM), validado mediante un análisis modal experimental. El modelo tridimensional fue elaborado en ANSYS, incorporando propiedades reales de masa, rigidez y amortiguamiento del vehículo, así como la simulación de distintos tipos de caminos y condiciones de carga, incluyendo frenado, curvas y baches.

La comparación entre los resultados del modelo FEM y las pruebas modales mostró un margen de error menor al 10%, lo que confirmó la fiabilidad del modelo. Los resultados de simulación indicaron que las tensiones generadas durante maniobras normales de conducción (frenado o curvas) se mantenían por debajo del límite de fatiga del material. Sin embargo, cuando la profundidad de los baches superaba los 20 cm o la altura de los bordillos excedía los 25 cm, se alcanzaban niveles de esfuerzo capaces de provocar daños estructurales. También se concluyó que las uniones soldadas del chasis mantenían su integridad dentro de los límites de esfuerzo permitidos.

En general, este trabajo demostró que el uso combinado del análisis por elementos finitos y la validación experimental permite predecir de manera precisa la vida útil de los componentes estructurales de vehículos pesados, optimizando el diseño y reduciendo los costos de desarrollo y prueba.

De manera ilustrativa a la explicación anterior, se presenta la figura donde se observa la distribución de esfuerzos durante el giro con máxima aceleración lateral.

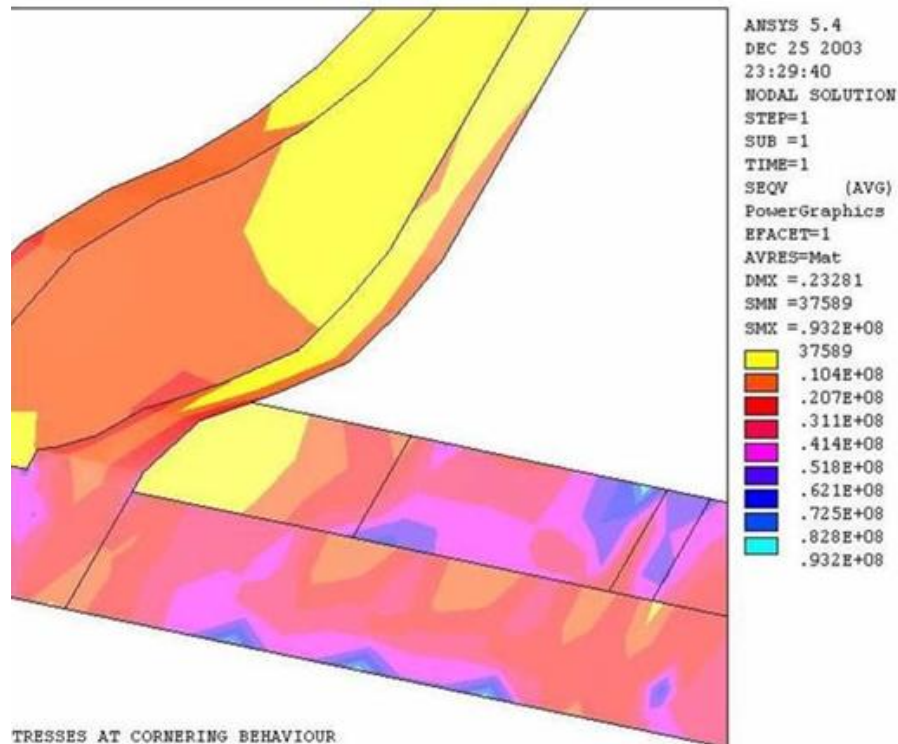


Figura 1-2 Esfuerzos durante el giro con máxima aceleración lateral

Un aporte significativo en el diseño estructural de vehículos tipo buggy es el trabajo titulado “Diseño y construcción del chasis para un vehículo tipo Buggy de la Fórmula Automovilística Universitaria”. En esta investigación se planteó el desarrollo de un chasis tubular conforme al reglamento de la Fórmula Automovilística Universitaria (FAU) y a la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1323, con el propósito de garantizar la seguridad, rigidez y estabilidad estructural del vehículo. Para lograrlo, se utilizó el software SAP2000 versión 10.1, herramienta que permitió analizar las cargas y esfuerzos que actúan sobre la estructura mediante el método de elementos finitos.

El proceso de diseño comenzó con el modelado geométrico en AutoCAD 3D, seguido de su importación al SAP2000 para definir materiales, secciones y combinaciones de carga estática, viva e impacto. Se realizaron análisis bajo distintas condiciones simuladas, como frenado, aceleración e impactos laterales, determinando que las combinaciones de carga del 1 al 7 no producían daños estructurales y que los atenuadores de impacto respondían correctamente ante colisiones simuladas. La estructura se fabricó con acero ASTM A36, material seleccionado por su buena resistencia mecánica, facilidad de soldadura y disponibilidad local.

Durante la fase de construcción, se aplicaron procedimientos controlados de doblado, soldadura MIG/MAG y ensamble modular, garantizando una geometría precisa y una alta integridad estructural. Las pruebas finales confirmaron que el chasis cumplía con los criterios de seguridad y rendimiento establecidos por la FAU, mostrando una buena distribución de esfuerzos y adecuada rigidez. El uso de herramientas de análisis computacional permitió optimizar el diseño, reducir los tiempos de desarrollo y aumentar la fiabilidad del prototipo.

Así mismo, Matrascusa y Marrugo (2017) realizaron un estudio denominado Diseño estocástico de un vehículo biplaza de chasis tubular, en el cual propusieron un enfoque integral que combina el análisis determinístico con el diseño estocástico para evaluar el comportamiento del chasis ante cargas estáticas y variables. En su investigación, los autores emplearon como base normativa los criterios de diseño y seguridad establecidos por la Real Federación Española de Automovilismo (R.F.E. de A.), debido a los valores conservadores que esta norma adopta en la definición de cargas verticales, laterales y frontales. El diseño inicial se desarrolló mediante simulaciones por el método de elementos finitos en el software NX Nastran, lo que permitió analizar desplazamientos y esfuerzos en diferentes condiciones de carga. Los resultados demostraron un desempeño estructural adecuado, con desplazamientos menores a 2 mm y esfuerzos que se mantuvieron más de 100 MPa por debajo del límite máximo permisible, garantizando la estabilidad y rigidez del bastidor.

Posteriormente, incorporaron un análisis de diseño estocástico a fatiga, con el fin de estudiar el efecto de cargas oscilatorias generadas por la interacción entre el sistema de suspensión y terrenos irregulares. Para ello, modelaron el sistema masa-resorte-amortiguador en Simulink, considerando tres

tipos de terreno: uno senoidal con crestas de 3 cm y dos escenarios con baches de 8 cm y 12 cm, respectivamente. A partir de estas simulaciones, aplicaron el criterio ASME-Elíptico para determinar la probabilidad de falla, obteniendo resultados de $1,58 \times 10^{-256}$ para el terreno senoidal, $4,06 \times 10^{-17}$ para baches de 8 cm y $2,36 \times 10^{-12}$ para baches de 12 cm. Estos valores reflejan una probabilidad de falla prácticamente nula, lo que sugiere que la estructura posee una vida útil prácticamente infinita bajo las condiciones de operación previstas.

Este trabajo constituye un aporte significativo al campo del análisis estructural automotriz, al integrar metodologías estáticas y estocásticas dentro de un mismo proceso de diseño. Su investigación demuestra la eficacia del uso combinado de normas de diseño conservadoras y herramientas de simulación numérica como NX Nastran y Simulink para la validación del desempeño estructural, sentando así las bases para futuras investigaciones orientadas a la optimización del comportamiento dinámico y la resistencia a fatiga de estructuras tubulares aplicadas a vehículos de competición o todoterreno.

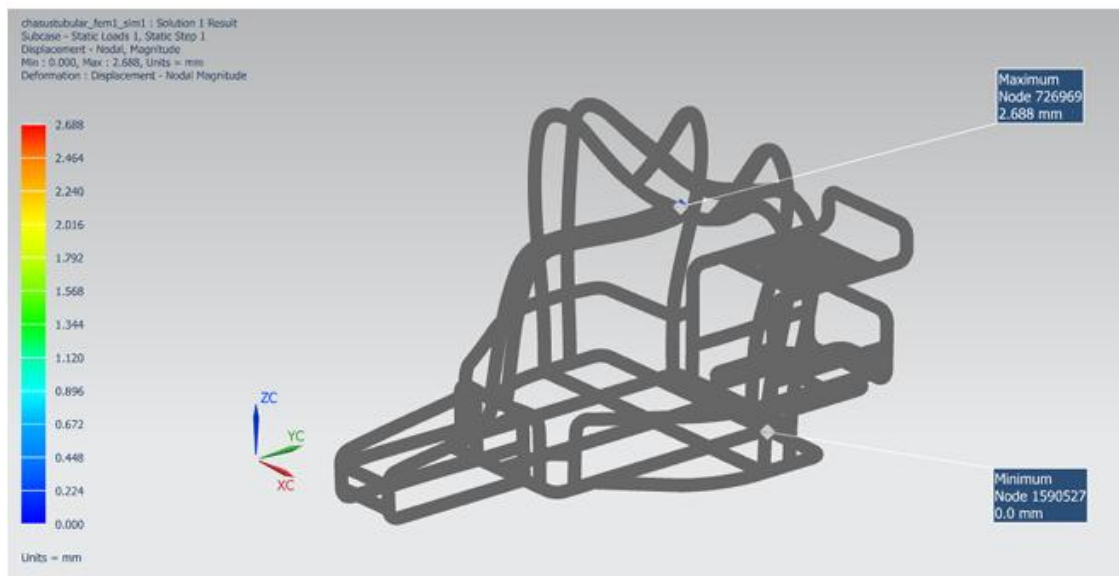


Figura 1-3 Análisis de cargas verticales

En la figura anterior se puede observar la aplicación de cargas verticales en la estructura, resaltando la utilidad del uso de estos programas para una vista más clara de los posibles resultados que se obtendrían en un entorno real, sin tener que desperdiciar tanto tiempo ni recursos.

1.2 Descripción del problema

En el mundo del transporte nos encontramos con diferentes problemáticas como pueden ser ambientales, económicas, entre otras que generan preocupación al desplazarse de un lugar a otro. A su vez, el avance tecnológico es cada vez más grande, ofreciendo mejores alternativas que pudieran mitigar los impactos anteriores mencionados, una de ellas es el desarrollo de coches eléctricos que ayudan significativamente a la reducción de la emisión de gases contaminantes y mejorar la eficiencia energética en este sector. De ahí nace la idea de crear un vehículo eléctrico biplaza de tres ruedas el cual pueda ofrecer una opción de traslado eficiente y sustentable, además de la reducción de costos en su fabricación. El principal reto de este proyecto se encuentra en la simulación y aplicación de un análisis estático por medio del método de elementos finitos para tener la certeza de que el chasis diseñado soportará las especificaciones de diseño dadas.

1.3 Hipótesis o preguntas de investigación

El diseño optimizado del chasis tubular para el vehículo eléctrico biplaza de tres ruedas, desarrollado mediante herramientas de diseño asistido por computadora y analizado mediante el método de elementos finitos, presentará una resistencia estructural adecuada para soportar las cargas de operación máxima de 400 kg, manteniéndose dentro del rango elástico del material.

1.4 Objetivo general

Llevar a cabo la simulación del diseño conceptual del vehículo eléctrico biplaza de tres ruedas con el fin de comprobar si cumple con las especificaciones dadas.

1.5 Objetivos específicos

-Diseñar conceptualmente en 3D el chasis tubular del vehículo biplaza de tres ruedas, considerando los criterios estructurales y ergonómicos necesarios para garantizar la seguridad y comodidad de los ocupantes.

-Modelar y seleccionar los sistemas de suspensión delantera y trasera mediante análisis comparativo de alternativas, evaluando parámetros de confort, complejidad, costo y adaptabilidad al diseño.

-Realizar el análisis estructural mediante el método de elementos finitos utilizando SolidWorks Simulation para validar la resistencia del chasis bajo condiciones de carga máxima (400 kg) y mínima (350 kg).

1.6 Justificación

El desarrollo de este vehículo eléctrico biplaza de tres ruedas responde a la necesidad creciente de implementar soluciones de movilidad urbana sostenible que reduzcan las emisiones contaminantes y optimicen el consumo energético. Según estudios recientes, el sector transporte contribuye significativamente a la contaminación ambiental, por lo que la transición hacia vehículos eléctricos se ha convertido en una prioridad a nivel global.

La implementación de metodologías de simulación por elementos finitos en el proceso de diseño permite reducir costos y tiempos de desarrollo, al tiempo que garantiza la seguridad estructural del prototipo. Esta investigación demuestra la viabilidad de utilizar herramientas computacionales accesibles como SolidWorks Simulation en el diseño automotriz, haciendo esta tecnología alcanzable para proyectos de pequeña y mediana escala.

Los resultados de este trabajo beneficiarán directamente a desarrolladores de vehículos eléctricos, estudiantes de ingeniería e investigadores interesados en aplicaciones de MEF en movilidad sustentable. Además, sienta las bases metodológicas para futuros desarrollos de vehículos ligeros en el contexto local, contribuyendo al avance tecnológico de la industria automotriz regional.

1.7 Alcance

Esta investigación se delimita al diseño conceptual y validación estructural del chasis y sistemas de suspensión de un vehículo eléctrico biplaza de tres ruedas. El estudio se centra específicamente en:

- El análisis estructural mediante MEF considerando únicamente condiciones estáticas de carga vertical en reposo
- El diseño de sistemas de suspensión mecánica sin incluir componentes electrónicos o de control.
- La simulación en ambiente virtual sin incluir la fabricación física del prototipo

Quedan fuera del alcance de este trabajo:

- Análisis dinámicos de vibración o fatiga.
- Estudio de sistemas de propulsión eléctrica.
- Pruebas experimentales de validación física.
- Análisis aerodinámicos y térmicos.
- Estudio de mercado y viabilidad comercial

2 FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 Diseño general

2.1.1 Desarrollo histórico de vehículos biplaza de tres ruedas

Los coches de tres ruedas tienen una larga historia que se remonta a los primeros días del automóvil. A finales del siglo XIX y principios del siglo XX, varios fabricantes experimentaron con diseños de vehículos de tres ruedas como una forma de crear automóviles más económicos y accesibles para el público en general. Estos primeros modelos a menudo presentaban una disposición de dos ruedas en la parte delantera y una rueda en la parte trasera, con motores de gasolina o eléctricos.

Los vehículos de tres ruedas tienen sus raíces en los primeros desarrollos del transporte automotor. Según Heitmann (2018), los primeros prototipos de triciclos motorizados aparecieron en la década de 1880, contemporáneos a los primeros automóviles de cuatro ruedas. Estos vehículos iniciales, como el Benz Patent-Motorwagen de 1886, adoptaron la configuración de tres ruedas por su simplicidad mecánica y menores costos de producción.

La década de 1920 marcó un punto de inflexión con la aparición de fabricantes especializados. Morgan Motor Company, con su modelo V-Twin de 1911, demostró que los vehículos de tres ruedas podían ofrecer desempeño deportivo. El cyclecar surgió en respuesta a la creciente demanda de automóviles ultra baratos a principios del siglo XX. El Morgan de tres ruedas lideró esta moda del 'Nuevo Automovilismo' en 1910 y se distinguió al superar en rendimiento y longevidad a todos sus rivales; ningún otro fabricante dedicado exclusivamente a cyclecars logró sobrevivir al embate del Austin Se ven y la producción en masa a principios de la década de 1920 por más de uno o dos años. Solo interrumpidos por las guerras mundiales, los vehículos de tres ruedas Morgan se fabricaron desde 1910 hasta 1952 y continúan en producción en la actualidad después de un renacimiento en 2012. (Clark, 2024)



Figura 2-1 Morgan three wheeler

El diseño de los coches de tres ruedas varía según el fabricante y el modelo, pero generalmente se dividen en dos categorías principales: los coches de tres ruedas inclinados (tadpoles) y los coches de tres ruedas en línea (delta).

Los coches de tres ruedas inclinados suelen tener dos ruedas en la parte delantera y una rueda en la parte trasera, con el cuerpo del vehículo inclinado hacia adelante para mejorar la estabilidad y la aerodinámica. Este diseño se inspira en los principios de las motocicletas de tres ruedas, conocidas como trikes, y se utiliza en vehículos como el Polaris Slingshot y el Can-Am Spyder. (Potts, 2020)



Figura 2-2 Polaris Slingshot. (Potts, 2020)

Por otro lado, los coches de tres ruedas en línea tienen una disposición de una rueda en la parte delantera y dos ruedas en la parte trasera, con el cuerpo del vehículo alineado con la dirección de viaje. (B, 2024)



Figura 2-3Tres ruedas en línea. (Galería: 10 coches con tres ruedas que tal vez no conozcas, 2018)

2.1.2 Buggies y chasis tubular

Inicialmente, los vehículos eran fabricados a nivel personal como "hobby" durante el fin de semana. Estos, se diseñaban individualmente en garajes particulares sobre un modelo de coche ya comercializado en el mercado. Principalmente, eran conducidos por las largas playas de la costa del Pacífico durante los fines de semana. A partir de 1970, se forman los primeros clubes para competir sobre superficies blandas y planas. Mientras tanto, una nueva variante se iba creando: el "Dune Buggy". Esta modalidad, consistía en subir montañas arenosas tipo dunas. Fue entonces, cuando empezaron a aparecer modelos con chasis tubulares completos, al estilo jaula, por su excelente seguridad ante volcadas ocasionales y también equipados con ruedas traseras más grandes obtenidas de los tractores de aquella época. Adicionalmente, se emplearon filtros de aires sobredimensionados y amortiguadores más robustos y de largo recorrido. (Molina Salazar & Tovar Tobar, 2009)

El chasis, llamado también bastidor o marco, es una de las partes principales del automóvil. Tiene como función principal conformar una estructura rígida que conecta los componentes del vehículo, salvaguarda al piloto (o tripulación), proporciona los puntos de anclaje para las suspensiones tanto delanteras como traseras, así como los arcos de seguridad y los soportes del motor, tal y como se muestra en la figura 2-14. Conforme la evolución del automóvil, el chasis ha presentado variantes en su diseño y fabricación, por lo cual hoy en día existen diferentes tipos y formas. Un tipo de chasis es el espacial tubular que consiste en una estructura muy estable cuyo principal objetivo es proteger la integridad física del piloto y evitar que la carrocería se deforme en caso de un accidente o colisión. La desventaja de este chasis está en sus altos costos de fabricación, pero tiene la ventaja de ser mucho

más rígido que otros tipos de bastidores. Debido a la complejidad de su diseño y fabricación, no es rentable para la producción en masa. (Sael, López Parra, & Ricardo Torres, 2018)

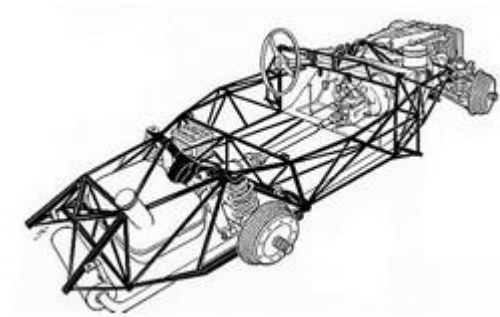


Figura 2-4 Ejemplo de chasis tubular

2.2 Simuladores para análisis estructurales.

El software de simulación desempeña un papel importante en el análisis y la optimización de las estructuras metálicas de los automóviles, ya que ofrece importantes ventajas en términos de seguridad, eficiencia del diseño y reducción de costos. Herramientas como ANSYS y SolidWorks se utilizan ampliamente para el modelado y el análisis de elementos finitos (FEA) a fin de evaluar la resistencia a los choques y la integridad estructural de los vehículos. Por ejemplo, ANSYS con su complemento LS-dyna se emplea para simular choques frontales y analizar la tensión y la deformación en carrocerías fabricadas con materiales como el aluminio y el acero, lo que ayuda a comprender la absorción de energía y la resistencia a los impactos durante las colisiones (Muhammad & Mohammed, 2021).

La tendencia del software de simulación para el análisis de estructuras automotrices se inclina cada vez más hacia la integración de herramientas y metodologías computacionales avanzadas para mejorar la eficiencia, la precisión y la optimización en los procesos de diseño. Los sistemas de simulación modernos, como el descrito por Zhang Ping, incorporan módulos para la generación 3D, actuadores virtuales y sensores, lo que mejora significativamente la eficiencia de la transferencia de datos y la extracción de resultados dentro del sistema (Pacachama-Nasimba, Jorque-Rea, Ulcuango-Moreno, & Passo-Guamangate, 2024)

2.3 Introducción al método de elementos finitos.

El Método de los Elementos Finitos (MEF) constituye una técnica numérica poderosa para la solución aproximada de problemas gobernados por ecuaciones diferenciales parciales en dominios con geometrías complejas. Según Fish (2020), el MEF se ha consolidado como la herramienta computacional más extendida en ingeniería para el análisis estructural, térmico y de fluidos, debido a su versatilidad y capacidad para manejar condiciones de frontera complicadas y materiales no lineales.

La esencia del método reside en la discretización de un dominio continuo en un conjunto finito de subdominios simples interconectados, denominados elementos finitos. Esta partición permite transformar un problema matemáticamente complejo, definido por ecuaciones diferenciales, en un sistema algebraico de ecuaciones lineales manejable computacionalmente. Como señala (Larson & Bengzon, 2013), "la discretización espacial mediante elementos finitos representa una de las estrategias más exitosas para aproximar soluciones en problemas de valor en la frontera en ingeniería".

El proceso de formulación del MEF sigue una metodología sistemática que comprende varias etapas fundamentales. Inicialmente, se divide el dominio de análisis en elementos finitos mediante un proceso de mallado, donde la densidad y tipo de malla dependen de la precisión requerida y la complejidad geométrica. Posteriormente, se seleccionan las funciones de aproximación o funciones de forma, que definen el comportamiento del campo de incógnitas dentro de cada elemento. Ern & Guermond (2021) destacan que "la elección adecuada de las funciones de forma es crucial para garantizar la convergencia y precisión de la solución numérica".

La formulación variacional o débil del problema físico constituye la base matemática del método. Esta formulación, obtenida mediante el método de los residuos ponderados, reduce los requisitos de continuidad de las soluciones aproximadas. La aplicación de condiciones de contorno y la asamblea de las matrices elementales conducen a un sistema global de ecuaciones, cuya solución proporciona los valores nodales de las incógnitas del problema.

La implementación computacional del MEF en software especializado como SolidWorks Simulation, ANSYS o Abaqus ha democratizado su aplicación, permitiendo a ingenieros y diseñadores realizar análisis complejos sin necesidad de profundos conocimientos matemáticos. Sin embargo, como

advierte Zienkiewicz et al. (2013), "la interpretación correcta de los resultados requiere comprender los principios fundamentales del método y sus limitaciones".

La versatilidad del MEF se manifiesta en su aplicabilidad a múltiples fenómenos físicos, incluyendo elasticidad, transferencia de calor, dinámica de fluidos y electromagnetismo. Esta capacidad multidisciplinaria, unida a los continuos avances en potencia computacional, ha posicionado al método como pilar fundamental en el diseño y análisis ingenieril contemporáneo. (Fish & Belytschko, 2020)

2.4 Fundamentos del MEF

2.4.1 Historia y evolución

Hasta la llegada del Método de los Elementos Finitos (MEF), los sistemas continuos se abordaban analíticamente, pero por esa vía sólo es posible obtener solución para sistemas con geometría muy sencilla, y/o con condiciones de contorno simples. También se han utilizado técnicas de diferencias finitas, pero éstas plantean problemas cuando los contornos son complicados. Como precursores del MEF debe citarse a Argyris y Kelsey (Stuttgart, 1955) y a Turner, Clough, Martin y Topp (Boeing, 1956), aunque con posterioridad el número de autores en el campo del MEF ha sido enorme, siendo uno de los campos de la ingeniería a los que más esfuerzos de investigación se han dedicado.

Tal y como se ha comentado, el principal método de análisis mecánico por ordenador es el método de elementos finitos (MEF). Podría pensarse que el MEF también apareció en los años 50, junto con los ordenadores, pero no es así. Se puede decir que el MEF como concepto existe desde el siglo XIX, y es que el fundamento del MEF es el mismo que el empleado en el cálculo matricial de celosías que data de esa época. Si bien el MEF existía desde entonces, se empezó a expandir a partir de los años 50 porque el nacimiento y evolución de los ordenadores permitió programar el método en ellos y así aprovechar su gran capacidad de cálculo para realizar análisis cada vez más complejos. (Abasolo, Aguirrebeita, Coria, & Iker, 2017)

2.4.2 Principios matemáticos y físicos

El Método de Elementos Finitos (MEF) se sustenta en principios matemáticos y físicos profundamente interconectados que permiten transformar problemas de campo continuos gobernados por ecuaciones diferenciales parciales en sistemas algebraicos discretos manejables

computacionalmente. Físicamente, el MEF encuentra su fundamento en principios variacionales y de conservación, donde la formulación fuerte del problema -las ecuaciones diferenciales con sus condiciones de contorno- se convierte en una formulación débil mediante el método de los residuos ponderados. Esta transformación, que frecuentemente implica la aplicación del teorema de Green-Gauss para reducir el orden de las derivadas, representa matemáticamente principios físicos como el del trabajo virtual o el de la energía potencial mínima en mecánica de sólidos, donde el trabajo interno virtual equivale al trabajo externo virtual para cualquier desplazamiento virtual admisible. Matemáticamente, el núcleo del método reside en la aproximación de espacios de funciones de dimensión infinita (espacios de Sobolev) por subespacios de dimensión finita mediante una discretización cuidadosa del dominio en elementos finitos y la construcción de funciones de forma polinómicas que definen la aproximación de la solución dentro de cada elemento. (Ern & Jean-Luc, 2021)

La aplicación del método de Galerkin, donde las funciones de prueba se eligen idénticas a las funciones de forma, conduce a un sistema global de ecuaciones algebraicas $[K]\{u\} = \{F\}$, donde la matriz de rigidez $[K]$ encapsula las propiedades físicas del sistema y el vector $\{F\}$ representa las cargas y condiciones de contorno.

La convergencia y confiabilidad de la solución aproximada están garantizadas por un sólido análisis de error que demuestra que, bajo condiciones adecuadas de consistencia y estabilidad, la solución discreta converge a la solución exacta cuando el tamaño de elemento h tiende a cero, con tasas de convergencia predecibles $O(h^p)$ determinadas por el grado polinómico p de las funciones de forma.

2.5 Aplicaciones del MEF en ingeniería

El Método de Elementos Finitos (MEF) ha trascendido su origen en la ingeniería aeroespacial para convertirse en una tecnología de simulación computacional omnipresente. Su capacidad para resolver sistemas gobernados por ecuaciones diferenciales parciales en geometrías complejas ha impulsado avances revolucionarios en múltiples disciplinas. En la ingeniería biomédica, el MEF es fundamental para el desarrollo de implantes personalizados y la planificación quirúrgica. Por ejemplo,

se utiliza para simular las interacciones hueso-implante, predecir el desgaste de prótesis de cadera y rodilla, y analizar el comportamiento de stents coronarios bajo presión arterial, optimizando así su diseño para la biocompatibilidad y durabilidad (Meichao, Zhang, & Tan, 2017).

La medicina personalizada se beneficia de modelos de elementos finitos derivados de imágenes médicas (como TC y RMN) para realizar cirugías virtuales y predecir el resultado de procedimientos como la craneosinostosis, permitiendo estrategias quirúrgicas a la medida del paciente (Poul, Martyn, Xinshan, Karol, & Adam, 2022).

En el ámbito de la transición energética, el MEF es una herramienta crítica. Para la energía eólica, se emplea en el análisis estructural de palas de aerogeneradores a escala multi-megavatio, sometiéndolas a cargas aerodinámicas, gravitatorias y de fatiga para maximizar su vida útil (R, 2022)

2.5.1 Análisis estructural

El análisis estructural con SOLIDWORKS es un proceso dentro del entorno de diseño CAD, que permite evaluar el comportamiento de los modelos 3D ante diferentes condiciones de carga. A través de SOLIDWORKS Simulation vamos a poder realizar simulaciones utilizando el método de elementos finitos (FEA), que descompone la estructura en pequeños elementos para analizar sus respuestas a esfuerzos, deformaciones y vibraciones de manera precisa. Este enfoque nos permite predecir cómo reaccionará el diseño bajo diversas condiciones, sin necesidad de crear prototipos físicos y optimizando, por tanto, tiempo y costes de desarrollo.

Ventajas de utilizar SOLIDWORKS Simulation en la fase de diseño

El análisis estructural con SOLIDWORKS Simulation ofrece, en las primeras fases de diseño, numerosas ventajas:

- Detección temprana de problemas: Permite identificar debilidades estructurales, como zonas tensionadas, deformaciones excesivas o fallos potenciales, antes de la fabricación.
- Optimización del diseño: Al realizar simulaciones de distintas configuraciones, se pueden ajustar los diseños para obtener el mejor rendimiento posible, reduciendo el peso sin comprometer la resistencia.

- Reducción de costos y tiempo: Al validar los diseños digitalmente, se evitan los costes asociados a la fabricación de prototipos físicos para pruebas. Esto acelera el tiempo de desarrollo y mejora la eficiencia.
- Mejor comunicación del diseño: Las simulaciones generadas ofrecen resultados visuales fáciles de interpretar, facilitando la comunicación con los miembros del equipo y otros departamentos.
- Mayor fiabilidad: Al realizar simulaciones estructurales precisas dentro del entorno CAD, se obtiene una visión clara de cómo se comportará el diseño, lo que aumenta la fiabilidad y reduce el riesgo de errores en la fase de fabricación. (Principia, 2025)

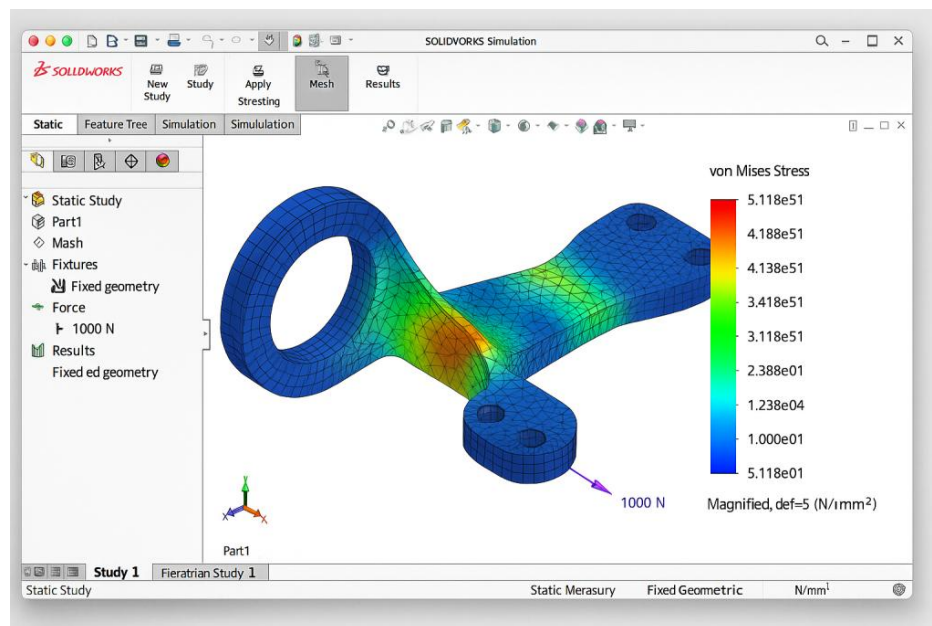


Figura 2-5. Análisis estático.

2.5.2 Análisis térmico y de fluidos

El módulo de análisis térmico en SolidWorks Simulation permite estudiar la transferencia de calor en componentes y ensamblajes mediante el método de elementos finitos. Según los manuales técnicos de SolidWorks (2023), este módulo resuelve la ecuación de transferencia de calor transitoria o en estado estacionario, considerando conducción, convección y radiación.

Aplicaciones típicas en ingeniería automotriz:

- Análisis de disipación de calor en frenos
- Estudio térmico de motores eléctricos
- Distribución de temperatura en sistemas de escape
- Eficiencia de sistemas de refrigeración de baterías

El proceso de análisis incluye la definición de condiciones de frontera térmicas, propiedades del material (conductividad térmica, calor específico, densidad) y cargas térmicas. Los resultados proporcionan distribuciones de temperatura, flujos de calor y gradientes térmicos que son críticos para evaluar la integridad estructural bajo cargas térmicas.

➤ Análisis de Fluidos (Flow Simulation)

SolidWorks Flow Simulation es una herramienta de dinámica de fluidos computacional (CFD) totalmente integrada en el entorno CAD. Utiliza el método de volúmenes finitos para resolver las ecuaciones de Navier-Stokes, permitiendo analizar flujos internos y externos de fluidos newtonianos y no newtonianos.

Capacidades principales:

- Análisis de flujo laminar y turbulento.
- Transferencia de calor conjugada
- Cálculo de fuerzas aerodinámicas
- Estudio de mezclas de fluidos y flujos multifásicos

Parámetros clave de análisis:

- Campos de velocidad y presión
- Líneas de corriente y trayectorias de partículas
- Coeficientes de arrastre y sustentación
- Números de Reynolds y Nusselt

➤ Aplicación en el Diseño Automotriz

En el contexto del vehículo eléctrico biplaza, estos módulos permiten:

- Optimizar la aerodinámica para reducir resistencia
 - Diseñar sistemas de refrigeración para baterías y motor
 - Analizar el flujo de aire en el compartimento de pasajeros
 - Evaluar el comportamiento térmico estructural bajo condiciones ambientales extremas
- (Systèmes, 2023)

2.6 Solidworks simulation como herramienta para el MEF

SolidWorks Simulation constituye una plataforma integrada de análisis por elementos finitos que opera directamente sobre los modelos CAD 3D desarrollados en el entorno de SolidWorks. Según la documentación técnica de Dassault Systèmes (2023), esta integración nativa elimina la necesidad de traducción de formatos y permite una retroalimentación inmediata entre el diseño y el análisis, facilitando procesos iterativos de optimización.

El módulo de Simulation proporciona capacidades completas para análisis estático lineal, donde resuelve el sistema de ecuaciones $[K]\{u\} = \{F\}$ mediante solucionadores iterativos y directos optimizados para diferentes escalas de problemas. La implementación del MEF incluye elementos estructurales unidimensionales (vigas), bidimensionales (cascaras) y tridimensionales (sólidos), con funciones de forma lineales y parabólicas que permiten capturar adecuadamente los gradientes de tensión y deformación.

2.6.1 Características y capacidades

El proceso de discretización, mejor conocido como mallado, divide la geometría en entidades relativamente pequeñas y en forma simple, llamados elementos finitos. Los elementos se llaman así para enfatizar el hecho de que no son infinitamente pequeños, sino que son razonablemente pequeños en comparación con el tamaño total del modelo. Cuando se trabaja con elementos finitos, el solucionador de AEF se aproxima a la solución deseada (por ejemplo, deformaciones o tensiones) para todo el modelo con el conjunto de soluciones simples para los elementos individuales. Desde la perspectiva del programa AEF, cada aplicación de este requiere tres pasos:

- Procesamiento previo. El tipo de análisis (por ejemplo, estático, térmico, frecuencia, propiedades del material, cargas y restricciones se definen y el modelo se divide en elementos finitos.
- Solución Informática (los resultados deseados).
- Postproceso (Analizar los resultados).

Seguimos los tres pasos anteriores. Desde la perspectiva de la metodología del Análisis del Elemento Finito, se citan los siguientes pasos:

1. Construir el modelo matemático.
2. Construcción del modelo de elementos finitos.
3. Resolver el modelo de elementos finitos.
4. Analizar los resultados.

1 Construir el modelo matemático. El análisis de simulación comienza con la geometría representada por un modelo de una pieza o conjunto. Esta geometría debe ser mallada en una forma correcta y razonablemente pequeña, un mallado finito de elementos, sin embargo, no hablamos del tamaño del elemento sino del número de elementos de la malla. Este requisito de mallado tiene implicaciones muy importantes.

Se debe asegurar de que la geometría de CAD que la malla produce proporciona la solución correcta de los datos de interés, tales como desplazamientos, tensiones, distribución de la temperatura y así sucesivamente. A menudo, pero no siempre, esta necesidad de mallado requiere modificaciones a la geometría de CAD, que pueden tomar la forma de simplificación, idealización o limpieza, se describe a continuación:

- Reducción y simplificación
- Idealización
- Limpieza

- I. Reducción y simplificación se refiere al proceso de supresión o eliminación de características geométricas que se consideran insignificantes para su análisis, tales como chaflanes externos, redondeos, logos y así sucesivamente.
 - II. La idealización presenta un ejercicio más agresivo que puede apartarse de la geometría de CAD sólido como, por ejemplo, la representación de paredes delgadas con las superficies.
 - III. La limpieza a veces es necesaria porque la geometría mallada debe satisfacer requisitos de calidad mucho más altos que el comúnmente seguido en modelado sólido. Para la limpieza podemos utilizar herramientas de control de calidad para detectar problemas como caras astilladas o superposición de entidades, que un modelo CAD podría tolerar, pero haría el mallado difícil o imposible.
-
2. Es importante mencionar que no siempre simplificamos el modelo CAD con el único objetivo de hacer mallado. A menudo, se puede no simplificar un modelo y discretizarlo “tal cual”, pero la malla resultante sería demasiado grande y, en consecuencia, el análisis de funcionamiento se realizaría muy lentamente. Las modificaciones de la geometría permiten un acoplamiento más sencillo y un tiempo más corto para computarse. Un mallado exitoso depende tanto de la calidad de la geometría para mallado como de la sofisticación de las herramientas implementadas en el programa AEF. Haber preparado una geometría para mallar, pero aún no haber realizado el mallado, definir propiedades de los materiales, cargas, apoyos y restricciones e información sobre el tipo de análisis que se va a realizar. Este procedimiento completa la creación de un modelo matemático.

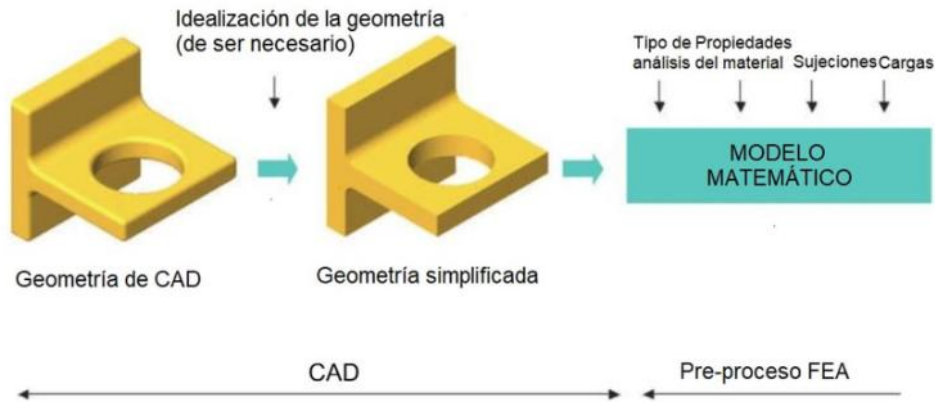


Figura 2-6 Procedimiento previo del análisis de elementos finitos

3. El modelo matemático puede ahora ser dividido en elementos finitos mediante el proceso de discretización, mejor conocido como mallado. La discretización se manifiesta visualmente a sí misma como la malla de la geometría. Sin embargo, las cargas, y las sujeciones se discretizan también y, después de que el modelo es mallado, las cargas y las sujeciones malladas son aplicadas a los nodos en la malla de elemento finito (ver Figura 2-5).

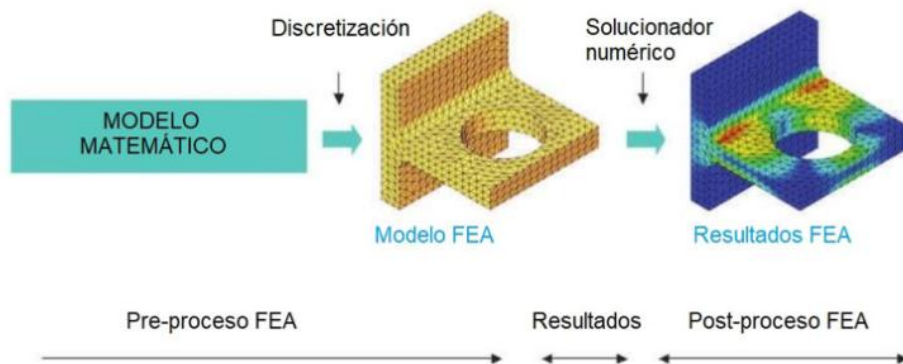


Figura 2-7 Procedimiento de discretización y solución del Análisis del elemento Finito.

Después de haber creado el modelo del elemento finito, usamos el solucionador numérico, que produce los datos de interés.

4. El análisis de los resultados es frecuentemente el paso más difícil de todos. Los análisis proveen datos muy detallados, que pueden ser representados en cualquier formato. La correcta

interpretación de los resultados requiere que se consideren las suposiciones, simplificaciones, y errores que se introdujeron en los primeros tres pasos: construir el modelo matemático, construir el modelo del elemento finito y resolver el modelo del elemento finito. (González Woge, González Morán, & Asdrubal, 2019)

2.7 Consideraciones en el uso del MEF

2.7.1 Calidad del mallado

La calidad del mallado es un factor crítico que determina directamente la precisión y confiabilidad de los resultados en el análisis por elementos finitos. Según Fish (2020), "la malla actúa como la base discretizada sobre la cual se construye la solución aproximada, y cualquier deficiencia en su calidad se propaga directamente a los resultados numéricos". La generación de mallas de alta calidad representa el primer paso esencial en cualquier simulación confiable mediante MEF.

Las consecuencias de mallas de baja calidad son significativas. Hughes (2023) advierte que "las mallas con elementos excesivamente distorsionados pueden producir tensiones espurias, convergencia lenta en análisis no lineales, y en casos extremos, soluciones completamente erróneas que comprometen la validez del análisis". Este riesgo subraya la importancia de verificar sistemáticamente la calidad de malla antes de confiar en los resultados.

Las mejores prácticas para mejorar la calidad del mallado incluyen el uso de mallas estructuradas donde sea posible, transiciones graduales en el tamaño de elementos, y refinamiento local en concentradores de tensiones. Brenner y Scott (2008) recomiendan que "la verificación de calidad de malla debe ser una parte integral del proceso de análisis, no un paso opcional, particularmente en aplicaciones donde la seguridad depende de los resultados".

2.7.2 Errores comunes

Un error fundamental radica en la incomprensión de las bases matemáticas del método.

Muchos usuarios aplican el MEF como una caja negra sin comprender que se trata esencialmente de un método de aproximación basado en principios variacionales o residuales. (Reddy, 2019) . Esta falta de comprensión conduce a la aplicación incorrecta del método a problemas fuera de su dominio de validez. Fish & Belytschko (2020) identifican que "la sobre confianza en los resultados numéricos sin una validación adecuada representa un riesgo significativo en análisis ingenieriles, particularmente cuando los usuarios carecen de formación en la teoría subyacente".

Se debe tener cuidado a la hora de realizar el mallado debido a que se pueden presentar imperfecciones de los elementos de la malla como se muestra en la figura 4, la cual presenta errores por una curva muy pronunciada. Para la corrección de estos problemas se debe seleccionar el tamaño óptimo de los elementos de la malla dependiendo de las dimensiones de los tubos. (Jimenez Wilchez & Kawahara Solarte, 2018).

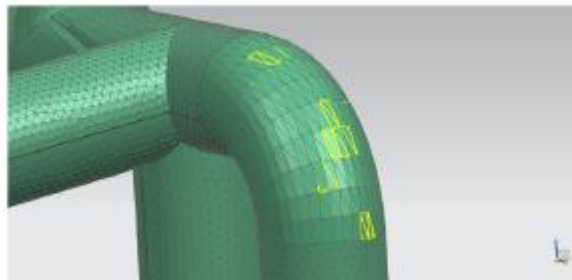


Figura 2-8 Ejemplo de error en MEF

3 PROCEDIMIENTO

3.1 Chasis

El diseño se plantea para un vehículo eléctrico biplaza de tres ruedas, se toma como inspiración de distribución de espacios al modelo arcimoto FUV, se pretende que soporte un aproximado de 350-400 kg. Con dos llantas enfrente y una atrás, el peso se podría distribuir en un 60% en el eje trasero y un 40% en el eje delantero debido a que el motor utilizado será uno de rueda ubicado en el neumático trasero, por lo que los pesos soportados serian de 240 kg atrás y 160 enfrente en condiciones de carga máxima.

A continuación, se presentan las dimensiones propuestas para el análisis y cálculo de cargas:

Variables	Dimensiones (mm)
Longitud total	3187
Longitud de tubo superior	2332
Longitud de tubo inferior	2332
Altura	1350
Distancia del piso del vehículo al suelo	250
Altura total desde el suelo	1600

3.2 Suspensión

La suspensión de un coche se encarga de proporcionar la estabilidad conectando las ruedas con el chasis, haciendo posible el movimiento del vehículo. Es un sistema que a la vez de proporcionar la estabilidad del coche también nos proporciona seguridad en la conducción manteniendo las ruedas continuamente en contacto con el asfalto

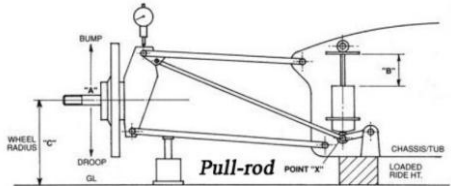
3.2.1 Delantera.

Tipo	Pros	Contras
Rígido	El eje rígido se caracteriza por conectar las dos ruedas del mismo eje con un único elemento rígido, como una barra de acero o un eje. ➤ Precio más económico: ➤ Mayor robustez: ➤ Mayor capacidad de carga. (Sistema de Suspensión Independiente vs. Eje Rígido: ¿Cuál es Mejor para Ti?, 2024)	➤ Menor comodidad: ➤ Manejo menos preciso: ➤ Mayor desgaste de neumáticos. (Sistema de Suspensión Independiente vs. Eje Rígido: ¿Cuál es Mejor para Ti?, 2024)
Independiente	El sistema de suspensión independiente funciona permitiendo que cada rueda del vehículo se mueva de manera autónoma, respondiendo de forma individual a las irregularidades del camino. ➤ Mejor manejo y estabilidad.	➤ Costo: ➤ Complejidad: ➤ Peso. (¿Qué es la suspensión independiente y cuáles son sus ventajas?, 2024)

	➤ Mayor confort. ➤ Reducción del desgaste de los neumáticos. Mejor tracción. (¿Qué es la suspensión independiente y cuáles son sus ventajas?, 2024)	
--	---	--

Tabla 3-1 Tipos de suspensión

Debido a que se eligió una suspensión independiente, a continuación, se presentan los diferentes tipos de esta que se pudieran aplicar a nuestro diseño:

Nombre	Imagen
McPherson	 Figura 3-1 S. McPherson. (Blancarte & Buchsbaum, 2013)
road	 Figura 3-2 S. Pull Road. (Push road vs Pull road, 2011)

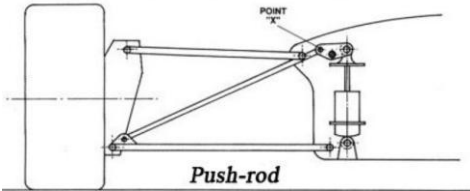
Push road	 Figura 3-3 S. Push Road. (Push road vs Pull road, 2011)
Paralelogramo deformable	 Figura 3-4 S. Paralelogramo deformable. (Blancarte & Buchsbaum, 2013)
Multilink	 Figura 3-5 S. Multilink. (Hernandez Del Arco, 2024)

Tabla 3-2 Suspensiones delanteras.

Habiendo seleccionado las opciones de suspensión, procederemos a establecer las variables principales a tomar para nuestro diseño, éstas será el confort, la complejidad de diseño, el costo y la adaptabilidad, así como darle valor en porcentaje a cada una de ellas según la importancia e influencia en el modelo.

Variable	Ponderación
Confort	35%

Complejidad	15%
Costo	30%
Adaptabilidad al diseño	20%

Tabla 3-3 Ponderaciones en porcentaje (SD).

Una vez establecido lo anterior, realizamos la tabla comparativa en base a los parámetros elegidos:

Tipo	Confort	Complejidad	Costo	Adaptabilidad al diseño
McPherson	Menor en comparación a las demás porque transmite de forma directa los impactos.	Menor complejidad mecánica. (CR, 2025)	Reducción de costes de fabricación. (CR, 2025)	Amplia compatibilidad con plataformas modulares. (CR, 2025)
Pull road	Diseño rígido orientado a la aerodinámica por lo que no ofrece confort	Alta complejidad.	La fabricación y el mantenimiento de este tipo de suspensión requieren habilidades especializadas, lo	Altamente adaptable

			que incrementa aún más los costos	
Push road	Diseñada para el rendimiento y estabilidad del vehículo, por lo que no presenta comodidad.	Es bastante compleja.	Diseño complejo lo que conlleva altos costos de diseño y mantenimiento.	Es altamente personalizable.
Paralelogramo deformable	Consigue un excelente guiado de la rueda durante su movimiento oscilatorio. (Aparicio & Gómez, 2022)	Complejidad alta debido la cantidad de piezas requiere. (Aparicio & Gómez, 2022)	Alto costo a causa de la cantidad de piezas necesarias para su fabricación. (Aparicio & Gómez, 2022)	Alta compatibilidad.
Multi-link	Alta capacidad de absorber ruidos y vibraciones. (Aparicio & Gómez, 2022)	Es la más compleja de los tipos de suspensión. (Aparicio & Gómez, 2022)	Costo de fabricación muy elevado debido a la complejidad del sistema. (Aparicio & Gómez, 2022)	Baja

Tabla 3-4 Comparación de suspensiones delanteras

A continuación, se le asignaron puntos a cada una de las opciones con respecto a las variables donde:

Valoración	Puntaje
Regular	1
Bueno	2
Muy bueno	3

Tabla 3-5 Ponderación en puntos (SD).

Partiendo de esto se llevaron a cabo los cálculos correspondientes:

Variable	McPherson		Push road		Pull road		Paralelogramo deformable		Multilink	
	Pun.	%	Pun.	%	Pun.	%	Pun.	%	Pun.	%
Confort	1	0.35	1	0.35	1	0.35	3	1.05	3	1.05
Complejidad	3	0.45	1	0.15	1	0.15	1	0.15	1	0.15
Costo	3	0.9	1	0.3	1	0.3	2	0.6	1	0.3
Adaptabilidad al diseño	2	0.4	3	0.6	3	0.6	3	0.6	2	0.4
Total	9	2.1	6	1.4	6	1.4	7	2.4	7	1.9

Tabla 3-6 Cálculos suspensión delantera.

Como se puede observar el valor resaltado, la opción ganadora fue la suspensión de paralelogramo deformable.

3.2.2 Trasera.

Debido a que en esta sección solo se cuenta con una rueda, se tomaron opciones de suspensión de motocicleta, las cuales son:

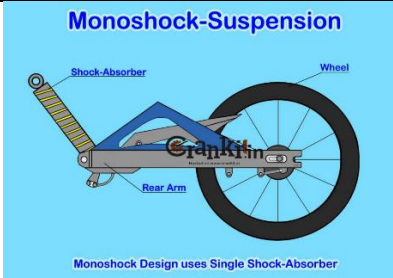
Nombre	Imágen
Mono brazo basculante (Monoshock)	 Figura 3-6 S. Monoshock. (Team, 2015)
Doble brazo basculante	 Figura 3-7 Doble brazo. (Shah, 2025)
Sistema de bieletas.	 Figura 3-8 Bieletas. (Dirtbike, 2020)

Tabla 3-7 Suspensiones traseras

Tomando en cuenta las mismas variables se tiene:

Tipo	Confort	Complejidad	Costo	Adaptabilidad al diseño
Brazo basculante (monoshock)	Confort alto debido a la resistencia a la torsión, flexión y alta amplitud vertical de la rueda	Complejidad baja en el ajuste, debido a que solo hay amortiguad	Alto coste	Esta configuración es beneficiosa para ajustar los ángulos de alineación y mejorar el manejo del vehículo
Doble brazo basculante.	Debido a la alta compresión y extensión de los amortiguadores se reduce en gran medida las fuerzas transmitidas al chasis y las vibraciones recibidas	Construcción simple	Bajo coste	Una de las principales ventajas de la suspensión de doble brazo basculante es su flexibilidad en el diseño. Utiliza dos brazos en forma de "A" (superior e inferior) que conectan el chasis del vehículo con las ruedas
Sistema de bieletas	Logra mayores curvas de rigidez, y una	Complejidad alta debido a las diferentes configuraciones	Coste mayor a los demás	Es bastante flexible en términos de diseño

	gran amplitud de la rueda	geométricas posibles	sistemas de suspensión	
--	------------------------------	-------------------------	---------------------------	--

Tabla 3-8 Comparación de suspensiones traseras. (Aparicio & Gómez, 2022)

Siguiendo la misma metodología usada para la elección de suspensión delantera, se analizarán las opciones para la elección de la más conveniente:

Variable	Brazo basculante		Doble brazo basculante		Sistema de bieletas	
	Puntaje	%	Puntaje	%	Puntaje	%
Confort	2	0.7	3	1.05	3	1.05
Complejidad	3	0.45	2	0.3	1	0.15
Costo	3	0.9	2	0.6	1	0.3
Adaptabilidad al diseño	3	0.6	3	0.6	2	0.4
Total	11	2.65	10	2.55	7	1.9

Tabla 3-9 Cálculos para suspensión trasera.

La suspensión trasera a utilizar será mono brazo basculante.

3.3 Sistema de dirección.

En la Tabla 3-11 se ilustran los distintos métodos de conducción que se tienen para su incorporación en el vehículo.

Nombre	Imagen
Volante	 Figura 3-9 Volante. (¿Qué es y cómo Funciona la Dirección de un Coche?, 2024)
Manubrio	 Figura 3-10 Manubrio. (Kaikos, 2022)

Tabla 3-10 Sistemas de conducción

De la misma manera, en la siguiente tabla se presentan los pros y contras de cada una de ellas para su profundo análisis.

Tipo	Pro	Contras
Volante	➤ Ofrece estabilidad y precisión. ➤ Adaptabilidad.	➤ Ocupa más espacio por sus elementos. ➤ Mas costosa.

	➤ Preferencia de los conductores por su familiaridad con este sistema.	
Manubrio	➤ Lleva menos elementos. ➤ Mejor sensación de maniobrabilidad. ➤ Su diseño ocupa menos espacio que el volante tradicional	➤ Menor precisión a altas velocidades ➤ Dificultad de control con cargas grandes.

Tabla 3-11 Análisis de conducción.

Con base a lo anterior, se decidió utilizar dirección de tipo volante. Por otro lado, en la Tabla 3-13 se realiza una comparación entre dirección mecánica, hidráulica y electrónicamente asistida.

Dirección.	Pros.	Contras.
Mecánica.	➤ Menor cantidad de piezas en el sistema. ➤ Bajo costo de mantenimiento. ➤ Sistema regulable de dirección.	➤ Dirección más dura al maniobrar. ➤ Coordinación. Por lo general es complicada para maniobrar, especialmente a

	➤ Dirección precisa y rápida. ➤ Mayor aceleración. ➤ Ahorro de combustible. ➤ Mejor control. (Guerra, 2022)	conductores inexpertos. ➤ Embrague. Transitar por lugares como la ciudad con mucho tráfico, genera que el embrague y la palanca de cambios trabajen más. (Guerra, 2022)
Hidráulica.	➤ Proporciona una asistencia adicional al conductor, lo que facilita el giro del volante, especialmente en maniobras a baja velocidad y al estacionar. ➤ Brinda una sensación de manejo más suave y controlada, ya que ayuda a absorber las vibraciones y los golpes de la carretera. ➤ Este sistema permite una respuesta más	➤ Mayor consumo de energía: La dirección hidráulica requiere una bomba hidráulica accionada por el motor del vehículo, lo que aumenta ligeramente el consumo de energía y puede afectar ligeramente la eficiencia de combustible. ➤ Mayor peso debido a los componentes adicionales necesarios. (Carrasquero, 2023)

	rápida y precisa a las acciones del conductor, lo que facilita la conducción en curvas y cambios de dirección. (Carrasquero, 2023)	
Eléctricamente asistida.	➤ Eficiencia Energética: La dirección electro asistida solo utiliza energía cuando es necesaria la asistencia. Esto se traduce en un ahorro de combustible y una mayor eficiencia energética, lo cual es especialmente beneficioso en vehículos eléctricos e híbridos. ➤ Menor Mantenimiento. ➤ Control y Precisión Mejorados: Permite un control más preciso de la asistencia al volante, lo que mejora la	➤ Sensación de Conducción Artificial: La falta de retroalimentación física puede hacer que la dirección se sienta menos conectada con la carretera, aunque los avances tecnológicos están mejorando constantemente esta área. ➤ Dependencia de componentes electrónicos como sensores, ECU y motores eléctricos. Si cualquiera de estos componentes falla, la dirección asistida

	maniobrabilidad del vehículo. ➤ Menor Peso y Espacio: Mas ligeros y compactos que los sistemas hidráulicos, lo que ayuda a reducir el peso total del vehículo y mejorar la distribución del espacio en el compartimento del motor. (Damian, s.f.)	puede dejar de funcionar. ➤ Costo Inicial: Pueden ser más costosos de fabricar e instalar debido a los componentes electrónicos y el software involucrados. Aunque este costo inicial puede compensarse con el ahorro en combustible y mantenimiento a largo plazo, sigue siendo un factor a considerar. (Damian, s.f.)
--	---	---

Tabla 3-12 Tipos de direccion.

Se decidió elegir la dirección mecánica pues consideramos que es la que mejor se adapta a los objetivos esperados en nuestro diseño.

4 RESULTADOS

4.1 Diseño conceptual 3D del vehículo.

Se logró diseñar el chasis, los neumáticos y suspensión elegidos anteriormente, de modo que el diseño general se puede visualizar un poco más realista, ejemplificando de mejor manera como se vería este en un contexto real. A continuación, se muestra este de diferentes ángulos:

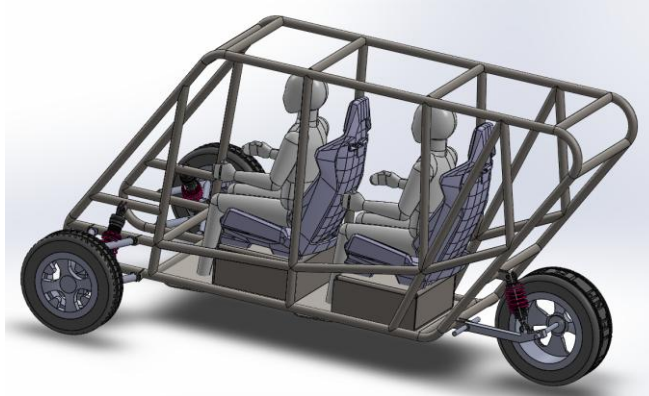


Figura 4-1 Diseño conceptual final.



Figura 4-2 Vista lateral.

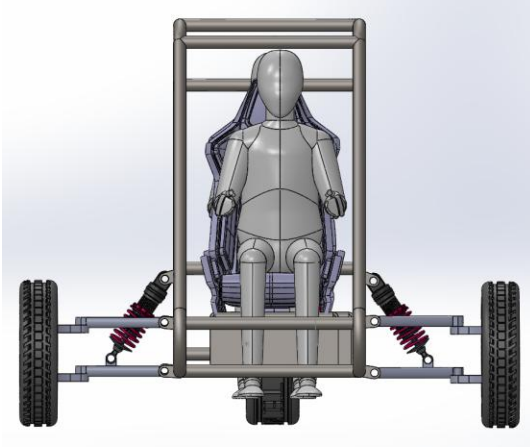


Figura 4-3 Vista frontal.

De forma general, en la Figura 4-1, 4-2, 4-3 podemos observar el chasis tubular tipo buggy de 1.5 in, calibre 40, además de la suspensión paralelogramo deformable con sus elementos correspondientes (brazos y amortiguadores), los neumáticos son medidas de 145/65 R15 en la parte delantera y 205/45 R16 que se usarán por el momento dejándolos sujetos a cambios en un futuro. También podemos notar unas cajas en forma de cuadrado situados debajo de los pasajeros, estos se plantean con la finalidad de usarse como contenedor de las baterías puesto que se planea que estas sean removibles para su carga y práctica sustitución.

A continuación, se presentan los planos del vehículo con las medidas reales obtenidas.

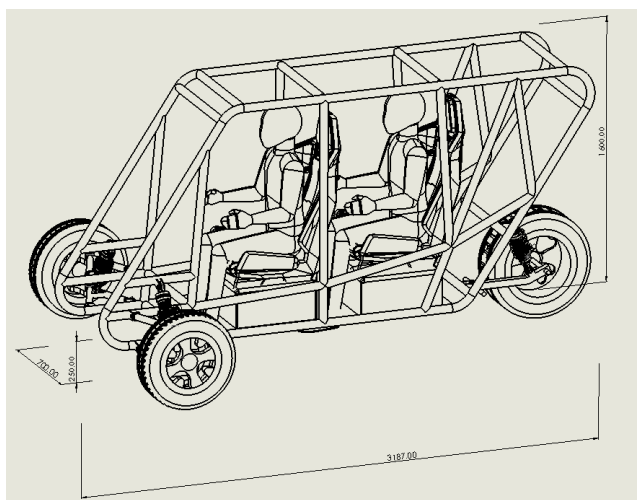


Figura 4-4 Plano general.

4.1.1 Modelado de chasis

Con inspiración en buggy convencionales y usando perfiles de soldadura se logró la forma del chasis ilustrado en la Figura 4-5, la ubicación y orientación de los travesaños se decidieron buscando la seguridad de los pasajeros ante un posible choque o accidente.

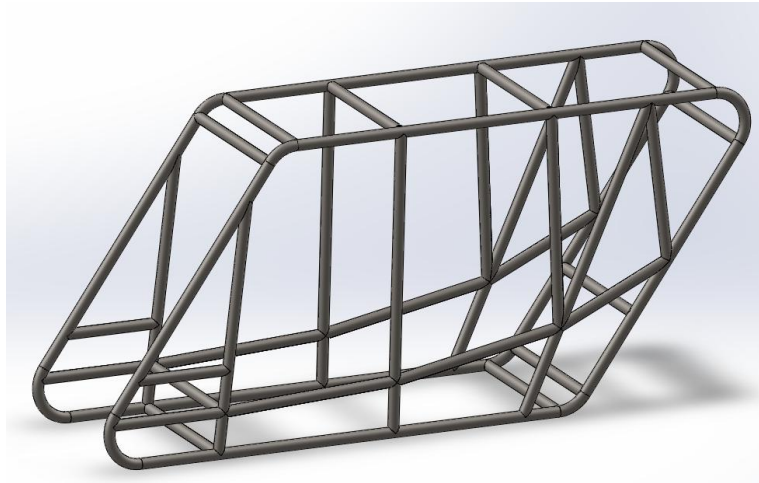


Figura 4-5 Chasis obtenido.

4.1.2 Modelado de suspensión delantera

La suspensión paralelogramo deformable se conforma principalmente de los dos brazos, el amortiguador, la mangueta. En la siguiente figura se puede observar cómo se relacionan entre ella para conformar el sistema completo.

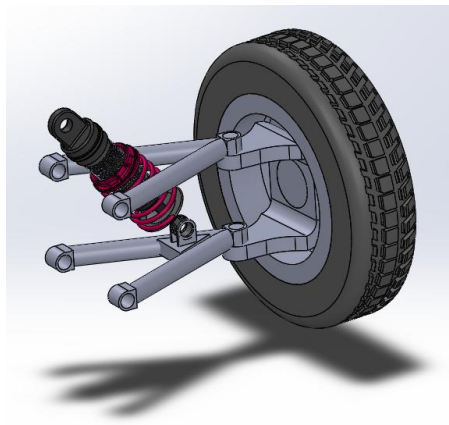


Figura 4-6 Suspensión 3D completa.

En la Figura 4-7, 4-8, 4-9 y 4-10 se pueden observar los elementos de conexión por separados, para una mejor concepción de ellas.

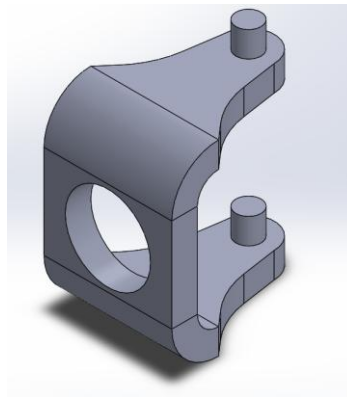


Figura 4-7 Mangueta.

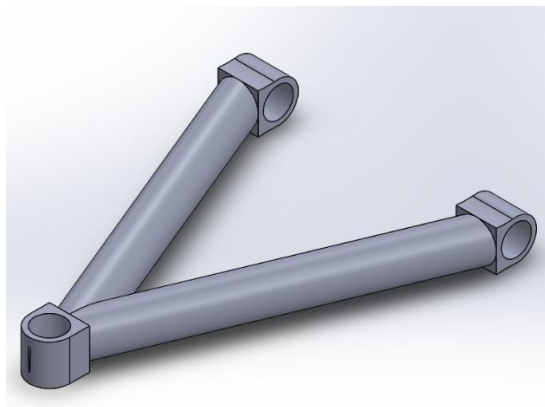


Figura 4-8 Brazo superior.

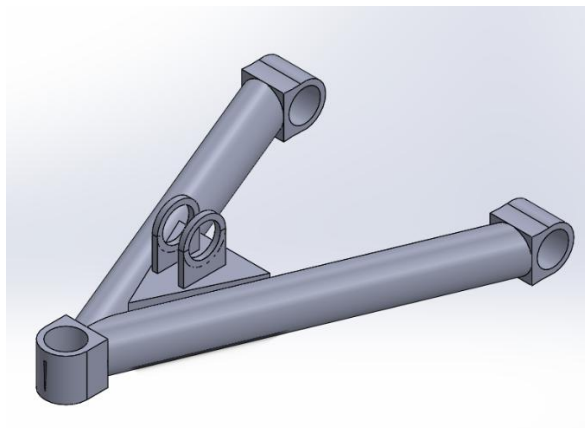


Figura 4-9 Brazo inferior.



Figura 4-10 Amortiguador delantero.

Este último es el encargado de mitigar los impactos recibidos en el transcurso de la conducción.

4.1.3 Modelado de suspensión trasera

La suspensión trasera elegida fue mono shock, la cual está conformada principalmente por el brazo basculante, el cual es el encargado de sostener el amortiguador para la absorción de impactos.

En la Figura 4-12 se puede observar el sistema de suspensión trasera completo.

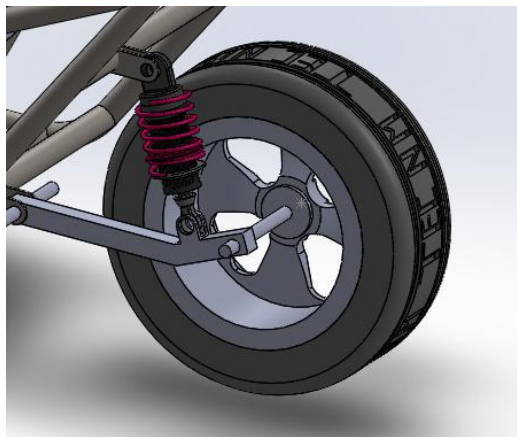


Figura 4-11 Suspensión trasera 3D

De la misma manera, en la Figura 4-12 y 4-13 se presentan cada uno de los elementos que conforman este sistema para una mejor visualización de este.

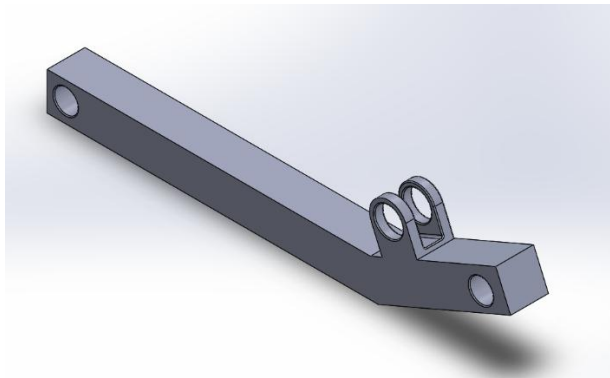


Figura 4-12 Mono brazo basculante.

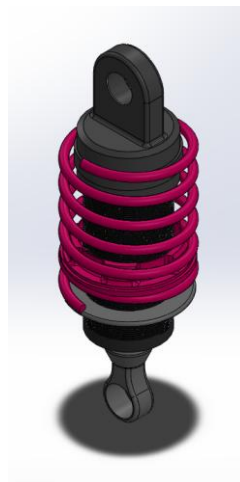


Figura 4-13 Amortiguador trasero.

Este tiene la misma función que el amortiguador delantero, solo cambia sus dimensiones.

4.1.4 Modelado de neumáticos.

En las siguientes dos figuras se muestran los neumáticos utilizados para el diseño, como se mencionó anteriormente, se eligió un rin pequeño para buscar una mejor estabilidad con un centro de gravedad más bajo, estos fueron R15 y R16, utilizando la rueda más grande en la parte trasera puesto que es donde se planea colocar más peso además de una mejor estética.



Figura 4-14 Neumático delantero. (145/65 R15)



Figura 4-15 Neumático trasero. (205/45 R16).

4.2 Simulación en Solidworks

Como se mencionó anteriormente, en las especificaciones del diseño se plantean dos condiciones de peso, mínimo y máximo. A continuación, se analizará cada uno de los casos para determinar si el chasis diseñado cumpliría con los valores deseados.

4.2.1 Condición de peso máximo (400 kg).

Lo primero que se realizó fueron las configuraciones correspondientes para llevar a cabo la simulación, con un peso de 400kg se obtuvo una fuerza de 3920N, misma que se aplicó para el análisis de la estructura.

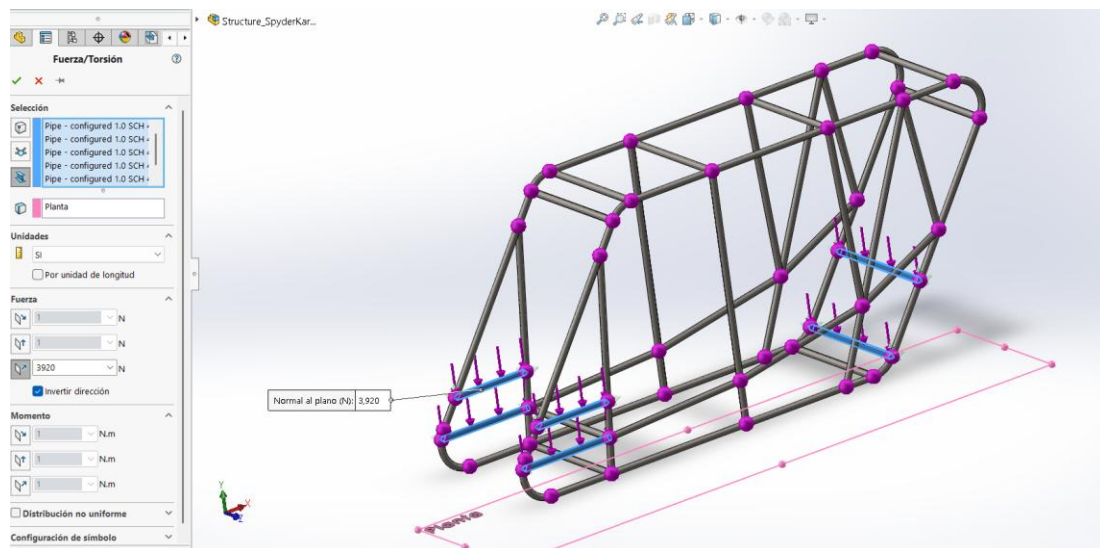


Figura 4-16 Configuración de peso máximo

Una vez configurado el estudio, se obtuvieron los siguientes resultados:

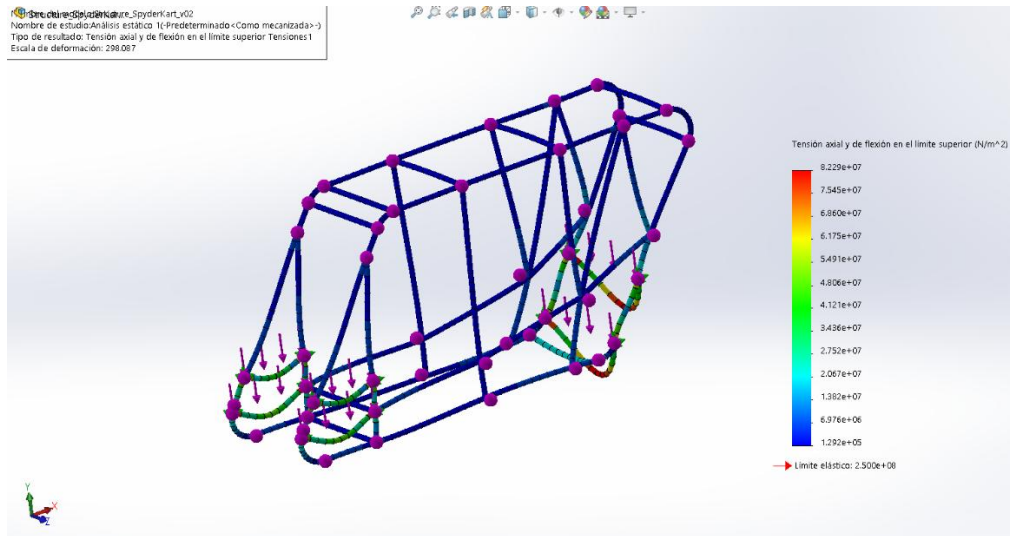


Figura 4-17 Análisis estático del chasis tubular bajo carga vertical máxima.

La figura muestra el resultado del análisis estático realizado en SolidWorks Simulation, donde se evalúa la capacidad estructural del chasis tubular frente a una carga vertical aplicada en los puntos de apoyo de las suspensiones. El modelo se resolvió mediante el método de elementos finitos (FEM), considerando las condiciones de frontera correspondientes a un vehículo en reposo con carga máxima. La escala de colores representa la distribución de tensiones axiales y de flexión a lo largo de los elementos estructurales, alcanzando un valor máximo de $8.229 \times 10^7 \text{ N/m}^2$, claramente inferior al límite elástico del material ($2.500 \times 10^8 \text{ N/m}^2$). Estos resultados confirman que la estructura trabaja dentro del régimen elástico, sin riesgo de deformación plástica o falla por fluencia, lo que garantiza la integridad estructural y la seguridad del diseño ante las cargas verticales previstas.

4.2.2 Condición de peso mínimo (350 kg).

De la misma manera, utilizando el método de elementos finitos (FEM), se definieron las restricciones en los puntos de contacto del bastidor con el suelo y las cargas distribuidas sobre las zonas de apoyo de la suspensión. se realizó el análisis para una carga mínima de 350kg con el vehículo en reposo, aplicando así 3433N de fuerza vertical.

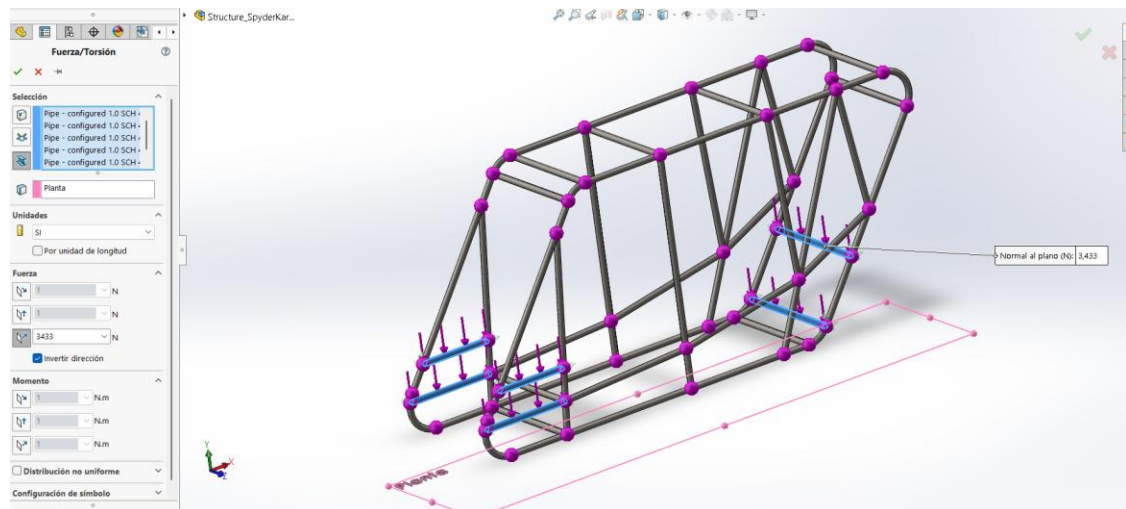


Figura 4-18 Configuración carga vertical mínima.

El área azul sería las partes donde se aplica la fuerza puesto que son los tubos donde se conectan la suspensión y recibirán los impactos.

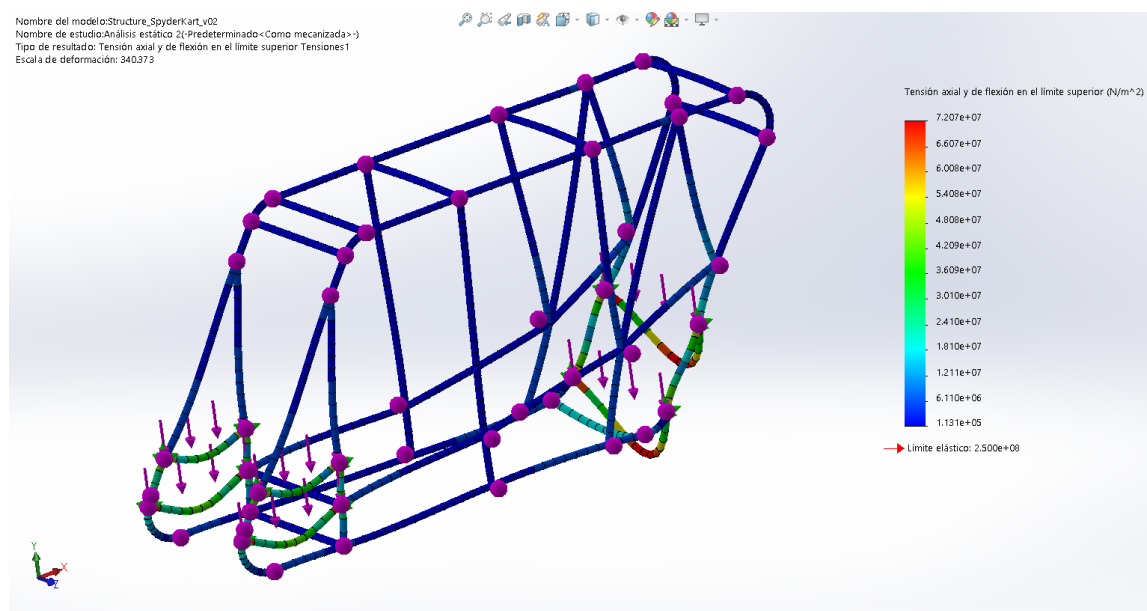


Figura 4-19 Análisis estático del chasis tubular bajo carga vertical mínima.

La figura anterior representa la simulación del comportamiento estructural del chasis tubular del vehículo ante una carga vertical mínima equivalente a 350 kg, La escala de colores muestra la distribución de tensiones axiales y de flexión a lo largo de la estructura, alcanzando un valor máximo de

$7.207 \times 10^7 \text{ N/m}^2$, muy por debajo del límite elástico del material ($2.500 \times 10^8 \text{ N/m}^2$). Esta diferencia evidencia que el bastidor opera completamente dentro del rango elástico, sin presencia de deformaciones plásticas ni zonas de concentración crítica de esfuerzos. El resultado confirma que el diseño mantiene su rigidez, estabilidad y seguridad estructural incluso bajo condiciones de carga reducida, validando la efectividad del modelo estructural propuesto.

5 CONCLUSIONES

El desarrollo de esta investigación permitió validar exitosamente el diseño estructural de un vehículo eléctrico biplaza de tres ruedas mediante la aplicación del método de elementos finitos. Los análisis realizados en SolidWorks Simulation demostraron que el chasis tubular diseñado cumple con los requisitos de resistencia establecidos, manteniéndose dentro del régimen elástico del material bajo condiciones de carga máxima. Específicamente, se registró una tensión máxima de $8.229 \times 10^7 \text{ N/m}^2$, muy por debajo del límite elástico de $2.500 \times 10^8 \text{ N/m}^2$, garantizando así la seguridad estructural del vehículo y confirmando la viabilidad del diseño propuesto.

La selección de sistemas de suspensión mediante análisis multicriterio resultó en la identificación de configuraciones óptimas para el vehículo. Para el eje delantero, la suspensión de paralelogramo deformable obtuvo la mayor puntuación (2.4), mientras que, para el eje trasero, la suspensión mono brazo basculante alcanzó 2.65 puntos. Estas configuraciones demostraron un equilibrio ideal entre confort, costo, complejidad y adaptabilidad al diseño, cumpliendo con los objetivos de proporcionar estabilidad y maniobrabilidad adecuadas para la configuración de tres ruedas.

Los resultados obtenidos se alinean consistentemente con los fundamentos teóricos del método de elementos finitos documentados en la literatura especializada. La efectividad del MEF en la predicción del comportamiento estructural, reportada por autores como Ern & Guermond (2021), fue confirmada mediante las simulaciones realizadas. Asimismo, los hallazgos concuerdan con estudios previos en diseño automotriz que destacan la utilidad de las herramientas de simulación para optimizar estructuras antes de su fabricación física.

El proceso de modelado 3D integral permitió verificar la compatibilidad geométrica de todos los componentes del vehículo, validando la distribución de pesos propuesta y la interacción entre sistemas. La configuración de dos ruedas delanteras y una rueda trasera, con una distribución de 60% del peso en el eje trasero y 40% en el delantero, demostró ser adecuada para garantizar la estabilidad del

conjunto. La integración de los sistemas de suspensión seleccionados con el chasis tubular confirmó la viabilidad del diseño desde el punto de vista de ensamble y funcionalidad.

Entre las limitaciones identificadas en el estudio se encuentra el enfoque en análisis estáticos, sin considerar cargas dinámicas o efectos de fatiga del material. Tampoco se incluyeron análisis térmicos o ambientales, y la validación se realizó exclusivamente en entorno virtual. Estas limitaciones, sin embargo, abren oportunidades para investigaciones futuras que permitan un desarrollo más comprehensivo del prototipo.

Como recomendaciones derivadas de esta investigación, se sugiere realizar prototipado físico a escala reducida para validación experimental, incorporar refuerzos localizados en zonas de mayor concentración de esfuerzos, y optimizar el peso mediante estudios de topología estructural.

Esta investigación contribuye al campo del diseño automotriz al demostrar la aplicabilidad de herramientas CAD/CAE accesibles en el desarrollo de vehículos eléctricos ligeros. La metodología empleada, que combina diseño paramétrico con simulación numérica, representa una alternativa viable para el desarrollo de prototipos en contextos con recursos limitados. Los resultados obtenidos sientan las bases para el desarrollo de vehículos urbanos sostenibles que respondan a las necesidades de movilidad actuales.

Finalmente, el estudio confirma que la integración de metodologías de diseño modernas con herramientas de simulación computacional permite optimizar recursos y reducir tiempos de desarrollo en proyectos de ingeniería automotriz. El éxito en la validación estructural del vehículo propuesto justifica la continuación del proyecto hacia etapas de prototipado físico y sugiere el potencial de esta metodología para aplicaciones en otros tipos de vehículos sustentables.

6 COMPETENCIAS DESARROLLADAS

Durante el desarrollo del proyecto "Diseño optimizado de un vehículo biplaza de tres ruedas", se adquirieron y fortalecieron diversas competencias técnicas, metodológicas y profesionales que resultaron fundamentales para el éxito de la investigación. Estas competencias no solo permitieron alcanzar los objetivos planteados, sino que también representan un valioso capital profesional para mi formación como ingeniero.

En el ámbito del diseño asistido por computadora, se desarrolló una competencia avanzada en el uso de software de modelado 3D, específicamente SolidWorks, para la creación de geometrías complejas y el ensamblaje de sistemas mecánicos. Esta habilidad permitió traducir los conceptos teóricos en modelos tridimensionales detallados, integrando componentes como el chasis tubular, sistemas de suspensión y elementos de carrocería. La capacidad de generar planos técnicos con tolerancias y especificaciones adecuadas demostró el dominio de las herramientas de diseño contemporáneas utilizadas en la industria automotriz.

La aplicación del método de elementos finitos constituyó otra competencia fundamental desarrollada durante el proyecto. Se adquirió destreza en la configuración de estudios de simulación estructural, aplicación de cargas y análisis de resultados en SolidWorks Simulation. Esta competencia permitió predecir el comportamiento mecánico del chasis bajo la carga aplicada, validando teóricamente la integridad estructural del diseño antes de proceder a la fabricación física.

La metodología de selección multicriterio aplicada en la elección de los sistemas de suspensión permitió desarrollar competencias en toma de decisiones técnicas complejas. Esta habilidad involucró la identificación de parámetros relevantes, asignación de ponderaciones, evaluación cuantitativa de alternativas y justificación técnica de las selecciones realizadas, demostrando un enfoque sistemático para la resolución de problemas de ingeniería.

La investigación técnica y revisión bibliográfica representó otra competencia significativa, permitiendo contextualizar el proyecto dentro del estado del arte en diseño de vehículos ligeros. Esta habilidad incluyó la identificación de fuentes confiables, análisis crítico de literatura especializada y aplicación de conocimientos reportados en investigaciones previas para enriquecer la solución desarrollada.

En el ámbito de la comunicación técnica, se fortalecieron las capacidades para redactar documentación especializada, presentar resultados de manera clara y organizada, y utilizar terminología técnica apropiada. Esta competencia fue esencial para la elaboración de la tesis y la presentación coherente de los hallazgos del proyecto.

Finalmente, se desarrolló una visión integral del proceso de diseño en ingeniería, comprendiendo las interrelaciones entre diferentes sistemas mecánicos y la importancia del trabajo multidisciplinario. Esta competencia permitió abordar el proyecto considerando no solo aspectos estructurales, sino también de funcionalidad, manufactura.

Estas competencias, desarrolladas a lo largo del proyecto, representan un valioso conjunto de habilidades que serán fundamentales en mi ejercicio profesional como ingeniero. La integración de conocimientos teóricos con aplicaciones prácticas en un proyecto de complejidad significativa ha consolidado mi formación y preparado para enfrentar desafíos ingenieriles en entornos profesionales reales.

7 FUENTES DE INFORMACIÓN

1. *¿Qué es la suspensión independiente y cuáles son sus ventajas?* (18 de Mayo de 2024). Obtenido de Chery: <https://www.chery.com.pe/blog/que-es-la-suspension-independiente-y-cuales-son-sus-ventajas>
2. *¿Qué es y cómo Funciona la Dirección de un Coche?* (6 de Marzo de 2024). Obtenido de Rodi motor services: <https://www.rodi.es/blog/que-es-direccion-vehiculo/>
3. Abasolo, M., Aguirrebeita, J., Coria, I., & Iker, H. (2017). *Guía práctica de elementos finitos en estática*.
4. Aparicio, J., & Gómez, J. (2022). *Diseño y simulación de un sistema de suspensión para un vehículo eléctrico biplaza de tres*. Bucaramanga.
5. B, S. (21 de Febrero de 2024). *Los coches de 3 ruedas: historia, ventajas y perspectiva de futuro*. Obtenido de Motor 16: <https://www.motor16.com/noticias/coches-3-ruedas-ventajas/>
6. Blancarte, J., & Buchsbaum, J. (23 de Agosto de 2013). *¿Cuáles son los tipos de suspensión más comunes?* Obtenido de Autocosmos: <https://noticias.autocosmos.com.mx/2013/08/23/cuales-son-los-tipos-de-suspension-mas-comunes>
7. Brenner, S., & Scott, R. (2008). *The Mathematical Theory of Finite Element Methods*.
8. Carrasquero, R. (28 de Mayo de 2023). *Dirección hidráulica | Componentes, funcionamiento y tips para cuidarla*. Obtenido de Kavak: <https://www.kavak.com/mx/blog/direccion-hidraulica-funcionamiento>
9. Clark, S. (2024). *Morgan Three wheeler*.

10. CR, M. m. (8 de Abril de 2025). *Suspensión McPherson: El sistema que revolucionó la ingeniería automotriz*. Obtenido de Mundo motores CR: <https://mundomotorescr.com/suspension-mcpherson-el-sistema-que-revoluciono-la-ingenieria-automotriz/>
11. Damian. (s.f.). *Dirección Electroasistida: Ventajas, Desventajas y Funcionamiento*. Obtenido de Rara driving school: <https://raradrivingschool.com/mantenimiento/direccion-electroasistida-ventajas-desventajas/>
12. Dirtbike. (12 de Abril de 2020). *Tipos de suspensiones*. Obtenido de Dirtbike Garage: <https://dirtbike.es/tipos-de-suspensiones/>
13. Ern, A., & Jean-Luc, G. (2021). *Finite elements I*.
14. Fish, J., & Belytschko, T. (2020). *A First Course in Finite Elements*.
15. *Galería: 10 coches con tres ruedas que tal vez no conozcas*. (6 de Junio de 2018). Obtenido de Motor 1.com: <https://es.motor1.com/photos/612271/lista-coches-tres-ruedas/>
16. González Woge, O., González Morán, C. O., & Asdrubal, L. C. (30 de Septiembre de 2019). *Introducción al método del elemento finito: Solidworks y Matlab. Ideas en ciencias de la ingeniería*.
17. Guerra, E. (23 de Mayo de 2022). *Dirección mecánica: ventajas y desventajas*. Obtenido de Gossip Vehiculo: <https://gossipvehiculo.com/2022/05/23/direccion-mecanica-ventajas-y-desventajas/>
18. Heitmann, J. (2018). *The Automobile and American Life*.
19. Hernandez Del Arco, L. (18 de Marzo de 2024). *Suspensión multilink o multibrazo: Cómo funciona y qué ventajas tiene*. Obtenido de Autos: <https://us.as.com/autos/curiosidades/suspension-multilink-o-multibrazo-como-functiona-y-que-ventajas-tiene/>
20. Hughes, T. J. (2023). *the finite element method*.

21. Jimenez Wilchez, A. F., & Kawahara Solarte, T. (2018). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN VEHICULO MONOPLAZA A GASOLINA CON CHASIS TUBULAR*. Cartagena.
22. Kaikos. (30 de Agosto de 2022). *Arcimoto Test Drive (FUV)*. Obtenido de Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=ErEsLoS0y78&t=3s>
23. Larson, M., & Bengzon, F. (2013). *The Finite Element Method: Theory, Implementation, and Applications*.
24. Meichao, Z., Zhang, H., & Tan, T. (2017). *Finite Element Analysis in Orthopedic Biomechanics Research*.
25. Molina Salazar, J. L., & Tovar Tobar, J. F. (2009). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CHASIS TUBULAR MONOPLAZA TIPO BUGGY PARA LA PARTICIPACION DE LA ESPE-L EN LA FORMULA AUTOMOVILISTICA UNIVERSITARIA*. Latacunga.
26. Muhammad, A., & Mohammed, A. A. (2021). Analysis of a 440C steel roller bearing using finite element method. En *Materialstoday: proceedings*.
27. Pacachama-Nasimba, V., Jorque-Rea, A., Ulcuango-Moreno, C., & Passo-Guamangate, R. (23 de Julio de 2024). *Revista científica conectividad*. Obtenido de El software de simulación como herramienta para el análisis de estructuras metálicas automotrices.
28. Potts, G. (21 de Enero de 2020). *The three-wheeled Polaris Slingshot now puts out over 200hp*. Obtenido de Top Gear: <https://www.topgear.com.ph/news/car-news/2020-polaris-slingshot-200hp-tguk-a3832-20200121>
29. Poul, M. N., Martyn, P. N., Xinshan, L., Karol, M., & Adam, W. (2022). *Computational Biomechanics for Medicine*.
30. Principia. (31 de Julio de 2025). *Principia*.
31. *Push road vs Pull road*. (5 de Febrero de 2011). Obtenido de F1 al día: https://www.f1aldia.com/11219/suspensiones-push-rod-pull-rod/#google_vignette

32. R, G. (2022). *Structural analysis of composite wind turbine blade using ANSYS*.
33. Reddy, J. (2019). *Introduction to the Finite Element Method*.
34. Sael, C. Y., López Parra, M., & Ricardo Torres, O. (2018). *Análisis del proceso de diseño y fabricación del chasis tubular para Vehículo*. Campeche.
35. Shah, P. (14 de Mayo de 2025). *Motorcycle Suspension: All You Need to Know*. Obtenido de BiKedekho: <https://www.bikedekho.com/advisory/motorcycle-suspension-all-you-need-to-know.htm>
36. *Sistema de Suspensión Independiente vs. Eje Rígido: ¿Cuál es Mejor para Ti?* (15 de Noviembre de 2024). Obtenido de Todosobreautos.com: <https://www.todosobreautos.com/suspension-independiente-vs-eje-rigido/>
37. Systèmes, D. (2023). *SolidWorks Flow Simulation Technical Reference*. SolidWorks Corporation.
38. Team, C. (3 de Marzo de 2015). *What is Monocross/Monoshock suspension in bikes?* Obtenido de CarBike Tech: <https://carbiketech.com/monoshock-suspension/>
39. Ulrich, K., & Eppinger, S. (2013). *Diseño y desarrollo de productos* (5ª edición ed.). México, D.F.: Mc Graw Hill.
40. & Eppinger, S. (2013). *Diseño y desarrollo de productos* (5ª edición ed.). México, D.F.: Mc Graw Hill.