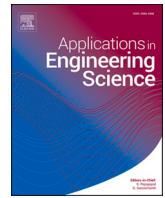


Listas de contenidos disponibles en [Ciencia Directa](#)

Aplicaciones en la ciencia de la ingeniería

Página principal de la revista: www.sciencedirect.com/journal/applications-in-engineering-science

Análisis mecánico de un modelo de chasis ultraligero para un vehículo monoplaza.

Brayan Daniel Duran Flores^a, Edgar Adhair Montes Gómez^b,
Luis Arturo Soriano Avendaño^{do,*}, Miguel Ángel Castellón Medinacelia

^aUniversidad San Francisco Xavier, Sucre, Bolivia^bCICATA Legaria, Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México^{do}Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola, México

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Palabras clave:

Chasis
Metodología
Mecánico

ABSTRACTO

El artículo presenta un análisis mecánico de un chasis ultraligero diseñado para un vehículo monoplaza, centrándose en la optimización del peso y la eficiencia energética. La metodología incluye la selección de materiales mediante gráficos de restricciones y ensayos mecánicos, eligiéndose el aluminio 6060 por su favorable relación resistencia-peso. Se realizaron ensayos de tracción y flexión para evaluar la resistencia del material, seguidos de simulaciones estáticas, de carga dinámica y en túnel de viento en SOLIDWORKS, validando el diseño aerodinámico y estructural. Los resultados muestran una buena distribución del factor de seguridad en todo el chasis, aunque un componente crítico, el Elemento 58 (soporte de la suspensión trasera), presenta un bajo factor de seguridad y supera el límite elástico bajo condiciones de carga máxima, lo que indica la necesidad de rediseñarlo o reforzarlo. Las recomendaciones incluyen aumentar el área de la sección transversal del elemento crítico o utilizar un material de mayor resistencia para garantizar la integridad estructural y mejorar el rendimiento general del vehículo.

Introducción

La industria automotriz enfrenta el desafío constante de mejorar la eficiencia energética y reducir el impacto ambiental de los vehículos. El diseño de chasis ligeros ha surgido como una estrategia crucial para abordar estos desafíos, contribuyendo significativamente a la reducción del consumo de combustible y a la mejora del rendimiento del vehículo. Para lograr automóviles más eficientes, el diseño de vehículos ha evolucionado considerablemente; la eficiencia energética se puede mejorar a través del rendimiento del motor, la hibridación, la optimización aerodinámica y la reducción de peso de los componentes estructurales, entre otros. El desarrollo progresivo de las tecnologías ha aumentado la demanda de materiales de construcción, lo que se traduce en el desarrollo de metales y sus aleaciones con mejores propiedades mecánicas (Oswaldo Benito y otros, 2023; Pacana y otros, 2021). Para lograr automóviles más eficientes, el diseño de vehículos ha evolucionado considerablemente; la eficiencia energética se puede mejorar a través del rendimiento del motor, la hibridación, la optimización aerodinámica y la reducción de peso de los componentes estructurales, entre otros. La estructura del vehículo está experimentando una transformación significativa, con un mayor énfasis en el diseño estructural ligero y la distribución eficiente de materiales y componentes (Benito y Arena, 2022).

El chasis, como estructura fundamental, absorbe la mayor parte del impacto.

energía y soporta todos los componentes, incluidas las baterías, los accesorios eléctricos, el equipo y los pasajeros, proporcionando así protección a través de sus sistemas estructurales (Hernández-Ambato y otros, 2022). Además, es posible mejorar la eficiencia energética del chasis, el rendimiento del vehículo y el manejo en carretera (Montijo Valenzuela y Rubio, 2021). Debido a que la rigidez torsional del chasis influye fuertemente en el manejo (contribuye directamente a la rigidez general de la suspensión), el material y la geometría elegidos deben proporcionar una rigidez adecuada bajo cargas operativas (Jindal y otros, 2022). Para cuantificar la rigidez torsional de nuestro diseño, realizamos una simulación de torsión de elementos finitos: un extremo del marco estaba fijo y se aplicó un par de torsión de 500 N·Se aplicó m en el extremo opuesto. La desviación angular resultante fue de 1,85°, lo que corresponde a una rigidez torsional de 270 N·m/grados muy por encima de los 200 N·Punto de referencia m/deg para prototipos monoplaza comparables informados por Patel et al. (2022) (Patel y otros, 2022). Dado que el aluminio 6060 tiene un módulo elástico menor (69,5 GPa) que el acero (210 GPa), aumentamos las dimensiones de la sección transversal del marco en un 10 % y agregamos dos refuerzos diagonales (ver Figura 2) para alcanzar la rigidez objetivo. Esta sinergia de propiedades del material y geometría optimizada garantiza que, a pesar del módulo más bajo del aluminio, el chasis logre el rendimiento de manejo requerido sin una penalización de peso excesiva. Varios estudios se han centrado en el diseño, la optimización y la selección de materiales para chasis de vehículos. Por ejemplo,

* Autor correspondiente.

Dirección de correo electrónico: larturo.soriano@gmail.com (LAS Avendaño).

<https://doi.org/10.1016/j.apples.2025.100260>

Recibido el 5 de febrero de 2025; Recibido en forma revisada el 2 de septiembre de 2025; Aceptado el 3 de septiembre de 2025. Disponible en línea el 6 de septiembre de 2025.

2666-4968/© 2025 Los autores.

Publicado por Elsevier Ltd.

LICENCIA CCBY Este es un artículo de acceso abierto bajo la licencia CC BY-NC.

(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

Patel y otros en 2022 (Patel y otros, 2022) desarrollaron un diseño de chasis tubular para un vehículo de energía solar y propusieron el uso de acero AISI 4013. Su selección de materiales se basó en varias simulaciones utilizando el software ANSYS, incluyendo análisis de impacto frontal, impacto lateral y rigidez torsional. De manera similar, Prasad y Maddela en 2020 (Prasad y Maddela, 2020) propusieron el uso de acero AISI 4130 para el diseño de un chasis eléctrico alimentado por energía solar. Realizaron análisis con el software SOL-IDWORKS, llevando a cabo simulaciones y cálculos estructurales para determinar el material apropiado, rechazando finalmente los aceros AISI 1018 y AISI 1020 después de evaluaciones de impacto frontal, trasero y lateral. Mishra en 2017 (Mishra, 2017) diseñaron y optimizaron un chasis para un vehículo todoterreno, priorizando la ergonomía humana y la fabricabilidad. El acero AISI 4130 en secciones tubulares fue el material principal considerado, con análisis estructurales realizados utilizando el software ANSYS, que abarcan análisis de impacto frontal, trasero, lateral, vuelco frontal y vuelco lateral. Jacob et al. en 2021 (Jacob y otros, 2021) desarrollaron un diseño para un vehículo BAJA SAE, seleccionando el material basándose en el reglamento SAE BAJA 2020, que especificaba el acero estructural AISI 4130 como óptimo. Sus análisis, realizados a través de simulaciones SOLIDWORKS 2018, incluyeron impactos frontales, traseros, laterales y de vuelco, lo que llevó a la conclusión de que el material seleccionado era suficientemente rígido para soportar los impactos propuestos. Más allá de los aceros tradicionales, la investigación también explora materiales alternativos para aplicaciones de chasis. Sinha y Kumar en 2020 (Sinha y Kumar, 2020), por ejemplo, propusieron el uso de compuestos poliméricos a base de epoxi reforzados con carbono en estructuras de chasis. Su estudio concluyó que dos combinaciones de materiales (56,5 % de carbono con 43,5 % de epoxi y 60,9 % de carbono con 39,1 % de epoxi) podrían reemplazar el material ST37, logrando una disminución de peso significativa del 75,2 % y 76,2 %, respectivamente. Sin embargo, esta propuesta en particular, si bien apuntaba a minimizar el peso total del vehículo, no consideró las tensiones torsionales u otros diversos tipos de tensiones que pueden ocurrir durante el funcionamiento del vehículo. El diseño de vehículos de tres ruedas es otra área de investigación que ha atraído la atención. Patil et al. en 2017 (Patil y otros, 2017) realizaron un estudio utilizando análisis estático lineal para reducir el peso del diseño. Modificaron la parte delantera del vehículo y consideraron acero laminado IS513,

sometiéndolo a carga del eje delantero, carga del eje trasero derecho y carga del eje trasero izquierdo. Sus modificaciones resultaron en una reducción de peso de 4 kg. En otro estudio de un vehículo de tres ruedas, Palanivendhan et al. en 2021 (Palanivendhan y otros, 2021) se desarrolló un vehículo diseñado para un pasajero. Este diseño ofrece un amplio espacio gracias a su configuración de rueda trasera única, lo que permite una mayor capacidad de equipaje, ya que la sección trasera no requiere espacio para la suspensión, el buje, el soporte u otros componentes típicos de una rueda trasera convencional. Se consideraron diversos tipos de carga para el diseño del chasis, incluyendo análisis de rigidez torsional, análisis de flexión del chasis y análisis de impacto frontal.

Metodología de diseño

Se ha adoptado la Metodología Centrada en los Materiales para este diseño. Este enfoque utiliza los materiales como restricciones durante el proceso de diseño del prototipo, con el objetivo de optimizar la conceptualización del producto final y evitar una selección errónea de materiales (Gómez y otros, 2024). El proceso de la metodología se ilustra en Figura 1.

Esta metodología comprende cinco pasos esenciales. El primer paso, "Clarificación de ideas", implica identificar las necesidades y requisitos fundamentales del producto. El paso subsiguiente se centra en clasificar y evaluar la importancia relativa de estos requisitos. El tercer paso implica identificar y evaluar los principios que guiarán el desarrollo del diseño conceptual. Una vez establecido el diseño conceptual, la siguiente fase implica la ejecución de la idea para la construcción y fabricación del prototipo. Esto se logra traduciendo los requisitos identificados en especificaciones de materiales, permitiendo la selección de materiales a través de un gráfico de restricciones, seguido de la fabricación del diseño conceptual del producto. El paso final incluye el desarrollo de protocolos de uso, la definición de tolerancias geométricas y dimensiones mínimas para el producto, y la propuesta de materiales alternativos para la construcción del prototipo (Gómez y otros, 2024).



Figura 1. Diagrama de metodología de diseño centrado en los materiales.

Aclaración de ideas

El diseño debe ajustarse a las características técnicas mínimas para el cumplimiento normativo en la fabricación de vehículos, la movilidad y el transporte, garantizando así la seguridad del usuario. Los requisitos normativos pertinentes ([Informe mundial sobre la prevención de lesiones por accidentes de tráfico 2004](#); [Tamaño y peso del vehículo 2024](#); [ONU 2020a,b,Secretaría de Economía 2018,ONU 2007,ONU 2019,ONU 2017,Secretaría de Economía 2022](#)) se presentan en [Tabla 1](#).

El objetivo principal de esta propuesta de diseño es reducir el peso del chasis, mejorando así el rendimiento y la maniobrabilidad del vehículo. Esta reducción de masa también contribuye a lograr una mayor eficiencia energética durante el funcionamiento normal.

Requisitos técnicos

Esta sección describe los requisitos esenciales para el diseño del chasis del vehículo, centrándose principalmente en la seguridad del usuario. Estos requisitos se clasifican en [Tabla 2](#).

Diseño conceptual

El concepto central de este diseño se basa en un vehículo monoplaza. Este vehículo debe cumplir con los requisitos técnicos especificados para garantizar la seguridad del usuario.

Conceptos de diseño de chasis

El análisis de un chasis ultraligero para aplicaciones de movilidad eficiente requiere considerar múltiples factores mecánicos y aerodinámicos, incluyendo la velocidad, la aceleración y el peso del vehículo ([Chinchilima Duchi y Rodríguez Sánchez, 2019](#)).

La aerodinámica es crucial para la eficiencia de los vehículos, ya que afecta directamente a la resistencia aerodinámica y, en consecuencia, al consumo de energía. [Tabla 3](#) presenta coeficientes de arrastre para diversas formas de chasis ([Rico y Rendón 2016,de Bergua Domingo, 2015,Grijalva y otros, 2021](#)).

El análisis de cargas estáticas y dinámicas es esencial para comprender el comportamiento del chasis bajo diversas condiciones de funcionamiento. El análisis de elementos finitos (FEA) es un método común empleado para este propósito, en el que se realizan simulaciones de carga para predecir el rendimiento del diseño analizado..

Factores clave de diseño: Factores como el peso, la velocidad y la aceleración son fundamentales en el diseño del chasis, ya que influyen significativamente en la geometría y las características de rendimiento del producto final.

- **Peso** Un chasis más ligero reduce la energía necesaria para la aceleración y mejora la eficiencia del combustible.
- **Velocidad:** El aumento de la velocidad conlleva una mayor resistencia aerodinámica, lo que exige un diseño más aerodinámico.
- **Aceleración** La aceleración influye directamente en las fuerzas dinámicas que actúan sobre el chasis, por lo que requiere una cuidadosa consideración en el diseño estructural.

Concepto de diseño

El diseño se basa en la geometría de un chasis curvo para lograr una

Tabla 1

Requisitos normativos.

Categoría	Requisitos de cumplimiento	Normativo
Seguridad normativo	Prueba de choque estandarizada	(Peden y Organización Mundial de la Salud, 2004), (Tamaño y peso del vehículo, pies cuadrados)
	Cinturón de seguridad de tres puntos con pretensores y carga limitadores	(ONU, 2020a, 2020b)
	Llantas	(Secretaria de Economía, 2018; ONU, 2007, 2017, 2019, 2021)
Seguridad vehicular		(Secretaria de Economía, 2022)

Tabla 2

Requisitos técnicos.

Nivel de importancia	Clasificación	Requisitos
R2	Material	Masa mínima
D2	Seguridad	Sistema de seguridad
D3	Ergonomía	Diseño ergonómico
D3	Geometría	Aerodinámica

Tabla 3

Coefficientes de resistencia aerodinámica para diferentes formas de chasis.

Forma del chasis	coeficiente de arrastre
Chasis rectangular	1,2
Chasis aerodinámico	0,3
Chasis curvo	0,4
Chasis con forma de gota	0,2

menor coeficiente de arrastre durante el funcionamiento. Este diseño conceptual se muestra en [Figura 2](#).

Diseño de prototipo

Para el diseño del prototipo, es necesario considerar los tipos de materiales a utilizar, con el objetivo de seleccionar uno que cumpla con el requisito de baja masa. De esta manera, se debe tener en cuenta la densidad del material, junto con sus propiedades mecánicas.

Selección de materiales

El análisis de materiales se puede realizar utilizando la metodología de selección de materiales de Ashby ([MF Ashby, 2011, MF Ashby, 2011](#)) Al comparar las propiedades mecánicas de varios metales dentro de las restricciones especificadas, se puede obtener una pendiente que indique el material más adecuado para el producto final. Específicamente, al comparar la resistencia a la tracción en relación con la densidad del material, el objetivo es seleccionar un material que ofrezca la máxima resistencia con la mínima masa, como se muestra en [Figura 3](#).

Aplicando el mismo análisis de selección de materiales, se puede generar un gráfico que represente las restricciones entre el módulo de elasticidad (módulo de Young) y la densidad del material. Esto produce el índice para el límite de rigidez a masa mínima. Este enfoque garantiza la rigidez necesaria para resistir la torsión a lo largo de la barra de suspensión, lo cual es crucial para la rigidez torsional general ([Jindal y otros, 2022](#)), como se presenta en [Figura 4](#).

En consecuencia, se consideraron materiales con baja densidad y altas propiedades mecánicas específicas para satisfacer las restricciones de rigidez torsional y peso definidas durante el diseño conceptual. [Figuras 3 y 4](#) ilustra cómo el aluminio 6060, una aleación de Al-Mg-Si de la serie 6xxx comúnmente utilizada para parachoques de automóviles y cajas de absorción de impactos, está emergiendo como la opción óptima ([Abdullah y otros, 2020, Das et al., 2007, Poznak y otros, 2018, Raabe y otros, 2022, Rolseth y otros, 2024](#)). [Tabla 4](#) Resume las propiedades mecánicas clave del aluminio 6060 junto con las del acero AISI 4130 para su comparación. [Alu-Stock, Smithells y otros, 2004, Mollazadeh y otros, 2015](#)).

Estos valores obtenidos de nuestros ensayos de tracción y flexión y hojas de datos estándar muestran que el aluminio 6060 combina la alta relación resistencia-peso (σ_y/ρ) y rigidez-peso (E/ρ) relaciones para estructuras rígidas ligeras

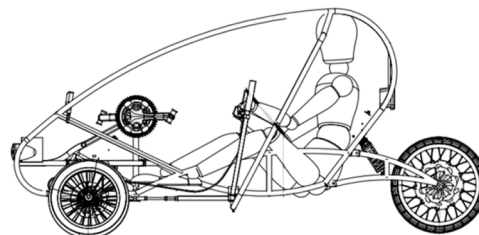


Figura 2.Concepto del chasis.

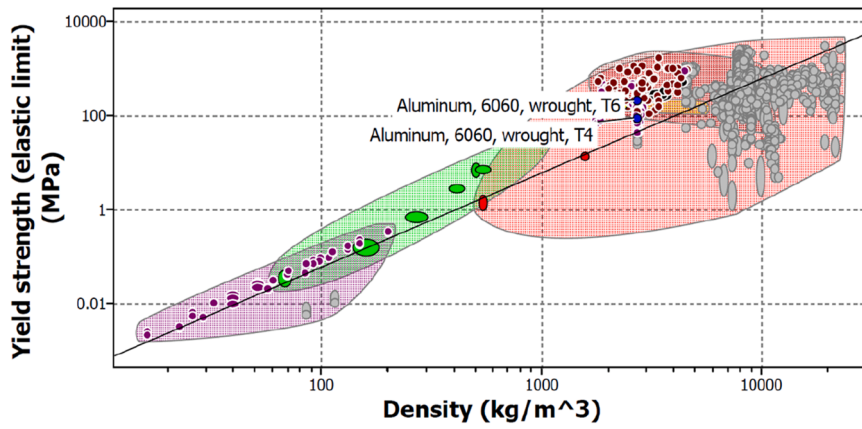


Figura 3. Gráfico de la resistencia a la tracción en función de la densidad de los materiales.

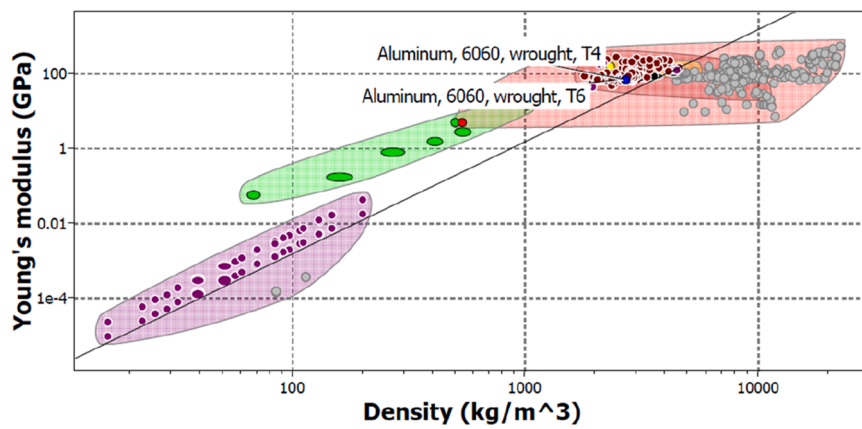


Figura 4. Gráfico del módulo de Young en función de la densidad de los materiales.

Tabla 4

Propiedades del material.

Material	Producir fortaleza [Mpa]	Brinell dureza	Fatiga fortaleza [Mpa]	Elástico módulo [norte mm-1]	Costo [DÓLAR ESTADOUNIDENSE]
Aluminio 6060	290	90	90	69.5	\$2000
AISI 4130	460	217	350	200	\$1500

El aluminio 6060 ofrece una ductilidad moderada para la absorción de energía bajo impacto y una resistencia a la fatiga fiable para cargas cíclicas sostenidas. Si bien el acero AISI 4130 posee mayor resistencia absoluta y ductilidad, su densidad resulta en un bastidor considerablemente más pesado. Al sopesar el costo del material, la facilidad de fabricación y el rendimiento específico general, el aluminio 6060 es la opción óptima para un chasis ultraligero y rígido a la torsión.

Ensayos de materiales

Las propiedades físicas cruciales del aluminio 6060 se caracterizaron mediante ensayos de tracción. Este estudio se llevó a cabo para determinar las

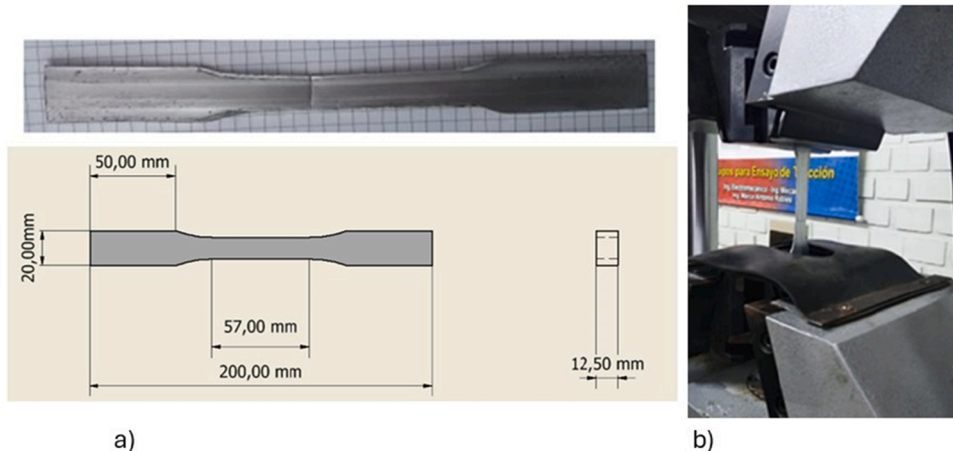


Figura 5. a) Dimensiones y probeta para el ensayo de tracción. b) Máquina universal Este-Oeste.

Características de resistencia y deformación del material bajo cargas aplicadas con mayor certeza y fiabilidad.

Prueba de tensión. La muestra se fabricó según la norma ASTM.E8 para métodos de ensayo estándar para ensayos de tracción de materiales metálicos (ASTM 2013) como se muestra en Figura 5a. Se realizaron ensayos de tracción en una máquina universal Este-Oeste con una 100 kN capacidad. Como se muestra en Figura 5b

Se realizaron ensayos de tracción en tres muestras de aluminio comerciales diferentes, como se muestra en Figura 6. Estas figuras presentan diagramas de carga en kN frente a desplazamiento en mm hasta el punto de fractura para cada muestra.

Las tensiones de fluencia, máximas y de fractura se calcularon utilizando la definición de tensión estándar, expresada en Ecuación (1) donde σ representa la tensión, F es la carga aplicada y A es el área de la sección transversal de la muestra.

(Hibbeler, 2014, Timoshenko, 1956).

$$\sigma = \frac{F}{A} \tag{1}$$

En consecuencia, el módulo de elasticidad se puede determinar como la pendiente del diagrama tensión-deformación dentro de la región elástica lineal del material. Los resultados completos de la prueba de tracción se presentan en Tabla 5.

Ensayo de flexión. El ensayo de flexión se realizó con las especificaciones de los Métodos de Ensayo Estándar para Dimensiones Físicas de Probetas de Plásticos Sólidos (Estándar, 1997). Considerando una carga concentrada en el punto medio de una viga simplemente apoyada, el desplazamiento de la viga se define por Ecuación (2).

$$\sigma = \frac{PL_3}{48EI} \tag{2}$$

Donde P es la carga, L es la distancia entre la carga y el soporte, E es el módulo de elasticidad e I es el momento de inercia, para una viga cilíndrica, el momento de inercia se describe mediante Ecuación (3) donde D es el diámetro exterior y d es el diámetro interior. El diagrama de la viga se muestra en Figura 7 y los resultados de la prueba de flexión se presentan en Tabla 6.

$$I = \frac{\pi(D_4^4 - d_4^4)}{32} \tag{3}$$

Dimensiones

Las dimensiones del vehículo están definidas por diversas normativas y características específicas, cada una con una finalidad distinta:

- **Longitud total:** 3500 mm, en cumplimiento con la norma UNECE R94 para los requisitos mínimos de seguridad en caso de colisión frontal.
- **Ancho total:** 1600 mm, conforme a la norma UNECE R46 para garantizar la estabilidad durante las maniobras.

Tabla 5

Resultados de la prueba de tensión.

Características de la muestra	Primera muestra	Segunda muestra	Tercera muestra	Promedio
Longitud inicial	57,15 mm	57,15 mm	57,15 mm	57,15 mm
Base	12,70 mm	12,70 mm	12,70 mm	12,70 mm
Altura	1,00 mm	1,00 mm	1,00 mm	1,00 mm
Área inicial	12,70 mm ²	12,70 mm ²	12,70 mm ²	12,70 mm ²
Desplazamiento	3,80 mm	3,80 mm	3,80 mm	3,80 mm
Longitud final	60,23 mm	60,23 mm	60,23 mm	60,23 mm
Base final	12,20 mm	12,20 mm	12,20 mm	12,20 mm
Altura final	0,90 mm	0,90 mm	0,90 mm	0,90 mm
Área final	10,98 mm ²	10,98 mm ²	10,98 mm ²	10,98 mm ²
Porcentaje de alargamiento	5,39 %	5,39 %	5,39 %	5,39 %
Porcentaje de área reducción	13,54 %	13,54 %	13,54 %	13,54 %
Límite superior de fluencia	1,83	2,17	2,34	2,11
Límite inferior de fluencia	2,00	2,28	2,36	2,21
Tensión máxima	3,52 kN	3,42 kN	3,29 kN	3,41 kN
Esfuerzo de fractura	2,28 kN	2,00 kN	1,60 kN	1,96 kN
Tasa de carga	0,20 [mm min ⁻¹]	0,20 [mm min ⁻¹]	0,20 [mm min ⁻¹]	0,20 [mm min ⁻¹]
resistencia a la fluencia	150,79 MPa	175,20 MPa	185,04 MPa	170,34 MPa
Rendimiento máximo estrés	277,17 MPa	268,90 MPa	259,06 MPa	268,37 MPa
Tensión de fluencia en fractura	179,53 MPa	157,48 MPa	125,98 MPa	154,33 MPa
Módulo de elasticidad	20,00 GPa	25,71 GPa	22,50 GPa	22,74 GPa

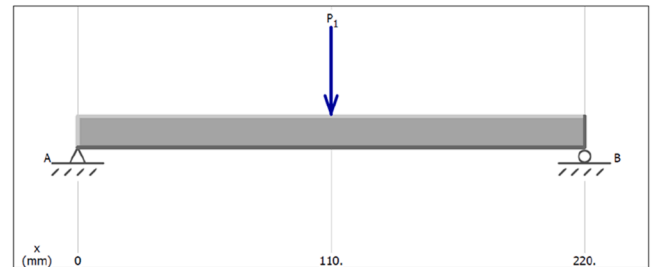


Figura 7. Diagrama de ensayo de flexión del material de aluminio 6060.

- **Altura total:** 1200 mm, conforme a la norma ISO 26262, que describe los criterios estructurales para la seguridad funcional.
- **Espacio entre ejes:** 2100 mm, regulado por la norma UNECE R12 para garantizar la integridad estructural.

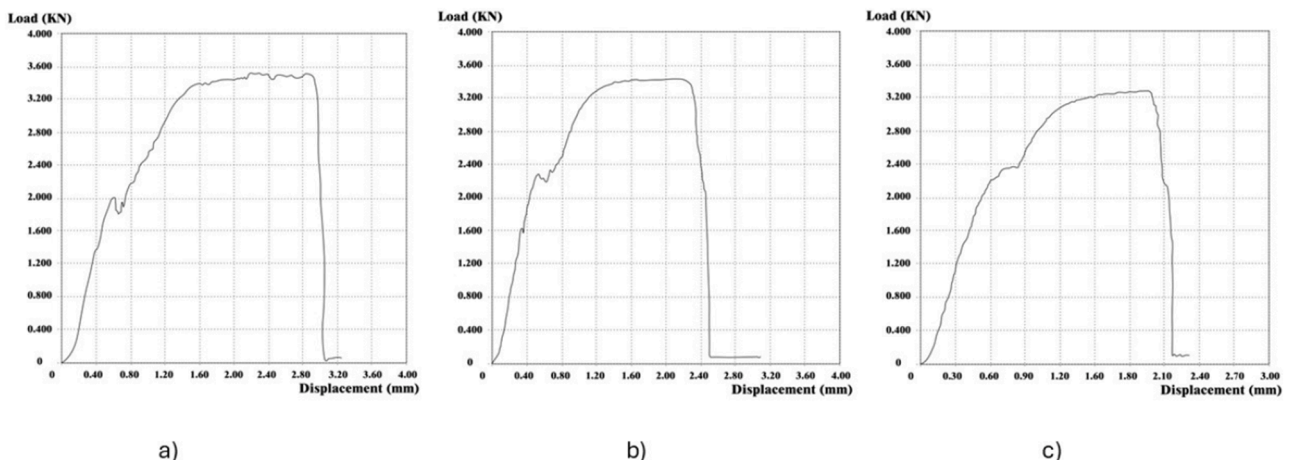


Figura 6. Diagrama carga vs. desplazamiento. a) Primera muestra. b) Segunda muestra. c) Tercera muestra.

Tabla 6

Resultados de las pruebas de flexión.

Características de la muestra	Resultado
Carga	0,80 kN
Longitud	220 mm
Módulo de elasticidad	22,74 GPa
Diámetro exterior de la viga	25 mm
Diámetro interior de la viga	23 mm
Momento de inercia	10.876,19 mm ⁴
Desplazamiento del haz	0,72 mm

- **Altura del suelo:** 150 mm, conforme a la norma UNECE R26, que define la distancia mínima al suelo para la protección antivuelco.
- **Ángulo del asiento:** No debe exceder los 35°, de acuerdo con las directrices de diseño internas para equilibrar la comodidad y la seguridad.
- **Visibilidad frontal:** Debe proporcionar una visión clara hasta 4 m desde el borde frontal, según lo especificado por la Federación Internacional del Automóvil (FIA).
- **Altura de los ojos del piloto:** Debe estar a una altura mínima de 0,7 m del suelo, según lo establecido por la FIA.
- **Profundidad mínima de la banda de rodadura del neumático:** 1,5 mm, según lo exigen diversas normativas internacionales (Secretaría de Economía 2018).

Para la implementación del requisito del campo de visión, la configuración del campo de visión ilustrada en **Figura 8** fue adoptada.

Modelado de carga

Para determinar la carga máxima de la tripulación, se tiene en cuenta el peso combinado del piloto y los elementos suplementarios (por ejemplo, el traje, las herramientas auxiliares), junto con una carga de seguridad adicional del 20%. **Ecuación (4)** define la carga total.

$$W_G = P_{AGW} + S_w + T_w + 0.2(P_{AGW} + S_w + T_w) \tag{4}$$

En el diseño estructural, se emplea el método de diseño por factores de carga y resistencia (LRFD). Este método utiliza factores de carga y resistencia para tener en cuenta las incertidumbres asociadas con el cálculo de cargas muertas y vivas. Estos factores abordan las variaciones y las posibles imprecisiones en las estimaciones de carga, así como las propiedades y la capacidad de resistencia de los materiales utilizados. La carga última se define en **Ecuación (5)** donde P_u representa la carga última, D es la carga muerta y L es la carga viva debida a la ocupación. Para el cálculo presente, la carga muerta $D=422,811$ N y carga viva $L=1049,67$ N; estos factores fueron obtenidos de De et al. (2020) (Estándar, 1997). Dado que las cargas críticas se concentran en la posición del conductor y en los puntos de suspensión delanteros y traseros, se construyó un diagrama de cuerpo libre del asiento del conductor. Este diagrama se presenta en **Figura 9**.

$$P_{AGW} = 1.2 \text{ Delaware} + 1.6(L + 0.2L) \tag{5}$$

La determinación precisa del centro de gravedad (CG) es crucial para el funcionamiento seguro y eficiente del vehículo y para los cálculos precisos de la reacción de las ruedas. Utilizando el software SOLIDWORKS, se calculó el CG de toda la estructura, incluido el piloto. Como se ilustra en **Figura 10**, el CG

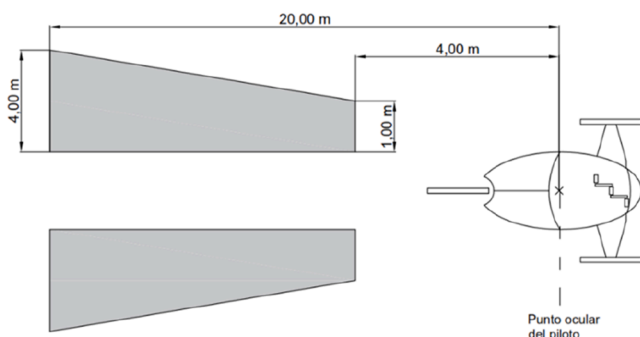


Figura 8. Diagrama de visión implementado.

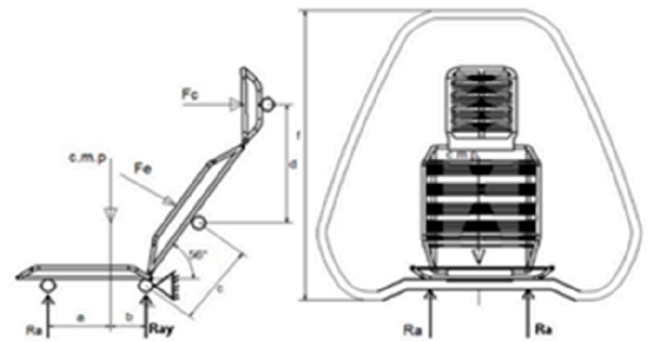


Figura 9. Diagrama de cuerpo libre del asiento del conductor.

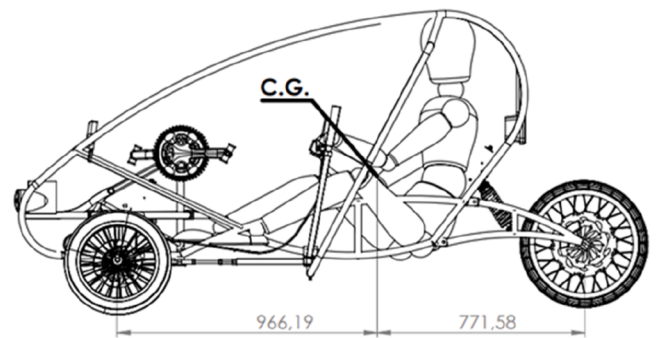


Figura 10. Determinación del centro de gravedad.

Se determinó que estaba ubicado a 966,19 mm por delante de la rueda delantera y a 771,58 mm por encima del suelo.

Esta información es esencial para optimizar la distribución del peso del vehículo, mejorar la estabilidad y asegurar que el peso del piloto esté perfectamente equilibrado dentro de la estructura. Utilizando estos datos, se pueden calcular las fuerzas resultantes sobre los neumáticos analizando la viga, como se muestra en **Figura 11**.

$$F = \frac{PA(a)}{a+b} \tag{6}$$

Ecuación (6) define el método para obtener estas fuerzas resultantes, donde F es la fuerza resultante, P es la carga, a es la distancia desde el soporte A hasta la carga y b es la distancia desde el soporte B hasta la carga. Los resultados de estos análisis se resumen en **Tabla 7**.

De este modo se obtienen las fuerzas normales resultantes sobre los neumáticos del vehículo y se pueden visualizar en **Figura 12**.

Partiendo de las determinaciones anteriores, ahora se calculan las reacciones derivadas geoméricamente del diseño del amortiguador delantero. Los resultados de estos análisis se incorporarán directamente al modelo de simulación presentado en **Figura 13a**, mientras que el diagrama de cuerpo libre correspondiente se muestra en **Figura 13b**.

En el análisis del sistema mecánico, las dimensiones y las fuerzas

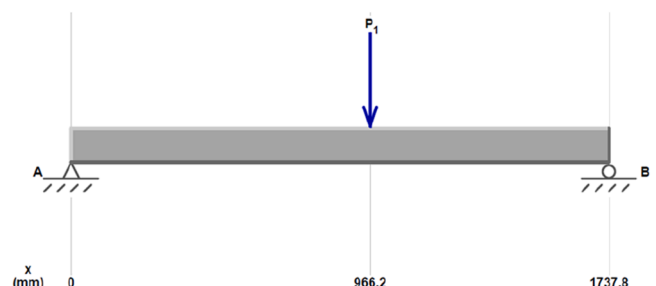


Figura 11. Análisis de la viga con la carga en el centro de gravedad.

Tabla 7

Resultados de los parámetros de cálculo.

Peso del piloto		Determinación de la carga máxima		Determinación de las fuerzas por rueda	
Piloto	931 N	Muerto carga	42.811 N	Fuerza hacia atrás	1401,68 norte
Ropa	10,78 N	Carga viva	1049,67 norte	Fuerza hacia adelante	1119.32 norte
Herramientas	29,4 N	Último carga	2523 N	Potencia delantera distribución	44 % norte
Carga de el piloto	1165.416 norte			Potencia trasera distribución	56 %
				Distribución de fuerzas resultantes en la rueda delantera izquierda	560,06 N
				Distribución de fuerzas resultantes en la rueda delantera derecha	560,06 N
				Distribución de fuerzas resultantes en la parte trasera rueda	1401,68 norte

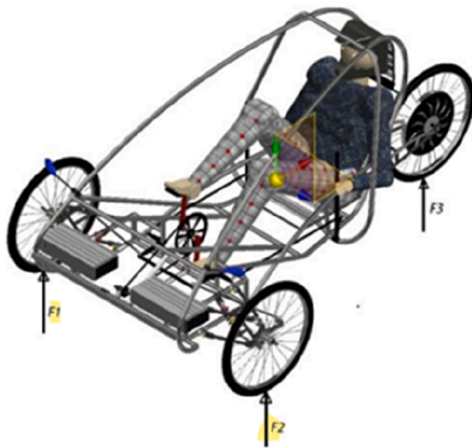


Figura 12. Fuerzas normales sobre las ruedas del vehículo.

Los elementos involucrados son críticos. Para la suspensión delantera, se proporcionan dos dimensiones clave: $a=10.7\text{centímetro}$ y $b=16.3\text{centímetro}$. Estas dimensiones son cruciales para calcular las fuerzas que actúan sobre este subsistema. La fuerza inicial, F_1 , derivado de un peso de 57,09 kg, se convierte en $F_1 = 560.06\text{norte}$ utilizando la aceleración gravitacional. Esta fuerza representa un componente crítico en el análisis de carga del sistema. A continuación, la fuerza vertical, F_y , se calcula multiplicando F_1 por la suma de dimensiones a y b , produciendo $F_y = 144.06\text{kg}$. Este valor se convierte en $F_y = 1411.2\text{norte}$, lo cual es esencial para comprender la distribución de la fuerza dentro del sistema. Finalmente, la fuerza axial, F_a , se determina dividiendo F_y por el seno de un 45-ángulo, lo que resulta en $F_a = 1657.47\text{norte}$. Esta fuerza axial es fundamental en el diseño mecánico, ya que permite evaluar la resistencia y estabilidad del sistema bajo las condiciones de carga aplicadas. En resumen, las fuerzas calculadas para la suspensión delantera son: $F_1 = 560.06\text{norte}$, $F_y = 1411.2\text{norte}$, y $F_a = 1657.47\text{norte}$.

Para la reacción del amortiguador trasero, el análisis comienza con las dimensiones del elemento: $a=966.16\text{mm}$ y $b=771.58\text{mm}$, junto con una distancia *incógnita* $=86.41\text{mm}$, todos los cálculos de fuerza relevantes. Las fuerzas aplicadas a este sistema incluyen: $F_a = 114.1\text{norte}$ y $F_b = 142.97\text{norte}$. Además, el peso total del sistema, denotado como $W_{ti} = 257\text{kg}$, se considera un factor determinante en el análisis de las reacciones de los elementos. Las dimensiones y la distribución de fuerzas para la parte trasera del vehículo se muestran en Figura 14a, mientras que el análisis del haz de la parte trasera del vehículo se muestra en Figura 14b.

La reacción en el amortiguador, representada como R_{do} , es fundamental para comprender la distribución de la fuerza. Esta reacción se define por Ecuación (7).

$$R_{do} = \frac{F_3(a+b)}{a + (b - \text{incógnita})} \tag{7}$$

El cálculo arroja un resultado de $-300,9\text{kg}$, que corresponde a aproximadamente -2949N . El valor negativo significa que la dirección de reacción es opuesta a la asumida inicialmente, una consideración crítica para el diseño. Se considera que la reacción real en el amortiguador es la mitad de R_{do} , proporcionando una representación más precisa del comportamiento del sistema bajo carga. Finalmente, las fuerzas de reacción en los puntos de apoyo se determinan como $R_a = 561.326\text{norte}$ y $R_{po} = 1335.32\text{norte}$. Estos valores son esenciales para garantizar la seguridad y la eficiencia del diseño mecánico, al facilitar una distribución adecuada de la carga y asegurar una respuesta apropiada del sistema a las fuerzas aplicadas.

Simulación

Este estudio se centra en el desarrollo y la evaluación de un

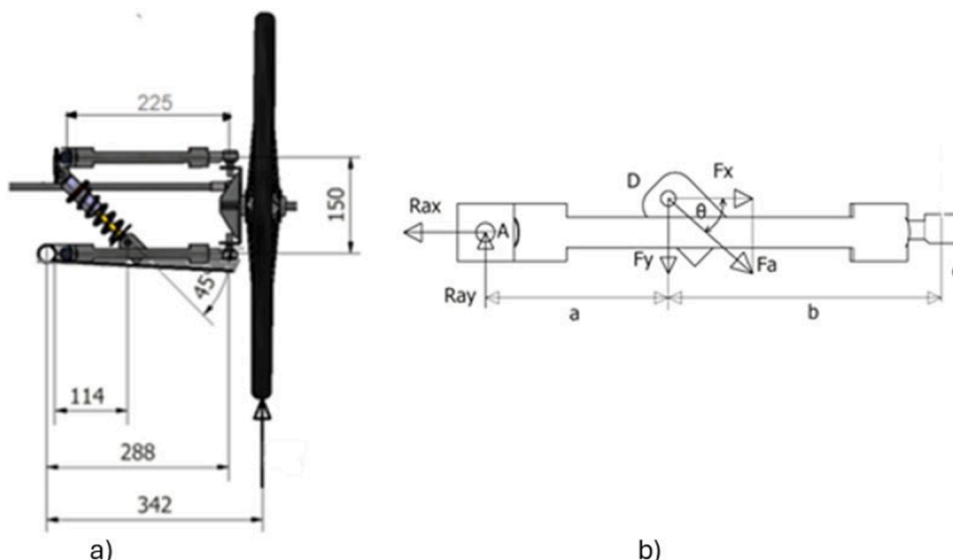


Figura 13. a) Dimensiones del brazo de suspensión interior. b) Diagrama de cuerpo libre de la suspensión interior.

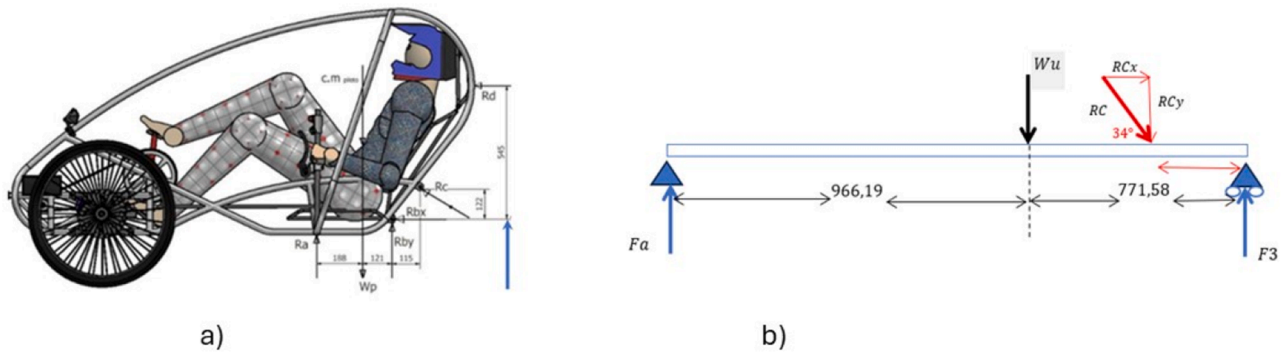


Figura 14.a) Dimensiones y distribución de las fuerzas en la parte trasera del vehículo. b) Diagrama de cuerpo libre de las fuerzas en la parte trasera del vehículo.

Chasis innovador diseñado para optimizar la eficiencia en aplicaciones de movilidad. Dado el papel esencial de la sostenibilidad y la reducción de peso en la mejora del rendimiento del vehículo, esta investigación enfatiza el uso de materiales y técnicas de diseño específicos para lograr estos objetivos. Dentro de este marco, la sección de simulación juega un papel crucial, permitiendo la predicción del comportamiento del chasis bajo diversas condiciones de funcionamiento (Golovacheva y otros, 2021). Se realizarán tres tipos de simulaciones:

- (1) Simulación de carga estática: Esta simulación tiene como objetivo evaluar la resistencia del chasis a diferentes cargas estáticas, asegurando que el diseño pueda soportar demandas estructurales sin comprometer su integridad (Leocadio et al., 2019).
- (2) Dinámica de colisión: Esto es esencial para analizar la respuesta del chasis a impactos y situaciones de emergencia. Este análisis no solo proporciona información sobre la seguridad del diseño, sino que también identifica áreas de mejora para minimizar el riesgo de falla estructural (Ramírez Ruiz, 2018).
- (3) Simulación de fluidos en túnel de viento: Para optimizar la aerodinámica del chasis, se realizarán simulaciones de flujo de aire que imiten las condiciones de un túnel de viento. Este estudio es vital para comprender cómo las fuerzas aerodinámicas afectan el rendimiento del vehículo, que

en consecuencia afecta a su eficiencia energética y estabilidad (Martínez Ordóñez, 2018).

Estas simulaciones tienen como objetivo validar el diseño y garantizar la eficacia del enfoque adoptado en este proyecto. Las secciones siguientes presentan los resultados detallados de la simulación, realizada en SolidWorks 2020, que incorpora todos los parámetros, características y datos calculados previamente estipulados.

Cargas estáticas

La distribución del factor de seguridad obtenida es en gran medida óptima; sin embargo, existe un punto crítico en el elemento 58, que es la viga que soporta la suspensión trasera. Este elemento recibe todas las fuerzas de reacción y presenta un factor de seguridad muy bajo de solo 0,74. Esto representa una consideración de diseño crítica, y su simulación del factor de seguridad se presenta en Figura 15a. El análisis de tensiones confirma además que el Elemento 58 es un punto crítico. Según los datos de análisis de materiales, el límite elástico del material es $2.757 \times 10^7 MPa$. En el elemento 58, este límite se supera, alcanzando $3.704 \times 10^7 MPa$. La simulación de la tensión de carga estática se muestra en Figura 15 b. En cuanto a las deformaciones, un valor mínimo de $1.000 \times 10^{-30} mm$ una deformación máxima de $3.646 \times 10^{-1} mm$ se observan. La deformación máxima también se produce en el elemento crítico del diseño.

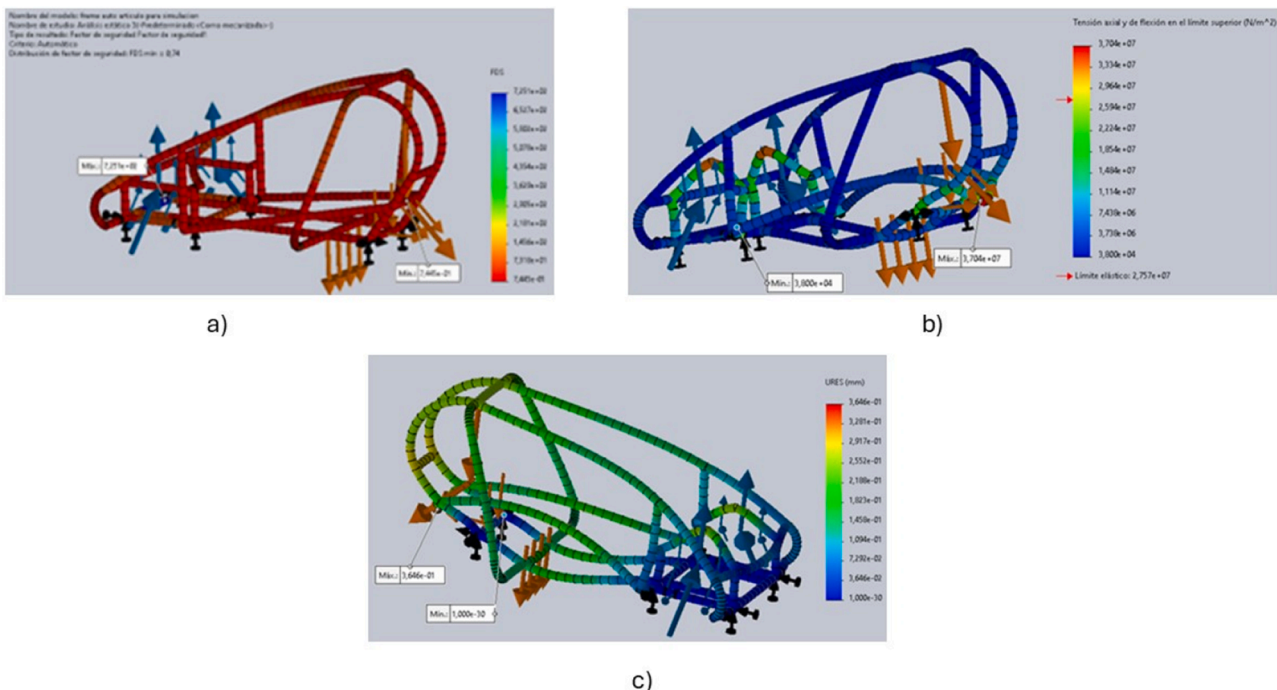


Figura 15.a) Factor de seguridad para cargas estáticas. b) Tensiones bajo cargas estáticas. c) Deformaciones bajo cargas estáticas.

La deformación bajo cargas estáticas se muestra en [Figura 15](#) d).

cargas dinámicas

El estudio de choque se realizó simulando el vehículo a su velocidad máxima permitida de 50 km/h. El peso total del vehículo se estableció en $W_{tot}=2521$ *norte* y la carga normal en *norte*=257 kg. Estos datos se integraron como una fuerza de impacto en la simulación. Los resultados se presentan en [Figura 16](#) a y b. Las cepas observadas fueron relativamente favorables, con una cepa máxima de 2.758×10^{-1} *mm* en el punto crítico. Las tensiones no alcanzaron una magnitud considerable, llegando a un máximo de 2.128×10^7 *N/mm*, lo cual está muy por debajo del límite elástico del material.

Simulación de fluidos en túnel de viento

Esta simulación implicó un estudio en túnel de viento centrado en el prototipo del chasis. El estudio tuvo como objetivo validar el diseño seleccionado en forma de gota replicando el chasis con sus dimensiones previamente estipuladas e incorporando la carrocería externa para completar el diseño del vehículo. Este análisis buscó demostrar las características aerodinámicas del conjunto completo. La velocidad del fluido, en este caso aire, se estableció en 50 km/h. Los detalles de la simulación se presentan en [Figura 17](#) a). Como se observa en [Figura 17](#) a) El diseño incorpora una malla de alta precisión que envuelve toda la estructura, lo que permite una comprensión detallada de sus características geométricas. [Figura 17](#) b) ilustra que la región de mayor presión se genera en la punta del vehículo, donde se observó una presión relativa de 462,12 Pa. La simulación también demostró un comportamiento aerodinámico notablemente bueno, con un coeficiente de arrastre de 0,2018. Estos datos coinciden con la base teórica presentada anteriormente y la corroboran. Además, [Figura 17](#) la letra b indica una mayor turbulencia en la punta del vehículo; sin embargo, estos flujos turbulentos se atenúan significativamente a medida que pasan a lo largo de las líneas de diseño, lo que da como resultado un patrón de flujo suave.

Discusión de los resultados

Los resultados demuestran que un chasis de aluminio 6060 con dimensiones y refuerzos óptimos puede lograr el doble objetivo de un peso ultraligero y una alta rigidez torsional. La prueba de torsión por elementos finitos arrojó una rigidez de 270 N·m/grado, superando el valor de referencia de 200 N·m/grados para prototipos monoplaza similares ([Patel y otros, 2022](#)), y los índices específicos de resistencia y rigidez ($107 \text{ MPa}\cdot\text{cm}^3/\text{g}$ y $25,7 \text{ GPa}\cdot\text{cm}^3/\text{g}$, respectivamente) confirman el rendimiento favorable de la relación resistencia-peso del aluminio 6060 ([Tabla 4](#)). En comparación con el acero AISI 4130, el bastidor de aluminio reduce la masa en más del 65 % para una resistencia torsional equivalente, lo que se traduce directamente en una mejor aceleración del vehículo y una mayor eficiencia energética. Simulaciones estáticas y dinámicas de elementos finitos ([Figuras 15 y 16](#)) revelaron factores de seguridad generalmente aceptables, aunque el Elemento 58 exhibió un factor de solo 0,74 de deformación bajo cargas máximas.

Esto sugiere que las iteraciones futuras deberían centrarse en reforzar la geometría local, por ejemplo, con secciones transversales más gruesas o placas de refuerzo, o en hibridar el bastidor con inserciones de mayor resistencia para redistribuir las tensiones. Se confirmó la integridad aerodinámica del chasis, lo que indica que la reducción de masa no compromete el rendimiento del flujo de aire. Si bien el aluminio 6060 ofrece un equilibrio ideal entre coste, facilidad de fabricación y rendimiento mecánico para aplicaciones monoplaza de bajo volumen, vale la pena considerar las ventajas y desventajas de otros materiales alternativos. Los aceros de alta resistencia proporcionan mayor ductilidad y tenacidad, pero a costa de una mayor masa, y los compuestos de fibra de carbono logran una rigidez específica superior a costa del coste del material y la complejidad de la reparación. Una vía prometedora para el trabajo futuro es un enfoque estructural híbrido, que combine una estructura de núcleo de aluminio con refuerzos compuestos ubicados en áreas de alta tensión, lo que permitiría reducir el peso sin incurrir en costes prohibitivos ni dificultades de fabricación. Además, las evaluaciones de la vida útil en ciclos de conducción realistas y las pruebas de resistencia a los choques más allá del análisis cuasiestático serán esenciales para validar la durabilidad y la seguridad a largo plazo.

Conclusiones

El análisis técnico del chasis revela que, si bien las deformaciones y tensiones se encuentran generalmente dentro de límites aceptables, el Elemento 58 presenta un riesgo significativo de falla debido a su baja capacidad de carga y factor de seguridad. Es fundamental realizar modificaciones en el diseño para garantizar la seguridad y la funcionalidad del chasis en condiciones reales de operación.

Análisis de estrés

Los resultados del análisis estructural del chasis han mostrado deformaciones alentadoras, con un máximo de $0,2758$ *mm* en el punto crítico (Elemento 58). Este valor de deformación, aunque dentro de los límites aceptables, indica que el diseño debe revisarse debido a la ubicación de la deformación máxima en un área crítica. Las tensiones en el mismo elemento alcanzaron un máximo de 3704×10^7 *N m*⁻², excediendo el límite elástico del material, que es 2757×10^7 *N m*⁻². Esto indica que el elemento 58 corre riesgo de fallar bajo condiciones de carga máxima. El diseño final del proyecto se muestra en [Figura 18](#).

factor de seguridad

El factor de seguridad calculado para el elemento 58 es $0,74$, que es significativamente inferior al valor mínimo aceptable de $1,5$ para aplicaciones estructurales críticas. Este bajo factor de seguridad sugiere que el diseño actual no es seguro y que el Elemento 58 podría fallar bajo las condiciones de carga previstas, especialmente en situaciones de colisión.

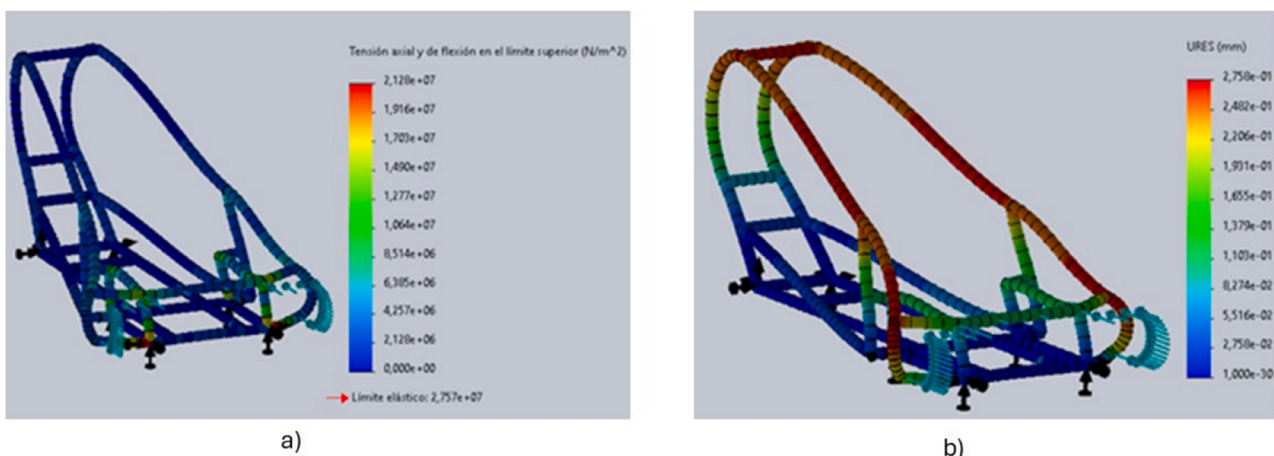


Figura 16. a) Los estudios de choque llevaron a cabo esfuerzos. b) Los estudios de choque llevaron a cabo deformaciones.

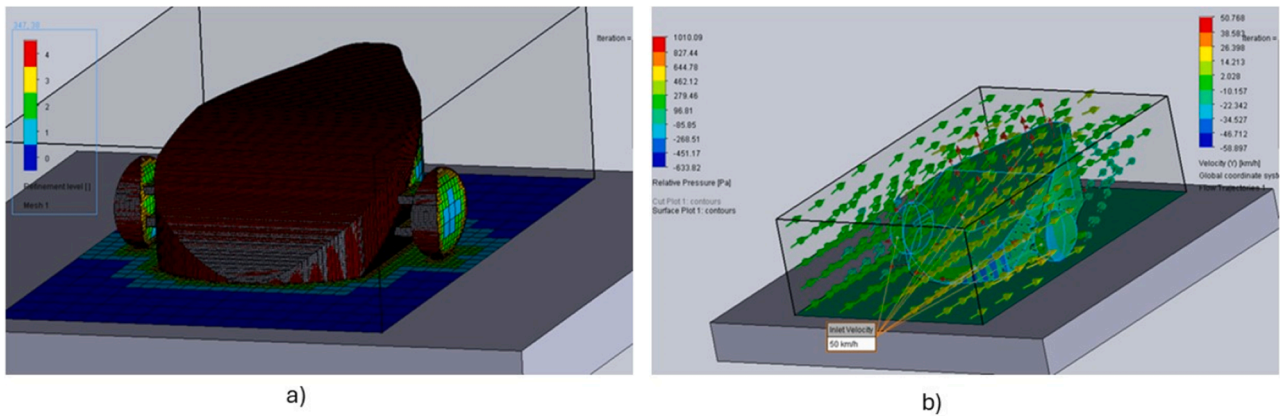


Figura 17.a) Especificaciones de diseño y mallado del diseño. b) Resultados de la simulación basados en el diseño.

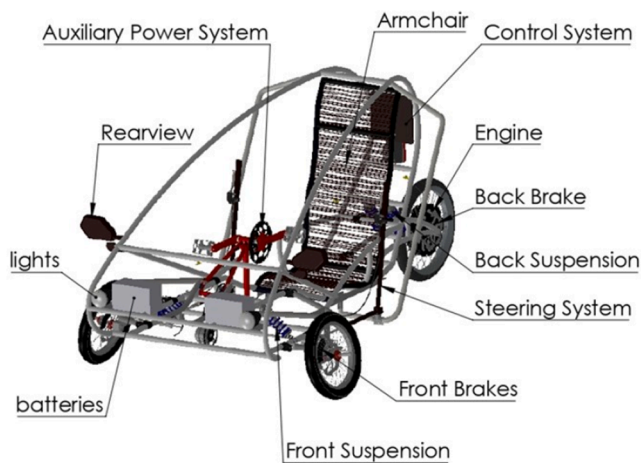


Figura 18. Diseño final del proyecto.

Comportamiento bajo carga de choque

Durante el análisis del choque, una velocidad máxima del vehículo de 50 km/h y un peso total de 2521 N (257 kg) se consideraron. El impacto generado en el Elemento 58, que soporta la suspensión trasera, produce tensiones adicionales que exacerban el riesgo de falla. La reacción calculada en el amortiguador fue 2949 N , con un valor real de 2185 N , lo que indica que el diseño debe gestionar adecuadamente estas fuerzas para evitar el colapso del elemento crítico.

Fuerzas de distribución

Las fuerzas aplicadas al sistema se calcularon de la siguiente manera:

- Fuerza frontal: $114,1 \text{ N}$
- Fuerza trasera: $142,97 \text{ N}$
- Fuerza axial: $1657,47 \text{ N}$

La distribución de fuerzas en el sistema muestra que el elemento 58 recibe la mayor parte de las cargas, lo que subraya la necesidad de reforzar este componente para mejorar su capacidad de carga.

Requisitos de diseño

En vista del análisis anterior, se recomiendan las siguientes acciones para mitigar el riesgo de fallo del Elemento 58:

- Reforzar el elemento 58: Aumentar la sección transversal del elemento o cambiar a un material con mayor resistencia a la tracción y al impacto.
- Rediseño de la geometría: Considere un rediseño que distribuya mejor las cargas en todo el chasis, minimizando la concentración de tensiones en el elemento 58.
- Incrementar el factor de seguridad: Asegúrese de que el factor de seguridad de diseño sea de al menos 1,5 para aplicaciones críticas, ajustando las dimensiones y los materiales según sea necesario.
- Incrementar el factor de seguridad: Asegúrese de que el factor de seguridad de diseño sea de al menos 1,5 para aplicaciones críticas, ajustando las dimensiones y los materiales según sea necesario.
- Realizar pruebas adicionales: Llevar a cabo pruebas de choque y simulaciones adicionales para evaluar el comportamiento del chasis en condiciones extremas y ajustar el diseño en consecuencia.

Declaración de contribución de autoría CReDiT

Brayan Daniel Duran Flores: Visualización, Validación, Software, Recursos, Administración de proyectos, Metodología, Investigación, Obtención de financiación, Análisis formal, Curación de datos, Conceptualización. **Edgar Adhair Montes Gómez:** Redacción: revisión y edición, Redacción: borrador original, Metodología, Conceptualización. **Luis Arturo Soriano Avendaño:** Supervisión, Recursos, Administración del proyecto, Metodología, Investigación, Conceptualización. **Miguel Ángel Castellón Medinaceli:** Administración del proyecto, investigación, obtención de financiación, conceptualización.

Declaración de conflicto de intereses

Los autores declaran los siguientes intereses financieros/relaciones personales que pueden considerarse como posibles conflictos de intereses:

Luis A. Soriano informa que fue proporcionado por la Universidad Autónoma de Chapingo. Luis A. Soriano informa una relación con la Universidad Autónoma de Chapingo que incluye: empleo. Luis A. Soriano tiene una patente pendiente para. Cualquier relación Si hay otros autores, declaran que no tienen intereses financieros o relaciones personales que pudieran haber influido en el trabajo presentado en este documento.

Disponibilidad de datos

Los datos estarán disponibles previa solicitud.

Referencias

- Abdullah, NAZ, Sani, HSH, Salwani, MS, Husain, NA, 2020. Una revisión sobre Estudios de resistencia al impacto de estructuras de cajas de absorción de impactos. Thin-Wall Struct. 153, 106795. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2020.106795>. Alu-Stock, N. Aleaciones de aluminio.
- Ashby, MF, 2011a. Índices de materiales. Selección de materiales en el diseño mecánico. Elsevier, págs. 559–564. <https://doi.org/10.1016/B978-1-85617-663-7.00020-5>.
- Ashby, MF, 2011b. Datos para materiales de ingeniería. Selección de materiales en ingeniería mecánica. Diseño. Elsevier, págs. 495–523. <https://doi.org/10.1016/B978-1-85617-663-7.00018-7>.
- ASTM. Métodos de prueba estándar para pruebas de tensión de materiales metálicos, 2013.
- Benito, AO, Arena, AP, 2022. Hacia la transición energética de mendoza mediante la integración de vehículos eléctricos y sistemas de generación distribuida: modelo LEAP. Ajea (15). <https://doi.org/10.33414/ajea.1036.2022>.
- Chinchilima Duchi, PC, Rodríguez Sánchez, HI, 2019. Rediseño Del Chasis y La Carrocería De Un Prototipo Para La Competencia Eco Shell Marathon. Riobamba, Ecuador.
- Das, SK, Green, JAS, Kaufman, JG, 2007. El desarrollo de productos reciclables Aleaciones de aluminio para automóviles. JOM 59 (11), 47–51. <https://doi.org/10.1007/s11837-007-0140-2>.
- de Bergua Domingo, X., 2015. Análisis CFD Aerodinámico de "JukeNismo" con Recursos de MareNostrum y CSUC. Diseño de Alerón Trasero Para Las "24SERIES". Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.
- Gómez, EAM, Osorio, SI, Soriano, LA, Paredes, GJG, Rubio, JDJ, 2024. Explorando una metodología de diseño centrada en los materiales: un enfoque innovador para el diseño de recipientes a presión. Machines 12 (1), 81. <https://doi.org/10.3390/machines12010081>. Golovacheva, LI, Maksutova, RA, Fedoritenko, NA, Shangina, EI, 2021. Metodología de la enseñanza del sistema de diseño automático SolidWorks en el curso "Ingeniería y gráficos por computadora" en el departamento de "Gráficos de ingeniería" de la Universidad Técnica Estatal de Moscú que lleva el nombre de N. E. Bauman. Int. Res. J., 124126 <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.103.1.111>. Вьюрукс7, Páginas. Grijalva, E., Acosta, J., Mancheno, E., 2021. Influencia de la densidad del aire en el consumo de combustible en vehículos livianos. Novasinergia 4 (2), 140-151. <https://doi.org/10.37135/ns.01.08.09>.
- Hernandez-Ambato, J., Fernández, R., Mora, A., Alvarado, J., 2022. Evaluación de la Huella de carbono de vehículos con motor eléctrico y de combustión interna según la matriz energética de Ecuador: caso de estudio KIA Soul vs KIA Soul EV. Novasinergia 5 (2), 58–75. <https://doi.org/10.37135/ns.01.10.04>.
- Hibbeler, RC, 2014. Mecánica de materiales, 9.ª ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, Nueva Jersey.
- Jacob, S., Thiruvarasan, V., Surendhar, S., Senthamizh, R., 2021. Diseño, análisis y Optimización del chasis de vehículos todoterreno que garantiza la rigidez estructural. Mater. Today: Proceed. 46, 3786–3790. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02.023> Jindal, R., Arora, R., Papney, R., Patel, M., Chander Saini, R., Rana, R., 2022. Prueba de torsión para un chasis BAJA utilizando un sensor giroscópico y validación de los resultados CAE. Mater. Today: Proceed. 56, 3774–3779. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.01.019>.
- Leocadio, J., Lucena, L., Oliveira, A., Santos, E., 2019. Utilização Dos Softwares Solidworks e inventor Na construção de Um Trocador de Calor Casco e Tubo. En: XXVI Congreso Nacional de Estudiantes de Ingeniería Mecánica, ABCM. <https://doi.org/10.26678/ABCM.CREEM2019.CRE2019-0058>.
- Martínez Ordóñez, MA, 2018. Estudio y Optimización de Una Aeronave Con Fuselaje De Ala Fija Aplicado a Vehículos Aéreos No Tripulados En La Región Andina Mediante Simulación Numérica De Dinámica De Fluidos Computacional (CFD). Escuela Politécnica Nacional: Quito, Ecuador.
- Mishra, S., 2017. Análisis estático de la jaula antivuelco de un vehículo todoterreno (SAE BAJA). Int. Res. J. Ing. Tecnología. (IRJET) 04 (09).
- Mollazadeh, H., Noruzi, R., Eskandarzade, M., 2015. Estudio de las propiedades de fatiga del acero AISI4130 (30KhMF) después de soldadura por compresión. Met. Sci. Heat Treat. 57 (1–2), 52–56. <https://doi.org/10.1007/s11041-015-9834-1>.
- Montijo Valenzuela, EE, Martínez Rubio, MP, 2021. Cálculo de esfuerzos mediante Simulación con elementos finitos: una herramienta para implementarse en ingeniería. Prociencias 4 (34), 70–78. <https://doi.org/10.29018/issn.2588-1000vol4iss34.2020pp70-78>.
- Osvaldo Benito, A., Castro Verdezoto, PL, Rodríguez, PD, 2023. Prospectiva sobre la integración energética de sistemas de generación distribuida y vehículos eléctricos en mendoza, argentina. Reciamuc 7 (2), 375–389. <https://doi.org/10.26820/reciamuc7.2.abril.2023.375-389>.
- Pacana, A., Czerwińska, K., Dwornicka, R., 2021. Análisis de la eficiencia del control de calidad en la industria automotriz. Transport. Res. Proced. 55, 691–698. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.07.037>.
- Palanivendhan, M., Devanand, S., Chandradass, J., Philip, J., Sajith Reddy, S., 2021. Diseños y análisis de chasis de vehículos de tres ruedas. Mater. Today: Proceed. 45, 6958–6968. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.417>.
- Patel, D., Jasani, V., Shah, D., Lakdawala, A., 2022. Diseño y análisis FE de chasis para Vehículo propulsado por energía solar. Mater. Today: Proceed. 62, 1626–1631. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.137>.
- Patil, RV, Lande, PR, Reddy, YP, Sahasrabudhe, AV, 2017. Optimización de tres Chasis de Wheeler mediante análisis estático lineal. Mater. Today: Proceed. 4 (8), 8806–8815. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.07.231>.
- Poznak, A., Freiberg, D., Sanders, P., 2018. Aleaciones de aluminio forjado para la industria automotriz. Fundamentos de la metalurgia del aluminio. Elsevier, págs. 333–386. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102063-0.00010-2>.
- Prasad, SA, Maddela, SK, 2020. Diseño y análisis del chasis de un vehículo solar eléctrico. IJERT V9 (09), IJERTV9IS090146. <https://doi.org/10.17577/IJERTV9IS090146>. Raabe, D., Ponge, D., Uggowitzer, PJ, Roscher, M., Paolantonio, M., Liu, C., Antrekowitsch, H., Kozeschnik, E., Seidmann, D., Gault, B., et al., 2022. Fabricación de aluminio sostenible mediante el reciclaje de chatarra: la ciencia de las aleaciones "sucias". Prog. Mater. Sci. 128, 100947. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2022.100947>. Ramírez Ruiz, CG, 2018. Evaluación De Modelos Computacionales En CFD Para La predicción Del Comportamiento Del Viento Alrededor De Edificios. Universidad de los Andes, Bogotá..
- Areiza Rico, YA, Rendón, W., 2016. Desarrollo de carrocería aerodinámica para monopla eléctrica de la escudería ara de la regional antioquia en el marco de la fórmula SENA ECO 2013 - 2014. Ing. USB medio. 7 (2), 48–53. <https://doi.org/10.21500/20275846.2029>.
- Rolseth, A., Carlson, M., Ghassemali, E., Pérez Caro, L., Jarfors, AEW, 2024. Impacto de Integración funcional y electrificación de la chatarra de aluminio en el sector automotriz: una revisión. Resour. Conserv. Recycl. 205, 107532. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2024.107532>.
- Secretaría de Economía. Nom-086-scfi-2018, 2018.
- Secretaría de Economía. Nom-194-Se-2021, 2022.
- Sinha, N., Kumar, K., 2020. Eficacia del chasis de vehículos de compuesto polimérico. Mater. Hoy: Proceda. 22, 2638–2646. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.03.395>. Smithells, CJ, Gale, WF, Totemeier, TC, 2004. En: Gale, WF, Totemeier, TC (Eds.), Smithells Metals Reference Book, 8.ª ed. Elsevier Butterworth-Heinemann, Amsterdam; Boston.
- Standard, A., 1997. Métodos de ensayo estándar para propiedades de flexión de materiales no reforzados y Plásticos reforzados y materiales aislantes eléctricos. ASTM D790. Timoshenko, S. Resistencia de Materiales, 2da ed.; 1; 1956. ONU. Reglamento n.º 30 de las Naciones Unidas de 2007.
- NACIONES UNIDAS. Reglamento ONU No. 142, 2017. ONU.
- Reglamento N° 54 de la ONU, 2019. ONU. Reglamento n.º 16 de las Naciones Unidas, 2020a. NACIONES UNIDAS.
- Reglamento n.º 14 de las Naciones Unidas, 2020b.
- Tamaño y peso del vehículo <https://www.iihs.org/topics/vehicle-size-and-weight> (accedido 23 de octubre de 2024).
- Informe mundial sobre la prevención de lesiones por accidentes de tráfico, 2004. En: Peden, MM (Ed.), Salud Mundial Organización Mundial de la Salud, Ginebra.