

Análisis numérico del chasis de un vehículo de dos ruedas

Numerical Analysis of a Two-wheeled Vehicle Chassis

Atzimba Estefanía Bolaños Mejía ¹

Fernando Moreno González ²

Daniel Maldonado Onofre ³

Luis Antonio Mier Quiroga ⁴

Tomas de la Mora Ramirez ⁵

Elvis Coutiño Moreno ⁶

Tecnológico Nacional de México,
Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán,
Jocotitlán, MÉXICO

¹ ORCID: 0009-0002-4242-1789 / 2022150482256@tesjo.edu.mx

² ORCID: 0009-0000-1930-2859 / 2021150482016@tesjo.edu.mx

³ ORCID: 0000-0002-6078-2206 / daniel.maldonado@tesjo.edu.mx

⁴ ORCID: 0000-0001-8290-4115 / luis.mier@tesjo.edu.mx

⁵ ORCID: 0000-0001-6594-2777 / tomas.delamora@tesjo.edu.mx

⁶ ORCID: 0000-0003-2455-2574 / elvis.coutino@tesjo.edu.mx

<https://cientifica.site>

Recibido 05/06/2026, aceptado 10/07/2026, publicado 15-07-2026.



Resumen

Este trabajo presenta el análisis estructural y el rediseño del chasis de un vehículo eléctrico de dos ruedas mediante simulaciones numéricas con el método de elementos finitos (MEF). Utilizando software especializado como Abaqus y SolidWorks, se evaluó el comportamiento estructural del chasis bajo distintas condiciones de carga estática y dinámica, incluyendo estudios de impacto frontal y lateral. Como resultado, se identificaron zonas críticas de esfuerzo y se propusieron mejoras estructurales orientadas a reducir las deformaciones sin incrementar significativamente el peso de conjunto.

Palabras clave: análisis numérico, vehículo eléctrico, chasis, elementos finitos.

2

Abstract

This paper presents the structural analysis and redesign of the chassis of a two-wheeled electric vehicle using numerical simulations with the finite element method (FEM). Using specialised software such as Abaqus and SolidWorks, the structural behaviour of the chassis was evaluated under different static and dynamic load conditions, including frontal and lateral impact studies. As a result, critical stress areas were identified and structural improvements were proposed aimed at reducing deformations without significantly increasing the overall weight.

Index terms: numerical analysis, electric vehicle, chassis, finite element.

I. INTRODUCCIÓN

La movilidad en vehículos de dos ruedas constituye una alternativa relevante por su accesibilidad, eficiencia energética y menor ocupación del espacio urbano. En el ámbito internacional, la Organización Mundial de la Salud ha promovido políticas que favorecen la movilidad activa y la creación de entornos más seguros para sus usuarios, particularmente en medios como la bicicleta [1]. No obstante, la evolución tecnológica de los vehículos de dos ruedas no ha eliminado los riesgos característicos asociados con su operación. La ausencia de una carrocería de protección, la exposición directa del conductor y la sensibilidad de estos vehículos ante impactos, irregularidades del camino y maniobras bruscas hacen indispensable evaluar su seguridad desde una perspectiva estructural y dinámica.

La necesidad de fortalecer la seguridad de los usuarios es especialmente importante debido a la frecuencia y gravedad de los accidentes viales. En la Ciudad de México, los motociclistas concentraron una proporción considerable de las víctimas mortales por hechos de tránsito; información periodística reportó que, durante 2024, este grupo se acercó a representar la mitad de las personas fallecidas en accidentes viales [2]. Este contexto evidencia que los impactos y colisiones continúan siendo una problemática relevante, por lo que resulta necesario desarrollar estructuras capaces de resistir, distribuir o absorber de forma más eficiente las cargas generadas durante un accidente.

En los vehículos de dos ruedas, la estabilidad y la respuesta dinámica dependen de la interacción entre la geometría del vehículo, la masa de sus componentes, el sistema de dirección, la suspensión y el contacto entre las ruedas y el camino. Diversos estudios han analizado esta relación mediante modelos de estabilidad, enfoques basados en ejes de tornillo y modelos multicuerpo, demostrando la importancia de considerar el comportamiento integral del vehículo durante el diseño [3], [4], [5]. Por ello, el chasis no debe entenderse únicamente como un elemento de soporte, sino como una estructura que influye directamente en la rigidez global, la distribución de masas y la conservación de la geometría del vehículo.

En el caso de los vehículos eléctricos de dos ruedas, el chasis debe soportar el peso del conductor, la batería, el motor eléctrico, los sistemas de transmisión y los componentes auxiliares. Además, debe mantener una relación adecuada entre resistencia, rigidez, masa, costo de fabricación y facilidad de manufactura. Investigaciones enfocadas en motocicletas eléctricas tipo dirt bike, bastidores de vehículos eléctricos de dos ruedas, bicicletas eléctricas y chasis para motocicletas eléctricas han utilizado herramientas de diseño y análisis estructural para identificar zonas críticas y mejorar la respuesta mecánica de estos sistemas [6], [7], [8], [9].

La evaluación estructural tampoco debe limitarse a cargas estáticas. La geometría de las secciones transversales puede modificar la rigidez y la distribución de esfuerzos en los componentes del vehículo [10]. De igual manera, las vibraciones y las frecuencias naturales del chasis pueden afectar el confort, la durabilidad y la seguridad durante la operación [11]. En los vehículos eléctricos, la integración de la batería representa un factor adicional, ya que su ubicación y masa pueden modificar el comportamiento modal de la estructura [12]. Por esta razón, resulta conveniente evaluar el chasis bajo condiciones representativas de operación, incluyendo cargas estáticas equivalentes al peso del conductor y de los componentes, así como escenarios de impacto frontal y lateral.

En este contexto, el presente trabajo se enfoca en el análisis estructural y rediseño de un chasis para un vehículo eléctrico de dos ruedas. El objetivo es comparar el comportamiento mecánico de una geometría original con una propuesta de rediseño, identificando concentraciones de esfuerzo, deformaciones excesivas y posibles zonas vulnerables. A partir de esta comparación, se busca proponer modificaciones geométricas orientadas a incrementar la rigidez estructural, reducir deformaciones y conservar una masa adecuada para un vehículo eléctrico ligero.

Para realizar esta evaluación se emplean herramientas de simulación numérica basadas en el método de elementos finitos (MEF), utilizando SolidWorks y Abaqus. El MEF permite dividir una estructura compleja en elementos de menor tamaño para estimar esfuerzos, deformaciones, desplazamientos y zonas de concentración de carga bajo condiciones definidas. El uso de herramientas computacionales reduce la dependencia de prototipos físicos durante las etapas iniciales de diseño y permite analizar distintas alternativas geométricas antes de su fabricación. Abaqus cuenta con capacidades para desarrollar análisis estructurales lineales y no lineales, así como simulaciones dinámicas y de impacto aplicables al estudio de estructuras mecánicas [13].

Otro factor determinante en el diseño del chasis es la selección del material. Las propiedades mecánicas, tales como la resistencia a la tracción, el límite de fluencia, el módulo de elasticidad, la resistencia a la fatiga y la densidad, influyen directamente en la respuesta de la estructura. El empleo de materiales ligeros, como aleaciones de aluminio y compuestos reforzados con fibra de carbono, puede contribuir a disminuir la masa del vehículo y mejorar su eficiencia energética; sin embargo, estos materiales suelen incrementar los costos de producción, reparación y manufactura [14]. Por otra parte, materiales convencionales como el acero dulce continúan siendo objeto de análisis estructural y modal debido a su disponibilidad, costo y resistencia mecánica [15].

La aportación de este trabajo consiste en evaluar, bajo un mismo marco de simulación, el desempeño de un chasis original y una geometría modificada. A diferencia de los estudios centrados exclusivamente en cargas estáticas, estabilidad o comportamiento modal, se integran condiciones de carga estática, impacto frontal e impacto lateral para identificar las regiones más críticas de la estructura. Este enfoque coincide con investigaciones recientes orientadas al diseño y optimización de chasis para vehículos eléctricos de dos ruedas, en las cuales se busca mejorar simultáneamente la resistencia, rigidez, seguridad y relación peso-desempeño [16]. De esta manera, se pretende generar una propuesta de rediseño que contribuya a mejorar la confiabilidad mecánica, la seguridad estructural y la funcionalidad del vehículo eléctrico.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

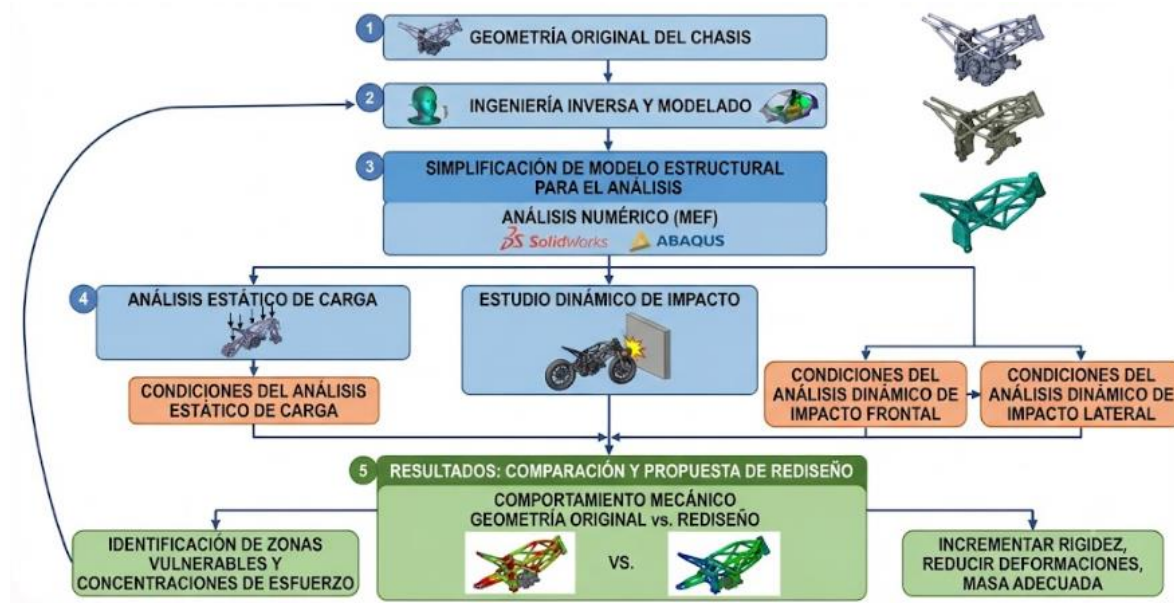


Fig. 1. Metodología implementada.

A. Ingeniería inversa y modelado CAD

El análisis comenzó con un proceso de ingeniería inversa, importando el modelo CAD del chasis original en SolidWorks para su simplificar geometrías y eliminar elementos no relevantes para facilitar la simulación; en la figura 2 se muestra el chasis inicial.

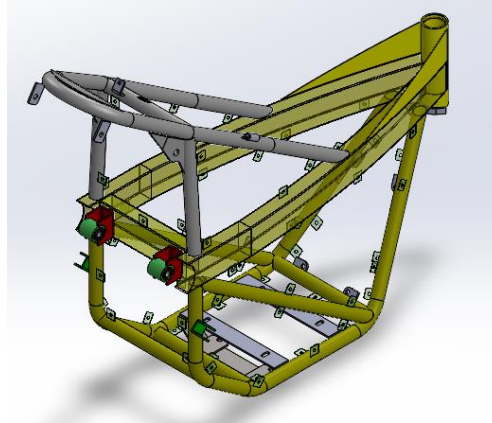


Fig. 2. CAD inicial.

Principalmente, se realizaron ajustes en la unión de sus partes, ya que algunas piezas no se encontraban bien ensambladas y dejaban espacios vacíos (véase sección resaltada en figura 3), lo que provocaría que los resultados no sean del todo correctos.

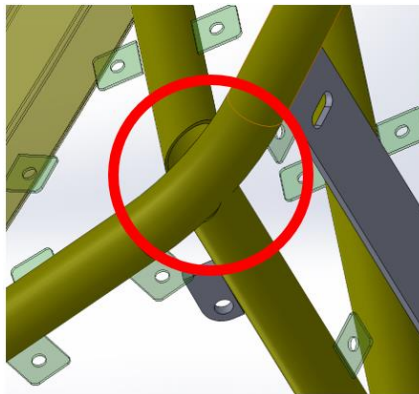


Fig. 3. Ajustes en ensamblaje.

En la figura 4, se muestra el modelo 3D corregido y simplificado. Dentro de las simplificaciones, se eliminaron elementos prescindibles para los estudios realizados en este proyecto; en este caso, los slots de sujeción, bisagras de asiento y los soportes para posapiés, baterías y horquilla, entre otros. Esto para disminuir recursos necesarios al ejecutar los estudios.

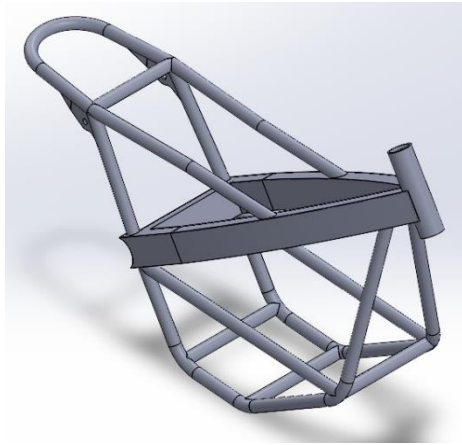


Fig. 4. Chasis simplificado.

6

Otra simplificación que se realizó fue eliminar redondeos no necesarios para facilitar la simulación en Abaqus, ya que estas pequeñas curvaturas generan errores al momento de realizar el mallado, en la figura 5 se muestran las curvaturas que fueron suprimidas.

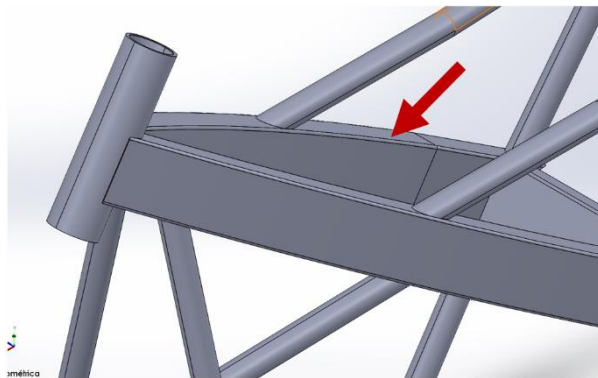


Fig. 5. Redondeos eliminados.

Se realizó el modelo 3D del chasis en SolidWorks para posteriormente exportarlo como una sola pieza en Abaqus y realizar los estudios correspondientes; donde también se le asignó el material AISI 1018 para analizar y obtener información como el peso, volumen, densidad y la masa que se muestran en la figura 6.



Fig. 6. Información del chasis (Acero AISI 1018).

B. Análisis numérico en Abaqus

Se realizaron estudios de carga e impacto sobre el chasis con la finalidad de identificar puntos críticos y áreas de mejora, tomando en cuenta el peso de una y dos personas.

7 1) Velocidad e inercia para estudios de impacto

La velocidad máxima del vehículo es 80 kilómetros por hora, por lo que se emplea ese dato para los análisis. Debido a que se está trabajando con las unidades del SI, se realiza la conversión de la velocidad; como se observa en la ec. 1.

$$V = 80 \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot \left(\frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}}\right) \cdot \left(\frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}\right) = 22.22 \frac{\text{m}}{\text{s}} \tag{1}$$

Para la masa inercial, se toma la masa total, no solo del chasis sino del vehículo con todos los componentes (110 kilogramos) además de la masa de una persona (90 kilogramos) y dos personas (180 kilogramos), por lo que durante la simulación se emplea una masa inercial de 200 y 280 kilogramos respectivamente.

2) Fuerza para estudios de carga

Se utiliza la masa de una y dos personas, a partir de la masa antes mencionada por lo que el cálculo del peso se puede observar en las ecuaciones 2 y 3.

$$F_{1\text{persona}} = 90 \text{ kg} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 882.9 \text{ N} \tag{2}$$

$$F_{2\text{personas}} = 180 \text{ kg} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1765.8 \text{ N} \tag{3}$$

3) Análisis estático de carga

Se realizó un estudio de carga con una fuerza concentrada en el Punto de Referencia 1 (RP-1) con la masa de una persona (90 kg). Se agregó una interacción de conexión tipo “coupling” en el área mostrada, como se observa en la figura 7, debido a que ahí es donde se encuentra el asiento.

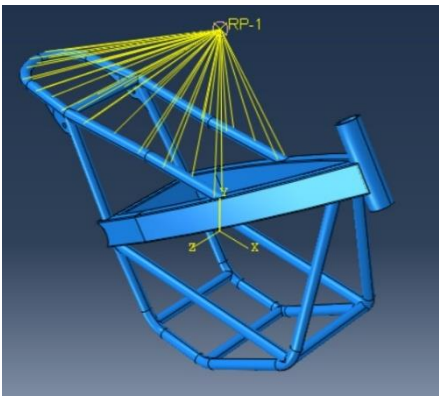


Fig. 7. Interacción en estudio de carga.

8

Para el estudio de carga con un peso de dos personas, se realiza el mismo procedimiento con la diferencia de que la masa aplicada es de 180 kg. En la tabla 1 se muestran las condiciones aplicadas a este análisis.

TABLA 1.
CONDICIONES DEL ANÁLISIS ESTÁTICO DE CARGA.

Condiciones de carga:	- Fuerza concentrada uniformemente distribuida en RP-1 con una interacción de “acoplamiento” tipo “distribución estructural en el área del asiento. - Encastre en la dirección y la conexión con el basculante.
Restricciones:	Ninguna
Material (SI mm):	AISI 1018
Malla:	Tetrahédrica tipo C3D10

4) Estudio dinámico de impacto

Se realizó un estudio dinámico explícito de impacto frontal del chasis con una carga de dos personas y una velocidad máxima de 22.22 m/s; para este estudio se realizaron distintas pruebas para obtener resultados óptimos.

En la primera prueba realizada se impactó directamente el chasis contra una pared, como se observa en la figura 8; sin embargo, en un caso real esto no sucede debido a que el primer impacto lo recibe la rueda.

En este estudio no se interpreta ningún resultado debido a que los obtenidos no son realistas, la imagen solo muestra el impacto del chasis contra la pared sin tomar en cuenta la existencia de las ruedas.

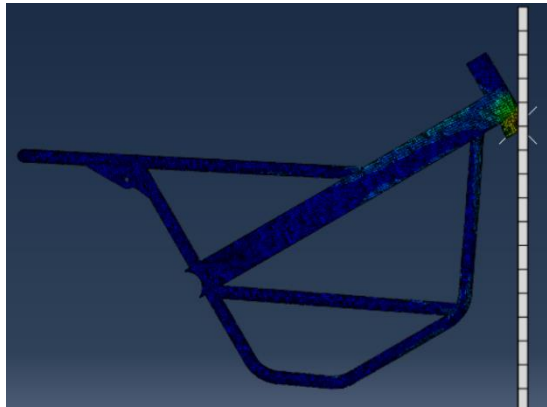


Fig. 8. Primera prueba.

En la segunda prueba, se cambió la pared por un plano inclinado para verificar si de esta manera los resultados de la deformación se acercaban los de un caso real, sin embargo, aunque sí mejoraron no eran los esperados. En la figura 9 se muestra como se hizo el estudio.

Nuevamente, no se interpreta ningún resultado debido a que, en este punto, aún no se llega a un impacto realista; el propósito de la imagen es únicamente ilustrar la forma en que se realizó el estudio.

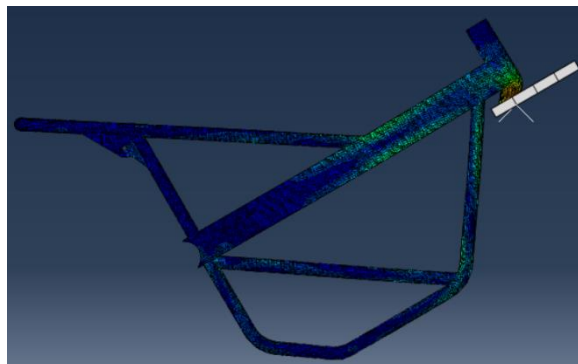


Fig. 9. Segunda prueba.

Para el último estudio se agregó una viga circular para simular el impacto de la rueda, además se volvió a incluir la pared en lugar del plano inclinado, como se muestra en la figura 10.

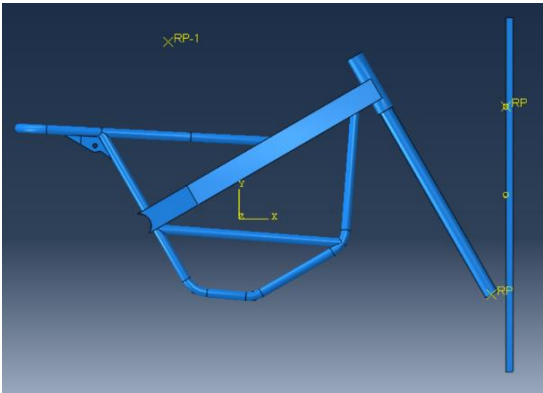
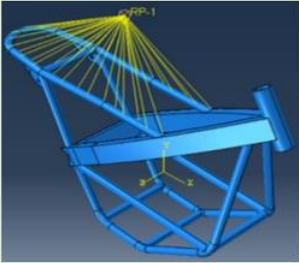
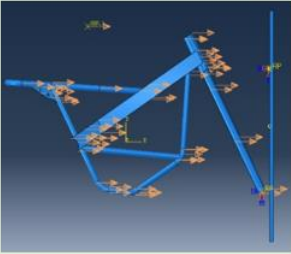


Fig. 10. Ensamble en estudio con viga.

En la tabla 2 se muestran las condiciones para la realización de este estudio.

TABLA 2. CONDICIONES DEL ANÁLISIS DINÁMICO DE IMPACTO FRONTAL.

Condiciones de carga:	— Fuerza concentrada uniformemente distribuida en RP-1 con una interacción de “acoplamiento” tipo “distribución estructural” en el área del asiento; con una magnitud de 882.9 N.
	
	— Velocidad traslacional aplicada en todos los nodos del chasis; con una magnitud de 22 m/s. — Encastre en RP de la “pared”.
	
	— Contacto general tipo “penalty” con un coeficiente de fricción de 0.4.

Restricciones:	–	Desplazamiento permitido únicamente en x, en RP del eje de dirección.
	–	Eje de dirección y pared discretamente rígidos.
Material (SI):	AISI 1018	
Malla:	–	Tetrahédrica tipo C3D4 en chasis.
	–	Cuadrilátera tipo R3D4 en eje de dirección y pared.

Además, se realizó un estudio dinámico de impacto lateral, donde se simula un impacto generado de otro vehículo (cualquiera con una velocidad de 80 km/h) contra el chasis del vehículo de dos ruedas que se analiza. Para este caso se utilizó únicamente un bloque, como se observa en la figura 11, para simular el vehículo que se impactará en el chasis, debido a que ese impacto puede ser generado por un automóvil, motocicleta, etcétera.

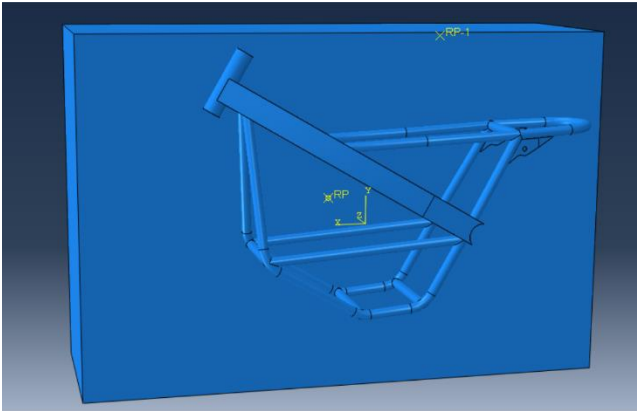
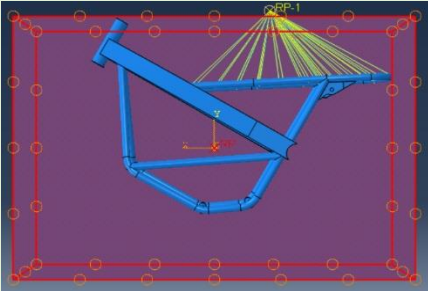


Fig. 11. Ensamble en estudio de impacto lateral.

En la tabla 3, se muestran las condiciones aplicadas a este estudio.

TABLA 3.
CONDICIONES DEL ANÁLISIS DINÁMICO DE IMPACTO LATERAL.

Condiciones de carga:	– Fuerza concentrada uniformemente distribuida en RP-1 con una interacción de “acoplamiento” tipo “distribución estructural” en el área del asiento. – Interacción de tipo “cuerpo rígido” aplicada en la placa.
	
	– Velocidad traslacional aplicada en todos los nodos de la placa; con una magnitud de 22 m/s. – Encastre en la dirección y conexión con el basculante.
	
	– Contacto general con un coeficiente de fricción de 0.4.
Restricciones:	Ninguna
Material (SI):	AISI 1018
Malla:	– Tetrahédrica tipo C3D4 en chasis. – Cuadrilátera tipo C3D8R en placa.

A partir de los estudios realizados se propuso un rediseño, donde se agregó una pieza para disminuir la deformación generada en la dirección del vehículo, la cual se muestra en la figura 12.

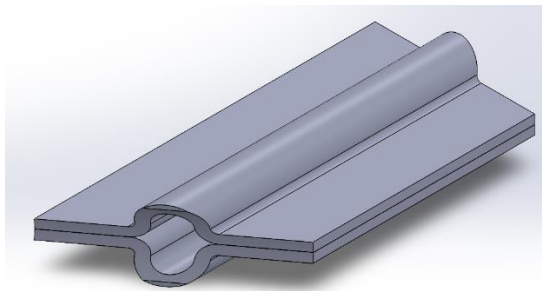


Fig. 12. Pieza para rediseño de chasis.

En la figura 13 se observa el área del chasis en donde se agregó la pieza propuesta.

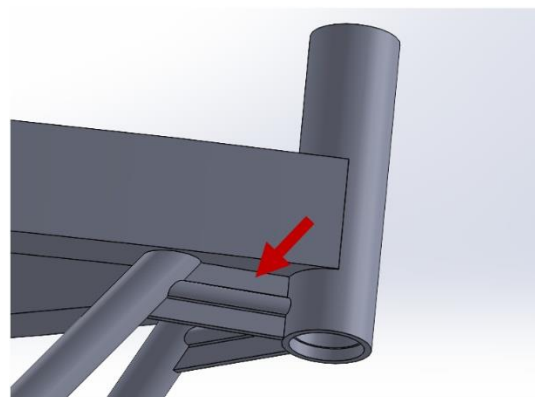


Fig. 13. Rediseño de Chasis 1.

Además, se agregó un perfil circular al chasis, que se encuentra indicado en la figura 14; con el cual se pretende disminuir la deformación generada en el resto del chasis.

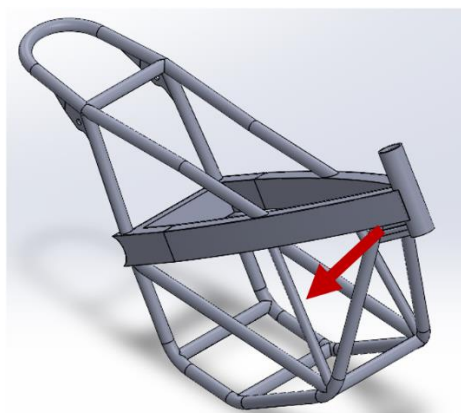


Fig. 14. Rediseño de Chasis.

III. RESULTADOS

La figura 15 presenta la distribución de esfuerzos equivalentes de Von Mises obtenida mediante el análisis estático del chasis para dos condiciones de carga: una persona y dos personas. En ambos casos, los esfuerzos se distribuyen a lo largo de los elementos estructurales, concentrándose principalmente en la zona central donde se ubica el soporte del asiento y en las uniones entre los tubos que conforman la estructura principal.

Para la condición de una persona, el esfuerzo máximo registrado fue de aproximadamente 30,87 MPa, observándose que la mayor parte del chasis permanece en niveles bajos de tensión, representados por tonalidades azules. Las concentraciones de esfuerzo se localizan en las zonas de transferencia de carga hacia la estructura, indicando un comportamiento adecuado y una distribución uniforme de las solicitaciones mecánicas.

En la condición de dos personas, el esfuerzo máximo aumenta hasta aproximadamente 61,76 MPa, valor que representa prácticamente el doble del obtenido para una sola persona. Este incremento es consistente con el aumento de la carga aplicada sobre la estructura. A pesar de ello, la distribución de esfuerzos mantiene una tendencia similar a la observada en el caso anterior, concentrándose en las mismas regiones críticas sin evidenciar cambios significativos en el patrón de comportamiento estructural.

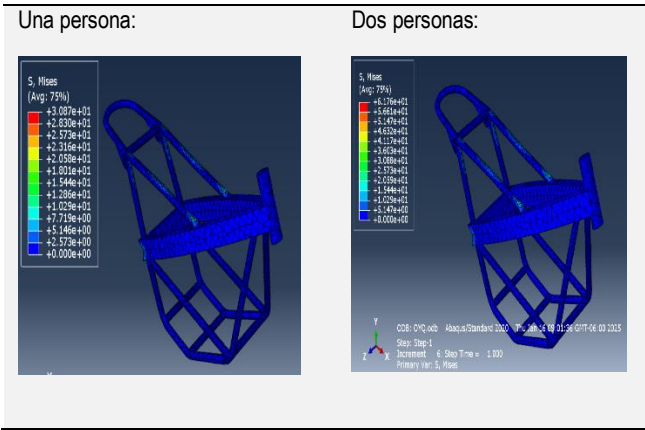


Fig. 15. Resultados del estudio estático de carga.

En la condición de impacto frontal, se observa una distribución de esfuerzos a lo largo de gran parte de la estructura, especialmente en los elementos longitudinales y diagonales que conforman el marco principal. Los mayores niveles de tensión se concentran en las zonas cercanas al punto de aplicación de la carga y en las uniones entre los miembros estructurales, alcanzando un esfuerzo máximo aproximado de $1,24 \times 10^9$ Pa (1240 MPa). La presencia de áreas con tonalidades verdes y amarillas indica que la carga de impacto genera una elevada transferencia de esfuerzos a través del chasis, involucrando una porción considerable de la estructura en la absorción de energía.

Por su parte, en la condición de impacto lateral, la distribución de esfuerzos se concentra principalmente en la región donde actúa la carga y en los elementos que conectan el soporte superior con la estructura central. El esfuerzo máximo registrado es de aproximadamente $3,41 \times 10^6$ Pa (3,41 MPa), valor significativamente menor al obtenido en el impacto frontal. La predominancia de tonalidades azules evidencia que la mayor parte del chasis trabaja bajo niveles reducidos de tensión, limitándose las concentraciones de esfuerzo a zonas específicas de transferencia de carga.

Al comparar ambos escenarios, se aprecia que el impacto frontal representa la condición más crítica para la estructura, ya que genera esfuerzos considerablemente superiores y una participación más amplia de los elementos estructurales en la disipación de la energía del impacto. En contraste, el impacto lateral produce una respuesta más localizada, con menores niveles de esfuerzo y una distribución más uniforme en el resto del chasis. Estos resultados indican que la resistencia del diseño frente a impactos frontales constituye el caso de análisis más exigente y, por tanto, el más relevante para la evaluación de la integridad estructural y la seguridad del sistema (véase figura 16).

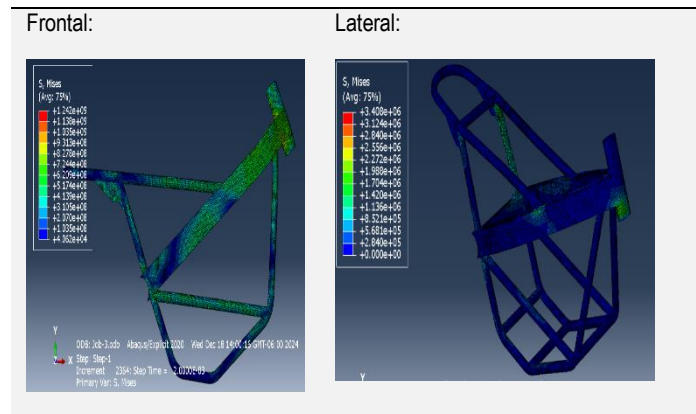


Fig. 16. Estudio dinámico de impacto (descartando la tensión absorbida por la suspensión).

La Figura 17 muestra la comparación de la deformación total obtenida mediante análisis por elementos finitos para el chasis inicial y el chasis rediseñado. Los resultados indican que el chasis original presenta una deformación máxima de 0.035 m, mientras que el diseño optimizado alcanza una deformación máxima de 0.029 m.

La reducción de la deformación máxima corresponde aproximadamente a un 17.14 %, lo que evidencia una mejora significativa en la rigidez estructural del sistema. Esta disminución sugiere que la nueva configuración geométrica del chasis distribuye de manera más eficiente los esfuerzos y cargas aplicadas, reduciendo las concentraciones de deformación presentes en el diseño inicial.

Los resultados muestran que el chasis original registra un esfuerzo máximo de 1.242 GPa, mientras que el chasis rediseñado alcanza un valor de 4.64 GPa.

El incremento de los esfuerzos máximos en el diseño rediseñado se atribuye principalmente a la modificación de la geometría estructural y a la incorporación de nuevos elementos de refuerzo, los cuales alteran la distribución de cargas dentro de la estructura. Aunque la deformación global disminuye, las cargas tienden a concentrarse en zonas específicas de unión y en algunos elementos estructurales de menor sección transversal, generando valores más elevados de esfuerzo local.

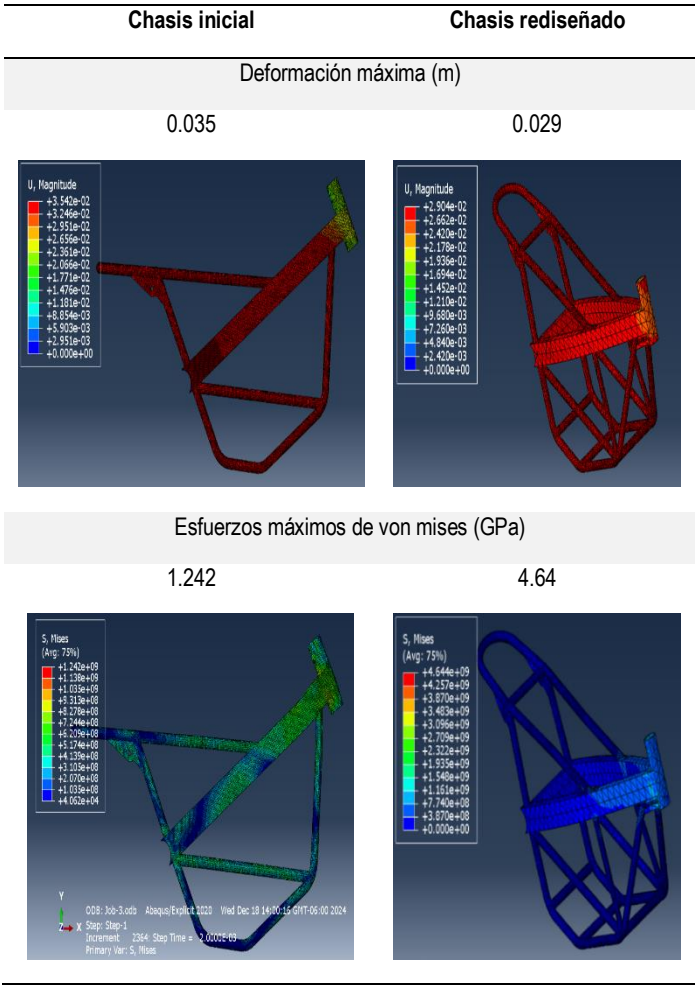


Fig. 17. Comparación de esfuerzos y deformaciones de chasis inicial con chasis rediseñado.

IV. CONCLUSIONES

En el análisis estático, se aplicaron cargas de 882.9 N y 1765.8 N, obteniendo deformaciones máximas de 0.042 mm y 0.084 mm respectivamente, con esfuerzos máximos de von Mises de 30.87 MPa y 61.75 MPa. Estos valores indican que el chasis soporta adecuadamente las cargas propuestas sin comprometer su integridad estructural.

Para el análisis dinámico de impacto frontal, se aplicó una velocidad de 22 m/s, obteniendo una deformación máxima de 0.035 m y un esfuerzo de 1.242 GPa. Al modificar el chasis, la deformación se redujo a 0.029 m, pero el esfuerzo aumentó a 4.64 GPa, lo que sugiere una mayor rigidez, pero también una concentración de esfuerzos que podría optimizarse en futuras iteraciones.

CRedit (Contributor Roles Taxonomy)

Contribuciones de los autores: conceptualización, LAMQ, DMO, ECM; software, FMG; validación, AEBM; análisis formal, LAMQ, DMO, ECM; investigación: AEBM; recursos: FMG; gestión de datos: AEBM; redacción del borrador original: LAMQ, DMO, ECM; revisión y edición: LAMQ, DMO, ECM; visualización: LAMQ; supervisión: LAMQ, DMO; administración del proyecto: LAMQ, DMO, ECM; obtención de financiación: LAMQ, DMO, ECM.

Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

Agradecimientos: Los autores agradecen al TecNm, Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán.

Conflictos de intereses: Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

REFERENCIAS

- [1] Organización Mundial de la Salud, *Plan de acción mundial sobre la actividad física 2018-2030: Más personas activas para un mundo más sano*, Ginebra, Suiza: Organización Mundial de la Salud, 2018.
- [2] G. Domínguez, “Motociclistas encabezan las muertes viales en la CDMX, en 2024 llegaron casi al 50% de todos los fallecimientos,” *El Herald de México*, Mar. 20, 2025.
- [3] M. Bova, M. Massaro, “A Screw-Axis Approach to the Stability of Two-Wheeled Vehicles,” *Applied Sciences*, vol. 11, no. 16, art. 7393, 2021, doi: <https://doi.org/10.3390/app11167393>
- [4] J. Gerlici, V. Sakhno, A. Yefymenko, V. Verbitskii, A. Kravchenko, K. Kravchenko, “The Stability Analysis of Two-Wheeled Vehicle Model,” *MATEC Web of Conferences*, vol. 157, art. 01007, 2018, doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201815701007>
- [5] C. A. Manrique-Escobar, C. M. Pappalardo, D. Guida, “A Multibody System Approach for the Systematic Development of a Closed-Chain Kinematic Model for Two-Wheeled Vehicles,” *Machines*, vol. 9, no. 11, art. 245, 2021, doi: <https://doi.org/10.3390/machines9110245>
- [6] M. Abraham, “Frame Designing and Architecture of Electric Dirt Bike,” *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, vol. 9, no. 9, pp. 738–751, 2021, doi: <https://doi.org/10.22214/ijraset.2021.38000>
- [7] J. K. Ajhay Babu, “Design, Development and Computational Finite Element Analysis (FEA) of an Electric Two-Wheeler Frame,” *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, vol. 10, no. 12, pp. 2168–2181, 2022, doi: <https://doi.org/10.22214/ijraset.2022.48424>
- [8] A. Mehra, R. Singh, A. S. Chauhan, K. Nath, A. Yadav, “Design and Analysis of an Electric Bike Chassis,” *Materials Today: Proceedings*, vol. 62, pp. 1510–1520, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.02.247>
- [9] F. F. Arnob, M. S. Khan, M. H. K. Bhuiyan, “Design, Fabrication and Analysis of Chassis for Electric Bike,” en *Proceedings of the 7th North American International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, 2022, doi: <https://doi.org/10.46254/na07.20220199>
- [10] C. Nallagondla, et al., “Shape Optimization of a Two Wheeler Suspension with Different Cross Sections,” *International Journal for Advanced Research in Science & Technology*, vol. 10, no. 12, pp. 1–5, 2020, doi: <https://doi.org/10.48047/ijarst/v10/i12/01>
- [11] B. Giri, B. R. Shah, “A Review of Vibration Analysis of Scooter Chassis,” *International Journal of Innovations in Engineering Research and Technology*, vol. 3, no. 3, 2016.
- [12] A. D. Sharma, S. Iyer, S. Prasad, S. Anandh, “Effects of Battery Integration in Modal Behaviour of Electric Two Wheeler Frame,” *SAE Technical Paper*, no. 2026-26-0310, 2026, doi: <https://doi.org/10.4271/2026-26-0310>
- [13] Dassault Systèmes, “Abaqus,” SIMULIA, 2023.

- [14] X. Zhou, J. Jiang, Z. Hu, L. Hua, “Lightweight Materials in Electric Vehicles,” *International Journal of Automotive Manufacturing and Materials*, vol. 1, no. 1, art. 3, 2022, doi: <https://doi.org/10.53941/ijamm0101003>
- [15] S. M. S. Kumar, V. G. N. Swamy, S. B. Nikhilesh, N. M. Prajwal, M. J. Praveen, “Structural and Modal Analysis of Chassis Frame Using Mild Steel,” *Journal of Mines, Metals and Fuels*, vol. 71, no. 12D, pp. 71–76, 2025, doi: <https://doi.org/10.18311/jmmf/2023/47986>
- [16] D. D. Modhiya, K. K. Bhabhor, “Design and Optimization Analysis of Two-Wheeler EV Chassis,” *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*, vol. 5, no. 2, pp. 238–246, 2025, doi: <https://doi.org/10.48175/ijarsct-29237>