

Aplicación de principios físicos en esfuerzos y deformaciones vehiculares para optimizar seguridad y rendimiento automotriz

Application of physical principles in vehicle stresses and deformations to optimize automotive safety and performance

Juan Manuel Martínez Nogales*
 Javier Edmundo Albuja Jácome*
 Jorge Milton Lara Sinaluisa*
 Santiago Manuel Torres Barahona*

ABSTRACT

This work highlights the relevance of physics in automotive engineering, particularly in the analysis of stresses and strains during vehicle design. Its application is essential for improving the safety, efficiency, and durability of automobiles, as it enables a better understanding of how internal and external forces affect vehicle components. The study emphasizes the need to analyze the stresses and deformations caused by these forces, which is fundamental for properly selecting materials and structuring more resistant designs. Additionally, finite element analysis is mentioned as a key tool that facilitates the simulation of material behavior under various loading conditions. This technique allows engineers to predict the point of maximum deformation, yield strength, and breaking point of the materials used, thus optimizing the vehicle's safety

* Magíster en Ciencias de la Educación Aprendizaje de la Física, Docente Investigador Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba.

jumartinez@esPOCH.edu.ec, <https://orcid.org/0000-0002-4860-1548>

* Magíster en Diseño Mecánico, Docente Investigador Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba.
 5044-3373

* Magíster en Física Docente Investigador Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba.

j_lara@esPOCH.edu.ec, <https://orcid.org/0000-0002-3116-5161>

* Magíster en Física Docente Investigador Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba

santiago.torres@esPOCH.edu.ec, <https://orcid.org/0009-0002-4493-6508>

REVISTA TECNOLÓGICA
 ciencia y educación
 Edwards Deming

ISSN: 2600-5867

Atribución/Reconocimiento-NoComercial- CompartirIgual 4.0 Licencia Pública Internacional — CC

BY-NC-SA 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/legalcode.es>

Edited by: Tecnológico Superior Corporativo
 Edwards Deming

July – December Vol. 9 - 2 - 2025

<https://revista-edwardsdeming.com/index.php/es>
 e-ISSN: 2576-0971

Received: April 19, 2025

Approved: May 22, 2025

Page 183-196

systems. Finally, the importance of implementing controlled deformation zones is stressed—these areas are specifically designed to absorb impact energy in the event of collisions. By deforming in a predictable manner, they protect occupants and significantly enhance performance in terms of passive safety. Overall, the study demonstrates how applied physical knowledge contributes to the advancement of automotive technology.

Keywords: Deformation, Stress, Strength, Impact Absorption, Stiffness.

RESUMEN

Este trabajo destaca la relevancia de la física en la ingeniería automotriz, especialmente en el análisis de esfuerzos y deformaciones durante el diseño de vehículos. Su aplicación resulta clave para mejorar la seguridad, eficiencia y durabilidad de los automóviles, ya que permite comprender cómo las fuerzas internas y externas afectan sus componentes. El estudio resalta la necesidad de analizar las tensiones y deformaciones generadas por estas fuerzas, lo cual es fundamental para seleccionar adecuadamente los materiales y estructurar diseños más resistentes. Asimismo, se menciona el análisis por elementos finitos como una herramienta clave que facilita la simulación del comportamiento de los materiales ante distintas condiciones de carga. Esta técnica permite a los ingenieros predecir el punto de deformación máxima, el límite elástico y el punto de ruptura de los materiales utilizados, optimizando así los sistemas de seguridad del vehículo. Finalmente, se enfatiza la importancia de implementar zonas de deformación controlada, diseñadas específicamente para absorber la energía del impacto en caso de colisiones. Estas áreas, al deformarse de forma predecible, protegen a los ocupantes y mejoran significativamente el rendimiento en términos de seguridad pasiva. En conjunto, el estudio demuestra cómo el conocimiento físico aplicado contribuye al avance de la tecnología automotriz.

Palabras Clave: Deformación, Esfuerzo, Resistencia, Absorción De Impactos, Rigidez.

INTRODUCTION

El diseño de vehículos es una disciplina que abarca múltiples campos de la ingeniería, entre los cuales destaca el estudio de los esfuerzos y las deformaciones. Este campo se centra en entender cómo las fuerzas externas e internas actúan sobre los componentes de un vehículo, causando tensiones y deformaciones que pueden afectar su rendimiento, seguridad y durabilidad. La importancia de este estudio radica en la necesidad de garantizar que los vehículos sean seguros, eficientes y capaces de soportar las condiciones operativas más exigentes.

En física, los esfuerzos (o tensiones) se definen como la fuerza interna por unidad de área dentro de un material que se desarrolla en respuesta a una carga aplicada. Los esfuerzos se clasifican en varios tipos según la naturaleza de la carga (Hernández, 2021). Estas fuerzas pueden ser de tracción, compresión, torsión o corte, y su análisis es crucial para determinar la resistencia y rigidez de los materiales utilizados en la construcción de vehículos. El módulo de elasticidad o módulo de Young es una medida de la rigidez de un material y se define como la relación entre el esfuerzo y la deformación en la región elástica del material (Servosis S.L, 2020).

Las deformaciones se refieren a los cambios en la forma o dimensiones de un material como resultado de los esfuerzos aplicados. Estas deformaciones pueden ser elásticas, donde el material vuelve a su forma original una vez retirada la carga, o plásticas, donde el material experimenta una deformación permanente (Morales, s.f.).

La premisa fundamental de este estudio es que para diseñar vehículos que sean tanto seguros como eficientes, es esencial comprender cómo los diferentes materiales y estructuras reaccionan bajo diversas condiciones de carga. En el contexto del diseño de vehículos, los esfuerzos y deformaciones influyen en varios aspectos críticos, ya que cuando de lo que se trata es de construir máquinas o cualquier ingenio de una cierta utilidad, es preciso garantizar que sus condiciones de resistencia sean las adecuadas (Canet, 2012). Por ejemplo, en la estructura del chasis, es vital asegurarse de que puede soportar las cargas dinámicas y estáticas sin sufrir deformaciones permanentes que comprometan la seguridad del vehículo. Del mismo modo, los componentes del motor y la transmisión deben diseñarse para resistir altas temperaturas y fuerzas de fricción, minimizando el desgaste y aumentando la vida útil (López, 2023).

El estudio de los esfuerzos y deformaciones no solo contribuye a la seguridad y la eficiencia, sino que también tiene implicaciones económicas y medioambientales. Un diseño optimizado puede reducir el peso del vehículo, lo que a su vez mejora la eficiencia del combustible y disminuye las emisiones de gases contaminantes. Además, al prolongar la vida útil de los componentes, se reducen los costos de mantenimiento y reparación.

Este proyecto de investigación se propone explorar las técnicas y metodologías empleadas en este campo, con el objetivo de contribuir al desarrollo de vehículos más eficientes y seguros (López, 2023).

MATERIALS AND METHODS

En la presente investigación se han utilizado como principales materiales diversas fuentes de información, tales como tesis, artículos de revistas de ingeniería, libros y documentos provenientes de repositorios de universidades tanto nacionales como internacionales. Estas fuentes han permitido recopilar y sintetizar información de primera mano, proveniente de referencias confiables y de alto impacto dentro de la comunidad de la ingeniería. En cuanto a la metodología, esta se define como un proceso sistemático orientado a resolver un problema de investigación mediante la recopilación de datos a través de distintos métodos, proporcionando su interpretación y extrayendo conclusiones pertinentes (Marhasova et al., 2022). En este documento, la investigación y la síntesis de la información constituyen la base sobre la cual se ha estructurado el texto, abordando diversos puntos relevantes para el desarrollo del tema propuesto.

Incidencia del estudio de factores relacionados al soporte de esfuerzos y cargas en un vehículo

Análisis de Esfuerzos (FEA)

Mediante el análisis de esfuerzos se puede detectar errores de manera oportuna en procesos industriales como la fabricación de automóviles, esto representa la anticipación de escenarios posiblemente riesgosos, y es por ello que contar con herramientas que ayuden a mitigar ciertos impactos que pueden causar daños materiales como no materiales resulta de suma importancia.

Un análisis de esfuerzos, también conocido como análisis de elementos finitos (del inglés finite element analysis, FEA), está basado en la idea de construir un objeto complejo a partir de piezas más pequeñas que se puedan entender y manejar de una manera más sencilla, (Chen & Liu, 2015).

Hoy en día la innovación está del lado de la tecnología, y con el tiempo han ido surgiendo ciertas herramientas que han facilitado y acelerado el trabajo, haciéndolo más preciso y más eficiente, esto llevado al análisis y estudio de ciertas fuerzas que actúan sobre un sistema como por ejemplo un automotor, resulta sumamente útil, (Pérez, 2022)

Los ordenadores han revolucionado la práctica de la ingeniería. El diseño de un producto, que antes se hacía mediante tediosos dibujos a mano, se ha sustituido por el diseño asistido por ordenador (CAD) mediante gráficos informáticos. El análisis de un diseño que solía hacerse mediante cálculos manuales y muchas de las pruebas se han sustituido por simulaciones por ordenador utilizando software de ingeniería asistida por

ordenador (CAE). Juntos, el CAD, el CAE y la fabricación asistida por ordenador (CAM) han cambiado radicalmente el panorama de la ingeniería. Por ejemplo, un coche, que antes tardaba de cinco a seis años en diseñarse, ahora puede fabricarse en un año, desde el diseño conceptual hasta la producción, gracias a las tecnologías CAD, CAE y CAM, (Chen & Liu, 2015).

Procesos de un análisis de elementos finitos

Procesamiento

El punto de partida está en definir la pieza a analizar. Para ello se debe segmentar la totalidad del componente en elementos, nodos y mallas que en su conjunto definen los elementos finitos, (Konter, 2005). Esto se logra con el apoyo de sistemas de software especializados en el diseño y dibujo de productos, la mayoría de ellos basados en tecnología 3D. Su utilización permite predecir los errores con facilidad, además reduce los costos en comparación con el desarrollo de prototipos manuales, (Carmona, 2004).

Análisis

La información procesada por los sistemas informáticos se traduce en un código, que permite detectar las problemáticas a partir de una base de datos preestablecida.

Cada uno de los elementos finitos es analizado por los modelos matemáticos que configuran los programas de software, (Agueda, 2010).

La durabilidad, resistencia, aerodinámica y flexión son algunos de los aspectos medibles, que al obtenerse sirven como parámetro para mejorar y garantizar la máxima calidad de las piezas producidas, (Anderson, 1995).

Posprocesamiento

Una vez que el código ha detectado las inconsistencias en los productos, los programas se encargan de enfatizar los errores mediante gráficos. Las deformaciones, tensiones, desplazamientos, el estrés mecánico y la transferencia de calor son algunos de los aspectos que pueden detectarse gracias al análisis de esfuerzos.

En la fabricación de vehículos, es necesario realizar una prueba de la resistencia del chasis o bastidor, estructura la cual será la encargada de soportar la carrocería montada, como la carga útil que pueda llegar a llevar dicho vehículo, (Huerta et al., 2020)

Condiciones de diseño

Existen ciertos factores que deben ser tomados en cuenta para realizar un análisis de esfuerzos y cargas exitoso hacia un vehículo, como lo son: seguridad al conductor,

espacios suficientes para los componentes del auto, comodidad y confort. Además de someter a simulaciones y pruebas de choques como: impacto frontal, impacto trasero, impacto lateral, volcadura, pruebas de aterrizaje por salto delantero y por salto trasero, y así poder definir un diseño seguro y que garantice una confiabilidad y calidad máxima, (Nawani et al., 2014)

Debe resultar relevante también tener criterios como lo son:

- Las dimensiones totales del vehículo
- Dimensiones del habitáculo
- Dimensiones del cofre motor
- Importancia del coeficiente aerodinámico

Son concepciones de diseño y variables que, al momento de realizar un análisis de esfuerzos, deben estar en una lista para recordarlos, (Solano & Fernando, 2014)

Al final cada análisis e intervención que se haga para garantizar la seguridad al conductor y los ocupantes del automotor tendrá cierta incidencia en factores como:

- Las necesidades en el material de construcción
- Diseño de espacios de los sistemas automotrices
- Uso de neumáticos
- Costos de producción
- Estética

(Concepción, 2011)

Estimación, manejo y cómo se comportan las deformaciones debido al uso del vehículo y frente a posibles choques

El comportamiento de vehículos modernos requiere una comprensión profunda de los principios de la física, especialmente en lo que respecta a los esfuerzos y deformaciones. La física de materiales y la mecánica estructural son fundamentales para asegurar que los vehículos no solo cumplan con los requisitos de rendimiento, sino que también proporcionen altos niveles de seguridad a los ocupantes. Al estudiar cómo los materiales responden a diversas fuerzas y cargas, los ingenieros pueden diseñar estructuras que optimicen el peso, maximicen la eficiencia energética y resistan impactos durante colisiones. Este enfoque integral permite desarrollar vehículos más seguros y con mejor rendimiento, alineados con los estándares y expectativas actuales del mercado automotriz.

Como parte de la evolución en tecnología e ingeniería, los fabricantes utilizan elementos ajenos a la estructura con el propósito de minimizar los daños y por ende reducir las lesiones a ocupantes. El principal objetivo del manejo es crear una estructura o sistema funcional, confiable, seguro, económico y de calidad en varias fases sucesivas, teniendo

en cuenta diversos criterios mecánicos que sirvan de guía para el producto final. (Fuentes, s. f.). La estructura denominada “Soporte de paragolpes” está adecuada en la sección delantera y trasera, con un diseño y características constructivas donde se integran variedad de materiales, zonas deformables y tipos de unión específicos que mitigan la energía antes que se prolongue hacia la carrocería. (*Revista Autocrash*, s. f.)

En la industria automotriz se realizan estudios del comportamiento dinámico de cada uno de los componentes del vehículo, con el objetivo de optimizar y mejorar sus comportamientos. Cuando el impacto es lateral, la energía debe ser transmitida a zonas circundantes, para evitar que se prolongue a la zona estructural del habitáculo de pasajeros. (Armijos & Salvador, 2016)

Hu (2021) da a conocer una ilustración por fases, analizando cada componente por separado. El objetivo es minimizar la masa total del sistema, para esto se obtiene un parametrizado del diseño de cada componente. En este proceso se utiliza ecuaciones que describen la funcionalidad del componente, designando variables con restricciones. Estas mismas se aplican en el proceso de diseño mejorando el rendimiento del trabajo.

García (2016) afirma que “se requiere que este sistema cumpla con dos características físicas y cuantificables importantes que son la elasticidad, importante para almacenar energía debido a elementos elásticos que se deforma, y la amortiguación, que absorbe energía del elemento elástico al retornar a su forma original y así evitar oscilaciones en el habitáculo del vehículo”.

González (2004) afirma que “la industria automotriz ofrece gran inversión en investigación y desarrollo de sistemas que mejoran seguridad, confort y maniobrabilidad, un punto crítico es la modelación ya que en la gran mayoría de casos se realiza una simulación sencilla que podría mejorarse.”

Según Álamo Viera (2016): Ambos parámetros caracterizan en primera instancia a las oscilaciones y su frecuencia (f) producidas en el vehículo, y se deben tener en consideración cuando se realiza el diseño de un sistema, ya que pueden resultar incómodas e incluso perjudiciales, tanto para los pasajeros del vehículo como para la parte física del mismo.

Martínez Silva (2015) enuncia que “el elemento de amortiguamiento es el cual permite mantener la masa suspendida y masa no suspendida bajo control. Reduce, restringe o impide las oscilaciones producidas al acumularse energía en los elementos elásticos”.

Un método que se ha implementado hace no muchos para el manejo de la deformación es la prueba de choque, la cual consiste en una forma de pruebas destructivas para garantizar un diseño seguro en caso de impacto o colisión (Guatemala & Ramirez, s. f.). Se debe tener en cuenta que no siempre es económico destruir un espécimen para garantizar su seguridad, especialmente en el caso de producción a pequeña escala. La simulación de choque es muy popular últimamente, porque es una representación

virtual de un ensayo destructiva de impacto de un vehículo empleando una simulación por computadora con el fin de examinar el nivel de seguridad del vehículo y sus ocupantes en diferentes condiciones como la velocidad de colisión, colisionar el objeto, el material y el número del componente del objeto colisionando, entre otros, por lo tanto, ahorra el tiempo y el costo (Mishra & Pradhan, 2016).

Aproximadamente el 80% de las lesiones del impacto del vehículo en las extremidades inferiores son causadas por contacto con los elementos de carrocería que en el fenómeno de choque retroceden y presionan estas partes del cuerpo. (Mallory y Stammen 2006).

Estimación de deformaciones

1. Fatiga de Materiales

La fatiga es el debilitamiento de un material debido a la repetición de cargas y descargas a lo largo del tiempo, ya sea por la conducción diaria, vibraciones en el motor y las frenadas.

2. Deformación Plástica

Es la deformación permanente de un material cuando se somete a una carga superior a su límite elástico, puede ser debido a golpes y accidentes que provoquen deformaciones locales.

3. Análisis por Elementos Finitos (FEA)

Es una técnica computacional que permite simular el comportamiento del vehículo bajo diferentes condiciones de uso y choque para estimar deformaciones.

Manejo de Deformaciones

1. Mantenimiento Preventivo

Inspección Regular (realizar un control con frecuencia para determinar posibles daños).

Reemplazo de Piezas (el cambio de piezas que demuestren desgaste o deformación).

2. Reparación Post-Choque

Enderezado y Realineación.

Sustitución de Componentes (reemplazo de elementos irreparables).

Comportamiento de las Deformaciones Frente a Choques

1. Absorción de Impactos

Zonas de Deformación Controlada

Materiales de Alta Resistencia

2. Distribución de Fuerzas

Diseño de Chasis

Sistemas de Seguridad Activa y Pasiva (Airbags, cinturones de seguridad)

3. Pruebas de Choque

Evaluación de Seguridad (frontal, trasera, lateral)

Normativas y Estándares

Análisis previo de aplicación de esfuerzos en una carrocería para el correcto diseño de un vehículo

Análisis de Esfuerzos y Deformaciones en el Diseño de Vehículos

El diseño de vehículos es un proceso complejo que requiere un análisis exhaustivo de los esfuerzos y deformaciones que se producen en la estructura, particularmente en la carrocería. El análisis previo es crucial para garantizar la seguridad, el rendimiento y la durabilidad del vehículo.

Figura 1. Torsión y flexión de la carrocería.



Fuente: Autores (2025)

Análisis de Esfuerzos en la Carrocería

El estudio de los esfuerzos en la carrocería de un vehículo es fundamental para determinar su resistencia estructural. Algunos de los esfuerzos clave a considerar son:

Esfuerzos de Flexión

Estos esfuerzos se producen cuando la carrocería se somete a cargas verticales, como el peso del vehículo y sus pasajeros. Es importante analizar la distribución de estos esfuerzos a lo largo de la estructura para evitar deformaciones excesivas que puedan afectar el funcionamiento de los sistemas del vehículo.

Según Torres y Carrillo (2021), "la flexión de la carrocería puede generar problemas de alineación de las ruedas, así como interferencias entre los diferentes componentes del vehículo, lo que puede comprometer su seguridad y rendimiento".

Esfuerzos de Torsión

Cuando el vehículo gira o se desplaza por terrenos irregulares, la carrocería se somete a esfuerzos de torsión que pueden causar deformaciones y grietas. Estos esfuerzos deben ser cuidadosamente evaluados para garantizar la estabilidad y maniobrabilidad del vehículo.

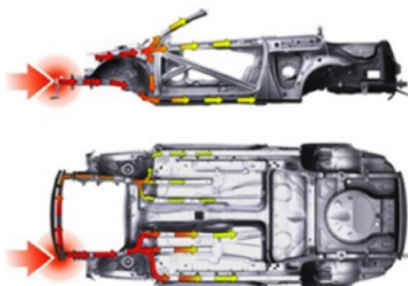
Según la Universidad Politécnica Salesiana (s.f.), "la torsión de la carrocería afecta directamente la respuesta del vehículo a los giros del volante, por lo que su análisis es crucial para el diseño de la suspensión y la dirección".

Esfuerzos de Impacto

En caso de colisión, la carrocería debe ser capaz de absorber y disipar los esfuerzos de impacto para proteger a los ocupantes. El análisis de estos esfuerzos es fundamental para el diseño de la estructura de seguridad del vehículo.

Salazar Fiallos (2021) menciona que "la capacidad de la carrocería para disipar los esfuerzos de impacto determina en gran medida la supervivencia de los ocupantes en un accidente, por lo que este análisis es prioritario en el diseño de vehículos".

Figura 2. ¿Cómo actúa una carrocería frente a una colisión?



Fuente: Autores (2025)

Análisis de Deformaciones en la Carrocería

Además de los esfuerzos, el estudio de las deformaciones en la carrocería es fundamental para garantizar el correcto funcionamiento y la seguridad del vehículo. Algunas deformaciones clave a considerar son:

Deformación por Flexión

La deformación vertical de la carrocería debido a las cargas estáticas y dinámicas debe ser controlada para evitar problemas de alineación y funcionamiento de los sistemas del vehículo, como la suspensión y la dirección.

Coria Gutiérrez, Hernández Domínguez y Garnica Anguas (2018) afirman que "las deformaciones por flexión pueden generar desalineaciones en las ruedas, lo que afecta directamente la estabilidad y el control del vehículo".

Deformación por Torsión

La torsión de la carrocería puede afectar la maniobrabilidad y el control del vehículo, por lo que debe ser minimizada mediante un diseño adecuado de la estructura.

Según la Universidad Politécnica Salesiana (s.f.), "la deformación por torsión altera la geometría de la suspensión y la dirección, lo que se traduce en una pérdida de estabilidad y control del vehículo".

Deformación por Impacto

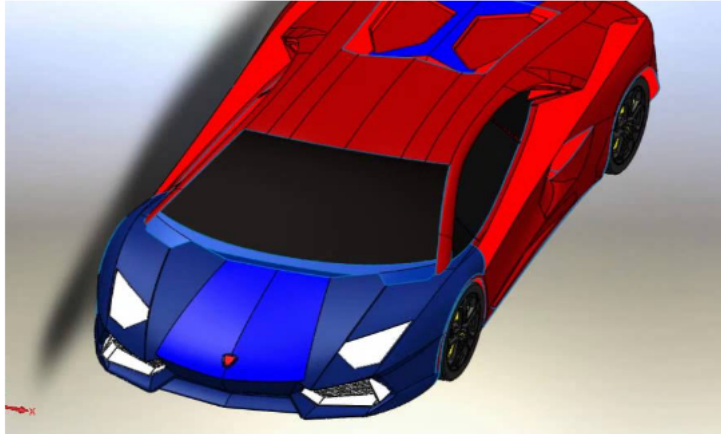
En caso de colisión, la carrocería debe deformarse de manera controlada para absorber la energía del impacto y proteger a los ocupantes. El análisis de estas deformaciones es crucial para el diseño de la estructura de seguridad.

Salazar Fiallos (2021) menciona que "la deformación controlada de la carrocería durante un impacto es fundamental para disipar la energía y evitar lesiones graves a los ocupantes".

Herramientas de Análisis

Para llevar a cabo el análisis de esfuerzos y deformaciones en la carrocería, se utilizan herramientas de simulación y modelado, como el Método de Elementos Finitos (FEM) implementado en software como ANSYS o ABAQUS. Estas herramientas permiten evaluar el comportamiento de la estructura bajo diferentes condiciones de carga y optimizar el diseño de la carrocería.

Figura 3. Análisis estructural en ANSYS



Fuente: Autores, 2025

Según Torres y Carrillo (2021), "el uso de herramientas de simulación basadas en el Método de Elementos Finitos permite a los diseñadores evaluar de manera precisa los esfuerzos y deformaciones en la carrocería, lo que facilita la optimización del diseño".

DISCUSSION

Mediante la aplicación de un análisis de esfuerzos (FEA) se puede llegar a evitar ciertas situaciones que pueden poner en riesgo a personas que se encuentren a bordo de un vehículo, y mejorar la calidad de los materiales de este, ya que, al llevar un control detallado de todas las variables, se vuelven un tanto más predecible ante escenarios determinados.

La implementación de zonas de deformación controlada y refuerzos estructurales asegura que los vehículos puedan absorber eficientemente la energía de los impactos, siendo muy efectivos al momento de ocurrir algún incidente, además la adopción de tecnologías avanzadas y el uso de materiales innovadores son esenciales para los estándares actuales.

El análisis de esfuerzos y deformaciones en la carrocería es un proceso clave en el diseño de vehículos, que permite identificar y mitigar los puntos críticos de la estructura, optimizando su resistencia y durabilidad. La aplicación de herramientas de simulación y modelado es fundamental para llevar a cabo este análisis de manera precisa y efectiva, contribuyendo a la seguridad y el rendimiento de los vehículos.

REFERENCES

- Agueda, E. (2010). *Estructuras del vehículo*. Editorial Paraninfo S.A.
- Anderson, J. (1995). *Computational fluid dynamics* (2nd ed.). McGraw-Hill.
- Armijos, G., & Salvador, O. (2016). *Estudio de la deformación de la banda de rodadura en un neumático 195/55 R15 85V de un vehículo Toyota Yaris Nitro S 1.3L bajo la acción de los ángulos de la dirección convergencia/divergencia y camber mediante la aplicación de galgas extensiométricas*.
- Beer, F. P., Johnston, E. R., DeWolf, J. T., & Mazurek, D. F. (2011). *Mechanics of materials* (6th ed.). McGraw-Hill.
- Carmona, A. (2004). *Aerodinámica y actuaciones del avión*. Thomson Paraninfo.
- Chen, X., & Liu, Y. (2015). *Finite element modeling and simulation with ANSYS Workbench*. Taylor & Francis Group.
- Concepción, M. (2011). *Sistemas automotrices híbridos avanzados*. Editorial Mandy Concepción.
- Coria Gutiérrez, C. A., Hernández Domínguez, R. I., & Garnica Anguas, P. (2018). *Teorías para calcular esfuerzos, deformaciones y deflexiones en pavimentos flexibles: Un enfoque mecanicista*. Instituto Mexicano del Transporte. <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/DocumentoTecnico/dt72.pdf>
- El módulo de Young o módulo de elasticidad longitudinal. (s.f.). Servosis. <https://www.servosis.com/el-modulo-de-young-o-modulo-de-elasticidad-longitudinal/>
- Fiallos, E. A. S. (2021). *Análisis de esfuerzos producidos en el semieje de un vehículo de tracción delantera, en función del tamaño y material del rin y neumático, mediante uso de software CAE*. <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/25523/1/T-ESPEL-MAI-0716.pdf>
- Guatemal, R. M. A., & Ramírez, M. L. R. (s.f.). *DIRECTOR: Ing. EDWIN SALOMÓN ARROYO TERÁN*, MSc. <https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/13906/2/04%20MAUT%2016%20TESIS%20GRADO.pdf>
- Heras. (2010). *Heras.pdf*. <https://core.ac.uk/download/pdf/30043692.pdf>
- Hernández Moreno, S., & Hernández Moreno, R. (2018). Análisis de esfuerzos y deformaciones en elementos estructurales de un vehículo eléctrico. *Revista Tepexi de Posgrado*, 7(15), 1–10. <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/tepexi/article/view/6727>
- Hernández Moreno, S., Hernández Moreno, R., & Hernández Moreno, A. (2021). *Análisis de esfuerzos y deformaciones en elementos estructurales de un vehículo eléctrico*. CORE. <https://core.ac.uk/download/pdf/268219527.pdf>
- Hernández Moreno, S., & Hernández Moreno, R. (2018). *Análisis de esfuerzos y deformaciones en elementos estructurales de un vehículo eléctrico*. Repositorio

- Institucional Ibero.
<https://ri.ibero.mx/bitstream/handle/ibero/6581/017414s.pdf?sequence=1>
- Huerta, H., Herrera, E., Zuñiga, J. L., & Aguilar, A. (2020). *Análisis estructural de chasis prototipo para automóvil tipo SAE BAJA*.
- Konter, A. W. A. (2005). *Advanced finite element contact benchmarks*. FENET EU Thematic Network.
- La espectacular forma que tiene un coche para absorber impactos. (2017).
<https://www.motorpasion.com/espaciotoyota/la-espectacular-forma-que-tiene-un-coche-para-absorber-impactos>
- MARHASOVA, V., et al. (2022). Scientific research methodology as a general approach and perspective of the research process. *Herald of Khmelnytskyi National University. Economic Sciences*, 312(6[2]), 328–334. [https://doi.org/10.31891/2307-5740-2022-312-6\(2\)-55](https://doi.org/10.31891/2307-5740-2022-312-6(2)-55)
- Mejía, & Guilcapi. (2017). *Ingeniería automotriz*.
<http://dspace.esepoch.edu.ec/bitstream/123456789/9297/1/65T00270.pdf>
- Nawani, S., Bisht, K., & Chopra, S. (2014). *FEM analysis of BAJA chassis*.
- Pérez, J. (2022). *Análisis de esfuerzos en estructuras isostáticas*. Editorial Universidad de Almería.
- ¿Por qué el diseño y el material de la carrocería es fundamental en la seguridad del vehículo? - Revista Autocrash—CesviColombia. (s.f.).
<https://www.revistaautocrash.com/por-que-el-diseno-y-el-material-de-la-carroceria-es-fundamental-en-la-seguridad-del-vehiculo/>
- Prueba y análisis de esfuerzo y deformación en un sistema de suspensión vehicular. (s.f.). Scribd. <https://www.scribd.com/presentation/381488341/Prueba-y-Analisis-de-Esfuerzo-y-Deformacion-en-Una-Sistema-de-Suspension-Vehicular>
- Resistencia de materiales y estructuras. (2012). Portal Camins UPC.
https://portal.camins.upc.edu/materials_guia/250120/2012/Resistencia%20de%20materiales%20y%20estructuras.pdf
- Shigley, J. E., Mischke, C. R., & Budynas, R. G. (2003). *Mechanical engineering design* (7th ed.). McGraw-Hill.
- Solano, P., & Fernando, J. (2014). *Diseño y construcción de la carrocería de un vehículo de competencia tipo Formula SAE*. Universidad Politécnica Salesiana.
- Torres, V., & Carrillo, K. (2021). *Valoración de las deformaciones en carrocerías de vehículos 17e*. Facultad de Mecánica Automotriz, UIDE.
<https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/4802>
- Universidad Politécnica Salesiana. (s.f.). *Diseño y construcción de la carrocería de un vehículo de competencia Formula SAE*.
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7183/1/UPS-CT004048.pdf>
- Zienkiewicz, O. C. (2004). The birth of the finite element method and of computational mechanics. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 60, 3–10.