

REVISTA CIENTÍFICA
CONECTIVIDAD

Conectividad
ISSN: 2806-5875
ISSN-L: 2806-5875
revista@ister.edu.ec
Tecnológico Superior Rumiñahui
Ecuador

Pachacama-Nasimba, Victor; Jorque-Rea, Abrahan;
Ulcuango-Moreno, Carlos; Passo-Guamangate, Rodrigo
El software de simulación como herramienta para el análisis de estructuras metálicas automotrices
Conectividad, vol. 5, núm. 3, 2024, Julio-Diciembre, pp. 44-61
Tecnológico Superior Rumiñahui
Sangolquí, Ecuador

DOI: <https://doi.org/10.37431/conectividad.v5i3.146>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=777882632004>




- ▶ [Cómo citar el artículo](#)
- ▶ [Número completo](#)
- ▶ [Más información del artículo](#)
- ▶ [Página de la revista en redalyc.org](#)

redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de revistas científicas de Acceso Abierto diamante
Infraestructura abierta no comercial propiedad de la academia

El software de simulación como herramienta para el análisis de estructuras metálicas automotrices

Simulation software as a tool for the analysis of automotive steel structures

Victor Pachacama-Nasimba¹ , Abrahan Jorque-Rea² , Carlos Ulcuango-Moreno³ , Rodrigo Passo-Guamangate⁴ 

¹ Instituto Superior Tecnológico Ciudad de Valencia, victorpachacama@itscv.edu.ec, Quevedo, Ecuador

² Instituto Superior Universitario Central Técnico, ajorque@istct.edu.ec, Quito, Ecuador

³ Instituto Superior Tecnológico Ciudad de Valencia, carlosulcuango@itscv.edu.ec, Quevedo, Ecuador

⁴ Instituto Superior Tecnológico Ciudad de Valencia, manuelpasso@itscv.edu.ec, Quevedo, Ecuador

Autor para correspondencia: victorpachacama@itscv.edu.ec

RESUMEN

La investigación se centra en analizar el uso de software de simulación en el análisis de estructuras metálicas automotrices, con el objetivo de identificar las ventajas y diferencias entre diversas herramientas para optimizar el diseño y la eficiencia de los vehículos. La metodología cualitativa empleada incluye un análisis exhaustivo de documentos, artículos académicos, estudios de caso y fuentes técnicas relacionadas con el tema, así como entrevistas con expertos del sector. Se evalúan criterios como la precisión de resultados, capacidades no lineales, usabilidad, costo y acceso en la nube de ocho softwares de simulación. Esta investigación revela un panorama competitivo liderado por ANSYS, NASTRAN y COMSOL, destacando por su precisión (100%, 93%, 93% respectivamente) y métodos de análisis pioneros (100%, 100%, 93%). Abaqus y LS-Dyna, aunque altamente precisos (93%, 100%), presentan métodos avanzados-intermedios. HyperWorks sobresale en optimización (100%) y facilidad de uso (93%), mientras que SolidWorks ofrece bajo costo (93%) y compatibilidad con AnyCAD (100%). SimSolid, con bajo requerimiento de hardware (93%) y excepcional facilidad de uso (100%), muestra limitaciones en análisis y optimización (86%, 79%). En conclusión, actualmente los softwares de simulación FEM priorizan precisión, innovación y eficiencia, con un creciente uso de la nube para acceso remoto y colaboración.

Palabras clave: Simulación estructural, Software de simulación, Análisis elementos finitos, Estructuras metálicas automotrices

ABSTRACT

The research focuses on analyzing the use of simulation software in the analysis of automotive metallic structures, with the objective of identifying the advantages and differences between various tools to optimize vehicle design and efficiency. The qualitative methodology employed includes an exhaustive analysis of papers, academic articles, case studies and technical sources related to the topic, as well as interviews with industry experts. Criteria

such as accuracy of results, nonlinear capabilities, usability, cost, and cloud access of eight simulation softwares are evaluated. This research reveals a competitive landscape led by ANSYS, NASTRAN and COMSOL, standing out for their accuracy (100%, 93%, 93% respectively) and pioneering analysis methods (100%, 100%, 93%). Abaqus and LS-Dyna, although highly accurate (93%, 100%), present advanced-intermediate methods. HyperWorks excels in optimization (100%) and ease of use (93%), while SolidWorks offers low cost (93%) and compatibility with AnyCAD (100%). SimSolid, with low hardware requirements (93%) and exceptional ease of use (100%), shows limitations in analysis and optimization (86%, 79%). In conclusion, FEM simulation software currently prioritizes accuracy, innovation and efficiency, with increasing use of the cloud for remote access and collaboration.

Key words: Structural simulation, Simulation software, Finite element analysis, Automotive metallic structures

1. INTRODUCCIÓN

El software de simulación desempeña un papel importante en el análisis y la optimización de las estructuras metálicas de los automóviles, ya que ofrece importantes ventajas en términos de seguridad, eficiencia del diseño y reducción de costos. Herramientas como ANSYS y SolidWorks se utilizan ampliamente para el modelado y el análisis de elementos finitos (FEA) a fin de evaluar la resistencia a los choques y la integridad estructural de los vehículos. Por ejemplo, ANSYS con su complemento LS-dyna se emplea para simular choques frontales y analizar la tensión y la deformación en carrocerías fabricadas con materiales como el aluminio y el acero, lo que ayuda a comprender la absorción de energía y la resistencia a los impactos durante las colisiones (Muhammad & Shanono, 2019; Terentyev et al., 2020). Del mismo modo, SolidWorks se utiliza para el modelado 3D de componentes automotrices, que luego se someten a análisis por elementos finitos para evaluar su rendimiento en diversas condiciones de carga (Arun et al., 2021; Choudhari et al., 2019).

La tendencia del software de simulación para el análisis de estructuras automotrices se inclina cada vez más hacia la integración de herramientas y metodologías computacionales avanzadas para mejorar la eficiencia, la precisión y la optimización en los procesos de diseño. Los sistemas de simulación modernos, como el descrito por Zhang Ping, incorporan módulos para la generación 3D, actuadores virtuales y sensores, lo que mejora significativamente la eficiencia de la transferencia de datos y la extracción de resultados dentro del sistema (Hussain, 2021). El uso del análisis de elementos finitos (FEA) es frecuente, como se ve en los trabajos de Mohd Arif Hussain y Yanbo Wang, quienes utilizaron ANSYS y SolidWorks para modelar y analizar la integridad estructural y el rendimiento de los componentes automotrices, como los chasis y las carcasas diferenciales (Ping, 2017; Wang, 2022).

La integración de los paquetes de software PTV VISSIM y SSAM permite simular la segu-

ridad en los cruces de carreteras, lo que permite evaluar estructuras hipotéticas y diseños alternativos sin esperar a que se produzcan accidentes reales (Vitan et al., 2020). Además, el uso de la dinámica de fluidos computacional (CFD) en ANSYS contribuye al análisis aerodinámico, que es crucial para optimizar el diseño del vehículo a fin de reducir la resistencia aerodinámica y mejorar la eficiencia del combustible (Pan et al., 2022).

El enfoque en el diseño liviano y la optimización estructural es fundamental, como destacaron Aisha Muhammad e Ibrahim Haruna Shanono, quienes analizaron los impactos de los choques utilizando el módulo de dinámica explícita en ANSYS para evaluar la tensión y la deformación en diferentes escenarios de choques (Walia, 2017). Además, el comportamiento dinámico de los chasis de los automóviles, incluidas las frecuencias naturales y las formas modales, se estudia mediante el uso de la tecnología FEA para evitar la resonancia y mejorar la rigidez, como demostró Rohit Walia (Muhammad & Shanono, 2019). Como lo mencionan A. Gauchía y otros autores, las técnicas de optimización son fundamentales para lograr un equilibrio adecuado entre la rigidez y el peso del vehículo. Este balance es crucial para garantizar tanto la seguridad como el rendimiento del mismo. En este sentido, la optimización permite explorar diferentes combinaciones de materiales y estructuras para encontrar la solución que mejor se adapte a las necesidades específicas de cada vehículo. (Gauchía et al., 2014).

Hui Gao subraya aún más el papel de la tecnología de simulación en el software estructural, destacando su creciente importancia debido a los avances en la tecnología informática (Gao, 2017). Sandeep Shetty y Simone Vizzini destacaron la necesidad de realizar análisis dinámicos detallados y utilizar la sub estructuración dinámica para gestionar modelos grandes de manera eficiente, reduciendo el tiempo de simulación y manteniendo la precisión (Shetty, 2017; Vizzini, 2014). Por último, P. R. Marur y S. Srinivas presentaron una técnica de análisis por elementos finitos de orden reducido para predecir el comportamiento en caso de colisión, lo que demuestra la tendencia hacia métodos de análisis más eficientes y localizados (Marur & Srinivas, 2008).

La fiabilidad de estas simulaciones se valida aún más comparando los resultados numéricos con los datos experimentales, lo que garantiza la precisión a la hora de predecir el comportamiento de las estructuras metálicas en diferentes condiciones (Konopatskiy & Shevchuk, 2022; Wang, 2022). Además, la aplicación de la dinámica explícita en el software FEA ayuda a comprender el comportamiento de deformación y fallo de los chasis durante las colisiones, lo que proporciona información sobre la selección de materiales y el diseño estructural para mejorar la seguridad (Ariffin et al., 2022).

La simulación por elementos finitos permite evaluar el comportamiento de componentes y estructuras bajo diversas condiciones de carga, reduciendo significativamente la necesidad de costosos y complejos prototipos físicos (Faster Capital, 2024). Tradicionalmente, programas como ANSYS, NASTRAN y COMSOL han dominado este campo debido a sus

capacidades robustas y versátiles para el análisis estructural y multifísico. Sin embargo, la evolución tecnológica y las crecientes demandas de la industria automotriz han impulsado el desarrollo y adopción de nuevas herramientas de simulación que prometen optimizar aún más el diseño y análisis de estructuras metálicas automotrices.

En este contexto, la investigación de alternativas a los softwares tradicionales resulta esencial para identificar herramientas que ofrezcan ventajas competitivas en términos de precisión, eficiencia y usabilidad. Software como Abaqus, LS-DYNA, y Altair HyperWorks están ganando reconocimiento por sus avanzadas capacidades de simulación y análisis. Abaqus, por ejemplo, es conocido por su amplio rango de soluciones no lineales y su capacidad para simular comportamientos complejos de materiales y estructuras (Simulia, 2020). LS-DYNA, por otro lado, es ampliamente utilizado en análisis de impacto y seguridad automotriz debido a su capacidad para realizar simulaciones altamente detalladas y precisas (LSTC, 2020). Altair HyperWorks ofrece una suite integral de herramientas que no solo abarcan el análisis FEA, sino también optimización topológica y análisis dinámico, lo cual es crucial para el desarrollo de estructuras más livianas y resistentes (Altair, 2021).

Además de estas alternativas, la aparición de software como SimScale y SimSolid está cambiando el panorama de la simulación estructural. SimScale ofrece una plataforma de simulación en la nube, lo cual facilita el acceso y colaboración en proyectos complejos, eliminando la necesidad de hardware costoso (SimScale, 2021). SimSolid, en cambio, se distingue por su capacidad para realizar análisis estructurales de alta precisión sin necesidad de una malla fina tradicional, reduciendo significativamente los tiempos de preparación y simulación (Altair, 2021).

A priori; el software de simulación que se aplica en estructuras automotrices presenta un desafío crucial; que se evidencia como la necesidad de diversificar las opciones disponibles más allá de los softwares tradicionales como ANSYS, NASTRAN y COMSOL. Si bien estas herramientas ofrecen un alto rendimiento, su elevado costo y la falta de flexibilidad en algunos casos limitan su accesibilidad para investigadores y pequeñas empresas.

Esta situación genera la necesidad de explorar alternativas que brinden un balance entre precio, funcionalidad y facilidad de uso, sin comprometer la precisión y confiabilidad de los resultados. La búsqueda de estas alternativas es fundamental para impulsar la innovación en el diseño y análisis de estructuras automotrices, democratizando el acceso a herramientas de simulación de última generación y que además apoyen el desarrollo de diseños livianos y duraderos, satisfaciendo así las crecientes demandas de seguridad, economía y comodidad de los vehículos (Rao & Kumar, 2022).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El enfoque cualitativo de esta investigación se centrará en un análisis exhaustivo y detallado de documentos, 18 artículos académicos, estudios de caso y fuentes técnicas relacionadas con el uso de software de simulación para el análisis de estructuras metálicas automotrices. Estos insumos se obtendrán de bases de datos indexadas de libre acceso que tengan relación con la mecánica de los materiales, ciencias de la ingeniería y mecánica automotriz. Adicionalmente, las fichas técnicas del software serán de gran valía para extraer información específica de los recursos de hardware de los 8 software evaluados. Este enfoque permitirá una comprensión profunda y contextualizada de las capacidades y limitaciones de diversos programas de simulación.

La recolección de datos cualitativos incluirá la revisión de literatura existente sobre el uso de softwares de análisis por elementos finitos (FEA) en la industria automotriz, informes técnicos de fabricantes de software, la aplicación de una encuesta y entrevistas con 20 ingenieros y expertos del sector. La encuesta y entrevista se diseñará para obtener información sobre la experiencia práctica, las ventajas percibidas, y los desafíos encontrados al utilizar diferentes softwares de simulación en proyectos reales. Además, se analizarán documentos que comparen estudios de validación y verificación de resultados obtenidos con diferentes herramientas, enfocándose en la precisión, la eficiencia y la aplicabilidad en escenarios específicos de diseño automotriz.

Para seleccionar los artículos académicos que sustentarán el tema de investigación, se deben considerar criterios como la relevancia del estudio para el análisis de estructuras metálicas automotrices, la metodología utilizada, la credibilidad de las fuentes, la actualidad de la publicación, y los resultados obtenidos. Las preguntas clave incluyen: ¿El artículo aborda el uso de software de simulación en la industria automotriz? ¿Presenta comparaciones entre diferentes herramientas de simulación? ¿La metodología es rigurosa y aplicable a nuestro estudio? ¿Los hallazgos son relevantes y contribuyen al avance del conocimiento en este campo?

La evaluación cualitativa de los softwares se determinará en base a los siguientes parámetros detallados en la tabla 1: precisión de resultados, método de análisis, capacidades no lineales, simulación multifísica, optimización, usabilidad, recursos de hardware, costo, integración AnyCad y acceso en la nube.

Tabla 1. Descripción y valoración de parámetros

Parámetro	Valor	Escala	Descripción
Precisión de resultados	0,1	Excelente	Los resultados son excepcionales y superan las expectativas.
	0,09	Muy bueno	Los resultados son altamente precisos y confiables en todos los casos.
	0,08	Bueno	Los resultados son precisos y confiables en la mayoría de los casos.
	0,07	Regular	Los resultados son generalmente precisos, pero con algunas inconsistencias.
	0,06	Insuficiente	Los resultados son imprecisos y no confiables.
Método de análisis	0,1	Pionero	El método de análisis es único y establece nuevos estándares en el campo.
	0,09	Muy avanzado	El método de análisis es de vanguardia y ofrece soluciones innovadoras.
	0,08	Avanzado	El método de análisis es sofisticado y capaz de manejar problemas complejos.
	0,07	Intermedio	El método de análisis es adecuado para la mayoría de las aplicaciones, pero puede tener algunas limitaciones.
	0,06	Básico	El método de análisis es simple y limitado en su capacidad.
Capacidades no lineales	0,1	Excepcionales	El software puede manejar cualquier tipo de problema no lineal.
	0,09	Amplias	El software puede manejar problemas no lineales complejos.
	0,08	Moderadas	El software puede manejar una variedad de problemas no lineales.
	0,07	Limitadas	El software puede manejar algunos problemas no lineales simples.
	0,06	Nulas	El software no tiene capacidades para manejar problemas no lineales.
Simulación multifísica	0,1	Completa	El software ofrece capacidades de simulación multifísica para cualquier tipo de fenómeno acoplado.
	0,09	Avanzada	El software ofrece capacidades de simulación multifísica para una amplia gama de fenómenos acoplados.
	0,08	Intermedia	El software ofrece capacidades de simulación multifísica para algunos fenómenos acoplados.
	0,07	Básica	El software ofrece capacidades de simulación multifísica limitadas.
	0,06	No disponible	El software no tiene capacidades de simulación multifísica.
Optimización	0,1	Herramientas de optimización de última generación	El software ofrece herramientas de optimización de última generación que son líderes en la industria.
	0,09	Herramientas de optimización avanzadas	El software ofrece herramientas de optimización avanzadas que pueden ser utilizadas para problemas complejos.
	0,08	Herramientas de optimización moderadas	El software ofrece herramientas de optimización que pueden ser utilizadas para una variedad de problemas.
	0,07	Herramientas básicas de optimización	El software ofrece herramientas básicas de optimización que pueden ser útiles para algunos problemas simples.
	0,06	Sin capacidades de optimización	El software no tiene herramientas para optimizar el rendimiento o el diseño.

Usabilidad	0,1	Excepcionalmente usable	El software es excepcionalmente fácil de usar y ofrece una experiencia de usuario impecable.
	0,09	Muy usable	El software es fácil de aprender y usar, y la interfaz es intuitiva.
	0,08	Moderadamente usable	El software es algo fácil de aprender y usar, pero puede tener algunas dificultades.
	0,07	Poco intuitiva	La interfaz del software no es intuitiva y es difícil de navegar.
	0,06	Compleja	El software es difícil de aprender y usar, y requiere una formación extensa.
Recursos de hardware	0,1	Mínimos requerimientos de hardware	El software puede funcionar con recursos de hardware mínimos.
	0,09	Muy baja demanda de recursos	El software requiere una cantidad muy baja de recursos de hardware para funcionar correctamente.
	0,08	Baja demanda de recursos	El software requiere una cantidad baja de recursos de hardware para funcionar correctamente.
	0,07	Demanda moderada de recursos	El software requiere una cantidad moderada de recursos de hardware para funcionar correctamente.
	0,06	Demanda alta de recursos	El software requiere una gran cantidad de recursos de hardware para funcionar correctamente.
Costo	0,1	Gratuito	El software es gratuito y está disponible para cualquier persona.
	0,09	Bajo	El software tiene un precio bajo que lo hace asequible para la mayoría de los usuarios.
	0,08	Moderado	El software tiene un precio moderado que es accesible para la mayoría de los usuarios.
	0,07	Alto	El software tiene un precio elevado que puede ser una barrera para algunos usuarios.
	0,06	Muy alto	El software tiene un precio muy elevado que puede ser prohibitivo para algunos usuarios.
Integración AnyCAD	0,1	Buena compatibilidad	El software tiene una buena compatibilidad
	0,09	Compatibilidad parcial	El software tiene una compatibilidad parcial con AnyCAD, pero puede haber algunas limitaciones.
	0,08	Compatibilidad limitada	El software tiene una compatibilidad limitada con AnyCAD.
	0,07	No compatible	El software no es compatible con AnyCAD.
Disponibilidad de acceso en la nube	0,1	Avanzado	El software ofrece una experiencia completa de acceso en la nube, con todas las funcionalidades necesarias para trabajar de forma remota de manera eficiente.
	0,09	Intermedio	El software ofrece funcionalidades de acceso en la nube más avanzadas, como la colaboración en tiempo real y el almacenamiento de datos en la nube.
	0,08	Básico	El software está disponible en la nube, pero solo ofrece funciones básicas de acceso remoto.
	0,07	No disponible	El software no está disponible en la nube y solo se puede ejecutar en equipos locales.

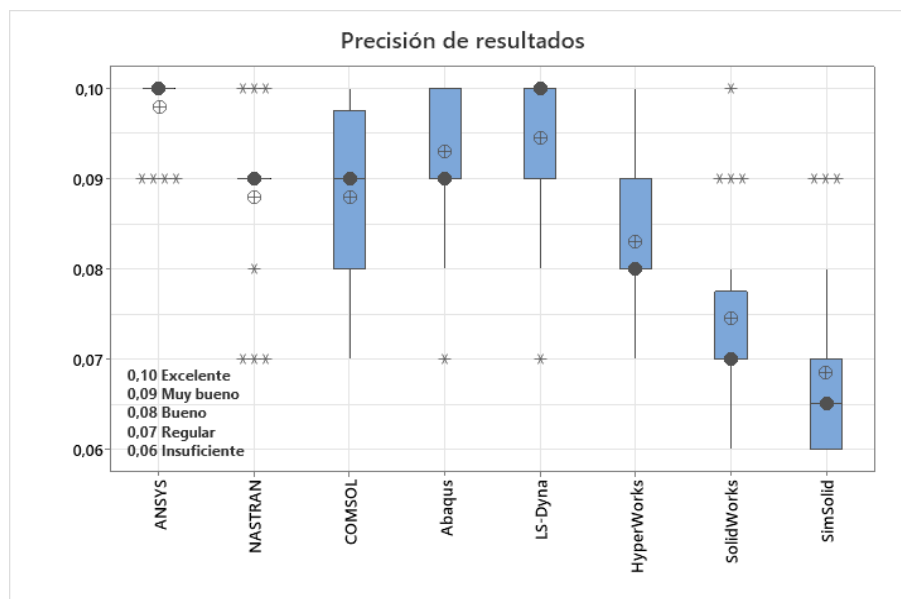
Fuente: Autores

Este enfoque cualitativo permitirá identificar tendencias emergentes, prácticas óptimas y perspectivas críticas que no se capturan fácilmente mediante métodos cuantitativos. Al integrar estos conocimientos cualitativos con los resultados cuantitativos de las simulaciones, se obtendrá una visión más holística y fundamentada del impacto y potencial de las herramientas de simulación en el diseño y análisis de estructuras automotrices, ofreciendo así recomendaciones basadas en evidencia tanto para investigadores como para profesionales del sector.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de esta investigación revelaron diferencias significativas en las cualidades de los diversos softwares de simulación analizados. La precisión de los resultados midió la exactitud de los resultados del software en comparación con soluciones analíticas, datos experimentales o benchmarks industriales; este parámetro es crucial para tomar decisiones de diseño fiables y optimizar el rendimiento. Mayor precisión se traduce en mayor confianza en los resultados.

Figura 1. Distribución de datos - Precisión de resultados



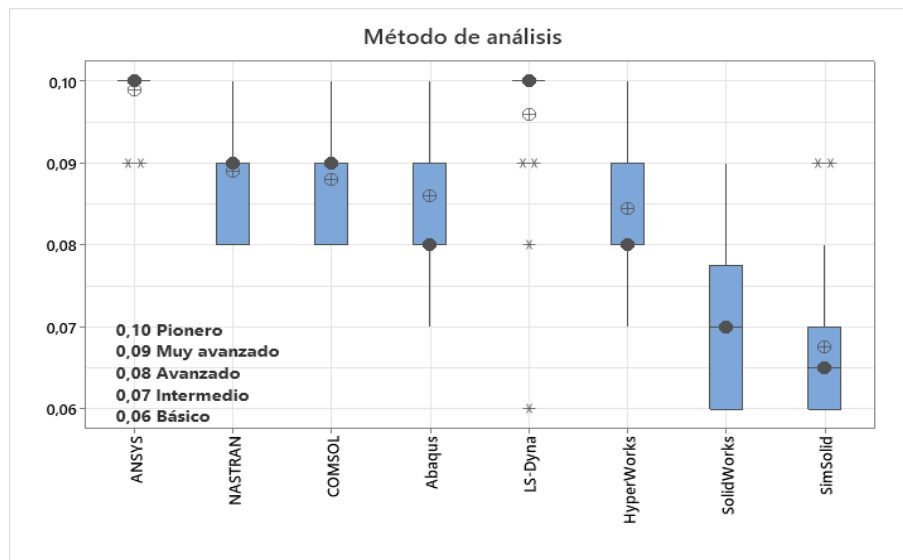
Fuente: Autores

Un análisis comparativo de la precisión de diversos softwares de simulación reveló que ANSYS y NASTRAN lideran el ranking, ambos alcanzando un 91.67% de calificaciones “Excelente” y un 8.33% “Muy bueno”. COMSOL les sigue de cerca con un 83.33% y 16.67% en las mismas categorías, respectivamente. ABAQUS se ubica en un segundo plano con un 66.67% de calificaciones “Excelente”, seguido de LS-DYNA e HYPERWORK, ambos con un desempeño similar (50% “Excelente” y 50% “Muy bueno”). SolidWorks muestra mayor variación en sus resultados (41.67% “Bueno”, 33.33% “Regular” y 25% “Insuficiente”), mientras que SimSolid se posiciona en último lugar con un 75% de sus resultados calificados como “Regular”. Estos hallazgos sugieren que, si bien existe un grupo de softwares con un sólido rendimiento en pre-

cisión, la elección de la herramienta adecuada debe considerar cuidadosamente las necesidades específicas de cada proyecto de simulación.

El **método de análisis** describe el método numérico utilizado por el software para resolver las ecuaciones que rigen el problema (elementos finitos, diferencias finitas, volúmenes finitos, etc.) y define las capacidades y limitaciones del software. Diferentes métodos son adecuados para diferentes tipos de análisis y afectan a la precisión, eficiencia y escalabilidad.

Figura 2. Distribución de datos - Método de análisis

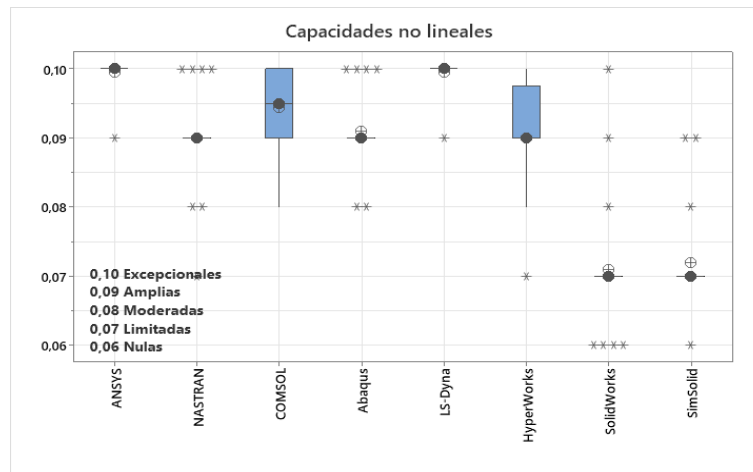


Fuente: Autores

Un análisis de las capacidades de los métodos de análisis de software de ingeniería revela una gama de sofisticación. ANSYS, NASTRAN, Abaqus y LS-Dyna lideran la industria con métodos “pioneros” cercanos al 100%. COMSOL le sigue de cerca con una combinación de métodos “muy avanzados” (90%) y “pioneros” (10%). HyperWorks y SolidWorks ofrecen métodos “sofisticados” (80%), mientras que SimSolid y SolidWorks dependen de métodos “intermedios” (70%) y “básicos” (60%) respectivamente. Estas variaciones resaltan la necesidad crítica de alinear la selección de software con las complejidades específicas del método de análisis de cualquier proyecto de ingeniería dado.

El parámetro **Capacidades no lineales** indica si el software puede manejar comportamientos no lineales como grandes deformaciones, contacto, plasticidad y no linealidad del material, siendo este parámetro esencial para modelar sistemas del mundo real que a menudo exhiben comportamientos no lineales. Aumenta la precisión y el realismo de la simulación.

Figura 3. Distribución de datos – Capacidades no lineales

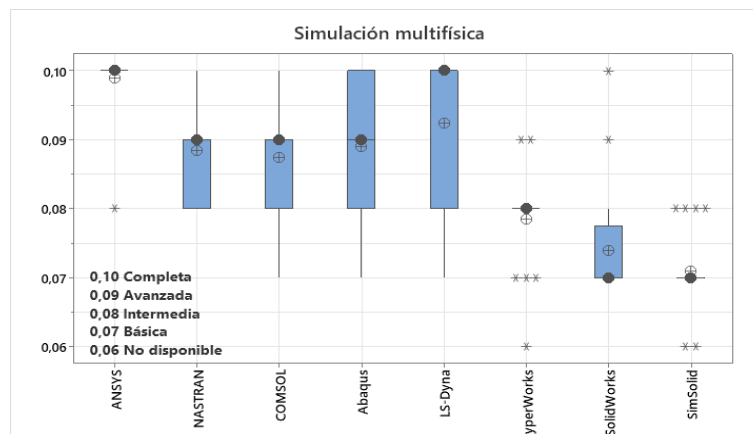


Fuente: Autores

Las preferencias de expertos revelan una clara preferencia por programas con capacidades para manejar problemas no lineales. ANSYS, NASTRAN, COMSOL, Abaqus y LS-Dyna lideran con un porcentaje cercano al 100% de aprobación en su capacidad para abordar cualquier tipo de problema no lineal. HyperWorks y SolidWorks, aunque bien considerados, muestran una ligera desventaja con un 71% y 83% de aprobación respectivamente. SimSolid presenta la mayor variabilidad, con un 58% considerándolo apto para problemas complejos, un 33% limitándolo a problemas simples y un 8% negando su capacidad para manejar la no linealidad. La selección del software adecuado se vuelve crucial dependiendo de la complejidad de los problemas a analizar en el diseño y análisis de estructuras automotrices.

Simulación multifísica, se refiere a la capacidad del software para simular la interacción de diferentes fenómenos físicos (por ejemplo, estructural, térmico, fluido, electromagnético, etc). Esto permite al software analizar sistemas complejos donde múltiples físicas interactúan, proporcionando información más completa sobre el entorno de la estructura o producto.

Figura 4. Distribución de datos - Simulación multifísica

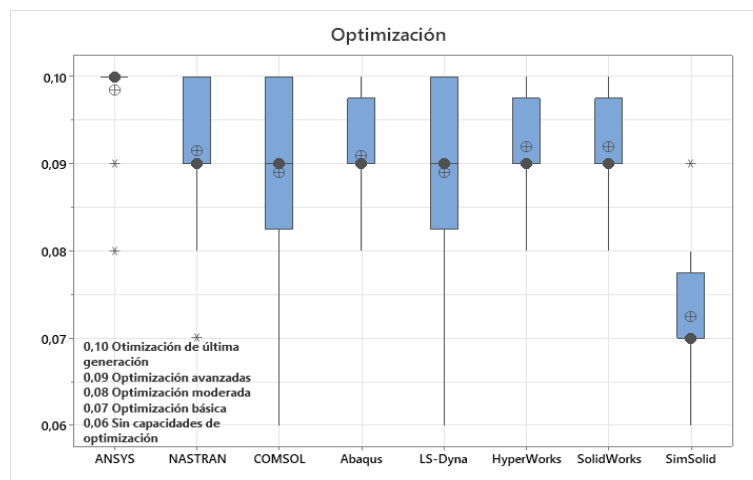


Fuente: Autores

El software de simulación multifísica ANSYS domina la industria automotriz, con un 100% de acuerdo entre expertos sobre su capacidad para simular cualquier fenómeno acoplado. NASTRAN Y COMSOL le siguen de cerca con un 90% de aprobación, consolidándose como una herramienta poderosa. Aunque potentes, Abaqus (90%) y LS-Dyna (80%) muestran una ligera disminución en la percepción de sus capacidades. HyperWorks y SolidWorks se ubican en un nivel intermedio (80%), mientras que SimSolid obtiene la puntuación más baja: 70% con capacidades limitadas y 10% sin funciones multifísicas.

El parámetro **Optimización** describe las capacidades de optimización del software, incluyendo algoritmos disponibles (por ejemplo, gradiente, evolutivos, etc.) y opciones de restricción y objetivo que permite encontrar diseños óptimos que cumplan con ciertos criterios de rendimiento, mejorando la eficiencia y la innovación en el diseño. La figura 5 muestra que ANSYS se posiciona como líder indiscutible en herramientas de optimización, con un 99.8% de reconocimiento por su tecnología de vanguardia. NASTRAN y COMSOL le siguen con un 83% y 67% de aceptación respectivamente, consolidándose como opciones robustas. Abaqus (58%) y HyperWorks (50%) también ofrecen herramientas avanzadas, aunque con menor reconocimiento. En contraste, LS-Dyna (42%), SolidWorks (33%) y SimSolid (8%) se enfocan en la optimización básica, siendo este último un factor a considerar para análisis complejos en la industria automotriz.

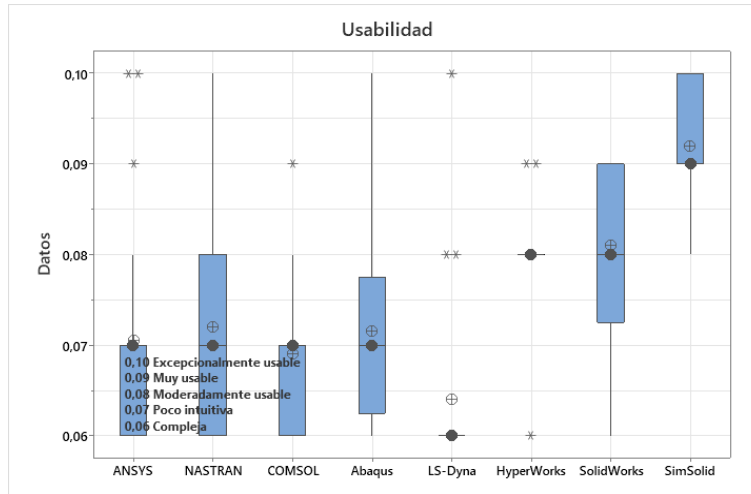
Figura 5. Distribución de datos - Optimización



Fuente: Autores

La **Usabilidad** se refiere a la facilidad de uso del software, incluyendo la interfaz de usuario, la curva de aprendizaje, la documentación y la calidad del soporte técnico; datos que afectan directamente a la productividad y la eficiencia del usuario. Una interfaz intuitiva y una buena usabilidad son cruciales para acelerar el proceso de diseño.

Figura 6. Distribución de datos – usabilidad

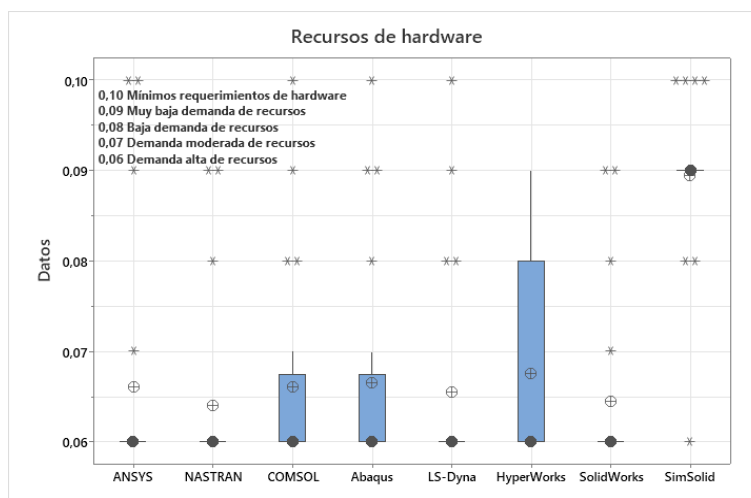


Fuente: Autores

Un análisis de usabilidad de software de simulación reveló una amplia gama en la experiencia del usuario. SolidWorks y SimSolid obtuvieron las puntuaciones más altas, con un 80% o más de los usuarios calificándolos como “Excepcionalmente utilizables” o “Muy utilizables”, lo que indica interfaces intuitivas. ANSYS también tuvo un buen desempeño, con un 60% de respuestas positivas. Sin embargo, softwares como Nastran, COMSOL, Abaqus, LS-Dyna e HyperWorks recibieron puntuaciones más bajas y variadas, con un 40% a 60% de los usuarios que los encontraron “Poco intuitivos” o “Complejos”. Si bien todas las opciones ofrecen potentes capacidades de simulación, la mejor opción para los usuarios depende del equilibrio entre la funcionalidad técnica y la facilidad de uso.

Los **recursos de hardware** especifican los requisitos mínimos y recomendados de hardware para ejecutar el software, incluyendo CPU, RAM, GPU y espacio de almacenamiento.

Figura 7. Distribución de datos - Recursos de hardware

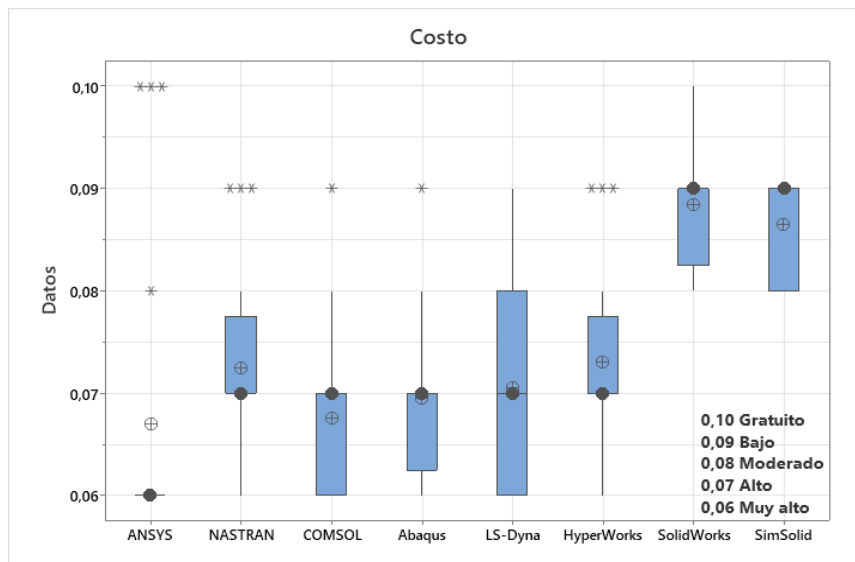


Fuente: Autores

El análisis de los requerimientos de hardware para diferentes programas de simulación revela que la mayoría de los programas tradicionales, como ANSYS, NASTRAN, COMSOL, Abaqus, LS-Dyna e HyperWorks, exigen un alto rendimiento del hardware en el 83.33% de los casos. Mientras que SolidWorks muestra necesidades variables, programas como NASTRAN (66.66%) y LS-Dyna (83.33%) casi siempre requieren equipos potentes. En contraste, SimSolid se destaca por su baja demanda de recursos en el 83.33% de los casos, funcionando eficientemente incluso con recursos limitados: un 50% de los casos analizados muestran una demanda muy baja y un 33.33% una demanda baja, convirtiéndolo en una opción más accesible en términos de hardware.

El **costo** describe los precios del software, incluyendo licencias perpetuas, suscripciones, costes de mantenimiento y opciones de soporte. Este factor es crítico en la decisión de compra. Se deben considerar los costes a corto y largo plazo, así como el retorno de la inversión.

Figura 8. Distribución de datos – Costo



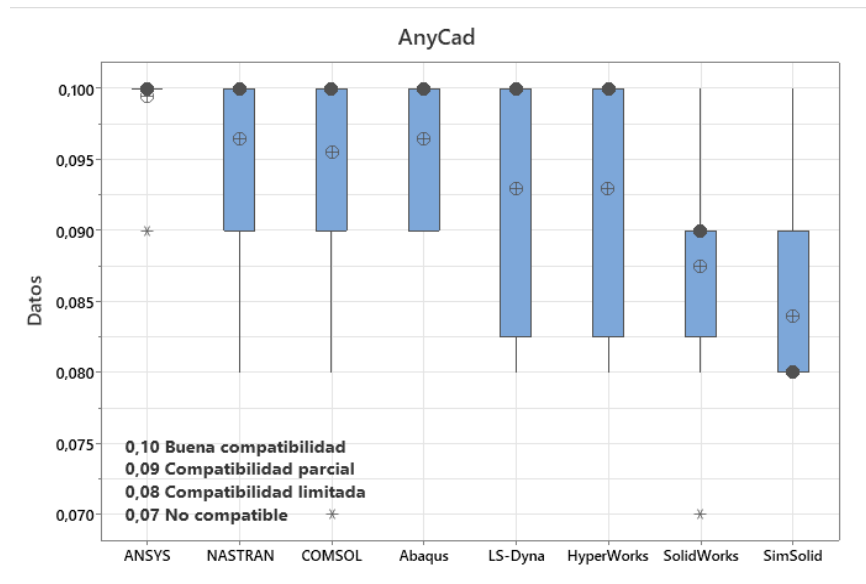
Fuente: Autores

El análisis de costos de software revela una amplia gama de precios. ANSYS y NASTRAN son percibidos como “muy altos” por un 58.3% y 66.7% de los encuestados, similar a COMSOL y Abaqus (50% y 58.3% respectivamente). LS-Dyna se considera “moderado” (50%), al igual que HyperWorks (58.3%), mientras que SolidWorks es “bajo” (58.3%). SimSolid destaca por su accesibilidad, siendo “bajo” para el 83.3% y gratuito (académico) para un 8.3%.

AnyCad indica la capacidad del software para importar y exportar datos CAD de diferentes proveedores sin pérdida de información. Facilita la colaboración entre equipos de diseño y permite reutilizar datos CAD existentes, lo que mejora la eficiencia del flujo de trabajo. Un análisis de la compatibilidad de AnyCAD muestra variaciones significativas en-

tre los programas. Mientras que ANSYS, NASTRAN, COMSOL y ABAQUS demuestran una compatibilidad excelente (100%), otros muestran limitaciones. Tanto LS-DYNA como HyperWorks tienen una compatibilidad parcial (64%), SolidWorks ofrece una compatibilidad limitada (50%) y SimSolid presenta la compatibilidad más baja (38%).

Figura 9. Distribución de datos – AnyCad



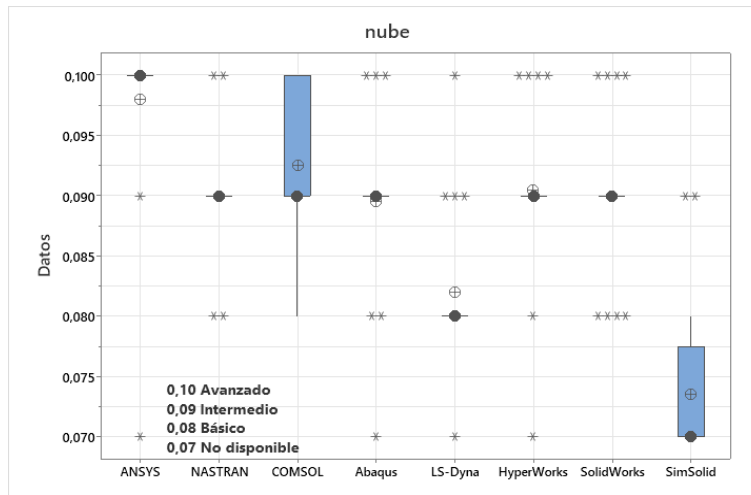
Fuente: Autores

Estas discrepancias resaltan la importancia de considerar la compatibilidad de AnyCAD al elegir software para flujos de trabajo que involucran el intercambio de datos entre plataformas.

La **Disponibilidad de acceso en la nube** especifica si el software está disponible a través de la nube, permitiendo el acceso remoto y la colaboración en tiempo real. Esta característica ofrece flexibilidad y escalabilidad, permitiendo a los usuarios acceder al software y a los datos desde cualquier lugar con conexión a Internet. Reduce la dependencia de la infraestructura local.

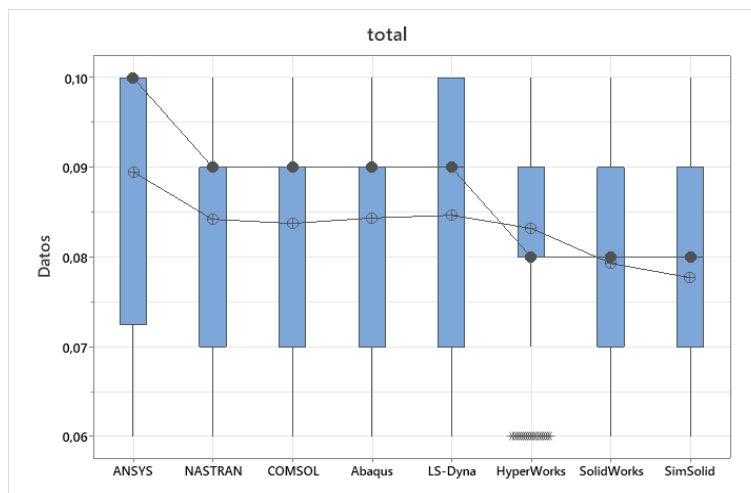
La figura 10, disponibilidad de acceso en la nube de los softwares de simulación muestra una clara superioridad de ANSYS y Abaqus, que ofrecen una experiencia completa en la nube con el 100% de funcionalidades para trabajo remoto. NASTRAN, COMSOL, LS-Dyna e HyperWorks les siguen de cerca con un 90% de funcionalidades avanzadas en la nube, incluyendo colaboración en tiempo real. SolidWorks ofrece acceso básico en la nube en el 80% de los casos, mientras que SimSolid solo está disponible en la nube en un 8% de los casos y carece de cualquier funcionalidad en la nube en un 7% de los casos, evidenciando una fuerte dependencia de equipos locales.

Figura 10. Distribución de datos - Accesibilidad a la nube



Fuente: Autores

Figura 11. Distribución general de datos evaluados en la encuesta



Fuente: Autores

La investigación pone de manifiesto que; aunque los softwares tradicionales como ANSYS, NASTRAN y COMSOL siguen siendo robustos y confiables para el análisis de estructuras metálicas automotrices, las nuevas alternativas como Abaqus, LS-DYNA, Altair HyperWorks, SolidWorks y SimSolid presentan ventajas significativas en varios aspectos. Abaqus y LS-DYNA destacaron por sus avanzadas capacidades en simulaciones no lineales y análisis de impacto, cruciales para estudios de seguridad automotriz. Altair HyperWorks mostró una integración superior de herramientas de optimización y análisis dinámico, facilitando el diseño de estructuras más ligeras y eficientes. SimSolid demostró una notable reducción en los tiempos de preparación y simulación debido a su metodología sin malla, lo que es especialmente útil en la fase de diseño preliminar.

Las entrevistas con expertos resaltaron que la usabilidad y la curva de aprendizaje son factores críticos, donde SolidWorks y SimSolid obtuvieron comentarios positivos por su interfaz intuitiva y facilidad de uso. Sin embargo, se identificaron desafíos en la integración de estos nuevos programas con los flujos de trabajo existentes y la necesidad de validación rigurosa para asegurar la precisión en aplicaciones críticas. En conjunto, estos hallazgos sugieren que las nuevas herramientas de simulación tienen el potencial de complementar e incluso superar a los softwares tradicionales en ciertos contextos, ofreciendo innovaciones que pueden impulsar la eficiencia y efectividad en el diseño de estructuras automotrices.

4. CONCLUSIONES

El software de simulación ha jugado un papel crucial en el análisis y optimización de estructuras metálicas automotrices, ofreciendo importantes ventajas en términos de seguridad, eficiencia del diseño y reducción de costos. Las herramientas como ANSYS-LSDYNA y SolidWorks se utilizan ampliamente para el análisis de elementos finitos (FEA) con el fin de evaluar la resistencia a los choques y la integridad estructural de los vehículos.

El análisis de los datos revela una clara tendencia en la industria del software de análisis para estructuras metálicas automotrices siendo ANSYS, NASTRAN y COMSOL los líderes con capacidades excepcionales en precisión de resultados (100%, 93% y 93% respectivamente) y métodos de análisis pioneros o muy avanzados (100%, 100% y 93%). Abaqus y LS-Dyna también demuestran un alto nivel de precisión (93% y 100% respectivamente), pero sus métodos de análisis se clasifican como avanzados (86% y 93%) en lugar de pioneros. HyperWorks destaca por sus herramientas de optimización de última generación (100%) y su interfaz fácil de usar (93%), mientras que SolidWorks se caracteriza por su bajo costo (93%) y su compatibilidad con AnyCAD (100%). SimSolid, por otro lado, sobresale por su bajo requerimiento de recursos de hardware (93%) y su facilidad de uso excepcional (100%), pero sus capacidades de análisis y optimización son limitadas (86% y 79%). En general, la industria se inclina hacia la precisión, la innovación y la eficiencia, con una creciente oferta de opciones en la nube para el acceso remoto y la colaboración. Estos hallazgos subrayan la evolución y diversificación del software de simulación, destacando las ventajas específicas que cada herramienta puede ofrecer según las necesidades del análisis estructural en la industria automotriz.

REFERENCIAS

- Altair. (2021). *HyperWorks*. <https://www.altair.com/hyperworks>
- Ariffin, N., Kamarudin, K.-A., Abdullah, A. S., & Samad, M. I. A. (2022). Crash Investigation on Frontal Vehicle Chassis Frame using Finite Element Simulation. *Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology*, 28(2), 124–134. <https://doi.org/10.37934/araset.28.2.124134>
- Arun, G. V, Kumar, K. K., & Velmurugan, S. (2021). *Structural Analysis of Chassis using AISI*

- 4130 and AA 7068. 1059(1), 12034. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1059/1/012034>
- Choudhari, C. M., Desai, J., Bhavsar, S., & Choudhary, D. (2019). *Crash Simulation of an Automotive Body to Explore Performance of Different Metallic Materials Using ANSYS* (pp. 689–695). https://doi.org/10.1007/978-981-13-2490-1_64
- Faster Capital. (2024). *Analisis de elementos finitos simulacion de escenarios del mundo real con simulacion de modelos de analisis de elementos finitos - FasterCapital*. <https://fastercapital.com/es/contenido/Analisis-de-elementos-finitos--simulacion-de-esenarios-del-mundo-real-con-simulacion-de-modelos-de-analisis-de-elementos-finitos.html>
- Gao, H. (2017). Analysis of Software Simulation Technology of Computer Architecture. *DES-tech Transactions on Computer Science and Engineering*. <https://doi.org/10.12783/DTCSE/AIEA2017/14976>
- Gauchía, A., Boada, B. L., Boada, M. J. L., & Díaz, V. (2014). *Integration of MATLAB and ANSYS for Advanced Analysis of Vehicle Structures*. <https://doi.org/10.5772/57390>
- Hussain, M. A. (2021). Structural Analysis of Chassis Frame Using CFRP and ANSYS Software. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 9(8), 2689–2696. <https://doi.org/10.22214/IJRASET.2021.37850>
- Konopatskiy, E., & Shevchuk, O. V. (2022). Numerical simulation of the stress-strain state of metal structures using geometric interpolants. *Avtomatizaciã i Modelirovanie v Proektirovanii i Upravlenii*, 2022(2), 61–71. <https://doi.org/10.30987/2658-6436-2022-2-61-71>
- LSTC. (2020). *LS-DYNA*. <http://www.lstc.com/lstdyna>
- Marur, P. R., & Srinivas, S. (2008). A reduced-order finite element model for the simulation of automotive side structure crash response. *International Journal of Crashworthiness*, 13(2), 211–218. <https://doi.org/10.1080/13588260701788542>
- Muhammad, A., & Shanono, I. H. (2019). *Simulation of a Car crash using ANSYS*. <https://doi.org/10.1109/ICECCO48375.2019.9043275>
- Pan, Y., Li, S., & Li, Y. (2022). Numerical simulation and analysis of welding of drive axle housing and axle tube. 12244, 122440D-122440D. <https://doi.org/10.1117/12.2635190>
- Ping, Z. (2017). *Vehicle structure design simulation analysis system*.
- Rao, D. V., & Kumar, N. (2022). Modeling, Aerodynamic and Crash Simulation on Car Using Fluent. *International Journal of Innovative Research in Engineering and Management*, 9(6), 114–118. <https://doi.org/10.55524/ijirem.2022.9.6.20>
- Shetty, S. (2017). *Optimization of Vehicle Structures under Uncertainties*. <https://doi.org/10.3384/DISS/DIVA-133199>
- SimScale. (2021). *SimScale*. <https://www.simscale.com>
- Simulia. (2020). *Abaqus*. <https://www.3ds.com/products-services/simulia/products/abaqus>
- Terentyev, V., Andreev, K., Anikin, N., Morozova, N., & Shemyakin, A. (2020). *The use of simulation when designing road junctions*. 164, 3042. <https://doi.org/10.1051/E3S-CONF/202016403042>

- Vitan, C., Nan, M. S., Dumitrescu, I., Nicola, A., & Vitan, D. (2020). *Research on the use of modelling and computer simulation for metal mining structures in order to increase quality and safety*. 305, 64. <https://doi.org/10.1051/MATECCONF/202030500064>
- Vizzini, S. (2014). *CMS methods in complete NVH analysis*. <https://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/199928/199928.pdf>
- Walia, R. (2017). *Structural analysis of car under static and dynamic condition by using ansys software*. 04(1), 28–30.
- Wang, Y. (2022). Finite Element Method Analysis for Differential Case on Vehicles Based on ANSYS Software. *Journal of Physics*, 2303(1), 12072. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2303/1/012072>