

Integración del análisis por elementos finitos (FEA) en el diseño de componentes mecánicos críticos para mejorar la seguridad ocupacional

Integration of finite element analysis (FEA) in the design of critical mechanical components to improve occupational safety

Apolo, Alanis M. (1) | Casquete, Jonathan C. (1) | Laz, Jorge L. (1) | Jacome, Luis F. (1)

Pertenencia institucional

(1) Universidad Técnica Estatal De Quevedo, Quevedo, Ecuador.

Resumen

El análisis por elementos finitos (FEA) se ha consolidado como una herramienta fundamental en el diseño de componentes mecánicos, especialmente aquellos considerados críticos dentro de los entornos industriales. Este artículo tiene como objetivo explorar la integración del FEA en el proceso de diseño mecánico como estrategia para fortalecer la seguridad ocupacional. Para ello, se llevó a cabo una revisión exhaustiva de literatura científica especializada, enfocada en estudios recientes relacionados con el diseño asistido por simulación, análisis estructural y prevención de fallas mecánicas. Los resultados evidencian que la aplicación del FEA permite identificar zonas de concentración de esfuerzos, deformaciones y posibles fallas antes de la fabricación, reduciendo riesgos laborales y costos operativos; finalmente, se concluye que la incorporación del análisis (FEA) en el diseño mecánico contribuye significativamente a la mejora de la seguridad ocupacional y a la optimización de los procesos industriales. Asimismo, el estudio destaca que el uso del FEA no solo impacta en la fase del diseño, sino también en las etapas de validación, mantenimiento y mejora continua de los equipos industriales. Mediante la simulación de diferentes condiciones de cargas, temperatura y presión, es posible evaluar el comportamiento mecánico de los componentes en escenarios reales de operación, lo que facilita la toma de decisiones fundamentadas y reduce la dependencia de ensayos físicos costosos y potencialmente peligrosos. De igual manera, la integración del FEA con herramientas de diseño asistido por computadora (CAD) y manufactura asistida por computadora (CAM) promueve un enfoque integral del ciclo de vida del producto, incrementando la confiabilidad estructural y la eficiencia productiva.

Correspondencia

moncerratapolo@gmail.com

ORCID

Apolo
0009-0009-0156-6253
Casquete
0009-0005-5457-2623
Laz
0009-0009-0111-2374
Jacome
0000-0003-1553-7591

Palabras clave:

Diseño mecánico; Seguridad ocupacional; Simulación computacional

Abstract

Finite Element Analysis (FEA) has become a fundamental tool in the design of mechanical components, especially those considered critical within industrial environments. This article aims to explore the integration of FEA into the mechanical design process as a strategy to enhance occupational safety. To this end, an exhaustive review of specialized scientific literature was conducted, focusing on recent studies related to simulation-assisted design, structural analysis, and mechanical failure prevention. The results show that the application of FEA makes it possible to identify stress concentration zones, deformations, and potential failures prior to manufacturing, thereby reducing occupational risks and operational costs. Finally, it is concluded that the incorporation of FEA into mechanical design significantly contributes to the improvement of occupational safety and the optimization of industrial processes. Furthermore, the study highlights that the use of FEA impacts not only the design phase but also the validation, maintenance, and continuous improvement stages of industrial equipment. By simulating different loading, temperature, and pressure conditions, it is possible to evaluate the mechanical behavior of components under real operating scenarios, which facilitates informed decision-making and reduces dependence on costly and potentially hazardous physical testing. Likewise, the integration of FEA with Computer-Aided Design (CAD) and Computer-Aided Manufacturing (CAM) tools promotes a comprehensive product life cycle approach, increasing structural reliability and productive efficiency.

Key words:

Mechanical design; Occupational safety; Computational simulation

**Integración del Análisis por Elementos Finitos (FEA) en el Diseño de Componentes
Mecánicos Críticos para Mejorar la Seguridad Ocupacional**

Universidad Técnica Estatal De Quevedo

Facultad de Ciencias de La Industria y Producción

Autores

Alanis M. Apolo <https://orcid.org/0009-0009-0156-6253>

Jonathan C. Casquete <https://orcid.org/0009-0005-5457-2623>

Jorge L. Laz <https://orcid.org/0009-0009-0111-2374>

Luis F. Jacome <https://orcid.org/0000-0003-1553-7591>

28 de Diciembre del 2025

ANÁLISIS POR ELEMENTOS FINITOS COMO HERRAMIENTA PARA MEJORAR LA SEGURIDAD OCUPACIONAL

RESUMEN

El análisis por elementos finitos (FEA) se ha consolidado como una herramienta fundamental en el diseño de componentes mecánicos, especialmente aquellos considerados críticos dentro de los entornos industriales. Este artículo tiene como objetivo explorar la integración del FEA en el proceso de diseño mecánico como estrategia para fortalecer la seguridad ocupacional. Para ello, se llevó a cabo una revisión exhaustiva de literatura científica especializada, enfocada en estudios recientes relacionados con el diseño asistido por simulación, análisis estructural y prevención de fallas mecánicas. Los resultados evidencian que la aplicación del FEA permite identificar zonas de concentración de esfuerzos, deformaciones y posibles fallas antes de la fabricación, reduciendo riesgos laborales y costos operativos; finalmente, se concluye que la incorporación del análisis (FEA) en el diseño mecánico contribuye significativamente a la mejora de la seguridad ocupacional y a la optimización de los procesos industriales. Asimismo, el estudio destaca que el uso del FEA no solo impacta en la fase del diseño, sino también en las etapas de validación, mantenimiento y mejora continua de los equipos industriales. Mediante la simulación de diferentes condiciones de cargas, temperatura y presión, es posible evaluar el comportamiento mecánico de los componentes en escenarios reales de operación, lo que facilita la toma de decisiones fundamentadas y reduce la dependencia de ensayos físicos costosos y potencialmente peligrosos. De igual manera, la integración del FEA con herramientas de diseño asistido por computadora (CAD) y manufactura asistida por computadora (CAM) promueve un enfoque integral del ciclo de vida del producto, incrementando la confiabilidad estructural y la eficiencia productiva.

Descriptores: análisis por elementos finitos, diseño mecánico, seguridad ocupacional.

FINITE ELEMENT ANALYSIS AS A TOOL TO IMPROVE OCCUPATIONAL SAFETY

ABSTRACT

Finite Element Analysis (FEA) has established itself as a fundamental tool in the design of mechanical components, especially those considered critical within industrial environments. This article aims to explore the integration of FEA into the mechanical design process as a strategy to enhance occupational safety. To this end, an exhaustive review of specialized scientific literature was conducted, focusing on recent studies related to simulation-assisted design, structural analysis, and mechanical failure prevention. The results demonstrate that the application of FEA allows for the identification of stress concentration zones, deformations, and potential failures prior to manufacturing, reducing occupational risks and operational costs. In conclusion, the incorporation of FEA into mechanical design significantly contributes to improving occupational safety and optimizing industrial processes.

Keywords: finite element analysis, mechanical design, occupational safety.

INTRODUCCIÓN

En los entornos industriales contemporáneos, el diseño de elementos mecánicos desempeña un papel fundamental no solo en la eficiencia de los procesos productivos, sino también en la protección de la seguridad y salud de los trabajadores. Diversos estudios han evidenciado que una parte significativa de los accidentes laborales en la industria está asociada a fallas mecánicas derivadas de diseños inadecuados, selección incorrecta de materiales o ausencia de análisis previos

que permitan anticipar el comportamiento real de los componentes bajo condiciones de carga reales (Budynas, 2015).

Ante esta problemática, la ingeniería mecánica ha incorporado de manera progresiva herramientas computacionales avanzadas que permiten evaluar el desempeño estructural de los componentes antes de su fabricación. En este contexto, el Análisis por Elementos Finitos se ha consolidado como una metodología clave para el diseño moderno, ya que posibilita simular esfuerzos, deformaciones, desplazamientos y factores de seguridad con un alto nivel de precisión (Logan, 2017).

La aplicación del FEA ha transformado significativamente los enfoques tradicionales de diseño mecánico, mientras que en el pasado los diseños se apoyaban principalmente en cálculos analíticos y ensayos físicos posteriores; en la actualidad el uso de simulaciones numéricas permite evaluar múltiples escenarios de carga de forma virtual, reduciendo costos, tiempos de desarrollo y riesgos asociados a fallas inesperadas durante la operación de los equipos (Moaveni, 2015).

Desde la perspectiva de la seguridad ocupacional, la integración del análisis por elementos finitos en el proceso de diseño adquiere especial relevancia, ya que facilita la identificación temprana de zonas críticas susceptibles a fallos estructurales, componentes como ejes, estructuras portantes, soportes y elementos sometidos a cargas cíclicas pueden ser optimizados para garantizar un desempeño seguro durante su vida útil, contribuyendo así a la prevención de accidentes laborales y al fortalecimiento de condiciones de trabajo más seguras (Giner E., Sukumar, N., 2019).

El presente artículo desarrolla una revisión documental sobre la integración del análisis por elementos finitos en el diseño de componentes mecánicos críticos, mediante el análisis de literatura científica especializada, se resalta su aporte a la seguridad ocupacional.

Adicionalmente, la incorporación del análisis por elementos finitos en las etapas tempranas del diseño permite una toma de decisiones más fundamentada desde el punto de vista técnico y preventivo. Al anticipar el comportamiento mecánico de los componentes frente a diferentes condiciones de operación, el FEA contribuye a minimizar la probabilidad de fallos por fatiga, sobrecargas o concentraciones excesivas de esfuerzo, aspectos que históricamente han sido causas recurrentes de accidentes en ambientes industriales. De esta manera, el diseño deja de ser un proceso reactivo y se convierte en una herramienta proactiva orientada a la reducción de riesgos laborales.

DESARROLLO

El Análisis por Elementos Finitos (FEA) constituye una de las herramientas más relevantes dentro del diseño mecánico moderno, debido a su capacidad para representar de forma aproximada el comportamiento real de componentes y estructuras sometidas a diversas condiciones de carga. Esta metodología se basa en la discretización de un dominio continuo en un conjunto finito de elementos interconectados, lo que permite resolver problemas complejos que difícilmente podrían abordarse mediante métodos analíticos tradicionales (Logan, 2017).

Desde el punto de vista del diseño mecánico, el uso del FEA ha permitido superar las limitaciones de los enfoques clásicos, en los cuales los cálculos se realizaban bajo supuestos simplificados que no siempre representaban las condiciones reales de operación. De acuerdo con (Budynas, 2015), un diseño mecánico seguro no solo debe cumplir con criterios de resistencia y funcionalidad, sino también considerar factores de seguridad adecuados frente a cargas variables, fatiga, vibraciones y posibles errores de fabricación. En este sentido, el FEA facilita la evaluación anticipada de estos aspectos, contribuyendo a diseños más confiables y eficientes.

La literatura científica señala que una de las principales ventajas del análisis por elementos finitos es la identificación de zonas críticas donde se concentran los mayores esfuerzos y deformaciones. Estas zonas suelen ser el origen de fallas mecánicas que, en contextos industriales, pueden desencadenar accidentes laborales con consecuencias graves para los trabajadores y pérdidas económicas significativas para las organizaciones (Moaveni, 2015). Al detectar estas condiciones en la etapa de diseño, es posible introducir modificaciones geométricas, seleccionar materiales más adecuados o redefinir condiciones de carga antes de la fabricación del componente.

En relación con la seguridad ocupacional, la integración del FEA en el proceso de diseño representa un enfoque preventivo alineado con los principios modernos de gestión de riesgos laborales. La Organización Internacional del Trabajo, (OIT, 2019) destaca la importancia de anticipar y controlar los peligros en su origen, priorizando medidas de prevención técnica por encima de acciones correctivas posteriores. En este contexto, el FEA se convierte en una herramienta clave para reducir la probabilidad de fallas mecánicas que puedan poner en riesgo la integridad física de los trabajadores.

Asimismo, diversos estudios han demostrado que el uso del método de los elementos finitos ayuda a mejorar la confiabilidad estructural de componentes mecánicos críticos utilizados en industrias como la manufactura, la construcción y el sector energético. Según (Giner E., Sukumar, N., 2019), la simulación numérica permite evaluar escenarios de carga extrema y condiciones operativas adversas, proporcionando información valiosa para la toma de decisiones durante el diseño. Este enfoque no sólo mejora el desempeño técnico del componente, sino que también refuerza las condiciones de seguridad durante su operación.

Por otro lado, la adopción del FEA está estrechamente ligada a cómo se gestionan los sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo. Normativas internacionales como la ISO 45001

enfatizan la necesidad de tener la seguridad presente en todo momento incluyendo el diseño de equipos y maquinaria (International Organization for Standardization, 2018). En este sentido, el análisis por elementos finitos contribuye a una visión integral del diseño mecánico, donde la seguridad ocupacional deja de ser un aspecto secundario y pasa a formar parte esencial del proceso de ingeniería.

Desde el punto de vista técnico, el FEA se fundamenta en la discretización del dominio del componente mecánico en un conjunto finito de elementos interconectados, lo que permite resolver de manera aproximada ecuaciones diferenciales complejas asociadas al comportamiento estructural, mediante esta metodología es posible evaluar variables como tensiones, deformaciones, factores de seguridad y modos de falla bajo distintas condiciones de carga y restricción. La precisión de los resultados depende de aspectos como la calidad del mallado, las propiedades del material y las condiciones de frontera, lo que convierte al análisis por elementos finitos en una herramienta clave para el diseño seguro y confiable de componentes mecánicos críticos en entornos industriales.

En síntesis, el desarrollo teórico revisado evidencia que el análisis por elementos finitos no solo optimiza el diseño mecánico desde un enfoque técnico, sino que también constituye una herramienta preventiva fundamental para la mejora de la seguridad ocupacional. Su correcta aplicación permite anticipar fallas, reducir riesgos laborales y fortalecer una cultura de prevención basada en el diseño seguro de componentes mecánicos.

Otro aspecto relevante del análisis por elementos finitos es su capacidad para integrarse con otras herramientas de diseño asistido por computadora, como el modelado CAD y los sistemas de manufactura asistida (CAM). Esta integración permite un flujo de trabajo continuo, en el cual los modelos geométricos pueden ser evaluados, ajustados y optimizados de forma iterativa antes de

su producción. Según (Rao, 2018), esta sinergia entre diseño y simulación reduce significativamente los errores de diseño y mejora la calidad final del producto, lo que repercute directamente en una mayor seguridad durante su uso en entornos industriales.

Además, el FEA resulta especialmente útil en el análisis de componentes sometidos a cargas dinámicas y condiciones variables, donde los métodos tradicionales presentan limitaciones importantes. Elementos como ejes rotativos, estructuras sometidas a vibraciones y componentes expuestos a ciclos repetitivos de carga pueden ser evaluados mediante análisis de fatiga y análisis dinámicos, permitiendo estimar su vida útil y comportamiento a largo plazo. De acuerdo con (Shigley, 2015), este tipo de análisis es fundamental para prevenir fallas súbitas que podrían generar accidentes graves en el lugar de trabajo.

Desde una perspectiva económica, la aplicación del análisis por elementos finitos también contribuye a la reducción de costos asociados a fallas mecánicas y mantenimiento correctivo. Al identificar debilidades estructurales en etapas tempranas del diseño, se evita la necesidad de rediseños posteriores, paradas no programadas y reemplazos prematuros de componentes. (Moaveni, 2015) señala que la inversión en simulación numérica se traduce en ahorros significativos a mediano y largo plazo, además de una mejora sustancial en la confiabilidad operativa de los equipos industriales.

En el ámbito de la formación y práctica profesional, el FEA ha dejado de ser una herramienta exclusiva de análisis avanzado para convertirse en un recurso esencial en la ingeniería mecánica. Su aplicación facilita una mejor comprensión del comportamiento estructural de los materiales y componentes, fortaleciendo la toma de decisiones técnicas orientadas a la seguridad. Según (Logan, 2017), la adecuada interpretación de los resultados del FEA es fundamental para evitar errores que puedan comprometer la seguridad del diseño.

Finalmente, la evidencia recopilada en la literatura especializada confirma que el análisis por elementos finitos desempeña un papel estratégico en la transición hacia una ingeniería más segura, eficiente y responsable. Su aplicación sistemática en el diseño de componentes mecánicos críticos no solo mejora el desempeño estructural, sino que también refuerza el compromiso de las organizaciones con la prevención de riesgos laborales y el bienestar de los trabajadores, consolidando al FEA como una herramienta indispensable en la ingeniería mecánica contemporánea (Budynas, 2015; Giner & Sukumar, 2019).

CONCLUSIONES

A partir del análisis documental realizado, se concluye que el análisis por elementos finitos se ha consolidado como una herramienta clave en el diseño de componentes mecánicos críticos, al permitir anticipar su comportamiento estructural antes de la fabricación y operación. Su aplicación facilita la evaluación de esfuerzos, deformaciones y zonas potenciales de falla, contribuyendo a la reducción de riesgos asociados a fallos mecánicos en entornos industriales.

Asimismo, la integración del FEA en las etapas iniciales del diseño favorece un enfoque preventivo en seguridad ocupacional, al permitir la identificación temprana de riesgos, optimizar la selección de materiales y mejorar la confiabilidad de los componentes, lo que impacta positivamente en la protección de los trabajadores y en la eficiencia de los procesos productivos.

Finalmente, el análisis por elementos finitos representa una evolución frente a los métodos tradicionales de diseño, al fortalecer la toma de decisiones técnicas y promover una cultura de seguridad basada en el diseño seguro de equipos.

RECOMENDACIONES

Se recomienda incorporar el análisis por elementos finitos como una etapa obligatoria en el diseño de componentes mecánicos críticos, especialmente en sistemas sometidos a cargas elevadas o variables, con el fin de anticipar fallas y mejorar la seguridad estructural.

Asimismo, se sugiere promover la capacitación continua en el uso del FEA e integrarlo a los sistemas de gestión de seguridad y salud ocupacional, de modo que el diseño mecánico se articule con las políticas de prevención de riesgos y se fortalezca una cultura de seguridad desde la etapa de diseño.

REFERENCIAS

Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2015). Diseño en ingeniería mecánica de Shigley (9.^a ed.).

McGraw-Hill Education.

Giner, E., Sukumar, N., Fuenmayor, F. J., & Chinesta, F. (2019). Application of finite element methods in mechanical design and safety analysis. *Engineering Failure Analysis*, 97, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2019.01.001>

International Organization for Standardization. (2018). ISO 45001: Occupational health and safety management systems — Requirements with guidance for use. <https://www.iso.org>

Logan, D. L. (2017). Un primer curso sobre el método de los elementos finitos. Cengage Learning.

Moaveni, S. (2015). Análisis por elementos finitos: teoría y aplicaciones con ANSYS (4.^a ed.). Pearson Educación.

Rao, S. S. (2018). El método de los elementos finitos en ingeniería (6.^a ed.). Butterworth-Heinemann

Shigley, J. E., Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2015). Diseño en ingeniería mecánica (10.^a ed.). McGraw-Hill Education.

Organización Internacional del Trabajo. (2019). Seguridad y salud en el trabajo: principios y derechos fundamentales. <https://www.ilo.org>