

Cálculo de esfuerzos mediante simulación con elementos finitos: una herramienta para implementarse en ingeniería

Calculation of efforts through simulation with finite elements: a tool to be implemented in engineering

Eliel Eduardo Montijo Valenzuela¹; María Paula Martínez Rubio²;
{elielmontijo@gmail.com; paulamtz1707@gmail.com}

Fecha de recepción: 5 de abril de 2020 — **Fecha de aceptación:** 28 de abril de 2020

Resumen: Los cálculos de esfuerzos dentro de la ingeniería son aplicados para la solución de problemas diversos como el diseño de componentes biomédicos o el análisis estructural arquitectónico. Las cargas estáticas aplicadas a los elementos de análisis en estado de compresión, son parámetros de cálculo obligatorio para el dimensionamiento, la elección del material y los posibles efectos que puede tener el elemento estructural o elemento de máquina cuando se somete a estas cargas. En este trabajo se presentan dos metodologías para el cálculo de esfuerzos normales a compresión; mediante cálculo analítico y utilizando software de simulación. El uso Solidworks y Autodesk Inventor, permiten la simulación de condiciones reales en las que el usuario puede interactuar con cambios de geometría, material, magnitud y dirección de las cargas, con una precisión superior al 99% en el cálculo de esfuerzos normales, respecto al valor teórico. El objetivo último de este trabajo, es presentar dos metodologías orientadas a la enseñanza y el aprendizaje del cálculo de esfuerzos normales para asignaturas de grado universitario, relacionadas con la resistencia de materiales, y que en un futuro, puedan implementarse en el análisis y solución de problemáticas reales.

Palabras clave — *Cálculo de esfuerzos, elemento finito, Solidworks, Autodesk Inventor.*

Abstract: Stress calculations within engineering are applied to solve various problems such as the design of biomedical components or architectural structural analysis. The static loads applied to the analysis elements in a state of compression are mandatory calculation parameters for the dimensioning, the choice of the material and the possible effects that the structural element or machine element can have when subjected to these loads. In this work, two methodologies for calculating normal compression stresses are presented; by analytical calculation and using simulation software. The use of Solidworks and Autodesk Inventor, allow the simulation of real conditions in which the user can interact with changes in geometry, material, magnitude and direction of loads, with an accuracy greater than 99% in the calculation of normal stresses, with respect to theoretic value. The final objective of this work is to present two methodologies

¹Profesor adscrito a la Universidad Estatal de Sonora Unidad Académica Hermosillo.
Jefatura de Ingeniería en Mecatrónica, México.

²Alumna de la Carrera de Ingeniería en Mecatrónica.
Universidad Estatal de Sonora Unidad Académica Hermosillo.

Cómo citar:

Montijo Valenzuela, E. E., & Martínez Rubio, M. P. (2020). Cálculo de esfuerzos mediante simulación con elementos finitos: una herramienta para implementarse en ingeniería. Pro Sciences: Revista De Producción, Ciencias E Investigación, 4(34), 70-78. <https://doi.org/10.29018/issn.2588-1000vol4iss34.2020pp70-78>

oriented to the teaching and learning of the calculation of normal efforts for university degree subjects, related to the resistance of materials, and that in the future may be implemented in the analysis and solution of real problems.

Keywords — Stress calculation, finite element, Solidworks, Autodesk Inventor.

INTRODUCCIÓN

Dentro del amplio estudio de la ingeniería mecánica, la resistencia de los materiales se aborda desde el estudio del comportamiento que tienen ciertos sólidos, que debido a su geometría y forma de carga, pueden alterar su estado tensional y por lo tanto sufrir deformaciones (Jiménez et al., 2020).

La mecánica de materiales, por su parte, de acuerdo con lo establecido por Díaz de León (2018), es el estudio de las propiedades de los cuerpos sólidos que les permite resistir la acción de fuerzas externas, el estudio de las fuerzas internas de los cuerpos y las deformaciones provocadas por dichas fuerzas. Una de estas fuerzas externas son las cargas estáticas, un tipo de carga que es invariante en el tiempo. Por lo tanto, un momento o una fuerza que actúa sobre un sólido, puede considerarse como una carga estática (Pedrero, 2017).

Un cuerpo puede estar sometido a una carga estática de tensión (cuando las fuerzas que actúan sobre él tienden a estirarlo) o compresión (cuando las fuerzas aplicadas tienden a aplastarlo), y es necesario, primeramente, usar los principios de la estática para analizar las diferentes fuerzas que actúan sobre el sistema, y poder considerarlas en la etapa de diseño (Hibbeler, 2019).

Los estudios de los esfuerzos normales (también llamados esfuerzos uniaxiales), son considerados un tipo de esfuerzo estático, y predicen el comportamiento entre la relación de una carga aplicada perpendicularmente sobre una superficie y el área de la sección transversal sobre la que actúa (Solaguren-Beascoa, 2016). Los estudios y las aplicaciones de los esfuerzos son muy amplias; en el área biomédica para el análisis de biocomponentes con impresión 3D (Salvador et al., 2017), en el área de la manufactura para el mejoramiento de máquinas de control numérico computarizado (Castillo et al., 2018) y análisis de estrés residual en la fabricación de piezas con inyección de plástico (Vargas et al., 2017), en el diseño de elementos de máquinas para el análisis en sistemas de transmisión de potencia (Espinoza, 2019) y el comportamiento de perfiles sujetos a fatiga (López et al., 2019), en arquitectura e ingeniería civil para el mejoramiento de las construcciones a base de hormigón (La Tegola y Mera, 2017) y vigas metálicas (Lara, 2017) y en educación para el análisis de sistemas prismáticos y cilíndricos (Giménez-Palomares, 2017), por mencionar algunos ejemplos.

Para el análisis estático, se emplea otra herramienta desde el área de ingeniería; el análisis de elemento finito (AEF). Este permite la validación y optimización de diseño mecánicos de forma rápida y versátil, reduciendo costos en la experimentación, ofreciendo información valiosa en cuanto al comportamiento del sistema sometido a condiciones reales (Abasolo, 2017). Autodesk (2020), define al AEF como un método computarizado para predecir cómo reaccionará un producto ante las fuerzas, la vibración, el calor, el flujo de fluidos y otros efectos físicos del mundo real.

El objetivo último de este trabajo, es presentar dos metodologías orientadas a la enseñanza y el aprendizaje del cálculo de esfuerzos normales para asignaturas de grado universitario, relacionadas con la resistencia de materiales, y que en un futuro, puedan implementarse en el análisis y solución de problemáticas reales.

METODOLOGÍA

Para el desarrollo de este estudio se emplearon dos métodos distintos, aplicados al análisis de tres geometrías distintas (ver figura 1). El primer método consiste en el cálculo teórico simple de los esfuerzos normales en tres cuerpos prismáticos de geometría distinta, mediante la metodología empleada por Shigley, Nisbett, y Budynas (2019) y Hibbeler (2019), y consiste en los siguientes pasos:

1. Determinar el tipo de carga elemental a la que se va a someter el elemento prismático (tensión o compresión).
2. Establecer la magnitud de la carga (P).
3. Determinar el área (A) de la sección transversal del elemento prismático.
4. Determinar el esfuerzo (σ) mediante la ecuación:

$$\sigma = P/A \quad (1)$$

El segundo método consiste en la simulación numérica por AEF de los cálculos de esfuerzo en las geometrías correspondientes, mediante una adaptación de la metodología empleada en King (2017), Nudehi y Steffen (2018) y Storch y Storch (2019), y consiste en los siguientes puntos:

1. Modelado tridimensional de la pieza a analizar mediante AEF.
2. Configuración de nuevo análisis estático (en Autodesk Inventor y Solidworks Simulation).

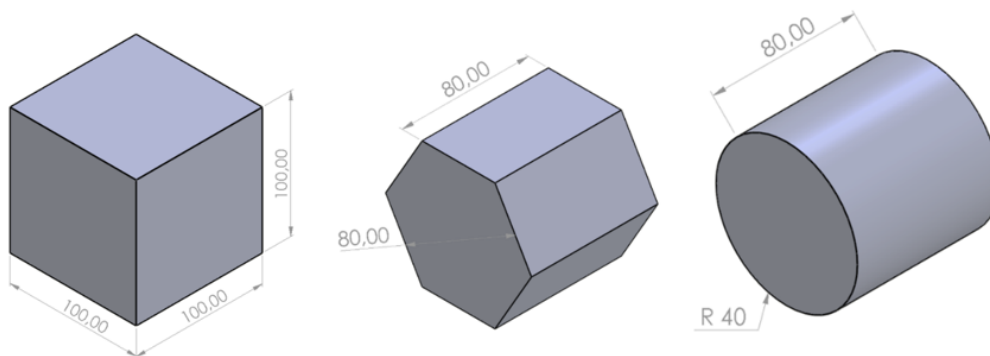


Figura 1. Dimensiones de las geometrías prismáticas y cilíndrica, con dimensiones en mm

3. Adición de material a los modelos (para todos los casos acero), bajo los siguientes parámetros mecánicos: módulo elástico (E) = 206,80 GPa, razón de Poisson (ν) = 0.280 y densidad de masa (ρ) = 7,80 mg/m³ (Callister y Rethwisch, 2016).
4. Sujeción fija del modelo en la cara contraria a la superficie de aplicación de la carga.
5. Aplicación de la carga (para todos los casos P= 300 KN).
6. Aplicación de mallado (para todos los casos se utiliza malla fina, tanto en Solidworks, como en Autodesk Inventor).
7. Cálculo de la simulación.

RESULTADOS

Los valores analíticos para cada uno de los sólidos prismáticos, se enlistan en la tabla 1.

Tabla 1. Resultados analíticos de las figuras analizadas

FIGURA	ÁREA (mm ²)	CARGA (KN)	RESULTADO (MPa)
Cubo	1000,00	300,00	30,00
Cilindro	5026,55	300,00	59,68
Prisma hexagonal	5542,56	300,00	54,12

Los resultados de simulación del cubo en Solidworks se muestran en la figura 2, y en Autodesk Inventor en figura 3.

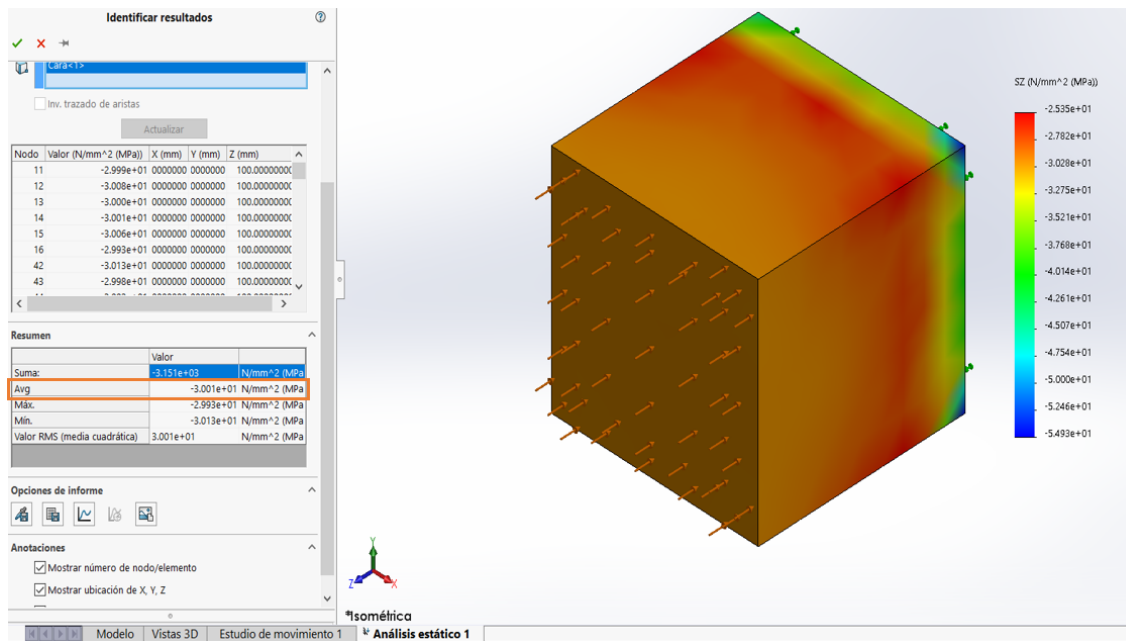


Figura 2. Resultado de esfuerzo normal en cubo encerrado en recuadro naranja. Simulación en Solidworks

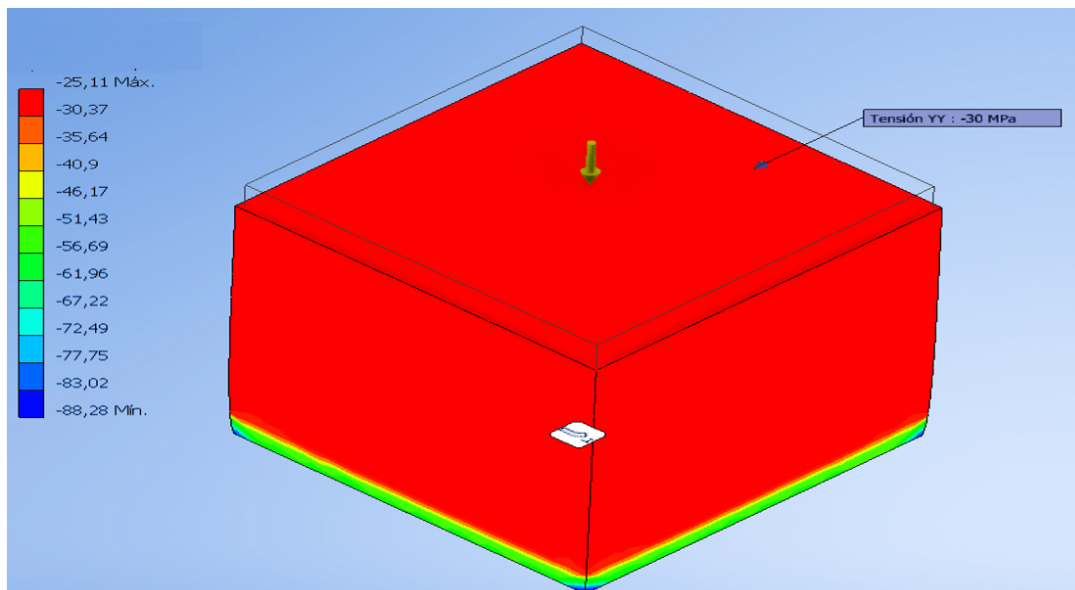


Figura 3. Resultado de esfuerzo normal en cubo encerrado en recuadro gris. Simulación en Autodesk Inventor

En las figuras 4 y 5, se muestran los resultados de simulación del cilindro, en Solidworks y Autodesk Inventor, respectivamente.

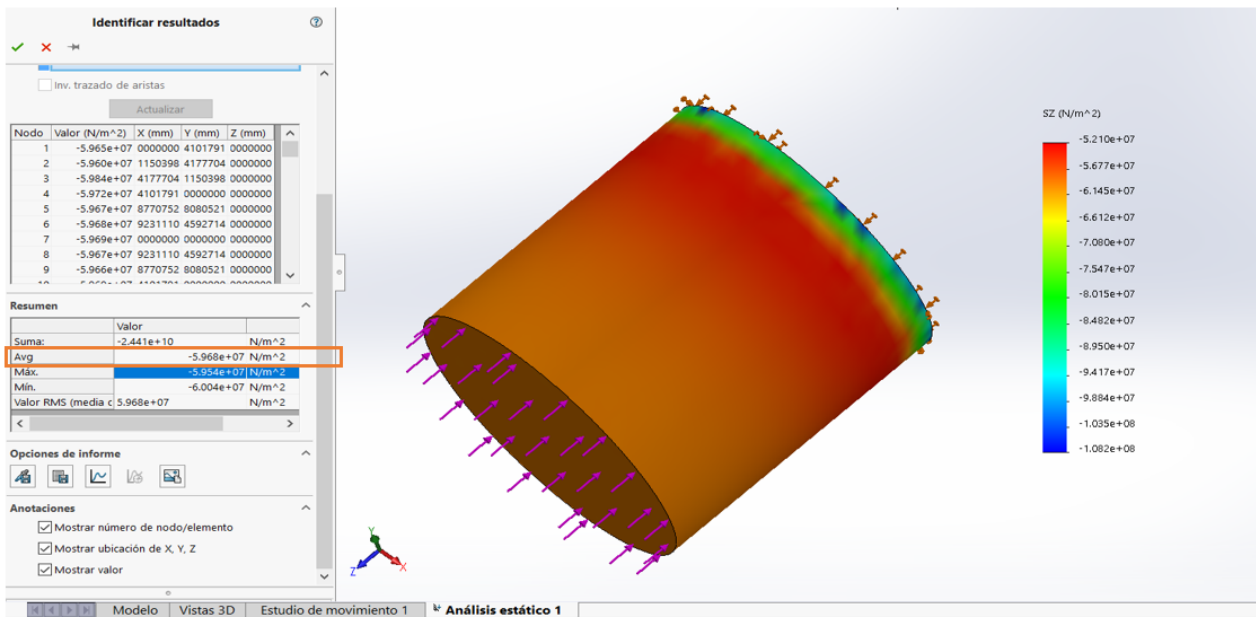


Figura 4. Resultado de esfuerzo normal en cilindro encerrado en recuadro naranja. Simulación en Solidworks

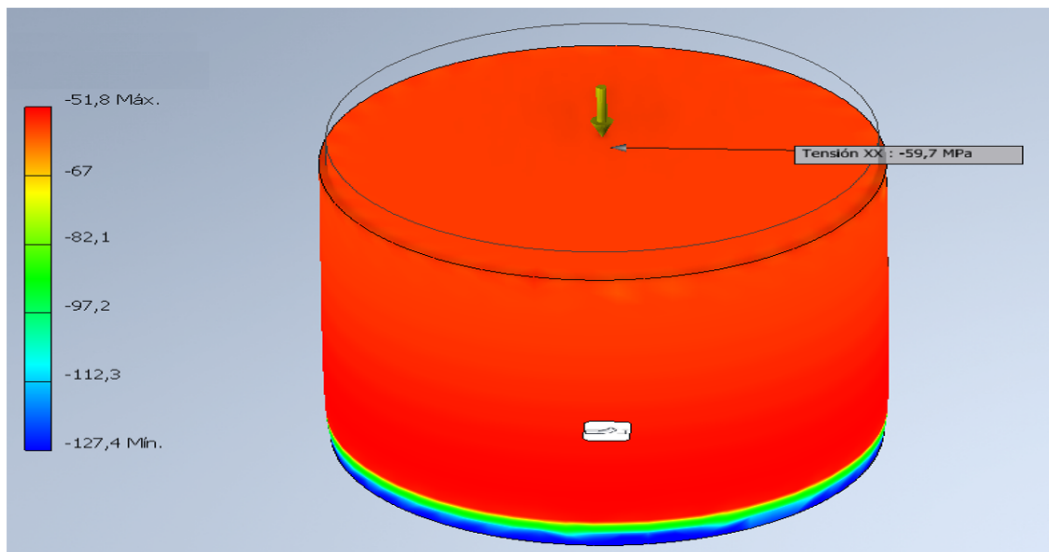


Figura 5. Resultado de esfuerzo normal en cilindro encerrado en recuadro gris. Simulación en Autodesk Inventor

En la figura 6, se muestra el resultado de simulación en Solidworks para el prisma hexagonal, mientras que en la figura 7, se muestra el resultado de simulación en Autodesk Inventor para esta misma geometría.

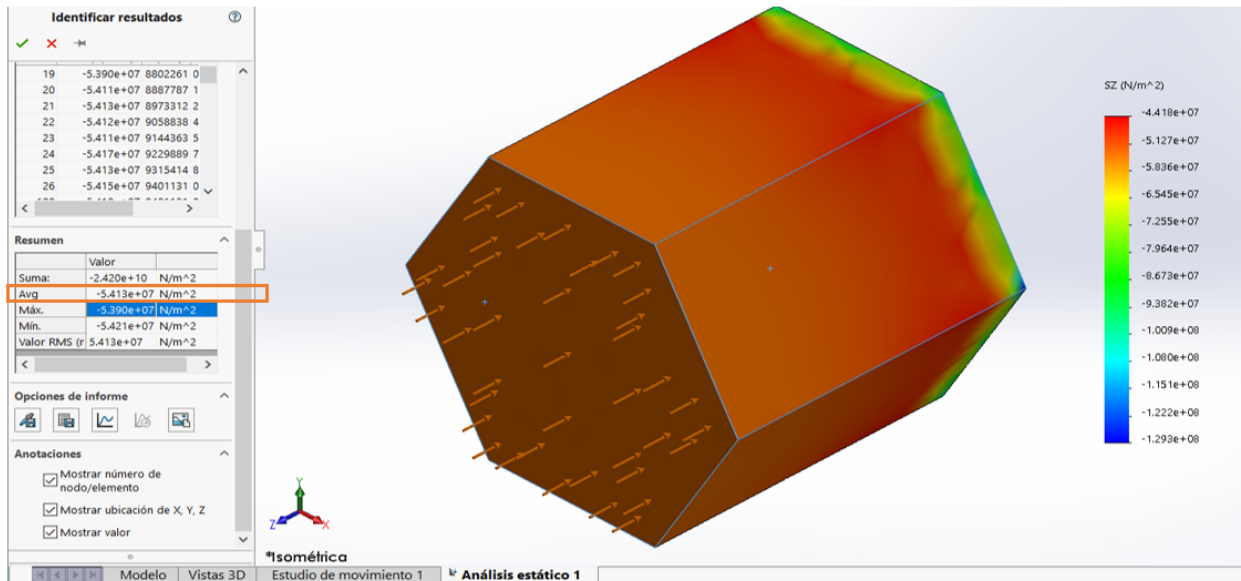


Figura 6. Resultado de esfuerzo normal en prisma hexagonal encerrado en recuadro naranja. Simulación en Solidworks

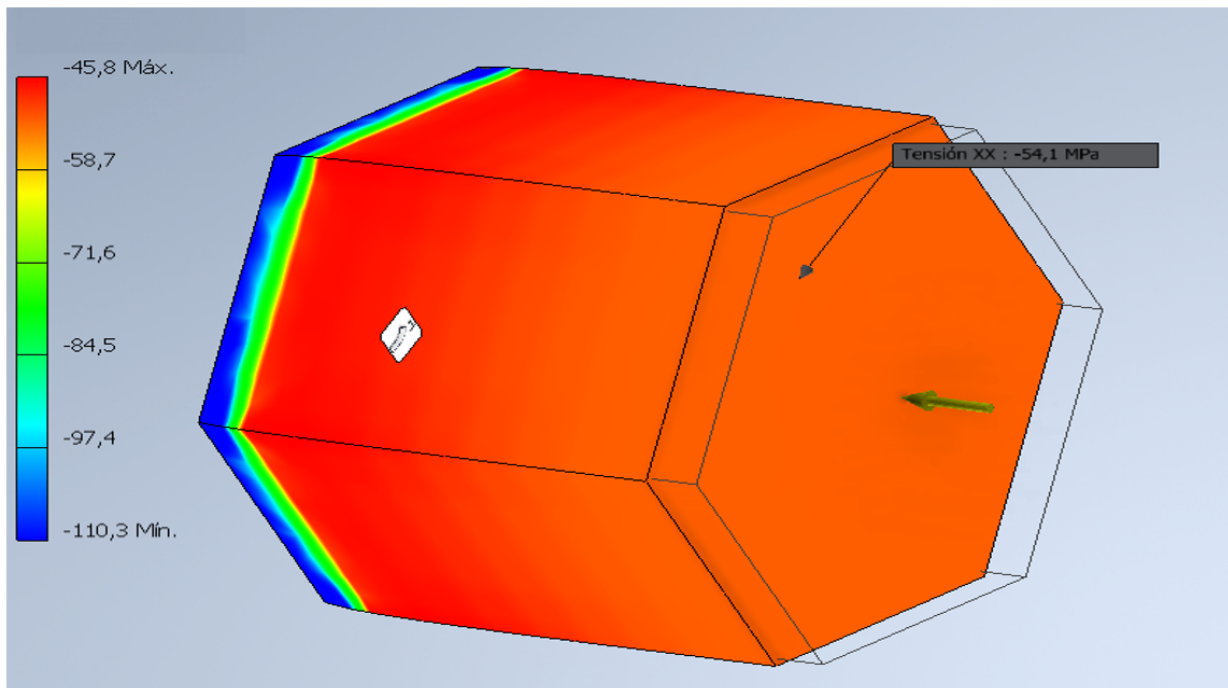
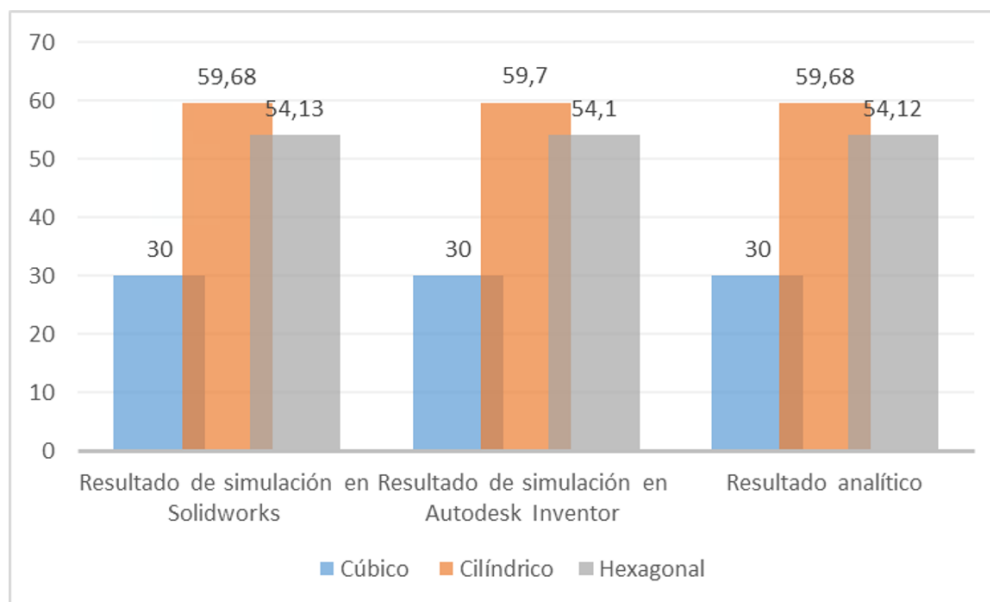


Figura 7. Resultado de esfuerzo normal en prisma hexagonal encerrado en recuadro gris. Simulación en Autodesk Inventor

Los valores de los resultados de simulación de cada una de las geometrías, para los dos simuladores, pueden ser consultados en la tabla 2. En la figura 8 se visualizan de forma global, los resultados analíticos y de simulación.

Tabla 2. Resultados de simulación de los prismas analizados

Figura	Resultado de simulación en Solidworks (MPa)	Resultado de simulación en Autodesk Inventor (MPa)
Cubo	30,00	30,00
Cilindro	59,68	59,70
Prisma hexagonal	54,13	54,10

**Figura 8.** Resultados globales de análisis (analíticos y de simulación).

Los valores de simulación tienen una aproximación al modelo teórico de una precisión de 99.98% en Solidworks y un 99.96% para Autodesk Inventor, en referencia al cálculo de esfuerzos normales.

De acuerdo con los resultados obtenidos por Velilla, Mendoza, y Triana (2012), se encontró un margen de error mínimo de un 0.28% en la validación de esfuerzos con simulador, respecto al modelo matemático analítico. En Vicente (2016), se encontraron las mismas discrepancias de simulación al utilizar el software Autodesk Inventor. Para cálculos de esfuerzos con Solidworks, en Montijo y Ramírez (2016), se encontró una discrepancia de hasta un 1.94% en análisis de concentración de esfuerzos.

CONCLUSIONES

La implementación de AEF con Solidworks y Autodesk Inventor, es una técnica rápida y muy precisa para el análisis de esfuerzos normales en elementos prismáticos y cilíndricos, teniendo una precisión superior al 99% respecto al análisis teórico. El margen de error en simulaciones es común, y en la mayoría de las aplicaciones de análisis de diseño es aceptable como máximo un 5% respecto a los valores teóricos (Dassault Systèmes, 2011), aunque este valor puede ser reducido, al realizar algoritmos de refinamiento de malla computacional (Montijo y Ramírez, 2016).

El uso de los simuladores como aplicación informática, constituye un medio virtual del aprendizaje y del conocimiento, como una herramienta de apoyo en la enseñanza de materias de ingeniería relacionadas a la resistencia de materiales, siendo una alternativa a prácticas de campo o laboratorio, con la posibilidad de utilizarse como medio de validación en proyectos académicos e industriales, permitiendo:

- Predecir y mejorar el desempeño de prototipos escolares y productos industriales.
- Reducir tiempos y costos referentes a la evaluación de prototipos físicos.
- Implementar y experimentar con geometrías y materiales, fomentando la creatividad, la investigación y la innovación para el mejoramiento de procesos existentes, o la creación de nuevos productos o tecnologías.
- Visualizar y comprender fenómenos que no pueden ser observados, como la distribución de los esfuerzos en geometrías no uniformes.
- Analizar modelos complejos en un tiempo limitado, sin aplicar ecuaciones o análisis complejos.
- Analizar de forma óptima elementos mecánicos desde la etapa de diseño, previniendo errores en la etapa de manufactura.

En cuanto a la obtención de licenciamiento de ambos software, se contemplan permisos educativos de hasta 2 años para uso académico, aunque la limitante podría ser que el alumno no cuente con equipo de cómputo adecuado para realizar procesos de simulación.

Los autores concluyen que los software Solidworks y Autodesk Inventor, son herramientas excelentes para los procesos de enseñanza y aprendizaje de materias relacionadas con resistencia de materiales, específicamente en los temas de esfuerzos normales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abasolo, M. (2017). Guía práctica de elementos finitos en estática (1ª ed.). Paraninfo.
- Autodesk. (2020). Software de análisis de elementos finitos | Autodesk. Autodesk.mx. Revisado 4 marzo 2020, en <https://www.autodesk.mx/solutions/finite-element-analysis>.
- Callister, W., y Rethwisch, D. (2016). Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales (2ª ed.). Reverté.
- Castillo, J., Acosta, S., García, E., Gil, A., y Martínez, V. (2018). Diseño e implementación de un rúter CNC. Pistas Educativas,, 40(130), 1466-1499.
- Dassault Systèmes. (2011). Guía del instructor para la enseñanza del software SolidWorks®. SolidWorks Corporation.
- Díaz de León, V., Levi, V., Rosete, J. y Díaz, N. (2018). Mecánica de materiales. Teoría y aplicaciones (1ª ed.). Grupo Editorial Patria.
- Espinoza, I. (2019). Análisis de los esfuerzos flexionante y torsional máximos en un eje para transmisión de potencia. Ingenio y conciencia boletín científico de la Escuela Superior Ciudad Sahagún, 6(12), 74-79.
- Giménez-Palomares, F., Jiménez-Mocholí, A., Lapuebla-Ferri, A., y Monsoriu-Serra, J. (2017). Representación de distribuciones tensionales en elementos lineales prismáticos y cilíndricos. Modelling In Science Education And Learning, 10(2), 45.
- Hibbeler, R. (2019). Mecánica de materiales (9ª ed.). Pearson.
- Jiménez, J., Fernández, J., Suárez, F., y Carazo, J. (2020). Fundamentos de Elasticidad y Resistencia de Materiales (1ª ed., p. 4). Paraninfo.
- King, R. (2017). Finite element analysis with SOLIDWORKS simulation (1ª ed.). CENGAGE.
- La Tegola, A., y Mera, W. (2017). Influencia del esfuerzo axial en columnas de estructuras aporticadas de hormigón armado sujetas a acciones sísmicas sobre la deriva del piso. Alternativas, 17(3), 24-31.
- Lara, L. (2017). El método de los elementos finitos en problemas de vigas. REVISTA TECNOLOGÍA & DESARROLLO, 15(1), 89-96.

- López, L., Marante, M., Torres, J., Torres, R., Barreto, W., y Picón, R. (2019). Comportamiento a flexión en perfiles HSS sujeto a fatiga de ultra-bajo ciclaje con el modelo de daño concentrado: Simulación numérica. *Revista Técnica De La Facultad De Ingeniería Universidad Del Zulia*, 19, 231-238.
- Montijo, E., y Ramírez, F. (2016). Demostración por Análisis de Elemento Finito de los Esfuerzos Máximos Permisibles en Placa de Acero ASTM A36. *Espacio ITH*, 6(1), 28-32.
- Nudehi, S., y Steffen, J. (2018). *Analysis of machine elements using SolidWorks simulation 2018* (1ª ed.). SDC Publications.
- Pedrero, J. (2017). *Tecnologías de máquinas. Tomo I* (1ª ed.). UNED.
- Salvador, J., Piles, L., Seguí, J., Sánchez, S., Reig, M., y Pla, R. et al. (2017). Diseño y posicionado de la prótesis inversa de hombro utilizando técnicas de simulación numérica por método de los elementos finitos y biomodelos realizados por impresión 3D. *Revista Española De Cirugía Osteoarticular*, 52(271), 96-101.
- Shigley, J., Nisbett, J., y Budynas, R. (2019). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (10ª ed.). McGraw-Hill Interamericana.
- Solaguren-Beascoa, M. (2016). *Elasticidad y resistencia de materiales* (1st ed.). Difusora Larousse - Ediciones Pirámide.
- Storch de Gracia, J., y Storch de Gracia, M. (2019). *Organización, gestión y ejecución de proyectos industriales* (1ª ed.). Ediciones Díaz de Santos.
- Vargas, C., Sierra, J., Posada, J., y Botero-Cadavid, J. (2017). Analysis and modeling of simulated residual stress of mold injected plastic parts by using robust correlations. *Matéria (Rio De Janeiro)*, 22(4).
- Velilla, W., Mendoza, R., y Triana, G. (2012). Análisis estructural mediante simulación IAO en una estructura de carga y su validación. *Revista INGE CUC*, 8(1), 231-240.
- Vicente, J. (2016). *Simulación y caracterización mediante Autodesk Inventor de un banco para aerogeneradores de baja potencia*. Universidad de Alcalá.