

# **EVALUACIÓN CON ANÁLISIS DE ELEMENTO FINITO EN APLICACIONES DE INGENIERÍA**

## *EVALUATION WITH FINITE ELEMENT ANALYSIS IN ENGINEERING APPLICATIONS*

**Jesús Vicente González Sosa**

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, México  
*jvgs@azc.uam.mx*

**Yadira Zavala Osorio**

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, México  
*yzo@azc.uam.mx*

**José Ángel Hernández Rodríguez**

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, México  
*hrja@azc.uam.mx*

**Enrique Ávila Soler**

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, México  
*eas@azc.uam.mx*

**Recepción:** 5/octubre/2023

**Aceptación:** 20/diciembre/2023

### **Resumen**

La ingeniería como área de desarrollo profesional presenta vertientes en la evaluación de aplicaciones en las áreas de estudio, entre las cuales se tienen mecánica, materiales, fluidos, termodinámica, entre otras, lo cual hace que se utilicen herramientas para facilitar la comprensión en aplicaciones e investigación, para satisfacer una necesidad del mercado. En este trabajo se analiza el uso de FEM (Método de Elemento Finito), como herramienta para la aplicación de ingeniería, en donde se analizan los módulos del FEM correspondientes a la optimización y con ello mejorar las condiciones de evaluación en casos de estudio de la ingeniería. La finalidad de este trabajo consiste en evaluar una aplicación específica, biela, con el simulador de FEM y optimizar el espécimen de prueba en conjunto con sus características físicas. Como parte de los resultados se obtienen datos en función al número de elementos, nodos y volumen dentro de la herramienta de FEM.

**Palabras Clave:** Diseño mecánico, FEM, Simulación computacional.

## **Abstract**

*Engineering as an area of professional development presents aspects in the evaluation of applications, by the areas of study, among which are mechanics, materials, fluids, thermodynamics, among others, which makes the use of tools to facilitate understanding in applications and research, to meet a market need. In this work we analyze the use of FEM (Finite Element Method), as a tool for the application of engineering, where the FEM modules corresponding to the optimization are analyzed and thus improve the learning conditions in academic communities. The purpose of this work is to evaluate a specific application, connecting rod, with the FEM simulator and to optimize the test specimen in conjunction with its physical characteristics. As part of the results, data are obtained based on the number of elements, nodes and volume within the FEM tool.*

**Keywords:** *Computational simulation, FEM, Mechanical design.*

## **1. Introducción**

El presente trabajo establece que FEM es una herramienta fundamental para ingeniería, el cual se encuentra basado en análisis, por medio de la optimización, para casos de estudio, que permite englobar temáticas como lo son: materiales, manufactura y diseño. Por otro lado, FEM corresponde a un apoyo en la ingeniería enfocado en un proceso de mejora para casos de estudio, identificando características o especificaciones de los especímenes que se evalúan con esta herramienta.

Los procesos en donde se involucra FEM, tiene incidencia en el comportamiento del espécimen de estudio globalizado, con lo que se puede optimizar de acuerdo con la precisión [Ródenas, 2012], que establezca la simulación en conjunto con las propiedades físicas de los materiales para su evaluación.

La modelización y simulación por FEM se ha convertido en una herramienta con un impacto latente en el análisis de especímenes y procesos que permiten optimizar a este mismo por medio de evaluaciones computacionales [Song, 2022], en este

trabajo se muestra parte de las innovaciones que se tiene con la herramienta computacional, para un caso de estudio con especificaciones establecidas en el diseño del producto.

El estudio de los materiales está enfocado en analizar la mecánica de sólidos y los esfuerzos en la mayor cantidad de los ejes, con el análisis estructural, sin perder de vista el efecto de la deformación al ejercer cargas de presión o fuerza sobre el caso de estudio o espécimen de prueba, con FEM se logra, validar si las geometrías y especificaciones están acorde con los resultados y de no ser así se lleva a cabo la optimización para mejorar las condiciones mecánicas del producto, ya sea en material o diseño [Roldan, 2002]. Por ello el interés de utilizar FEM como herramienta en la ingeniería, debido al campo de aplicación que se utiliza con tecnología de simulación.

El hacer uso de las herramientas computacionales, incentiva a las comunidades a estar activas y actualizadas en los ambientes de aplicación y desarrollo para los nuevos procesos de evaluación [Vargas, 2007], en las áreas de la ingeniería.

Los modelos y métodos utilizados en FEM representan la discretización de las variables de los casos de estudio que se analizan y evalúan [De Los Santos, 2019], por lo que es necesario identificar elementos, nodos, vértices y mallas que permiten aplicar la simulación en las condiciones necesarias para mantener un sistema continuo. Es importante observar que día a día, tanto las investigaciones como los proyectos, fomentan el uso de las herramientas computacionales para comprender los efectos, fenómenos de la ingeniería y la aplicación.

El FEM que impacta en las áreas de ingeniería, tienen como objetivo trabajar el uso de nuevas tecnologías para enriquecer competencias dentro de los sectores académicos y fomentar procesos innovadores basados en casos, proyectos y problemas [Higbee, 2021], una característica que tiene FEM es aprovechar la herramienta computacional para mejorar un espécimen bajo las requisiciones de este.

Una característica más que impacta en los FEM es el uso de este como una herramienta eficaz para obtener resultados de sistemas simulados bajo especificaciones de los especímenes, que vincula los conocimientos teóricos de

manera integral con áreas de la ingeniería [Rodríguez, 2012], al momento es un área de oportunidad para la comprensión en ingeniería.

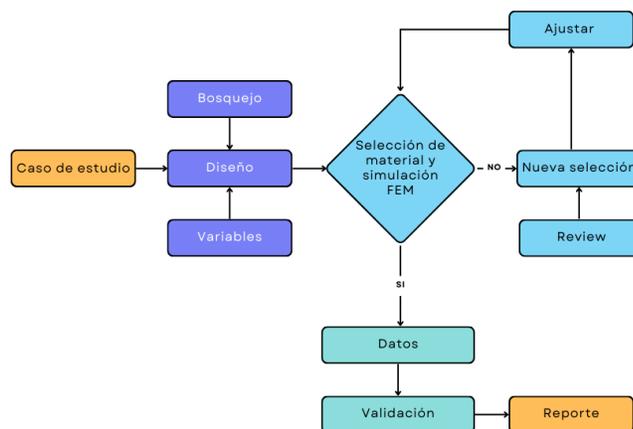
Actualmente en la investigación relacionada con aplicaciones de ingeniería sea incrementado el uso de herramientas de simulación para tener alternativas de solución en los problemas que se presentan al evaluar sistemas y productos de innovación, en ese sentido este trabajo se tienen elementos fundamentales para hacer uso de FEM como herramienta en la ingeniería y sus diversas áreas de aplicación.

En el siguiente apartado se describe de forma puntual el proceso a seguir para evaluar un caso de estudio con FEM, mostrando los resultados para la optimización y mejora del análisis.

## 2. Métodos

El desarrollo de este trabajo se lleva a cabo bajo las consideraciones de facilitar el estudio y aplicación del diseño, con herramientas de simulación computacional, como lo es FEM, en donde se evalúan las características físicas de un espécimen en condiciones estándar y el uso de la optimización para mejorar la funcionalidad del objeto.

En el diagrama de la figura 1, se observa la metodología llevada a cabo para conducir al FEM como herramienta de la ingeniería.



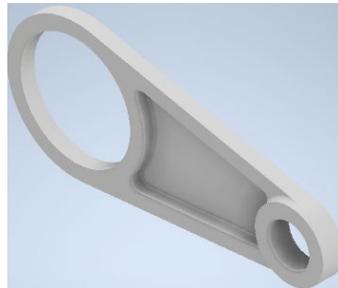
Fuente: elaboración propia.

Figura 1 Diagrama aplicación de FEM como metodología.

La figura 1, muestra el proceso en el cual se lleva a cabo la aplicación del FEM, para utilizarlo como herramienta en un caso de estudio y seleccionar el material que satisfaga los requerimientos, de acuerdo con los datos que se obtienen a partir de la simulación realizada y con ello llevar a cabo iteraciones que permitan recabar la mayor cantidad de datos para la selección adecuada del material hacia el objeto.

### **Caso de estudio**

Para hacer uso del FEM como herramienta en la ingeniería, se tomó en cuenta un caso de estudio, el cual permite abordar el proceso para determinar los parámetros máximos cuando el espécimen se somete a cargas preestablecidas de acuerdo con los materiales a utilizar en el diseño del producto. El caso de estudio es una biela, figura 2, realizándose en un modelador de CAD.



*Fuente: elaboración propia.*

Figura 2 Caso de estudio, espécimen para simulación con FEM.

### **Selección del material**

Para este caso de estudio se analizarán diferentes materiales para la biela y destacar aquellos resultados que se encuentren próximos al valor teórico de resistencia, los materiales a evaluar son: a) acero al carbono, b) acero de fundición, c) acero galvanizado, d) acero a alta resistencia y baja aleación, e) acero dulce y f) acero sin aleación.

En la tabla 1, se observan los datos teóricos relacionados con los valores de las propiedades físicas de los materiales que se evaluarán para el caso de estudio mencionado.

Tabla 1 Propiedades físicas de los materiales a evaluar con FEM.

Material	Propiedad Física		
	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Esfuerzo de tensión (MPa)	Modulo de Young (GPa)
Acero al carbón	7.85	420	200
Acero de fundición	7.85	300	210
Acero galvanizado	7.85	345	200
Acero alta y baja aleación	7.85	448	200
Acero dulce	7.85	345	220
Acero sin aleación	7.85	300	210

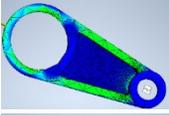
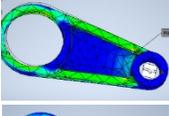
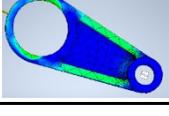
Fuente: elaboración propia.

Cada uno de los materiales mencionados y sus propiedades se obtienen de la librería del software de CAD para tener la coincidencia con la simulación de FEM para el caso de estudio. Después de realizar la revisión de las propiedades físicas de cada uno de los materiales, se lleva a cabo la simulación con FEM, para obtener los datos y establecer la mejora por medio de la optimización que ofrecen los simuladores para identificar las secciones con mayor y menor riesgo al momento de efectuar las cargas correspondientes.

### Simulación con FEM

En la etapa correspondiente a la simulación se aplica una carga de 15000 N, menor a la que soporta el espécimen en el ensayo a tracción, con la finalidad de abordar tres casos de evaluación con la carga designada, para: a) factor de uniformidad 1.0, b) factor de uniformidad 1.5 y c) factor de uniformidad 2.0, lo cual se aplicará a todos los casos para los materiales propuestos y comparar los datos. El primer material a evaluar y comparar con las etapas de optimización es el acero al carbón. La tabla 2 muestra imágenes del mallado, esfuerzo, desplazamiento y factor utilizado para la optimización, además se han considerado constantes los nodos y elementos para cada caso, factor de uniformidad 1.0 le corresponden 157285 nodos y 89872 elementos, factor 1.5 152536 nodos y 87848 elementos, mientras que para el factor 2.0 150483 nodos y 86525 elementos. Los datos mencionados son para todos los materiales evaluados con el simulador de FEM. De la información en la tabla 2, se identifica que la simulación eficiente es para el caso cuando el factor de uniformidad tiene un valor de 1.0, ofreciendo una convergencia menor de 12.56%.

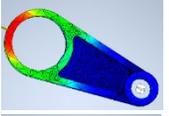
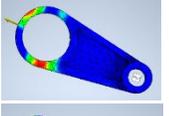
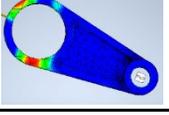
Tabla 2 Datos obtenidos para el acero al carbón.

	<b>Esfuerzo XX(MPa)</b>	<b>Desplazamiento (mm)</b>	<b>Factor de uniformidad</b>	<b>Convergencia (%)</b>
	86.91	0.1213	1.0	12.56
	89.79	0.1211	1.5	13.45
	85.54	0.17	2.0	24.71

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 3, se analizan los mismos casos del factor de uniformidad para el material denominado acero de fundición. Al igual que en el caso del acero al carbón, el acero de fundición cumple con la misma característica del factor de uniformidad con convergencia mínima de 12.01%, que representa un valor óptimo, sin embargo, en la imagen correspondiente se observa una zona en color rojo, que está indicando el riesgo que puede sufrir el espécimen al aplicarse la carga correspondiente, para lo cual deberán analizarse los demás casos con el factor de uniformidad.

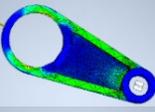
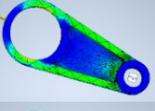
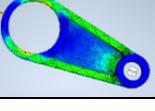
Tabla 3 Datos obtenidos para el acero de fundición.

	<b>Esfuerzo XX(MPa)</b>	<b>Desplazamiento (mm)</b>	<b>Factor de uniformidad</b>	<b>Convergencia (%)</b>
	86.70	0.1156	1.0	12.01
	89.79	0.1148	1.5	18.06
	85.52	0.1138	2.0	23.93

Fuente: elaboración propia.

Para el caso del acero galvanizado, se han obtenido los valores que se encuentran en la tabla 4, manteniendo constantes, como se menciono, la cantidad de elementos y nodos.

Tabla 4 Datos obtenidos para el acero galvanizado.

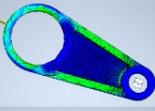
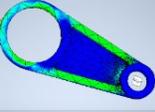
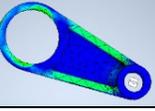
	<b>Esfuerzo XX(MPa)</b>	<b>Desplazamiento (mm)</b>	<b>Factor de uniformidad</b>	<b>Convergencia (%)</b>
	86.69	0.1213	1.0	12
	88.62	0.1205	1.5	12.78
	85.56	0.1195	2.0	23.66

Fuente: elaboración propia.

Los valores representativos, comparando factor, desplazamiento y esfuerzo en la biela de la tabla 4, se puede seleccionar el que tiene factor de 1.5, en éste se aprecia un equilibrio de las zonas de riesgo, conforme a la gama de colores.

Se evalúa un material más, acero de alta resistencia y baja aleación, que permite una mayor ductilidad en el acero, con especificaciones importantes para su uso en aplicaciones que contenga los valores máximos de la simulación, tabla 5.

Tabla 5 Datos obtenidos para el acero alta resistencia y baja aleación.

	<b>Esfuerzo XX(MPa)</b>	<b>Desplazamiento (mm)</b>	<b>Factor de uniformidad</b>	<b>Convergencia (%)</b>
	86.50	0.1213	1.0	12.64
	88.24	0.1205	1.5	1.24
	85.54	0.1195	2.0	24.73

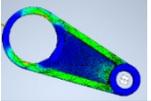
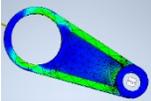
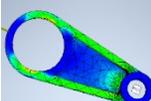
Fuente: elaboración propia.

En la simulación y evaluación del acero de alta resistencia y baja aleación, se observaron datos interesantes, uno de ellos se muestra en la tabla 5, en donde, se logró un porcentaje de convergencia preciso de 1.24%, representando que el FEM

con las variables establecidas tiene valores de mejora, lo cual se aprecia en el valor del esfuerzo en el eje X, con 88.24 MPa.

Para el acero dulce se han tomado en cuenta los valores de la tabla 6, extraídos de la simulación con FEM, en donde la cantidad de nodos y elementos se han mantenido constantes para la mayor cantidad de las simulaciones, y ello debido a que solo se realiza el cambio en el factor de uniformidad como parámetro de cambio en el análisis, sin olvidar que en futuros trabajos se analizarán otras características de optimización para la biela que se ha trabajado en este artículo. Un aspecto importante por resaltar de la tabla 6 es la imagen del factor de 2.0, en donde se observa que existe una zona con valores bajos de resistencia y es un punto de interés para realizar otro tipo de análisis para lograr disminuir el valor de convergencia y mantener una mejora continua con una mayor cantidad de iteraciones en las evaluaciones para este espécimen.

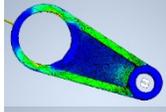
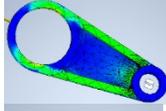
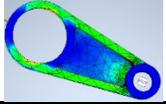
Tabla 6 Datos obtenidos para el acero dulce.

	<b>Esfuerzo XX(MPa)</b>	<b>Desplazamiento (mm)</b>	<b>Factor de uniformidad</b>	<b>Convergencia (%)</b>
	86.52	0.1101	1.0	13.68
	95.16	0.1095	1.5	15.44
	85.62	0.1085	2.0	25.97

*Fuente: elaboración propia.*

El último material que se evaluará con FEM es el acero sin aleación, cuya característica principal es disminuir la cantidad de carbono, aproximadamente 1% del material, lo cual también se reflejará en la convergencia del modelo correspondiente a FEM utilizado en las simulaciones. Para este caso de análisis, tabla 7, se observa que el factor con menor desplazamiento es 2.0, sin embargo, el esfuerzo disminuye y el porcentaje de convergencia aumento, lo que está indicando que se deben realizar más evaluaciones, modificando los parámetros de control de las simulaciones.

Tabla 7 Datos obtenidos para el acero sin aleación.

	<b>Esfuerzo XX(MPa)</b>	<b>Desplazamiento (mm)</b>	<b>Factor de uniformidad</b>	<b>Convergencia (%)</b>
	86.68	0.1156	1.0	11.99
	89.46	0.1148	1.5	16.95
	85.58	0.1138	2.0	23.65

Fuente: elaboración propia.

De los datos obtenidos en cada una de las simulaciones, FEM, para la biela, se han seleccionado las cantidades específicas de materiales que tienen propiedades similares, lo que permite homogeneizar el análisis y englobarlo en un sector. Por otro lado, para mejorar las simulaciones en trabajos posteriores se utilizarán materiales con rangos de valores en sus especificaciones, pero con el mismo objetivo de funcionamiento en el caso de estudio.

Como parte de la compilación de datos de las simulaciones con FEM, en donde se obtuvieron valores para el esfuerzo, desplazamiento y porcentaje de convergencia, se conjuntan los resultados representativos en la tabla 8.

Tabla 8 Compilación de datos de las simulaciones al espécimen.

<b>Material</b>	<b>Esfuerzo (MPa)</b>	<b>Desplazamiento (mm)</b>	<b>Factor</b>	<b>Convergencia (%)</b>
Acero al carbón	86.91	0.1213	1.0	12.56
Acero de fundición	86.70	0.1156	1.0	12.01
Acero galvanizado	86.69	0.1213	1.0	12
Acero alta resistencia y baja aleación	88.24	0.1205	1.5	1.24
Acero dulce	86.52	0.1101	1.0	13.68
Acero sin aleación	86.68	0.1156	1.0	11.99

Fuente: elaboración propia.

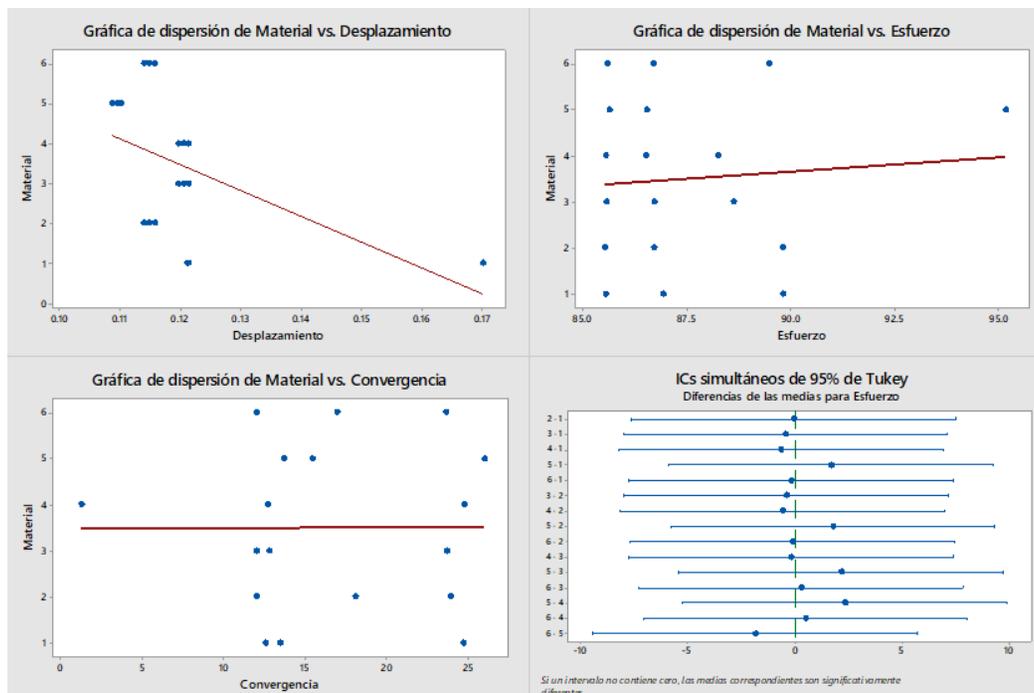
De la tabla 8, relacionado con los resultados en forma de resumen, se identifica que la mejor opción para trabajar la biela, con una carga de 15000 N, está representada

por el acero de alta resistencia y baja aleación, obteniendo un porcentaje de convergencia con valor de 1.24% y el esfuerzo de 88.24 MPa.

### 3. Resultados

A continuación, se plasman los resultados obtenidos a partir de un conjunto de gráficas, en donde se muestra el comportamiento de la simulación en el caso de estudio, biela, reflejando de manera puntual los efectos de resistencia, desplazamiento y convergencia, al someterse a cargas mecánicas.

En la figura 3, se observan las gráficas de dispersión las cuales determinan los casos con mayor incidencia en el análisis de la biela, utilizando el simulador de FEM y por último una gráfica del aspecto estadístico, para visualizar y concretar los casos cuya evaluación tiene mayor impacto en el espécimen de prueba para mejorar las condiciones, ya sea de diseño, material o simulación.



Fuente: elaboración propia.

Figura 3 Gráficas de dispersión de las variables consideradas en la simulación FEM.

En la gráfica de dispersión comparando el material con el desplazamiento, se ha encontrado que los materiales 3 y 4 (acero galvanizado y acero de alta resistencia-

baja aleación), tienen un comportamiento aceptable, significando con ello, que los resultados se deben tomar en cuenta para aplicaciones que requieren de desplazamientos mínimos.

Para el caso de la dispersión de material con esfuerzo, se detectó nuevamente que los materiales 3 y 4, tienen el mejor comportamiento, el mayor valor en las simulaciones establecidas con la carga de 15000 N, mostrando que la tendencia de este tipo de simulaciones permite trabajar con nuevos casos de estudio en donde se puede lograr un rango amplio de cargas para identificar las posibles alternativas de aplicación en ingeniería del espécimen de prueba, biela, en este trabajo.

Ahora, de la gráfica que representa al material con la convergencia en cada una de las simulaciones, mostró que los mejores casos de estudio fue para el material 4, 6, 3 y 2 (acero alta resistencia-baja aleación, acero sin aleación, acero galvanizado y acero de fundición), que sin duda se deberá realizar un nuevo análisis para el material 4, debido a que el valor de convergencia es satisfactorio, sin embargo, genera incertidumbre debido a que se encuentra alejado con respecto a los demás valores de convergencia en cada simulación para los cuatro materiales restantes.

En la última gráfica se trabajó con una herramienta estadística, para obtener y mostrar que las medidas para cada uno de los materiales son consistentes de acuerdo con las variables y mediciones consideradas en la simulación, en donde se observó la compatibilidad de las medidas con los materiales, por lo que a futuro se espera analizar estos materiales con alguna variación o aleación que permite mejorar las condiciones de evaluación estadística. Sin embargo, lo que nos ofrecen las gráficas de la figura 3, satisfacen el propósito de la simulación con FEM y se establecen tendencias para nuevos casos de estudio y simulaciones que brinden un mayor campo de aplicación para los especímenes de prueba.

Se han mostrado los resultados representativos de la simulación con las variables, materiales y carga que permiten evaluar este caso de estudio, biela, como un procedimiento con la herramienta de FEM, identificando las áreas de metrología, estadística, materiales, diseño y análisis computacional.

Comparando los datos de las tablas de resultados y los gráficos, se identifica que el material denominado como 4 y 5 son los que presentan las condiciones favorables

para que una biela sea aplicada en casos donde se requiera de una resistencia a cargas axiales de 15000 N, para los demás casos se tendrá que evaluar con otras cargas y determinar el rango de valores para conceptualizar el FEM como herramienta de apoyo en ingeniería.

#### **4. Discusión**

Utilizar FEM como herramienta de apoyo en las diferentes áreas de la ingeniería incrementa el interés por parte de las comunidades académicas, por utilizar otros entornos de innovación para la comprensión de los temas involucrados en un área específica. Este método de simulación favorece la comprensión paso a paso cada una de las acciones que actúan sobre un elemento a evaluar, analizando cada etapa y lograr mejorar el procesamiento del caso de estudio [Bishay, 2020]. Es importante que esta herramienta puede utilizarse como apoyo en el desarrollo de proyectos durante un periodo académico y con ello enriquecer los conocimientos teóricos, a través de un análisis por medio de simulaciones.

Desde un punto de vista general, con respecto al uso de la herramienta que ofrece la simulación por FEM, a los involucrados les genera el interés por conocer cuáles son las variables que se pueden manipular de forma directa en las simulaciones, para comprender temáticas de ingeniería, de forma metódica. Además, en el caso de estudio se identificaron los parámetros funcionales del espécimen, que involucran las propiedades físicas del producto y el entorno de aplicación. Por otro lado, el análisis involucra temáticas que impactan en el estudio con FEM.

Una de las características del FEM, que lo hace factible en aplicaciones de análisis, es el mallado, el cual se puede modificar dependiendo de los criterios que se presentan en los resultados, con la primicia de mejorar el proceso de evaluación en las simulaciones. Lo cual es aceptable dadas las condiciones iterativas que provienen de los modelos matemáticos que conforman el FEM [Valencia, 2008], lo que identifica a los trabajos de esta índole para complementar los aspectos teóricos con las simulaciones que permite la innovación tecnológica en ingeniería, en este trabajo se observa de forma general la implementación de simulaciones en un caso

de estudio que permite visualizar los fenómenos físicos al aplicar las cargas sobre un área específica.

En este trabajo, como en otros más, en conjunto con otros autores e investigadores, se tiene conciencia que en muchas ocasiones lo que ofrece la simulación por FEM, no siempre da resultados satisfactorios por los errores tanto en las variables que se designan en la evaluación o los parámetros con los que trabaja el software [Martins, 2022], por ello es recomendable validar con modelos matemáticos los resultados que se presentan.

En muchas investigaciones como [Piero, 2017], se ha utilizado el FEM para identificar fallas, valores máximos y mínimos de los casos de estudio, que va a depender de las variables y la complejidad del caso de estudio, mostrando en todo momento la gama de colores que representa los valores óptimos de una simulación, se coincide con el autor en función de ofrecer una mejora al espécimen que se analiza y se puede verificar con pruebas experimentales.

Es importante resaltar que hacer uso de FEM como apoyo de la ingeniería también tiene el riesgo de automatizar o mecanizar el proceso de simulación, como lo indica [Linero, 2012] y no precisamente ofrecer la habilidad del uso de simulaciones para comprender los temas relacionados con los enfoques teóricos de FEM. Por ello, es necesario contar con el apoyo de especialistas para realizar actividades de simulación y no ser autónomo con esta herramienta.

En las generaciones posteriores se tendrán metodologías y procesos de análisis ligados con la tecnología e innovación en ingeniería, que permitirá mejorar los aprendizajes de las diferentes áreas en donde el profesionista utiliza herramientas de esta índole, por ello es importante anexar estos modelos en las comunidades académicas y mejorar los procesos día a día.

## **5. Conclusiones**

Este apartado se desglosa de acuerdo con los objetivos que se han cumplido en cada una de las secciones desarrolladas. En primer lugar, el estado del arte fue fundamental para este trabajo, ello permitió englobar de manera muy particular el uso de FEM como herramienta de apoyo en el desarrollo y aplicación de la

ingeniería, mostrando en todo momento el interés de las comunidades involucradas por mejorar los procesos de análisis, aplicando conocimientos y apoyos por medio de software de FEM.

La metodología utilizada para aplicar FEM con un caso de estudio, biela, permite visualizar a detalle lo que sucede con este tipo de productos en la vida profesional, conociendo las ventajas y desventajas de utilizar las simulaciones en función de las condiciones del software y el conocimiento de la teoría.

Una de las ventajas que ofrece FEM es la multidisciplinariedad en los temas que se involucran; procesamiento de materiales, diseño mecánico, selección de materiales, especificaciones de productos, entre otras, con lo cual, un caso de estudio está inmerso en un sinnúmero de análisis que el involucrado o analista podrá identificar e interesarse por desarrollar proyectos o actividades que vinculen la aplicación de FEM.

Con respecto a las simulaciones y resultados en este trabajo, se lograron identificar las tendencias de mejora y las áreas de oportunidad que se tienen al aplicar FEM, interpretarlo y mejorar las simulaciones en el caso de estudio. Los resultados mostraron que existen tres materiales que cumplen las solicitaciones mecánicas para la biela y que se pueden utilizar sin inconveniente para un rango de valores tanto en el esfuerzo como para el desplazamiento, que van a depender del factor de uniformidad, zona en donde se aplica la carga y el valor de la carga. En este caso para la biela, solo se aplicó una carga axial sobre el eje X y el desplazamiento igualmente se analizó en ese mismo eje. Además, como parte de las áreas de oportunidad, se tiene la aplicación de FEM, para este mismo caso de estudio, pero con materiales diferentes y contar con una mayor cantidad de datos que se pueden comparar y evaluar para nuevas aplicaciones del producto, mostrando las ramas de la ingeniería que se benefician con este tipo de análisis y simulaciones.

Un aspecto importante es la interpretación de las gráficas que, para este caso de estudio, validaron los resultados mostrados en las tablas, en donde se logró verificar que las simulaciones son adecuadas, conforme se aplicaron las cargas y colocaron las restricciones para el desarrollo de este trabajo.

Por último, el utilizar estas herramientas para la comprensión de ciertos temas de la ingeniería permite ampliar la gama de elementos para ofrecer nuevas líneas de trabajo para docentes, investigadores y comunidades académicas con el interés de conocer lo que se utiliza en la industria para el análisis de un proceso, producto o sistema.

## **6. Bibliografía y Referencias**

- [1] Bishay, P. Teaching the finite element method fundamentals to undergraduate students through truss builder and truss analyzer computational tools and student-generated assignments mini-projects. *Comput Appl Eng. Educ.* no. 28, pp. 1007-1027, 2020.
- [2] De Los Santos, P., Granados, V., Mota, G. Desarrollo de una librería Python para el análisis estructural utilizando elementos finitos. *Memorias del XXV Congreso Annual SOMIM*, 2019.
- [3] Higbee, S., Miller, S. Finite Element Analysis as an Iterative Design Tool for Students in an Introductory Biomechanics Course. *Journal of Biomechanical Engineering*. Vol. 143, pp. 1-6, 2021.
- [4] Linero, D., Garzón-Alvarado, A. Enseñanza del método de los elementos finitos en ingeniería civil y mecánica utilizando el programa de computador a Código abierto Pefica. *Revista Educación en Ingeniería*, Vol.17, no. 14, pp. 35-46, 2012.
- [5] Martins, J. Romao, E. The Importance of Accurate Boundary Condition in Obtaining Reliable Shearing Stresses on a Torsional Finite Element Simulation. *Engineering, Technology & Applied Science Research*. Vol.12, núm. 2, pp. 8482-8487, 2022.
- [6] Piero-Espino, R., Lizárraga-Lizárraga, A., Mellado-Osuna, C., Davizon-Castillo, Y. Análisis de esfuerzos de una hélice de paso variable utilizando el análisis del elemento finite. *Revista de Ingeniería Tecnológica*, Vol. 1, no. 4, pp. 13-19, 2017.
- [7] Ródenas, J. J., Bugada, G., Albelda, J., Oñate, E, Nadal, E. Sobre la necesidad de controlar al error de discretización de elementos finitos en

- optimización de forma estructural con algoritmos evolutivos. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, Vol. 28, no. 1, pp. 1-11, 2012.
- [8] Rodríguez, F., Torres, A., Vacca, H. Estudio con análisis por elementos finitos de sistemas análogos circuitales en física. *Revista Visión Electrónica*, Vol. 6, no. 1, pp. 98-103, 2012.
- [9] Roldan, F., Bastidas, U. Estudio Experimental y por Análisis de Elementos Finitos del Factor de Concentrador de esfuerzo Producido por un Agujero en una Placa Plana. *DYNA*, Vol. 69, no. 137, pp. 1-8, 2002.
- [10] Song, Y., Shao, E., Bíro, I., Baker, J., Gu, Y. Finite element modeling for footwear design and evaluation: A systematic scoping review. *Heliyon*, Vol. 8, pp. 1-15, 2022.
- [11] Valencia, J., Milina, A., Correa, V. Método de elementos finitos en dos dimensiones para estudio de propagación en potenciales electrostáticos. *Scientia et Technica*. Vol. 14, no. 39, pp. 117-122, 2008.
- [12] Vargas, L., Contreras, L. Enseñanza de la mecánica enriquecida con herramientas computacionales. *Ingeniería*, Vol.12, no. 1, pp. 64-71, 2007.