



UNIVERSIDAD LAICA “ELOY ALFARO” DE MANABÍ

Título:

Simulación de Esfuerzos en una Viga Sujeta a Diferentes Tipos de Carga en la Carrera de Electromecánica en la ULEAM Extensión El Carmen

Autores:

Anderson Javier Delgado Valencia
Cristhofer Jesús Zambrano Montalván

Tutor(a)

Ing. Fernando López, MSc.

Unidad Académica:

Unidad Académica de Formación Técnica y Tecnológica, Educación Virtual y Otras Modalidades.

Carrera:

Tecnología Superior en Electromecánica.

El Carmen, Septiembre del 2025

	NOMBRE DEL DOCUMENTO: CERTIFICADO DE TUTOR(A).	CÓDIGO: PAT-05-IT-001-F-004
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE LAS CARRERAS TÉCNICAS Y TECNOLÓGICAS	VERSIÓN: 3
		Página 1 de 1

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor(a) de la Extensión El Carmen de la carrera de Electromecánica de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría del estudiante Delgado Valencia Anderson Javier, legalmente matriculado/a en la carrera de Electromecánica, periodo académico 2025(1), cumpliendo el total de 144 horas, cuyo tema del proyecto es "Simulación de esfuerzos en una viga sujeta a diferentes tipos de carga en la carrera de Electromecánica en la ULEAM Extensión El Carmen."

El presente trabajo de titulación ha sido desarrollado en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Lugar, 8 de diciembre de 2025.

Lo certifico,



Ing. Fernando López, MSc.
Docente Tutor(a)
Área: Electromecánica

Nota 1: Este documento debe ser realizado únicamente por el/la docente tutor/a y será receptado sin enmendaduras y con firma física original.

Nota 2: Este es un formato que se llenará por cada estudiante (de forma individual) y será otorgado cuando el informe de similitud sea favorable y además las fases de la Unidad de Integración Curricular estén aprobadas.

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Quien(es) suscribe(n) la presente:

*Anderson Javier Delgado Valencia, Cristhofer Jesús Zambrano
Montalván*

Estudiante(s) de la Carrera de **Tecnología Superior en Electromecánica**, declaro(amos) bajo juramento que el presente proyecto integrador cuyo título: "Simulación de Esfuerzos en una Viga Sujeta a Diferentes Tipos de Carga en la Carrera de Electromecánica en la ULEAM Extensión El Carmen", previa a la obtención del Título de Tecnólogo Superior en Electromecánica, es de autoría propia y ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros y consultando las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

El Carmen, Septiembre de 2025

Anderson Delgado

Anderson Javier Delgado Valencia

Jesús Zambrano

Cristhofer Jesús Zambrano Montalván



APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Los miembros del Tribunal Examinador aprueban el Trabajo de Titulación con modalidad Proyecto Integrador, titulado: "Simulación de Esfuerzos en una Viga Sujeta a Diferentes Tipos de Carga en la Carrera de Electromecánica en la ULEAM Extensión El Carmen" de su(s) autor(es): Anderson Javier Delgado Valencia, Cristhofer Jesús Zambrano Montalván de la Carrera "Tecnología Superior en Electromecánica", y como Tutor(a) del Trabajo el Ing. Fernando López, MSc.

Econ. Tito Cedeño, Mag.
Presidente de Tribuna

El Carmen, Septiembre de 2025

Ing. Fernando López, MSc.
TUTOR

Ing. Wladimir Minaya, Mag.
Primer Miembro de Tribunal

Ing. Danilo Arévalo, Mag.
Segundo Miembro de Tribunal

AGRADECIMIENTO

Principalmente a nuestro Dios por ser mi inspiración e motivación para salir adelante con esta etapa profesional de nuestras vida.

A nuestros padres, porque sin la ayuda de ellos no estaríamos donde estamos en esta etapa profesional, y ser nuestros guías en nuestras vida con su apoyo incondicional.

A nuestra familia, quienes con su apoyo a nuestras vida, nos ha dado las fuerzas necesarias e inspirado a cumplir con este anhelado sueño, y por ser las personas que nos inspiran a salir adelante cada día.

Anderson Javier Delgado Valencia

Cristhofer Jesús Zambrano Montalván

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de tesis primeramente a Dios por estar en cada uno de nuestros pasos, a nuestra familia, que es la razón de nuestros días, por ser ese regalo que la vida que nos dio para hacer nuestra inspiración e motivación para cumplir con las metas que nos hemos establecido día a día para nuestra preparación profesional.

También dedico este trabajo a nuestros padres ITALO ANIBAL ZAMBRANO ALCIVAR Y TANIA ARACELYS MONTALVAN MENENDEZ, CARLOS MAGNO DELGADO INTRIAGO Y ESPERANZA MARISOL VALENCIA MARCILLO, por brindarnos el apoyo día a día a pesar de nuestros errores y así cumplir con nuestra preparación, quienes con su apoyo y palabras de aliento hemos llegado hasta donde nos encontramos hoy en día.

Anderson Javier Delgado Valencia

Cristhofer Jesús Zambrano Montalván

RESUMEN

El análisis estructural de vigas es fundamental en la formación técnica de los estudiantes de Electromecánica, ya que permite comprender el comportamiento de los materiales frente a distintos tipos de carga. En este contexto, el presente trabajo tuvo como objetivo general desarrollar un modelo de simulación computacional para analizar la distribución de esfuerzos y deformaciones en una viga sometida a diferentes condiciones de carga. La metodología se basó en el diseño de modelos CAD de cuatro perfiles metálicos comerciales (cuadrado, rectangular, canal C e IPE), a los que se aplicaron cargas puntuales, distribuidas y combinadas, utilizando acero A36 como material. Los resultados incluyeron mapas de esfuerzo, deformaciones, factores de seguridad y momentos flectores. Todos los perfiles se comportaron dentro del régimen elástico y presentaron deformaciones menores al límite admisible de 10 mm. Se concluyó que el perfil IPE160 presentó el mejor desempeño estructural, mientras que el perfil cuadrado fue el más exigido. La simulación computacional demostró ser una herramienta eficaz para el análisis y comprensión del comportamiento estructural en entornos educativos.

PALABRAS CLAVE

Simulación estructural, viga, carga puntual, carga distribuida, perfiles metálicos.

ABSTRACT

The structural analysis of beams is essential in the technical education of Electromechanics students, as it enables the understanding of material behavior under different types of loads. In this context, the main objective of this work was to develop a computational simulation model to analyze the distribution of stresses and deformations in a beam subjected to various load conditions. The methodology involved the CAD modeling of four commercial metal profiles (square, rectangular, C-channel, and IPE), to which point, distributed, and combined loads were applied using A36 steel as the material. The results included stress maps, deformations, safety factors, and bending moment diagrams. All profiles behaved within the elastic range and showed deformations below the 10 mm allowable limit. It was concluded that the IPE160 profile demonstrated the best structural performance, while the square profile was the most critically stressed. Computational simulation proved to be an effective tool for analyzing and understanding structural behavior in educational settings.

KEYWORDS

Structural simulation, beam, point load, distributed load, metal profiles.

ÍNDICE

CERTIFICACION DEL TUTOR.....	¡Error! Marcador no definido.
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	¡Error! Marcador no definido.
APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN¡Error! Marcador no definido.	
AGRADECIMIENTO	IV
DEDICATORIA.....	V
RESUMEN	VI
PALABRAS CLAVE	VI
ABSTRACT	VII
KEYWORDS	VII
ÍNDICE	VIII
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS	IX
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1. PROBLEMA.....	4
1.2. JUSTIFICACIÓN	4
1.3. OBJETIVOS	7
1.3.1. Objetivo general	7
1.3.2. Objetivos específicos	7
1.4. METODOLOGÍA.....	7
1.4.1. Procedimiento	7
1.4.2. Técnicas	8
1.4.3. Métodos.....	8
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	9
2.1. DEFINICIONES	9
2.2. ANTECEDENTES	13
2.3. TRABAJOS RELACIONADOS.....	15
CAPÍTULO III: DESARROLLO DE LA PROPUESTA	17
3.1. OBJETIVO 1.....	17
3.2. OBJETIVO 2.....	17
3.3. OBJETIVO 3.....	¡Error! Marcador no definido.

CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	26
4.1. CONCLUSIONES.....	26
4.2. RECOMENDACIONES	27
BIBLIOGRAFÍA	28
ANEXOS	30

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

No se encuentran elementos de tabla de ilustraciones.

ÍNDICE DE TABLAS

No se encuentran elementos de tabla de ilustraciones.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

La simulación de esfuerzos en estructuras mecánicas, como vigas, es una herramienta fundamental para predecir su comportamiento bajo diversas condiciones de carga. Mediante modelos computacionales y métodos numéricos, es posible analizar la distribución de tensiones, deformaciones y puntos críticos, lo que permite optimizar el diseño y garantizar la integridad estructural (Gutiérrez, Luna, Sepúlveda, & Alemán, 2024). En el caso de una viga, estos esfuerzos pueden variar significativamente según el tipo de carga aplicada, ya sea puntual, distribuida, momento flector o combinaciones de estas, lo que hace indispensable un estudio detallado para evitar fallos mecánicos. La simulación no solo reduce costos asociados a pruebas físicas, sino que también ofrece resultados precisos y reproducibles, facilitando la toma de decisiones en etapas tempranas del diseño. Este componente es esencial para aplicaciones en ingeniería y tecnología, donde la eficiencia y seguridad son prioritarias.

Las vigas, como elementos estructurales básicos, están sometidas a diferentes tipos de carga que influyen directamente en su resistencia y desempeño mecánico, siendo estas cargas de tipo cargas puntuales, distribuidas, momentos flectores y fuerzas torsionales, las cuales generan patrones de esfuerzo variables, los cuales deben ser analizados para garantizar que la viga cumpla con su función sin sufrir deformaciones excesivas o fallas estructurales (Tejerizo, 2015). El estudio de estos casos mediante simulación permite visualizar cómo se distribuyen las tensiones a lo largo del elemento, identificando zonas críticas como los apoyos, el centro de la luz o puntos de aplicación de cargas. Además, la comparación entre diferentes configuraciones de carga ayuda a entender cuál es la condición más desfavorable y cómo reforzar el diseño de manera eficiente. Este análisis es clave en aplicaciones electromecánicas, donde las vigas pueden formar parte de estructuras soporte en maquinaria, sistemas de transporte o instalaciones industriales.

Estudios recientes han demostrado la eficacia de la simulación numérica para evaluar el comportamiento estructural bajo diversas condiciones de carga. Un

ejemplo destacado es el trabajo publicado en la revista Publicaciones en Ciencias y Tecnología, en el que se analizó el comportamiento de cubiertas planas autoportantes con vigas laterales mediante el método de elementos finitos en ANSYS Workbench (Pilamunga & Guerrero, 2022). Esta investigación reveló que los esfuerzos máximos se concentran cerca de los soportes de fijación, mientras que las deformaciones críticas ocurren en los extremos de la estructura, resultados que coinciden con lo observado en vigas sometidas a cargas asimétricas. Además, su enfoque permitió optimizar parámetros geométricos y comparar los resultados con normativas internacionales, demostrando que incluso pequeñas variaciones en el diseño pueden influir significativamente en la resistencia y el peso final de la estructura. Este tipo de metodología es directamente aplicable al estudio de vigas en contextos electromecánicos, donde la interacción entre cargas, materiales y geometría determina la eficiencia del sistema.

El estudio de los esfuerzos en vigas mediante simulación computacional adquiere especial relevancia en el ámbito industrial, donde la optimización de estructuras es clave para garantizar seguridad, eficiencia y rentabilidad. Comprender cómo responden los materiales ante diferentes tipos de carga permite no solo prevenir fallas estructurales, sino también reducir costos al minimizar el uso excesivo de materiales o evitar sobredimensionamientos innecesarios. Además, en un contexto tecnológico donde los diseños son cada vez más complejos, la capacidad de predecir comportamientos mediante herramientas digitales se convierte en una ventaja competitiva. Esta metodología resulta particularmente valiosa en entornos electromecánicos, donde las vigas suelen integrarse en sistemas dinámicos sujetos a cargas variables, vibraciones y fatiga de materiales, exigiendo soluciones técnicas precisas y confiables.

El tema de esta investigación guarda una estrecha relación con la carrera de Tecnología Superior en Electromecánica, ya que combina principios fundamentales de la mecánica con herramientas tecnológicas aplicadas al análisis estructural. Los profesionales en este campo requieren competencias tanto en el diseño mecánico como en el uso de software especializado,

habilidades que se desarrollan mediante este tipo de proyectos. Además, la electromecánica frecuentemente trabaja con sistemas que integran componentes estructurales sometidos a diversas cargas, como soportes de maquinaria, estructuras de soporte para instalaciones eléctricas o sistemas de transmisión de fuerzas. Dominar estas técnicas de simulación no solo fortalece la formación técnica del estudiante, sino que también lo prepara para enfrentar desafíos reales en el sector industrial, donde la eficiencia y la innovación en el diseño son constantemente demandadas.

1.1. PROBLEMA

En el ámbito industrial y de diseño estructural, la falta de análisis precisos sobre el comportamiento de vigas sometidas a diferentes tipos de carga puede generar consecuencias críticas, como fallas prematuras, sobrecostos por rediseños o incluso riesgos para la seguridad. Tradicionalmente, el cálculo manual de esfuerzos en vigas conlleva limitaciones en precisión y flexibilidad, especialmente cuando se trata de configuraciones complejas de carga o geometrías no convencionales. Aunque existen métodos analíticos para estos cálculos, su aplicación resulta tediosa y propensa a errores humanos, lo que dificulta la evaluación de múltiples escenarios de manera eficiente. Esta situación evidencia la necesidad de implementar herramientas de simulación computacional que permitan un análisis más rápido, confiable y adaptable a diversas condiciones estructurales, optimizando así los procesos de diseño en aplicaciones electromecánicas.

Ante este contexto, surge la siguiente interrogante: ¿Cómo influyen los diferentes tipos de carga (puntual, distribuida y combinada) en la distribución de esfuerzos y deformaciones de una viga, y de qué manera la simulación computacional puede optimizar su análisis en comparación con los métodos tradicionales? Para responder esto, se propone desarrollar un modelo de simulación que permita visualizar y cuantificar los esfuerzos bajo diversas condiciones de carga, utilizando software especializado. El objetivo es identificar patrones críticos de tensión y deformación, validar resultados con teorías establecidas y, finalmente, ofrecer una metodología accesible para estudiantes y profesionales de electromecánica, que combine rigurosidad técnica con eficiencia práctica.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Esta investigación representa un aporte significativo a la formación académica en Tecnología Superior en Electromecánica, ya que integra conocimientos fundamentales de resistencia de materiales, estática y dinámica estructural con

herramientas modernas de simulación computacional. El estudio de los esfuerzos en vigas bajo diferentes cargas permite a los estudiantes consolidar su comprensión teórica mediante aplicaciones prácticas, reforzando competencias clave para su desempeño profesional. Además, al utilizar métodos numéricos y software especializado, se fomenta el desarrollo de habilidades técnicas demandadas en el campo laboral, cerrando así la brecha entre la teoría impartida en las aulas y las exigencias reales del sector industrial. El proyecto servirá como referente para futuras investigaciones dentro del programa académico, estableciendo una metodología replicable para el análisis de otros componentes estructurales.

Desde la perspectiva tecnológica, este trabajo adquiere relevancia al emplear herramientas de simulación por elementos finitos (FEA), que representan el estándar actual en análisis estructural avanzado. La implementación de estos sistemas computarizados permite optimizar recursos y tiempo en comparación con los métodos experimentales tradicionales, reduciendo costos operativos y mejorando la precisión de los resultados. En el contexto electromecánico, donde los componentes estructurales frecuentemente operan bajo condiciones dinámicas y cargas variables, la capacidad de predecir su comportamiento mediante modelos virtuales resulta indispensable para garantizar su confiabilidad y vida útil. Los resultados obtenidos en este trabajo podrán aplicarse directamente en el diseño y evaluación de sistemas mecánicos, contribuyendo así a la modernización de procesos industriales locales y al fortalecimiento de las capacidades tecnológicas de la región.

Desde la perspectiva institucional, el presente trabajo se enmarca dentro de la línea de investigación “*Simulación y modelado de sistemas electromecánicos*”, orientada a fortalecer las competencias técnicas de los estudiantes mediante el uso de herramientas digitales que permitan comprender y analizar el comportamiento estructural de componentes mecánicos. La simulación de esfuerzos en vigas responde directamente a esta línea, al integrar conceptos teóricos con aplicaciones prácticas que favorecen el aprendizaje aplicado, la toma de decisiones técnicas fundamentadas y la optimización de recursos en

entornos educativos o industriales. De esta manera, se aporta al desarrollo de metodologías accesibles que faciliten la enseñanza y la experimentación virtual, en concordancia con los objetivos de formación tecnológica de la ULEAM Extensión El Carmen.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Desarrollar un modelo de simulación computacional para el análisis de la distribución de esfuerzos y deformaciones en una viga sometida a diferentes tipos de carga

1.3.2. Objetivos específicos

- Diseñar un modelo CAD que represente una viga sometida a condiciones geométricas y estructurales adecuadas para su análisis mecánico.
- Simular el comportamiento de la viga ante diferentes tipos de carga (puntual, distribuida y combinada), utilizando herramientas de simulación computacional.
- Analizar y comparar los patrones de esfuerzos y deformaciones obtenidos en cada caso, identificando zonas críticas y relaciones carga-respuesta.

1.4. METODOLOGÍA

1.4.1. Procedimiento

Fase 1: Diseño del modelo CAD

Se definieron las dimensiones geométricas y condiciones estructurales de una viga estándar, tomando como referencia criterios básicos de diseño mecánico. A partir de estas especificaciones, se elaboró un modelo tridimensional utilizando software CAD, el cual sirvió como base para los análisis posteriores.

Fase 2: Simulación del comportamiento mecánico

Sobre el modelo generado, se configuraron distintas condiciones de carga: puntual, distribuida y combinada. Se aplicaron estos casos en un entorno de simulación computacional, definiendo los parámetros de contorno y restricciones necesarios para obtener resultados confiables de esfuerzos y deformaciones en régimen estático.

Fase 3: Análisis comparativo de resultados

Finalmente, se examinaron los resultados obtenidos en cada simulación, mediante la visualización de mapas de tensiones y deformaciones. Se compararon los patrones generados por cada tipo de carga, identificando las zonas críticas de la viga y estableciendo relaciones entre la magnitud de las cargas aplicadas y las respuestas estructurales del modelo.

.

1.4.2. Técnicas

Modelado CAD paramétrico

El modelado CAD paramétrico permite crear geometrías precisas y modificables mediante parámetros definidos (SOLIDWORKS, 2020). Esta técnica se aplicó en la fase inicial del proyecto para diseñar la viga con dimensiones exactas y facilitar su adaptación a diferentes escenarios de carga. Su uso garantizó consistencia en el modelo 3D antes de la simulación, optimizando tiempo en comparación con métodos de dibujo no paramétricos.

Análisis por Elementos Finitos (FEA)

El análisis por elementos finitos (FEA, por sus siglas en inglés) es una técnica numérica utilizada ampliamente para estudiar el comportamiento estructural de materiales y componentes mecánicos (INSPENET, 2024). Esta técnica fue aplicada en la fase de simulación para analizar la distribución de esfuerzos y deformaciones en la viga bajo diversas condiciones de carga. Su implementación permitió identificar con precisión las zonas críticas y observar la respuesta del material ante diferentes tipos de sollicitación.

1.4.3. Métodos

Método de simulación estática lineal

Este método asume que los materiales tienen un comportamiento elástico lineal y pequeñas deformaciones (FEA for All, 2017). Se utilizó porque es adecuado

para vigas sometidas a cargas dentro de su rango elástico, simplificando el análisis sin perder precisión en los resultados. Se aplicó en todas las simulaciones de carga (puntual, distribuida y combinada).

Método comparativo cuantitativo

Consiste en evaluar diferencias porcentuales entre valores simulados y teóricos (Montijo, Ramírez, & Cerón, 2018). Se empleó para medir la precisión del software de simulación, comparando esfuerzos calculados manualmente con los obtenidos mediante FEA. Este método permitió cuantificar errores y validar el modelo.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. DEFINICIONES

Simulación de Esfuerzos

La simulación de esfuerzos mediante métodos computacionales se ha convertido en una herramienta indispensable en el análisis estructural moderno. Según Zienkiewicz & Taylor (2000), el método de elementos finitos (FEM) permite resolver problemas complejos de mecánica de sólidos discretizando la estructura en pequeños elementos interconectados, donde se aplican ecuaciones diferenciales que describen su comportamiento bajo carga. Este enfoque es particularmente útil en vigas, ya que proporciona una distribución detallada de tensiones y deformaciones que los métodos analíticos tradicionales no pueden visualizar con igual precisión. La capacidad de predecir puntos críticos de esfuerzo (como concentraciones en apoyos o zonas de momento flector máximo) es fundamental para optimizar diseños y prevenir fallas (Bathe, 1996).

El proceso de simulación comienza con la idealización matemática del problema físico, donde se establecen condiciones de frontera, propiedades del material y cargas aplicadas. Como señala Cook et al. (2001), la linealidad del material (ley de Hooke) y las pequeñas deformaciones son supuestos comunes en análisis básicos, simplificando los cálculos sin sacrificar exactitud en el rango elástico. Software especializado como ANSYS o SolidWorks Simulation automatizan este

proceso, resolviendo sistemas de ecuaciones matriciales que relacionan desplazamientos nodales con fuerzas externas. Esta metodología no solo reduce tiempos de desarrollo, sino que permite evaluar múltiples escenarios de carga en fracciones del tiempo requerido por métodos experimentales (Moaveni, 2015).

La validación de los resultados de simulación es una etapa crítica. Según Juvinall & Marshek (2011), los datos obtenidos mediante FEM deben contrastarse con soluciones analíticas clásicas, como las ecuaciones de vigas de Euler-Bernoulli para flexión o la teoría de Timoshenko para incluir efectos de cortante. Discrepancias superiores al 5% suelen indicar errores en la malla, condiciones de contorno mal definidas o simplificaciones inadecuadas del modelo. Estudios como los de Pilamunga & Guerrero (2021) demuestran que esta validación cruzada es esencial en aplicaciones industriales, donde decisiones de diseño dependen de la confiabilidad de las predicciones numéricas.

Entre las ventajas clave de la simulación de esfuerzos destacan su reproducibilidad y escalabilidad. A diferencia de pruebas físicas—que requieren prototipos costosos y condiciones controladas—, los modelos computacionales permiten modificar parámetros geométricos o de carga con pocos clics (Kruth, 1991). Esto facilita estudios paramétricos, como evaluar cómo varían los esfuerzos al cambiar la longitud de la viga o el tipo de apoyo. Además, técnicas avanzadas como el análisis no lineal (para grandes deformaciones o plasticidad) o dinámico (para cargas variables en el tiempo) expanden su aplicabilidad a problemas más complejos (ANSYS, 2022).

Sin embargo, las simulaciones tienen limitaciones que deben reconocerse. Como advierte Moaveni (2015), la calidad de los resultados depende críticamente de: (1) la densidad y tipo de malla, (2) la precisión de las propiedades del material, y (3) la correcta imposición de restricciones. Un error común es asumir que el software siempre proporciona resultados exactos, cuando en realidad solo aproxima soluciones dentro de márgenes de error controlables. Por ello, el usuario debe poseer conocimientos sólidos de mecánica estructural para interpretar correctamente salidas gráficas y numéricas.

En el contexto de esta investigación, la simulación de esfuerzos servirá como base para cuantificar cómo diferentes cargas afectan el comportamiento de una viga. Al integrar FEM con teoría clásica, se busca no solo obtener datos precisos, sino también desarrollar competencias en el uso de herramientas computacionales—una habilidad clave en la formación de tecnólogos electromecánicos (ABET, 2020).

Vigas Sujetas a Diferentes Tipos de Carga

Las vigas son elementos estructurales fundamentales diseñados para resistir cargas transversales mediante flexión. Según Hibbeler (2017), su análisis requiere comprender tres tipos básicos de carga: (1) **cargas puntuales** (fuerzas concentradas en un punto), que generan diagramas de momento flector triangulares; (2) **cargas distribuidas** (fuerzas repartidas a lo largo de la luz), que producen diagramas parabólicos; y (3) **momentos externos**, que inducen discontinuidades en el diagrama de momentos. Cada caso genera patrones distintos de esfuerzo normal (σ) y cortante (τ), con zonas críticas en apoyos, puntos de aplicación de cargas o secciones con cambio abrupto de geometría (Beer et al., 2019).

La teoría de vigas de Euler-Bernoulli proporciona el marco teórico para predecir su respuesta ante estas cargas. Según Timoshenko & Goodier (1970), esta teoría asume que las secciones planas permanecen planas después de la deformación (hipótesis de Navier), despreciando las deformaciones por cortante en vigas esbeltas (relación longitud/altura > 10). Las ecuaciones diferenciales derivadas ($EI \cdot d^2y/dx^2 = M(x)$) relacionan el momento flector (M) con la deflexión (y), permitiendo calcular esfuerzos normales como $\sigma = M \cdot y/I$, donde I es el momento de inercia de la sección. Para cargas combinadas, el principio de superposición simplifica el análisis sumando efectos individuales (Popov, 1999).

En vigas reales, las conexiones con otros elementos (como apoyos fijos o móviles) modifican sustancialmente su comportamiento. Como explica Ugural

(2017), un apoyo fijo (empotramiento) restringe rotaciones y desplazamientos, generando reacciones en momento que reducen la deflexión máxima pero aumentan los esfuerzos en el punto de fijación. En cambio, un apoyo simple (rodillo o pasador) solo restringe desplazamientos verticales, creando estructuras isostáticas más sencillas de analizar. La elección incorrecta de estas condiciones en modelos de simulación lleva a errores graves, como subestimar tensiones en zonas de conexión (Megson, 2005).

Los materiales utilizados en vigas también influyen en su capacidad de carga. Para aceros estructurales (como ASTM A36), Beer et al. (2019) destacan que su comportamiento elástico lineal ($E \approx 200 \text{ GPa}$) y límite de fluencia ($\sigma_y \approx 250 \text{ MPa}$) definen el rango de trabajo seguro. En simulaciones, estos valores deben ingresarse con precisión, ya que pequeños cambios en el módulo de elasticidad (E) alteran significativamente las deformaciones calculadas. Además, fenómenos como la concentración de esfuerzos en cambios de sección o agujeros requieren modelos de malla refinada para capturar gradientes locales (Shigley, 2011).

Las normativas internacionales (como AISC 360 o Eurocódigo 3) establecen criterios para diseñar vigas bajo cargas combinadas. Según McCormac (2016), estos estándares limitan las deflexiones máximas ($L/360$ para cargas vivas) y tensiones admisibles ($0.6\sigma_y$ para flexión), asegurando seguridad y funcionalidad. Validar simulaciones con estas normas no solo garantiza resultados realistas, sino que facilita su aplicación en proyectos certificables—un aspecto clave en formación tecnológica (ABET, 2020).

En esta investigación, el análisis de vigas bajo diferentes cargas integrará teoría clásica, normativas y simulación computacional. Este enfoque multidimensional permitirá a estudiantes de electromecánica entender no solo el "cómo" sino el "porqué" detrás de los patrones de esfuerzo, reforzando su capacidad para resolver problemas reales en diseño estructural (Dally & Sanford, 2020).

2.2. ANTECEDENTES

Antecedentes Institucionales

La Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM), Extensión El Carmen, es una institución de educación superior comprometida con el desarrollo técnico y científico de la provincia de Manabí, ubicada en el cantón El Carmen, ofrece programas académicos diseñados para responder a las demandas del sector productivo local, con un enfoque en la formación práctica y aplicada (ULEAM, 2025).

La carrera de Tecnología Superior en Electromecánica es uno de sus programas clave, orientado a formar profesionales capaces de integrar conocimientos de mecánica y electricidad en el mantenimiento, diseño y optimización de sistemas industriales y según el plan de estudios, los estudiantes desarrollan competencias en áreas como mecánica de materiales, diseño asistido por computadora y automatización, preparándolos para trabajar en sectores como la industria manufacturera, energía y agroindustria (ULEAM, 2025).

Sin embargo, a pesar de su enfoque técnico-práctico, la infraestructura de laboratorios en la extensión El Carmen es limitada. No existen laboratorios especializados en mecánica estructural, ensayos de materiales o análisis de esfuerzos, lo que restringe las oportunidades de experimentación práctica en estas áreas. El único taller disponible es el Taller de Soldadura, que, aunque útil para prácticas básicas de fabricación, no cubre las necesidades de análisis estructural avanzado.

Esta carencia ha llevado a que el aprendizaje en temas como resistencia de materiales y diseño mecánico dependa en gran medida de simulaciones computacionales y métodos teóricos, implementados en asignaturas como *Diseño Mecánico* y *Fundamentos de Mecánica*. Sin embargo, hasta antes de este proyecto, no se había desarrollado un estudio específico sobre el

comportamiento de vigas bajo diferentes tipos de carga, a pesar de su relevancia en aplicaciones electromecánicas.

Antecedentes del Tema

Antes de la ejecución de este proyecto, no existían en la ULEAM Extensión El Carmen estudios previos dedicados exclusivamente a la simulación de esfuerzos en vigas bajo diferentes tipos de carga. Si bien en asignaturas como *Diseño Mecánico* y *Fundamentos de Mecánica* se habían realizado simulaciones básicas de componentes estructurales, estas se enfocaban en conceptos generales sin profundizar en casos específicos de análisis de vigas.

En la ULEAM Extensión El Carmen no se contaba con un protocolo establecido para este tipo de análisis, limitando a los estudiantes a ejercicios teóricos o simulaciones muy básicas en software como SolidWorks sin una metodología clara. Esto representaba una desventaja formativa, dado que el análisis de vigas es fundamental en aplicaciones electromecánicas reales.

Además, la falta de equipos experimentales imposibilitaba la validación práctica de resultados teóricos, haciendo aún más relevante el uso de herramientas de simulación confiables. Este proyecto se planteó, entonces, como una solución viable para suplir estas carencias, aprovechando software de simulación accesible para generar datos comparables con la teoría clásica de vigas.

Con esta investigación, se establece por primera vez en la institución un marco de trabajo reproducible para el análisis de esfuerzos en vigas, sentando las bases para futuros proyectos de grado y vinculando directamente los contenidos académicos con necesidades técnicas del sector industrial local.

2.3. TRABAJOS RELACIONADOS

Un estudio relevante en la Universidad Politécnica de Cataluña, que investigó la resistencia al cortante en vigas continuas de hormigón armado, destacando la complejidad de modelar este fenómeno debido a la fisuración diagonal, fragilidad del material y efectos de escala (Domínguez, 2018). Su trabajo validó el Modelo de Capacidad de la Cuerda Comprimida (CCCM) mediante 30 ensayos, obteniendo una correlación entre predicciones y resultados reales, lo que demuestra la importancia de considerar condiciones realistas de carga y apoyos en las simulaciones.

En Argentina, se desarrolló una innovadora propuesta didáctica utilizando el software GeoGebra para simular esfuerzos internos en vigas simplemente apoyadas con voladizos, mediante el diseño de applets interactivos que permitían visualizar en tiempo real los diagramas de esfuerzo cortante y momento flector al variar cargas puntuales y distribuidas (Gallo, Seiler, & Herrera, 2024). Esta investigación demostró que los estudiantes comprendían más fácilmente los conceptos cualitativos de distribución de esfuerzos mediante simulaciones dinámicas, aunque presentaban dificultades al relacionarlos con aspectos cuantitativos, revelando la importancia de complementar herramientas tecnológicas con fundamentos teóricos sólidos.

En Ecuador, específicamente en la provincia del Azuay, en la Universidad Politécnica Salesiana se realizó un estudio comparativo mediante simulación numérica en ANSYS sobre el comportamiento de uniones viga-columna en estructuras metálicas para viviendas sociales en Cuenca. Su investigación analizó dos tipos de uniones (soldadas y empernadas) bajo cargas progresivas, determinando que las uniones soldadas presentaban menores factores de utilización según normativa ecuatoriana, aunque las empernadas ofrecían mayor versatilidad en montaje (Cárdenas & Mejía, 2018).

En la provincia de Manabí, en Manta, Carvajal se desarrolló una investigación pionera en el análisis comparativo de estructuras de hormigón armado con y sin reforzamiento de FRP (Fibras Reforzadas con Polímeros) mediante modelado

en el software SeismoStruct, su estudio, que incluyó 50 modelos computacionales con diversas configuraciones geométricas (vigas banda, estructuras irregulares, etc.), demostró que el uso de FRP incrementaba significativamente la capacidad estructural ante cargas sísmicas, reduciendo desplazamientos y mejorando el desempeño global (Carvajal, 2015).

CAPÍTULO III: DESARROLLO DE LA PROPUESTA

Sugerencia general. – En este capítulo se deben detallar todos los componentes relacionados con el desarrollo o ejecución de la propuesta, de preferencia deben ser organizados de acuerdo con los objetivos específicos planteados. En este capítulo se deben incluir diseños, diagramas, desglose de gastos, cálculos, planos y demás elementos que permitan mostrar el desarrollo de la propuesta.

3.1. DESARROLLO

En esta sección se describe la implementación práctica de la propuesta, orientada a analizar mediante simulación computacional el comportamiento de vigas metálicas sometidas a distintas condiciones de carga. Se trabajó con cuatro perfiles estructurales disponibles en la base de datos del software CAD: tubo cuadrado 80×80×5 mm, tubo rectangular 120×80×8 mm, canal C 150×15×12.2 mm e IPE160, todos con una longitud de 3000 mm, valor representativo de la separación típica entre columnas en construcciones locales. Se utilizó acero A36 como material para todas las simulaciones, por su uso generalizado en estructuras y su límite elástico de 250 MPa. Las condiciones de carga aplicadas fueron: una carga puntual de 3000 N al centro, una carga distribuida de 6000 N/m y una carga combinada. Los extremos de las vigas fueron fijados geométricamente. Se obtuvieron como resultados los diagramas de esfuerzo, deformación máxima, distribución del factor de seguridad y momento flector, verificando que todas las deformaciones estuvieron por debajo del límite permisible de 10 mm para estructuras arquitectónicas. Esta información sustenta el análisis comparativo presentado en los apartados siguientes.

3.1.1. Descripción de la propuesta

La propuesta desarrollada tiene como finalidad analizar la respuesta estructural de distintos perfiles metálicos sometidos a diferentes condiciones de carga, mediante el uso de simulación computacional como herramienta de apoyo en la enseñanza y evaluación estructural. Este enfoque permitió cumplir con los objetivos específicos de manera progresiva, desde el modelado tridimensional hasta el análisis comparativo de resultados.

Objetivo Específico 1: Diseñar un modelo CAD que represente una viga sometida a condiciones geométricas y estructurales adecuadas para su análisis mecánico.

Para cumplir con este objetivo, se seleccionaron cuatro perfiles estructurales estándar: tubo cuadrado 80×80×5 mm, tubo rectangular 120×80×8 mm, canal C 150×15×12.2 mm e IPE160, todos con una longitud de 3000 mm. Los modelos fueron construidos utilizando herramientas de diseño asistido por computadora, asegurando que las geometrías fueran precisas y compatibles con las condiciones reales de aplicación. Cada perfil fue orientado adecuadamente para maximizar su momento de inercia, lo que permitió una base sólida para el análisis estructural posterior.

Objetivo Específico 2: Simular el comportamiento de la viga ante diferentes tipos de carga (puntual, distribuida y combinada), utilizando herramientas de simulación computacional.

En esta etapa se aplicaron tres configuraciones de carga: una carga puntual centrada de 3000 N, una carga distribuida de 6000 N/m sobre toda la longitud de la viga, y una combinación de ambas. Las condiciones de contorno fueron definidas como fijaciones geométricas en ambos extremos, representando empotramientos rígidos. Se utilizó acero A36 como material de simulación en todos los casos, con propiedades mecánicas estándar y un límite elástico de 250 MPa. Estas condiciones permitieron ejecutar simulaciones bajo régimen elástico lineal, obteniendo resultados relevantes y seguros.

Objetivo Específico 3: Analizar y comparar los patrones de esfuerzos y deformaciones obtenidos en cada caso, identificando zonas críticas y relaciones carga-respuesta.

Una vez obtenidos los resultados de cada simulación, se procedió al análisis de esfuerzos máximos (en MPa), deformaciones máximas (en mm), factor de seguridad mínimo y momentos flectores. Estos datos permitieron identificar el comportamiento estructural de cada perfil ante las distintas cargas, destacando zonas críticas de concentración de tensiones y deformaciones. La información obtenida se comparó con los límites admisibles para estructuras arquitectónicas,

como el caso de la deformación máxima permitida de 10 mm, lo cual permitió validar la funcionalidad estructural de todos los perfiles simulados.

3.1.2. Etapas

Etapas 1: Actividades realizadas para cumplir el Objetivo Específico 1

La primera etapa consistió en la selección y modelado de los perfiles estructurales a utilizar. Se eligieron cuatro perfiles metálicos normalizados, todos con una longitud de 3000mm, tal como se mencionó en el punto anterior. Estos perfiles fueron seleccionados por su disponibilidad en el mercado local y por encontrarse en la base de datos del software CAD utilizado. Posteriormente, se generaron los modelos tridimensionales utilizando herramientas de diseño paramétrico, cuidando que las orientaciones maximizaran el momento de inercia en cada caso. Cada modelo fue preparado para simular condiciones realistas de trabajo estructural.

Etapas 2: Actividades realizadas para cumplir el Objetivo Específico 2

Una vez completado el diseño de los modelos, se procedió a la configuración de las condiciones de carga y contorno para realizar las simulaciones. Se definieron tres escenarios de carga: una carga puntual aplicada al centro de la viga, una carga distribuida uniforme sobre toda la longitud, y una combinación simultánea de ambas. Los extremos de cada viga fueron fijados geométricamente para simular un empotramiento completo. Se asignó el material acero A36 a cada modelo, con propiedades mecánicas predeterminadas, incluyendo un límite elástico de 250 MPa. Las simulaciones se ejecutaron bajo un análisis estático lineal para obtener resultados dentro del rango elástico del material.

Etapas 3: Actividades realizadas para cumplir el Objetivo Específico 3

Con los resultados generados por el software de simulación, se procedió al análisis de los principales parámetros estructurales. Se evaluaron los esfuerzos

máximos en MPa, la deformación máxima en mm, el factor de seguridad mínimo y el diagrama del momento flector. Se identificaron las zonas críticas en cada perfil, tanto en términos de tensión como de deformación. Posteriormente, se compararon los resultados entre perfiles y tipos de carga, verificando que todas las deformaciones estuvieran por debajo del límite máximo permitido para estructuras arquitectónicas (10 mm). Esta etapa permitió establecer relaciones claras entre la geometría del perfil, la condición de carga y la respuesta estructural.

3.1.3. Presupuesto

El desarrollo del proyecto no requirió gastos económicos, ya que todas las actividades se realizaron mediante simulación computacional utilizando herramientas disponibles en el entorno académico. No fue necesario adquirir materiales físicos ni realizar construcciones o pruebas experimentales. Por lo tanto, el presupuesto general cubrió los tres objetivos de manera integral sin incurrir en costos adicionales.

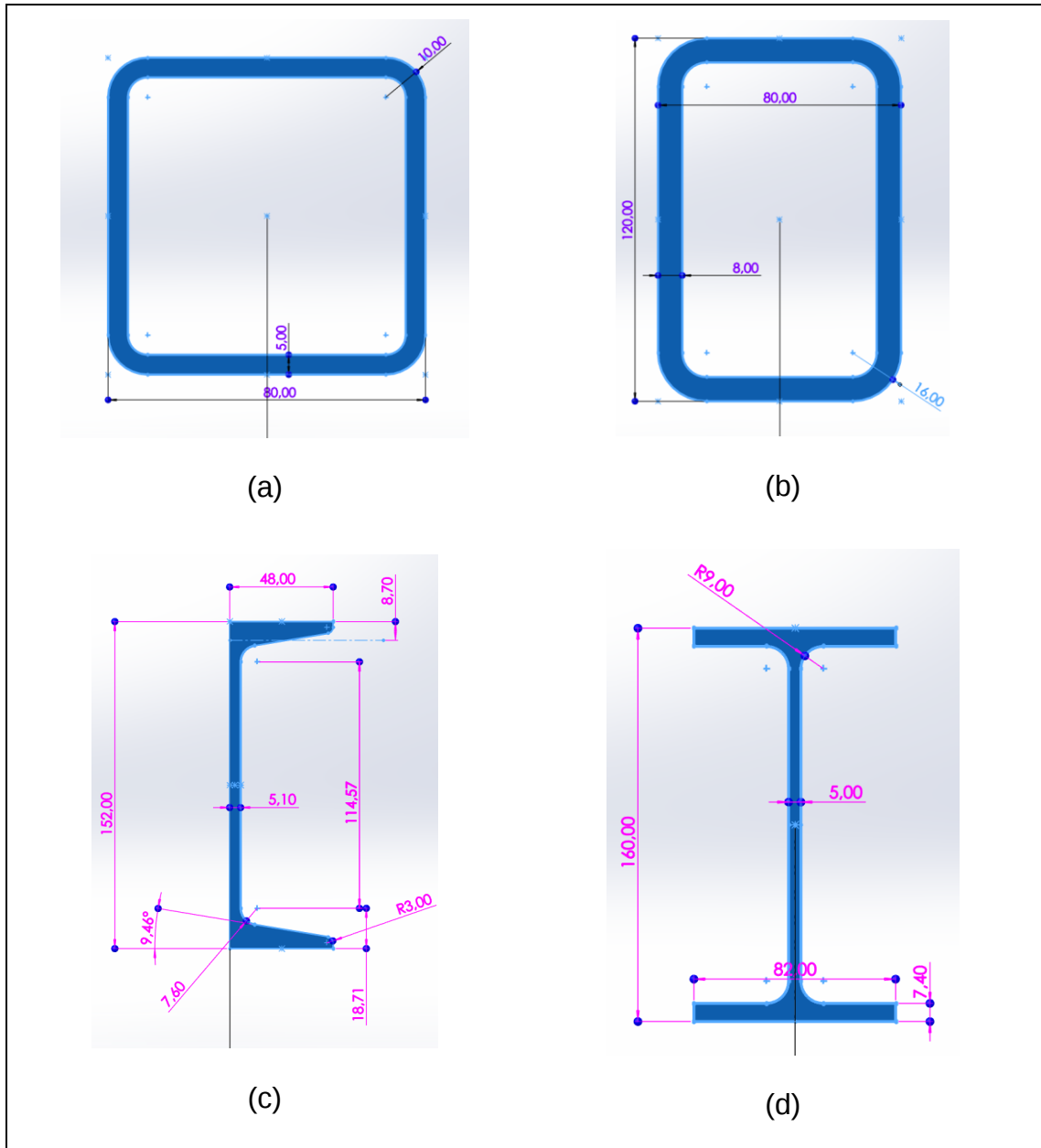
3.2. RESULTADOS

Objetivo 1: Logros obtenidos en el Objetivo Específico 1

Se cumplió satisfactoriamente con el modelado de los cuatro perfiles estructurales seleccionados: tubo cuadrado 80×80×5 mm, tubo rectangular 120×80×8 mm, canal C 150×15×12.2 mm e IPE160. Todos los modelos fueron contruidos a partir de la biblioteca de elementos estructurales del software CAD, lo que garantizó la exactitud en sus dimensiones. Se orientaron correctamente para maximizar su momento de inercia, especialmente en los casos del perfil rectangular, canal C e IPE, donde el lado más largo fue dispuesto verticalmente.

Ilustración 1.

Perfiles estandarizados con sus medidas seleccionados para la simulación, en orden: perfil cuadrado (a), perfil rectangular (b), perfil en C (c) y perfil IPE (d).

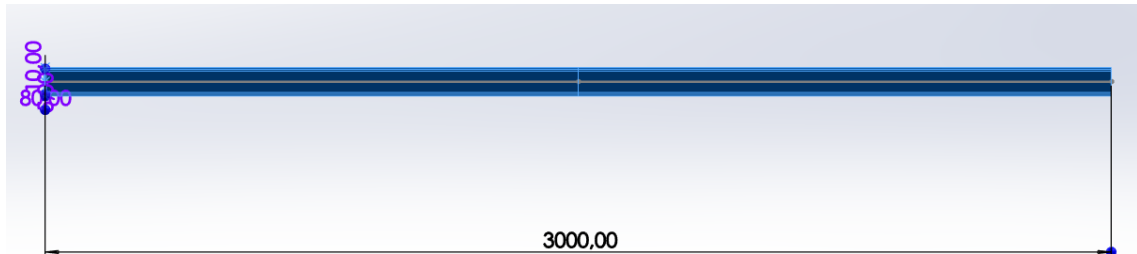


Cada perfil fue modelado con una longitud de 3000 mm, valor que se considera una medida típica de separación entre columnas en edificaciones residenciales e industriales. Esta dimensión permitió simular condiciones estructurales reales en las que normalmente se emplean este tipo de elementos. La modelación

paramétrica permitió una rápida adaptación para cada condición de carga posteriormente aplicada.

Ilustración 2.

Vista lateral del perfil estructural cuadrado mostrando su longitud.

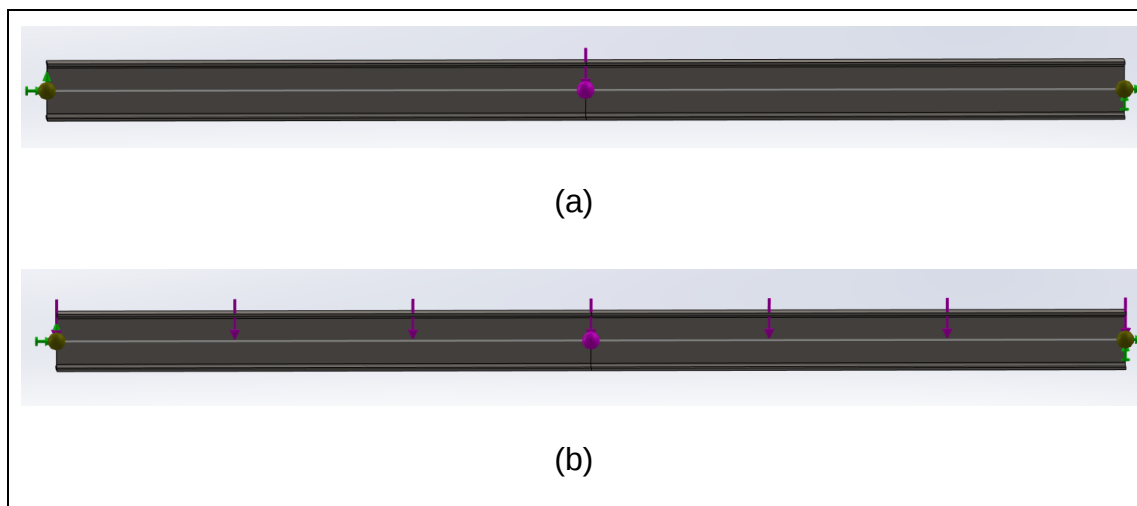


Objetivo 2: Logros obtenidos en el Objetivo Específico 2

Las simulaciones fueron ejecutadas con éxito bajo tres configuraciones de carga: una carga puntual de 3000 N aplicada en el centro de la viga, una carga distribuida uniforme de 6000 N/m a lo largo de la viga, y una combinación de ambas. En todos los casos, se asignó acero A36 como material estructural, con un límite elástico de 250 MPa. Las condiciones de contorno consistieron en fijaciones completas en ambos extremos, simulando empotramientos rígidos.

Ilustración 3.

Carga puntual (a) y carga distribuida (b) aplicadas sobre la viga con perfil IPE.



Los resultados obtenidos incluyeron mapas de esfuerzo (MPa), desplazamiento máximo (mm), factor de seguridad mínimo y gráfico del momento flector (triangular para carga puntual, parabólico para carga distribuida y combinado para carga mixta). Las deformaciones obtenidas estuvieron dentro del límite máximo admisible de 10 mm (según la relación $L/300$), lo que valida estructuralmente los modelos.

Objetivo 3: Logros obtenidos en el Objetivo Específico 3

El análisis comparativo mostró que el perfil IPE160 presentó el mejor desempeño global, con el menor esfuerzo máximo (51.76 MPa), la menor deformación (1.12 mm) y un factor de seguridad mínimo de 4.83, muy por encima del límite de fluencia. Por otro lado, el perfil cuadrado 80x80x5 fue el más exigido estructuralmente, alcanzando el mayor esfuerzo (171.17 MPa) y la mayor deformación (6.6 mm) bajo carga combinada, con un factor de seguridad mínimo de apenas 1.46, aunque aún dentro del rango aceptable.

Ilustración 4.

Distribución de esfuerzos con carga combinada y punto de máximo esfuerzo en la viga con perfil IPE160.

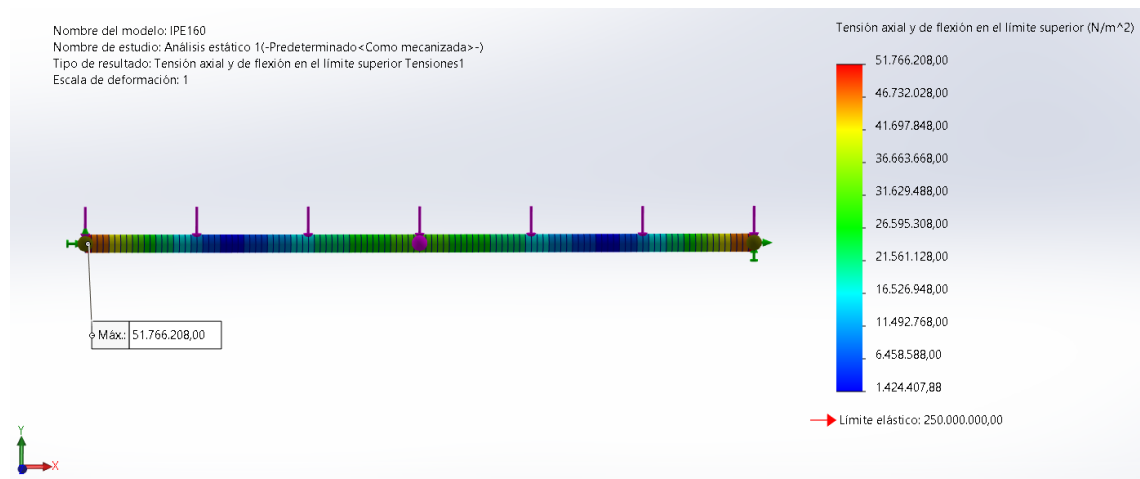
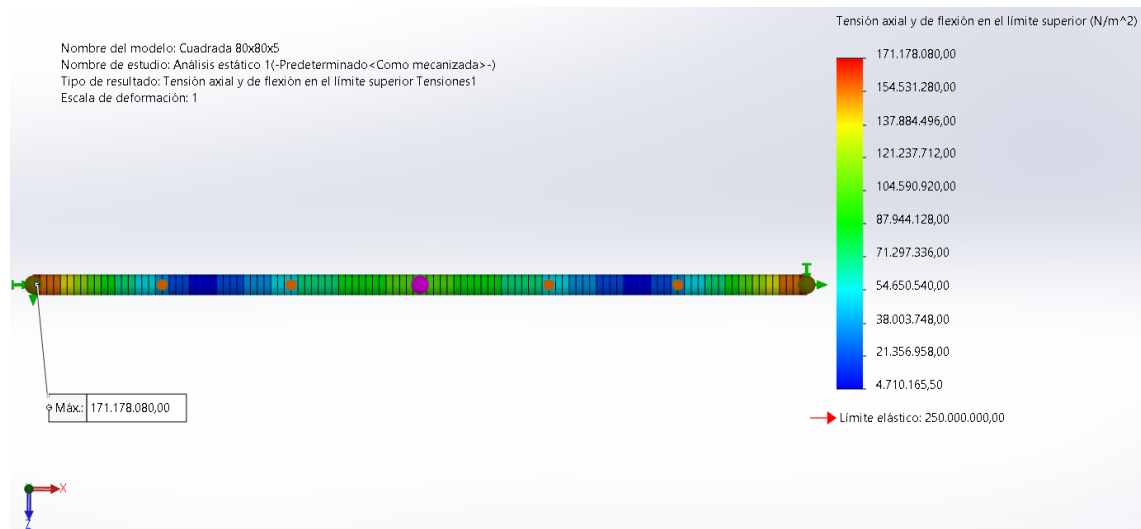


Ilustración 5.

Distribución de esfuerzos con carga combinada y punto de máximo esfuerzo en la viga con perfil cuadrado.



El perfil rectangular 120x80x8 también demostró un buen desempeño, con bajos niveles de deformación (1.77 mm en el peor caso) y un esfuerzo máximo de 68.07 MPa. Su diseño de alma más ancha y mayor espesor permitió una mejor resistencia en comparación con el perfil cuadrado. El canal C tuvo un comportamiento intermedio, con esfuerzo máximo de 79.80 MPa y deformación de hasta 4 mm, lo que lo hace apto para aplicaciones de carga moderada.

En normativas tales como ACI 318, **AISC**, **Normas Ecuatorianas de la Construcción (NEC)** aquí en Ecuador, o las **NTC (Normas Técnicas Complementarias)** se puede encontrar la ecuación:

$$f_{m\acute{a}x} = \frac{L}{a}$$

Donde:

$f_{m\acute{a}x}$ Deflexión máxima de la viga

L Longitud de la viga en mm

a Coeficiente estructural

El valor del coeficiente puede variar entre 180 y 480 y para este caso se selecciona un valor de 300 que es típico en estructura de resistencia media. Tomando en cuenta que la longitud de la viga es de 3000mm, la deflexión máxima es de 10mm.

La siguiente tabla resume los valores máximos críticos por perfil:

Tabla 1.

Resumen de resultados de simulación para los cuatro perfiles.

Perfil	Esfuerzo máx (MPa)	Deformación máx (mm)	FS mínimo
Cuadrado 80x80x5	171.17	6.60	1.46
Rectangular 120x80x8	68.07	1.77	3.67
Canal C 150x15x12.2	79.80	4.00	3.13
IPE160	51.76	1.12	4.83

CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

Conclusión del Objetivo Específico 1:

Se cumplió satisfactoriamente con el primer objetivo, al diseñar modelos CAD de cuatro perfiles estructurales utilizados comúnmente como vigas: tubo cuadrado, tubo rectangular, canal tipo C y perfil IPE. Los modelos fueron generados con dimensiones reales disponibles en el mercado ecuatoriano y bajo criterios técnicos adecuados para garantizar su correcto análisis estructural. La longitud de 3000 mm seleccionada representa una medida estándar en estructuras portantes, lo que permitió contextualizar adecuadamente las simulaciones.

Conclusión del Objetivo Específico 2:

El segundo objetivo también fue alcanzado con éxito. Se realizaron simulaciones estructurales aplicando tres tipos de carga (puntual, distribuida y combinada) sobre cada perfil, bajo condiciones de empotramiento en los extremos y utilizando acero A36 como material de análisis. Los resultados obtenidos (esfuerzos, deformaciones, factores de seguridad y momentos flectores) fueron coherentes con el comportamiento esperado en régimen elástico lineal, permitiendo validar el uso del modelo computacional como herramienta confiable para el estudio estructural.

Conclusión del Objetivo Específico 3:

El análisis comparativo entre perfiles estructurales permitió identificar sus fortalezas y limitaciones frente a diferentes tipos de carga. Se comprobó que todos los perfiles simulaban correctamente sin superar el límite elástico ni la deformación máxima admisible de 10 mm. El perfil IPE160 presentó el mejor desempeño global, con menores esfuerzos y deformaciones, mientras que el perfil cuadrado fue el más exigido estructuralmente. Esto demuestra que el uso de simulación computacional facilita la comprensión del comportamiento

mecánico de las vigas y apoya eficazmente el proceso formativo en la carrera de Electromecánica.

4.2. RECOMENDACIONES

Se recomienda integrar el uso de simulación computacional como herramienta didáctica en las asignaturas de resistencia de materiales y diseño estructural. Esto permitirá a los estudiantes visualizar, comparar y comprender el comportamiento real de diferentes elementos estructurales sin necesidad de recurrir a costosos ensayos físicos.

Se sugiere profundizar en el análisis del diseño de perfiles estructurales, no solo desde el punto de vista teórico, sino también mediante simulaciones que permitan experimentar con distintos materiales, cargas y condiciones de contorno. Esta práctica fortalecerá sus competencias técnicas y su capacidad de toma de decisiones en contextos reales de trabajo.

Se recomienda mantener actualizado el software de simulación y ampliar las bibliotecas de materiales y perfiles estructurales disponibles, de modo que los análisis sean cada vez más precisos y representativos del entorno constructivo local. Además, se podría considerar el desarrollo de guías prácticas que acompañen el uso de estas herramientas en los talleres o laboratorios de simulación estructural.

BIBLIOGRAFÍA

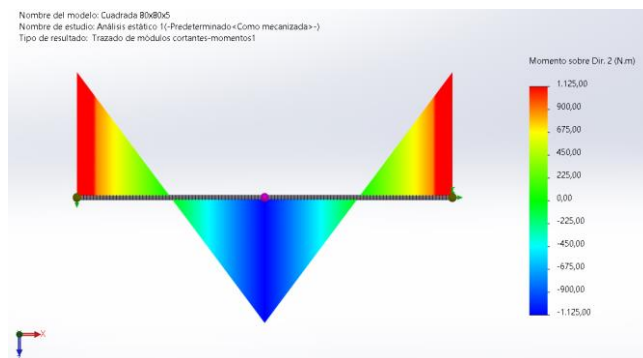
- Cárdenas, F., & Mejía, I. (2018). *Simulación Del Comportamiento De La Unión Entre Elementos Metálicos (Vigas Y Columnas) Para Uniones Soldadas Y Empernadas Del Proyecto De Vivienda Los Capulíes En La Ciudad De Cuenca*. Cuenca: UPS.
- Carvajal, D. (2015). *Análisis Comparativo De Estructuras Con Y Sin Reforzamiento (Frp) Mediante Modelados En El Software Basado En Elementos Finitos Seismostruct*. Manta: ULEAM.
- COMSOL. (21 de Febrero de 2017). *Multiphysics Cycolpedia*. Obtenido de Refinamiento de malla de elementos finitos: <https://www.comsol.com/multiphysics/mesh-refinement>
- Domínguez, V. (2018). *Resistencia A Esfuerzo Cortante De Vigas Continuas De Hormigón Armado*. Barcelona: UPC.
- FEA for All. (12 de Abril de 2017). *FEA for All*. Obtenido de ¿Qué es el análisis estático lineal en la simulación FEA?: <https://feaforall.com/linear-static-analysis-fea/>
- Gallo, H., Seiler, F., & Herrera, C. (2024). Simulación de esfuerzos internos en vigas utilizando software dinámico GeoGebra aplicado a la docencia . *Revista do Instituto GeoGebra de São Paulo*, 048-061.
- Gutiérrez, J., Luna, A., Sepúlveda, A., & Alemán, J. (2024). Simulación de esfuerzos mecánicos en materiales para la ingeniería. *Epistemus*, 1-24.
- INSPENET. (12 de Agosto de 2024). *INSPENET*. Obtenido de Aplicaciones y beneficios del análisis por elementos finitos: <https://inspenet.com/articulo/aplicaciones-analisis-elementos-finitos/>
- Kleijnenen, J. (1998). *Validación de la simulación, con y sin datos reales*. Tilburgo: Tilburg University.
- Montijo, E., Ramírez, F., & Cerón, A. (2018). Análisis teórico y simulado del esfuerzo máximo permisible en barras rectangulares y ejes . *Academia Journals*, 1535-1540.
- Pilamunga, J., & Guerrero, D. (2022). Simulación del comportamiento de cargas diversas en conexiones de cubierta plana autoportante con vigas laterales mediante elementos finitos. *Publicaciones en Ciencia y Tecnología*, 76-94.

- SOLIDWORKS. (23 de Diciembre de 2020). *SOLIDWORKS LATAM y España* .
Obtenido de SOLIDWORKS: El poder del modelado paramétrico y un
buen intento de diseño:
[https://blogs.solidworks.com/solidworkslatamyesp/solidworks-
blog/solidworks/solidworks-el-poder-del-modelado-parametrico-y-un-
buen-intento-de-diseno/](https://blogs.solidworks.com/solidworkslatamyesp/solidworks-blog/solidworks/solidworks-el-poder-del-modelado-parametrico-y-un-buen-intento-de-diseno/)
- Tejerizo, M. (2015). *Elaboración de fórmulas analíticas y tablas de cálculo para las estructuras metálicas de acero según la normativa Eurocódigo 3*.
Barcelona: ETSEIB.
- ULEAM. (Junio de 2025). *ULEAM Extensión El Carmen*. Obtenido de
<https://carreras.uleam.edu.ec/extension-el-carmen/>
- ULEAM. (Junio de 2025). *ULEAM Extensión El Carmen*. Obtenido de
Electromecánica: [https://carreras.uleam.edu.ec/extension-el-
carmen/carrera-electromecanica/](https://carreras.uleam.edu.ec/extension-el-carmen/carrera-electromecanica/)

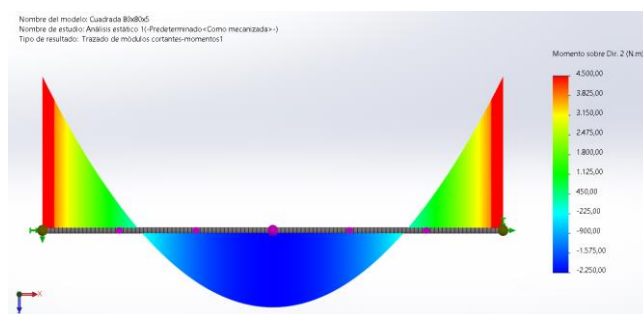
ANEXOS

Tabla 2.

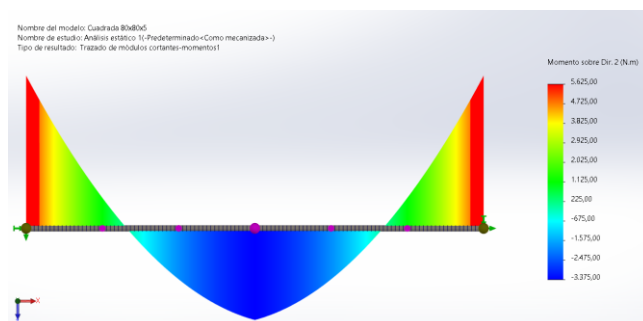
Gráficas de momento flector para una carga puntual (a), carga distribuida (b) y carga combinada (c) del perfil cuadrado mostrando los puntos críticos a analizar. Para todos los perfiles los gráficos son iguales ya que las cargas y su posición son las mismas y además la longitud de la viga es la misma.



(a)



(b)



(c)



Anderson Delgado - Christofer Zambrano

3%
Textos
sospechosos

3% Similitudes
0% similitudes entre comillas
< 1% entre las fuentes mencionadas
0% Idiomas no reconocidos
49% Textos potencialmente generados por la IA (ignorado)

Nombre del documento: Anderson Delgado - Christofer Zambrano.docx
ID del documento: f49fab2c9ca56f3eff47d822a4fdd9b903d50905
Tamaño del documento original: 621,02 kB

Depositante: RENE FERNANDO LOPEZ BARBERAN
Fecha de depósito: 19/8/2025
Tipo de carga: Interface
Fecha de fin de análisis: 19/8/2025

Número de palabras: 6461
Número de caracteres: 46.118

Ubicación de las similitudes en el documento:

Fuentes principales detectadas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	Olalla.pdf Olalla #bf3595 Viene de de mi grupo 3 fuentes similares	1%		Palabras idénticas: 1% (56 palabras)
2	MIGUE-CESAR-ELECTROMECANICA.pdf MIGUE-CESAR-ELECTROMECAN... #303ce0 Viene de de mi grupo 3 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (62 palabras)
3	MENDOZA ZAMBRANO.pdf MENDOZA ZAMBRANO #42d750 Viene de de mi grupo 1 fuente similar	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (51 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	doi.org Simulación de esfuerzos internos en vigas utilizando software dinámico G... https://doi.org/10.23925/2237-9657.2024.v13i2p048-061	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (14 palabras)
2	erasarquitectonicas.net Análisis de estructuras con software: FEA y los progra... https://erasarquitectonicas.net/arquitectura-y-tecnologia/analisis-estructuras-software-fea-pr...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (14 palabras)
3	repositorio.uleam.edu.ec https://repositorio.uleam.edu.ec/bitstream/123456789/7547/1/ULEAM-ELECTM-025.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (11 palabras)
4	repositorio.uleam.edu.ec https://repositorio.uleam.edu.ec/bitstream/123456789/1142/1/ULEAM-IC-0029.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (11 palabras)
5	dspace.ups.edu.ec Diseño de una edificación para uso residencial de acero estr... http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/29491	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (12 palabras)

Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas)

Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

- <https://www.comsol.com/multiphysics/mesh-refinement>
- <https://feaforall.com/linear-static-analysis-fea/>
- <https://inspenet.com/articulo/aplicaciones-analisis-elementos-finitos/>
- <https://carreras.uleam.edu.ec/extension-el-carmen/>
- <https://carreras.uleam.edu.ec/extension-el-carmen/carrera-electromecanica/>