



## **UNIVERSIDAD LAICA “ELOY ALFARO” DE MANABÍ**

### **Título:**

Análisis estructural de soportes metálicos de uso industrial  
utilizando software de simulación

### **Autores:**

Ítalo René Vera Mendoza  
Wellington José Pincay Loor

### **Tutor(a)**

Ing. René F. López Barberán

### **Unidad Académica:**

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

### **Carrera:**

Tecnología Superior en Electromecánica

**El Carmen, febrero 2026**

## **CERTIFICACION DEL TUTOR**

Ing. René F. López Barberán; docente de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, Unidad Académica de Formación Técnica y Tecnológica, Educación Virtual y Otras Modalidades, en calidad de Tutor(a).

### **CERTIFICO:**

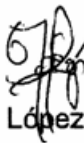
Que el presente proyecto integrador con el título: “Análisis estructural de soportes metálicos de uso industrial utilizando software de simulación” ha sido exhaustivamente revisado en varias sesiones de trabajo, está listo para su presentación y apto para su defensa.

Las opciones y conceptos vertidos en este documento son fruto de la perseverancia y originalidad de su(s) autor(es):

*Ítalo René Vera Mendoza, Wellington José Pincay Loor*

Siendo de su exclusiva responsabilidad.

**El Carmen, febrero 2026**



Ing. René F. López Barberán

TUTOR(A)

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Quien(es) suscribe(n) la presente:

*Ítalo René Vera Mendoza, Wellington José Pincay Loor*

Estudiante(s) de la Carrera de **Tecnología Superior en Electromecánica**, declaro(amos) bajo juramento que el presente proyecto integrador cuyo título: “Análisis estructural de soportes metálicos de uso industrial utilizando software de simulación”, previa a la obtención del Título de Tecnología 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, febrero 2026**



Ítalo René Vera Mendoza



Wellington José Pincay Loor



## APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Los miembros del Tribunal Examinador aprueban el Trabajo de Titulación con modalidad Proyecto Integrador, titulado: “Análisis estructural de soportes metálicos de uso industrial utilizando software de simulación” de su(s) autor(es): Ítalo René Vera Mendoza, Wellington José Pincay Loor de la Carrera “**Tecnología Superior en Electromecánica**”, y como Tutor(a) del Trabajo el/la Ing. René F. López Barberán

**El Carmen, febrero 2026**

Ing. Saed Reascos, Mag.  
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. René F. López Barberán  
TUTOR(A)

Ing. Rocío Mendoza, Mag.  
PRIMER MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Carlos López, Mag.  
SEGUNDO MIEMBRO DEL TRIBUNAL

## **AGRADECIMIENTO**

Expresamos nuestro sincero agradecimiento a Dios, por concedernos la fortaleza, sabiduría y constancia necesarias para culminar esta significativa etapa de nuestra formación profesional. Su guía ha sido esencial para afrontar los desafíos académicos y mantenernos firmes en el camino hacia el logro de este objetivo.

A nuestros padres y familia, por su apoyo incondicional, comprensión y motivación permanente. Sus enseñanzas, valores y confianza han sido el pilar fundamental que nos permitió avanzar con determinación y convertir este anhelado sueño en una realidad, marcando así el inicio de nuevos retos en nuestra vida profesional.

*Ítalo René Vera Mendoza, Wellington José Pincay Loor*

## **DEDICATORIA**

Dedicamos este trabajo principalmente a Dios, por iluminarnos y otorgarnos la fortaleza necesaria para culminar esta meta académica. A nuestros padres, quienes con su amor, sacrificio y apoyo incondicional han sido el motor que impulsó cada uno de nuestros esfuerzos, brindándonos la oportunidad de alcanzar nuestra formación profesional.

Asimismo, lo dedicamos a nuestra familia, por su comprensión, confianza y palabras de aliento en los momentos más exigentes de este proceso. Este logro también les pertenece, pues su respaldo constante fue fundamental para mantenernos firmes y comprometidos hasta alcanzar este importante objetivo en nuestras vidas.

*Ítalo René Vera Mendoza, Wellington José Pincay Loor*

## **RESUMEN**

En el ámbito industrial, los soportes metálicos destinados a sostener motores de carga cumplen una función esencial para garantizar la estabilidad, seguridad y continuidad operativa de los equipos. Sin embargo, el diseño de estos elementos suele realizarse mediante métodos simplificados, lo que dificulta prever su comportamiento real ante condiciones de carga. El objetivo general de esta investigación fue analizar estructuralmente un soporte metálico de uso industrial mediante software de simulación, evaluando su comportamiento mecánico y el cumplimiento de criterios de seguridad. La metodología empleada fue de enfoque cuantitativo, descriptivo y analítico, basada en el modelado tridimensional y el análisis mediante el Método de los Elementos Finitos, sin ejecución física de la estructura. Los resultados permitieron identificar la distribución de esfuerzos, deformaciones y factores de seguridad, así como zonas críticas del soporte bajo una carga simulada. Se concluye que el uso de software de simulación constituye una herramienta eficaz para el análisis y optimización de soportes metálicos, contribuyendo a mejorar la seguridad estructural y la eficiencia del diseño en aplicaciones industriales.

## **PALABRAS CLAVE**

Soportes metálicos, análisis estructural, simulación estructural, Método de los Elementos Finitos, estructuras metálicas industriales.

## **ABSTRACT**

In the industrial field, metal supports designed to hold load motors play an essential role in ensuring equipment stability, safety, and operational continuity. However, the design of these elements is often carried out using simplified methods, which makes it difficult to predict their real behavior under loading conditions. The general objective of this research was to structurally analyze an industrial metal support using simulation software, evaluating its mechanical behavior and compliance with safety criteria. The methodology followed a quantitative, descriptive, and analytical approach, based on three-dimensional modeling and analysis using the Finite Element Method, without physical execution of the structure. The results allowed the identification of stress distribution, deformations, safety factors, and critical zones of the support under simulated loading conditions. It is concluded that structural simulation software is an effective tool for the analysis and optimization of metal supports, contributing to improved structural safety and design efficiency in industrial applications.

## **KEYWORDS**

Metal supports, structural analysis, structural simulation, Finite Element Method, industrial metal structures.

## ÍNDICE

|  |      |
|--|------|
| CERTIFICACION DEL TUTOR .....                  | I    |
| DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....                   | II   |
| APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....      | III  |
| AGRADECIMIENTO .....                           | IV   |
| DEDICATORIA.....                               | V    |
| RESUMEN .....                                  | VI   |
| PALABRAS CLAVE .....                           | VI   |
| ABSTRACT .....                                 | VII  |
| KEYWORDS .....                                 | VII  |
| ÍNDICE .....                                   | VIII |
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....                  | IX   |
| CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN .....                 | 1    |
| 1.1. PROBLEMA .....                            | 2    |
| 1.2. JUSTIFICACIÓN.....                        | 3    |
| 1.3. OBJETIVOS.....                            | 4    |
| 1.3.1. Objetivo general .....                  | 4    |
| 1.3.2. Objetivos específicos.....              | 5    |
| 1.4. METODOLOGÍA .....                         | 5    |
| 1.4.1. Procedimiento.....                      | 5    |
| 1.4.2. Técnicas.....                           | 6    |
| 1.4.3. Métodos.....                            | 8    |
| CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....                | 9    |
| 2.1. DEFINICIONES .....                        | 9    |
| 2.2. ANTECEDENTES.....                         | 12   |
| 2.3. TRABAJOS RELACIONADOS.....                | 13   |
| CAPÍTULO III: DESARROLLO DE LA PROPUESTA ..... | 15   |
| 3.1. DESARROLLO .....                          | 15   |
| 3.1.1. Descripción de la propuesta .....       | 19   |
| 3.1.1. Descripción de la propuesta .....       | 20   |
| 3.1.2. Etapas.....                             | 21   |

|  |    |
|--|----|
| 3.1.3. Presupuesto.....                          | 22 |
| 3.2. RESULTADOS.....                             | 22 |
| CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 24 |
| 4.1. CONCLUSIONES .....                          | 24 |
| 4.2. RECOMENDACIONES.....                        | 25 |
| Bibliografía.....                                | 26 |
| ANEXOS .....                                     | 28 |

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

|  |    |
|--|----|
| <b>Ilustración 1.</b> Geometría general del soporte metálico para motor de carga (modelo CAD) .....                                | 16 |
| <b>Ilustración 2.</b> Modelo del soporte metálico con carga estática aplicada. ....  | 17 |
| <b>Ilustración 3.</b> Distribución de tensiones nodales mediante análisis estático de la estructura metálica. ....                 | 18 |
| <b>Ilustración 4.</b> Distribución del factor de seguridad en los elementos de la estructura metálica.....                         | 18 |
| <b>Ilustración 5.</b> Distribución de desplazamientos totales en la estructura metálica bajo carga. ....                           | 19 |
| <b>Ilustración 6.</b> Estructura metálica de izaje industrial con carga nominal equivalente de 981 N (masa aplicada: 100 kg). .... | 28 |

## **CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN**

En el contexto industrial actual, las estructuras metálicas destinadas a soportar motores de carga cumplen una función crítica dentro de los procesos productivos, ya que garantizan la estabilidad de los equipos y la seguridad operativa (Gaurav, 2019). Estos soportes deben resistir cargas estáticas y dinámicas derivadas del funcionamiento continuo de la maquinaria, por lo que su análisis estructural resulta indispensable para prevenir fallas, accidentes laborales y pérdidas económicas asociadas a paradas no programadas.

Tradicionalmente, el diseño y verificación de estructuras metálicas se ha basado en métodos analíticos y cálculos manuales. Sin embargo, estos métodos presentan limitaciones al analizar geometrías complejas, condiciones de carga variables y concentraciones de esfuerzos, lo que puede generar resultados aproximados y márgenes de incertidumbre elevados (Liang, 2022). Estas limitaciones dificultan la predicción precisa del comportamiento real de las estructuras sometidas a cargas industriales.

Ante esta problemática, el uso de software de simulación basado en el Método de los Elementos Finitos (FEM) se ha consolidado como una alternativa eficiente para el análisis estructural. Esta herramienta permite modelar digitalmente la estructura, asignar propiedades mecánicas a los materiales y simular diferentes escenarios de carga, facilitando la evaluación de tensiones, deformaciones y factores de seguridad sin necesidad de fabricar prototipos físicos (Siemens, 2022), deformaciones y puntos críticos de falla, y optimizar el diseño antes de fabricar prototipos físicos.

Diversos estudios resaltan la efectividad del Método de los Elementos Finitos (FEM) en el análisis de estructuras metálicas de uso industrial. En este contexto, la simulación estructural mediante software especializado permite mejorar la precisión del análisis al minimizar las simplificaciones geométricas y considerar condiciones reales de operación. Esta metodología facilita la identificación de zonas críticas de esfuerzo y la evaluación confiable de escenarios de carga extremos, contribuyendo al diseño de soportes metálicos más seguros y eficientes. Asimismo, investigaciones basadas en modelos de

elementos finitos han analizado el comportamiento estructural y sísmico de uniones en marcos de gran vano, demostrando el aporte de la simulación en el diseño resistente de estructuras complejas.

La importancia del análisis estructural de soportes metálicos de uso industrial radica en su impacto directo en la seguridad, la eficiencia operativa y la sostenibilidad de los procesos productivos. Estas estructuras desempeñan un papel fundamental al soportar maquinaria, equipos, tuberías y cargas permanentes o variables; por ello, un diseño inadecuado o un análisis insuficiente puede derivar en fallas estructurales, paradas no programadas, pérdidas económicas significativas e incluso accidentes laborales. En este contexto, el uso de software de simulación estructural se consolida como una herramienta estratégica, ya que permite prever el comportamiento real de los soportes bajo diversas condiciones de carga, identificar concentraciones críticas de esfuerzos y verificar el cumplimiento de normativas técnicas antes de la fabricación o instalación. Asimismo, la simulación contribuye a la optimización del uso de materiales y a la reducción de costos asociados al sobredimensionamiento o a rediseños posteriores, alineándose con las exigencias actuales de la industria en términos de competitividad, seguridad y responsabilidad técnica.

### **1.1. PROBLEMA**

En el ámbito industrial, los soportes metálicos destinados al montaje y operación de motores de carga cumplen una función fundamental al garantizar la estabilidad estructural y el correcto funcionamiento de los equipos. Sin embargo, en diversos entornos productivos el diseño y la verificación de estos elementos aún se realizan mediante métodos de cálculo simplificados, criterios empíricos o sobredimensionamientos, lo que limita la capacidad de predecir con precisión su comportamiento real frente a condiciones de carga estática y dinámica. Esta situación genera incertidumbre respecto a los niveles reales de esfuerzo, deformación y factores de seguridad, incrementando el riesgo de deformaciones no admisibles o fallas estructurales que pueden afectar la seguridad industrial y la continuidad operativa.

Asimismo, la aplicación limitada de herramientas de simulación estructural durante la etapa de análisis y diseño de soportes metálicos dificulta la identificación temprana de zonas críticas de concentración de esfuerzos, así como de posibles problemas asociados a fatiga o pandeo. Como consecuencia, se presentan inconvenientes como diseños poco optimizados, uso ineficiente de materiales, incrementos en costos por ajustes posteriores y dificultades para verificar el desempeño estructural antes de la instalación. A pesar de la disponibilidad de software especializado basado en el Método de los Elementos Finitos (FEM), su uso sistemático aún no se encuentra plenamente integrado en el análisis de soportes metálicos de uso industrial, especialmente en contextos académicos y de pequeña y mediana escala.

En este contexto, se evidencia la necesidad de realizar un análisis estructural de soportes metálicos de uso industrial mediante software de simulación, sin la ejecución física de la estructura, con el fin de evaluar su comportamiento mecánico bajo diferentes condiciones de carga y verificar el cumplimiento de criterios básicos de seguridad y desempeño estructural. A partir de ello, se plantea el siguiente problema de investigación:

¿De qué manera el uso de software de simulación estructural contribuye al análisis del comportamiento mecánico y a la optimización del diseño de soportes metálicos de uso industrial destinados a soportar motores de carga?

## **1.2. JUSTIFICACIÓN**

La presente investigación se justifica desde el ámbito académico, ya que contribuye a la aplicación práctica de los fundamentos teóricos adquiridos en la formación profesional en electromecánica, tales como la resistencia de materiales, el análisis estructural y los métodos numéricos. El análisis estructural de soportes metálicos de uso industrial mediante software de simulación permite integrar conocimientos teóricos con herramientas computacionales, fortaleciendo el desarrollo de habilidades analíticas, técnicas y críticas en el proceso de enseñanza aprendizaje. Asimismo, el estudio constituye un referente metodológico que puede ser utilizado como material de consulta en futuras

investigaciones académicas relacionadas con el análisis y diseño de estructuras metálicas

Desde el punto de vista técnico, la investigación se justifica por la necesidad de incorporar herramientas de simulación estructural como apoyo en los procesos de análisis y diseño de soportes metálicos industriales. El uso de software basado en el Método de los Elementos Finitos permite evaluar el comportamiento mecánico de la estructura bajo diferentes condiciones de carga, identificar concentraciones de esfuerzos y analizar deformaciones, sin necesidad de construir físicamente el soporte. De esta manera, la simulación contribuye a la optimización del diseño, al uso eficiente de materiales y a la reducción de posibles errores de análisis en etapas tempranas del diseño.

Finalmente, el presente trabajo se enmarca en las líneas de investigación orientadas al análisis, diseño y optimización de sistemas estructurales mediante el uso de tecnologías computacionales. La investigación se alinea con los objetivos institucionales de fomentar la innovación, la aplicación de herramientas tecnológicas y la solución de problemas técnicos del entorno industrial. En este sentido, el estudio fortalece la formación profesional al vincular el conocimiento teórico con aplicaciones prácticas simuladas, respondiendo a las directrices académicas y a las necesidades actuales del sector productivo.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Analizar estructuralmente soportes metálicos de uso industrial mediante software de simulación, con el fin de evaluar su comportamiento mecánico bajo diferentes condiciones de carga y verificar el cumplimiento de criterios básicos de seguridad, resistencia y eficiencia estructural, sin la construcción física de la estructura.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

Caracterizar los soportes metálicos de uso industrial considerando su geometría, materiales constitutivos y tipos de carga actuantes, con el propósito de definir los parámetros necesarios para el análisis estructural por simulación

Modelar y simular los soportes metálicos mediante software de análisis estructural basado en el Método de los Elementos Finitos, a fin de determinar la distribución de esfuerzos, deformaciones y factores de seguridad

Analizar e interpretar los resultados obtenidos de la simulación estructural para identificar zonas críticas de la estructura y verificar el cumplimiento de criterios de diseño y seguridad, orientando posibles optimizaciones del diseño desde un enfoque teórico simulado.

## **1.4. METODOLOGÍA**

### **1.4.1. Procedimiento**

**Etapa 1:** Caracterización del soporte metálico de uso industrial.

En esta etapa se realizó la identificación del soporte metálico objeto de estudio, destinado a soportar motores de carga en un entorno industrial. Se definieron sus características geométricas, tipo de perfiles estructurales y propiedades mecánicas de los materiales, tales como módulo de elasticidad, límite elástico y coeficiente de Poisson. Asimismo, se establecieron las condiciones de apoyo y los tipos de carga consideradas, principalmente cargas estáticas asociadas al peso del motor y a las condiciones de servicio, con el fin de definir los parámetros de entrada para el análisis estructural.

**Etapa 2:** Modelado y simulación estructural mediante software especializado.

Con base en la información obtenida, se realizó el modelado tridimensional del soporte metálico utilizando software de simulación estructural basado en el Método de los Elementos Finitos. En esta fase se definieron las condiciones de frontera, se aplicaron las cargas correspondientes y se generó la malla del modelo. Posteriormente, se ejecutaron las simulaciones necesarias

para obtener resultados relacionados con la distribución de esfuerzos, deformaciones y factores de seguridad.

### **Etapa 3: Análisis y evaluación de resultados.**

Una vez obtenidos los resultados de la simulación, se procedió al análisis de los esfuerzos y deformaciones generados en el soporte metálico, identificando zonas críticas y posibles concentraciones de tensiones. Los resultados fueron evaluados con base en criterios básicos de diseño estructural, con el propósito de verificar el comportamiento mecánico del soporte bajo las condiciones de carga simuladas.

### **Etapa 4: Optimización del diseño mediante simulación.**

A partir del análisis de resultados, se plantearon alternativas de optimización del diseño del soporte metálico, tales como ajustes geométricos o modificaciones en la configuración estructural. Estas propuestas fueron evaluadas mediante nuevas simulaciones, con el fin de analizar su efecto en la reducción de esfuerzos, mejora del factor de seguridad y uso eficiente de los materiales, manteniendo el enfoque exclusivamente teórico simulado.

## **1.4.2. Técnicas**

### **Modelado tridimensional asistido por computadora (CAD).**

El modelado tridimensional asistido por computadora constituye una técnica fundamental en el análisis estructural, ya que permite la representación geométrica precisa de componentes mecánicos y estructurales, facilitando su posterior análisis computacional. De acuerdo con Liu y Tang (2021), el uso de modelos tridimensionales detallados mejora la exactitud de los análisis estructurales al reducir errores geométricos y simplificaciones excesivas. En el presente estudio, esta técnica fue empleada para la construcción de los modelos virtuales de los soportes metálicos de uso industrial, considerando sus dimensiones, tipos de perfiles estructurales y configuraciones generales, sirviendo como base para las simulaciones estructurales posteriores.

### **Análisis mediante el Método de los Elementos Finitos (FEM).**

El Método de los Elementos Finitos es una técnica numérica ampliamente utilizada para la resolución de problemas complejos de ingeniería estructural, ya que permite determinar esfuerzos, deformaciones y factores de seguridad en estructuras con geometrías y condiciones de carga diversas. Según Moaveni (1999), el FEM es una herramienta eficiente para predecir el comportamiento mecánico de estructuras metálicas cuando se definen adecuadamente las propiedades de los materiales y las condiciones de frontera. En este proyecto, esta técnica fue aplicada para discretizar los modelos tridimensionales de los soportes metálicos y realizar el análisis estructural bajo diferentes escenarios de carga simulados.

### **Simulación estructural mediante software especializado.**

La simulación estructural mediante software especializado permite integrar el modelado geométrico, las propiedades mecánicas de los materiales y las condiciones de carga en un entorno virtual de análisis, reduciendo la necesidad de ensayos físicos. De acuerdo con Chandrupatla y Belegundu (2020), el uso de software de simulación basado en FEM facilita la evaluación de múltiples escenarios de diseño y contribuye a la optimización estructural antes de la fabricación. En el presente estudio, esta técnica fue utilizada para analizar el comportamiento mecánico de los soportes metálicos, identificar zonas de concentración de esfuerzos y verificar el cumplimiento de criterios básicos de seguridad estructural, considerando un enfoque exclusivamente simulado.

### **Análisis e interpretación de resultados.**

El análisis e interpretación de resultados constituye una técnica que permite evaluar y contrastar los resultados obtenidos mediante simulación con criterios de diseño estructural y valores admisibles. Según Budynas y Nisbett (2020), la evaluación sistemática de resultados es fundamental para la toma de decisiones técnicas y la validación del desempeño estructural. En esta investigación, dicha técnica se aplicó en la fase final del estudio, permitiendo identificar zonas críticas del soporte metálico y analizar el efecto de posibles ajustes estructurales desde un enfoque teórico simulado.

### **1.4.3. Métodos**

#### **Método analítico descriptivo.**

El método analítico descriptivo permite descomponer un problema técnico en sus componentes fundamentales con el fin de comprender sus características, comportamiento y relaciones internas (2022), este método es adecuado en investigaciones de ingeniería cuando se busca describir fenómenos técnicos a partir de variables medibles, sin intervenir ni modificar físicamente el objeto de estudio. En la presente investigación, este método se empleó para describir las características geométricas, los materiales y las condiciones de carga de los soportes metálicos de uso industrial, constituyendo la base conceptual para el posterior modelado y análisis estructural.

#### **Método numérico basado en el Método de los Elementos Finitos (FEM).**

El Método de los Elementos Finitos es ampliamente utilizado para la resolución de problemas estructurales complejos que no pueden abordarse de manera eficiente mediante métodos analíticos tradicionales. Según Bathe (2021), este método permite aproximar el comportamiento de estructuras sometidas a diferentes condiciones de carga mediante la separación del dominio en elementos finitos interconectados. En esta investigación, el método FEM fue aplicado para calcular esfuerzos, deformaciones y factores de seguridad de los soportes metálicos, mediante simulación estructural realizada con software especializado.

#### **Método de simulación computacional.**

El método de simulación computacional consiste en la representación virtual del comportamiento de un sistema real, con el propósito de analizar su respuesta ante distintos escenarios sin recurrir a ensayos físicos. (2020), este método es especialmente relevante en ingeniería estructural, ya que permite reducir costos, tiempos de desarrollo y riesgos asociados a pruebas experimentales. En el presente estudio, la simulación computacional se utilizó para evaluar el desempeño estructural de los soportes metálicos bajo diferentes

condiciones de carga, considerando un enfoque exclusivamente teórico-simulado.

### **Método comparativo.**

El método comparativo permite contrastar los resultados obtenidos a partir de diferentes configuraciones, escenarios de carga o criterios de diseño, con el fin de evaluar su desempeño estructural (2020), este método es fundamental para la toma de decisiones técnicas basadas en criterios de seguridad y eficiencia. En esta investigación, el método comparativo se aplicó para analizar los resultados de las simulaciones estructurales en relación con valores admisibles y criterios de diseño, así como para evaluar el efecto de posibles ajustes u optimizaciones del soporte metálico.

## **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1. DEFINICIONES**

Fundamentación teórica de las estructuras y soportes metálicos de uso industrial.

Las estructuras metálicas constituyen uno de los sistemas más utilizados en el ámbito industrial debido a su elevada resistencia mecánica, versatilidad geométrica y facilidad de fabricación y montaje (Cruz, 2024). Estas estructuras están conformadas principalmente por elementos de acero estructural que trabajan de manera conjunta para soportar cargas estáticas y dinámicas provenientes de equipos, maquinaria, materiales almacenados y acciones propias del entorno operativo. En este contexto, los soportes metálicos cumplen un rol fundamental como elementos auxiliares que garantizan la estabilidad, alineación y funcionamiento seguro de los sistemas productivos.

Desde el punto de vista del comportamiento mecánico, los soportes metálicos se encuentran sometidos a diferentes tipos de esfuerzos, tales como tracción, compresión, flexión, cortante y torsión, los cuales dependen de su configuración geométrica y de las condiciones de carga aplicadas (Johnson, 2020). La evaluación adecuada de estos esfuerzos es esencial para evitar estados de falla asociados a la fluencia del material, el pandeo de elementos

comprimidos o deformaciones excesivas que puedan comprometer la funcionalidad de la estructura. Por ello, el análisis estructural constituye una etapa crítica dentro del proceso de diseño y verificación de soportes metálicos industriales.

El acero estructural es el material predominante en este tipo de aplicaciones debido a su comportamiento elástico-plástico bien definido, su alta relación resistencia-peso y su capacidad para disipar energía bajo cargas variables. Como señala Segui (2017). El conocimiento preciso de las propiedades mecánicas del acero, tales como el módulo de elasticidad, el límite elástico y la resistencia última, permite establecer criterios de diseño confiables y seguros. Asimismo, la selección adecuada del tipo de perfil estructural, ya sean perfiles laminados, tubulares o secciones conformadas en frío, influye directamente en la eficiencia estructural y la capacidad portante del soporte metálico.

Otro aspecto relevante en el análisis de soportes metálicos corresponde a las condiciones de apoyo y a las uniones estructurales. Las uniones, tanto soldadas como atornilladas, representan zonas donde suelen concentrarse esfuerzos elevados, por lo que requieren un análisis detallado que garantice una adecuada transferencia de cargas entre los elementos estructurales (Chen W. F., 1987). Una modelación apropiada de las uniones es indispensable para obtener resultados realistas en el análisis estructural, especialmente en estructuras industriales sometidas a cargas repetitivas o variables.

En el entorno industrial actual, las exigencias de seguridad, confiabilidad y eficiencia han incrementado la necesidad de realizar análisis estructurales más precisos. Esto implica superar los métodos clásicos de cálculo simplificado y adoptar enfoques que permitan evaluar el comportamiento real de los soportes metálicos bajo condiciones de servicio complejas (Schillinger, 2023). En este sentido, el análisis estructural detallado contribuye no solo a la prevención de fallas, sino también a la optimización del diseño, la reducción del consumo de material y el aumento de la vida útil de las estructuras.

Fundamentación teórica del software de simulación aplicado al análisis estructural.

El software de simulación se ha consolidado como una herramienta esencial en la ingeniería moderna, especialmente en el análisis y diseño de estructuras metálicas de uso industrial (Gómez, 2025). Estas plataformas permiten recrear de forma virtual el comportamiento de sistemas estructurales mediante la integración de modelos geométricos tridimensionales, propiedades mecánicas de los materiales y condiciones de carga representativas del entorno de operación, el uso de software de simulación facilita la evaluación anticipada del desempeño estructural, reduciendo la necesidad de ensayos físicos y apoyando la toma de decisiones durante la etapa de diseño.

Una de las principales ventajas del software de simulación estructural es su capacidad para analizar geometrías complejas y múltiples condiciones de carga dentro de un mismo entorno computacional. Herramientas de software incorporan algoritmos avanzados que permiten calcular distribuciones de esfuerzos, deformaciones y desplazamientos en estructuras metálicas sometidas a diversas solicitaciones (Sharma, 2025). La confiabilidad de los resultados obtenidos depende de una correcta definición del modelo, incluyendo la selección adecuada de materiales, mallas y condiciones de frontera.

El uso del software de simulación también facilita la visualización gráfica del comportamiento estructural, lo cual representa una ventaja significativa frente a los métodos tradicionales de cálculo. La representación mediante mapas de colores de esfuerzos o deformaciones permite identificar de manera rápida zonas críticas o concentraciones de tensiones que podrían comprometer la integridad del soporte metálico (Chen L. , 2022). Esta capacidad visual mejora la comprensión del fenómeno estructural y favorece la correcta interpretación de los resultados.

Asimismo, el software de simulación contribuye a la optimización del diseño estructural, ya que permite modificar parámetros geométricos y de material dentro de un entorno virtual y evaluar diferentes alternativas sin incurrir en costos adicionales de fabricación (Ming, 2025). Esta característica resulta

especialmente relevante en aplicaciones industriales, donde la optimización del uso de materiales y la reducción del peso estructural influyen directamente en la eficiencia económica y técnica del proyecto.

En el contexto industrial actual, caracterizado por crecientes exigencias de seguridad y confiabilidad, el software de simulación se posiciona como una herramienta clave para la verificación del cumplimiento de criterios de diseño estructural. Estas plataformas permiten contrastar los resultados obtenidos con límites admisibles establecidos en normas y estándares técnicos, proporcionando un respaldo técnico para la validación de estructuras metálicas antes de su implementación (Pachacama, 2024). En este sentido, el software de simulación no solo actúa como un medio de análisis, sino también como un soporte fundamental para garantizar la seguridad operativa y la durabilidad de los soportes metálicos industriales.

## **2.2. ANTECEDENTES**

Diversas investigaciones han demostrado la eficacia del uso de software de simulación estructural en el análisis de estructuras metálicas de uso industrial. Se ha Desarrollado estudios, orientados al análisis estructural de soportes metálicos mediante el Método de los Elementos Finitos (Saeed, 1999), en el cual se evaluaron esfuerzos y deformaciones bajo diferentes condiciones de carga simuladas (Xiaolei, 2022). Los resultados evidenciaron que la simulación permite identificar zonas críticas de la estructura y optimizar el diseño sin necesidad de construir prototipos físicos, aportando criterios técnicos para mejorar la seguridad estructural

Antes de la ejecución del presente proyecto, el análisis de soportes metálicos en el ámbito académico de la carrera de Electromecánica se abordaba principalmente desde un enfoque teórico, apoyado en métodos tradicionales de cálculo estructural y ejercicios académicos con condiciones idealizadas. Si bien estos métodos permiten comprender los principios básicos del comportamiento estructural, presentan limitaciones al momento de evaluar situaciones reales propias del entorno industrial, donde intervienen geometrías complejas, cargas variables y criterios estrictos de seguridad (Segui, 2017). El uso exclusivo de

métodos simplificados puede conducir a diseños sobredimensionados o a estimaciones poco precisas del desempeño estructural.

En proyectos académicos previos, el uso de software de simulación estructural se encontraba limitado a aplicaciones introductorias o demostrativas, sin una integración sistemática dentro de un proceso completo de análisis estructural. Estas aplicaciones se centraban, en muchos casos, en elementos aislados o modelos genéricos, sin considerar la evaluación integral de soportes metálicos sometidos a condiciones reales de servicio (Mohamed, 2023). Esta práctica restringe el aprovechamiento del potencial del software de simulación como herramienta de validación y optimización del diseño estructural.

La ULEAM Extensión El Carmen cumple un papel estratégico en la región norte de la provincia de Manabí, al ofrecer programas académicos que responden a las demandas del sector agroindustrial, manufacturero y de servicios técnicos. En este contexto, la carrera de Electromecánica promueve el desarrollo de competencias relacionadas con el diseño, análisis, mantenimiento y optimización de sistemas mecánicos y electromecánicos, incorporando progresivamente el uso de herramientas computacionales y software especializado (Valencia, 2025). La carrera de electromecánica, debe fortalecer la investigación aplicada y el uso de tecnologías digitales como parte de los procesos formativos.

En el ámbito académico, la ULEAM impulsa líneas de investigación vinculadas a la ingeniería aplicada, entre ellas el análisis y diseño de estructuras, sistemas mecánicos y procesos industriales. Estas líneas buscan integrar los conocimientos teóricos con aplicaciones prácticas que permitan a los estudiantes desarrollar soluciones técnicas fundamentadas. Como determina la (UNESCO, 2021), las universidades tienen un rol clave en la generación de conocimiento aplicado y en la formación de profesionales.

### **2.3. TRABAJOS RELACIONADOS**

En el ámbito internacional, diversos estudios desarrollados en otros continentes han demostrado la eficacia del análisis estructural de soportes metálicos mediante software de simulación aplicado a contextos industriales. En

Europa, por ejemplo, investigadores han empleado herramientas de simulación estructural para evaluar bastidores y soportes metálicos utilizados en plantas industriales, logrando identificar concentraciones críticas de esfuerzos y optimizar el diseño estructural sin recurrir a ensayos físicos extensivos. Chen y Lui (1987) señalan que estos estudios han permitido mejorar los niveles de seguridad estructural y reducir costos asociados al sobredimensionamiento, evidenciando el valor del software de simulación como una herramienta clave en la ingeniería estructural moderna.

En el continente americano, específicamente en países como Estados Unidos y Brasil, se han desarrollado investigaciones orientadas al análisis y mejora de estructuras metálicas industriales mediante el uso de software de simulación (Moaveni., 2023). documenta estudios en los que se aplicaron entornos de simulación computacional para analizar soportes metálicos sometidos a cargas variables, obteniendo resultados confiables en términos de esfuerzos, deformaciones y factores de seguridad. Estos trabajos resaltan la importancia de integrar la simulación estructural dentro del proceso de diseño, especialmente en aplicaciones industriales donde la confiabilidad y la eficiencia estructural son factores determinantes.

A nivel nacional, en el Ecuador, se han identificado investigaciones recientes desarrolladas en otras provincias, principalmente en universidades ubicadas en Pichincha y Guayas, donde se ha abordado el análisis estructural de elementos metálicos mediante software de simulación con fines académicos e industriales (Gallo, 2024). Estos estudios se han enfocado en la evaluación de estructuras auxiliares, soportes y componentes mecánicos, demostrando que la simulación estructural permite complementar los métodos tradicionales de cálculo y mejorar la comprensión del comportamiento mecánico de sistemas reales. Estas investigaciones aportan fundamentos importantes para el uso de herramientas computacionales en el análisis estructural dentro del contexto ecuatoriano.

En cuanto a la provincia de Manabí, y particularmente en otros cantones distintos a El Carmen, la revisión de la literatura académica y de repositorios

institucionales no evidencia la existencia de trabajos que aborden de manera específica el análisis estructural de soportes metálicos de uso industrial utilizando software de simulación. Esta ausencia de investigaciones previas refuerza la relevancia del presente estudio, ya que constituye un aporte novedoso en el ámbito académico local, contribuyendo al desarrollo de la investigación aplicada en la carrera de Electromecánica de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Extensión El Carmen.

### **CAPÍTULO III: DESARROLLO DE LA PROPUESTA**

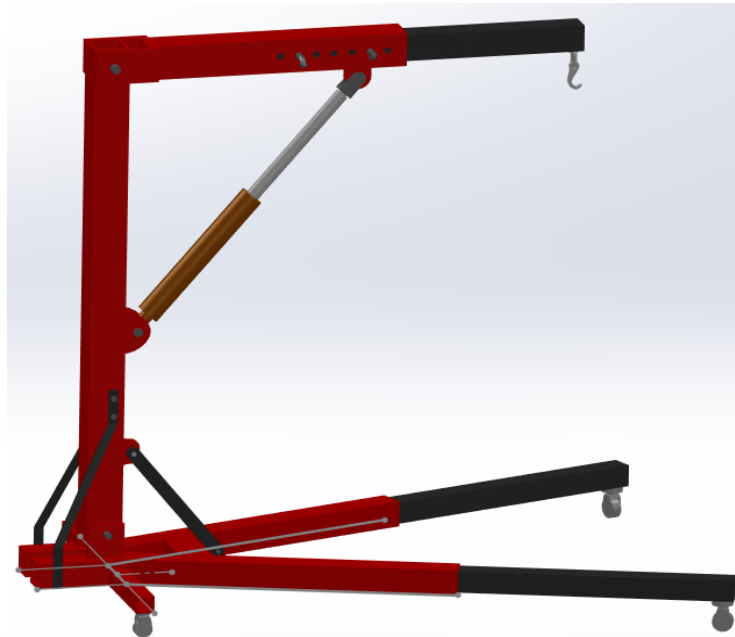
El presente capítulo describe el desarrollo de la propuesta de análisis estructural de un soporte metálico para motores de carga, realizada exclusivamente mediante software de simulación estructural. La propuesta se fundamenta en la aplicación del Método de los Elementos Finitos (FEM) para evaluar el comportamiento mecánico del soporte bajo condiciones de carga representativas de su uso industrial. El desarrollo se organiza de acuerdo con los objetivos específicos planteados, abarcando la caracterización del soporte metálico, el modelado y simulación estructural, así como el análisis e interpretación de los resultados obtenidos.

#### **3.1. DESARROLLO**

En esta etapa se realizó la caracterización del soporte metálico destinado a soportar motores de carga en un entorno industrial. Se definieron las dimensiones generales de la estructura, el tipo de perfiles metálicos utilizados y la configuración geométrica del soporte, considerando criterios funcionales y de estabilidad estructural.

### **Ilustración 1.**

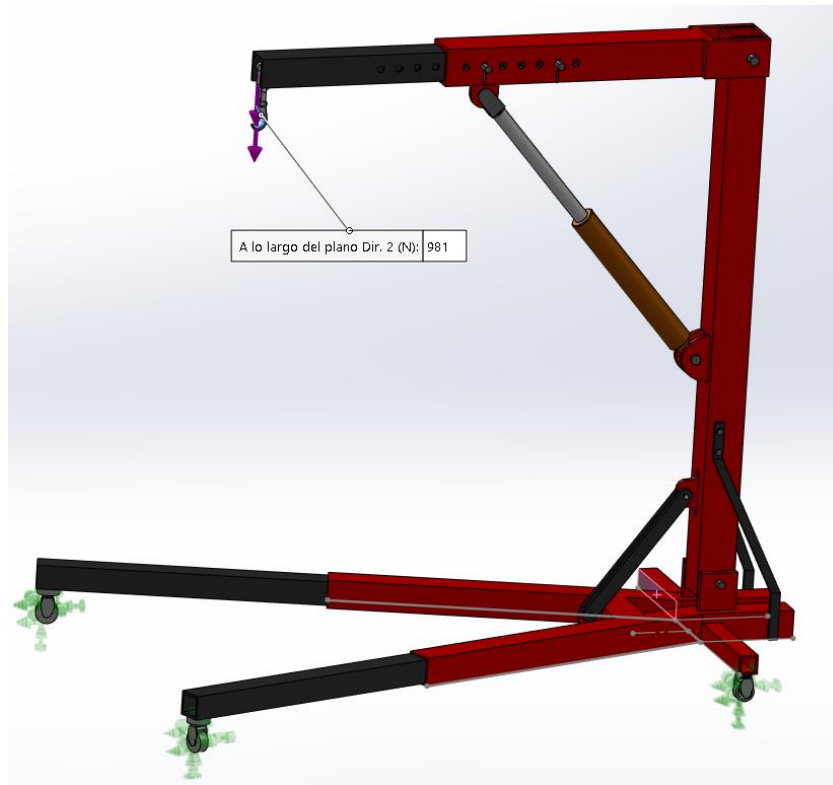
*Geometría general del soporte metálico para motor de carga (modelo CAD)*



Asimismo, se establecieron las propiedades mecánicas del material empleado, correspondientes a acero estructural, tales como el módulo de elasticidad, límite elástico y coeficiente de Poisson, parámetros necesarios para el análisis estructural por simulación. De igual manera, se definieron las condiciones de apoyo del soporte y los tipos de carga considerados, principalmente cargas estáticas asociadas al peso del motor. Para efectos del análisis, se aplicó una carga nominal equivalente de 981 N, correspondiente a una masa de 100 kg, representativa de las condiciones normales de operación del soporte metálico dentro del entorno industrial simulado.

## Ilustración 2.

*Modelo del soporte metálico con carga estática aplicada.*

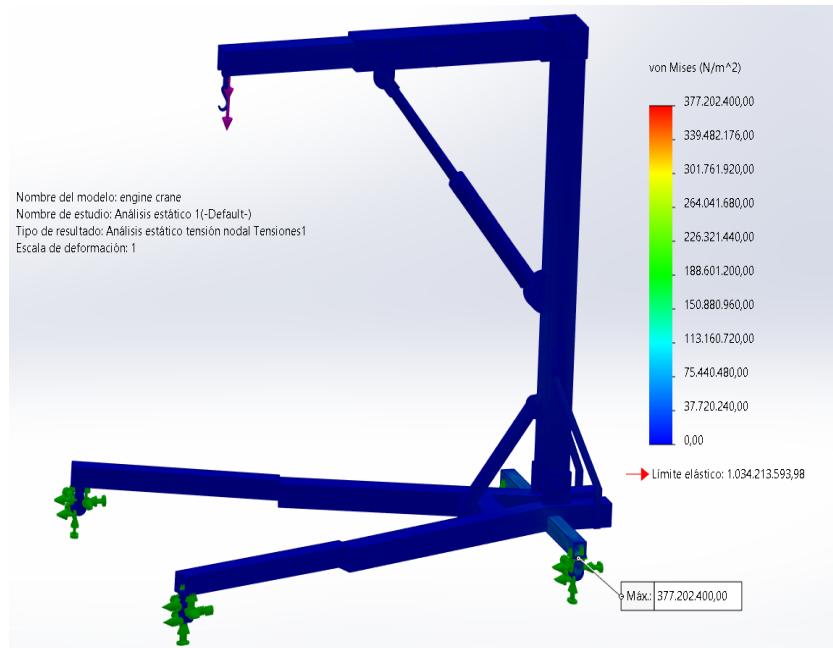


Con base en la caracterización realizada, se procedió al modelado tridimensional del soporte metálico mediante software de simulación estructural. El modelo CAD fue importado al entorno de análisis para su preparación y simulación utilizando el Método de los Elementos Finitos.

En esta fase se definieron las condiciones de frontera, representando los apoyos del soporte, y se aplicaron las cargas correspondientes al peso del motor y a las solicitaciones de servicio. Posteriormente, se realizó la discretización del modelo mediante una malla de elementos finitos adecuada, garantizando un equilibrio entre precisión de resultados y eficiencia computacional.

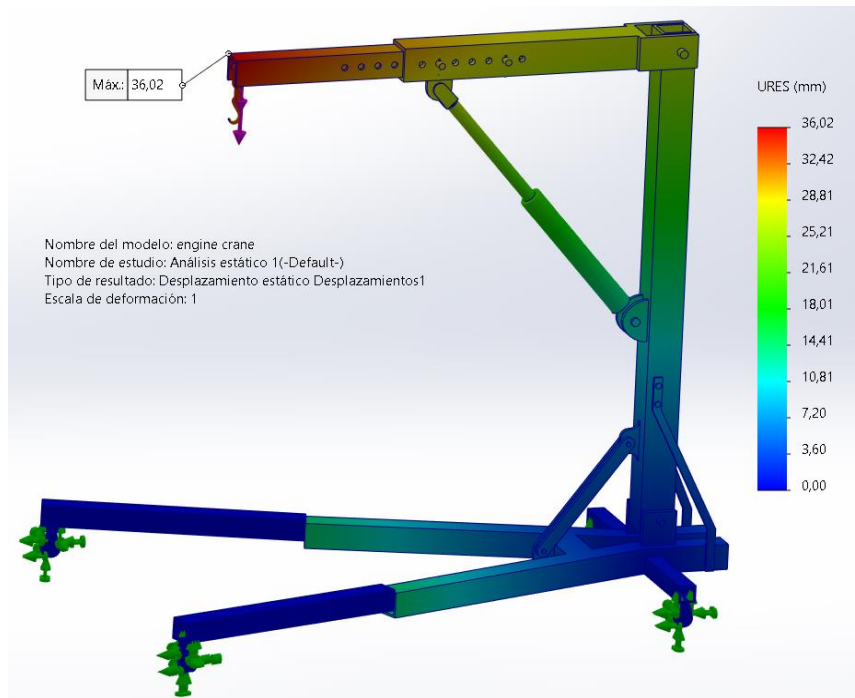
### Ilustración 3.

Distribución de tensiones nodales mediante análisis estático de la estructura metálica.



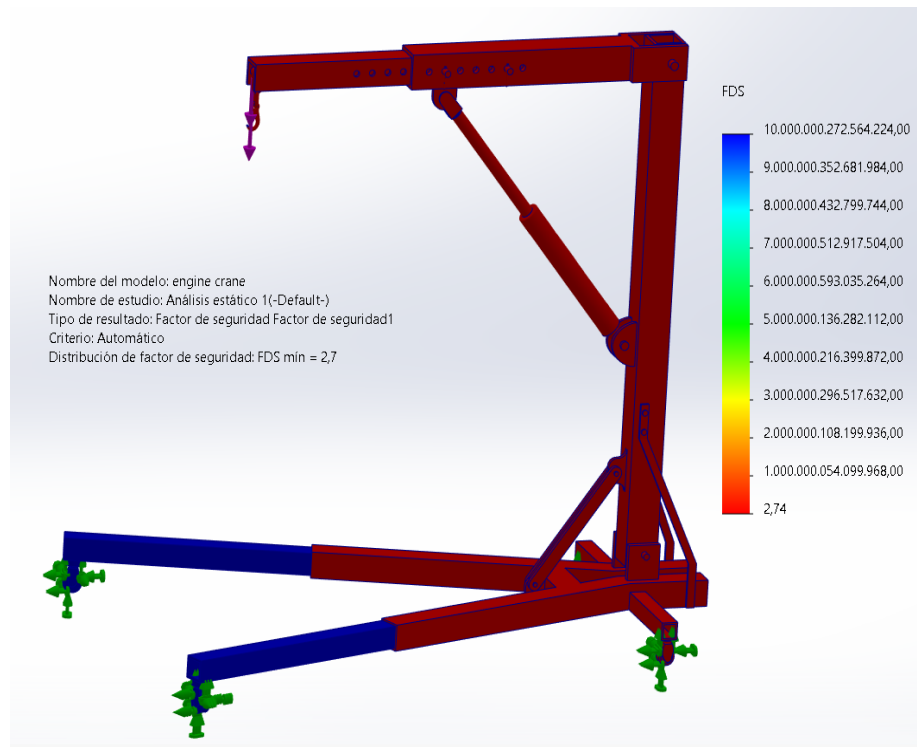
### Ilustración 4.

Distribución del factor de seguridad en los elementos de la estructura metálica.



## Ilustración 5.

*Distribución de desplazamientos totales en la estructura metálica bajo carga.*



### 3.1.1. Descripción de la propuesta

La presente propuesta consiste en el análisis estructural de un soporte metálico de uso industrial destinado a soportar un motor de carga, desarrollado exclusivamente mediante software de simulación estructural. La propuesta se encuentra directamente alineada con los objetivos específicos planteados en la investigación y se fundamenta en la aplicación del Método de los Elementos Finitos (FEM) para evaluar el comportamiento mecánico del soporte bajo condiciones de carga representativas, sin la ejecución física de la estructura.

#### Descripción del Objetivo Específico 1.

En relación con el primer objetivo específico, la propuesta contempla la caracterización técnica del soporte metálico, considerando su geometría, configuración estructural, material constitutivo y condiciones de apoyo. Asimismo, se definieron las cargas actuantes sobre el soporte, representadas por una carga estática equivalente correspondiente al peso del motor de carga.

Esta etapa permitió establecer los parámetros necesarios para el posterior modelado y análisis estructural por simulación.

### **Descripción del Objetivo Específico 2.**

En cumplimiento del segundo objetivo específico, la propuesta incluye el modelado tridimensional del soporte metálico y su simulación estructural mediante software especializado basado en el Método de los Elementos Finitos. En esta fase se aplicaron las condiciones de frontera y cargas definidas, se generó la malla de elementos finitos y se ejecutaron las simulaciones necesarias para obtener resultados de esfuerzos, deformaciones y factores de seguridad.

### **Descripción del Objetivo Específico 3.**

Respecto al tercer objetivo específico, la propuesta contempla el análisis e interpretación de los resultados obtenidos a partir de la simulación estructural. Esta etapa permitió identificar zonas críticas de concentración de esfuerzos, evaluar el comportamiento mecánico del soporte y verificar el cumplimiento de criterios básicos de seguridad estructural. A partir de este análisis, se consideraron posibles ajustes u optimizaciones del diseño desde un enfoque teórico simulado.

#### **3.1.1. Descripción de la propuesta**

La presente propuesta consiste en el análisis estructural de un soporte metálico de uso industrial destinado a soportar un motor de carga, desarrollado exclusivamente mediante software de simulación estructural. La propuesta se encuentra directamente alineada con los objetivos específicos planteados en la investigación y se fundamenta en la aplicación del Método de los Elementos Finitos (FEM) para evaluar el comportamiento mecánico del soporte bajo condiciones de carga representativas, sin la ejecución física de la estructura.

### **Descripción del Objetivo Específico 1.**

En relación con el primer objetivo específico, la propuesta contempla la caracterización técnica del soporte metálico, considerando su geometría, configuración estructural, material constitutivo y condiciones de apoyo. Asimismo, se definieron las cargas actuantes sobre el soporte, representadas

por una carga estática equivalente correspondiente al peso del motor de carga. Esta etapa permitió establecer los parámetros necesarios para el posterior modelado y análisis estructural por simulación.

### **Descripción del Objetivo Específico 2.**

En cumplimiento del segundo objetivo específico, la propuesta incluye el modelado tridimensional del soporte metálico y su simulación estructural mediante software especializado basado en el Método de los Elementos Finitos. En esta fase se aplicaron las condiciones de frontera y cargas definidas, se generó la malla de elementos finitos y se ejecutaron las simulaciones necesarias para obtener resultados de esfuerzos, deformaciones y factores de seguridad.

### **Descripción del Objetivo Específico 3.**

Respecto al tercer objetivo específico, la propuesta contempla el análisis e interpretación de los resultados obtenidos a partir de la simulación estructural. Esta etapa permitió identificar zonas críticas de concentración de esfuerzos, evaluar el comportamiento mecánico del soporte y verificar el cumplimiento de criterios básicos de seguridad estructural. A partir de este análisis, se consideraron posibles ajustes u optimizaciones del diseño desde un enfoque teórico simulado.

#### **3.1.2. Etapas**

El desarrollo de la propuesta se estructuró en etapas secuenciales, organizadas de acuerdo con los objetivos específicos planteados, con el fin de garantizar un proceso ordenado y coherente para el análisis estructural del soporte metálico mediante software de simulación.

**Etapas 1:** Actividades realizadas para cumplir el Objetivo Específico 1. En esta etapa se llevaron a cabo las actividades relacionadas con la caracterización del soporte metálico de uso industrial. Se realizó la identificación de la geometría del soporte, el tipo de perfiles estructurales y el material constitutivo. Asimismo, se definieron las propiedades mecánicas del acero estructural, las condiciones de apoyo y las cargas actuantes, representadas por una carga estática equivalente al peso del motor de carga. Esta etapa permitió

establecer los parámetros iniciales necesarios para el modelado y análisis estructural por simulación.

**Etapa 2:** Actividades realizadas para cumplir el Objetivo Específico 2. En cumplimiento del segundo objetivo específico, se desarrollaron las actividades de modelado tridimensional y simulación estructural del soporte metálico mediante software especializado basado en el Método de los Elementos Finitos. Se aplicaron las condiciones de frontera y las cargas definidas, se generó la malla de elementos finitos y se ejecutaron las simulaciones correspondientes para obtener resultados de esfuerzos, deformaciones y factores de seguridad.

**Etapa 3:** Actividades realizadas para cumplir el Objetivo Específico 3. En esta etapa se realizó el análisis e interpretación de los resultados obtenidos a partir de la simulación estructural. Se identificaron zonas críticas de la estructura, se evaluó el comportamiento mecánico del soporte bajo las condiciones de carga simuladas y se verificó el cumplimiento de criterios básicos de seguridad estructural. A partir de este análisis, se consideraron posibles ajustes u optimizaciones del diseño desde un enfoque teórico simulado.

### **3.1.3. Presupuesto**

El presupuesto general no generó gastos económicos, debido a que el desarrollo de la propuesta se realizó exclusivamente mediante software de simulación estructural, sin la construcción física del soporte metálico ni la adquisición de materiales, equipos o servicios externos. En este sentido, el análisis se llevó a cabo utilizando recursos académicos y herramientas computacionales disponibles, permitiendo cumplir de manera integral todos los objetivos planteados, sin incurrir en costos adicionales.

## **3.2. RESULTADOS**

Como resultado del primer objetivo específico, se logró la caracterización geométrica y estructural del soporte metálico destinado a soportar un motor de carga. Se definieron con precisión las dimensiones generales, el tipo de perfiles estructurales utilizados y la configuración del conjunto, permitiendo establecer una base clara para el análisis estructural por simulación.

Asimismo, se determinaron las propiedades mecánicas del material correspondiente a acero estructural, incluyendo módulo de elasticidad, límite elástico y coeficiente de Poisson. Estos parámetros fueron correctamente incorporados en el modelo de simulación, garantizando que el análisis reflejara un comportamiento mecánico coherente con las condiciones reales de servicio del soporte metálico.

Finalmente, se establecieron las condiciones de apoyo y las cargas actuantes sobre el soporte, considerando una carga estática equivalente de 981 N, correspondiente al peso del motor de carga. Esta caracterización permitió definir adecuadamente los parámetros de entrada del análisis estructural, respaldados mediante esquemas y vistas del modelo tridimensional del soporte.

En cumplimiento del segundo objetivo específico, se obtuvo el modelo tridimensional del soporte metálico en el software de simulación estructural, integrando la geometría, materiales y condiciones de frontera previamente definidas. El modelo permitió representar de forma virtual el comportamiento del soporte bajo las condiciones de carga establecidas.

Posteriormente, se realizó la discretización del modelo mediante una malla de elementos finitos adecuada, asegurando la correcta transmisión de esfuerzos dentro de la estructura. El mallado permitió obtener resultados confiables, manteniendo un equilibrio entre precisión y eficiencia computacional, lo cual se evidencia en las imágenes del modelo mallado.

Como resultado de la simulación estructural, se obtuvieron distribuciones de esfuerzos, deformaciones y factores de seguridad del soporte metálico. Estos resultados proporcionaron información cuantitativa relevante sobre el comportamiento mecánico de la estructura, siendo respaldados mediante gráficos e imágenes generadas por el software de simulación.

En relación con el tercer objetivo específico, el análisis de los resultados permitió identificar zonas críticas de concentración de esfuerzos dentro del soporte metálico, principalmente en regiones cercanas a las uniones y puntos de apoyo. Estas zonas fueron claramente visualizadas mediante mapas de esfuerzos equivalentes obtenidos en la simulación.

El análisis de deformaciones evidenció que los desplazamientos generados por la carga aplicada se mantuvieron dentro de rangos admisibles, lo que indica un comportamiento estructural adecuado bajo las condiciones de operación simuladas. Estos resultados fueron representados mediante gráficos de deformación total generados por el software.

Finalmente, la evaluación del factor de seguridad permitió verificar que el soporte metálico cumple con criterios básicos de seguridad estructural para la carga considerada. Los resultados obtenidos respaldan la viabilidad del diseño desde un enfoque teórico simulado, apoyándose en tablas e imágenes comparativas del análisis estructural.

## **CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **4.1. CONCLUSIONES**

**En relación con el objetivo específico 1**, se concluye que sí se cumplió, ya que fue posible caracterizar adecuadamente el soporte metálico de uso industrial mediante la definición de su geometría, material constitutivo, condiciones de apoyo y cargas actuantes. Esta caracterización permitió establecer los parámetros necesarios para el análisis estructural por simulación, proporcionando una base técnica coherente para el desarrollo del estudio.

**Respecto al objetivo específico 2**, se determina que sí se cumplió, dado que el soporte metálico fue modelado y simulado correctamente mediante software de análisis estructural basado en el Método de los Elementos Finitos. La simulación permitió obtener resultados de esfuerzos, deformaciones y factores de seguridad, demostrando la viabilidad del uso de herramientas computacionales para evaluar el comportamiento mecánico del soporte.

**En cuanto al objetivo específico 3**, se concluye que sí se cumplió, debido a que el análisis de los resultados de la simulación permitió identificar zonas críticas del soporte metálico y verificar el cumplimiento de criterios básicos de seguridad estructural. Asimismo, los resultados obtenidos posibilitaron evaluar el desempeño del diseño desde un enfoque teórico-simulado, sin la necesidad de realizar pruebas físicas.

## **4.2. RECOMENDACIONES**

A los ingenieros y técnicos del área de Electromecánica que participan en el diseño, análisis y mantenimiento de soportes metálicos de uso industrial, se recomienda incorporar de manera sistemática el uso de software de simulación estructural como herramienta de apoyo para la verificación del desempeño mecánico. La aplicación de simulaciones previas a la fabricación o instalación permitirá identificar posibles fallas estructurales, optimizar el diseño y garantizar adecuados niveles de seguridad y confiabilidad durante la operación.

A las empresas e industrias que emplean soportes metálicos en sus procesos productivos, se sugiere realizar evaluaciones periódicas de sus estructuras auxiliares mediante herramientas de simulación estructural, especialmente cuando existan modificaciones en las condiciones de carga, ampliaciones de equipos o cambios en el entorno de operación. Estas evaluaciones contribuirán a asegurar la continuidad operativa, prevenir fallas estructurales y reducir riesgos asociados a accidentes o paradas no programadas.

A la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Extensión El Carmen, se recomienda fortalecer la incorporación de software de simulación estructural en los procesos de enseñanza y en el desarrollo de proyectos de investigación aplicada dentro de la carrera de Electromecánica. La integración de estas herramientas permitirá una formación académica más sólida y alineada con las exigencias tecnológicas del sector industrial.

Finalmente, se recomienda a futuros investigadores y estudiantes profundizar en el análisis estructural de soportes metálicos considerando condiciones de carga dinámicas, efectos de fatiga y análisis no lineales, así como la validación experimental de los resultados obtenidos mediante simulación. Estas líneas de investigación permitirán ampliar el alcance del presente estudio y mejorar la aplicabilidad de la simulación estructural en contextos industriales reales.

## Bibliografía

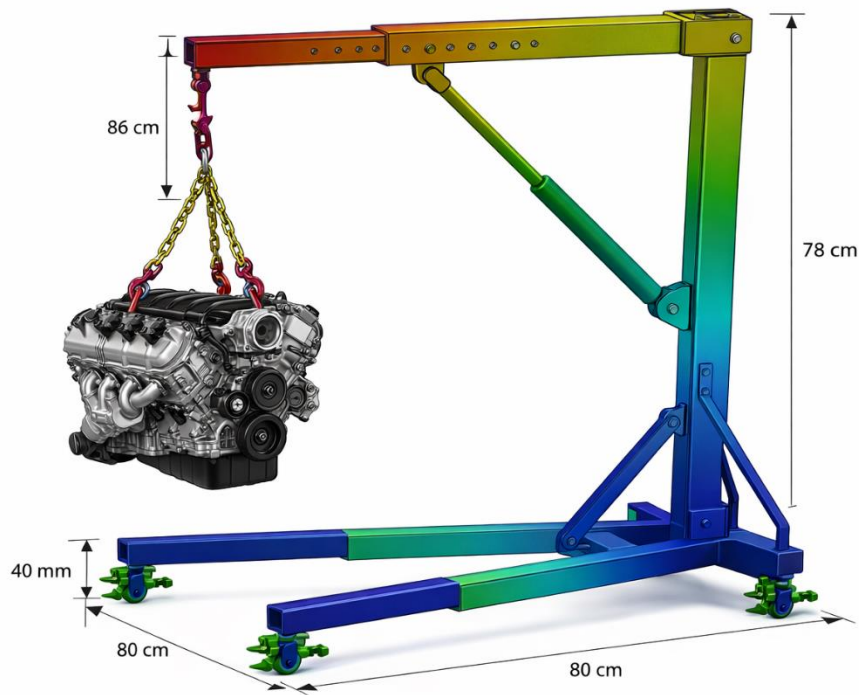
- Bathe, K. J. (2021). Finite element procedures. .
- Budynas, R. G. (2020). Shigley's mechanical engineering design. . McGraw-Hill.
- Chandrupatla, B. (2020). Introduction to finite elements in engineering. Pearson.
- Chen, L. (31 de Diciembre de 2022). *Aplicación y perspectiva del análisis de estructuras basado en el método de elementos finitos*. Obtenido de <https://drpress.org>:  
<https://drpress.org/ojs/index.php/HSET/article/view/4059>
- Chen, W. F. (1987). Structural stability: Theory and implementation. Elsevier.
- Cruz, T. D. (2024). *Las estructuras metálicas constituyen uno de los sistemas más utilizados en el ámbito industrial debido a su elevada resistencia mecánica, versatilidad geométrica y facilidad de fabricación y montaje. Estas estructuras están conformadas principalmente por*. Guayaquil.
- Gallo, G. S. (2024). *Simulación de esfuerzos internos en vigas utilizando software dinámico GeoGebra aplicado a la docencia*. Obtenido de <https://doi.org/10.23925/2237-9657.2024.v13i2p048-061>:  
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/10085278.pdf>
- Gaurav, G. C. (04 de Agosto de 2019). *Revista Internacional de Investigación y Tecnología*. Obtenido de Revista Internacional de Investigación y Tecnología: <https://www.ijert.org/analysis-and-design-of-steel-frame-structure-for-rotating-motors>
- Gómez, M. P. (04 de Junio de 2025). Planteamiento del análisis. *Estudio de las vibraciones inducidas por el flujo*.
- Hernández, S. R.-C.-L. (2022). Metodología de la investigación. McGraw-Hill.
- Johnson, S. J. (2020). Steel structures: Design and behavior. Pearson.
- Liang, C. (2022). Aplicación y perspectiva del análisis de estructuras basado en el método de elementos finitos. Darcy & Roy Press.
- Ming, W. Y. (2025). *Métodos de simulación y optimización en mecanizado y diseño de estructuras y materiales*. Obtenido de <https://doi.org/10.3390/met15050560>
- Moaveni. (2023). Finite element analysis: Theory and application with ANSYS. Pearson.
- Mohamed, K. &. (9 de 10 de 2023). *Simulación de estructuras complejas con Software de ingeniería estructural*. Obtenido de <https://ajitem.org>:  
<https://ajitem.org/index.php/journal/article/view/EM01003/58>

- Montgomery, D. C. (2020). *Engineering statistics*. Wiley.
- Pachacama, V. J. (2024). *El software de simulación como herramienta para el análisis de estructuras metálicas automotrices*. Obtenido de <https://doi.org/10.37431/conectividad.v5i3.146>
- Rao, S. (2020). *The finite element method in engineering*. Butterworth-Heinemann.
- Saeed, M. (1999). *Finite element analysis: Theory and application with ANSYS*. Obtenido de <http://ftp.demec.ufpr.br: http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM738/Livros/Finite%20Element%20Analysis,%20Theory%20and%20application%20with%20ANSYS,%20.pdf>
- Schillinger, C. (2023). Importancia de la evaluación estructural en sistemas mecánicos: garantizar la seguridad, la confiabilidad y la eficiencia. *Revista de Ingeniería Mecánica Aplicada*.
- Segui, W. T. (2017). *Steel design*. Obtenido de <https://dokumen.pub: https://dokumen.pub/steel-design-6th-watermark-freenbsped-9781337094740-1337094749.html#:~:text=Dise%C3%B1o%20de%20acero%20%5B6.,PUB>
- Sharma, J. (2025). *Análisis de elementos: El pilar invisible del análisis estructural*. Pigso Learning.
- Siemens, S. N. (2022). *Análisis de elementos finitos*. Obtenido de [https://plm.sw.siemens.com/es-ES/simcenter/mechanical-simulation/nastran/?pk\\_vid=1539918a3bd9be5705c26c49532bb75c177143447195af73: https://www.sw.siemens.com/es-ES/technology/finite-element-analysis-fea/](https://plm.sw.siemens.com/es-ES/simcenter/mechanical-simulation/nastran/?pk_vid=1539918a3bd9be5705c26c49532bb75c177143447195af73: https://www.sw.siemens.com/es-ES/technology/finite-element-analysis-fea/)
- Tang, R. L. (2021). *The finite element method: A practical course*. Butterworth-Heinemann.
- UNESCO. (2021). *Reimagining our futures together: A new social contract for education*. UNESCO.
- Valencia, A. &. (2025). *Simulación de Esfuerzos en una Viga Sujeta a Diferentes Tipos de Carga en la Carrera de Electromecánica en la ULEAM*. El Carmen: Uleam.
- Xiaolei, L. (2022). *Análisis paramétrico de elementos finitos de un marco de acero de alta resistencia con arriostramiento excéntrico y eslabón reemplazable de sección transversal variable*. Obtenido de <https://doi.org/10.3390/app12199447>

## ANEXOS

### *Ilustración 6.*

Estructura metálica de izaje industrial con carga nominal equivalente de 981 N (masa aplicada: 100 kg).





# Wellintong Pincay - Ítalo Vera - copia

2%  
Textos  
sospechosos

2% Similitudes  
0% similitudes entre comillas  
0% entre las fuentes mencionadas  
< 1% Idiomas no reconocidos  
56% Textos potencialmente generados por la IA (ignorado)

Nombre del documento: Wellintong Pincay - Ítalo Vera - copia.docx  
ID del documento: eb504b26acb9cf68655f54c5cae022e08b1147b7  
Tamaño del documento original: 725,64 kB

Depositante: RENE FERNANDO LOPEZ BARBERAN  
Fecha de depósito: 4/2/2026  
Tipo de carga: interface  
fecha de fin de análisis: 4/2/2026

Número de palabras: 6346  
Número de caracteres: 46.214

Ubicación de las similitudes en el documento:




## Fuentes principales detectadas


| N° | Descripciones  | Similitudes | Ubicaciones | Datos adicionales                      |
|----|--|-------------|-------------|--|
| 1  | Documento de otro usuario #34eebd<br>Viene de de otro grupo<br>9 fuentes similares           | < 1%        |             | Palabras idénticas: < 1% (45 palabras) |
| 2  | Documento de otro usuario #6314d6<br>Viene de de otro grupo<br>7 fuentes similares           | < 1%        |             | Palabras idénticas: < 1% (32 palabras) |
| 3  | IMPLEMENTACIÓN DE GRÚA HIDRÁULICA PLEGABLE DE DOS TONELAD... #57408e<br>Viene de de mi grupo | < 1%        |             | Palabras idénticas: < 1% (22 palabras) |

## Fuentes con similitudes fortuitas

| N° | Descripciones   | Similitudes | Ubicaciones | Datos adicionales                      |
|----|---|-------------|-------------|--|
| 1  | Tesis Alex-Sebastian.docx   Tesis Alex-Sebastian #b2205e<br>Viene de de mi grupo  | < 1%        |             | Palabras idénticas: < 1% (26 palabras) |
| 2  | Tesis Eduardo-Carlos.docx   Tesis Eduardo-Carlos #6b8ce4<br>Viene de de mi grupo  | < 1%        |             | Palabras idénticas: < 1% (19 palabras) |
| 3  | rfen_desarrollo.federatio.com<br><a href="https://rfen_desarrollo.federatio.com/upload/sectionFiles/1747736425_7518.pdf">https://rfen_desarrollo.federatio.com/upload/sectionFiles/1747736425_7518.pdf</a>      | < 1%        |             | Palabras idénticas: < 1% (15 palabras) |
| 4  | Documento de otro usuario #700520<br>Viene de de otro grupo   | < 1%        |             | Palabras idénticas: < 1% (10 palabras) |
| 5  | repositorio.ulead.edu.ec   Implementación de sistemas de protección estructur...<br><a href="https://repositorio.ulead.edu.ec/handle/123456789/9897">https://repositorio.ulead.edu.ec/handle/123456789/9897</a> | < 1%        |             | Palabras idénticas: < 1% (11 palabras) |

|   |  |                                     |
|---|--|-------------------------------------|
|  | <b>NOMBRE DEL DOCUMENTO:</b><br>REGISTRO DE MODALIDAD Y TEMA                               | <b>CÓDIGO:</b> PAT-05-IT-F-002      |
|   | <b>PROCEDIMIENTO:</b> TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE LAS<br>CARRERAS TÉCNICAS Y TECNOLÓGICAS | <b>REVISIÓN:</b> 1<br>Página 1 de 2 |

| DATOS INFORMATIVOS DEL ESTUDIANTE   |                               |  |                               |                          |
|---|-------------------------------|--|-------------------------------|--------------------------|
| <b>Facultad/Extensión:</b> Unidad Académica de Formación Técnica y Tecnológica, Educación Virtual y Otras Modalidades |                               |  |                               |                          |
| <b>Carrera:</b> Tecnología Superior en Electromecánica  |                               |  |                               |                          |
| <b>Nombres y apellidos del estudiante:</b> Wellington José Pincay Loor  |                               |  |                               |                          |
| <b>Nivel:</b> III   | <b>Curso:</b> III             | <b>Paralelo:</b> B                       |                               |                          |
| <b>Datos Personales:</b>  |                               |  |                               |                          |
| <b>Cédula de Ciudadanía:</b><br>1716371818  |                               | <b>Fecha de Nacimiento:</b> 11/06/1984   |                               |                          |
| <b>Edad:</b> 41   | <b>Sexo:</b> Masculino        | <b>Nacionalidad:</b> Ecuatoriana         |                               |                          |
| <b>Estado Civil:</b> Casado   |                               | <b>Certificado de Votación:</b> 56132552 |                               |                          |
| <b>Lugar de Residencia:</b> km. 6, vía Pedernales   |                               |  |                               |                          |
| <b>Provincia:</b> Manabí  |                               | <b>Cantón:</b> El Carmen                 | <b>Parroquia:</b> El Carmen   |                          |
| <b>Correos Electrónicos:</b>  |                               | 1) e1716371818@live.uleam.edu.ec         | 2) danielpincay090@gmail.com  |                          |
| <b>Teléfono Celular:</b> 0986946930   |                               | <b>Teléfono Convencional:</b> N/A        |                               |                          |
| <b>Discapacidad</b>   | <b>Visual:</b>                | <input type="checkbox"/>                 | <b>Física:</b>                | <input type="checkbox"/> |
|   | <b>Grado de Discapacidad:</b> | <input type="checkbox"/>                 | <b>Grado de Discapacidad:</b> | <input type="checkbox"/> |
|   | <b>Auditiva:</b>              | <input type="checkbox"/>                 | <b>Intelectual:</b>           | <input type="checkbox"/> |
|   | <b>Grado de Discapacidad:</b> | <input type="checkbox"/>                 | <b>Grado de Discapacidad:</b> | <input type="checkbox"/> |
|   | <b>Psicológica:</b>           | <input type="checkbox"/>                 | <b>Lengua:</b>                | <input type="checkbox"/> |
|   | <b>Grado de Discapacidad:</b> | <input type="checkbox"/>                 | <b>Grado de Discapacidad:</b> | <input type="checkbox"/> |
|   | <b>Otras:</b>                 | <input type="checkbox"/>                 |                               |                          |
|   | <b>Grado de Discapacidad:</b> | <input type="checkbox"/>                 |                               |                          |

|   |   |                         |
|---|---|-------------------------|
|  | NOMBRE DEL DOCUMENTO:<br>REGISTRO DE MODALIDAD Y TEMA                               | CÓDIGO: PAT-05-IT-F-002 |
|   | PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE LAS<br>CARRERAS TÉCNICAS Y TECNOLÓGICAS | REVISIÓN: 1             |
|   |   | Página 2 de 2           |

| No. | OPCIÓN DE APROBACIÓN<br>PREVIO A TITULACIÓN | MODALIDAD           | TEMA PROPUESTO O<br>NÚCLEO<br>PROBLÉMICO  |
|-----|---|---------------------|---|
| 1   | Trabajo de Titulación                       | Proyecto Integrador | Análisis Estructural de soportes metálicos de uso industrial utilizando software de simulación. |
| 2   | Examen de carácter complejo                 | No Aplica           |   |

#### RESUMEN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

El trabajo de titulación aborda el análisis estructural de soportes metálicos de uso industrial mediante software de simulación, evaluando esfuerzos, deformaciones y condiciones de carga para verificar su desempeño mecánico y seguridad operativa. Desarrollado en la carrera de Tecnología Superior en Electromecánica de la ULEAM Extensión El Carmen, el estudio fortalece criterios técnicos de diseño y validación estructural.

#### ARTICULACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN CON FUNCIONES SUSTANTIVAS

Trabajo de titulación se articula con proyectos y programas de Investigación:  
 Trabajo de titulación se articula con proyectos y programas de Vinculación:  
 Trabajo de titulación se articula con proyectos de asignaturas (Docencia):  
 Ninguna:

|   |
|---|
| X |
|   |
|   |
|   |

#### MECANISMO DE DESARROLLO Y PRESENTACIÓN

Trabajo de titulación grupal

#### TUTOR/A SOLICITADO/A

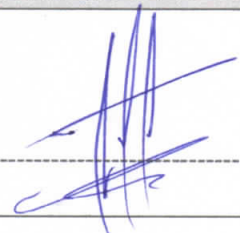
Ing. César Sinchiguano, MSc.  
 Ing. Fernando López, MSc.

#### FIRMA DE RESPONSABILIDAD

**Nombres del estudiante que postula y presenta la propuesta:**


Wellinton José Pincay Loor

**Firma:**



*Nota 1: La aprobación preliminar de este formato, la otorgará el responsable de Titulación, miembro de Comisión Académica.*

*Nota 2: El formato será llenado y presentado individualmente (por estudiante), firmado en físico, escaneado y subido en el sistema que corresponda en archivo .pdf.*

|  |   |                                |
|--|---|--------------------------------|
| <br><b>Uleam</b><br><small>UNIVERSIDAD LAICA<br/>       ELOY ALFARO DE MANABÍ</small> | <b>NOMBRE DEL DOCUMENTO:</b><br><b>REGISTRO DE MODALIDAD Y TEMA</b>                                 | <b>CÓDIGO:</b> PAT-05-IT-F-002 |
|  | <b>PROCEDIMIENTO:</b> · TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE LAS<br><b>CARRERAS TÉCNICAS Y TECNOLÓGICAS</b> | <b>REVISIÓN:</b> 1             |
|  |   | Página 1 de 2                  |

| DATOS INFORMATIVOS DEL ESTUDIANTE   |                               |  |                               |                          |
|---|-------------------------------|--|-------------------------------|--------------------------|
| <b>Facultad/Extensión:</b> Unidad Académica de Formación Técnica y Tecnológica, Educación Virtual y Otras Modalidades |                               |  |                               |                          |
| <b>Carrera:</b> Tecnología Superior en Electromecánica  |                               |  |                               |                          |
| <b>Nombres y apellidos del estudiante:</b> Ítalo René Vera Mendoza.   |                               |  |                               |                          |
| <b>Nivel:</b> III   | <b>Curso:</b> III             | <b>Paralelo:</b> B                       |                               |                          |
| <b>Datos Personales:</b>  |                               |  |                               |                          |
| <b>Cédula de Ciudadanía:</b><br>1722180815  |                               | <b>Fecha de Nacimiento:</b> 15/08/1992   |                               |                          |
| <b>Edad:</b> 33   | <b>Sexo:</b> Masculino        | <b>Nacionalidad:</b> Ecuatoriana         |                               |                          |
| <b>Estado Civil:</b> Soltero  |                               | <b>Certificado de Votación:</b> 15714942 |                               |                          |
| <b>Lugar de Residencia:</b> Lotización Roger  |                               |  |                               |                          |
| <b>Provincia:</b> Manabí  |                               | <b>Cantón:</b> El Carmen                 | <b>Parroquia:</b> El Carmen   |                          |
| <b>Correos Electrónicos:</b>  |                               | 1) e1722180815@live.uleam.edu.ec         | 2) italo0208vera@gmail.com    |                          |
| <b>Teléfono Celular:</b> 0961338653   |                               | <b>Teléfono Convencional:</b> N/A        |                               |                          |
| <b>Discapacidad</b>   | <b>Visual:</b>                | <input type="checkbox"/>                 | <b>Física:</b>                | <input type="checkbox"/> |
|   | <b>Grado de Discapacidad:</b> | <input type="checkbox"/>                 | <b>Grado de Discapacidad:</b> | <input type="checkbox"/> |
|   | <b>Auditiva:</b>              | <input type="checkbox"/>                 | <b>Intelectual:</b>           | <input type="checkbox"/> |
|   | <b>Grado de Discapacidad:</b> | <input type="checkbox"/>                 | <b>Grado de Discapacidad:</b> | <input type="checkbox"/> |
|   | <b>Psicológica:</b>           | <input type="checkbox"/>                 | <b>Lengua:</b>                | <input type="checkbox"/> |
|   | <b>Grado de Discapacidad:</b> | <input type="checkbox"/>                 | <b>Grado de Discapacidad:</b> | <input type="checkbox"/> |
|   | <b>Otras:</b>                 | <input type="checkbox"/>                 |                               |                          |
|   | <b>Grado de Discapacidad:</b> | <input type="checkbox"/>                 |                               |                          |




**EXTENSION EL CARMEN**

**FICHA ESTUDIANTIL DE GRADUACION**

|                                  |                         |
|----------------------------------|-------------------------|
| Tipo de documento de identidad   | Cédula                  |
| Número de documento de identidad | 1722180815              |
| Apellidos y Nombres              | Vera Mendoza Ítalo Rene |
| Fecha de Nacimiento              | 15/08/1992              |
| Género                           | Hombre                  |
| Etnia                            | Mestizo                 |
| Correo personal                  | Italo0208vera@gmail.com |
| Número de celular                | 0961338653              |
| País de Nacimiento               | Ecuador                 |
| País de residencia actual        | Ecuador                 |
| Provincia de residencia actual   | Manabí                  |
| Cantón de residencia actual      | El Carmen               |
| Nombre del colegio de bachiller  | Jesucristo Rey          |
| Tipo de colegio de bachiller     | Particular              |
| Tipo de título de bachiller      | Técnico                 |

|   |   |
|---|---|
| Carrera   | Electromecánica   |
| Periodo de inicio de estudios de la carrera<br><i>(ejemplo 2021-1)</i>                  | 2024-1  |
| Periodo de fin de estudios de la carrera<br><i>(ejemplo 2025-2)</i>                     | 2025-2  |
| Si realizó estudios previos en otra universidad colocar el nombre del centro de estudio |   |
| Nombre del tema de trabajo de titulación  | Análisis estructural de soportes metálicos de uso industrial utilizando software de simulación. |

Vera Mendoza Ítalo Rene  
1722180815

|   |  |                              |
|---|--|------------------------------|
|  | NOMBRE DEL DOCUMENTO:<br>REGISTRO DE MODALIDAD Y TEMA                            | CÓDIGO: PAT-05-IT-F-002      |
|   | PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE LAS CARRERAS TÉCNICAS Y TECNOLÓGICAS | REVISIÓN: 1<br>Página 2 de 2 |

| No. | OPCIÓN DE APROBACIÓN PREVIO A TITULACIÓN | MODALIDAD           | TEMA PROPUESTO O NÚCLEO PROBLÉMICO  |
|-----|--|---------------------|---|
| 1   | Trabajo de Titulación                    | Proyecto Integrador | Análisis Estructural de soportes metálicos de uso industrial utilizando software de simulación. |
| 2   | Examen de carácter complejo              | No Aplica           |   |

### RESUMEN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

El trabajo de titulación aborda el análisis estructural de soportes metálicos de uso industrial mediante software de simulación, evaluando esfuerzos, deformaciones y condiciones de carga para verificar su desempeño mecánico y seguridad operativa. Desarrollado en la carrera de Tecnología Superior en Electromecánica de la ULEAM Extensión El Carmen, el estudio fortalece criterios técnicos de diseño y validación estructural.

### ARTICULACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN CON FUNCIONES SUSTANTIVAS

Trabajo de titulación se articula con proyectos y programas de Investigación:  
 Trabajo de titulación se articula con proyectos y programas de Vinculación:  
 Trabajo de titulación se articula con proyectos de asignaturas (Docencia):  
 Ninguna:

|   |
|---|
| X |
|   |
|   |
|   |

### MECANISMO DE DESARROLLO Y PRESENTACIÓN

Trabajo de titulación grupal

### TUTOR/A SOLICITADO/A

Ing. César Sinchiguano, MSc.  
 Ing. Fernando López, MSc.

### FIRMA DE RESPONSABILIDAD

Nombres del estudiante que postula y presenta la propuesta:

Ítalo René Vera Mendoza

Firma:



Nota 1: La aprobación preliminar de este formato, la otorgará el responsable de Titulación, miembro de Comisión Académica.  
 Nota 2: El formato será llenado y presentado individualmente (por estudiante), firmado en físico, escaneado y subido en el sistema que corresponda en archivo .pdf.