



UNIVERSIDAD LAICA “ELOY ALFARO” DE MANABÍ

Título:

Análisis y simulación de un puente grúa para el taller de mecánica de la carrera electromecánica

Autores:

Jostyn Gabriel Zambrano Salazar
Anthonny Agustín Garrido Zambrano

Tutor(a)

Ing. César A. Sinchiguano, Mg.

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. César A. Sinchiguano, Mg. 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 y simulación de un puente grúa para el taller de mecánica de la carrera electromecánica” 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):

*Jostyn Gabriel Zambrano Salazar, Anthonny Agustín Garrido
Zambrano*

Siendo de su exclusiva responsabilidad.

El Carmen, febrero 2026.

Ing. César A. Sinchiguano, Mg.

TUTOR(A)

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Quien(es) suscribe(n) la presente:

Jostyn Gabriel Zambrano Salazar, Anthonny Agustín Garrido Zambrano

Estudiante(s) de la Carrera de **Tecnología Superior en Electromecánica**, declaro(amos) bajo juramento que el presente proyecto integrador cuyo título: “Análisis y simulación de un puente grúa para el taller de mecánica de la carrera electromecánica”, 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

Jostyn Gabriel Zambrano Salazar,

Anthonny Agustín Garrido Zambrano



APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Los miembros del Tribunal Examinador aprueban el Trabajo de Titulación con modalidad Proyecto Integrador, titulado: "Análisis y simulación de un puente grúa para el taller de mecánica de la carrera electromecánica." de su(s) autor(es): Jostyn Gabriel Zambrano Salazar, Anthonny Agustín Garrido Zambrano de la Carrera "**Tecnología Superior en Electromecánica**", y como Tutor(a) del Trabajo el/la Ing. César A. Sinchiguano, Mg.

El Carmen, febrero 2026

Dr. Danilo Arévalo, Mag.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. César A. Sinchiguano, Mg.
TUTOR(A)

Ing. Saed Reascos, Mag.
PRIMER MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Wladimir Minaya, Mag.
SEGUNDO MIEMBRO DEL TRIBUNAL

AGRADECIMIENTO

Dedicamos esta tesis a nuestras familias por el respaldo permanente y la comprensión durante cada etapa del proceso. A nuestros padres por los valores inculcados; a los docentes por su orientación académica; y a los amigos por el apoyo constante. Este logro es fruto del esfuerzo colectivo.

Asimismo, dedicamos este trabajo a quienes confiaron en nuestras capacidades. A los tutores por su rigor metodológico; a los compañeros por el trabajo colaborativo; y a la institución por brindar los recursos necesarios. Esta investigación representa perseverancia, compromiso y formación profesional.

*Jostyn Gabriel Zambrano Salazar, Anthonny Agustín Garrido
Zambrano*

DEDICATORIA

Mi agradecimiento está dirigido exclusivamente a mis padres, a mi madre y a mi padre, quienes me han apoyado de manera constante con los recursos disponibles. Su esfuerzo y sacrificio han sido determinantes para que pueda culminar esta etapa académica. Ellos constituyen mi principal fuente de motivación y el pilar fundamental de mi formación personal y profesional.

Jostyn Gabriel Zambrano Salazar

A mi querida madre, por ser el pilar fundamental de mi vida. Su apoyo constante, su fortaleza y los sacrificios realizados han sido determinantes para superar cada etapa del proceso académico. Gracias por inculcarme perseverancia, responsabilidad y la convicción de no rendirme ante las dificultades.

A mi abuelo, por su ejemplo de vida y por los consejos transmitidos con sabiduría. Sus enseñanzas sobre el esfuerzo, la disciplina y la constancia han orientado mis decisiones y contribuido de manera significativa a mi formación personal y académica.

A mi novia, por su apoyo permanente, paciencia y confianza. Su motivación constante y acompañamiento han sido un impulso esencial para alcanzar este objetivo. Este logro también refleja su compromiso y respaldo a lo largo de todo el proceso.

Anthony Agustín Garrido Zambrano

RESUMEN

Este trabajo presenta el análisis y la simulación estructural de un puente grúa diseñado para el taller de mecánica de la carrera de Electromecánica, con el propósito de evaluar la seguridad y eficiencia en la manipulación y transporte de cargas pesadas. El estudio se centra en determinar el comportamiento estructural bajo condiciones de carga mediante herramientas de diseño asistido por computadora y análisis por elementos finitos.

La metodología adoptada incluyó la modelación tridimensional de la viga principal y sus componentes, la aplicación de cargas representativas y condiciones de apoyo, y el análisis por elementos finitos para calcular tensiones, deformaciones y factores de seguridad. Los resultados muestran que la tensión máxima en el acero estructural A36 se mantiene dentro de los límites permisibles y que la deformación cumple el criterio de $L/500$, garantizando estabilidad y durabilidad de la estructura. En conclusión, el diseño del puente grúa satisface los requisitos técnicos y de seguridad, y es viable para su implementación en talleres académicos y espacios de formación técnica.

PALABRAS CLAVE

Puente grúa, análisis estructural, simulación estructural, elementos finitos, acero estructural A36, deformaciones.

ABSTRACT

This paper presents the structural analysis and simulation of an overhead crane designed for the mechanics workshop of the Electromechanical Engineering program, with the purpose of evaluating the safety and efficiency of handling and transporting heavy loads. The study focuses on determining the structural behavior under load conditions using computer-aided design tools and finite element analysis.

The methodology adopted included the three-dimensional modeling of the main beam and its components, the application of representative loads and support conditions, and finite element analysis to calculate stresses, deformations, and safety factors. The results show that the maximum stress in the A36 structural steel remains within permissible limits and that the deformation meets the $L/500$ criterion, guaranteeing the stability and durability of the structure. In conclusion, the overhead crane design satisfies the technical and safety requirements and is viable for implementation in academic workshops and technical training facilities.

KEYWORDS

Keywords: Overhead crane, structural analysis, finite element simulation, mechanical workshop, safety factors.

ÍNDICE

CERTIFICACION DEL TUTOR	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	II
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
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	4
1.4. METODOLOGÍA	4
1.4.1. Procedimiento.....	4
1.4.2. Técnicas	5
1.4.3. Métodos.....	6
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	8
2.1. DEFINICIONES	8
2.2. ANTECEDENTES	10
2.3. TRABAJOS RELACIONADOS.....	12
CAPÍTULO III: DESARROLLO DE LA PROPUESTA	14
3.1. DESARROLLO	14
3.1.1. Descripción de la propuesta	16

3.1.2. Etapas.....	17
3.1.3. Presupuesto.....	18
3.2. RESULTADOS.....	20
CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	23
4.1. CONCLUSIONES	23
4.2. RECOMENDACIONES	23
BIBLIOGRAFÍA	25
ANEXOS	28

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Diseño y modelado tridimensional de la estructura de puente grúa.	15
Ilustración 2. Parámetros de cálculo y distribución de tensiones equivalentes en la viga principal.	16
Ilustración 3. Validación de condiciones de carga y restricciones del modelo estructural.	20
Ilustración 4. Deformación máxima estructural del puente grúa bajo condiciones de carga aplicada.....	21
Ilustración 5. Distribución del factor de seguridad (FDS) del puente grúa bajo carga aplicada, mínimo $FDS = 2e+05$	22

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Presupuesto general.....	18
--	----

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Anexo 1 Modelo tridimensional del puente grúa con dimensiones principales de los componentes estructurales.....	28
--	----

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

El desarrollo industrial moderno exige soluciones cada vez más eficientes y seguras para el transporte y manejo de materiales pesados, lo que ha convertido a los sistemas de elevación, como los puentes grúa, en elementos fundamentales dentro de talleres mecánicos, instalaciones industriales y centros de fabricación (Carlos, 2025). Estos sistemas permiten la movilización precisa de cargas, reducen los riesgos operativos y optimizan el uso del espacio disponible, contribuyendo directamente a la productividad y seguridad en los procesos industriales.

En este contexto, el avance de las tecnologías de diseño asistido por computadora (CAD) y de simulación estructural ha transformado la manera en que se conciben, diseñan y evalúan los sistemas mecánicos. Estas herramientas permiten modelar, simular y predecir el comportamiento estructural de los componentes antes de su fabricación física, así mismo facilita la identificación de zonas críticas de tensión y deformación (Erazo-Arteaga, 2022). De esta manera, se reducen costos, tiempos de desarrollo y errores de diseño, además de incrementar la seguridad y confiabilidad operativa de las estructuras.

Diversas investigaciones han demostrado que el modelado y la simulación computacional mediante el método de los elementos finitos (FEM) son herramientas efectivas para optimizar estructuras de elevación como grúas aéreas y puentes grúa. Estudios de diseño estructural usando FEM han evidenciado mejoras en la distribución de tensiones, reducción del peso de componentes y aumento de los factores de seguridad, lo que contribuye a un desempeño mecánico más confiable (Kulka, 2024). Estos análisis enfatizan la importancia de una selección adecuada de materiales y de procesos de simulación detallados para garantizar la estabilidad, resistencia y eficiencia de estas estructuras bajo condiciones de carga realistas.

A pesar de los avances en modelado y simulación estructural aplicados a puentes grúa, en numerosos entornos académicos y talleres mecánicos todavía se ejecutan diseños sin un análisis estructural detallado previo. La ausencia de estudios que consideren cargas reales, distribución de esfuerzos y criterios de

seguridad puede incrementar el riesgo de fallas estructurales, sobredimensionamiento de materiales, deficiencias de seguridad y baja eficiencia operativa (Jaramillo, 2018). Esta situación resalta la necesidad de aplicar metodologías de diseño, simulación y verificación estructural antes de la construcción o implementación de sistemas de izaje.

Ante esta problemática, el presente trabajo se enfoca en el análisis y la simulación estructural de un puente grúa destinado al taller de mecánica de la carrera de Electromecánica, mediante herramientas de diseño asistido por computadora y análisis por elementos finitos, con el propósito de evaluar su comportamiento estructural, niveles de seguridad y viabilidad técnica (Alkin, 2005). La aplicación de métodos computacionales permite cuantificar tensiones y deformaciones bajo cargas representativas, validando la respuesta estructural antes de su construcción. Con ello, se busca contribuir al diseño de sistemas de elevación seguros, eficientes y adecuados para entornos académicos y técnicos.

1.1. PROBLEMA

En el taller de mecánica de la carrera de Electromecánica de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Extensión El Carmen, se desarrollan prácticas académicas que requieren la manipulación y el izaje de componentes mecánicos de considerable peso.

Ante esta necesidad, resulta indispensable diseñar un proyecto de puente grúa orientado a su futura construcción, que permita establecer criterios técnicos adecuados para su implementación. La falta de un análisis y simulación estructural previos puede generar riesgos asociados a un diseño ineficiente, sobredimensionamiento de materiales, deficiencias en los niveles de seguridad y bajo desempeño operativo. En este contexto, surge la necesidad de realizar el análisis y la simulación estructural de un puente grúa mediante herramientas de diseño asistido por computadora y el método de los elementos finitos, con el fin de evaluar su comportamiento estructural, garantizar niveles adecuados de seguridad y validar su viabilidad técnica para su posterior construcción y uso en el entorno académico.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Desde el punto de vista académico, el presente proyecto fortalece las competencias técnicas y científicas de los estudiantes de la carrera de Electromecánica, al integrar conocimientos de diseño mecánico, resistencia de materiales, mecánica estructural y análisis computacional. La aplicación de estos conceptos a un caso de estudio real permite desarrollar habilidades prácticas orientadas a la resolución de problemas de ingeniería, promoviendo el aprendizaje basado en proyectos y el uso de herramientas tecnológicas actuales en el proceso formativo.

En el ámbito técnico, la investigación se justifica por la necesidad de evaluar el comportamiento estructural de un puente grúa antes de su implementación, considerando que este tipo de sistemas opera bajo condiciones de carga que pueden generar esfuerzos elevados y deformaciones significativas. Mediante el uso de herramientas CAD/CAE y el análisis por elementos finitos, es posible determinar zonas críticas de concentración de esfuerzos, desplazamientos máximos y factores de seguridad, permitiendo validar si el diseño propuesto cumple con criterios de resistencia y estabilidad estructural.

Asimismo, el estudio posee relevancia en términos de seguridad operativa, ya que un puente grúa diseñado sin un análisis previo puede representar riesgos de falla estructural o funcionamiento inadecuado durante el levantamiento y traslado de cargas. Por ello, la simulación estructural contribuye a prevenir accidentes, proteger la integridad de los usuarios y garantizar condiciones seguras en el taller de mecánica durante las actividades prácticas.

Finalmente, la investigación se justifica por su aporte institucional y metodológico, ya que proporciona una base técnica para el diseño e implementación de un puente grúa en el taller de mecánica de la carrera de Electromecánica de la ULEAM, y además puede servir como referencia para futuros trabajos relacionados con el análisis y diseño de estructuras de elevación, fomentando el uso de herramientas de simulación como apoyo al desarrollo de proyectos de ingeniería.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Analizar y simular estructuralmente un puente grúa destinado al taller de mecánica de la carrera de Electromecánica de la ULEAM Extensión El Carmen, con el fin de evaluar su comportamiento, seguridad y viabilidad técnica para su futura construcción.

1.3.2. Objetivos específicos

Diseñar el modelo tridimensional del puente grúa y sus componentes principales mediante un software de diseño asistido por computadora (CAD).

Ejecutar la simulación estructural del puente grúa mediante el método de los elementos finitos, para establecer esfuerzos, deformaciones y los factores de seguridad bajo condiciones de carga.

Analizar y aprobar los resultados obtenidos en la simulación, verificando el cumplimiento de criterios de resistencia y estabilidad estructural, así como su viabilidad técnica para una posible implementación.

1.4. METODOLOGÍA

1.4.1. Procedimiento

Este procedimiento se realizó mediante metodología descriptiva y analítica, de forma estructurada y en etapas orientadas al análisis como a la simulación estructural de un puente grúa. Iniciando con revisión bibliográfica y normativa de estándares técnicos aplicables a sistemas de elevación, con el fin de establecer criterios de diseño, parámetros estructurales y condiciones de seguridad para el estudio.

Posteriormente, se efectuó el modelado tridimensional del puente grúa y de sus componentes principales mediante herramientas de diseño asistido por computadora (CAD), con el propósito de definir la geometría necesaria para el análisis. A continuación, se desarrolló la simulación estructural bajo condiciones de carga representativas, evaluando el comportamiento del sistema en términos

de esfuerzos, deformaciones y factor de seguridad, mediante el método de elementos finitos.

Finalmente, los resultados obtenidos fueron analizados y contrastados con criterios técnicos y normativos establecidos, en tal forma permitiendo verificar la viabilidad estructural del diseño a nivel computacional. Cabe destacar que el presente trabajo corresponde a un estudio de simulación, por lo cual no contempla la fabricación, implementación ni pruebas físicas reales del puente grúa, sino la evaluación de su desempeño estructural mediante herramientas de análisis asistido por computadora.

1.4.2. Técnicas

Análisis por Elementos Finitos (FEA)

Fundamentación: El análisis por elementos finitos es una técnica de simulación numérica que subdivide una estructura en elementos pequeños conectados por nodos para analizar su comportamiento bajo cargas y condiciones de frontera, permitiendo determinar tensiones, deformaciones y desplazamientos de forma detallada (1999)..

Se utilizó para evaluar el comportamiento estructural del puente grúa bajo cargas operativas definidas, con el objetivo de identificar zonas críticas, cuantificar esfuerzos y validar factores de seguridad sin necesidad de prototipos físicos. La técnica se aplicó en la fase de simulación estructural del procedimiento metodológico.

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.

Validación técnica mediante comparación normativa

El método analítico se empleó para descomponer el sistema del puente grúa en sus componentes principales, con el fin de identificar las variables estructurales, mecánicas y de seguridad que influyen en su comportamiento (Agbakwuru, 2023).

Este método permitió establecer parámetros técnicos de carga y condiciones de apoyo necesarios para el análisis estructural, sirviendo también como referencia para comparar y validar los resultados obtenidos mediante simulación por elementos finitos. El uso conjunto de métodos analíticos y comparativos contribuye a verificar que los valores calculados numéricamente si cumplen las expectativas teóricas y exigencias normativas aplicables al diseño estructural.

1.4.3. Métodos

Fundamentación del procedimiento

El método analítico permite descomponer un sistema estructural en elementos fundamentales para identificar variables geométricas, mecánicas y de carga, y establecer relaciones matemáticas que describen su comportamiento teórico, Según (Aprendix, 2025). este método permite estudiar los fenómenos de manera lógica y ordenada identificando las variables que influyen en el problema de investigación.

Se empleó para definir los parámetros iniciales de diseño del puente grúa, tales como cargas actuantes, condiciones de apoyo y criterios de resistencia, sirviendo como base para la posterior simulación estructural y comparación normativa.

Método de modelado tridimensional (CAD)

El modelado tridimensional asistido por computadora permite representar de forma precisa la geometría, dimensiones y ensamblaje de los componentes

estructurales, constituyendo una etapa esencial previa al análisis computacional (Goldbach, 2024). Se utilizó para generar el modelo geométrico del puente grúa y sus elementos principales, el cual fue posteriormente empleado como base para la simulación estructural mediante elementos finitos.

Método comparativo normativo

El método comparativo permite contrastar los resultados obtenidos mediante análisis computacional con los límites y criterios establecidos en normas técnicas de diseño estructural, asegurando el cumplimiento de requisitos de seguridad y desempeño (AISC, 2022). Se utilizó para verificar que las tensiones y deformaciones obtenidas en la simulación cumplan con los valores permisibles del acero estructural y los criterios de servicio aplicables a puentes grúa.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. DEFINICIONES

El puente grúa es un sistema de elevación compuesto por una viga principal, mecanismos de traslación y elementos estructurales que permiten el movimiento controlado de cargas dentro de espacios industriales o académicos. Desde el punto de vista de la ingeniería mecánica y estructural, su diseño requiere evaluar la interacción entre cargas dinámicas, esfuerzos internos y condiciones de estabilidad, considerando criterios de resistencia y servicio (Wikipedia, 2025). La evolución de los métodos computacionales ha permitido que estos sistemas sean analizados mediante modelos digitales que representan con precisión la geometría, propiedades del material y condiciones de operación, optimizando el desempeño mecánico y reduciendo riesgos asociados fundamentalmente al sobredimensionamiento o falla estructural.

El análisis estructural moderno de grúas se basa en la simulación numérica mediante el método de elementos finitos (FEM), el cual permite discretizar la estructura en elementos pequeños para calcular tensiones, deformaciones y modos de fallo bajo distintas condiciones de carga (AISC, 2022). Investigaciones recientes señalan que este enfoque facilita el diseño más eficiente de vigas principales y perfiles estructurales, ya que permite evaluar fenómenos como pandeo, concentraciones de esfuerzos y estabilidad global antes de la fabricación física (Kulka, 2024). Además, la integración de herramientas CAD/CAE dentro del proceso de ingeniería ha impulsado metodologías automatizadas de optimización estructural, donde el modelo tridimensional constituye la base para análisis no lineales y validaciones normativas en sistemas de elevación.

Asimismo, la simulación estructural previa a la construcción se ha consolidado como una práctica esencial en el diseño de grúas y estructuras metálicas, debido a que permite anticipar deformaciones excesivas, sobrecargas o comportamientos dinámicos no deseados durante el levantamiento de cargas. Estudios recientes demuestran que los modelos computacionales permiten analizar el comportamiento del sistema completo, incluyendo cables, vigas y

mecanismos de movimiento, lo que contribuye a mejorar la seguridad operativa y la confiabilidad estructural en diferentes etapas del ciclo de vida del equipo (Iwona, 2023). Estas herramientas digitales facilitan la toma de decisiones técnicas basadas en resultados cuantitativos, fortaleciendo el desarrollo de proyectos de ingeniería orientados a la eficiencia y seguridad estructural.

El segundo componente del proyecto se relaciona con el diseño de elementos constructivos orientados a mejorar las condiciones funcionales de este proyecto, el análisis y simulación de un puente grúa en un entorno académico requiere considerar las condiciones funcionales y técnicas del espacio donde será implementado. En talleres de mecánica, los sistemas de izaje deben diseñarse bajo criterios de seguridad estructural, eficiencia operativa y adaptación al entorno físico existente (Silva, 2011). Estudios recientes señalan que las decisiones de diseño en infraestructura técnica influyen directamente en la funcionalidad del espacio, la seguridad de los usuarios y la optimización de recursos energéticos, por lo que la integración de soluciones técnicas adecuadas debe plantearse desde las etapas iniciales del proyecto.

El objetivo final del presente estudio es establecer un primer nivel de análisis del comportamiento en servicio y del posible agotamiento estructural del puente grúa, permitiendo cuantificar su nivel de seguridad mediante parámetros comparables con los empleados en estructuras diseñadas bajo normativas actuales. Desde la perspectiva de la ingeniería estructural aplicada, este análisis debe considerar cargas estáticas y dinámicas, factores de impacto, combinaciones de carga y criterios de estabilidad global (Caro, 2001). La validación técnica a través de simulación estructural constituye una etapa fundamental para verificar el cumplimiento de requisitos de resistencia, rigidez y seguridad operativa, permitiendo anticipar el comportamiento del sistema ante solicitaciones reales y optimizar la toma de decisiones durante el proceso de evaluación técnica.

Desde el enfoque tecnológico, la simulación computacional aplicada a sistemas mecánicos y estructurales permite modelar el comportamiento del puente grúa bajo diferentes condiciones de carga. Mediante herramientas de diseño asistido

por computadora (CAD) y análisis por el Método de los Elementos Finitos (MEF), es posible verificar esfuerzos, deformaciones y factores de seguridad antes de una eventual implementación física (De la Rosa, 2022). Estas metodologías digitales, integradas con entornos BIM y modelos computacionales avanzados, optimizan la precisión del diseño, reducen incertidumbre técnica y permiten realizar evaluaciones predictivas del desempeño estructural.

Desde una perspectiva de ingeniería aplicada, la fundamentación teórica establece que el diseño del puente grúa debe integrar criterios estructurales, análisis numérico y validación técnica mediante simulación, asegurando que la propuesta responda a requerimientos reales de carga, estabilidad y seguridad operativa (Pieter, 2023). Investigaciones actuales destacan que las tecnologías digitales, como la simulación estructural y los modelos inteligentes, permiten anticipar el comportamiento de las estructuras, reducir riesgos y mejorar la toma de decisiones durante el proceso de diseño y evaluación técnica.

2.2. ANTECEDENTES

La Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí (ULEAM), extensión El Carmen, constituye un referente académico en la zona norte de la provincia, orientado a la formación profesional, investigación aplicada y vinculación con la sociedad (ULEAM, 2021). Desde su creación, esta extensión universitaria ha contribuido al desarrollo educativo y social del cantón El Carmen y sectores cercanos, consolidándose como un centro de educación superior que promueve la innovación académica y el fortalecimiento de competencias técnicas en diversas áreas del conocimiento.

La institución cuenta con una trayectoria superior a tres décadas de servicio educativo, manteniendo procesos de evaluación y aseguramiento de la calidad académica enfocados en docencia, investigación y vinculación. Además, dispone de una planta docente especializada y proyectos académicos orientados al desarrollo local, lo que evidencia su compromiso con la formación científica y tecnológica de los estudiantes (ULEAM, 2022). Estas características institucionales permiten que proyectos de ingeniería, como el análisis y

simulación de estructuras mecánicas, se desarrollen dentro de un entorno académico que fomenta la investigación aplicada y la mejora continua de los procesos formativos.

En los últimos años, la extensión ha fortalecido su infraestructura y oferta académica mediante la implementación de nuevos espacios educativos y carreras técnicas, entre ellas la Tecnología Superior en Electromecánica, lo que ha permitido ampliar las capacidades prácticas y tecnológicas de los estudiantes (ULEAM, 2024). La inauguración del campus “Lastenia Vera” refleja el crecimiento institucional y la proyección hacia el desarrollo de proyectos técnicos vinculados con el sector productivo y la formación profesional especializada

Asimismo, diversas investigaciones desarrolladas dentro de la ULEAM extensión El Carmen evidencian la aplicación constante de proyectos tecnológicos y académicos orientados a la mejora de procesos educativos, seguridad institucional y gestión de recursos, demostrando un entorno propicio para la ejecución de estudios de análisis y simulación estructural en contextos reales de aprendizaje (Zambrano, 2025). Estas experiencias previas consolidan a la institución como un escenario adecuado para el desarrollo del presente proyecto enfocado en el análisis y simulación de un puente grúa destinado al taller de mecánica de la carrera de Electromecánica.

Previo al desarrollo del presente trabajo, diversas investigaciones académicas y técnicas han abordado el análisis estructural de puentes grúa mediante herramientas computacionales, modelado tridimensional y análisis por elementos finitos. Estudios recientes han demostrado que la aplicación de modelos numéricos permite evaluar desplazamientos, tensiones y estabilidad estructural antes de la fabricación, contribuyendo a optimizar el diseño y reducir riesgos operativos en sistemas de elevación (Kulka, 2024). Por ejemplo, investigaciones sobre diseño y optimización de vigas de puentes grúa han evidenciado que los modelos FEM permiten analizar condiciones reales de carga y mejorar el desempeño estructural mediante simulaciones avanzadas.

Asimismo, trabajos académicos orientados al cálculo estructural de puentes grúa han incorporado metodologías analíticas y digitales para el dimensionamiento de

componentes, considerando líneas de influencia, cargas móviles y criterios normativos de resistencia (Zambrano G. K., 2024). Estas investigaciones evidencian que el uso combinado de modelado CAD, simulación estructural y verificación normativa constituye una práctica consolidada en el ámbito de la ingeniería mecánica y estructural, permitiendo validar el comportamiento del sistema antes de su implementación física.

En el ámbito internacional, estudios recientes también han explorado el diseño de puentes grúa utilizando distintos materiales y metodologías computacionales avanzadas, demostrando que la simulación estructural facilita la reducción de deformaciones, la optimización del peso y la mejora del factor de seguridad del sistema (Solazzi, 2024). Estas investigaciones reflejan una tendencia hacia la integración de herramientas digitales dentro del proceso de diseño de estructuras industriales, consolidando el análisis previo como una etapa fundamental para garantizar seguridad, eficiencia y viabilidad técnica.

2.3. TRABAJOS RELACIONADOS

Diversas investigaciones desarrolladas en Europa y Asia han abordado el análisis estructural de sistemas metálicos sometidos a cargas dinámicas mediante herramientas de simulación numérica. Estudios realizados en universidades alemanas y japonesas han empleado el método de elementos finitos (FEM) para evaluar el comportamiento mecánico de vigas tipo pórtico y estructuras portantes de puentes grúa, considerando esfuerzos combinados, deformaciones y concentraciones de tensión en zonas críticas. Estos trabajos han demostrado que la modelación computacional permite optimizar dimensiones estructurales y mejorar la seguridad operativa antes de la fase constructiva, reduciendo costos asociados a prototipos físicos (Navale, 2023). Además, investigaciones recientes destacan la importancia de integrar parámetros reales de carga y condiciones de servicio para obtener resultados más representativos y confiables en entornos industriales modernos.

En el contexto del continente americano, diversos estudios han aplicado el modelado tridimensional y el análisis por elementos finitos para evaluar el comportamiento estructural de sistemas de elevación y estructuras metálicas industriales (Landa, 2024). Investigaciones desarrolladas en universidades de la región evidencian que la simulación estructural permite determinar esfuerzos, deformaciones y condiciones críticas antes de la construcción, contribuyendo a optimizar el diseño y garantizar la seguridad operativa. Por ejemplo, análisis estructurales realizados en proyectos académicos y técnicos sobre estructuras con puente grúa destacan que el cálculo estructural y la evaluación de cargas constituyen etapas fundamentales para validar la resistencia y estabilidad del sistema. Asimismo, estos trabajos señalan que la integración de herramientas CAD/CAE facilita la modelación precisa de los componentes y la verificación del desempeño mecánico bajo diferentes condiciones de servicio, fortaleciendo la toma de decisiones en proyectos de ingeniería aplicada.

A nivel nacional, dentro del Ecuador se han desarrollado investigaciones orientadas al análisis estructural de sistemas metálicos mediante herramientas de modelado tridimensional y simulación por elementos finitos, especialmente en proyectos académicos vinculados a la ingeniería mecánica y civil. Estudios realizados en repositorios universitarios del país evidencian que la evaluación previa de cargas, deformaciones y factores de seguridad permite validar el comportamiento estructural antes de su implementación física, optimizando el diseño y reduciendo riesgos operativos (Tisalema, 2024). Por ejemplo, trabajos académicos enfocados en el análisis de grúas y estructuras metálicas industriales destacan la importancia de integrar software CAD/CAE para la simulación de esfuerzos y la verificación del desempeño mecánico bajo diferentes condiciones de servicio, contribuyendo a mejorar la confiabilidad del sistema y la toma de decisiones técnicas durante la etapa de diseño estructural aplicado.

De acuerdo con la revisión de literatura en repositorios académicos y bases científicas, no se identifican estudios específicos sobre análisis y simulación estructural de puentes grúa aplicados a talleres de electromecánica en otros

cantones de Manabí. Los trabajos existentes abordan temáticas generales de ingeniería, lo que evidencia el carácter innovador y pertinente del presente proyecto dentro del contexto provincial.

CAPÍTULO III: DESARROLLO DE LA PROPUESTA

El presente capítulo describe el desarrollo técnico de la propuesta planteada, orientada al diseño y análisis estructural de un puente grúa para el taller de mecánica de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí (ULEAM). Las actividades desarrolladas se organizaron en función de los objetivos específicos establecidos, abarcando el diseño estructural, la simulación computacional y el análisis económico preliminar del sistema. El detalle metodológico y los resultados cuantitativos obtenidos se presentan de manera ordenada, permitiendo verificar el cumplimiento de los objetivos planteados.

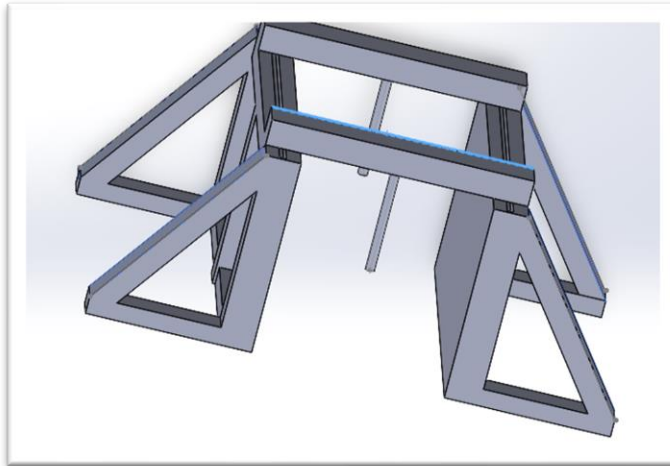
3.1. DESARROLLO

El presente capítulo describe el diseño estructurando y los contenidos conforme a los objetivos específicos planteados. Se detallan las etapas de diseño, modelado tridimensional, simulación estructural y validación técnica, incorporando cálculos, planos, diagramas y resultados obtenidos mediante herramientas CAD.

Se presenta la definición geométrica del sistema, selección de perfiles estructurales, dimensiones principales y ensamblaje de los componentes del puente grúa. Incluye planos generales, vistas técnicas y criterios de diseño adoptados en función de las condiciones de carga del taller.

Ilustración 1.

Diseño y modelado tridimensional de la estructura de puente grúa.

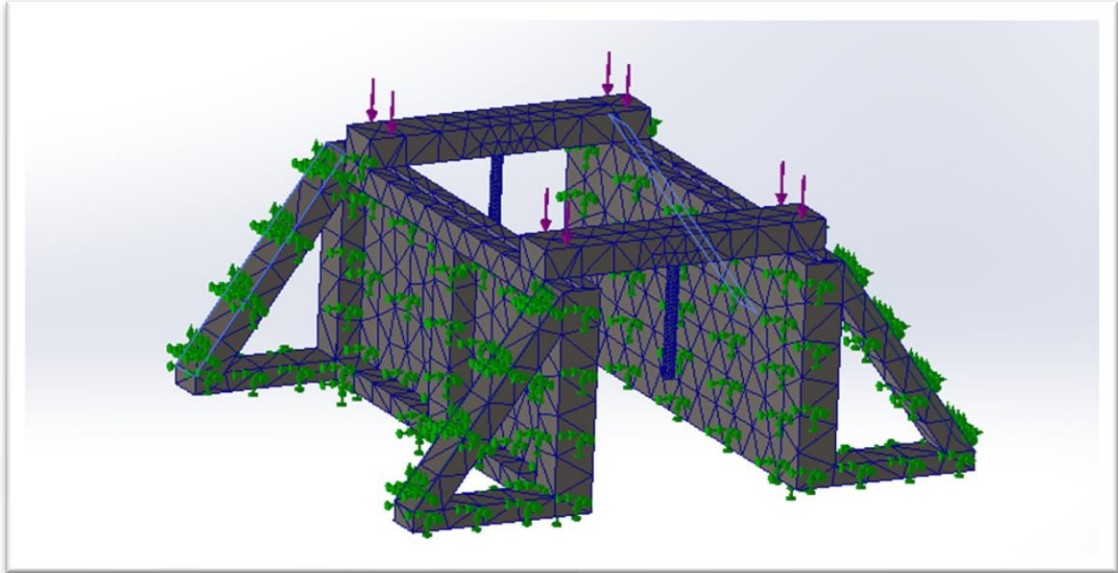


El análisis estructural realizado permitió obtener resultados cuantitativos relacionados con el comportamiento mecánico del puente grúa. Se identificaron las zonas críticas de la estructura sometidas a mayores niveles de tensión, así como las deformaciones máximas generadas por la carga aplicada.

Los valores obtenidos de tensión equivalente se mantuvieron dentro de los límites admisibles del acero estructural ASTM A36, mientras que las deformaciones máximas fueron inferiores al criterio de deformación establecido, lo que indica un comportamiento estructural adecuado. El factor de seguridad obtenido demuestra que el diseño cumple con los requisitos básicos de estabilidad y resistencia.

Ilustración 2.

Parámetros de cálculo y distribución de tensiones equivalentes en la viga principal.



La carga fue aplicada en el punto correspondiente al polipasto, simulando la acción del levantamiento de la carga máxima de diseño. Las restricciones se definieron en los apoyos del sistema, representando el anclaje del puente grúa a los rieles de desplazamiento, lo que permitió reproducir condiciones reales de operación.

3.1.1. Descripción de la propuesta

El primer objetivo específico se orienta al diseño y modelado tridimensional del puente grúa destinado al taller de mecánica de la carrera de Electromecánica, estableciendo las características geométricas, dimensiones y configuración estructural del sistema. La propuesta contempla la definición de la viga principal, carros de desplazamiento, elementos de soporte y perfiles estructurales, considerando criterios técnicos de resistencia mecánica y funcionalidad operativa.

Para cumplir este objetivo, se desarrolló un modelo digital mediante software CAD, permitiendo representar de forma precisa el ensamblaje de los componentes y su interacción estructural. Este proceso facilitó la visualización del sistema, la verificación de interferencias y la preparación del modelo base

para el análisis estructural posterior mediante el método de elementos finitos, asegurando coherencia entre el diseño geométrico y los requerimientos técnicos establecidos en la propuesta.

El segundo objetivo específico se centra en la simulación estructural del puente grúa mediante el método de elementos finitos (FEM), con el fin de evaluar de manera precisa su comportamiento mecánico bajo las condiciones de carga definidas previamente. Este proceso incluye la asignación de propiedades del material, restricciones, cargas y parámetros de mallado dentro del software CAE, permitiendo determinar esfuerzos, deformaciones, desplazamientos y factores de seguridad. Los resultados obtenidos facilitan identificar zonas críticas y validar la confiabilidad estructural antes de una posible implementación física del sistema.

El tercer objetivo específico se enfoca en analizar y validar los resultados obtenidos de la simulación estructural, verificando que el puente grúa cumpla con los criterios de resistencia, estabilidad y seguridad establecidos en las normativas correspondientes. Este análisis permite comparar tensiones, deformaciones y factores de seguridad con los límites permisibles del material, asegurando la viabilidad técnica del diseño. Asimismo, facilita la identificación de posibles ajustes o mejoras en el modelo, garantizando que la propuesta pueda implementarse de manera segura y eficiente en el taller de mecánica.

3.1.2. Etapas

El desarrollo del proyecto se estructuró en las siguientes etapas:

Etapas 1: Diseñar el modelo tridimensional del puente grúa mediante software CAD.

Para cumplir el primer objetivo específico, se definieron los requerimientos del puente grúa, se seleccionó acero estructural A36, se diseñó el modelo tridimensional en CAD, se verificó el ensamblaje y se preparó el modelo para la simulación.

Etapas 2: Ejecutar la simulación estructural mediante elementos.

Para cumplir el segundo objetivo específico, se realizaron las siguientes actividades: se importó el modelo tridimensional del puente grúa al software de análisis estructural, se definieron propiedades del material, restricciones y condiciones de carga, se generó el mallado del modelo y se ejecutó la simulación mediante el método de elementos finitos, obteniendo resultados de esfuerzos, deformaciones, desplazamientos y factores de seguridad, lo que permitió evaluar el comportamiento estructural del sistema antes de su implementación.

Etapa 3: Análisis y validación de resultados de la simulación.

Para cumplir el tercer objetivo específico, se analizaron y validaron los resultados de la simulación, comparando tensiones, deformaciones y factores de seguridad con límites permisibles, verificando resistencia, estabilidad y viabilidad técnica del puente grúa, e identificando ajustes necesarios para su implementación.

3.1.3. Presupuesto

A continuación, presento el presupuesto corregido y formalmente estructurado, ajustando cantidades y coherencia contable (total: 535 USD).

Tabla 1.
Presupuesto general

Ítem	Descripción	Cantidad	Costo Unitario (USD)	Subtotal (USD)
Computador portátil (usado)	Equipo para modelado CAD y simulación	1	\$420,00	\$420,00
Software CAD educativo	Licencia académica	1	\$0,00	\$0,00
Software de simulación estructural	Versión educativa	1	\$0,00	\$0,00
Uso de Internet	Servicio de conectividad (3 meses)	3	\$30,00	\$90,00

Consumo Energía eléctrica	Consumo estimado (3 meses)		\$25,00	\$25,00
Diseño, Simulación y validación	Análisis estructural computacional		\$0,00	\$0,00
Total General del Proyecto				\$535,00

El desarrollo del presente proyecto se realizó bajo un enfoque técnico académico, centrado en el análisis y simulación estructural de un puente grúa para el taller de mecánica, sin contemplar la ejecución física del sistema. Si bien no se generaron costos asociados a materiales ni a procesos constructivos, se consideraron recursos tecnológicos básicos indispensables para el desarrollo del estudio, tales como un equipo de cómputo, servicio de internet y consumo de energía eléctrica.

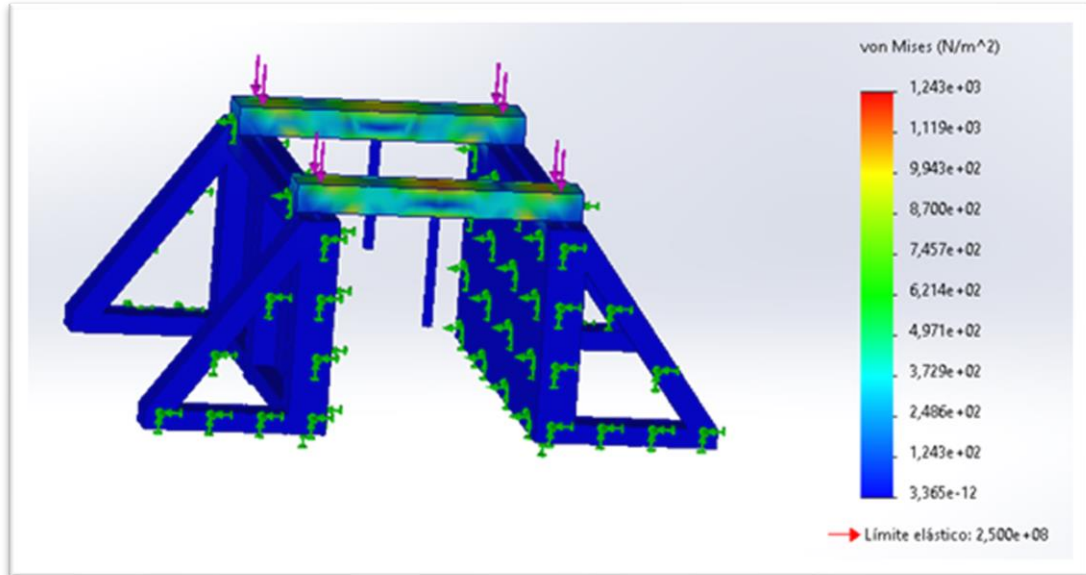
La utilización de software CAD y herramientas de simulación estructural en versión educativa permitió efectuar el modelado y análisis técnico sin costos adicionales de licenciamiento. De esta manera, el presupuesto se limitó exclusivamente a los recursos operativos necesarios para el desarrollo del proyecto, alcanzando un total referencial de 535,00 USD.

El proyecto permitió cumplir los objetivos planteados mediante la aplicación de herramientas computacionales y criterios de ingeniería estructural, garantizando la viabilidad técnica del diseño y la validación del comportamiento del puente grúa en un entorno académico, optimizando recursos y manteniendo eficiencia económica.

3.2. RESULTADOS

Ilustración 3.

Validación de condiciones de carga y restricciones del modelo estructural.

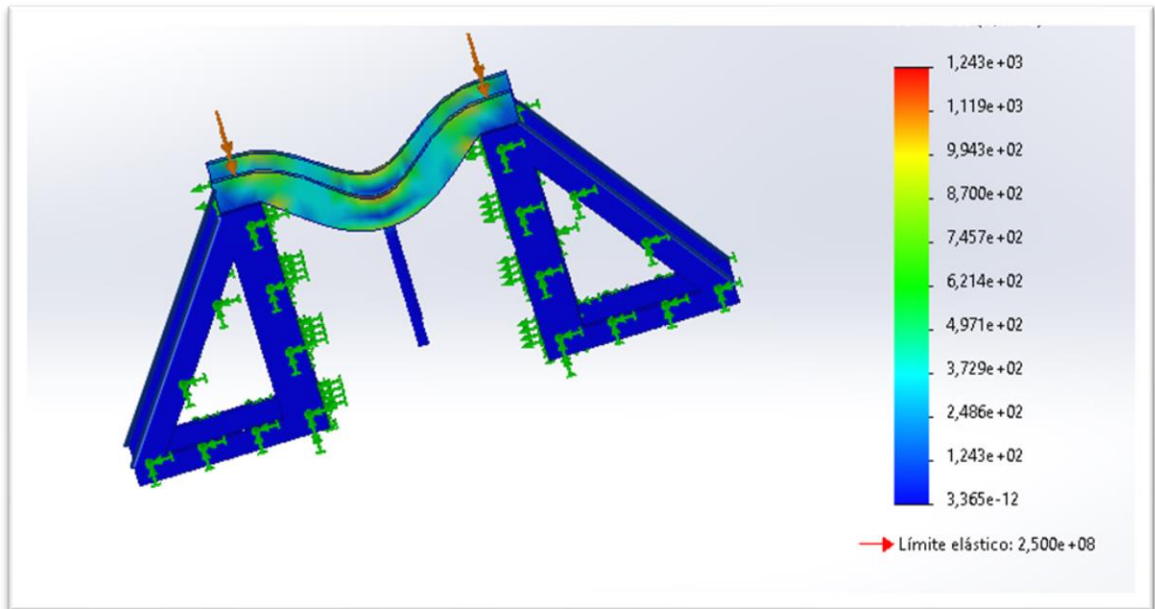


Se realiza la interpretación de resultados obtenidos en la simulación, comparando valores con criterios normativos y límites permisibles, verificando estabilidad estructural y viabilidad técnica para una futura construcción.

La distribución de tensiones equivalentes (Von Mises) generadas en la estructura del puente grúa bajo la carga aplicada. Los mayores niveles de tensión se concentran en la viga principal y en las zonas cercanas al punto de aplicación de la carga. No obstante, los valores obtenidos se mantienen dentro del límite admisible del acero estructural ASTM A36, lo que indica un comportamiento estructural adecuado.

Ilustración 4.

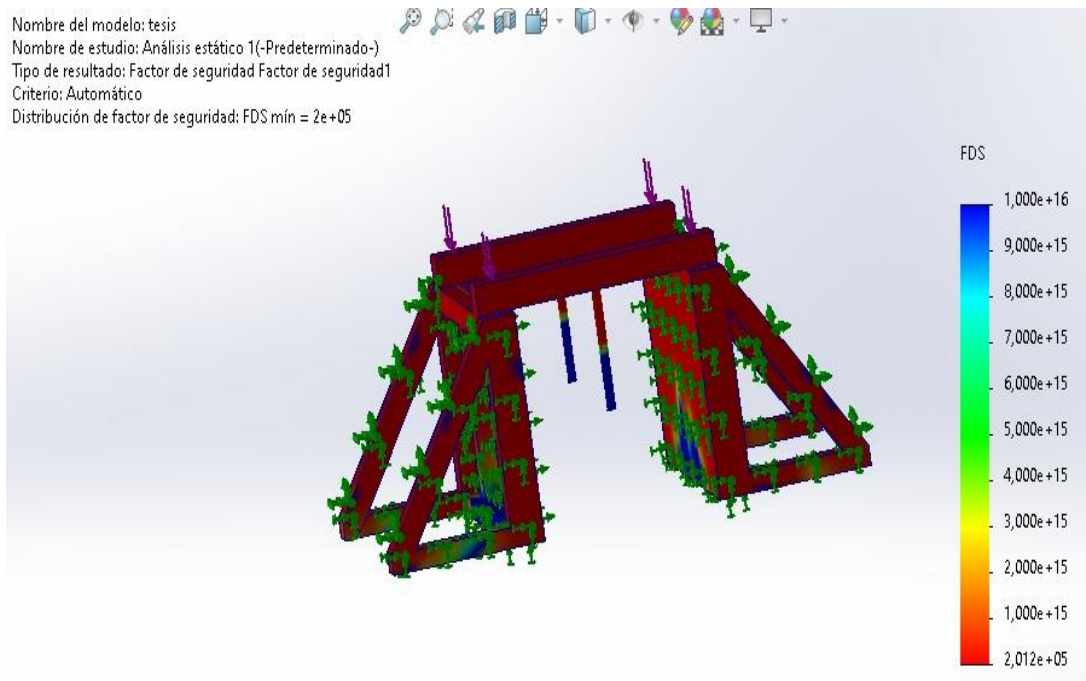
Deformación máxima estructural del puente grúa bajo condiciones de carga aplicada.



La Ilustración representa el desplazamiento máximo generado en la estructura del puente grúa como resultado de la carga aplicada. La mayor deformación se localiza en el centro de la viga principal, comportamiento esperado en estructuras sometidas a flexión. El valor de deformación obtenido es inferior al criterio de servicio establecido, lo que confirma la rigidez y estabilidad del diseño propuesto.

Ilustración 5.

Distribución del factor de seguridad (FDS) del puente grúa bajo carga aplicada, mínimo FDS = $2e+05$.



Se cumplió sobre el análisis y validación los resultados del factor de seguridad (FDS) del puente grúa, confirmando que los valores obtenidos, con un mínimo de $2e+05$, cumplen con los criterios de estabilidad y resistencia estructural, garantizando la viabilidad técnica del diseño para una posible implementación segura en el taller de mecánica.

CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

Se cumplió con el primer objetivo específico, ya que se diseñó y elaboró con éxito el modelo tridimensional del puente grúa y sus componentes principales mediante software CAD. El diseño incluyó la viga principal, los carros de desplazamiento, elementos de soporte y perfiles estructurales, permitiendo una representación precisa del sistema y asegurando que la geometría y el ensamblaje de los componentes fueran coherentes con los requerimientos técnicos establecidos.

Se logró el segundo objetivo específico al ejecutar la simulación estructural mediante el método de elementos finitos (FEM). La aplicación de cargas, restricciones y parámetros de mallado permitió determinar con precisión esfuerzos, deformaciones y factores de seguridad del puente grúa, identificando zonas críticas y validando el comportamiento estructural del sistema bajo condiciones de operación definidas.

El tercer objetivo específico se cumplió satisfactoriamente mediante el análisis y validación de los resultados obtenidos, verificando que los valores de tensión, deformación y desplazamiento cumplieran con los límites permisibles del material y los criterios de estabilidad. Esto confirmó la viabilidad técnica del diseño y su adecuación para una posible implementación en el taller de mecánica.

4.2. RECOMENDACIONES

Se recomienda a los estudiantes de la carrera de Electromecánica aprovechar el modelo tridimensional y los resultados de la simulación del puente grúa como herramienta de aprendizaje práctico. Esto permitirá comprender el comportamiento estructural, identificar zonas críticas, interpretar esfuerzos y deformaciones, y desarrollar habilidades en el uso de software CAD/CAE. Asimismo, se sugiere aplicar estos conocimientos en proyectos académicos futuros, fomentando la resolución de problemas de ingeniería de manera segura y fundamentada, fortaleciendo la formación técnica y profesional.

Se recomienda a los responsables del taller de mecánica y a los docentes de la carrera de Electromecánica utilizar el modelo tridimensional y los resultados de la simulación como referencia técnica antes de cualquier implementación física del puente grúa. Esto permitirá anticipar posibles zonas críticas, optimizar la distribución de cargas y garantizar la seguridad estructural durante el uso. Asimismo, se sugiere capacitar al personal en interpretación de los análisis computacionales para un aprovechamiento adecuado del diseño.

Se sugiere a las autoridades académicas y administrativas considerar la integración de proyectos de simulación estructural en el plan formativo de Electromecánica. Esto fortalece la formación práctica de los estudiantes, promueve el aprendizaje basado en proyectos y fomenta la adopción de herramientas tecnológicas modernas, mejorando la eficiencia y seguridad de los sistemas mecánicos del taller. Además, asegura que futuros proyectos sigan criterios de diseño y verificación técnica consistentes con la normativa vigente.

Se aconseja a docentes, personal técnico y responsables del taller de mecánica considerar los resultados del análisis y la simulación como referencia para garantizar la seguridad operativa del puente grúa. Esto incluye la planificación de mantenimiento preventivo, la supervisión de cargas y el uso responsable del equipo. Además, se recomienda complementar la información digital con inspecciones físicas periódicas, asegurando que la estructura funcione correctamente y cumpla con los criterios de estabilidad y resistencia establecidos.

BIBLIOGRAFÍA

- Agbakwuru, J. N. (2023). *ANALYTICAL AND NUMERICAL METHODS IN STRUCTURAL ENGINEERING*. Nigeria: Universidad Federal de Recursos Petroleros.
- AISC, O. (2022). *Manual de construcción en acero, 16.^a edición*. Retrieved from <https://www.aisc.org>: <https://www.aisc.org/aisc/publications/steel-construction-manual/>
- Alkin, C. E. (2005, enero 03). *Modelado sólido y análisis de elementos finitos de un puente grúa aéreo*. Retrieved from <https://ojs.cvut.cz>: <https://ojs.cvut.cz/ojs/index.php/ap/article/view/712/544>
- Aprendix. (2025). *Metodo Analítico: Características y Ejemplos Esenciales*. Retrieved from <https://aprendix.org> : <https://aprendix.org/metodo-analitico/>
- Carlos, J. V. (2025). *alba-consult*. Retrieved from La Importancia del Puente Grúa en la Gestión de Almacenes y Logística: <https://www.alba-consult.com/la-importancia-del-puente-grua-en-la-gestion-de-almacenes-y-logistica/>
- Caro, A. J. (2001). *Análisis estructural de puentes arco de fábrica. Criterios de Comprobación*. Madrid: Universidad politécnica de Madrid.
- De la Rosa, R. Y. (2022, jun). Análisi estructural mediante herramientas CAD. *Revista de Ciencias del Mar y Acuicultura*, Vol. 5 (Núm. 9) . Retrieved from <https://publicacionescd.uleam.edu.ec>: [https://publicacionescd.uleam.edu.ec/index.php/yaku/article/download/396/643/1745#:~:text=mediante%20las%20herramientas%20CAD%2C%20es,producto%20\(Madero%2C%202020\).&text=Barato%2C%20A.,BILBAO:%20UNIVERSIDAD%20DE%20INGENIERIA%20BILBAO.&text=Fons%20eca%2C%20R](https://publicacionescd.uleam.edu.ec/index.php/yaku/article/download/396/643/1745#:~:text=mediante%20las%20herramientas%20CAD%2C%20es,producto%20(Madero%2C%202020).&text=Barato%2C%20A.,BILBAO:%20UNIVERSIDAD%20DE%20INGENIERIA%20BILBAO.&text=Fons%20eca%2C%20R)
- Erazo-Arteaga, V. A. (2022, Abril). *Información tecnológica*. Retrieved from El diseño, la manufactura y análisis asistido por computadora (CAD/CAM/CAE) y otras técnicas de fabricación digital en el desarrollo de productos en América Latina: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642022000200297
- Goldbach, K. y. (2024, Junio). *Diseño y análisis paramétrico integrado en CAD de estructuras de carcasa ligera*. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com>: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352012424007185>
- Iwona, A. W. (2023). *Modelado 3D de la dinámica de grúas pluma de celosía offshore mediante el método de elementos finitos rígidos*. Polonia: Universidad de Bielsko-Biala, Willowa.

- Jaramillo, G. F. (2018). *Diseño de puentes gruas y sistemas stand Reel para mejorar el transporte de bobina*. Cuenca: UPS.
- Kulka, J. M. (2024, octubre 30). *Optimización del diseño de vigas cajón de grúas aéreas*. Retrieved from https://www.mdpi.com/2076-3417/14/21/9926?utm_source
- Landa, C. J. (2024). *Análisis estructural de la base de una grúa mediante método de elementos finitos en una embarcación costera de transporte*. Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Navale, R. S. (2023). *Optimización del diseño de una sola viga grúa aérea mediante análisis de elementos finitos*. Maharashtra, India.: International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication.
- Pieter, d. W. (2023, ago 01). <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113171>. Retrieved from https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778823004012?utm_source
- Saeed, M. (1999). *Finite element analysis: Theory and application with ANSYS*. Retrieved from [http://ftp.demec.ufpr.br: http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM738/Livros/Finite%20Element%20Analysis,%20Theory%20and%20application%20with%20ANSYS,%20.pdf](http://ftp.demec.ufpr.br/http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM738/Livros/Finite%20Element%20Analysis,%20Theory%20and%20application%20with%20ANSYS,%20.pdf)
- Silva, S. C. (2011). *Diseño de un puente grua tipo 5 toneladas de capacidad para la industria metalmecánica*. Quito: EPN.
- Solazzi, L. y. (2024). *Diseño de una Grúa Aérea en Acero, Aluminio y Material Compuesto Mediante el Método de Pretensado*. Brescia, Italia: Universidad de Brescia.
- Tang, R. L. (2021). *The finite element method: A practical course*. . Butterworth-Heinemann.
- Tisalema, T. P. (2024). *Diseño de una estructura metálica con un puente grúa para el área de mantenimiento y bodega en la empresa Pulpa Moldeada S.A*. Latacunga: UTC.
- ULEAM. (2021). *Plan Estratégico Institucional 2021-2026*. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.
- ULEAM. (2022). *Malla curricular y lineamientos académicos de la carrera de Electromecánica*. Universidad Laica de Manabí.
- ULEAM. (2024, nov 01). <https://www.uleam.edu.ec>. Retrieved from https://www.uleam.edu.ec/inauguracion-1era-etapa-nuevo-campus-lastenia-vera-en-la-extension-el-carmen/?utm_source

- Wikipedia, O. (2025, feb 13). *Puente-grúa*. Retrieved from <https://es.wikipedia.org/>: https://es.wikipedia.org/wiki/Puente-gr%C3%BAa?utm_source=chatgpt.com
- Zambrano, G. K. (2024). *Análisis y cálculo estructural de un puente grúa mediante líneas de influencia*. Madrid: Universidad de Alcalá.
- Zambrano, O. E. (2025). *Sistema informático para la gestión de inventarios de un taller social de reparación de equipos tecnológicos en la Uleam extensión El Carmen*. EL CARMEN: ULEAM. Retrieved from https://repositorio.uleam.edu.ec/handle/123456789/9137?utm_source

ANEXOS

Anexo 1

Modelo tridimensional del puente grúa con dimensiones principales de los componentes estructurales.

