



UNIVERSIDAD LAICA “ELOY ALFARO” DE MANABÍ

Título:

Estudio y simulación de tensiones en una estructura de acero en la carrera de Electromecánica en la ULEAM Extensión El Carmen.

Autores:

Caicedo Holguín Roque Ignacio
Moreira Barcia Domny Alfonso

Tutor

Ing. Jonathan Jiménez, Mg.

Unidad Académica:

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

Carrera:

Tecnología Superior en Electromecánica.

El Carmen, 27 de Febrero 2026

CERTIFICACION DEL TUTOR

Ing. Jonathan Jiménez, Mg.; docente de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí extensión El Carmen, Unidad Académica de Formación Técnica y Tecnológica, Educación Virtual y Otras Modalidades, en calidad de Tutor.

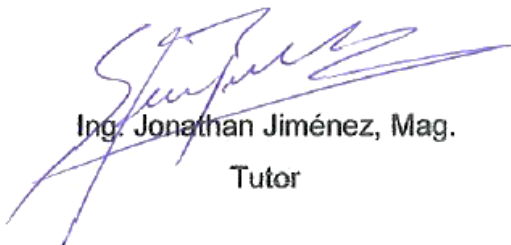
CERTIFICO:

Que el presente proyecto integrador con el título: “Estudio y simulación de tensiones en una estructura de acero en la carrera de Electromecánica en la ULEAM Extensión El Carmen.” 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 sus autores:

Caicedo Holguín Roque Ignacio, Moreira Barcia Domny Alfonso

Siendo de su exclusiva responsabilidad.



Ing. Jonathan Jiménez, Mag.
Tutor

El Carmen, 27 de Febrero 2026

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Quienes suscriben la presente:

Caicedo Holguín Roque Ignacio, Moreira Barcia Domny Alfonso

Estudiantes de la Carrera de **Tecnología Superior en Electromecánica**, declaramos bajo juramento que el presente proyecto integrador cuyo título: “Estudio y simulación de tensiones en una estructura de acero en la carrera de Electromecánica en la ULEAM Extensión El Carmen.”, 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.



Caicedo Holguín Roque Ignacio



Moreira Barcia Domny Alfonso

El Carmen, 27 de Febrero 2026



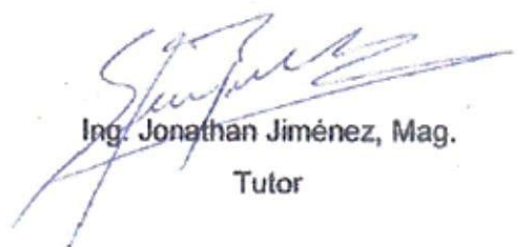
APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Los miembros del Tribunal Examinador aprueban el Trabajo de Titulación con modalidad Proyecto Integrador, titulado: “Estudio y simulación de tensiones en una estructura de acero en la carrera de Electromecánica en la ULEAM Extensión El Carmen.” de sus autores: Caicedo Holguín Roque Ignacio, Moreira Barcia Domny Alfonso de la Carrera “**Tecnología Superior en Electromecánica**”, y como Tutor del Trabajo el Ing. Jonathan Jiménez, Mg.

El Carmen, 27 de Febrero 2026



Dr. Henry Pinargote, PhD.
PRESIDENTE TRIBUNAL



Ing. Jonathan Jiménez, Mag.
Tutor



Ing. Saed Reascos, Mag.
Primer miembro del tribunal



Ing. Wladimir Minaya, Mag.
Segundo miembro de tribunal

AGRADECIMIENTO

A Dios, por brindarnos vida, salud y fortaleza para culminar esta etapa tan importante de nuestras vidas.

A nuestras familias, pilares fundamentales de apoyo y motivación, en especial a nuestros padres, por su amor, esfuerzo y enseñanzas que nos han guiado siempre por el camino del bien.

A nuestras esposas e hijos, por su comprensión, paciencia y respaldo incondicional durante las largas jornadas de estudio y trabajo, siendo la inspiración para nunca rendirnos.

A nuestros hermanos, abuelos y demás familiares, por sus palabras de aliento y confianza en nuestras capacidades.

A nuestro tutor, Ing. Jonathan Paul Jiménez Gonzales, Mg., por su guía, conocimientos y dedicación en cada etapa del desarrollo de este proyecto.

A la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, Extensión El Carmen, y a todos los docentes de la carrera de Tecnología Superior en Electromecánica, por contribuir con su experiencia y enseñanzas a nuestra formación profesional.

Y a todos nuestros amigos y compañeros, por el compañerismo, la cooperación y el ánimo compartido para alcanzar juntos nuestras metas académicas.

Roque Ignacio Caicedo Holguín, Domny Alfonso Moreira Barcia

DEDICATORIA

A Dios porque a Él encomiendo cada uno de mis pasos, y a Él le debo la oportunidad de culminar este proyecto.

A mi padre, Roque Otilio Caicedo Montesdeoca (+), cuya memoria vive en mi corazón y me inspira a seguir adelante; Su ejemplo de esfuerzo, honestidad y perseverancia ha sido la guía silenciosa que me ha impulsado en cada paso de este camino, a mi madre, Mariuxi Mabel Holguín Franco, por su amor incondicional, sus consejos sabios y su apoyo constante, que han sido pilar fundamental en mi vida y en la culminación de este logro académico, a mi esposa por su paciencia, comprensión y respaldo incondicional en todo momento, a mis hijos, fuente de mi motivación y alegría, quienes me impulsan a superarme día a día y a dejarles el ejemplo de que con dedicación y esfuerzo todo es posible.

Roque Ignacio Caicedo Holguín

A Dios, por darme la fuerza, la salud y la perseverancia necesarias para culminar este importante objetivo en mi vida.

A la memoria de mi querido abuelo, Miguel Enrique Barcia Zambrano (+), cuyo ejemplo de esfuerzo y valores ha sido una guía constante en mi camino, a mi madre, por su amor, apoyo incondicional y por enseñarme a luchar por mis sueños; a mis hermanos por siempre motivarme, amigos y demás familiares, quienes han estado presentes con palabras de aliento y gestos de cariño en los momentos más importantes de esta etapa, de manera muy especial, a mi esposa, por su comprensión, paciencia y compañía en las largas jornadas de trabajo, apoyándome en tareas, sacrificando horas de descanso y acompañándome en cada noche de desvelo, siendo mi mayor motivación para seguir adelante.

Domny Alfonso Moreira Barcia

RESUMEN

El diseño de estructuras metálicas requiere garantizar su estabilidad y seguridad antes de la construcción física, evitando fallos estructurales y optimizando el uso de materiales. En este trabajo se plantea como objetivo general realizar la simulación de tensiones en una estructura de acero con el fin de evaluar su comportamiento estructural. La metodología se desarrolló en tres etapas: modelado tridimensional de la estructura con perfiles normalizados y material ASTM A36, configuración de la simulación estructural con cargas y restricciones definidas, y análisis de los resultados obtenidos. La simulación mostró una tensión máxima de 87,95 MPa, un desplazamiento máximo de 11,2 mm y un factor de seguridad mínimo de 2,84, todos dentro de márgenes aceptables según las propiedades del material. Se concluye que el diseño propuesto es seguro y estable bajo las condiciones planteadas, y que la simulación constituye una herramienta eficaz para optimizar diseños y prevenir fallos.

PALABRAS CLAVE

Simulación estructural, estructura de acero, tensiones, desplazamiento, factor de seguridad.

ABSTRACT

The design of steel structures must ensure stability and safety before physical construction, avoiding structural failures and optimizing material use. This study aims to perform stress simulation on a steel structure to evaluate its structural behavior. The methodology was developed in three stages: 3D modeling of the structure with standardized profiles and ASTM A36 steel material, configuration of the structural simulation with defined loads and constraints, and analysis of the obtained results. The simulation revealed a maximum stress of 87.95 MPa, a maximum displacement of 11.2 mm, and a minimum safety factor of 2.84, all within acceptable limits according to the material's properties. It is concluded that the proposed design is safe and stable under the established conditions, and that simulation is an effective tool to optimize designs and prevent failures.

KEYWORDS

Structural simulation, steel structure, stresses, displacement, safety factor.

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
ÍNDICE DE TABLAS	IX
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1. PROBLEMA	3
1.2. JUSTIFICACIÓN	3
1.3. OBJETIVOS.....	5
1.3.1. Objetivo general	5
1.3.2. Objetivos específicos.....	5
1.4. METODOLOGÍA	5
1.4.1. Procedimiento.....	5
1.4.2. Técnicas	6
1.4.3. Métodos.....	7
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	8
2.1. DEFINICIONES	8
2.2. ANTECEDENTES	10
2.3. TRABAJOS RELACIONADOS.....	12
CAPÍTULO III: DESARROLLO DE LA PROPUESTA	15
3.1. DESARROLLO	15
3.1.1. Descripción de la propuesta	15
3.1.2. Etapas.....	16

3.1.3. Presupuesto.....	17
3.2. RESULTADOS.....	18
CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	24
4.1. CONCLUSIONES	24
4.2. RECOMENDACIONES.....	25
BIBLIOGRAFÍA	26
ANEXOS	28

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Modelo 3D de la estructura propuesta.	19
Ilustración 2. Carga aplicada, en Newtons, sobre la parte superior de la estructura.	20
Ilustración 3. Diagrama de contornos con la distribución de los esfuerzos en la estructura.	22
Ilustración 4. Diagrama de contornos de las deformaciones en la estructura.	23
Ilustración 5. Distribución del factor de seguridad en la estructura.	23
Ilustración 6. Medidas del arco de la estructura.	28
Ilustración 7. Separación entre arcos de la estructura.	29

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Dimensiones y especificaciones del modelo estructural.....	19
Tabla 2. Parámetros de simulación.	21
Tabla 3. Resultados de la simulación.	¡Error! Marcador no definido.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

La simulación de tensiones en estructuras es una herramienta fundamental para el análisis y validación de diseños en el ámbito de la tecnología electromecánica. Este proceso permite predecir el comportamiento de un elemento estructural ante diferentes condiciones de carga, identificando posibles zonas críticas y optimizando el uso de materiales; al emplear métodos de análisis computacional, se pueden obtener resultados precisos sobre esfuerzos, deformaciones y factores de seguridad, reduciendo la necesidad de ensayos físicos costosos y minimizando riesgos en la etapa de construcción (Aguirre, 2023). En el contexto académico, la simulación constituye una actividad formativa que fortalece las competencias técnicas de los estudiantes, integrando conocimientos de resistencia de materiales, diseño mecánico y análisis estructural.

Las estructuras de acero se han consolidado como una de las soluciones constructivas más utilizadas en el sector industrial y de infraestructura debido a su elevada resistencia mecánica, durabilidad y versatilidad en el diseño, este tipo de estructuras permite la construcción de sistemas livianos pero robustos, capaces de soportar cargas considerables con un margen de seguridad adecuado (Alvinox, 2024). Su fabricación estandarizada y la disponibilidad de perfiles normalizados facilitan su implementación en proyectos de diversa envergadura. En el ámbito académico, el estudio de estructuras de acero brinda la oportunidad de aplicar principios de ingeniería estructural a casos reales, fomentando el análisis crítico y la toma de decisiones técnicas basadas en criterios de seguridad y eficiencia.

En estudios recientes se han desarrollado análisis de simulación estructural que aportan antecedentes relevantes para el presente trabajo. Un ejemplo de ello es el realizado en 2021, donde se llevó a cabo una comparación entre las propiedades mecánicas del acero ASTM A36 y la fibra de cáñamo, utilizando herramientas de análisis asistido por computadora. En dicho estudio se evaluaron parámetros como tensión, desplazamiento y factor de seguridad, con el objetivo de determinar la viabilidad de la fibra de cáñamo como material

sustituto en aplicaciones estructurales. Los resultados demostraron que, si bien el acero ASTM A36 continúa siendo ampliamente utilizado por su resistencia, costo y disponibilidad, la fibra de cáñamo presenta propiedades interesantes que podrían aprovecharse en sectores como la construcción y la industria automotriz (Moreno, 2021). Este tipo de investigaciones refuerza la importancia de la simulación computacional como herramienta para evaluar el desempeño de materiales y optimizar diseños antes de su fabricación física.

El estudio y simulación de tensiones en estructuras de acero reviste gran importancia, ya que permite garantizar la seguridad, durabilidad y eficiencia de las construcciones antes de su ejecución física. Mediante el análisis computacional es posible identificar puntos críticos de concentración de esfuerzos, predecir deformaciones y evaluar el margen de seguridad de los elementos, evitando fallos estructurales que podrían generar pérdidas económicas y riesgos para las personas. Además, la simulación contribuye a optimizar el uso de materiales, reduciendo costos de fabricación y fomentando un diseño más sostenible. De esta manera, el presente trabajo no solo adquiere relevancia técnica, sino también económica y ambiental, en concordancia con las necesidades actuales de la industria.

La presente investigación guarda una relación directa con la carrera de Tecnología Superior en Electromecánica, ya que integra conocimientos clave de áreas como resistencia de materiales, diseño estructural, dibujo técnico y análisis mecánico. El dominio de estas competencias es fundamental para el tecnólogo electromecánico, quien debe ser capaz de interpretar planos, seleccionar materiales adecuados y evaluar el comportamiento estructural de los elementos que diseña o supervisa. Asimismo, el uso de herramientas de simulación refuerza las habilidades prácticas y analíticas de los estudiantes, preparándolos para enfrentar con éxito los retos que demanda el sector productivo en proyectos de construcción metálica y montaje industrial.

1.1. PROBLEMA

En la actualidad, el diseño y construcción de estructuras metálicas enfrenta el reto de garantizar un comportamiento seguro y eficiente bajo diversas condiciones de carga, sin incurrir en costos innecesarios ni comprometer la durabilidad. En muchos casos, la ausencia de un análisis previo basado en simulaciones precisas conduce a sobredimensionamientos, uso excesivo de material o, en el peor de los escenarios, a fallos estructurales por una incorrecta estimación de tensiones y deformaciones. Esta situación no solo repercute en el incremento de gastos y tiempos de ejecución, sino que también representa un riesgo potencial para la integridad de las personas y las instalaciones. La falta de procedimientos sistemáticos de evaluación mediante herramientas computacionales limita la optimización de diseños y la implementación de soluciones seguras y sostenibles.

Ante la necesidad de contar con estructuras metálicas seguras, optimizadas y confiables, surge la interrogante:

¿Cómo realizar un análisis de simulación de tensiones que permita determinar los esfuerzos, desplazamientos y factor de seguridad en una estructura de acero, con el fin de garantizar su estabilidad y eficiencia antes de su construcción física?

1.2. JUSTIFICACIÓN

Desde el ámbito académico, la presente investigación aporta a la formación integral de los estudiantes de Tecnología Superior en Electromecánica, al permitir la aplicación práctica de conocimientos adquiridos en asignaturas como diseño y desarrollo mecánico y fundamentos de mecánica. El desarrollo de un análisis de simulación de tensiones brinda la oportunidad de afianzar habilidades en la interpretación de resultados, el uso de criterios de seguridad y la toma de decisiones fundamentadas en datos técnicos. Además, este trabajo contribuye al fortalecimiento de las competencias profesionales que demanda el sector

productivo, fomentando la capacidad de resolver problemas reales mediante el empleo de metodologías modernas y eficientes.

En el campo tecnológico, el análisis computacional de tensiones se ha convertido en una herramienta esencial para optimizar diseños estructurales y garantizar su desempeño antes de la fabricación. El presente trabajo utiliza la simulación para predecir con precisión el comportamiento de una estructura de acero sometida a cargas distribuidas, lo que permite detectar zonas críticas, evaluar desplazamientos y calcular factores de seguridad. Esta metodología no solo reduce la necesidad de prototipos físicos, sino que también minimiza costos y tiempos de desarrollo, a la vez que contribuye a mejorar la calidad y confiabilidad de las construcciones metálicas.

El tema de esta investigación se alinea directamente con la línea de investigación institucional "Desarrollo Sustentable con énfasis en Ingeniería, Industria y Construcción", ya que promueve el uso eficiente de materiales, la optimización de procesos constructivos y la seguridad estructural. Mediante la simulación de tensiones, se contribuye al desarrollo de soluciones sostenibles que integran criterios de la tecnología para mejorar el desempeño de infraestructuras metálicas. De esta forma, el estudio no solo alcanza los objetivos académicos propuestos, sino que también contribuye a promover prácticas responsables, eficientes y sostenibles dentro del sector industrial y de la construcción.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Realizar el estudio y simulación de tensiones en una estructura de cubierta metálica con el fin de evaluar su comportamiento estructural.

1.3.2. Objetivos específicos

Modelar en un entorno de diseño asistido por computadora la estructura de acero considerando su geometría y su material.

Ejecutar la simulación estructural aplicando las condiciones de carga y restricciones correspondientes.

Analizar los resultados de la simulación identificando las zonas críticas, el valor máximo de desplazamiento y el factor de seguridad mínimo de la estructura.

1.4. METODOLOGÍA

1.4.1. Procedimiento

El desarrollo de la presente investigación se llevó a cabo siguiendo una metodología estructurada en función de los objetivos específicos planteados:

Paso 1: Modelado de la estructura de acero

- Se definieron las dimensiones generales de la estructura, estableciendo una altura de 5 m para las columnas, una altura máxima de 5,8 m en la parte superior del techo y una separación de 8 m entre columnas.
- Se seleccionaron los perfiles normalizados de acuerdo con las especificaciones del diseño: columnas con perfil DIN IPE160 y vigas superiores con canal ISO C120x12.
- Se dibujó la geometría completa utilizando herramientas de modelado de miembros estructurales, incorporando el entramado tipo Howe con separación de 400 mm entre vigas.

- Se asignó el material ASTM A36 a todos los elementos estructurales.

Paso 2: Ejecución de la simulación estructural

- Se configuró un estudio de análisis estático (Static Structural) para evaluar el comportamiento de la estructura bajo condiciones de carga.
- Se definió una carga distribuida equivalente a 200 kg aplicada sobre los perfiles superiores de la estructura.
- Se aplicaron restricciones de geometría fija en las bases de las columnas para simular el anclaje al piso.
- Se generó la malla de elementos finitos con un tamaño apropiado para garantizar un equilibrio entre precisión y tiempo de cálculo.

Paso 3: Análisis de resultados

- Se obtuvieron y registraron los valores de tensión máxima, desplazamiento máximo y factor de seguridad mínimo.
- Se identificaron las zonas críticas de la estructura donde se concentran los mayores esfuerzos y deformaciones.
- Se interpretaron los resultados en función de los límites mecánicos del material ASTM A36, determinando la viabilidad del diseño.

1.4.2. Técnicas

Modelado asistido por computadora – Técnica que permite la creación de representaciones tridimensionales precisas de elementos estructurales, facilitando la definición de dimensiones, perfiles y materiales (MCAD, 2022). Se utilizó en la etapa inicial del proyecto para construir digitalmente la estructura de

acero, permitiendo un control exacto de la geometría y garantizando que el modelo fuera apto para su posterior análisis por elementos finitos.

Análisis por elementos finitos (FEA) – Técnica de simulación numérica que divide la geometría de un modelo en pequeñas partes llamadas elementos, sobre las cuales se resuelven ecuaciones que describen el comportamiento físico (Mirlisenna, 2016). Se aplicó en la fase de simulación estructural para calcular tensiones, desplazamientos y factores de seguridad de la estructura bajo las condiciones de carga y restricciones establecidas.

1.4.3. Métodos

Método analítico-computacional – Consiste en la resolución de problemas de ingeniería mediante el uso de herramientas digitales que aplican modelos matemáticos y físicos (ESSS, 2017). Se empleó en la etapa de ejecución de la simulación estructural, permitiendo obtener resultados precisos del comportamiento de la estructura bajo carga.

Método descriptivo – Orientado a la observación, descripción y análisis de un fenómeno sin manipular variables (Alban, Verdesoto, & Castro, 2020). Se utilizó en la etapa de análisis de resultados para describir y documentar los valores obtenidos en la simulación, así como para identificar las zonas críticas de la estructura.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. DEFINICIONES

Fundamentación teórica del primer componente: Simulación de tensiones

La simulación de tensiones es un procedimiento que permite analizar el comportamiento mecánico de un elemento o conjunto estructural sometido a diferentes condiciones de carga, su principal objetivo es predecir cómo se distribuyen los esfuerzos internos, así como las deformaciones que puede experimentar la estructura antes de que ocurra una falla (Hulatt, 2024). Este tipo de análisis se realiza de forma virtual, utilizando modelos tridimensionales y métodos numéricos, lo que permite evaluar diversas configuraciones sin necesidad de construir prototipos físicos.

En la ingeniería y la tecnología, el análisis de tensiones se apoya en principios de la mecánica de materiales, la resistencia de materiales y la teoría de la elasticidad (Hightler, 2025). Estas disciplinas permiten establecer relaciones matemáticas entre las fuerzas externas aplicadas y las respuestas internas del material. En este sentido, la simulación se convierte en una herramienta valiosa para determinar el comportamiento estructural y garantizar la seguridad de un diseño antes de su implementación.

Una de las técnicas más utilizadas para la simulación de tensiones es el método de elementos finitos (FEA), el cual consiste en dividir la geometría del modelo en elementos más pequeños que, al resolverse de forma conjunta, permiten calcular tensiones, deformaciones y desplazamientos, este método ofrece gran precisión y versatilidad, siendo aplicable a piezas con geometrías complejas o cargas distribuidas de forma irregular (Caldelas, 2015).

La simulación de tensiones permite además realizar un análisis comparativo entre diferentes alternativas de diseño. Con ello, es posible optimizar el uso de materiales, reducir costos y minimizar el peso de la estructura sin comprometer su resistencia. Esta optimización es clave para proyectos donde la eficiencia estructural y la sostenibilidad son factores prioritarios.

Otro aspecto importante es la capacidad de evaluar el factor de seguridad, el cual indica cuántas veces la estructura puede soportar la carga máxima antes de llegar a su límite de falla, este parámetro es fundamental para verificar que el diseño cumpla con los márgenes de seguridad establecidos en normas técnicas y estándares de construcción (SEAS, 2023).

Finalmente, la simulación de tensiones constituye una herramienta de aprendizaje y formación técnica para estudiantes y profesionales, ya que permite visualizar los efectos de las cargas sobre una estructura, comprender la distribución de esfuerzos y anticipar posibles problemas. De esta forma, el análisis computacional no solo es un recurso de diseño, sino también un medio para fortalecer competencias en el campo de la ingeniería y la tecnología.

Fundamentación teórica del segundo componente: Estructura de acero

Las estructuras de acero son sistemas constructivos compuestos por elementos metálicos diseñados para soportar y transmitir cargas. Su uso se ha extendido ampliamente debido a la alta resistencia del acero, su durabilidad, facilidad de fabricación y versatilidad en la construcción, este tipo de estructuras se encuentra en edificaciones, puentes, torres, naves industriales y una amplia variedad de proyectos de infraestructura (TORICES, 2023).

El acero estructural, como el ASTM A36, presenta propiedades mecánicas que lo hacen adecuado para resistir esfuerzos de tracción, compresión y flexión, su capacidad de deformarse de manera controlada antes de la fractura proporciona seguridad adicional, ya que permite advertir fallos inminentes, además, la producción estandarizada de perfiles y secciones facilita su uso en proyectos de distinta escala, reduciendo tiempos y costos de construcción (PANEL, 2021).

Las estructuras de acero se diseñan a partir de elementos como columnas, vigas y arcos, que trabajan conjuntamente para garantizar la estabilidad y la resistencia del conjunto. Estos elementos pueden disponerse en configuraciones específicas, como entramados o cerchas, que permiten cubrir grandes luces y distribuir cargas de manera eficiente, el diseño de estos sistemas considera

aspectos como la carga máxima esperada, el tipo de solicitud y las condiciones de anclaje (TALLERES IRÚN, 2023).

Una de las ventajas más destacadas de las estructuras de acero es su facilidad de montaje y desmontaje, este factor permite la construcción modular y la reutilización de elementos, lo que resulta beneficioso en términos de sostenibilidad, además, el acero puede ser reciclado sin perder sus propiedades mecánicas, contribuyendo así a una economía circular en el sector de la construcción (Alvinox, 2023).

El comportamiento de una estructura de acero depende no solo de la calidad del material, sino también de la correcta unión entre sus elementos, estas uniones, que pueden ser soldadas o atornilladas, deben diseñarse cuidadosamente para asegurar que las cargas se transmitan de manera eficiente y que no existan puntos débiles que comprometan la estabilidad general (Tapia & García, 2020).

En el ámbito académico y profesional, el estudio de estructuras de acero es fundamental para formar especialistas capaces de proyectar, calcular y supervisar construcciones seguras. La integración de conocimientos teóricos y el uso de herramientas computacionales para simular su comportamiento bajo distintas condiciones de carga permite optimizar los diseños y garantizar que cumplan con los requisitos normativos y de seguridad.

2.2. ANTECEDENTES

Datos de la institución/organización donde se ejecutó el proyecto

La Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM) es una institución de educación superior pública ubicada en la provincia de Manabí, Ecuador. Fundada en 1985, se ha consolidado como una de las universidades más representativas de la región, ofreciendo una amplia variedad de carreras de grado y posgrado en distintas áreas del conocimiento, la ULEAM cuenta con varias extensiones y sedes distribuidas en la provincia, con el objetivo de descentralizar la educación y acercarla a las comunidades (ULEAM, 2012).

Dentro de su oferta académica, la Extensión El Carmen imparte la carrera de Tecnología Superior en Electromecánica, cuyo objetivo es formar profesionales capacitados para desempeñarse en el diseño, montaje, operación y mantenimiento de sistemas electromecánicos. El plan de estudios integra asignaturas teóricas y prácticas que abarcan desde fundamentos de electricidad y mecánica hasta técnicas avanzadas de control, instrumentación y análisis estructural (UNITEV, 2025).

La carrera se desarrolla en un entorno académico que fomenta la aplicación de conocimientos en proyectos prácticos y trabajos de titulación orientados a resolver problemas reales del entorno productivo e industrial. Las instalaciones de la ULEAM Extensión El Carmen cuentan con laboratorios y talleres equipados para apoyar el aprendizaje técnico, aunque también se complementa con el uso de herramientas de diseño y simulación asistida por computadora.

En este contexto, el presente proyecto se llevó a cabo como parte del trabajo de titulación para optar al título de Tecnólogo Superior en Electromecánica. La propuesta se orientó al análisis y simulación de tensiones en una estructura de acero, utilizando metodologías de modelado y análisis computacional que permitan evaluar el comportamiento estructural antes de su construcción física.

Previo a la ejecución del presente proyecto, se habían desarrollado en la carrera de Tecnología Superior en Electromecánica diversos trabajos relacionados con el modelado y análisis estructural, aunque en la mayoría de los casos se enfocaban en componentes o sistemas de menor complejidad. Algunos proyectos anteriores abordaban la simulación de esfuerzos en piezas individuales o en estructuras simples, como soportes, marcos y bases para equipos industriales, sin incluir entramados completos o configuraciones de mayor escala.

En cuanto al análisis de estructuras de acero, las experiencias previas se limitaban a evaluaciones teóricas o al cálculo manual de esfuerzos y deformaciones, sin un uso intensivo de herramientas de simulación numérica para evaluar el comportamiento global del conjunto. Esto generaba resultados

útiles, pero menos precisos, al depender de simplificaciones geométricas y supuestos que no siempre representaban fielmente la realidad.

Un antecedente relevante fue la ejecución de trabajos donde se emplearon métodos de elementos finitos para simular piezas metálicas, logrando avances en la interpretación de resultados de tensiones y desplazamientos. Sin embargo, dichos trabajos no incluían la simulación de estructuras completas con uniones, perfiles normalizados y entramados, como el caso planteado en este proyecto.

Por lo tanto, el presente estudio representa un avance respecto a los antecedentes existentes, ya que aplica un procedimiento integral que parte del modelado tridimensional de una estructura metálica de varios elementos, su configuración de material, condiciones de carga y restricciones, hasta la interpretación detallada de los resultados obtenidos en el análisis de tensiones, desplazamientos y factor de seguridad. De esta forma, se amplía el alcance y el nivel de detalle del análisis estructural realizado en el contexto académico de la carrera.

2.3. TRABAJOS RELACIONADOS

En el ámbito internacional, se encuentran trabajos relevantes que comparten similitudes con el presente estudio. Un ejemplo es el trabajo de 2019 titulado *“Cálculo y dimensionado de la estructura de un polideportivo”*, desarrollado en Europa. En este proyecto se abordó el cálculo y dimensionado de una estructura metálica partiendo de los datos obtenidos de un Proyecto Básico y aplicando los criterios establecidos por la normativa española. El análisis estructural se llevó a cabo utilizando herramientas computacionales especializadas, con el objetivo de dimensionar los elementos de forma que pudieran soportar la combinación de cargas más desfavorable prevista (Herrero, 2019). Este trabajo demuestra la importancia de aplicar métodos de simulación y cálculo normativo para garantizar la seguridad y eficiencia de las estructuras, sirviendo como referencia técnica y metodológica para investigaciones enfocadas en la evaluación y optimización de sistemas metálicos de gran envergadura.

En el continente americano, un trabajo destacado es el de 2008 titulado *“Simulación digital de procesos de construcción de estructura en concreto: casos de estudio práctico en Bogotá”*. Este proyecto se centró en el modelado digital de procesos constructivos aplicados a la edificación de muros y losas en concreto, dentro de proyectos inmobiliarios de una empresa constructora colombiana. En un primer caso de estudio, la simulación permitió emitir recomendaciones para optimizar tiempos y reducir la duración total del proceso constructivo, posteriormente, se aplicó la misma metodología en un nuevo proyecto, evaluando distintos escenarios de manera probabilística para apoyar la toma de decisiones ante condiciones de incertidumbre (Echeverry, Páez, & Mesa, 2008). Este trabajo evidencia la utilidad de la simulación no solo para el análisis estructural, sino también como herramienta de planificación y optimización en la gestión de obras civiles.

En el contexto nacional, un trabajo relacionado es el desarrollado en 2023, titulado *“Diseño y simulación de una estructura metálica de cubierta, de cinco metros de voladizo con una modulación de seis metros”*. Este proyecto tuvo como objetivo el modelado y análisis estructural de una cubierta en voladizo, utilizando elementos conformados en frío y evaluando distintas alternativas de diseño mediante el método ordinal corregido de criterios ponderados. En el cálculo de cargas se consideraron únicamente las cargas vivas, muertas, de viento y sísmicas, siguiendo las especificaciones de la norma ecuatoriana de la construcción, y descartando cargas por lluvia o granizo debido a la geometría de la cubierta, la modelación tridimensional y el análisis de esfuerzos permitieron confirmar que las solicitaciones obtenidas se encontraban por debajo de los límites admisibles del material, con coeficientes de seguridad superiores a 1, concluyendo que el diseño propuesto era óptimo (Aro, 2023). Este trabajo, realizado en otra provincia del Ecuador, constituye un antecedente relevante para el presente estudio, ya que comparte el enfoque en la simulación estructural como herramienta para garantizar la viabilidad técnica y la seguridad de las construcciones metálicas.

En otro cantón de la provincia de Manabí, se encuentra el trabajo desarrollado en 2022, titulado *“Análisis estructural mediante herramientas CAD”*. Este proyecto tuvo como finalidad identificar y proponer soluciones al problema de desgaste, deformación y fractura del tintero de la pluma principal en embarcaciones de la empresa atunera PESDEL S.A. Para ello, se modeló la pieza en un entorno CAD y se realizaron simulaciones con cargas máximas de 20 toneladas, evaluando su comportamiento con material de acero estructural ASTM A36; los resultados mostraron que las tensiones superaban el límite elástico del material, provocando plastificación y fallas por fatiga en bajos ciclos; a partir de este análisis, se propuso un rediseño que distribuyera mejor los esfuerzos y redujera las concentraciones de tensión, manteniendo las funciones originales de la pieza (Mera & Rosa, 2022). Este trabajo, aunque enfocado en un componente mecánico específico, comparte la aplicación de herramientas de modelado y simulación estructural, aportando referencias metodológicas útiles para el presente estudio.

CAPÍTULO III: DESARROLLO DE LA PROPUESTA

3.1. DESARROLLO

En esta sección se presenta el desarrollo de la propuesta orientada a la simulación de tensiones en una estructura de acero, dando respuesta al problema identificado en el Capítulo I. Se describe el procedimiento aplicado para el cumplimiento de los objetivos específicos, desde el modelado digital de la estructura con sus características geométricas y propiedades de material, hasta la configuración y ejecución de la simulación estructural bajo condiciones de carga y restricciones definidas. Asimismo, se detallan las etapas clave del proceso, los recursos utilizados y los criterios técnicos considerados para garantizar la precisión y fiabilidad del análisis. Los resultados obtenidos serán expuestos en el apartado siguiente, permitiendo evaluar el grado de cumplimiento de los objetivos y la pertinencia de la metodología aplicada.

3.1.1. Descripción de la propuesta

Descripción del Objetivo Específico 1

Para cumplir con el primer objetivo específico, se procedió al modelado de la estructura de acero en un entorno de diseño asistido por computadora, tomando como base las dimensiones y configuraciones establecidas en la propuesta. La estructura se compuso de cuatro columnas con perfil DIN IPE160 y una parte superior conformada por canal ISO C120x12, formando un techo inclinado hacia ambos lados con entramado tipo Howe. Se definió una altura de 5 m para las columnas, 5,8 m en la parte más alta del techo, una separación de 8 m entre columnas y 6 m entre arcos, con vigas intermedias separadas 400 mm. Finalmente, se asignó el material ASTM A36 a todos los elementos, garantizando que el modelo fuera representativo para el análisis estructural posterior.

Descripción del Objetivo Específico 2

En cumplimiento del segundo objetivo específico, se configuró y ejecutó la simulación estructural aplicando un análisis estático. Se definió una carga distribuida equivalente a 200 kg ubicada sobre los perfiles superiores de la estructura. Las bases de las columnas se establecieron como geometría fija para

simular su anclaje. Se generó una malla de elementos finitos optimizada para lograr un equilibrio entre precisión y tiempo de cálculo, asegurando que la geometría y las condiciones de carga se representaran fielmente. Con estos parámetros, se ejecutó el análisis computacional para obtener datos sobre esfuerzos y desplazamientos.

Descripción del Objetivo Específico 3

Para dar cumplimiento al tercer objetivo específico, se analizaron los resultados de la simulación con el fin de identificar las zonas críticas de la estructura. Se evaluaron los valores máximos de tensión y desplazamiento, así como el factor de seguridad mínimo obtenido. El análisis permitió determinar que las tensiones alcanzaban un valor máximo de 87,95 MPa, el desplazamiento mayor era de 11,2 mm en la unión superior de los arcos y el factor de seguridad mínimo resultó ser 2,84. Estos resultados fueron interpretados considerando el límite elástico del material ASTM A36, estableciendo la viabilidad del diseño propuesto.

3.1.2. Etapas

Etapas 1: Actividades realizadas para cumplir el Objetivo Específico 1

- Definición de las dimensiones generales de la estructura, considerando la altura de columnas, altura máxima del techo, separación entre columnas y arcos, y separación de vigas.
- Selección de los perfiles estructurales normalizados: DIN IPE160 para columnas y canal ISO C120x12 para la parte superior.
- Diseño del entramado tipo Howe con separación de 400 mm entre vigas, adaptado a la forma inclinada del techo.
- Creación del modelo tridimensional mediante herramientas de modelado de miembros estructurales en un entorno CAD.
- Asignación del material ASTM A36 a todos los elementos de la estructura.

Etapas 2: Actividades realizadas para cumplir el Objetivo Específico 2

- Configuración de un estudio de análisis estático en la plataforma de simulación.

- Definición de la carga distribuida equivalente a 200 kg sobre los perfiles superiores.
- Aplicación de restricciones de geometría fija en las bases de las columnas para simular el anclaje al piso.
- Generación de una malla de elementos finitos con tamaño optimizado para lograr un equilibrio entre precisión y tiempo de cálculo.
- Ejecución del análisis para obtener los resultados de esfuerzos y desplazamientos.

Etapas 3: Actividades realizadas para cumplir el Objetivo Específico 3

- Revisión de los resultados de la simulación para identificar zonas de concentración de esfuerzos.
- Registro del valor máximo de tensión, que alcanzó los 87,95 MPa, y del desplazamiento máximo de 11,2 mm en la unión superior de los arcos.
- Determinación del factor de seguridad mínimo, que resultó ser de 2,84.
- Interpretación de los resultados en función del límite elástico del material ASTM A36 para verificar la viabilidad del diseño.
- Elaboración de conclusiones técnicas a partir de los datos obtenidos en la simulación.

3.1.3. Presupuesto

El presente proyecto se desarrolló íntegramente mediante simulación computacional, utilizando recursos tecnológicos ya disponibles en la institución. No fue necesaria la adquisición de materiales, herramientas o servicios externos, por lo que no se generaron costos adicionales asociados a su ejecución.

3.2. RESULTADOS

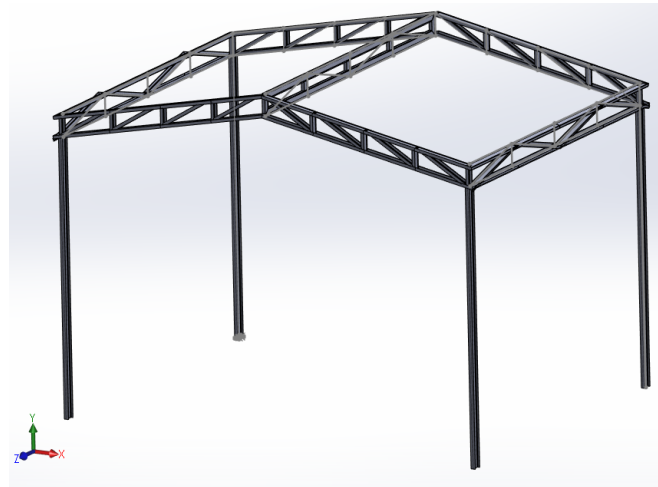
Objetivo 1: Logros obtenidos en el modelado de la estructura de acero

El modelado tridimensional de la estructura se realizó siguiendo estrictamente las especificaciones técnicas establecidas en la propuesta, asegurando que la geometría representara fielmente el diseño planteado. Se utilizaron perfiles normalizados para garantizar la coherencia con estándares industriales: columnas con perfil DIN IPE160, vigas superiores con canal ISO C120x12 y entramado tipo Howe con separación de 400 mm. Los perfiles seleccionados corresponden a secciones comúnmente empleadas en construcciones locales, lo que facilita su disponibilidad y aplicación práctica. Cabe señalar que el presente trabajo no tiene como objetivo el diseño estructural bajo norma, la verificación detallada de resistencia ni otro tipo de consideraciones como dilatación térmica o cargas de viento, sino el desarrollo de procedimientos rápidos para el estudio y simulación de estructuras de acero, por lo que se simplificó el procedimiento y la estructura tanto como fue posible.

Las dimensiones generales de la estructura fueron: altura de columnas 5 m, altura máxima del techo 5,8 m, lo cual se estableció para generar una pendiente suficiente que facilite el escurrimiento del agua de lluvia, de acuerdo con valores comúnmente utilizados en estructuras; la separación entre columnas 8 m y separación entre arcos 6 m. Estas configuraciones garantizan que la estructura cumpla con criterios de estabilidad y resistencia adecuados para el análisis.

Ilustración 1.

Modelo 3D de la estructura propuesta.



El modelo digital incluyó la asignación del material ASTM A36 a todos los elementos, considerando su límite elástico de 250 MPa. Este paso fue esencial para asegurar que la simulación reflejara de manera precisa las propiedades mecánicas reales del acero estructural. Además, la definición exacta de la modulación y el diseño del entramado superior permitió garantizar una adecuada distribución de cargas y facilitar el posterior proceso de mallado en la simulación.

Tabla 1.

Dimensiones y especificaciones del modelo estructural.

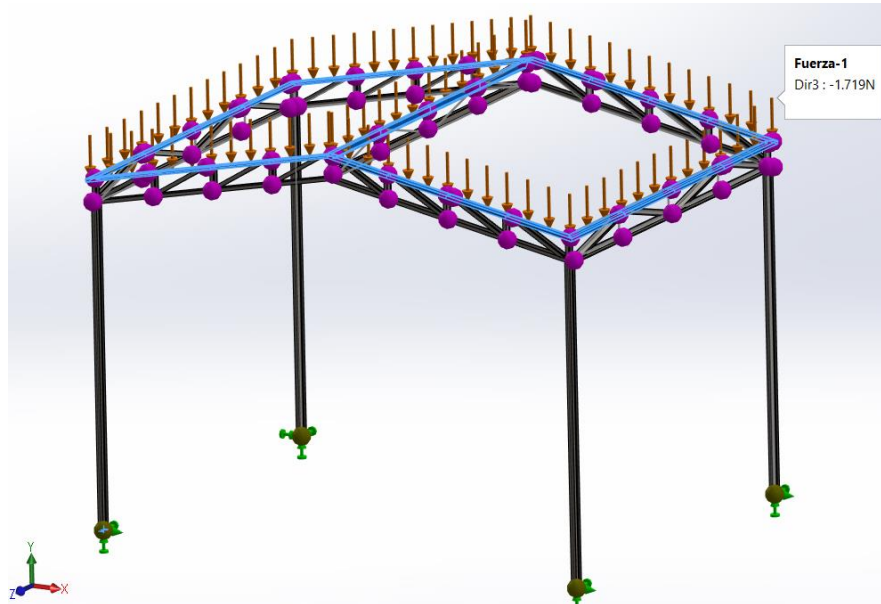
Elemento	Perfil	Dimensión / Configuración
Columnas	DIN IPE160	Altura: 5 m
Vigas superiores	Canal ISO C120x12	Longitud según modulación de 6 m
Entramado superior	Tipo Howe	Separación: 400 mm
Altura máxima techo	-	5,8 m
Separación entre columnas	-	8 m

Objetivo 2: Logros obtenidos en la ejecución de la simulación estructural

En la segunda etapa, se configuró el análisis estático de la estructura en un entorno de simulación estructural. Se aplicó una carga distribuida de 200 kg sobre las vigas superiores para representar el peso adicional que podría actuar sobre el sistema, este valor representa de forma conservadora la suma del peso propio de las láminas de techo y correas, accesorios y una carga de mantenimiento ocasional, concentrándolos en una única carga equivalente para simplificar la simulación. Las bases de las columnas se configuraron como geometría fija, simulando un anclaje sólido al piso. Esta configuración permitió modelar de manera realista el comportamiento estructural bajo las condiciones de trabajo previstas.

Ilustración 2.

Carga aplicada, en Newtons, sobre la parte superior de la estructura.



La generación de la malla de elementos finitos fue clave para la precisión de los resultados. Se empleó un tamaño adaptativo que optimizó el balance entre exactitud y tiempo de cálculo. Esta malla permitió captar con detalle las zonas de concentración de esfuerzos sin sobrecargar el procesamiento del sistema.

Una vez finalizada la configuración, se ejecutó la simulación para obtener los resultados de tensiones, desplazamientos y factor de seguridad de la estructura.

Tabla 2.
Parámetros de simulación.

Parámetro	Valor / Configuración
Tipo de análisis	Estático estructural
Carga aplicada	200 kg distribuidos en vigas superiores
Restricciones	Geometría fija en bases de columnas
Material	ASTM A36
Tamaño de malla	Adaptativo

Objetivo 3: Logros obtenidos en el análisis de resultados

El análisis de los resultados de la simulación reveló que las tensiones máximas alcanzaron un valor de 87,95 MPa, ubicándose principalmente en la unión superior entre los arcos. Este valor se encuentra muy por debajo del límite elástico del material ASTM A36 (250 MPa), lo que indica que la estructura soporta la carga sin riesgo de plastificación bajo las condiciones simuladas. Asimismo, el desplazamiento máximo registrado fue de 11,2 mm, localizado también en la unión superior de los arcos, lo cual es aceptable para una estructura de estas características.

El factor de seguridad mínimo obtenido fue de 2,84, lo que confirma que la estructura posee una capacidad de carga casi tres veces superior a la solicitada en la simulación. Este margen garantiza un desempeño confiable incluso ante variaciones moderadas de carga. Estos resultados, combinados, demuestran que el diseño propuesto es viable y seguro para las condiciones previstas,

cumpliendo con los criterios básicos de estabilidad y resistencia establecidos en la propuesta inicial.

Tabla 3.3. Resultados de la simulación.

Resultado	Valor	Ubicación
Tensión máxima	87,95 MPa	Unión superior entre arcos
Desplazamiento máximo	11,2 mm	Unión superior entre arcos
Factor de seguridad mínimo	2,84	Zona de mayor sollicitación

Ilustración 3.

Diagrama de contornos con la distribución de los esfuerzos en la estructura.

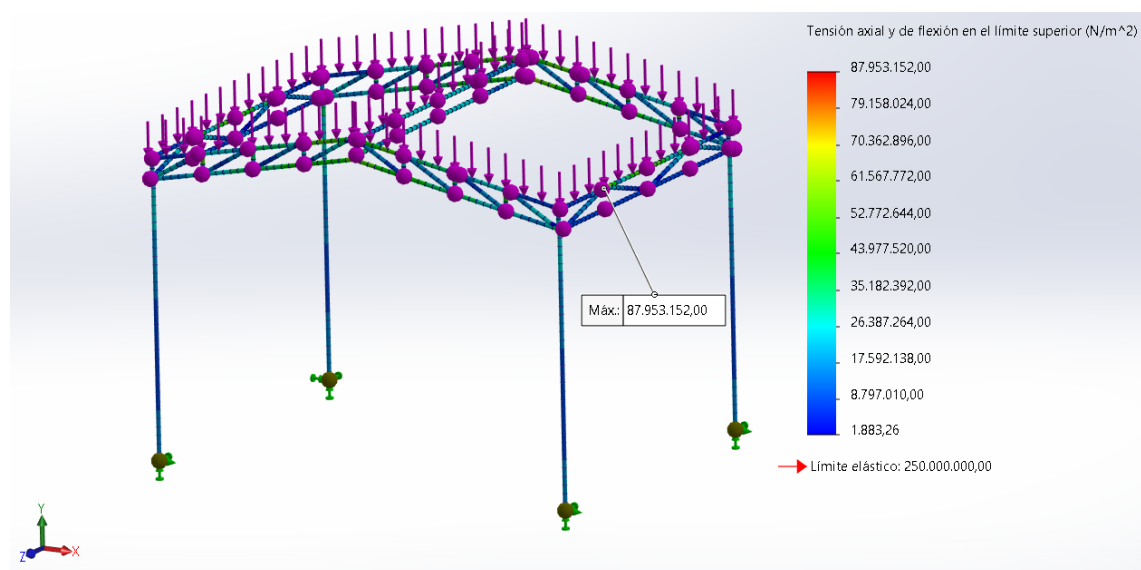


Ilustración 4.

Diagrama de contornos de las deformaciones en la estructura.

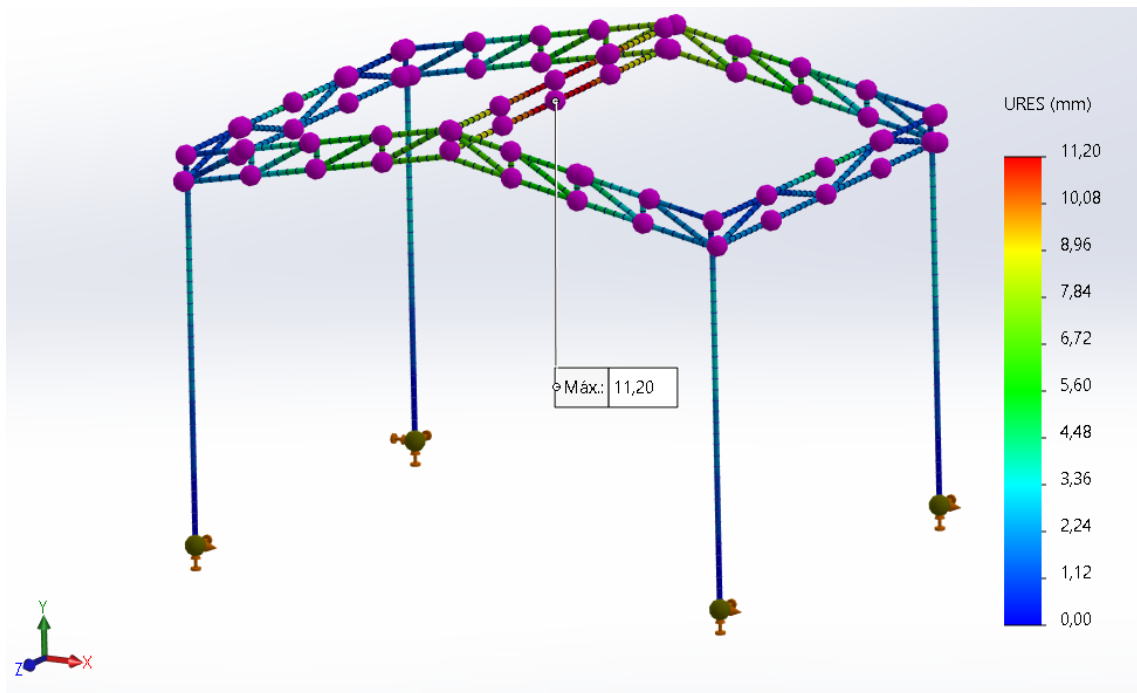
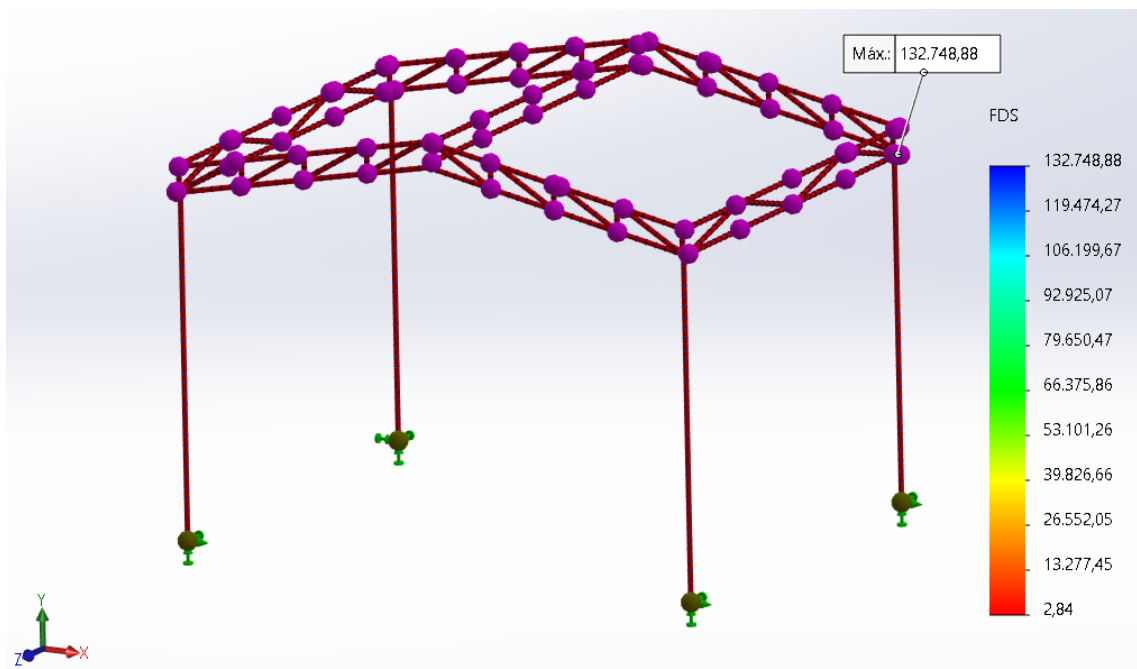


Ilustración 5.

Distribución del factor de seguridad en la estructura.



CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

Conclusión del Objetivo Específico 1

Se cumplió con el modelado tridimensional de la estructura de acero considerando las dimensiones, perfiles y material definidos en la propuesta. El uso de perfiles normalizados (DIN IPE160 para columnas y canal ISO C120x12 para vigas superiores), junto con el entramado tipo Howe, permitió obtener un diseño geoméricamente preciso y representativo para el análisis estructural. La asignación del material ASTM A36 aseguró que el modelo reflejara fielmente las propiedades mecánicas reales, garantizando así su idoneidad para la simulación.

Conclusión del Objetivo Específico 2

Se cumplió con la ejecución de la simulación estructural, configurando correctamente las condiciones de carga y restricciones necesarias para el análisis. La carga distribuida equivalente a 200 kg, aplicada sobre las vigas superiores, y el anclaje fijo en las bases de las columnas, permitieron replicar condiciones realistas de trabajo. La generación de la malla de elementos finitos optimizada aseguró un adecuado equilibrio entre precisión y tiempo de procesamiento, facilitando la obtención de resultados fiables para la interpretación posterior.

Conclusión del Objetivo Específico 3

Se cumplió con el análisis de los resultados de la simulación, identificando que la tensión máxima fue de 87,95 MPa, el desplazamiento máximo de 11,2 mm y el factor de seguridad mínimo de 2,84. Estos valores se encuentran dentro de márgenes aceptables según las propiedades del material ASTM A36, confirmando que la estructura es segura y estable bajo las condiciones de carga simuladas. El análisis permitió ubicar las zonas críticas y verificar que el diseño propuesto cumple con los criterios de resistencia y estabilidad establecidos.

4.2. RECOMENDACIONES

Se recomienda emplear herramientas de simulación en etapas tempranas del diseño para optimizar la selección de perfiles y materiales, reduciendo costos y mejorando la seguridad estructural.

Se sugiere considerar los resultados de simulación como referencia para la fabricación y montaje, asegurando que se mantengan las especificaciones geométricas y de material utilizadas en el análisis.

Incorporar proyectos similares en las asignaturas prácticas de diseño y análisis estructural, para fortalecer en los estudiantes las competencias técnicas necesarias en el campo de la tecnología electromecánica.

Utilizar la simulación como una herramienta preventiva para evaluar el comportamiento estructural bajo diferentes escenarios de carga, contribuyendo a la planificación de intervenciones y evitando fallas inesperadas.

BIBLIOGRAFÍA

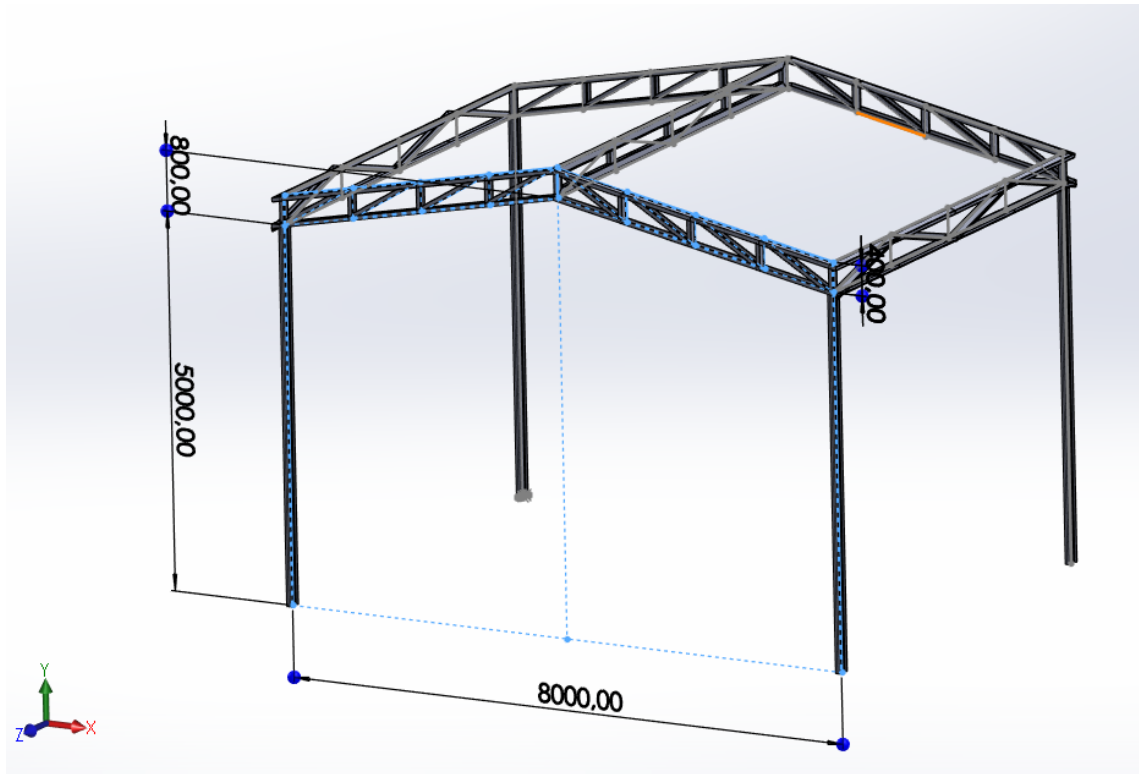
- Aguirre, J. (2023). Análisis del comportamiento estructural mediante simulación por elementos finitos de un sistema constructivo innovador de madera, constituido por tableros estructurales contrachapados y de virutas orientadas. *Pro Sciences*, 1-18.
- Alban, G. G., Verdesoto, A., & Castro, N. (2020). Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción) . *RECIMUNDO*, 163-173.
- Alvinox. (11 de Enero de 2023). *Alvinox*. Obtenido de Pros y contras de las construcciones metálicas: <https://www.alvinox.com/pros-y-contras-de-las-construcciones-metalicas/>
- Alvinox. (12 de Febrero de 2024). *Alvinox*. Obtenido de Explorando las estructuras metálicas: tipos, características y consideraciones: <https://www.alvinox.com/estructuras-metalicas-tipos-caracteristicas-consideraciones/>
- Aro, J. (2023). *Diseño y simulación de una estructura metálica de cubierta, de cinco metros de voladizo con una modulación de seis metros: simulación y modelado de una estructura metálica de cubierta, de cinco metros de voladizo con una modulación de seis metros*. Quito: EPN.
- Caldelas, D. (2015). *Análisis de Elementos Finitos: Simulación del comportamiento de diferentes elementos mecánicos de máquinas*. Valladolid: Universidad de Valladolid.
- Echeverry, D., Páez, H., & Mesa, H. (2008). Simulación digital de procesos de construcción de estructura en concreto: casos de estudio práctico en Bogotá. *Revista Ingeniería de Construcción* , 64-71.
- ESSS. (25 de Octubre de 2017). *ESSS*. Obtenido de ¿Método numérico, analítico y experimental: concurrentes o complementarios en la ingeniería?: <https://www.esss.com/es/blog/simulacion-numerica-metodos-analitico-experimental-concurrentes-o-complementarios-en-la-ingenieria/>
- Herrero, H. (2019). *Cálculo y dimensionado de la estructura de un polideportivo*. Valladolid: Universidad de Valladolid.
- Highter, T. (12 de Agosto de 2025). *Therma*. Obtenido de ¿Qué es un análisis de tensiones de edificación? Esto es lo que debes saber: https://www-therma-com.translate.goog/what-is-a-stress-analysis/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=wa

- Hulatt, L. (5 de Septiembre de 2024). *Study Smarter*. Obtenido de Análisis de tensiones: <https://www.studysmarter.es/resumenes/ingenieria/ingenieria-civil/analisis-de-tensiones/>
- MCAD. (20 de Noviembre de 2022). *MCAD*. Obtenido de Diseño asistido por computadora: ¿Qué es CAD?: <https://mcad.co/que-es-cad-diseno-asistido-por-computador/>
- Mera, J., & Rosa, Y. D. (2022). Análisis estructural mediante herramientas CAD. *Revista de Ciencias del Mar y Acuicultura YAKU*, 7-10.
- Mirlisenna, G. (22 de Enero de 2016). *ESSS*. Obtenido de Método de los elementos finitos: ¿qué es?: <https://www.esss.com/es/blog/metodo-de-los-elementos-finitos-que-es/>
- Moreno, R. (2021). Análisis de Simulación en software CAD-CAM de una estructura aplicando las propiedades mecánicas entre el ACERO ASTM A36 y la fibra de Cáñamo. *Polo del Conocimiento*, 341-347.
- PANEL. (23 de Octubre de 2021). *PANEL*. Obtenido de Acero A36: Propiedades, Usos y Ventajas en Construcción e Industria: <https://panelyacanalados.com/blog/acero-a-36-propiedades-y-usos/>
- SEAS. (1 de Marzo de 2023). *SEAS*. Obtenido de El coeficiente de seguridad en el diseño mecánico: <https://www.seas.es/blog/disenio-mecanico/el-coeficiente-de-seguridad-en-el-diseno-mecanico/>
- TALLERES IRÚN. (6 de Octubre de 2023). *TALLERES IRÚN*. Obtenido de ¿Cuáles son las partes de una estructura metálica?: <https://www.talleresirun.com/blog/partes-estructura-metalica/>
- Tapia, E., & García, J. (2020). Comportamiento de estructuras de acero durante los sismos de septiembre de 2017. *Ingeniería sísmica*, 36-52.
- TORICES. (30 de Enero de 2023). *TORICES*. Obtenido de ¿Qué son las estructuras de acero, tipos, usos y cómo se construyen?: <https://grupotorices.com/blog/estructuras-de-acero-usos-tipos-y-como-se-construyen/>
- ULEAM. (19 de Septiembre de 2012). *ULEAM*. Obtenido de Historia: <https://www.uleam.edu.ec/historia/>
- UNITEV. (24 de Abril de 2025). *UNITEV*. Obtenido de Electromecánica: <https://carreras.uleam.edu.ec/unitev/electromecanica/>

ANEXOS

Anexo A.

Medidas del arco de la estructura.



Anexo B.

Separación entre arcos de la estructura.

