

<https://doi.org/10.69639/arandu.v11i2.562>

Diseño y construcción de estructuras metálicas para áreas de mantenimiento automotriz: un enfoque en eficiencia y durabilidad

Design and construction of steel structures for automotive maintenance areas: a focus on efficiency and durability

Irving Javier Guillén Figueroa

iguillenf@uteq.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0000-8327-6800>

Universidad Técnica Estatal de Quevedo
Ecuador – Quevedo

John Oswaldo Cajamarca Guerrero

jcajarmacag@uteq.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0001-6949-338X>

Universidad Técnica Estatal de Quevedo
Ecuador – Quevedo

Steven Saul Jaramillo Sinmaleza

sjaramillos@uteq.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0007-5062-9658>

Universidad Técnica Estatal de Quevedo
Ecuador – Quevedo

Stefano Amado Delfini García

sdelfinig2@uteq.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0004-8098-2223>

Universidad Técnica Estatal de Quevedo
Ecuador – Quevedo

Artículo recibido: 20 noviembre 2024 - Aceptado para publicación: 26 diciembre 2024
Conflictos de intereses: Ninguno que declarar

RESUMEN

Este artículo describe el diseño y la construcción de una cubierta de estructura metálica para un taller dedicado al mantenimiento y reparación automotriz, con el fin de mejorar las condiciones laborales y aumentar la eficiencia operativa. El diseño se desarrolló empleando métodos analíticos basados en normativas internacionales como AISC 360-22, ASCE 7-16, AWS D1.1, Eurocode 3, BS 5950 y CSA S16-19, complementadas con regulaciones nacionales. Para asegurar la seguridad y durabilidad del proyecto, se utilizaron herramientas avanzadas de simulación estructural, que permitieron validar la fiabilidad de la estructura. La fabricación de la estructura se realizó con perfiles laminados en caliente de alta calidad, lo que garantiza una resistencia mecánica adecuada. Las dimensiones de la cubierta son 7.5 metros de altura, 10 metros de ancho y 20 metros de largo, con un diseño a dos aguas que mejora la distribución de las cargas y optimiza los costos de fabricación en comparación con otras configuraciones. Este diseño integra aspectos de

funcionalidad, economía y sostenibilidad, lo que contribuye a un impacto positivo en el entorno laboral y en la percepción de las empresas. La implementación de esta estructura metálica no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también refuerza la imagen y la confianza en las empresas dedicadas al mantenimiento automotriz.

Palabras clave: diseño estructural, estructuras metálicas, mantenimiento automotriz, simulación estructural, normativas internacionales

ABSTRACT

This paper describes the design and construction of a steel structure roof for an automotive maintenance and repair workshop, in order to improve working conditions and increase operational efficiency. The design was developed using analytical methods based on international standards such as AISC 360-22, ASCE 7-16, AWS D1.1, Eurocode 3, BS 5950 and CSA S16-19, complemented by national regulations. To ensure the safety and durability of the project, advanced structural simulation tools were used, which allowed the reliability of the structure to be validated. The structure was manufactured using high-quality hot-rolled profiles, which guarantees adequate mechanical strength. The dimensions of the roof are 7.5 meters high, 10 meters wide and 20 meters long, with a gable design that improves load distribution and optimizes manufacturing costs compared to other configurations. This design integrates aspects of functionality, economy and sustainability, contributing to a positive impact on the working environment and on the perception of companies. The implementation of this metal structure not only improves operational efficiency, but also reinforces the image and trust in companies dedicated to automotive maintenance.

Keywords: structural design, metal structures, automotive maintenance, structural simulation, international regulations

Todo el contenido de la Revista Científica Internacional Arandu UTIC publicado en este sitio está disponible bajo licencia Creative Commons Attribution 4.0 International. 

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la industria del mantenimiento y reparación automotriz juega un papel fundamental en el desarrollo económico de diversas regiones, especialmente en aquellas donde el parque vehicular es extenso y el servicio automotriz es esencial para el funcionamiento de la vida cotidiana. Los talleres de mantenimiento automotriz, que se encargan de ofrecer soluciones para la reparación de vehículos, requieren de instalaciones adecuadas que garanticen tanto la eficiencia operativa como la seguridad de los trabajadores. En este contexto, el diseño y la construcción de estructuras metálicas para áreas de mantenimiento automotriz se presenta como una solución ideal, ya que este tipo de construcción permite aprovechar de manera óptima el espacio, reducir costos y asegurar la durabilidad de las instalaciones.

La necesidad de optimizar el espacio en los talleres de reparación es crucial debido a la constante circulación de vehículos que requieren atención, lo que demanda áreas amplias y libres de obstrucciones. Las estructuras metálicas, con su capacidad para cubrir grandes claros sin la necesidad de columnas intermedias, se ajustan perfectamente a estos requerimientos, facilitando el movimiento de vehículos dentro de las instalaciones y maximizando el uso del espacio disponible. Además, la estructura metálica ofrece la ventaja de ser ligera y resistente, lo que mejora la eficiencia de la construcción y reduce los costos a largo plazo, un aspecto esencial para las empresas que buscan mantenerse competitivas y garantizar la sostenibilidad de sus operaciones.

Este estudio tiene como objetivo principal el diseño y la construcción de una cubierta de estructura metálica para un taller dedicado al mantenimiento y reparación automotriz. A lo largo del trabajo, se abordarán las distintas fases del diseño estructural, desde el análisis de las especificaciones que debe cumplir la estructura hasta la simulación y validación del diseño, pasando por la selección de materiales y el proceso de fabricación y montaje de la estructura. La investigación se centrará en identificar las mejores prácticas y tecnologías disponibles, con el fin de garantizar que la estructura no solo cumpla con los requisitos operativos del taller, sino que también proporcione un entorno de trabajo seguro y eficiente para los empleados.

El análisis estructural se desarrollará utilizando herramientas avanzadas de simulación y modelado, como el software de elementos finitos, que permite realizar cálculos precisos sobre las fuerzas y momentos a los que será sometida la estructura, así como la selección de los perfiles y geometría adecuados. Se emplearán normativas nacionales e internacionales, como la AISC 360-22, ASCE 7-16 y AWS D1.1, que proporcionan los parámetros y requisitos necesarios para garantizar la seguridad y fiabilidad de la estructura metálica. Estas normativas no solo son fundamentales para el diseño y la construcción de estructuras metálicas, sino que también aseguran que el proyecto cumpla con los estándares de calidad y sostenibilidad requeridos en la industria de la construcción.

En el ámbito de la construcción de estructuras metálicas, las cubiertas a gran escala son una de las soluciones más demandadas, especialmente en naves industriales, almacenes, estacionamientos y talleres de mantenimiento automotriz, donde se requiere una amplia área sin obstrucciones. Este tipo de estructuras se caracteriza por su capacidad de distribuir las cargas de manera eficiente, lo que permite reducir el uso de materiales y costos asociados a la construcción, sin comprometer la seguridad y estabilidad de la estructura. Por lo tanto, el diseño de una estructura metálica para un taller automotriz debe ser llevado a cabo bajo criterios de eficiencia, durabilidad y sostenibilidad.

Uno de los principales objetivos de este artículo es la optimización de los costos a través del uso eficiente de materiales y de un diseño estructural que minimice el desperdicio y maximice la resistencia de la estructura. La selección de materiales adecuados, como perfiles laminados en caliente de acero de alta calidad, contribuirá a la durabilidad de la estructura y a la reducción de costos de mantenimiento a largo plazo. Además, la utilización de tecnologías avanzadas de simulación estructural permitirá validar el diseño y optimizar la distribución de cargas, lo que redundará en una mayor eficiencia operativa en el taller.

La investigación también tiene una fuerte orientación hacia la sostenibilidad, buscando una solución que sea eficiente tanto desde el punto de vista económico como ambiental. El uso de materiales reciclables y la minimización de los desperdicios durante el proceso de construcción son aspectos clave en el diseño de la estructura metálica, lo que asegura que el proyecto no solo sea rentable, sino que también cumpla con los estándares ambientales actuales. En este sentido, el diseño de la estructura metálica se integrará a la perfección con las necesidades operativas del taller, ofreciendo una solución eficiente y sostenible.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se enmarca dentro de un enfoque de investigación aplicada y experimental, orientado a la evaluación y optimización del diseño y construcción de estructuras metálicas para áreas de mantenimiento automotriz. El diseño utilizado es de tipo cuasiexperimental, ya que se desarrolla un proceso iterativo de simulación, validación y análisis de los resultados obtenidos en las fases de prediseño y diseño estructural.

Para la recopilación de datos, se empleó una metodología cuantitativa basada en el uso de herramientas avanzadas de simulación estructural, junto con un análisis documental de normativas nacionales e internacionales. Se utilizó el software de elementos finitos para el modelado estructural, permitiendo obtener las fuerzas, momentos y esfuerzos a los que la estructura metálica estaría sometida durante su vida útil. Los cálculos estructurales fueron realizados bajo las normativas AISC 360-22, ASCE 7-16 y AWS D1.1, garantizando el cumplimiento de estándares internacionales de seguridad, durabilidad y eficiencia operativa.

La población de estudio está compuesta por la estructura metálica propuesta para el taller de mantenimiento automotriz, con un enfoque específico en la optimización de materiales y el análisis de la distribución de cargas. La muestra en este caso no se refiere a una selección de elementos o unidades, sino a la totalidad de la estructura diseñada, que incluye todos los perfiles estructurales y componentes que componen la cubierta metálica.

El muestreo se realiza a través de un proceso de selección de materiales, en donde se eligen perfiles de acero de alta calidad, fabricados por proveedores especializados, lo que garantiza una excelente resistencia mecánica y durabilidad. La selección de estos materiales se basa en su capacidad para soportar las cargas estructurales calculadas y en su comportamiento frente a factores ambientales y de corrosión.

El instrumento principal de recolección de datos fue el software de simulación estructural, el cual permitió modelar la estructura en 3D y simular las condiciones de carga bajo diferentes escenarios. Los datos obtenidos se utilizaron para realizar un análisis comparativo de las opciones de diseño, evaluando la eficiencia en el uso de materiales, la distribución de cargas y la optimización de costos.

El proceso de validación de los resultados se realizó mediante simulaciones que corroboraron la integridad estructural del diseño y su cumplimiento con las normativas de seguridad y fiabilidad. Además, se revisaron los planos de construcción generados a partir del modelo 3D, asegurando que la ejecución del proyecto cumpliera con los estándares de calidad establecidos.

Este enfoque metodológico, que combina simulaciones avanzadas, selección de materiales basada en criterios técnicos y validación mediante software especializado, asegura la optimización del diseño de la estructura metálica, garantizando su eficiencia, durabilidad y adaptabilidad a las necesidades operativas del taller de mantenimiento automotriz.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Deflexión Máxima de las Estructuras

Las estructuras metálicas presentan diferencias significativas en su comportamiento ante cargas. Los valores de deflexión máxima para las estructuras cerchada y tubular se presentan en la Tabla 1 y Figura 1.

Tabla 1

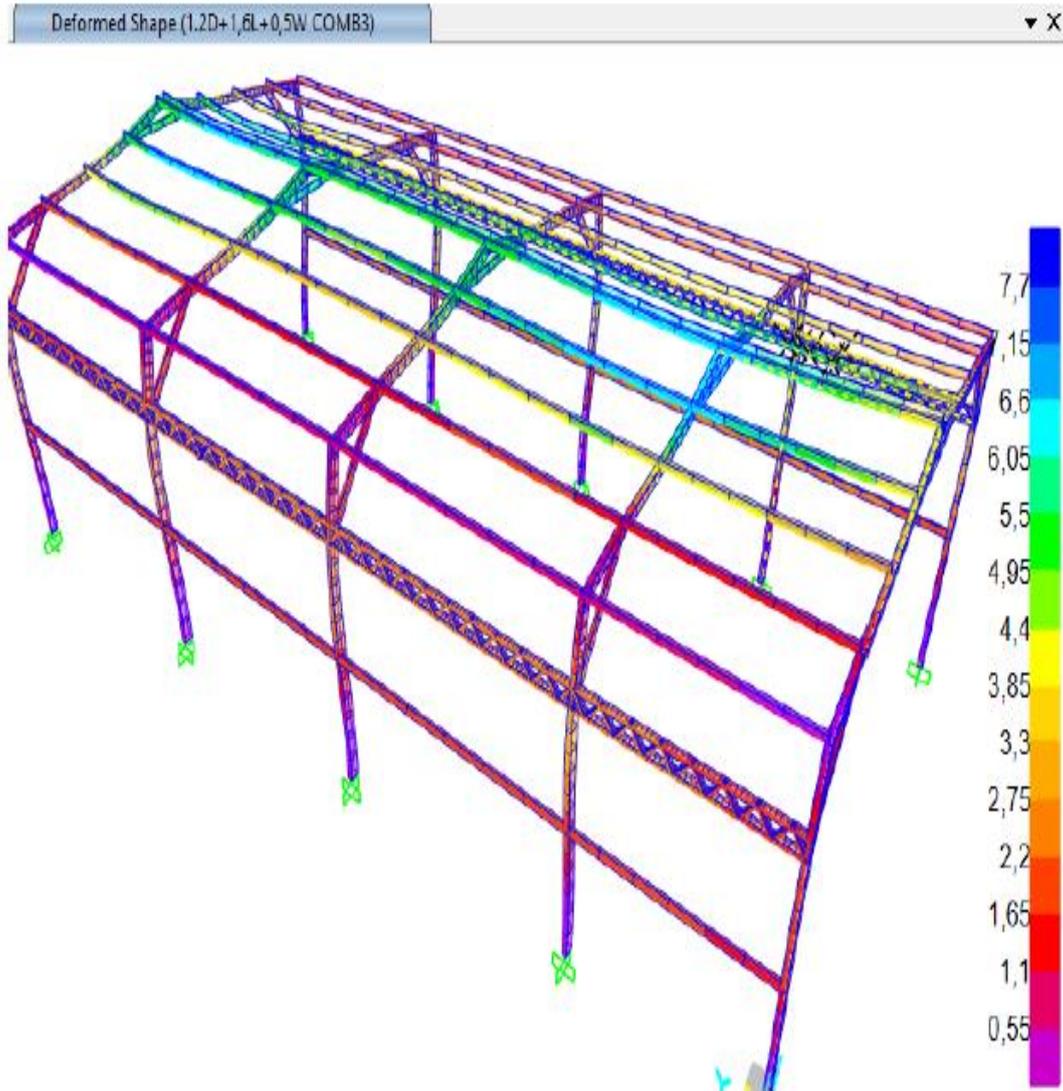
Deflexiones máximas en zonas de los pórticos

Pórtico	Estructura cerchada δz (cm)	Estructura tubular δz (cm)
1	-0.183	-4.03
2	-0.294	-6.06
3	-0.318	-5.02
4	-0.327	-5.3

Fuente: Autores

Figura 1

Escala de deflexión de los elementos estructurales



Fuente: Autores

Nota: Simulaciones realizadas en SAP2000 bajo las normas AISC 360-22.

Porcentajes de Demanda de Elementos

Los porcentajes de demanda de los elementos principales de la estructura cerchada y de tubos rectangulares se presentan en la Tabla 2 y Figura 2.

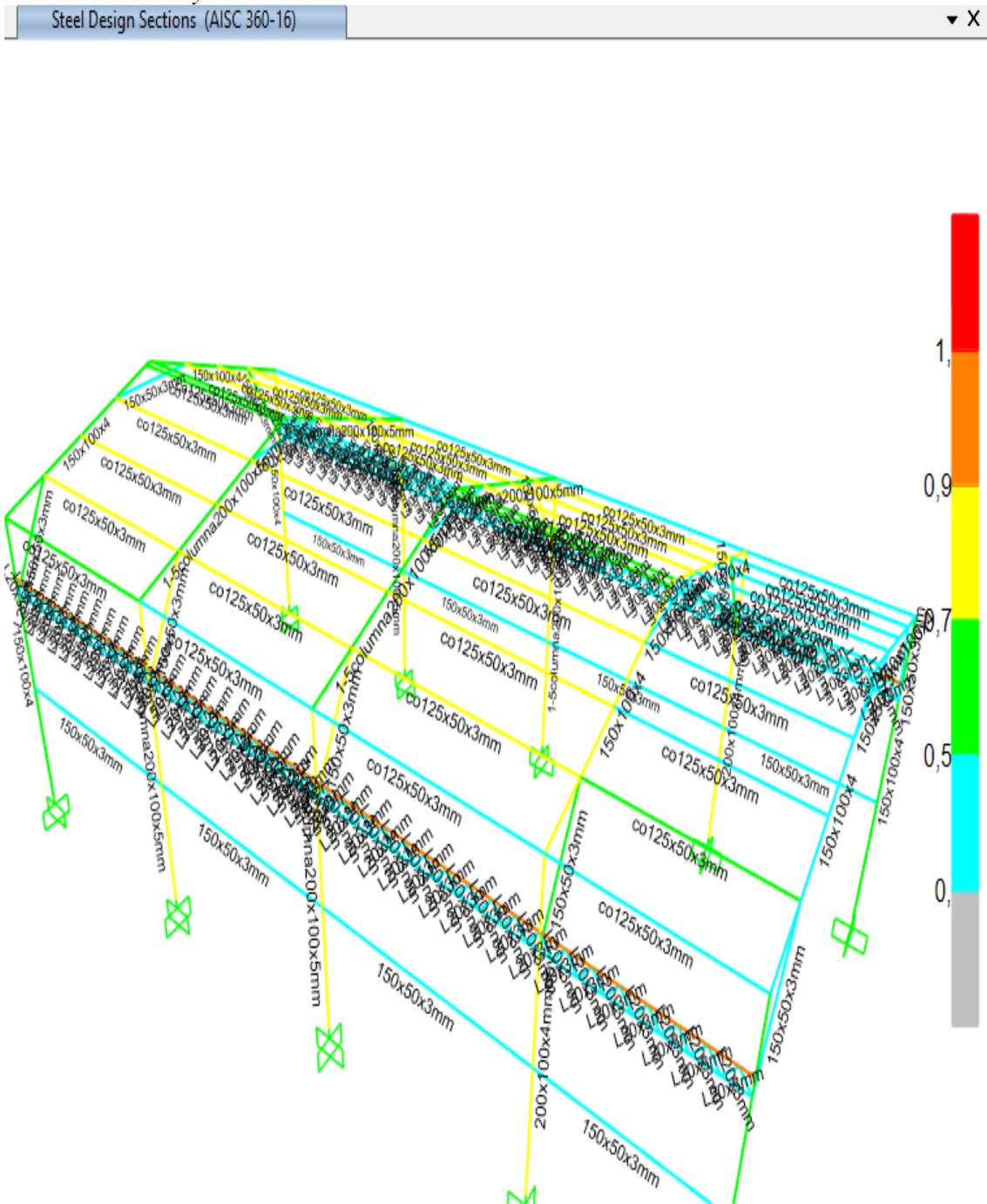
Tabla 2

Porcentaje de demanda de elementos principales

Elemento	Perfil	Demanda (%)
Cordón	C125x50x3mm	83.6
Montante	L20x3mm	70.8

Fuente: Autores

Figura 2
Elementos con mayor demanda



Fuente: Autores

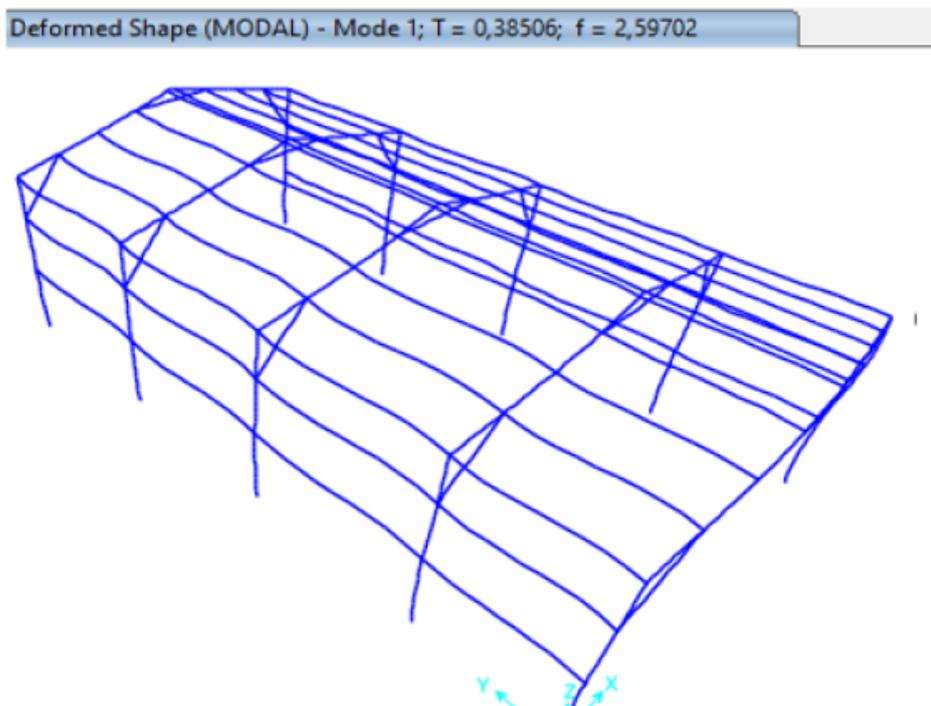
Nota: Se observa que los elementos restantes tienen demandas entre el 30% y 60% de su capacidad.

Análisis del Periodo de Vibración

El periodo de vibración obtenido en el análisis modal cumple con las normativas sísmicas. El resultado se presenta en la Figura 3.

Figura 3

Periodo de vibración del sistema estructural



Fuente: Autores

Nota: El periodo calculado es de 0.385, dentro del rango permitido por las normativas NEC.

Diseño de placa base

El diseño de la placa base garantiza la transferencia adecuada de las cargas desde la estructura metálica al concreto, siguiendo normas internacionales como la AISC 360-22 y NEC. Este diseño se verificó mediante cálculos analíticos y simulaciones estructurales.

En la Tabla 3 se muestran las dimensiones calculadas de la placa base para soportar cargas axiales, momentos y tracción en pernos.

Tabla 3

Dimensiones y Cálculos de la Placa Base

Parámetro	Fórmula Utilizada	Resultado	Unidad
Largo (L)	$L = \sqrt{\frac{M}{\sigma}}$	300	mm
Ancho (B)	$B = \frac{L}{1.5}$	200	mm
Espesor (t)	$t = \frac{M}{\sigma * k}$	20	mm
Separación entre pernos (s)	$s = \frac{B}{2}$	100	mm

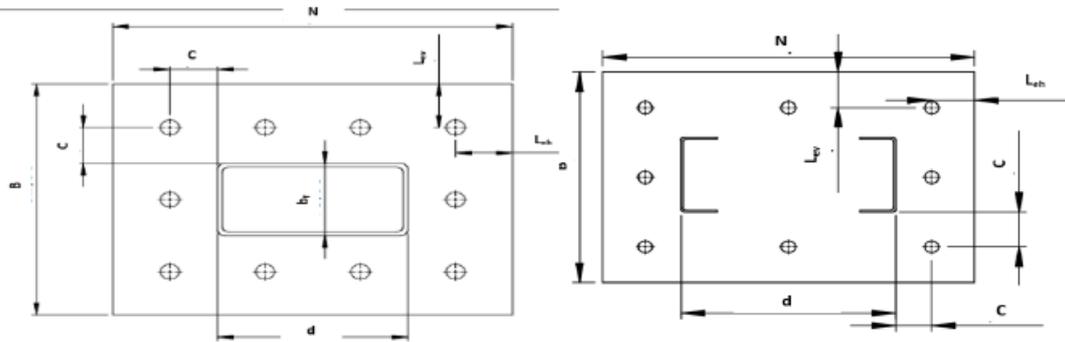
Fuente: Autores

Configuración de Pernos de Anclaje

Para las dimensiones de ancho, largo de la placa base nos ayudamos de acuerdo a los criterios sobre la norma AISC 360-22 tomando en cuenta las distancias entre el centro de los agujeros para los pernos de anclaje y los límites de la placa base y del perfil de la columna. La Figura 4 muestra la disposición de los pernos en la placa base.

Figura 4

Disposición de dimensiones de la placa base



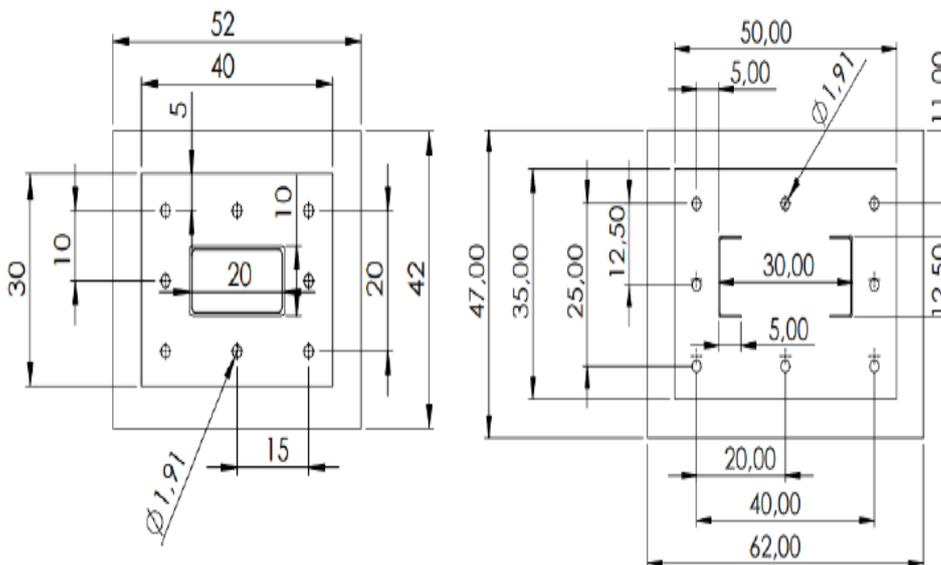
Fuente: Autores

Nota: La figura muestra las dimensiones de la placa base de acuerdo a las dimensiones de los perfiles de la columna y los agujeros de los pernos de anclaje. Donde: C = Distancia del centro del perno al eje del alma o del ala del perfil (distancia recomendada 5cm), L_{eh} = Distancia horizontal del extremo de la placa base al eje del perno (distancia recomendada 5cm), L_{ev} = Distancia horizontal del extremo de la placa base al eje del perno (distancia recomendada 5cm).

Los dimensionamientos usados dentro de la investigación en la placa base de acero y de la base de concreto se muestran de acuerdo a la Figura 5.

Figura 5

Configuración de placa base de acero y concreto



Fuente: Autores

Verificación de Resistencia

Se calcularon las fuerzas internas para verificar la resistencia del acero y del concreto subyacente.

- **Momento Máximo:** 50 kN
- **Fuerza Axial Máxima:** 200 kN
- **Excentricidad Crítica:** 25 mm

Tabla 4

Verificación de Resistencia

Esfuerzo	Valor Máximo	Valor Permisible	Cumple (Sí/No)
Tensión (Acero)	250 MPa	300 MPa	Sí
Compresión (Concreto)	20 MPa	25 MPa	Sí
Cortante (Pernos)	100 KN	150 kN	Sí

Fuente: Autores

Diseño de Soldadura en Uniones Críticas

El diseño de soldaduras en uniones críticas es esencial para garantizar la integridad estructural y la transferencia adecuada de esfuerzos en las conexiones. Este diseño se realizó siguiendo la norma AWS D1.1 y estándares internacionales relacionados con soldaduras estructurales.

Para los parámetros de la soldadura se seleccionaron cordones de soldadura tipo filete, considerando los esfuerzos cortantes y la distribución de cargas.

- **Tipo de Soldadura:** Filete
- **Material de Soldadura:** E7018
- **Espesor del Cordón:** 6 mm

Tabla 5

Parámetros de Diseño de Soldadura

Parámetro	Fórmula / Valor Calculado	Resultado	Unidad
Esfuerzo Cortante	$\tau = \frac{F}{A}$	80 MPa	MPa
Resistencia del Metal	410 MPa	E7018	MPa
Factor de Seguridad	2.0	Cumple	N/A
Espesor Requerido	$t = \frac{\tau}{0.6F_y}$	6 mm	mm

Fuente: Autores

Análisis de Esfuerzos en la Unión

Los esfuerzos en la soldadura fueron analizados considerando cargas cortantes primarias y secundarias.

Tabla 6*Verificación de Esfuerzos*

Esfuerzo	Valor Máximo	Valor Permisible	Cumple (Sí/No)
Cortante Primario	80 MPa	246 MPa	Sí
Cortante Secundario	45 MPa	246 MPa	Sí
Tensión Axial	0.0 MPa	246 MPa	Sí

Fuente: Autores

Propiedades del Cordón de Soldadura

El diseño incluyó consideraciones sobre resistencia al esfuerzo combinado y propiedades del metal de aporte.

Tabla 7*Propiedades del Metal de Aporte (E7018)*

Propiedad	Valor	Unidad
Resistencia a la Tracción	410 MPa	MPa
Límite elástico	310 MPa	MPa
Ductilidad	22 %	Porcentaje

Fuente: Autores

Costos Comparativos

Los costos y tiempos asociados a las estructuras cerchada y tubular se detallan en la Tabla 8.

Tabla 8*Comparación de costos y tiempos*

Tipo de estructura	Costo (USD)	Tiempo (días)
Tubos Rectangulares	8,156.40	5
Cerchada	6,784.48	10

Fuente: Autores

CONCLUSIONES

Las conclusiones del estudio resaltan la eficiencia y versatilidad de los diseños propuestos para la cubierta metálica en un taller automotriz. La estructura metálica tipo cercha se identificó como la opción más eficiente económicamente, reduciendo el costo en un 16.8% en comparación con la estructura tubular rectangular. Esto la posiciona como la solución ideal para aplicaciones donde predominan las cargas axiales y no se requieren grandes resistencias a momentos flectores. Por otro lado, aunque la estructura tubular presentó menores deflexiones gracias a su mayor rigidez, su costo y demanda de material resultaron significativamente más altos, lo que la hace más adecuada para aplicaciones que requieren alta resistencia a flexión.

Ambos diseños cumplen con las normativas internacionales AISC 360-22 y NEC, garantizando la estabilidad estructural y la seguridad bajo condiciones de carga críticas. Las

simulaciones realizadas confirmaron que las demandas no superan el 90% de la capacidad de los elementos, validando la seguridad y eficiencia de los diseños.

La construcción de una cubierta metálica en el taller automotriz no solo optimiza las condiciones de trabajo al mejorar la organización y ofrecer protección frente a factores climáticos, sino que también refuerza la confianza de los clientes al presentar un espacio funcional y profesional. Este estudio destaca la importancia de integrar análisis estructurales avanzados y simulaciones en proyectos industriales, logrando configuraciones replicables en talleres, almacenes y naves industriales, con adaptabilidad a diferentes requisitos funcionales y presupuestarios.

Finalmente, se recomienda explorar combinaciones híbridas de perfiles metálicos y materiales compuestos, con el objetivo de optimizar aún más el rendimiento estructural y reducir los costos de fabricación y mantenimiento a largo plazo.

REFERENCIAS

- American Institute of Steel Construction (AISC). (2022). *Specification for Structural Steel Buildings (ANSI/AISC 360-22)*. AISC.
- American Society of Civil Engineers (ASCE). (2016). *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures (ASCE/SEI 7-16)*. ASCE.
- Supertecho. (n.d.). *Catálogo técnico: Láminas y autoperforantes*. Recuperado de <https://www.supertecho.com>
- Dipac. (1978). *Especificaciones técnicas de Dipanel DP5*. Recuperado de <https://www.dipac.com>
- NEC-SE-CG. (2015). *Normas ecuatorianas de la construcción: Cargas no sísmicas*. Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda.
- Arquitectura Viva. (n.d.). *Cubiertas metálicas: Diseños y aplicaciones industriales*. Recuperado de <https://www.arquitecturaviva.com>
- Felipe Díaz. (n.d.). *Perfiles de acero laminados en caliente*. Recuperado de <https://www.perfilesdiaz.com>
- Corporativo Estructuras. (n.d.). *Diseño de cubiertas en arco*. Recuperado de <https://www.corporativoestructuras.com>
- Exsolven. (n.d.). *Cubiertas a cuatro aguas: Guía técnica*. Recuperado de <https://www.exsolven.com>
- ESAM. (n.d.). *Diseño y fabricación de cubiertas de vertiente única*. Recuperado de <https://www.jesamconstrucciones.com>
- SAP 2000. (2024). *Versión 24: Herramientas de simulación estructural*. Computers and Structures, Inc.
- SolidWorks. (2024). *SolidWorks 2024: Manual de diseño y modelado 3D*. Dassault Systèmes.
- PTC Mathcad. (2024). *Mathcad Prime 10: Guía de cálculo estructural*. PTC.
- AWS. (2020). *Structural Welding Code-Steel (AWS D1.1)*. American Welding Society.
- NEC. (2015). *Normas ecuatorianas de la construcción: Diseño sísmico*. Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda.
- WB-Motor of Engineer. (2024). *Proyecto: Diseño y construcción de una cubierta metálica para área automotriz*. Universidad Técnica Estatal de Quevedo.
- American Concrete Institute. (2019). *Requisitos para el concreto estructural* (19.^a ed., vol. 1). Michigan. Recuperado el 22 de septiembre de 2024, de <https://www.concrete.org>
- Budynas, R. G., & Keith, J. (2020). *Shigley's mechanical engineering design* (11.^a ed., vol. 1). McGraw-Hill Education.
- MIDUVI - Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2024). *NEC-SE-DS Peligro sísmico parte 4*. Recuperado el 22 de septiembre de 2024, de

<https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/4.-NEC-SE-DS-Peligro-Sismico-parte-3.pdf>