

Diseño mecánico y análisis estructural de un remolque automotriz

Mechanical design and structural analysis of an automotive trailer

Misael Rojas Celso ^a, José L. Rodríguez Muñoz ^b, Jorge Zuno Silva ^c, Carlos E. Borja Soto ^d,
Yira Muñoz Sánchez ^e, Ventura Rodríguez Lugo ^f

Abstract:

This work presents the design, structural analysis, and construction of an automotive trailer for transporting vehicles, with a load capacity of up to 2 tons. The project's development is based on principles of mechanics of materials and structural design, considering the appropriate material selection. ASTM A36 steel was chosen for its mechanical properties, strength, and ease of welding. The design was carried out using three-dimensional modeling tools in SolidWorks, incorporating finite element analysis (FEA) simulations to evaluate the structural behavior under real-world loading conditions. Parameters such as von Mises stress, deformations, displacements, and safety factor were analyzed, obtaining values within the material's elastic range. The results show that the design is structurally sound, with safety factors greater than 1, guaranteeing its proper functioning without failure under the established conditions. Finally, the trailer was physically constructed and subjected to operational testing, confirming the viability of the design and the correct selection of materials and components.

Keywords:

Trailer design, structural analysis, finite element analysis (FEA), SolidWorks, ASTM A36 steel, von Mises stress, safety factor, mechanical desing.

Resumen:

Este trabajo presenta el diseño, análisis estructural y construcción de un remolque automotriz destinado al transporte de vehículos, con una capacidad de carga de hasta 2 toneladas. El desarrollo del proyecto se basa en principios de mecánica de materiales y diseño estructural, considerando la selección del acero ASTM A36 por sus propiedades mecánicas, resistencia y facilidad de soldadura. El diseño fue desarrollado mediante modelado tridimensional y simulación por elementos finitos (FEA), permitiendo evaluar esfuerzos, deformaciones, desplazamientos y factor de seguridad bajo condiciones de carga reales. Los resultados obtenidos muestran que el diseño se mantiene dentro del rango elástico del material y presenta factores de seguridad mayores a 1. Finalmente, el remolque fue construido físicamente y sometido a pruebas, confirmando su correcto funcionamiento y la viabilidad del diseño propuesto la detección temprana del deterioro del aislamiento y contribuyendo a la fiabilidad y seguridad de los sistemas eléctricos de potencia.

Palabras Clave:

^a Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Escuela Superior de Ciudad Sahagún | Ciudad Sahagún-Hidalgo | México, <https://orcid.org/0009-0004-7965-9840>, Email: ro465704@uaeh.edu.mx

^b Autor de Correspondencia, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Escuela Superior de Ciudad Sahagún | Ciudad Sahagún-Hidalgo | México, <https://orcid.org/0000-0002-4108-9414>, Email: jose_rodriguez@uaeh.edu.mx

^c Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Escuela Superior de Ciudad Sahagún | Ciudad Sahagún-Hidalgo | México, <https://orcid.org/0000-0002-1997-5399>, Email: jorge_zuno@uaeh.edu.mx

^d Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Escuela Superior de Ciudad Sahagún | Ciudad Sahagún-Hidalgo | México, <https://orcid.org/0000-0003-3385-8348>, Email: carlos_borja@uaeh.edu.mx

^e Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Escuela Superior de Ciudad Sahagún | Ciudad Sahagún-Hidalgo | México, <https://orcid.org/0000-0002-4876-2747>, Email: yira@uaeh.edu.mx

^f Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Escuela Superior de Ciudad Sahagún | Ciudad Sahagún-Hidalgo | México, <https://orcid.org/0000-0001-8767-032X>, Email: ventura.rl65@gmail.com

Introducción

Un remolque es un dispositivo diseñado para ser arrastrado por otro vehículo, camión o tractor, con la finalidad de transportar mercancías, equipos, personas, etc. Su diseño juega un papel importante para su correcta funcionalidad, así como para asegurar la durabilidad del equipo y la capacidad de carga, así como en los costos de producción. Por tal motivo, la fabricación de remolques ha sido objetivo del trabajo de investigación debido a que estos permiten incrementar la capacidad de transporte de mercancías sin la necesidad de emplear otro vehículo, mejorando la eficiencia en el transporte de la carga.

Para garantizar la seguridad, funcionalidad, sostenibilidad y eficiencia económica de los remolques se han desarrollado conocimientos técnicos relacionados con el diseño, análisis estructural y selección de materiales. En este contexto, Forqués Puigcerver (2019) realizó el diseño y análisis de un remolque dedicado al transporte por carretera de pequeñas embarcaciones de recreo, determinando que la distribución los esfuerzos juegan un papel determinante en la elección apropiada de materiales, esto permitirá garantizar estructuras seguras y funcionales.

Por su parte, Morillo Chamorro y López Terán (2009) utilizaron el Software SolidWorks para analizar la estructura de un remolque para transportar motocicletas. Mediante un análisis por elementos finitos (FEA) pudieron predecir el comportamiento estructural bajo diversas condiciones de carga, identificando concentraciones de esfuerzo y realizaron la optimización del diseño antes de la creación física. Sus resultados revelaron que par un adecuado diseño estructural de remolques, se deben de considerar los factores de carga y condiciones de operación. Novoa (2017) realizó el diseño y construcción de un remolque para coches tipo Skunk. El autor implementó cálculos de los esfuerzos y deformaciones mediante métodos analíticos, verificando la resistencia de perfiles estructurales bajo distintas condiciones de carga. Posteriormente, Pérez Acosta (2019) efectuó el diseño, análisis estructural y fluidodinámico de un remolque para transporte de motocicletas. El peso estimado que soporta el sistema fue de 5388.14 N, mientras que el diseño aerodinámico resultó ser mejor que el diseño original, cuyos beneficios repercuten en una mejor estabilidad y una mayor eficiencia de combustible. El diseño de un

remolque para bicicletas fue también realizado por Muñoz y Ramírez (2020). Basándose en el diseño CAD, los autores pudieron realizar de forma satisfactoria el diseño estructural, el sistema de frenado y la instalación de luces de la unidad, permitiendo obtener costos menores en comparación con aquellos de los remolques comerciales. Sislena Miranda y Sigcho Rea (2017) realizaron el diseño y la construcción de un remolque tipo motocultor. Los componentes del sistema fueron diseñados y modelados por medio del software SolidWorks, mientras que el análisis estático fue desarrollado con el software Ansys Wokbench, en el cual, acero A36 fue empleado como material de fabricación. Con el desarrollo del prototipo experimental se pudo determinar que el remolque puede arrastrar hasta 1500 Kg de peso sin dificultad. Además, para tener los mejores resultados, es necesario no superar la carga para la cual fue diseñado el sistema, así como tener una correcta alineación del remolque y el motocultor.

Basados en la literatura, el diseño de la estructura y los componentes del remolque depende en gran medida del tipo de aplicación y la carga que transportará. Para el presente proyecto se tiene considerado el diseño y construcción de un remolque de 2 toneladas para trasladar vehículos de un lugar a otro fue diseñado y construido. La estructura del chasis y los componentes del remolque deben cumplir con los requerimientos de resistencia y rigidez necesarios para soportar las cargas estáticas y dinámicas generadas durante las condiciones de operación. A pesar de los avances reportados, el diseño de los remolques sigue siendo un desafío de ingeniería debido a la necesidad de garantizar simultáneamente una capacidad de carga adecuada, resistencia estructural, rigidez, estabilidad y seguridad durante su operación. Resulta necesario desarrollar y evaluar una configuración estructural que permita soportar las cargas previstas y, al mismo tiempo, mantener los esfuerzos y las deformaciones dentro de límites admisibles.

Metodología

Para el diseño y fabricación del remolque, este fue desarrollado mediante modelado tridimensional en SolidWorks, donde se definieron los componentes principales del sistema, tales como chasis, plataforma,

sistema de arrastre, ejes y rampa, estableciendo dimensiones y geometrías acordes a los requerimientos planteados. También, se realizó el análisis estructural mediante un análisis por elementos finitos (FEA) aplicando condiciones de carga representativas del funcionamiento real del remolque. Además, se determinaron los esfuerzos de Von Mises, desplazamientos, deformaciones unitarias y factor de seguridad, con el objetivo de verificar la integridad del diseño.

Los resultados obtenidos fueron analizados y comparados con las propiedades mecánicas de los materiales seleccionados, verificando que los esfuerzos generados permanecieran dentro del rango elástico y que el factor de seguridad fuera superior a la unidad, garantizando un comportamiento estructural seguro. Posteriormente, se procedió a la construcción del prototipo, utilizando procesos de fabricación como corte, ensamblado y soldadura, respetando las especificaciones del diseño. Finalmente, el remolque fue sometido a pruebas experimentales bajo diferentes condiciones de carga, con el propósito de evaluar su comportamiento estructural, estabilidad y resistencia en condiciones reales de operación, confirmando la viabilidad del diseño propuesto.

Resultados

Diseño estructural del chasis

Para realizar de forma correcta con el diseño del chasis, se procedió a desarrollar la parte principal del arrastre del remolque, tal como se muestra en la Figura 1. Para tal efecto, se le asignaron las medidas correspondientes: La estructura fue diseñada de un tubo rectangular de acero A36 calibre 16, cuyas dimensiones son TR4x2x0.1875. El acero A36 se caracteriza por ser ampliamente usado en estructuras metálicas por su alta resistencia mecánica, ductilidad y elasticidad. Además, su máximo contenido de carbono es de 0.29%, tiene una resistencia a la tensión que varía entre 400 a 550 MPa, una dureza de 83 HRB y presenta una fácil soldabilidad.

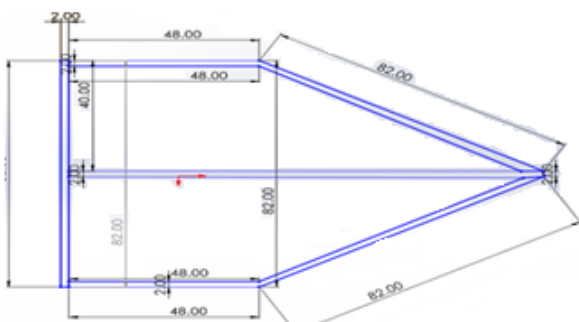


Figura 1. Pieza de arrastre diseñada en SolidWorks. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 2 se muestra el diseño del chasis para el remolque. Las dimensiones son de 406 cm de longitud y 208 cm de ancho, tal como se ilustra en la Figura 2a. Para sujetar el chasis con la pieza de arrastre se diseñaron dos orificios colocados a 5.8 cm y a 100 cm de la base.

El chasis fue diseñado con tubo rectangular calibre 16 con dimensiones TR4x2x0.1875 y fabricado de acero A36. La pieza final elaborada en SolidWorks se ilustra en la Figura 2b.

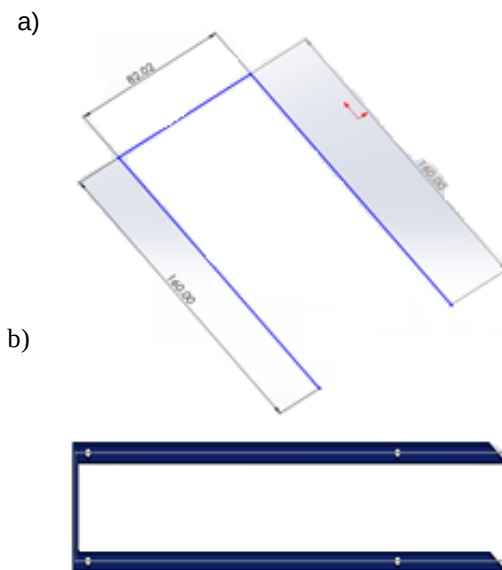


Figura 2. Diseño del chasis: a) dimensiones y b) terminado. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 3 se muestra el ensamble de la pieza de arrastre con el chasis. Para tal efecto, fue necesario emplear pernos de 2 pulgadas de longitud que sujetan tanto el ensamble como el chasis. Además, se emplearon cordones de soldadura en las uniones de cada componente para garantizar la integridad de este.



Figura 3. Armado de parte de arrastre con chasis. Fuente: Elaboración propia.

Para soportar la carga del remolque, se realizó el diseño de la plataforma móvil, cuyo material fue tubo rectangular calibre 16 de TR4x2x0.1875 de acero A36 similar a los materiales empleados en los anteriores componentes (Figura 4). La longitud de la plataforma es de 211 in con un ancho de 78 in y un soporte colocado a 106.50 in, el cual es empleado para distribuir el peso de la carga y evitar la ruptura de esta. Además, se lo colocaron seis soportes de 27 in de longitud a la mitad de plataforma con el propósito de no tener rupturas, las cuales fueron espaciadas a 21.63 in. A los costados, se le colocaron soportes de 25.50 in de longitud con una distancia de 26.13 in con la finalidad de poder tener mejor soporte y su representación se muestra en la Figura 7. En la Figura 4b se muestra la plataforma móvil final en 3D.

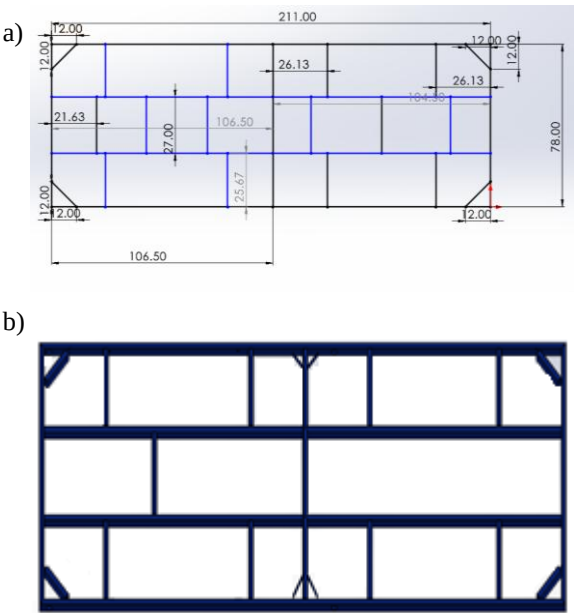


Figura 4. Cuerpo de la plataforma móvil del remolque. Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 1 se muestran las especificaciones del material utilizado para realizar las piezas del remolque. Como se puede apreciar, este tipo de material es adecuado para ser empleado en estructuras metálicas, marcos, soportes, pasarelas, plataformas, etc., una resistencia entre 400 – 550 MPa y una dureza de 83 HRB. Además, este tipo de acero es fácil de adquirir en el mercado, es muy sencillo de cortar, taladrar, moldear y soldar, lo que facilita realizar cualquier tipo de diseño de componentes para el remolque.

Tabla 1. Especificaciones básicas del tubo rectangular A36. Fuente: Elaboración propia.

Parámetro	Valor / Observación
-----------	---------------------

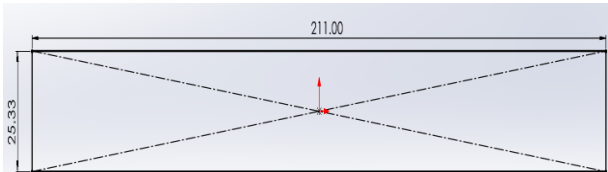
Estándar	ASTM
Tipo	Tubo rectangular
Tamaño	TR4 x 2 x 0.1875
Material / Norma	Acero al carbono ASTM A36
Uso típico	Estructuras metálicas, marcos, soportes, pasarelas, plataformas y aplicaciones generales
Densidad	7.85 g/cm³
Resistencia a fluencia (mín.)	36 ksi (250 MPa)
Resistencia última (tensión)	58 – 80 ksi (400 – 550 MPa)
Alargamiento (mín.)	~20% en probeta de 8 in
Dureza típica	~83 HRB

El valor de 83 HRB indica que el acero es relativamente blando/moderadamente duro, típico de un acero estructural como el ASTM A36. La composición química típica (ASTM A36) se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2: Composición química en porcentaje en peso del material utilizado. Fuente: Elaboración propia.

Elemento	% Máx. / Rango
Carbono (C)	0.25 – 0.29 %
Manganeso (Mn)	0.80 – 1.20 %
Silicio (Si)	0.15 – 0.40 %
Fósforo (P)	≤ 0.040 %
Azufre (S)	≤ 0.050 %
Cobre (Cu)	≥ 0.20 % (cuando se especifica resistencia a la corrosión)

Para el piso antideslizante de la rampa, se utilizó una lámina de acero A36 con un espesor de 0.1760 pulgadas, el cuales un equivalente a un calibre 7. Este material se colocó en la zona de la plancha del remolque por donde ascienden las llantas del vehículo, garantizando resistencia, durabilidad y un adecuado nivel de adherencia durante la operación. En la Figura 5 se muestran las dimensiones de esta y el esquema completo del piso deslizando.



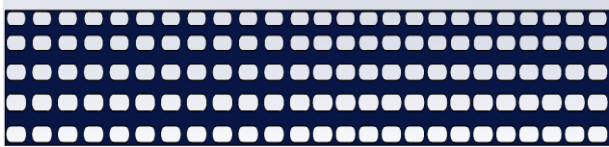


Figura 5. Dimensiones de la rampa y esquema completo del piso deslizante. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 6 se observa el tipo de material utilizado para el ensamblado del piso, así como la posición correcta del piso durante su montaje.



Figura 6. Ensamblando el piso. Fuente: Elaboración propia.

Por su parte, en la Figura 7 se observa el piso ya instalado en su ubicación definitiva y con el acabado con el color correspondiente.



Figura 7. Ensamble final del piso con pintura. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 8 se muestra el kit de suspensión de 7000 lbs empleadas para el remolque, la cual está conformado por un sistema de doble eje con hojas de muelle y balancín. El tipo de suspensión fue seleccionado porque garantiza una adecuada distribución de cargas y un funcionamiento estable del remolque bajo las condiciones previstas de operación. El conjunto está formado por dos muelles, que se fijan al chasis mediante soportes delanteros y traseros, mientras que sus extremos internos se conectan al balancín central. Este balancín permite que ambos ejes trabajen de manera coordinada,

compensando irregularidades del terreno y distribuyendo la carga de forma equilibrada entre las muelles.

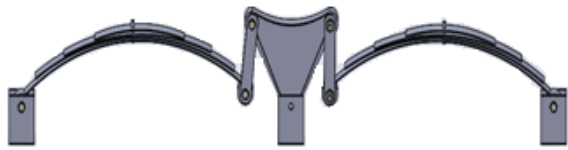


Figura 8. Kit de suspensión empleada en el remolque. Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 9 se incluyen las especificaciones y características empleadas en los tornillos empleados para la sujeción de la suspensión. Los pernos para sujeción del eje a las muelles son de acero al carbono, aleados o galvanizados grado 5 cuyo diámetro es de 5/8 de pulgada. Mientras que los pernos de los ojales de las muelles son de acero al carbono/aleado grado 5 de 9/16 de pulgada. En la Figura 9 se muestra la descripción general del conjunto de muelles empleado para el remolque. Este está compuesto por 4 láminas concatenadas (pack de 4 hojas) diseñado para montaje trasero (RR). Incluye: láminas principales y auxiliares, perno central, ojales con casquillos/bujes, anclajes, grilletes, abrazaderas y tornillería para sujeción a eje.

Tabla 9: Tornillería típica en suspensión de remolques. Fuente: Elaboración propia.

Componente	Material / Acabado	Grado
Pernos para fijación del eje al paquete de muelles	Acero al carbón o aleado; galvanizado o con recubrimiento anticorrosión	5
Pernos de los ojales del muelle	Acero al carbón o aleado.	



Figura 9. Conjunto de muelles empleadas para el remolque. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 10 se ilustra el tubo para el eje del sistema motriz del remolque y sus componentes principales. Este es de una longitud de 91 pulgadas, un diámetro de 3

pulgadas y un espesor de pared de 0.09 pulgadas. El material empleado sigue siendo un acero A36 con las características descritas en la Tabla. Cabe mencionar que el eje del remolque es el componente empleado para mantener el movimiento de rotación, soportar el peso del remolque y su carga, así como absorber las fuerzas generadas durante su recorrido. El eje completo está constituido por las espigas de masa, las masas, Flange para espigas, los birlos y las tuercas seguridad.

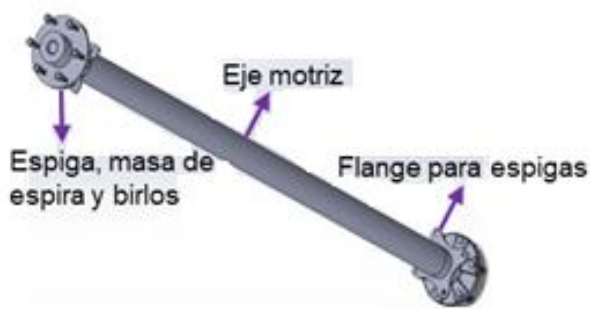


Figura 10. Eje de rotación con sus componentes. Fuente: Elaboración propia.

Para determinar las especificaciones de las llantas, fue necesario considerar que el peso que soportará el remolque es de 2000 kg, se va a contar un total de dos ejes y 4 ruedas. Distribuyendo el peso entre las cuatro ruedas, esto da como resultado que cada neumático debe soportar al menos 500 kg. Por cuestiones de seguridad, es recomendable emplear un margen de seguridad del 20–25%, por lo que se buscan llantas que soporten al menos entre 600–625 kg cada una, para garantizar que puede soportar el peso requerido para el diseño del remolque.

Esfuerzos de Von Mises

En la Figura 11 se representa el modelo del eje sometido una carga acorde a la del diseño, la cual representa el peso efectivo que actúa durante su funcionamiento. La carga aplicada fue de 19,620 N considerando las condiciones reales, así como las restricciones mecánicas que impiden el movimiento en los puntos de apoyo.



Figura 11. Análisis de esfuerzos en el eje del remolque. Fuente: Elaboración propia.

El comportamiento del eje se rige por las ecuaciones fundamentales del equilibrio estático y de momento, las cuales se muestran a continuación:

$$\sum F = 0 \quad y \quad \sum M = 0$$

En la Figura 12 se muestra la distribución del esfuerzo cortante τ_{xy} obtenida mediante análisis por elementos finitos en SOLIDWORKS Simulación.

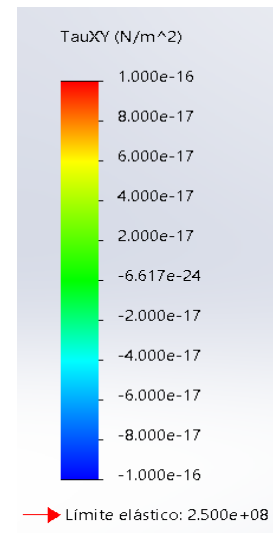


Figura 12. Resultado de esfuerzos de Von Mises. Fuente: Elaboración propia

La escala de colores representa la magnitud del esfuerzo, donde los tonos rojos indican los valores máximos positivos, los tonos amarillos y verdes corresponden a valores cercanos a cero, y los tonos azules representan los valores negativos máximos. Los resultados presentan magnitudes del orden de 10^{-16} N/m², lo que indica que el esfuerzo cortante en el plano XY es prácticamente nulo bajo las condiciones de las cargas analizadas.

Desplazamientos

El desplazamiento axial es el movimiento lineal de un objeto o partícula a lo largo de su propio eje longitudinal, ya sea hacia adelante, hacia atrás, o de estiramiento y compresión, paralelo a ese eje. El desplazamiento o deformación se puede obtener por medio de la siguiente expresión:

$$\delta = \frac{FL}{AE}$$

donde:

- F = fuerza aplicada
- L = longitud del eje
- A = área de la sección transversal

- E = módulo de elasticidad del material

Para la flexión, el desplazamiento depende del momento flector M y del momento de inercia I, el cual puede ser calculado por medio de la siguiente expresión:

$$\delta \propto \frac{ML^2}{EI}$$

Deformación unitaria

En la Figura 13 se muestra la deformación unitaria que es relativa del material, es decir, cuánto se estira o comprime el eje en la relación con su longitud original. Para tal efecto, la deformación unitaria se define como:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

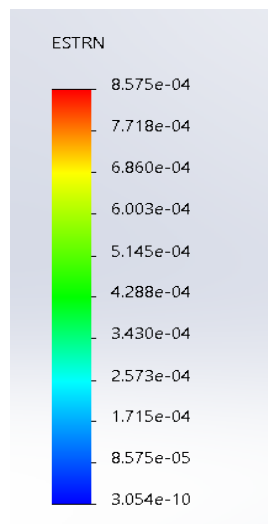


Figura 13. Resultados de deformación unitaria. Fuente: Elaboración propia.

Esta magnitud es adimensional y permite evaluar si el material se encuentra dentro del rango elástico. En dicho rango, el esfuerzo y la deformación están relacionados por la Ley de Hooke:

$$\sigma = E\varepsilon$$

Los tonos rojos indican las zonas con mayor deformación unitaria, alcanzando un valor máximo aproximado de 8.57×10^{-4} , mientras que los tonos azules corresponden a regiones con deformación prácticamente nula, generalmente asociadas a las áreas restringidas. Los colores intermedios muestran una transición gradual de la deformación a lo largo del componente. Los valores obtenidos se mantienen dentro del rango elástico del

material, lo que indica que la deformación es reversible y que el componente no presenta daño permanente bajo las condiciones de carga analizadas.

Factor de seguridad

El factor de seguridad representa el margen de confiabilidad del diseño frente a la falla del material. El factor de seguridad se define como:

$$SF = \frac{\sigma_{limite}}{\sigma_{max}}$$

donde:

σ_{limite} = es el esfuerzo admisible o de fluencia del material

σ_{max} = es el esfuerzo máximo obtenido en el análisis.

En la Figura 14 muestran que el factor de seguridad mínimo es de 1.2, lo que indica que el material no alcanza el límite de falla bajo las condiciones de carga analizadas. Las zonas con valores elevados de FDS reflejan que el componente se encuentra sobredimensionado, mientras que las regiones con valores menores concentran las zonas más exigidas del diseño. De acuerdo con los resultados obtenidos, el diseño presenta un comportamiento estructural seguro, cumpliendo con los criterios de resistencia establecidos.

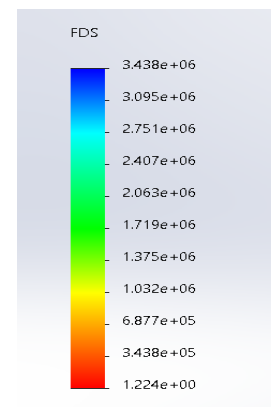


Figura 14. Resultado de factor de seguridad. Fuente: Elaboración propia.

Análisis estático

En la Figura 15 se realizó un análisis estático con el software Solidworks mediante el uso del complemento de simulación para determinar las capacidades del ensamble después de que se le aplique la carga para la que fue diseñado, siendo esta un total de 2 toneladas. Este análisis se realizó con el propósito de determinar si los materiales en cuestión son apropiados para elaboración de este elemento y en base a los resultados

obtenidos hacer las correcciones necesarias. Los resultados muestran que el desplazamiento máximo de 2.27 mm, lo cual es pequeño, estableciendo que la estructura soportará correctamente las cargas aplicadas.

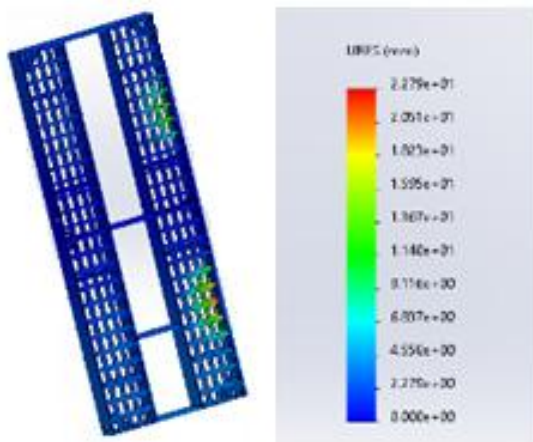


Figura 15. Resultados de análisis estático. Fuente: Elaboración propia.

Esfuerzos de Von Mises

En la Figura 16 se muestra el esfuerzo de Von Mises en el elemento, donde se muestran las áreas donde mayormente se concentran los esfuerzos como se puede observar en la figura existen dos áreas donde se concentran mayormente los esfuerzos en los que, de acuerdo con la gráfica el esfuerzo más grande es de 1.375×10^8 N/m², mientras que, en la mayoría de la plataforma, el esfuerzo que soportará la plataforma será de 2.577×10^8 N/m², el cual es adecuado para este tipo de sistemas.

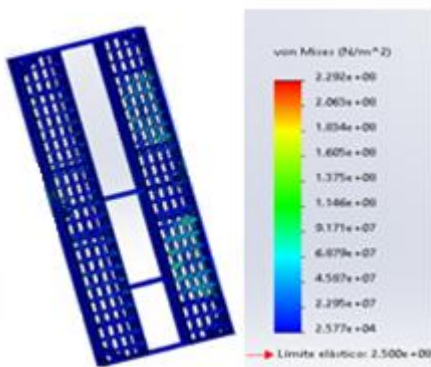


Figura 16. Resultados de los esfuerzos de Von Mises. Fuente: Elaboración propia.

Factor de seguridad

En la Figura 17 se muestran los resultados gráficos de determinar el factor de seguridad del elemento en donde se busca que este sea mayor que uno ya que un número inferior a uno es una señal de que el elemento no puede soportar dicha carga y es inseguro como se puede observar el elemento tiene un factor de seguridad mínimo de 1.1 en su zona más débil por lo tanto se puede concluir que el elemento puede soportar una carga de 2 toneladas sin sufrir una deformación permanente o fracturas y tanto el diseño como el material son apropiados para la elaboración del ensamble del remolque.

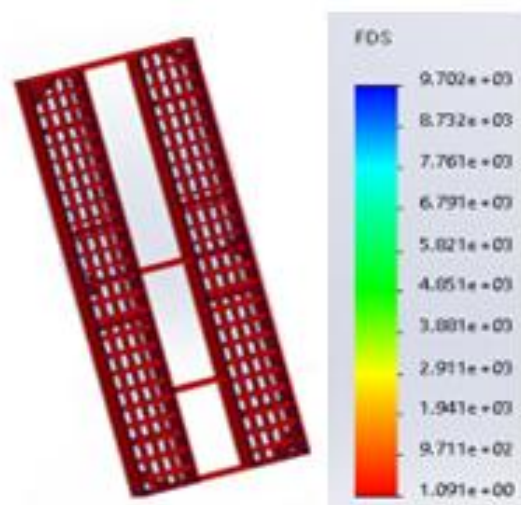


Figura 17. Resultado de factor de seguridad para la plataforma. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 18 se muestra el diseño del remolque y en la Figura 19 el sistema ya construido. Para tal efecto, se realizó el diseño del remolque el cual fue construido físicamente con la finalidad de poder utilizarlo adecuadamente para el traslado de automóviles. Como se describió anteriormente, para el armado, se realizó primeramente la parte de donde se sujeta el remolque con la parte del arrastre. Posteriormente, se desarrolló la parte del chasis y se le colocaron los soportes del kit de muelles para después ser ensamblados con los ejes completos para que el chasis tuviera estabilidad.

A continuación, se le colocaron unos soportes en ambos lados con la finalidad de que el chasis tuviera más soporte. En esos mismos soportes lleva unos orificios para sujetar unos bujes a continuación se realizó la parte de la rampa móvil la cual tiene como funcionamiento bajar para que suba el carro de la rampa que va sujeta al chasis a la mitad, lo cual conlleva emplear una barra de

acero que se encarga de que la rampa pueda hacer el movimiento de subir y bajar la carga.

A continuación, se le colocó un gato de lanza para sostener la estructura. Posteriormente se realizó el ensamble y se efectuaron las pruebas físicamente para ver si no mostraba daños, para lo cual se le subió un vehículo y se demostró que el remolque cumplía de forma satisfactoria con las condiciones de diseño.



Figura 18. Diseño de remolque. Fuente: Elaboración propia.



Figura 19. Pieza física del remolque. Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

Se realizó el diseño del remolque con capacidad para transportar hasta 2 toneladas el cual fue construido físicamente con la finalidad de poder utilizarlo adecuadamente para el traslado de automóviles. Con base al diseño y construcción del remolque se puede determinar lo siguiente: Al aplicar el estudio estático al eje

y el chasis del remolque, se pudo determinar que ambos cumplen con las fuerzas aplicadas. acuerdo con la gráfica el esfuerzo más grande es de $1.375 \times 108 \text{ N/m}^2$, mientras que, en la mayoría de la plataforma, el esfuerzo que soportará la plataforma será de $2.577 \times 108 \text{ N/m}^2$, el cual es adecuado para este tipo de sistemas. Los resultados también mostraron que el desplazamiento máximo fue de 2.27 mm, lo cual relativamente pequeño, estableciendo que la estructura soportará correctamente las cargas aplicadas.

Los materiales empleados para la construcción del remolque cumplieron con una buena resistencia mecánica y es capaz de soportar la carga de 2 toneladas. Los ejes diseñados para el remolque tuvieron un factor de seguridad de 1.2 lo cual indica que es resistente la pieza para poder soportar la carga seleccionada. La parte de la rampa móvil también tuvo un factor de seguridad de 1.1 lo cual indica que es resistente a la carga que se le va a aplicar. Como línea de investigación futura, se propone analizar el comportamiento dinámico y la vida a fatiga de la estructura, el evaluar las diferentes condiciones de distribución de carga y el estudio de configuraciones alternativas de perfiles y materiales que permitan incrementar los factores de seguridad, así sin aumentar significativamente el peso y los costos de su fabricación. Además, se recomienda incorporar un análisis de vibraciones, pruebas experimentales de instrumentación y una optimización estructural.

Agradecimientos

A la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo por el apoyo brindado para la realización del presente trabajo de investigación. Además de las personas que hicieron posible de la realización de este trabajo de investigación, su apoyo, colaboración y compromiso fueron fundamentales para fortalecer los conocimientos, la investigación y la solución de problemas reales.

Referencias

- Altos Hornos de México, S.A.B. de C.V. (AHMSA). (s.f.). Manual de diseño para la construcción con acero (Capítulo 1). AHMSA. https://www.ahmsa.com/assets/files/manuales/manual-ahmsa/Capitulo_1.pdf
- Forqués Puigcerver, J. (2019). Diseño de un remolque para el transporte de pequeñas embarcaciones.
- González Herrera, E. (2018). Análisis estructural de un sistema de enganche de remolque automotriz mediante el método de elemento finito [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León]. Repositorio UANL. <http://eprints.uanl.mx/16431/>
- López Terán, J. L., & Morillo Chamorro, M. J. (2009). Diseño y construcción de un remolque con capacidad para dos motocicletas

- [Proyecto de titulación, Escuela Politécnica Nacional]. Repositorio Digital EPN.  <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1314>
- Morillo Chamorro, M. J., & López Terán, J. L. (2009). Diseño y construcción de un remolque con capacidad para dos motocicletas (Bachelor's thesis, QUITO/EPN/2009).
- Muñoz, J. P. S., & Ramirez, M. A. N. (2020). Diseño industrial de remolque para motocicletas (Industrial design of motorcycle trailers). Pistas Educativas, 42(137).
- Novoa, D. (2017). Diseño y construcción de un remolque para coches tipo skuk con capacidad de media tonelada para Sermant Cía. Ltda. [Proyecto de titulación, Universidad Internacional SEK]. Repositorio UISEK.  <https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/3080>
- Pérez Acosta, H. (2019). Estudio y diseño de un remolque ligero para automoción.
- Rosero Armijos, J. R. (2017). Diseño y construcción de un remolque para dos go karts, para ser transportado por un vehículo de turismo [Proyecto de titulación, Universidad Tecnológica Equinoccial]. Repositorio UTE.  <https://repositorio.ute.edu.ec/entities/publication/7219f032-356d-48d2-b271-43fcea3cd506>
- Sisler Miranda, A. P., & Sigcho Rea, L. A. (2017). Diseño y construcción de un remolque de Motocultor YTO DF-15L para el Magap de la Provincia de Chimborazo (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).
- Velasteguí Zurita, J. E. (2014). Estudio de los procesos de soldadura SMAW y GMAW sobre acero ASTM A36, A-500 y su incidencia en las propiedades mecánicas en las juntas soldadas de la estructura de buses [Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio UTA.  <https://repositorio.uta.edu.ec/items/36d75d00-1224-4569-be07-5a5d85cc1fbd>