

Diseño, análisis estructural y fabricación de un triciclo recreativo mediante análisis por elementos finitos

Design, structural analysis and manufacturing of a recreational tricycle using finite element analysis

David Ríos Cruz ^a, José L. Rodríguez Muñoz ^b, Rodrigo Cruz-Trejo ^c, Carlos E. Borja Soto ^d, Yira Muñoz Sánchez ^e, Ventura Rodríguez Lugo ^f

Abstract:

This work presents the design, structural analysis, and fabrication of a recreational tricycle using CAD/CAE tools and conventional manufacturing processes. The chassis was modeled three-dimensionally using SolidWorks software and analyzed through the Finite Element Method (FEM), considering loading conditions equivalent to the weight of two occupants and the self-weight of the vehicle. ASTM A36 structural steel was selected as the chassis material due to its mechanical properties and weldability. During the simulation process, Von Mises stress distribution, total displacement, and safety factors were evaluated. The results showed a maximum stress of 28.4 MPa and a safety factor of 8.8, indicating that the structure operates within the elastic range of the material and has sufficient strength to withstand the established operating conditions. Furthermore, the displacement analysis revealed a uniform and acceptable deformation behavior, confirming the structural rigidity of the chassis design. Additionally, the manufacturing process of the vehicle was described, including cutting, SMAW welding, assembly of the transmission, steering, and braking systems. Safety measures implemented during fabrication were also considered to ensure proper working conditions and structural quality of the final product. The obtained results demonstrate that the integration of numerical simulation tools and conventional manufacturing processes represents a feasible alternative for the development of low-cost lightweight recreational vehicles.

Keywords:

Finite Element Method (FEM), SolidWorks Simulation, structural chassis, recreational tricycle, ASTM A36 steel, stress analysis, safety factor, SMAW welding

Resumen:

En el presente trabajo se realizó el diseño, análisis estructural y fabricación de un triciclo recreativo empleando herramientas CAD/CAE y procesos convencionales de manufactura. El chasis fue modelado tridimensionalmente mediante el software SolidWorks y analizado a través del Método de Elementos Finitos (FEM), considerando condiciones de carga equivalentes al peso de dos ocupantes y el peso propio del vehículo. El material seleccionado para la estructura fue acero ASTM A36 debido a sus propiedades

^a Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Escuela Superior de Ciudad Sahagún | Ciudad Sahagún-Hidalgo | México, <https://orcid.org/0009-0006-8104-8445>, Email: ri463962@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/0009-0001-2907-7605>, Email: rodrigo_cruz@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

mecánicas y facilidad de soldadura. Durante la simulación se evaluaron la distribución de esfuerzos de Von Mises, el desplazamiento total y el factor de seguridad del bastidor. Los resultados mostraron un esfuerzo máximo de 28.4 MPa y un factor de seguridad de 8.8, valores que indican que la estructura trabaja dentro del régimen elástico del material y posee capacidad suficiente para soportar las condiciones de operación establecidas. Asimismo, el análisis de desplazamiento evidenció una deformación uniforme y aceptable, confirmando la rigidez estructural del diseño. Adicionalmente, se describió el proceso de fabricación del vehículo, incluyendo operaciones de corte, soldadura SMAW, ensamblaje del sistema de transmisión, dirección y frenado. Finalmente, se implementaron medidas de seguridad durante la manufactura con el propósito de garantizar condiciones adecuadas de trabajo y calidad estructural en el producto final. Los resultados obtenidos demuestran que la integración de herramientas de simulación numérica y procesos de fabricación convencional constituye una alternativa viable para el desarrollo de vehículos recreativos ligeros de bajo costo.

Palabras Clave:

Método de Elementos Finitos (FEM), SolidWorks Simulation, Chasis estructural, Triciclo recreativo, Acero ASTM A36, Análisis de esfuerzos, Factor de seguridad, Soldadura SMAW

Introducción

El diseño y fabricación de vehículos recreativos ligeros (triciclos) requiere garantizar condiciones adecuadas de resistencia estructural, estabilidad y seguridad durante su operación. En este tipo de aplicaciones, el chasis constituye el elemento principal de soporte, ya que debe resistir las cargas generadas por el peso de los ocupantes, las vibraciones producidas durante el desplazamiento y los esfuerzos derivados de las irregularidades del terreno, debido a ello resulta indispensable evaluar el comportamiento mecánico de la estructura antes de su fabricación, con el propósito de reducir riesgos de falla y optimizar el uso de materiales.

Actualmente, el análisis por elementos finitos FEM (Finite Element Method) representa una de las herramientas más utilizadas en ingeniería mecánica para la evaluación estructural de componentes y bastidores. Mediante simulaciones computacionales es posible determinar distribuciones de esfuerzo, deformaciones y factores de seguridad bajo distintas condiciones de carga, permitiendo validar el diseño sin necesidad de fabricar múltiples prototipos físicos (Alonso García, 2026).

En aplicaciones de transporte ligero, el uso de software CAD/CAE como SolidWorks facilita el modelado tridimensional y la simulación estructural de sistemas mecánicos complejos. Para el desarrollo de proyectos como son de los Go-kart, dentro del programa de SolidWorks ayuda a modelar y analizar algunos de los principales mecanismos que componen el sistema, como son el chasis, la dirección, el sistema de frenado, y la transmisión. Para algunos estudios se han demostrado del uso de herramientas de CAD y de análisis de elementos finitos, estos nos ayudan a identificar las principales zonas críticas que se encuentran sometidas a diversos esfuerzos y deformaciones. Así permitiendo la optimización de la seguridad, su resistencia y el peso del vehículo (Kitshore

et al., 2026; Orellana et al., 2019). Cabe mencionar que en la elaboración del Go-kart es necesario tener como base los modelos de diseño bien establecidos, para que así se garantice la transformación física del vehículo, esto a través de algunos procesos como corte, doblado, soldadura, mecanizado y ensamble. En esta etapa se necesita de los planos elaborados, la lista de los materiales y de las especificaciones técnicas necesarias para construir el vehículo. Además, debe de existir una coherencia entre el diseño del modelo con él la elaboración, ya que si no cumple con las dimensiones previas este no logrará coincidir con el ensamble de sus principales mecanismos.

Según Bautista, 2024; Karan et al., 2021 y Horvat et al., 2023, es necesario contemplar el criterio de seguridad, de su ergonomía, de la resistencia estructural y de la manufactura. Donde se incorpore de las principales herramientas de simulación para que así se logre validar el comportamiento del chasis y de sus demás componentes, esto tomando en cuenta que sea antes de su fabricación. Esto logrará fortalecer algunas de las competencias como en el diseño mecánico, el análisis estructural y de los procesos de manufactura, para que así también se integren los conocimientos teóricos y básicos propios de la ingeniería mecánica.

Es así que el presente trabajo, tiene como objetivo diseñar y analizar estructuralmente el chasis de un triciclo recreativo fabricado con perfil tubular de acero A36, denominado así por la Sociedad Americana para el Ensayo de Materiales (ASTM A36) mediante herramientas de modelado y simulación numérica. Este tipo de aceros se caracteriza por ser empleado en estructuras principalmente, placas y barras para la construcción de puentes y edificios. Para ello, se desarrolló un modelo tridimensional del bastidor y posteriormente se realizó un análisis estático por elementos finitos considerando las cargas generadas por dos ocupantes y el peso propio del

vehículo. Asimismo, se evaluó la distribución de esfuerzos equivalentes de Von Mises, el desplazamiento total y el factor de seguridad de la estructura.

Adicionalmente, se describe el proceso de fabricación del triciclo, incluyendo operaciones de corte, soldadura, ensamblaje e instalación de los sistemas de transmisión, dirección y frenado. Finalmente, se presentan las medidas de seguridad implementadas durante la manufactura, con el fin de garantizar condiciones adecuadas de trabajo y calidad estructural del producto final.

Método de Elementos Finitos (FEM)

El Método de Elementos Finitos (FEM, Finite Element Method) es una herramienta numérica ampliamente utilizada en ingeniería mecánica para analizar el comportamiento estructural de componentes sometidos a diferentes condiciones de carga. Este método consiste en discretizar una geometría compleja en pequeños elementos interconectados, permitiendo resolver de manera aproximada ecuaciones relacionadas con esfuerzos, deformaciones y desplazamientos (Márquez et al., 2022; Patango et al., 2026).

El FEM ha adquirido gran importancia en aplicaciones automotrices y estructurales debido a que permite evaluar el desempeño mecánico de un diseño antes de fabricar prototipos físicos, reduciendo costos de manufactura y tiempo de desarrollo. Asimismo, facilita la identificación de zonas críticas susceptibles a deformación o falla estructural (Behera et al., 2026).

Actualmente, los programas CAD/CAE integran herramientas avanzadas de simulación estructural capaces de realizar análisis estáticos, dinámicos y térmicos sobre modelos tridimensionales. Software como SolidWorks Simulation permite representar condiciones reales de operación y obtener resultados relacionados con esfuerzos equivalentes, desplazamientos y factores de seguridad en estructuras mecánicas complejas. Además, el uso de herramientas CAD/CAE integradas contribuye a reducir tiempos de desarrollo y mejorar la precisión del análisis estructural en diseños mecánicos complejos (Kurowski, 2016).

Cook et al. (2002) señalan que el uso de herramientas CAE permite optimizar geometrías estructurales y mejorar la distribución del material dentro de componentes mecánicos, incrementando la eficiencia y resistencia del diseño. Debido a ello, el análisis por elementos finitos se ha convertido en una de las metodologías más utilizadas en el diseño de bastidores y chasis vehiculares. Una herramienta que permite realizar el modelado de este tipo de sistemas es SolidWorks.

Método Chasis estructurales en vehículos ligeros

El chasis constituye el elemento principal de soporte en vehículos recreativos y sistemas de transporte ligero, ya que sobre él se ensamblan componentes como dirección, transmisión, frenado y asientos. Su función principal consiste en soportar las cargas generadas por el peso de los ocupantes, vibraciones, impactos y esfuerzos producidos durante el desplazamiento. En estructuras tubulares, la geometría de los perfiles influye directamente sobre la resistencia y rigidez del sistema.

Los perfiles rectangulares y triangulados son ampliamente utilizados debido a su capacidad para resistir esfuerzos de flexión y torsión con un peso relativamente bajo. La incorporación de refuerzos estructurales en zonas críticas permite disminuir deformaciones y mejorar la estabilidad mecánica del bastidor.

Gillespie (1992) menciona que la rigidez estructural del chasis influye directamente en la estabilidad y seguridad del vehículo durante la operación, especialmente en vehículos ligeros sometidos a irregularidades del terreno y cambios de carga. Por esta razón, resulta indispensable realizar análisis estructurales previos a la fabricación para garantizar condiciones adecuadas de seguridad y funcionamiento.

Diversos estudios relacionados con chasis tubulares han demostrado que la simulación estructural mediante FEM permite identificar regiones con concentraciones elevadas de esfuerzo y optimizar el diseño antes de la manufactura física del vehículo (Singh y Sharma, 2021).

Criterio de Von Mises

El criterio de Von Mises es uno de los métodos más utilizados para evaluar la falla en materiales dúctiles sometidos a estados complejos de esfuerzo. Este criterio establece que la fluencia del material ocurre cuando el esfuerzo equivalente alcanza el límite de fluencia del material. Budynas y Nisbett (2020) indican que este criterio es especialmente adecuado para materiales dúctiles como el acero estructural, debido a que permite evaluar condiciones de fluencia bajo cargas combinadas de flexión, compresión y torsión. Por esta razón, el esfuerzo equivalente de Von Mises es ampliamente utilizado en simulaciones estructurales de bastidores metálicos y componentes automotrices. Además, este criterio facilita la identificación de regiones críticas dentro de la estructura, permitiendo determinar si el diseño trabajará dentro del régimen elástico o si existe riesgo de deformación permanente.

Factor de seguridad

El factor de seguridad representa la relación entre la resistencia máxima del material y el esfuerzo aplicado sobre la estructura. Su finalidad es garantizar condiciones seguras de operación aun cuando existan incertidumbres relacionadas con variaciones de carga, defectos de fabricación o condiciones reales de servicio.

Según Budynas y Nisbett (2020), en aplicaciones mecánicas convencionales suelen emplearse factores de seguridad entre 2 y 4. Sin embargo, en estructuras fabricadas artesanalmente es común utilizar valores superiores para compensar posibles imperfecciones geométricas, discontinuidades en soldadura y cargas dinámicas no consideradas durante la simulación.

Acero estructural ASTM A36

El acero ASTM A36 es uno de los materiales más utilizados en aplicaciones estructurales y de manufactura debido a su adecuada relación resistencia-costo, buena soldabilidad y comportamiento dúctil. Este acero al carbono posee un límite de fluencia aproximado de 250 MPa y resistencia mecánica suficiente para aplicaciones estructurales ligeras (ASTM International, 2019).

Una de las principales ventajas del acero ASTM A36 es su facilidad para ser soldado mediante procesos convencionales, permitiendo fabricar estructuras tubulares de manera relativamente sencilla y económica. Además, su comportamiento dúctil permite absorber deformaciones antes de fracturarse, reduciendo el riesgo de fallas súbitas en estructuras sometidas a vibraciones y cargas variables. Los materiales dúctiles presentan mayor capacidad para redistribuir esfuerzos y absorber energía mecánica antes de alcanzar condiciones críticas de falla. Debido a ello, el acero ASTM A36 es ampliamente utilizado en bastidores, estructuras metálicas y vehículos recreativos ligeros.

Soldadura SMAW en estructuras mecánicas

La soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido (SMAW, Shielded Metal Arc Welding) es uno de los procesos más utilizados en la fabricación de estructuras metálicas debido a su bajo costo, facilidad de implementación y capacidad para unir aceros de bajo carbono.

El proceso consiste en generar un arco eléctrico entre el electrodo y el metal base, produciendo la fusión del material y formando una unión permanente entre componentes estructurales. Los electrodos E6013 son ampliamente utilizados en aplicaciones estructurales ligeras debido a que proporcionan un arco estable, buena

aparición del cordón y adecuada penetración en aceros estructurales (American Welding Society, 2020).

Lancaster (1999) establece que las uniones soldadas representan regiones críticas dentro de estructuras metálicas debido a la concentración de esfuerzos y posibles discontinuidades generadas durante el proceso de soldadura. Por esta razón, resulta importante controlar parámetros como amperaje, secuencia de soldadura y alineación estructural para evitar deformaciones térmicas y defectos mecánicos. Por su parte, Blodgett, 1998, determinó que la calidad de las uniones soldadas influye directamente en la resistencia y durabilidad del chasis, especialmente en estructuras sometidas a vibraciones y cargas cíclicas durante su operación. Asimismo, las uniones soldadas representan zonas críticas debido a las concentraciones de esfuerzo generadas por cambios geométricos y ciclos repetitivos de carga.

Definición del modelo

El chasis del triciclo fue modelado tridimensionalmente mediante el software CAD SolidWorks, como se muestra en la Figura 1. La geometría corresponde a una estructura tubular conformada por un marco longitudinal rectangular con un refuerzo frontal de configuración triangular destinado al soporte del sistema de dirección.

El modelo fue idealizado como una estructura soldada continua considerando uniones rígidas entre perfiles estructurales, hipótesis comúnmente empleada en análisis estructural por elementos finitos.

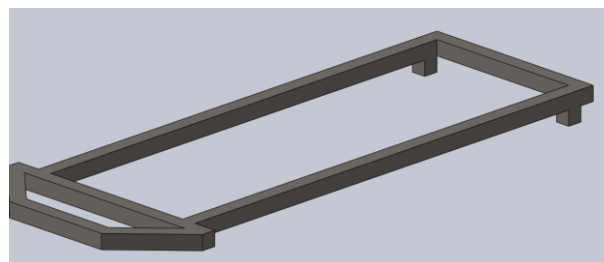


Figura 1. Modelo tridimensional del chasis, mediante SolidWorks Simulation. Fuente: Elaboración propia.

Propiedades del material

El material asignado al chasis corresponde a acero estructural ASTM A36, ampliamente utilizado en estructuras mecánicas y de transporte ligero debido a su adecuada relación resistencia-coste y facilidad de soldadura (ASTM International, 2019). Las propiedades mecánicas empleadas en la simulación se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Propiedades ASTM 36. Fuente: Elaboración propia.

Propiedad	Valor
Límite de fluencia	250 MPa
Resistencia última	400 MPa
Módulo de elasticidad	200 GPa
Coeficiente de Poisson	0.26
Densidad	7850 kg/m ³

La naturaleza dúctil del material permite evaluar la seguridad estructural mediante criterios de fluencia, evitando fallas súbitas por fractura (Budynas & Nisbett, 2020).

Determinación de la carga aplicada

Se consideró el transporte de dos usuarios adultos con masa de 125kg cada uno, además del peso propio estimado del vehículo de 50 kg.

$$m = 125 + 125 + 50 = 300 \text{ kg}$$

La fuerza equivalente al peso se obtuvo mediante la relación:

$$F = mg$$

Donde:

- $F = \text{fuerza (N)}$
- $m = \text{masa total (kg)}$
- $g = \text{aceleración gravitacional (9.81 m/s}^2\text{)}$

$$F = (300)(9.81) = 2943 \text{ N}$$

Esta fuerza representa la carga vertical que el chasis debe soportar en condiciones normales de reposo. Para representar adecuadamente la transferencia de peso hacia la estructura, la carga total se distribuyó en el chasis, ya que estos constituyen los puntos reales de aplicación del peso de los ocupantes.

$$F = \frac{2943}{2} = 1471.5 \text{ N}$$

Cada asiento recibe una fuerza vertical descendente de 1472 N aplicada sobre el chasis del triciclo ya que es la superficie de contacto, evitando concentraciones de esfuerzo irreales como se muestra en la Figura 2.

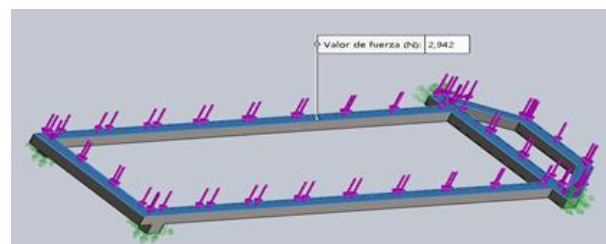


Figura 2. Aplicación de cargas en los asientos. Fuente: Elaboración propia.

Condiciones de frontera

Se realizó la fijación de sujeciones del modelo en cuatro puntos correspondientes a las zonas donde posteriormente se montarán las chumaceras del eje trasero. Estas regiones representan los puntos reales de transmisión de carga entre el chasis y el sistema rodante. Como se visualiza en la Figura 3, las restricciones fueron aplicadas en los extremos inferiores y posteriores de la estructura, simulando una condición de soporte fijo que impide desplazamientos y rotaciones en dichas áreas. Asimismo, las flechas de color morado representan la distribución de las cargas aplicadas sobre los perfiles estructurales del chasis, permitiendo analizar el comportamiento mecánico ante esfuerzos similares a los que experimentará durante su operación real.

La definición adecuada de estas condiciones de frontera permitió obtener una simulación más cercana al comportamiento físico del sistema, identificando las zonas con mayor concentración de esfuerzos y deformaciones dentro de la estructura.

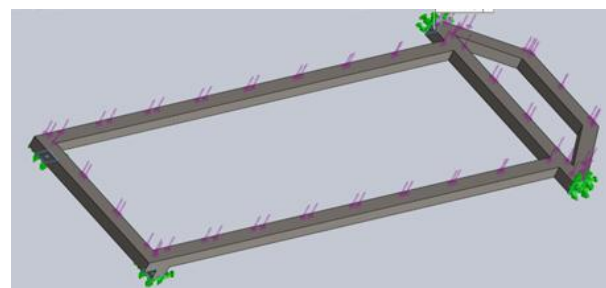


Figura 3. Fijación de sujeciones. Fuente: Elaboración propia.

Mallado del modelo

Se empleó un mallado basado en curvatura, el cual refina el tamaño de los elementos en regiones con cambios geométricos pronunciados, como uniones soldadas, esquinas y zonas del refuerzo frontal inclinado.

Este tipo de mallado permitió representar con mayor precisión la geometría del chasis y mejorar la calidad de los resultados obtenidos en el análisis por elementos finitos. Como se observa en la Figura 4, la estructura fue discretizada mediante elementos triangulares distribuidos uniformemente a lo largo de los perfiles tubulares, incrementando la densidad de la malla en las áreas donde existen concentraciones de esfuerzos o variaciones bruscas de geometría. Además, se conservaron las condiciones de carga y fijación previamente definidas para garantizar la continuidad del estudio estructural.

La generación adecuada de la malla permitió obtener una mejor convergencia numérica y una representación más precisa del comportamiento mecánico del chasis ante las cargas aplicadas, facilitando la identificación de zonas críticas susceptibles a deformaciones o fallas estructurales.

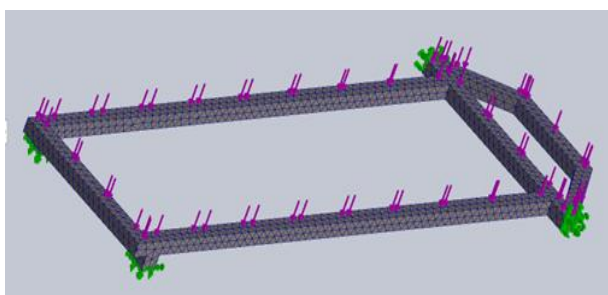


Figura 4. Mallado del modelo por elementos finitos. Fuente: Elaboración propia.

El desempeño estructural del chasis se evaluó mediante distribución de esfuerzos de Von Mises, el cual permite identificar las zonas críticas de la estructura bajo la carga aplicada (Budynas & Nisbett, 2020). Este criterio es ampliamente utilizado en análisis estructurales debido a que permite determinar las regiones donde el material se encuentra sometido a mayores niveles de esfuerzo y posibles condiciones de falla.

Como se visualiza en la Figura 5, la mayor parte de la estructura presenta tonalidades azules y verdes, indicando niveles de esfuerzo moderados distribuidos uniformemente a lo largo de los perfiles del chasis.

Sin embargo, las concentraciones de esfuerzo más elevadas se localizan principalmente en las uniones de los perfiles y en las zonas cercanas a las fijaciones y cambios geométricos, particularmente en la sección frontal inclinada y en los puntos de soporte traseros. Estas regiones son críticas debido a la transferencia de cargas y a la discontinuidad geométrica existente. Así mismo, la escala de colores mostrada en el análisis permite visualizar la magnitud de los esfuerzos generados, donde

los tonos cálidos representan mayores concentraciones de esfuerzo y los tonos fríos corresponden a áreas menos solicitadas mecánicamente.

Los resultados obtenidos indican que el chasis distribuye adecuadamente las cargas aplicadas, manteniendo un comportamiento estructural estable dentro de las condiciones evaluadas.

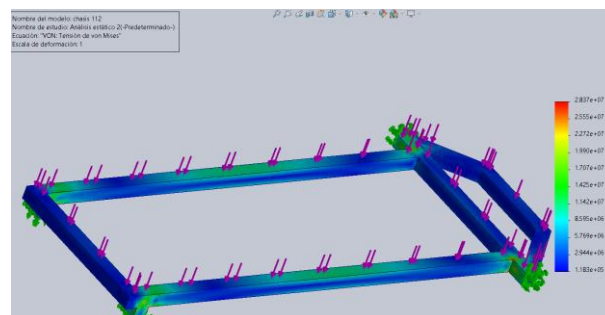


Figura 5. Distribución de esfuerzos de Von Mises. Fuente: Elaboración propia.

Para el desplazamiento máximo, el comportamiento del chasis también se evaluó mediante el análisis de desplazamiento total, con el objetivo de identificar las zonas con mayor deformación bajo las condiciones de carga establecidas. Este análisis permite determinar la rigidez estructural del sistema y verificar que las deformaciones permanezcan dentro de límites aceptables para su funcionamiento seguro.

La evaluación de desplazamientos resulta fundamental para verificar la rigidez estructural y el comportamiento mecánico de estructuras tubulares sometidas a flexión (Moyano-Arellano et al., 2026). Como se aprecia en la Figura 6, los mayores desplazamientos se presentan en la parte central de los perfiles longitudinales del chasis, representados por las tonalidades amarillas y rojas. Esto ocurre debido a que dichas regiones se encuentran más alejadas de los puntos de fijación, por lo que experimentan una mayor flexión ante las cargas aplicadas.

Por otro lado, las zonas cercanas a las sujeciones muestran desplazamientos mínimos, representados en color azul, debido a la restricción impuesta por las condiciones de frontera. La distribución gradual de colores evidencia un comportamiento estructural uniforme, sin deformaciones abruptas que puedan comprometer la integridad del chasis. Asimismo, el desplazamiento máximo obtenido fue de aproximadamente 0.403 mm, localizado en la región central de los perfiles longitudinales del chasis. Este valor indica que la estructura presenta una rigidez adecuada para soportar las condiciones de

operación simuladas sin comprometer la integridad estructural.

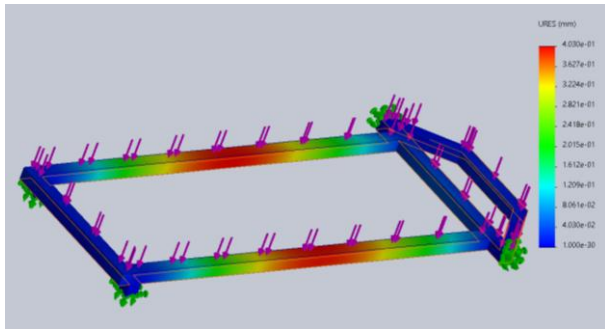


Figura 6. Desplazamiento total del chasis. Fuente: Elaboración propia.

Factor de seguridad

Como se mencionó en la sección 2.2, el criterio de Von Mises es uno de los métodos más utilizados para evaluar la falla en materiales dúctiles sometidos a estados complejos de esfuerzo. Este criterio establece que la fluencia del material ocurre cuando el esfuerzo equivalente alcanza el límite de fluencia del material. Para un estado general de esfuerzos es necesario emplear la siguiente expresión:

$$\sigma_{vm} = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]}$$

Donde, σ_1 , σ_2 y σ_3 son los esfuerzos principales obtenidos mediante el análisis por elementos finitos.

Un parámetro importante en el análisis de esfuerzos es el criterio de fluencia, el cual establece que la falla ocurre cuando:

$$\sigma_{vm} \geq \sigma_y$$

Para el presente estudio, el punto crítico del chasis arrojó un esfuerzo equivalente máximo de Von Mises de 28.4 MPa, valor obtenido directamente del análisis estructural mostrado en la Figura 5 correspondiente a la distribución de esfuerzos del chasis:

$$\sigma_{vm} = 28.4 \text{ MPa}$$

El criterio de falla por fluencia dice:

$$FDS = \frac{\sigma_y}{\sigma_{vm}}$$

Para acero A36:

$$\sigma_y = 250 \text{ MPa}$$

Entonces, el factor de seguridad se obtiene de la siguiente forma:

$$FDS = \frac{250 \text{ MPa}}{28.4 \text{ MPa}}$$

$$FDS = 8.8$$

El análisis por elementos finitos mostró un esfuerzo equivalente máximo de 28.4 MPa localizado en la zona central de los largueros longitudinales del chasis. Esta región coincide con la mayor distancia entre apoyos estructurales, por lo que el comportamiento dominante corresponde a flexión estructural, lo cual es consistente con la distribución de cargas aplicada, como se muestra en la Figura 7.

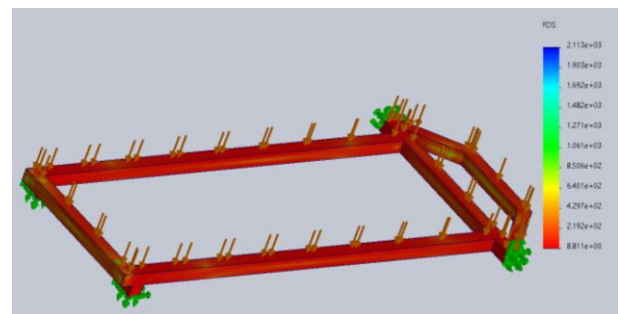


Figura 7. Factor de seguridad. Fuente: Elaboración propia.

El valor obtenido representa únicamente el 11.36 % del límite de fluencia del acero ASTM A36 (250 MPa), indicando que el material trabaja ampliamente dentro del régimen elástico. Esto confirma que la estructura no presenta riesgo de deformación permanente bajo condiciones de carga estática nominal.

El factor de seguridad calculado ($FS = 8.8$) es superior a los valores típicos empleados en estructuras mecánicas comerciales ($FS = 2$ a 4). Sin embargo, en aplicaciones recreativas y sistemas de transporte ligero suele recomendarse el uso de factores de seguridad elevados debido a la presencia de cargas dinámicas, impactos y variaciones de operación no consideradas completamente durante el análisis estático.

Adicionalmente, al tratarse de una estructura fabricada mediante soldadura manual, el sobredimensionamiento contribuye a compensar posibles imperfecciones geométricas, discontinuidades metalúrgicas y variaciones en la calidad de las uniones soldadas. Por lo tanto, el diseño puede considerarse estructuralmente seguro bajo condiciones reales de operación.

Proceso de fabricación

El bastidor se fabricó utilizando perfil tubular rectangular de acero estructural ASTM A36 de 2 pulgadas de lado, como sistema de rodamiento se emplearon llantas neumáticas tipo carretilla.

Los asientos fueron reutilizados de sillas comerciales y adaptados mediante soportes metálicos soldados al chasis el sistema de dirección se implementó mediante un volante artesanal conectado al mecanismo de giro delantero en el eje trasero se instaló un eje macizo soportado por chumaceras, al cual se acopló una corona dentada para la transmisión por cadena el vehículo incorpora además un sistema de frenado mecánico accionado por palanca.

Corte de material

Los perfiles tubulares se cortaron conforme a las dimensiones establecidas en el diseño estructural mostrado en la Figura 8, utilizando una sierra sensitiva para metal. Posteriormente, se realizó un biselado ligero en las uniones con el propósito de mejorar la penetración y calidad de la soldadura durante el ensamblaje del bastidor.

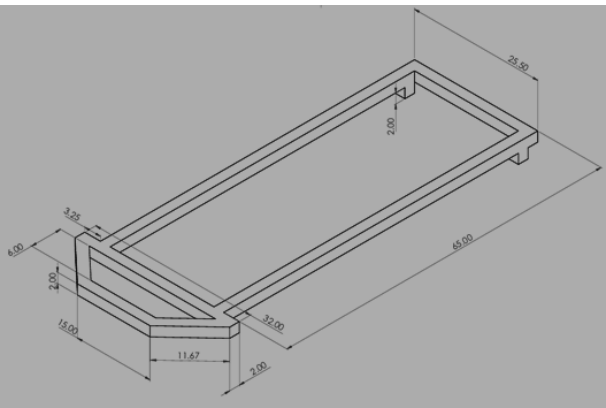


Figura 8. Plano dimensional del chasis utilizado para el corte de perfiles estructurales con dimensiones en pulgadas (in). Fuente: Elaboración propia.

Preparación y punteo

Las piezas se posicionaron sobre superficie nivelada para asegurar alineación del bastidor. Se emplearon prensas tipo “C” para mantener escuadras durante el punteo. El punteo se realizó en las cuatro esquinas antes de la soldadura definitiva para evitar deformaciones térmicas se verificó la escuadría mediante medición diagonal, una vez rectificando que las medidas estuvieran correctas continuamos con la soldadura.

Proceso de soldadura

El ensamblaje del bastidor se realizó mediante soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido (SMAW) empleando electrodo E6013, recomendado para aceros de bajo carbono y aplicaciones estructurales ligeras (American Welding Society, 2020). siguiendo los parámetros recomendados conforme a la Tabla 2.

Tabla 2. Parámetros electrodo E 6013.

Diámetro electrodo	Amperaje	Polaridad	Aplicación
3/32" (mm)	(2.5 70 – 90 A	DC+ o AC	Punteo y cordones cortos
1/8" (mm)	(3.2 90 – 130 A	DC+ o AC	Cordones estructurales
5/32" (mm)	(4.0 130 – 170 A	DC+	Uniones gruesas

Secuencia:

1. Soldadura de marco rectangular
2. Soldadura del refuerzo frontal
3. Soldadura de soportes de eje
4. Soldadura de bases de asiento
5. Colocación de soportes de dirección

La soldadura se realizó alternando lados opuestos para minimizar deformaciones, se realizaron cordones cortos para no incrementar demasiado la temperatura del metal.

Instalación del sistema de transmisión

Se colocó un eje trasero de 0.750in soportado en chumaceras atornilladas al bastidor(chasis). Sobre el eje se adaptaron dos coronas dentadas alineada con el plato del pedal para transmisión por cadena. Los pasos que se realizaron para la instalación del sistema de transmisión son los siguientes:

1. Alineación eje–pedal

2. Montaje de chumaceras
3. Instalación de corona
4. Tensado de cadena

Sistema de dirección

Inicialmente, el sistema de dirección fue diseñado de manera artesanal mediante un mecanismo tipo columna rígida, en el cual un volante se conectaba directamente a una barra metálica unida a las escuadras de los ejes delanteros mediante un espárrago.

Aunque el sistema permitía transmitir movimiento hacia las ruedas, durante las pruebas se detectó una restricción considerable en el ángulo de giro, dificultando las maniobras hacia ambos lados y generando un movimiento poco suave en la conducción.

Debido a las limitaciones mecánicas observadas, el sistema inicial fue desmontado y reemplazado por una dirección tipo Go-kart basada en mecanismo de cremallera, como se visualiza en la Figura 9. Cabe mencionar que este sistema proporciona un movimiento lineal más eficiente y uniforme, mejorando considerablemente la maniobrabilidad del vehículo.

Por su parte, la dirección incorporada está compuesta por una cremallera con desplazamiento lateral, conectada a brazos de dirección estabilizadores provistos de rótulas mecánicas. Dichos brazos fueron unidos a las escuadras de los ejes delanteros, permitiendo transmitir el movimiento de giro hacia ambas ruedas de manera simultánea y con menor resistencia mecánica. La cremallera fue acoplada a una flecha de dirección equipada con crucetas, facilitando la alineación angular del sistema y permitiendo transmitir el movimiento del volante aun cuando existieran ligeras variaciones de posición entre componentes. Posteriormente, la flecha se conectó a una masa de soporte y al volante principal.

Con el propósito de mejorar la suavidad del movimiento y reducir fricción durante la operación, la masa de dirección fue montada sobre valeros, permitiendo un giro más estable y uniforme del volante. La implementación de este sistema resolvió satisfactoriamente los problemas de restricción presentes en el diseño inicial, obteniéndose una dirección funcional, con menor esfuerzo de accionamiento y adecuada capacidad de giro hacia ambos lados.

La adaptación del mecanismo de dirección representó una de las etapas más importantes del proyecto, debido a la necesidad de garantizar estabilidad, alineación y control adecuado del vehículo durante su desplazamiento.



Figura 9. Montura del vehículo. Fuente: Elaboración propia.

Sistema de frenado

Para el sistema de frenado se implementó un mecanismo de freno de disco reutilizado de bicicleta, accionado mediante balatas mecánicas. Este sistema fue seleccionado debido a su bajo costo, facilidad de adaptación y capacidad suficiente para las condiciones de operación del triciclo recreativo.

Con el propósito de acoplar el disco de frenado al eje trasero, fue necesario fabricar una masa cilíndrica utilizando acero AISI 1018 Cold Rolled, material seleccionado por su buena maquinabilidad y adecuada resistencia mecánica.

La masa fue mecanizada en torno convencional hasta obtener las dimensiones requeridas para el montaje del sistema. Posteriormente, el disco de frenado fue fijado a la masa mediante tornillos y tuercas, garantizando concentricidad y adecuada transmisión del esfuerzo de frenado. Una vez terminado el maquinado, la masa se montó sobre el eje trasero y se aseguró mecánicamente mediante opresores de 5/16".

Para ello, se realizaron barrenos roscados utilizando machuelos, permitiendo fijar firmemente el conjunto y evitar desplazamientos durante la operación. Por último, la fabricación y adaptación de este sistema representó una de las etapas de mayor complejidad del proyecto, debido a la necesidad de mantener alineación adecuada entre el disco, las balatas y el eje motriz, asegurando un frenado uniforme y evitando vibraciones o desajustes mecánicos durante el funcionamiento del vehículo, estos procesos se muestran en la Figura 10.



Figura 10. Proceso de fabricación e instalación del sistema de frenado. Fuente: Elaboración propia.

Montaje de ruedas y asientos

Las ruedas tipo carretilla se fijaron a los ejes mediante bujes y seguros mecánicos. Los asientos reutilizados se atornillaron sobre placas previamente soldadas al bastidor para permitir reemplazo. En la Figura 9 se muestra una imagen de la instalación de las ruedas y asientos del vehículo.

Seguridad durante la fabricación

El proceso de manufactura del bastidor involucra operaciones de corte, soldadura y desbaste, las cuales generan riesgos mecánicos, térmicos, eléctricos y por radiación. Debido a ello, la implementación de medidas de seguridad no solo protege al operador, sino que también garantiza la calidad del producto final, ya que accidentes, mala visibilidad o manejo inadecuado del equipo pueden provocar defectos de soldadura, desalineaciones y uniones estructuralmente deficientes.

Durante la soldadura por arco eléctrico se producen radiación ultravioleta, proyección de escoria fundida y emisión de humos metálicos; mientras que en las operaciones de corte y esmerilado se generan partículas de alta velocidad y ruido elevado. Por esta razón, se estableció un conjunto mínimo de equipo de protección personal y medidas preventivas orientadas a controlar estos riesgos. Las Tablas 3 y 4 presentan el equipo de protección requerido y los riesgos mitigados durante cada etapa del proceso de fabricación.

Tabla 3. Equipo de protección empleado para el ensamble del prototipo. Fuente: Elaboración propia.

Operación	EPP requerido
Corte	Lentes, guantes carnaza, careta facial
Soldadura	Careta sombra 11, mandil, guantes, botas
Esmerilado	Lentes + careta, protección auditiva

Montaje	Guantes mecánicos, botas
---------	-----------------------------

Tabla 4. Riesgos controlados durante el ensamble del prototipo. Fuente: Elaboración propia.

Riesgo	Medida preventiva
Proyección de partículas	Protección ocular
Radiación UV	Careta de soldador
Choque eléctrico	Conexión a tierra
Humos metálicos	Área ventilada
Quemaduras	Ropa de algodón grueso

El proceso descrito permite la fabricación reproducible del vehículo manteniendo alineación estructural y seguridad operativa.

Validación experimental

Con el propósito de verificar el comportamiento real del vehículo después de la fabricación, se realizaron pruebas funcionales de operación bajo condiciones normales de uso, tales como se visualizan en la Figura 11. Las evaluaciones incluyeron pruebas de desplazamiento, capacidad de carga, estabilidad estructural y funcionamiento del sistema de frenado.

Durante las pruebas, el triciclo recreativo soportó satisfactoriamente el peso de dos usuarios adultos, equivalente a la carga considerada previamente en el análisis estructural realizado mediante elementos finitos. No se observaron deformaciones permanentes, fallas estructurales ni desprendimientos en las uniones soldadas del chasis, confirmando la rigidez y resistencia mecánica de la estructura fabricada.

Asimismo, se realizaron pruebas de frenado sobre superficie plana, obteniéndose un tiempo promedio de detención de aproximadamente 3 segundos y una distancia cercana a 10 metros desde la aplicación del freno hasta la detención completa del vehículo. También se pudo determinar que el sistema de frenado mostró un comportamiento estable y uniforme, sin presentar bloqueos, vibraciones excesivas o pérdida de control durante la desaceleración.

Cabe mencionar que durante el desplazamiento también se evaluó el desempeño del sistema de dirección tipo cremallera implementado en el triciclo, observándose una mejora significativa en la maniobrabilidad y suavidad de giro respecto al diseño inicial. El vehículo presentó un comportamiento estable durante el movimiento y una adecuada respuesta en cambios de dirección. Finalmente, los resultados experimentales obtenidos permitieron corroborar que el diseño estructural y los sistemas mecánicos implementados son funcionales y adecuados para las condiciones de operación previstas del triciclo recreativo.



Figura 11. Prueba experimental de operación y capacidad de carga del triciclo recreativo con dos ocupantes. Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

El desarrollo del presente proyecto permitió aplicar conocimientos de diseño mecánico, análisis estructural y procesos de manufactura en la construcción de un triciclo recreativo funcional. Mediante el uso del Método de Elementos Finitos (FEM) y herramientas CAD/CAE como SolidWorks Simulación, fue posible evaluar el comportamiento mecánico del chasis antes de su fabricación física, permitiendo identificar zonas críticas de esfuerzo y verificar la seguridad estructural del diseño.

Los resultados obtenidos durante la simulación fueron favorables, ya que el esfuerzo equivalente máximo

registrado fue de 28.4 MPa y el desplazamiento máximo de 0.403 mm, valores considerablemente inferiores al límite de fluencia del acero ASTM A36. Asimismo, el factor de seguridad obtenido ($FS = 8.8$) confirmó que la estructura posee capacidad suficiente para soportar las condiciones de operación previstas sin presentar deformaciones permanentes ni riesgo de falla estructural. Durante el desarrollo del proyecto se presentaron diversas problemáticas tanto en la etapa de diseño como en la fabricación del vehículo. Una de las principales dificultades se encontró en el sistema de dirección, ya que el diseño inicial basado en una barra rígida y espárrago limitaba considerablemente el movimiento de giro de las ruedas delanteras, dificultando la maniobrabilidad del triciclo. Debido a ello, fue necesario rediseñar completamente el mecanismo e implementar una dirección tipo cremallera similar a la utilizada en vehículos Go-kart, logrando mejorar significativamente la estabilidad, suavidad de movimiento y capacidad de giro del sistema.

Otra de las complicaciones encontradas se presentó durante la adaptación del sistema de frenado, debido a la necesidad de fabricar una masa cilíndrica mecanizada para acoplar el disco de freno al eje trasero.

Este proceso requirió operaciones de torneado, barrenado y roscado para garantizar alineación, concentricidad y correcto funcionamiento del sistema mecánico. Asimismo, durante el proceso de soldadura fue necesario controlar deformaciones térmicas y verificar constantemente la alineación estructural del bastidor para evitar desviaciones geométricas.

La fabricación del chasis mediante soldadura SMAW con electrodo E6013 permitió obtener una estructura rígida, resistente y funcional. Además, el proyecto permitió desarrollar habilidades prácticas relacionadas con corte de material, soldadura, maquinado, ensamblaje mecánico, interpretación de planos y análisis estructural computacional, integrando conocimientos adquiridos durante la formación académica en ingeniería.

Finalmente, el presente trabajo demuestra que la integración de herramientas de simulación numérica con procesos convencionales de manufactura representa una alternativa viable y de bajo costo para el diseño y construcción de vehículos recreativos ligeros.

De igual manera, el proyecto permitió comprender la importancia del análisis previo, la solución de problemas mecánicos y la adaptación de diseños durante el proceso de fabricación, fortaleciendo la experiencia práctica y técnica en el área de ingeniería mecánica.

Referencias

- Alonso García, I. (2026). Metodología FEM para la evaluación de fiabilidad mecánica.
- American Society for Testing and Materials. (2019). *ASTM A36/A36M: Standard specification for carbon structural steel*. ASTM International.
- American Welding Society. (2020). AWS D1.1/D1.1M: Structural welding code—Steel. AWS.
- Bautista, M. (2024). Análisis de las características técnicas para el diseño del bastidor de un go kart eléctrico. *Investigación Tecnológica IST Central Técnico*, 6(2). <https://doi.org/10.70998/itistct.v6i2.170>
- Behera, S. K., Singh, S. P., & Behera, B. K. (2026). A review of multiscale FE modelling of lightweight composite for automotive part. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 240(6), 3105-3145.
- Blodgett, O. W. (1998). *Design of Welded Structures*. The James F. Lincoln Arc Welding Foundation.
- Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2020). *Shigley's mechanical engineering design* (11th ed.). McGraw-Hill.
- Cook, R. D., Malkus, D. S., Plesha, M. E., & Witt, R. J. (2002). *Concepts and applications of finite element analysis* (4th ed.). John Wiley & Sons.
- Gillespie, T. D. (1992). *Fundamentals of vehicle dynamics*. Society of Automotive Engineers.
- Horvat, M., Kovačić, M., & colaboradores. (2023). Concept design and development of an electric go-kart chassis for undergraduate education in vehicle dynamics and stress applications. *Applied Sciences*, 13(20), 11312. <https://doi.org/10.3390/app132011312>
- Karan, K., Kumar, S., Mishra, S., & Mishra, S. (2021). Design and analysis of electric go-kart. *Materials Today: Proceedings*, 45(7), 5997–6005. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.413>
- Kurowski, P. M. (2016). *Engineering Analysis with SolidWorks Simulation 2016*. SDC Publications.
- Lancaster, J. F. (1999). *Metallurgy of welding* (6th ed.). Woodhead Publishing.
- Márquez, J. A. S., Ramírez, T. A. S., González, A. G., Jiménez, L. S. M., Guía, K. N. N., Rodríguez, M. R., & Ramírez, F. M. S. (2022). Simulación del Esfuerzo Mecánico en una pieza Modelada en 3D por el Método de Elementos Finitos. *JÓVENES EN LA CIENCIA*, 16, 1-10.
- Moyano-Arévalo, J. R., Villacrés-Quintana, A. S., & Rodas-Buenaño, J. A. (2026). Evaluación comparativa entre teoría y FEA en el comportamiento a flexión de vigas [A comparative analysis of theoretical and FEA predictions of the flexural behaviour of beams]. *Revista Multidisciplinaria Perspectivas Investigativas*, 6(especial), 87-94.
- Orellana, D., Sáenz, J., & Ulloa, K. (2019). Análisis estructural mediante elementos finitos para la optimización de un go-kart de competencia. *Universidad Politécnica Salesiana*.
- Patango, A. M. T., Tamayo, Y. M., & Osorio, W. A. H. (2026). Análisis comparativo de la resistencia a la tracción de dos aleaciones metálicas mediante el método de elementos finitos. *Ciencia y Educación*, 7(1.1), 304-318.
- Singh, R., & Sharma, V. (2021). *Structural analysis and optimization of vehicle chassis using finite element method*. *International Journal of Mechanical Engineering Research*, 12(4), 45–52.