



**UNIVERSIDAD  
DEL AZUAY**

**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGIA**

**ESCUELA DE INGENIERIA AUTOMOTRIZ**

**Diseño de una biblioteca móvil de tracción humana, asistida eléctricamente, utilizando  
materiales ligeros**

**Trabajo de graduación previo a la obtención de título de:**

**INGENIERO EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ**

**Autor:**

Clever Javier Lema Coraizaca

**DIRECTOR:**

Ing. Robert Esteban Rockwood Iglesias M.I

**CUENCA – ECUADOR**

**2025**

## **DEDICATORIA**

A mis padres, quienes con su amor, esfuerzo, sacrificio y fuente de mi inspiración, me han convertido en la persona que soy hoy. Sin ustedes, nada de esto habría sido posible. Les debo cada logro y cada paso que he dado en mi vida.

A mis hermanos y hermanas, por su apoyo incondicional y por estar siempre a mi lado en cada momento importante. Les debo una vida entera de agradecimiento y amor.

Gracias por ser mi fuerza y mi inspiración.

Clever lema

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a mis amigos, cuyo apoyo constante y aliento me han ayudado a superar los desafíos durante la elaboración de este trabajo. Su compañía y confianza en mí han sido un pilar fundamental para alcanzar este logro.

También quiero agradecer a mis profesores y mentores, quienes con su paciencia, conocimientos y orientación, me han brindado las herramientas necesarias para el desarrollo de esta tesis y para mi crecimiento tanto académico como personal.

## INDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA .....	i
AGRADECIMIENTO .....	ii
INDICE DE CONTENIDOS.....	iii
RESUMEN .....	iv
ABSTRACT .....	vi
INTRODUCCIÓN .....	1
ESTADO DEL ARTE Y MARCO TEÓRICO .....	2
MATERIALES Y MÉTODOS .....	6
METODOLOGÍA .....	8
DIMENSIONAMIENTO DEL TREN MOTRIZ .....	14
CONCLUSIONES .....	20
RECOMENDACIONES .....	21
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	22

# **Diseño de una Biblioteca Móvil de Tracción Humana, Asistida Eléctricamente, Utilizando Materiales Ligeros**

## **RESUMEN**

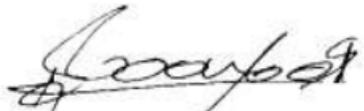
La biblioteca móvil denominada *Bici Libro*, implementada por el Municipio de Cuenca en el año 2016 a través de la Dirección de Cultura, tiene como propósito fomentar el hábito de la lectura en espacios públicos de la ciudad, visitando parques y plazas que no cuentan con bibliotecas fijas. Con el paso del tiempo, el diseño original se ha vuelto obsoleto debido a su peso, lo que dificulta su maniobrabilidad y reduce su eficiencia y alcance. El presente trabajo se enfoca en el rediseño de una biblioteca móvil.

El objetivo principal es desarrollar un vehículo de tracción humana, asistido eléctricamente y construido con materiales ligeros, que permita mejorar la funcionalidad y alcance. Los objetivos específicos incluyen la elaboración de bosquejos conceptuales del nuevo diseño, un vehículo seguro y cómodo para el transporte de libros, y la configuración del tren motriz.

En una primera etapa, se recopiló información del modelo anterior para identificar áreas de mejora. Posteriormente, se desarrollaron dos bosquejos conceptuales, seleccionando el más funcional y eficiente. Este diseño se modeló en tres dimensiones mediante un software CAD, en el que se realizaron ajustes preliminares. Luego, la estructura modelada fue exportada a HyperMesh® para realizar un análisis mediante Ingeniería Asistida por Computador (CAE) evaluando su desempeño estructural. Se calculó la demanda energética utilizando ciclos de conducción específicos, lo que permitió determinar las especificaciones necesarias del motor y de la batería para la asistencia eléctrica. Finalmente, la implementación de herramientas CAD y CAE

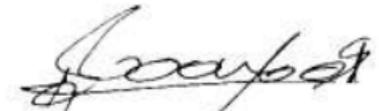
no solo optimizó el diseño de la biblioteca móvil, sino que también estableció un precedente para futuros proyectos de movilidad urbana y estructuras ligeras.

**Palabras clave:** *diseño, tracción humana asistida eléctricamente, materiales ligeros.*



Ing. Robert Rockwood. M.I

Director del trabajo de titulación



Ing. Robert Rockwood. M.I.

Director de Escuela



Clever Javier Lema Coraizaca

Autor

## **ABSTRACT**

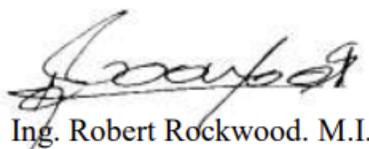
The mobile library, named *Bici Libro*, was implemented by the Municipality of Cuenca in 2016 through the Department of Culture. Its objective is to promote reading habits in public spaces around the city by visiting parks and plazas that lack permanent libraries. Over time, the original design has become obsolete due to its weight, which hinders maneuverability and limits its efficiency and reach. This study focuses on redesigning the mobile library.

The main objective is to develop a human-powered, electrically assisted mobile library using lightweight materials to improve its functionality and coverage. The specific objectives include creating conceptual sketches of the modern design, designing a safe and comfortable vehicle for transporting books, and configuring the drivetrain.

Initially, information was gathered from the outdated model to identify areas for improvement. Two conceptual sketches were drawn, and the most functional and efficient design was selected. This design was then modeled in 3D using CAD software, where preliminary adjustments were made. The modeled structure was exported to HyperMesh® for Computer-Aided Engineering (CAE) analysis, where its structural performance was evaluated.

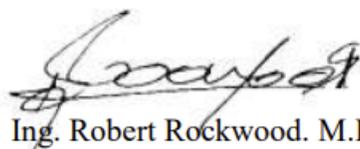
Additionally, the energy demand was calculated using specific driving cycles, allowing for accurate selection of the motor and battery required for electric assistance. The implementation of CAD and CAE tools not only optimized the mobile library's design but also set a precedent for future urban mobility projects and lightweight structures.

**Keywords:** *design, human-powered electrically assisted, lightweight materials.*



Ing. Robert Rockwood. M.I.

Director of the degree project



Ing. Robert Rockwood. M.I.

School director



Clever Javier Lema Coraizaca

Author

## INTRODUCCION

En la ciudad de Cuenca, desde el año 2016 se desarrolla un proyecto de biblioteca móvil denominado *Bici Libro*, promovido por el Municipio de Cuenca a través de la Dirección de Cultura. Este proyecto tiene como objetivo fomentar el hábito de la lectura en espacios públicos, especialmente en parques y plazas que no cuentan con bibliotecas fijas (León Ramírez, 2016).

Con el paso del tiempo, se ha identificado que el diseño original se ha vuelto obsoleto. Debido a su peso, presenta dificultades en la maniobrabilidad y limita tanto su eficiencia como su alcance. En la Figura 1 se muestra una fotografía del estado actual de la biblioteca móvil.



*Figura 1. Fotografía que muestra el estado actual de la biblioteca móvil.*

El objetivo principal del presente proyecto es diseñar una biblioteca móvil de tracción humana asistida eléctricamente, utilizando materiales ligeros, con el fin de mejorar su

funcionalidad y alcance. Para lograr este propósito, se plantea elaborar bosquejos conceptuales del nuevo diseño del vehículo, asegurando el cumplimiento de los requisitos funcionales para el transporte eficiente de libros y otros materiales; diseñar un vehículo seguro y cómodo, y la configuración del tren motriz adecuado para su funcionamiento.

Durante el desarrollo del proyecto, se emplearon herramientas de Diseño Asistido por Computadora (CAD) para modelar en tres dimensiones cada uno de los componentes del vehículo. Esto permitió mejorar tanto la precisión como la integración de los sistemas eléctricos. Adicionalmente, se utilizó software de Ingeniería Asistida por Computadora (CAE) para definir la estructura del vehículo y garantizar sus prestaciones mecánicas, asegurando así la seguridad y confiabilidad del prototipo.

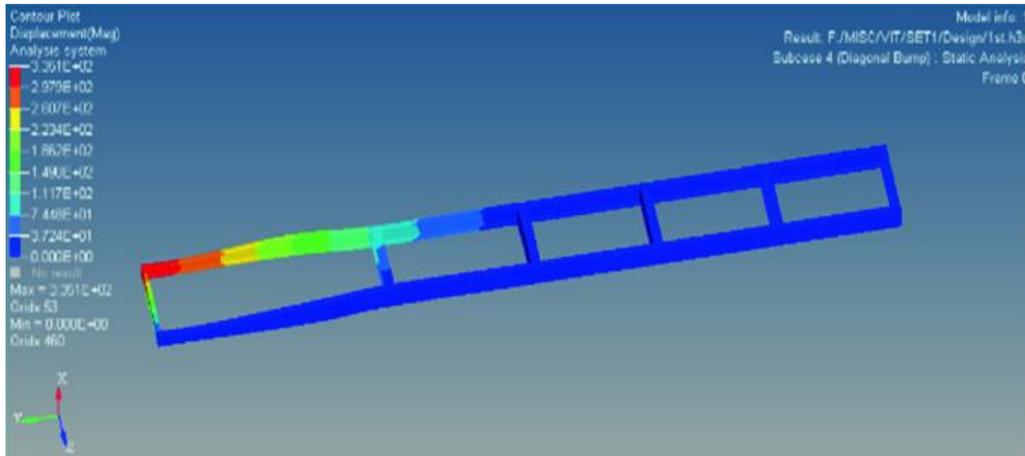
El tren motriz eléctrico seleccionado consta de un motor y una batería recargable, que permiten combinar la fuerza de tracción humana con la asistencia del motor, optimizando la movilidad del vehículo y reduciendo el esfuerzo físico del usuario.

## **ESTADO DEL ARTE Y MARCO TEÓRICO**

Diversos estudios han aplicado el análisis por elementos finitos (FEA, por sus siglas en inglés) en el diseño de vehículos ligeros. Según ZhiQiang (2023), el uso de FEA permite mejorar la precisión y eficiencia en el análisis estructural. Esta metodología no solo permite simular sistemas físicos reales con mayor exactitud, sino que también optimiza el análisis estructural, reduciendo la necesidad de pruebas físicas costosas, lo que resulta especialmente relevante en la ingeniería automotriz.

Un estudio desarrollado por Sharma et al. (2020) en el Instituto de Tecnología de Vellore empleó herramientas de Ingeniería Asistida por Computador (CAE) y Optistruct® para generar

mallas precisas y realizar el análisis de tensiones y deformaciones en un chasis automotriz. Este análisis permitió identificar puntos críticos de esfuerzo y optimizar el diseño, mejorando así su durabilidad y eficiencia. La malla 2D generada cumplió con estrictos criterios de calidad, fundamentales para obtener resultados fiables, como se muestra en la Figura 2.



*Figura 2. Análisis de esfuerzos*

*Fuente: Sharma et al. (2020).*

Vásquez Chávez (2024), en un estudio realizado en la Universidad del Azuay, analizó el desempeño estructural de las jaulas antivuelco en vehículos de competencia. Utilizando SolidWorks® para el modelado y HyperMesh® para las pruebas estructurales, comparó dos diseños de jaulas para un vehículo Suzuki Forsa I. El segundo diseño, que incluía elementos estructurales adicionales, mostró mejor rendimiento en términos de seguridad, cumpliendo y superando las especificaciones de la Federación Internacional de Automovilismo, aunque con un incremento del 28.32% en el peso. Este análisis se muestra en la Figura 3.

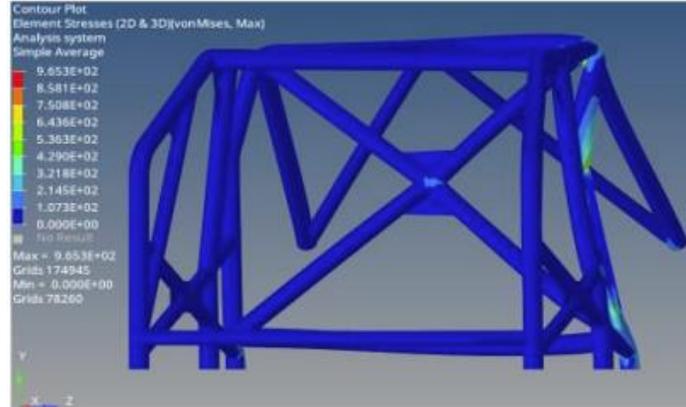


Figura 3. Análisis de esfuerzo en jaula antivuelco.

Fuente: Vásquez Chávez (2024)

Lin et al. (2017), en su artículo "Structural Analysis and Optimization of Bicycle Frame Designs", presentan el uso de herramientas CAE para analizar y optimizar cuadros de bicicleta. El estudio realiza un análisis detallado de tensiones, identificando zonas críticas y proponiendo mejoras para minimizar el riesgo de fallos. Utiliza simulaciones para comparar los distintos materiales y configuraciones con el fin de encontrar un diseño equilibrado entre resistencia, rigidez y peso. Los resultados ofrecen información sobre el comportamiento dinámico y la durabilidad del cuadro. Véase la Figura 4.

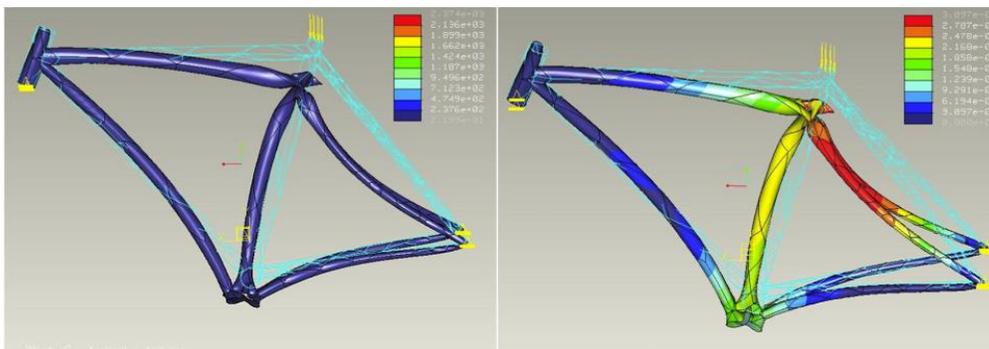


Figura 4. Análisis de esfuerzo en cuadro de bicicleta.

Fuente: Lin et al. (2017)

Según García-Bullé (2019), existen antecedentes históricos relevantes sobre bibliotecas móviles, como la biblioteca ambulante de George Moore en 1857 y la Biblioteca Popular Libre en Carolina del Sur en 1904. En 1920, cuando Sarah Byrd Askew utilizó un modelo motorizado para distribuir libros en Nueva Jersey. Actualmente, proyectos como el de Antonio La Cava en Italia y la Biblioteca Móvil de Kía en México, continúan acercando libros y actividades educativas a comunidades sin acceso a Internet.

Respecto a los materiales empleados en este proyecto, el aluminio destaca por sus propiedades estructurales y su versatilidad. Es un material ligero y resistente, con excelente relación resistencia-peso, ideal para estructuras móviles. Además, es reciclable sin pérdida de sus propiedades (International Aluminium Institute, 2015).

En Ecuador, la estatura promedio de los hombres oscila entre 1.64 y 1.67 metros, y la de las mujeres entre 1.52 y 1.54 metros. Estas cifras se utilizan para calcular el peso ideal mediante el Índice de Masa Corporal (IMC), cuyo rango saludable va de 18.5 a 24.9. Así, una persona de 1.67 m debería pesar entre 51.6 y 69.4 kg (Ecuadorec, 2024).

Según PedalPC (2024), una persona promedio sin entrenamiento puede generar alrededor de 100 vatios de potencia sostenida mediante pedaleo. Ciclistas recreacionales pueden alcanzar hasta 200 vatios, mientras que los ciclistas de élite superan los 350 vatios. Estas cifras son cruciales para el diseño de dispositivos impulsados por pedaleo, ya que permiten estimar la potencia sostenible generada por un usuario promedio.

La asistencia eléctrica ha revolucionado el transporte personal, combinando el pedaleo humano con la ayuda de un motor eléctrico alimentado por una batería recargable. El motor puede estar ubicado en el eje de las ruedas o en el eje de los pedales, y su asistencia se ajusta mediante

sensores que detectan el esfuerzo del ciclista. Las baterías requieren varias horas para recargarse, varían en capacidad, influyendo en la autonomía de la bicicleta. Las bicicletas eléctricas o *e-bikes*, representan una alternativa sostenible que reduce las emisiones de carbono y promueve la actividad física (Earthjustice, 2024).

En cuanto a la normativa, la potencia nominal y máxima permitida para bicicletas asistidas eléctricamente varía por región. La normativa EN15194, común en Europa, establece un límite de 250 W de potencia nominal y una velocidad máxima asistida de 25 Km/h. Versiones más potentes, conocidas como "speed pedelecs", pueden alcanzar hasta 750 W, pero requieren licencia y seguro. En países como Canadá y Estados Unidos, se permite hasta 500 W, siempre que la velocidad asistida no supere los 32 km/h (Contò & Bianchi, 2023).

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

La estructura principal y secundaria de la biblioteca móvil fue diseñada utilizando perfiles de tubo rectangular hueco de aluminio 6061-T6 debido a su alta relación resistencia-peso. Este material es templado y envejecido artificialmente, ideal para aplicaciones estructurales. Las dimensiones utilizadas fueron de una pulgada (25.4 milímetros) y dos milímetros de espesor para la estructura principal, y media pulgada (12.7 milímetros) y dos milímetros de espesor para la estructura secundaria. Las propiedades mecánicas del aluminio 6061 T6 se detallan en la Tabla 1.

**Tabla 1.**

*Propiedades del aluminio 6061 T6*

*Fuente: ASM International. (1990)*

<b>Aluminio</b>	<b>6061 T6</b>
<b>Propiedad</b>	<b>Valor</b>
<b>Densidad</b>	2.70 g/cm <sup>3</sup>
<b>Módulo de Elasticidad</b>	68.9 GPa
<b>Resistencia a la Tracción</b>	310 MPa
<b>Límite Elástico</b>	276 MPa
<b>Coefficiente de Poisson</b>	0.33
<b>Resistencia a la Fluencia</b>	145 MPa
<b>Resistencia Última</b>	310 MPa
<b>Conductividad Térmica</b>	167 W/m·K
<b>Coefficiente de Expansión Térmica</b>	23.6 μm/m·°C
<b>Dureza Brinell</b>	95 HB

Las superficies destinadas a la colocación de los libros se diseñaron con el material denominado alucobond® de 2 mm de espesor. Este material está compuesto por dos capas de aluminio y un núcleo de polietileno o material mineral ignífugo, lo que proporciona una excelente combinación de ligereza, rigidez y durabilidad. Las propiedades del alucobond® se presentan en la Tabla 2.

**Tabla 2.**

*Propiedades del alucobond*

*Fuente: (ALUCOBOND® USA, s. f.)*

<b>Propiedad</b>	<b>Valor</b>
<b>Densidad</b>	1.44 g/cm <sup>3</sup>
<b>Módulo de Elasticidad</b>	70 GPa
<b>Resistencia a la Tracción</b>	130 MPa
<b>Límite Elástico</b>	85 MPa
<b>Coefficiente de Poisson</b>	0.33
<b>Conductividad Térmica</b>	0.44
<b>Coefficiente de Expansión</b>	24

El sistema de asistencia eléctrica fue seleccionado conforme a los criterios descritos en la sección de dimensionamiento del tren motriz.

## **METODOLOGÍA**

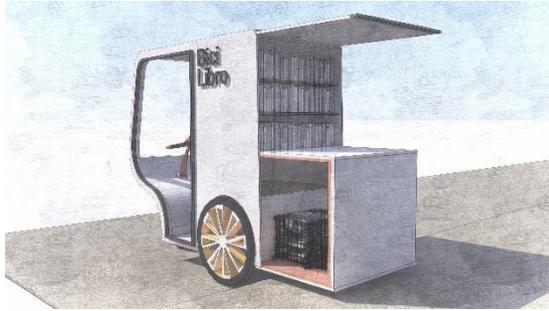
En primer lugar, se realizó una recopilación detallada de datos técnicos y operativos de la biblioteca móvil original. Esta incluyó dimensiones, peso, materiales utilizados y las dificultades observadas en su maniobrabilidad y eficiencia, como se observa en la Tabla 5. Esta información inicial fue fundamental para identificar los puntos críticos que requerían mejoras.

### ***Tabla 5.***

*Características de la biblioteca móvil del Departamento de Cultura del Municipio de Cuenca*

<b>Características de la biblioteca móvil</b>	
<b>Largo</b>	1.3 m
<b>Ancho</b>	1.4 m
<b>Alto</b>	2 m
<b>Peso</b>	450 kg
<b>Materiales</b>	Perfil de acero 5x5 cm
<b>Sistema de frenado</b>	Freno pinza
<b>Traccion</b>	Humana
<b>Capacidad</b>	100 libros

A partir de la información recopilada, se realizaron dos bosquejos conceptuales de la nueva biblioteca móvil, el primer bosquejo como se observa en la Figura 8, fue definido por un diseño de corriente futurista y el segundo como se observa en la Figura 9 con un diseño más conservador. Estos bosquejos se evaluaron en términos de funcionalidad, utilidad y costo. Se realizó un análisis comparativo de ambos diseños, seleccionando finalmente el bosquejo conservador, ya que permite transportar la mayor cantidad de libros, y su manufactura tendrá menor costo.



*Figura 8. Bosquejo 1, Futurista*



*Figura 9. Bosquejo 2, Conservador*

El bosquejo seleccionado se modeló detalladamente utilizando el software de diseño asistido por computadora (CAD). Este proceso permitió visualizar el diseño en tres dimensiones y realizar ajustes preliminares en función de las necesidades estructurales y estéticas de la biblioteca móvil. A continuación, se presenta el nuevo diseño de la biblioteca móvil en la Figura 10, y sus características en la Tabla 6.



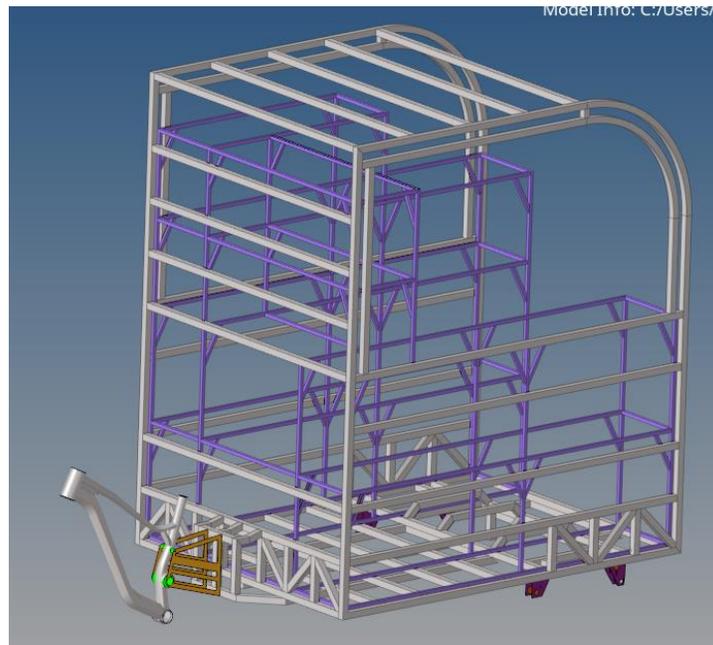
*Figura 10. Nuevo diseño de biblioteca móvil*

**Tabla 6.**

*Características de la nueva Biblioteca móvil.*

<b>Características de la nueva biblioteca movil</b>	
<b>Largo</b>	1.6 m
<b>Ancho</b>	1.2 m
<b>Alto</b>	1.8 m
<b>Material estructura principal</b>	Perfil Aluminio de 1 pulgada e = 2 mm
<b>Material estructura secundaria</b>	Perfil de aluminio 1/2 pulgada, e = 1mm
<b>Superficies</b>	Alucobond de e=2 mm
<b>Traccion</b>	Humana asistida electricamente
<b>Sistema de frenado</b>	Freno de disco

Posteriormente, el modelo fue exportado al programa HyperMesh, se procedió a mallar la estructura, dividiéndola en elementos finitos para un análisis detallado, como se muestra en la Figura 11 y en la Tabla 7, se representa las propiedades de la malla.



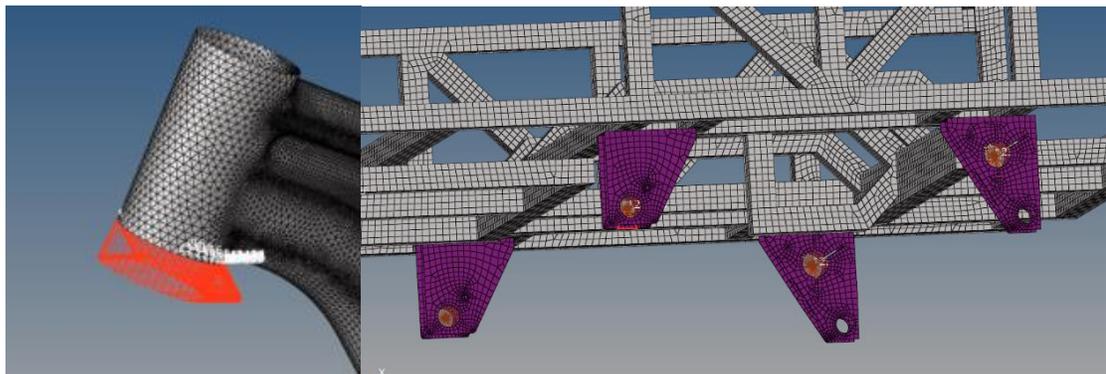
*Figura 11. Mallado de la biblioteca móvil*

**Tabla 7.**

*Propiedades de la malla*

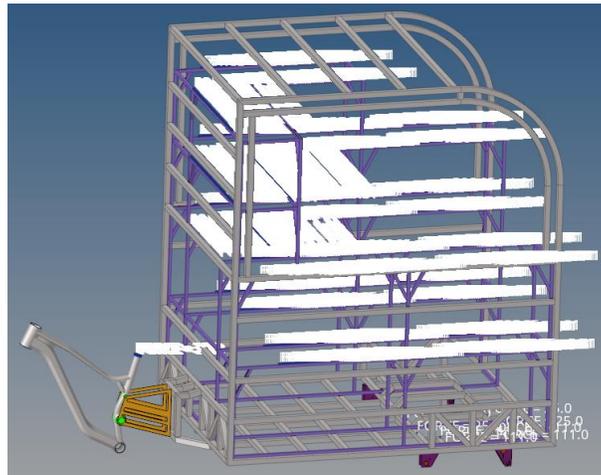
Propiedad de malla	Valor
Cantidad de Elementos	141310
Elementos fuera del criterio de calidad	1524
Tipo de Elemento	Cuadrados/Triángulos
Tamaño de Elemento	5 mm
Relación de Aspecto	5
Distorsión Angular	0.3
Jacobiano	60
Deformación	5
Conicidad (Taper)	0.5
Ángulo Mín/Máx	20°/135°
Bordes Libres	Ninguno
Conectividad Nodal	4 elementos por nodo

Para simular condiciones reales de uso, se colocaron los apoyos en las zonas correspondientes a la parte delantera del cuadro de la bicicleta y en los puntos de unión con la suspensión trasera, como se representa en la Figura 12.



*Figura 12. Apoyos para simular las condiciones reales de soporte.*

Las cargas aplicadas en el análisis estructural que se tomaron en cuenta fueron el peso de la estructura, la cantidad total de libros que la estructura puede soportar, el peso de la persona que va a conducir, el peso del motor y el peso de la batería, como se muestra en la Figura 13 y en la Tabla 8.



*Figura 13. Cargas de la estructura*

**Tabla 8.**

*Pesos considerados*

<b>Elemento</b>	<b>Peso (kg)</b>
Conductor	90
Motor	10
Batería	45
Libros	300
Peso estructura	467
<b>Peso total</b>	<b>912</b>

A continuación se realiza un análisis del comportamiento de la estructura bajo estas condiciones de carga, evaluando especialmente el esfuerzo combinado máximo de Von Mises. Este criterio permite identificar posibles fallos estructurales. Se verificó que los esfuerzos no superaran el límite de cedencia del material que es de 276 MPa. En la Figura 14, se puede apreciar el valor del esfuerzo máximo combinado de 192.2 MPa con el conductor sentado. Y en la Figura

15. se aprecia el valor del esfuerzo máximo combinado de 209.7 MPa cuando el conductor va parado sobre los pedales.

En el análisis de los dos casos mencionados, se calculó el factor de seguridad utilizando el límite de cedencia del material. En la primera condición, el esfuerzo resultante produjo un factor de seguridad de 1.436, mientras que en el segundo caso, el nuevo esfuerzo calculado arrojó un factor de seguridad de 1.316, manteniendo el mismo límite de cedencia del material. Ambos factores indican que el material es capaz de soportar los esfuerzos aplicados.

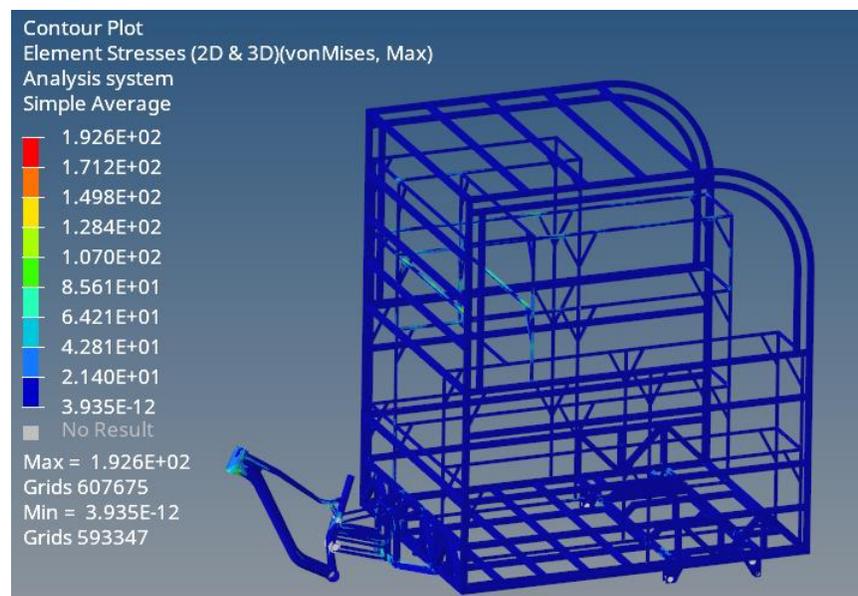


Figura 14. Esfuerzo máximo combinado con el conductor sentado

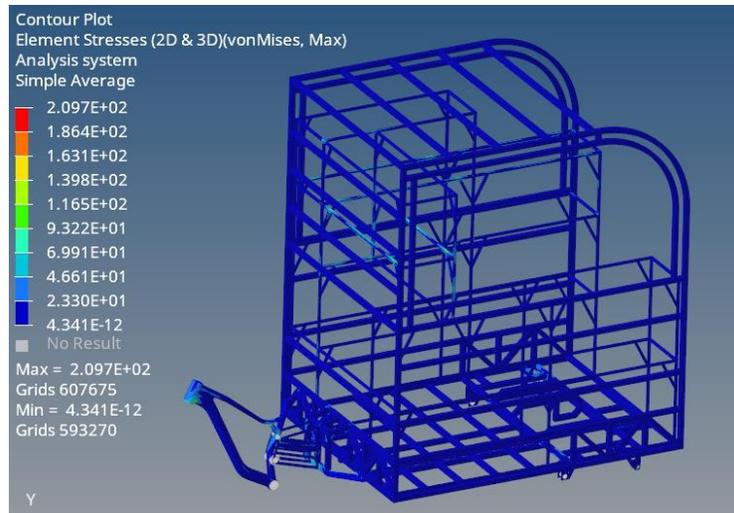


Figura 15. Esfuerzo máximo combinado con el conductor parado en los pedales

### Dimensionamiento de tren motriz

Con base en los esfuerzos estructurales máximos permitidos, se seleccionó un sistema de asistencia eléctrica compuesto por motor, controlador, batería y mandos. La potencia requerida se calculó considerando la suma de todas las fuerzas resistivas multiplicadas por la velocidad del vehículo en ese instante. La fórmula general para la potencia (P) se representa en la ecuación (1):

$$P = F_x v \quad (1)$$

Donde

**F<sub>x</sub>**, es la suma de todas las fuerzas resistivas.

**v**, es la velocidad del vehículo.

La fuerza de tracción de la rueda generada ( $F_x$ ) es la fuerza necesaria para superar todas las resistencias que actúan sobre el vehículo durante su movimiento, como se muestra en la ecuación (2):

$$F_x = F_d + R_x + R_i + R_g \quad (2)$$

Donde:

- **F<sub>d</sub>**: resistencia aerodinámica
- **R<sub>x</sub>**: resistencia al rodaje
- **R<sub>i</sub>**: resistencia a la inercia
- **R<sub>g</sub>**: resistencia gravitacional

En la ecuación (3), se desglosa cada una de las resistencias. En la Tabla 9, se indican los parámetros del prototipo los cuales se emplearán en las ecuaciones previamente señaladas.

$$F_x = \frac{1}{2} C_d \rho A v^2 + f_r m g \cos \theta + m a + m g \sin \theta \quad (3)$$

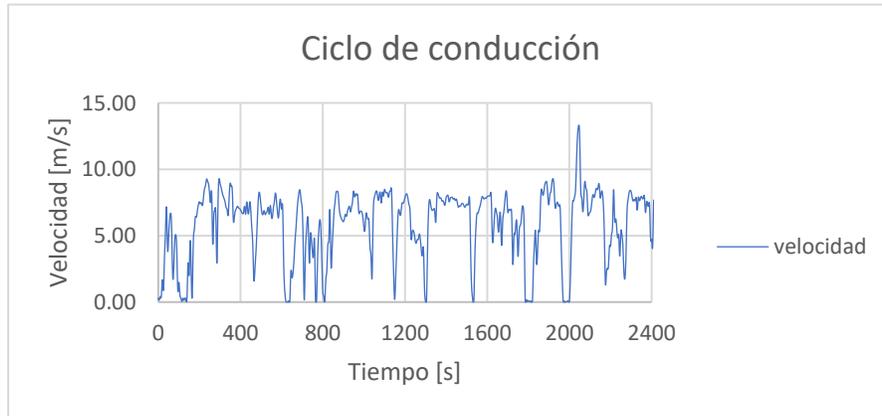
**Tabla 9.**

*Parámetros del vehículo*

Datos del vehículo		
Masa	922.4	[Kg]
Coficiente de arrastre	1.01	[-]
Coficiente de rodadura	0.015	[-]
Gravedad	9.81	[m/s <sup>2</sup> ]
Area frontal	2.33	m <sup>2</sup>
Densidad del aire	0.907	[Kg/m <sup>3</sup> ]
Pendiente	0	[rad]
Radio dinamico	0.67	[m]

Respecto a la velocidad requerida para estimar la potencia del tren motriz, se utilizó un ciclo de conducción de una bicicleta en una ruta urbana específica de la ciudad de Cuenca, en

donde se obtiene el tiempo, velocidad, distancia recorrida, patrones de aceleración, desaceleración y paradas. De acuerdo con los datos obtenidos de la tesis de Rosero (2024) “Comparación de energía, emisiones, tiempo y costo de diferentes medios de transporte en una ciudad intermedia”. Estos datos se observan en la Figura 16, y en la Tabla 10.



*Figura 16. Ciclo de conducción de una bicicleta en una ruta urbana específica de la ciudad de Cuenca.*

Fuente (Rosero, 2024)

**Tabla 10.**

*Datos del ciclo de conducción.*

Fuente: (rosero,2024)

<b>Duración:</b>	2456	[s]
<b>Distancia:</b>	14.4093278	[Km]
<b>V.Prom:</b>	21.11	[km/h]
<b>V.Máx:</b>	47.99	[km/h]
<b>V.Mín:</b>	0	[km/h]
<b>a+.promedio:</b>	0.16849997	[m/s <sup>2</sup> ]
<b>a-.promedio:</b>	-0.18423389	[m/s <sup>2</sup> ]
<b>a. máx:</b>	1.04	[m/s <sup>2</sup> ]
<b>a: mín:</b>	-1.20	[m/s <sup>2</sup> ]

Con los datos de velocidad presentados en la Figura 16, se calculó la potencia instantánea segundo a segundo, obteniéndose una demanda energética total de  $1.817 \times 10^6$  Joules,

equivalente a 0.50498 kWh. La potencia instantánea máxima que requiere el vehículo es de 7.652 kW. En base a esto, se selecciona un motor de 6 kW de potencia nominal y 12 kW de potencia máxima, y una batería de 6 kWh, garantizando una autonomía de al menos 170 km. La Tabla 11, muestra un resumen de los cálculos realizados, y los resultados obtenidos.

**Tabla 11.**

*Resumen de los cálculos realizados, y los resultados obtenidos*

<b>velocidad</b> [m/s]	<b>Fx</b> [N]	<b>Px</b> [kW]	<b>Ex</b> [kWh]
0.30	-656.5983	-0.195155615	0
0.24	-705.76583	-0.168909458	-4.69193E-05
0.19	-694.74308	-0.13128054	-3.64668E-05
0.15	-676.88325	-0.104007028	-2.88908E-05
0.14	-652.1122	-0.091906269	-2.55295E-05
0.16	-622.34675	-0.098538234	-2.73717E-05
0.21	-597.55855	-0.124891227	-3.4692E-05
0.28	-587.77023	-0.163755716	-4.54877E-05

El análisis realizado del ciclo de conducción se obtiene un torque máximo de 804.75 Nm, que se representa en la Tabla 12.

**Tabla 12.**

*Datos obtenidos del ciclo de conducción*

<b>P. Máx:</b>	7.652944767	<b>[kW]</b>
<b>T. Máx:</b>	804.759178	<b>[Nm]</b>
<b>Ex:</b>	0.274209279	<b>[kWh]</b>
<b>Ex+:</b>	0.504983518	<b>[kWh]</b>
<b>Ex - :</b>	-0.230774239	<b>[kWh]</b>
<b>%regeneración energética:</b>	45.69936058	<b>[%]</b>
<b>Rendimiento energético:</b>	28.53425361	<b>[km/kWh]</b>

Las características del motor que existe en el mercado se muestran en la Tabla 13, y su fotografía se observa en la Figura 17. Este sistema también requiere de una batería de 6 kWh de ion-litio y sus características se muestran en la Tabla 14, y su fotografía se observa en la Figura 18, configurados para proporcionar asistencia al pedaleo y mejorar la eficiencia energética del vehículo. Estos componentes fueron integrados en el modelo CAD para dimensionar el espacio que requieren. Como se muestra en la Figura 19.

**Tabla 13.** Características del motor eléctrico

Característica	Detalle
Potencia Nominal	6 kW (6000 W)
Voltaje	60V/72V
Tipo de Motor	Motor de imán permanente
Potencia Maxima	12 kW
Eficiencia	90%
Velocidad Máxima	5000 rpm
Peso	10 kg
Torque Máximo	120 Nm
Enfriamiento	Aire/Agua
Aplicaciones	Bicicletas eléctricas, scooters
Certificaciones	CE, RoHS
Dimensiones	25 cm x 20 cm x 15 cm
Controlador	Compatible con controladores de

Fuente: MIROMAX. (n.d.). BLDC PMSM brushless motor MEMAX 1717



Figura 17. Fotografía del motor eléctrico

Fuente: MIROMAX. (n.d.). BLDC PMSM brushless motor MEMAX 1717

**Tabla 14.**

*Especificaciones de la batería.*

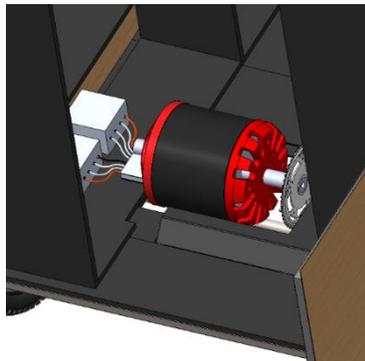
<b>Característica</b>	<b>Detalle</b>
<b>Voltaje Nominal</b>	72V
<b>Capacidad Nominal</b>	120Ah
<b>Energía Total</b>	8640Wh
<b>Configuración</b>	24S1P (24
<b>Resistencia</b>	$\leq 100 \text{ m}\Omega$
<b>Eficiencia</b>	$\geq 99\%$
<b>Ciclo de Vida</b>	Más de 2000
<b>Peso Aproximado</b>	45 kg
<b>Dimensiones</b>	520 mm x 268
<b>Rango de</b>	-20°C a 60°C
<b>Aplicaciones</b>	Vehículos
<b>Certificaciones</b>	CE, RoHS,

*Fuente: Redway Power. (n.d.). 60V 100Ah lithium battery (LiFePO4).*



*Figura 18. Fotografía batería eléctrica*

*Fuente: Redway Power. (n.d.). 60V 100Ah lithium battery (LiFePO4).*



*Figura 19. Fotografía batería y motor eléctrico integrados en el modelo CAD*

Para la selección de la relación de transmisión de acuerdo con la información obtenida tenemos un torque máximo calculado de 804.75 Nm y el motor seleccionado genera un torque de 120 Nm, Previamente se requeriría instalar un tren de transmisión que posea una relación de 6.70:1, lo que permite que el prototipo pueda desplazarse en la ruta y con plena carga.

Según la normativa EN15194, la potencia máxima permitida para bicicletas eléctricas asistidas es de 250 W. Dado que el prototipo requiere hasta 8 kW, esta normativa no puede aplicarse. Por tanto, el vehículo debe considerarse un sistema de propulsión totalmente eléctrico.

Estos resultados permiten ajustar las especificaciones del sistema de asistencia eléctrica de la biblioteca móvil, asegurando su eficiencia energética y operatividad en el entorno urbano de Cuenca.

## **CONCLUSIONES**

Con la potencia máxima obtenida para el motor del prototipo, que es aproximadamente de 8 kW, no es viable implementar un sistema de asistencia eléctrica al pedaleo, ya que esta cifra supera los valores comunes para bicicletas eléctricas asistidas, las cuales generalmente operan con motores de entre 250 W y 750 W. La potencia requerida en este caso excede las normativas y capacidades de las bicicletas asistidas, lo que implica que el tren motriz debe ser completamente eléctrico para aprovechar al máximo el rendimiento del motor.

Se logró elaborar un diseño de un prototipo que cumple con los parámetros requeridos para el proyecto de la biblioteca móvil, destinado al traslado de libros y permitiendo, a su vez, la adaptación de un sistema de propulsión eléctrica para facilitar el desplazamiento a diferentes puntos de la ciudad de Cuenca, e implementado para su construcción materiales ligeros como

aluminio y alucobond. En la elaboración de los bosquejos se consideró la ubicación del conductor, factores de visibilidad, maniobrabilidad y dimensiones.

El servicio que brindará el vehículo es la facilidad de transporte para el desplazamiento de la biblioteca móvil a sectores en los cuales por condiciones geográficas o de distancia no es posible tener una biblioteca fija. Para ello luego del análisis realizado para la implementación del sistema de propulsión eléctrica se consideró tanto potencia y torque del motor eléctrico así como la capacidad de batería que permita realizar varios recorridos en el día sin necesidad de carga.

En el diseño del prototipo se tomó en cuenta la fabricación con materiales ligeros sin que esto perjudique la resistencia estructural para el traslado de los libros y del conductor, asegurando que la biblioteca móvil durante el traslado hacia diferentes puntos de la ciudad sea seguro.

## **RECOMENDACIONES**

Se recomienda que la biblioteca móvil sea completamente eléctrica, ya que la potencia generada por una persona promedio no es suficiente para mover el vehículo de manera eficiente. Considerando que el pedaleo humano genera aproximadamente 200 vatios de potencia, esto puede resultar insuficiente para desplazar la biblioteca móvil, especialmente cuando se tiene en cuenta el peso del vehículo, los libros y las posibles pendientes en el trayecto.

Un sistema de tracción netamente eléctrico garantizaría un rendimiento más consistente y mayor maniobrabilidad, además de facilitar el uso del vehículo en rutas más largas o exigentes, sin depender del esfuerzo físico constante del usuario.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- León Ramírez, MC (2016). *Diseño de identidad y campaña gráfica para la promoción del proyecto Municipal de motivación lectora “Bici libro”*. Universidad de Cuenca.
- Fernández, M. J., & Fernández, M. J. (2021, 5 agosto). *Library Book Bikes Gaining in Popularity* - Public Libraries Online. Public Libraries Online - A Publication of the Public Library Association. <https://publiclibrariesonline.org/2021/08/library-book-bikes-gaining-in-popularity/>
- *Diseño asistido por ordenador (CAD) | Siemens Software*. (s. f.). Siemens Digital Industries Software. <https://www.sw.siemens.com/es-ES/technology/computer-aided-design-cad/>
- ZhiQiang, Z. (2023). Application of finite element analysis in structural analysis and computer simulation. *Applied Mathematics and Nonlinear Sciences*. <https://doi.org/10.2478/amns.2023.1.00273>
- Sharma, V., Reddy, D. M., & Patil, S. (2020). *Stress Analysis of Automotive Chassis Using HyperMesh and Optistruct*. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-5947-1\\_14](https://doi.org/10.1007/978-981-15-5947-1_14)
- Vásquez Chávez, D. (2024). *Diseño de una Jaula Antivuelco para un Vehículo de Competencia, utilizando Técnicas de Ingeniería Asistida por Computador (CAE)*. <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/14112>
- Lin, C., Huang, S., & Liu, C. (2017). *Structural analysis and optimization of bicycle frame designs*. *Advances In Mechanical Engineering/Advances In Mechanical Engineering*, 9(12), 168781401773951. <https://doi.org/10.1177/1687814017739513>

- García-Bullé, S. (2022, 3 noviembre). Las bibliotecas no van a ningún lado, salvo que sean móviles. Observatorio / Instituto Para el Futuro de la Educación. <https://observatorio.tec.mx/edu-news/bibliotecas-moviles/>
- International Aluminium Institute. (2024, 30 mayo). International Aluminium Institute. International Aluminium Institute - Through The IAI, The Aluminium Industry Aims To Promote A Wider Understanding Of Its Activities And Demonstrate Both Its Responsibility In Producing The Metal And The Potential Benefits To Be Realised Through Their Use In Sustainable Applications And Through Recycling. <https://international-aluminium.org/>
- Ecuadorec. (2024). Estatura promedio en Ecuador: ¿Cuánto miden hombres y mujeres? <https://ecuadorec.com/estatura-promedio-en-ecuador-cuanto-miden-hombres-y-mujeres/>
- PedalPC. (2024). *How much electricity can a human generate?* <https://www.pedalpc.com>
- Earthjustice. (2023, 17 Abril). Electric vehicles are not just the wave of the future, they are saving lives today. - Earthjustice. [https://earthjustice.org/feature/electric-vehicles-explainer?gad\\_source=1](https://earthjustice.org/feature/electric-vehicles-explainer?gad_source=1)
- Contò, C., & Bianchi, N. (2023). E-Bike Motor Drive: A Review of Configurations and Capabilities. *Energies*, 16(1), 160. <https://doi.org/10.3390/en16010160>
- ASM International. (1990). Properties and selection: Nonferrous alloys and special-purpose materials (Vol. 2). *Metals Handbook* (10th ed.).
- ALUCOBOND® USA. (s. f.). <https://www.alucobondusa.com/>
- MIROMAX. (n.d.). BLDC PMSM brushless motor MEMAX 1717—nominal power 4kW/5kW—200cm<sup>3</sup>/250cm<sup>3</sup>. Retrieved from [https://www.miromax.lt/en/bldc--pmsm-brushless-motor-memax-1717---nominali-power-4kw5kw---54ag67ag---200cm3250cm3#to\\_products](https://www.miromax.lt/en/bldc--pmsm-brushless-motor-memax-1717---nominali-power-4kw5kw---54ag67ag---200cm3250cm3#to_products)

- Redway Power. (n.d.). 60V 100Ah lithium battery (LiFePO4). Retrieved from <https://www.redwaypower.com/product/60v100ah-lithium-battery-lifepo4/>